

# SPOLUSPALOVÁNÍ ČISTÍRENSKÉHO KALU NA TEPLÁRENSKÉ TECHNOLOGII

Ondřej Hlaváček

Ústav plynných a pevných paliv a ochrany ovzduší,

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Ondrej.Hlavacek@vscht.cz

*V rámci ekologizace výroby elektrické a tepelné energie přistupuje část provozovatelů tepláren na diverzifikaci svého palivového mixu materiály klasifikace biomasy. Jedním z těchto materiálů je rovněž stabilizovaný čistírenský kal. Národní legislativa přistupuje ke zpřísnění limitů hygienizace těchto materiálů a provozovatelé biologických čistíren odpadních vod tak hledají nové využití pro daný materiál, přičemž jako jedno z možných řešení se nabízí právě spalování či spoluspalování ve stávajících zařízeních. Článek se zabývá popisem situace, rozбором, provozní zkouškou a jejím vyhodnocením spoluspalování sušeného stabilizovaného čistírenského kalu na teplárenské technologii s ohledem i na emise  $\text{NO}_x$  a  $\text{SO}_2$ .*

*Klíčová slova: čistírenský kal, spalování, zkušební provoz*

Došlo 01. 04. 2022, přijato 12. 05. 2022

## 1. Úvod

Aktivovaný čistírenský kal je nezbytnou součástí BČOV (biologická čistírna odpadních vod) z obytných oblastí. Bakterie ve vyhnívacích nádržích se živí převážně organickým znečištěním v odpadní vodě, čímž nabývají na objemu a zároveň odpadní vodu čistí. Produko- vaný kal je nutné kontinuálně odebírat.

Vzniklý surový kal je zapotřebí z nádrží BČOV stabilizovat a snížit tak biologické oživení pod legislativní limity. K tomuto kroku musí dojít ještě v daném provozu. Obecně lze využít následující metody stabilizace [1]:

- chemické (reakce s činidlem),
- fyzikální (působení teploty, ultrazvuku, atd.),
- biotechnologické.

Následné využití stabilizovaného kalu dle údajů asociace SOVAK (Sdružení oboru vodovodů a kanalizací) a ČSÚ (Český statistický úřad) je následující:

- skládkování,
- materiálové využití,
- kompostování,
- aplikace na zemědělskou půdu,
- termické zpracování.

Skládkování kalu je dlouhodobě nepodporované a legislativně omezované řešení [2]. Nejvíce je v ČR využívána přímá aplikace, převážně v zemědělství, či využití v kompostárnách, viz obr. 1 [3, 4]. Vzhledem k novým přísnějším legislativním limitům pro hygienizaci kalu pocházející z vyhlášky č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady [5] řada provozovatelů BČOV je nucena přehodnotit svůj stávající systém hospodaření s kaly. Řešením situace může být využití kalu k energetickým účelům ve spalovacích procesech.

Pro energetické využití je výhodné zvolit fyzikální stabilizaci vysušením kalu, čímž dojde ke zvýšení výhřevnosti materiálu. Kal se obvykle vysouší na hodnoty vlhkosti 8–10 %hm., pro tyto účely již nestačí odvodnění za pomoci centrifugy, ale je zapotřebí instalace sušárny,

přičemž zvolená technologie má podstatný vliv na finální granulometrii kalu. Technologie sušáren využitelné pro sušení čistírenského kalu lze rozdělit dle principu sdílení tepla na následující [6]:

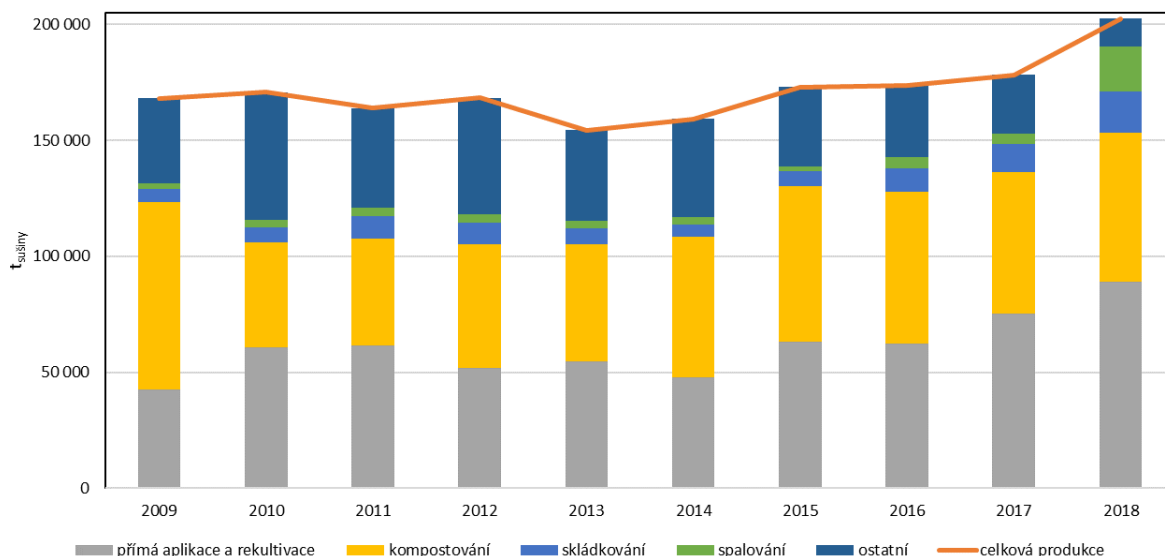
- konvekční – diskové, lopatkové, tenkovrstvé;
- kondukční – bubnové, pásové, fluidní;
- radiační – solární.

Co se týče problematiky tvorby emisí ze spoluspalování vysušených čistírenských kalů spolu s hnědým uhlím, je prokázáno, že s rostoucím poměrem kalu v palivové směsi rostou i emise  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_x$  [7–10]. V případě  $\text{NO}_x$  se jedná takřka o lineární nárůst spolu s množstvím spalovaného kalu až do obsahu 80 % hm. kalu v palivu, kdy koncentrace  $\text{NO}_x$  ve spalinách prudce vzrůstá. Pro  $\text{SO}_2$  je koncentrace ve spalinách přímo úměrná obsahu S v palivové směsi. Emise CO úzce souvisí s typem spalovací technologie, nicméně jejich nárůst nedosahuje dle literatury významnějších hodnot [7]. Výše uvedené trendy platí ovšem pouze vysušený kal (ve všech případech s obsahem sušiny nad 90 % hm.). V případě spalování vlhkého kalu jsou pozorovány nárůsty emisí pouze na zanedbatelné úrovni, což souvisí s nižší výhřevností materiálu, a tedy menší dotací elementární síry a dusíku v palivu [11].

Evropská a národní politika v otázkách změny klimatu nutí sektor energetiky ke změně palivového mixu, zejména k odstupu od uhlí. Část provozovatelů tepláren vidí řešení v přechodu na biomasu, konkrétně na dřevní štěpku, zejména v zdánlivě snadnému retrofitu, kotelny, spalínovodů a palivového hospodářství [12]. Ekonomickou výhodu provozu zvyšuje i skutečnost, že daný materiál nepodléhá emisním povolenkám  $\text{CO}_2$  [12, 13].

## 2. Experimentální část

Výklad vyhlášky 477/2012 sb. [14] hovoří o stabilizovaném čistírenském kalu jako o podporovaném typu biomasy, konkrétně kategorie 2, a povoluje jeho využití ve spalovacích procesech jak za účelem výroby tepla, tak i elektrické energie.



**Obr. 1** Produkce a využití čistírenského kalu v ČR  
**Fig. 1** Production and utilization of sewage sludge in CZ

Ve spolupráci se společností VaK (Vodovody a kanalizace) Mladá Boleslav, s.r.o., která provozuje čistírnu BČOV pro Mladou Boleslav, a Ško-Energo, s.r.o. provozující teplárnu, proběhla jednání s cílem energetické likvidace kalu právě na teplárně. Teplárna disponuje kotlí umožňující spalovat tuhá a pevná paliva, přičemž pevná paliva aktuálně spaluje v energetickém poměru 70 % hnědé uhlí (lom Bílina) a 30 % peletizované fytoomasy. Podnik je zároveň v procesu transformace palivové základny na vysoký podíl biomasy, proto možnost diverzifikace o další typ paliva vnímá kladně.

Kotelna je vybavena dvěma fluidními kotli s cirkulující vrstvou (K80 a K90) o celkové produkci páry 280 t·h<sup>-1</sup> (140 t·h<sup>-1</sup> jeden kotel) o parametrech 535 °C a 12,5 MPa. Kotle disponují technologií SNCR (selektivní nekatalytické redukce) pro redukci NO<sub>x</sub>, suchou metodou odsíření a odstranění pevných částic za pomoci tkaninových filtrů. Teplota uvnitř ohniště se pohybuje okolo 850 °C. Zauhlování ze skládky do vnitřních palivových sil probíhá pomocí pásových dopravníků, mezi vnitřními silami a kotlem jsou instalovány redlerové dopravníky. Fytopelty jsou kamiony dopraveny do separátní výsypky, odkud jsou tlakovým vzduchem dopraveny do vnitřních sil. Dávkování peletek do kotle probíhá rovněž pneumaticky.

Kal byl vyprodukovan na BČOV v Mladé Boleslavi, odkud byl převezen na sušárnu ČOV v Karlových Varech. Tato ČOV disponuje nízkoteplotní pásovou sušárnou technologie STC Aqualogy. Provozní parametry této technologie jsou uvedeny v tab. 1 [15]. Následně byl zpracovaný kal o celkové hmotnosti 11,01 t převezen ve dvou velkoobjemových vanách do teplárny v Mladé Boleslavi. Kvalitativní parametry kalu zpracovaného danou technologií v porovnání s běžně dodávanou dřevní štěpkou a hnědým uhlím jsou uvedeny v tab. 2. Laboratorní testy kalu byly provedeny podle příslušných norem [16–21].

**Tab. 1** Provozní parametry sušárny STC Aqualogy v Karlových Varech

**Tab. 1** Operation parameters of STC Aqualogy dryer in Karlovy Vary

Projektovaná kapacita	6 000	t ·rok <sup>-1</sup>
Vstupní sušina (ar)	22-23	%hm.
Výstupní sušina (ar)	> 90	%hm.
Sušicí teplota	78	°C
Odpařovací kapacita	> 558	kg <sub>vody</sub> ·h <sup>-1</sup>
Tepelný příkon jmenovitý	558	kW
Elektrický příkon	75	kW
Chladicí voda (20 °C)	max. 60	m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>

**Tab. 2** Porovnání vybraných parametrů dřevní štěpky, hnědého uhlí a vysušeného čistírenského kalu v původním vzorku

**Tab. 2** Comparison of parameters of wooden chips, brown coal and dried sewage sludge (ar)

Původní vzorek	kal	hnědé uhlí	dřevní štěpka	
Výhřevnost	10,70	18,65	10,00	MJ·kg <sup>-1</sup>
Obsah popelovin	39,08	5,59	4,07	%hm.
Prchavá hořlavina	48,15	39,94	50,82	%hm.
Fixní uhlík	8,13	22,79	12,78	%hm.
Obsah vody	4,64	29,13	32,33	%hm.
Obsah síry	1,35	1,04	-	%hm.
Obsah chlóru	0,10	-	-	%hm.
Sypná hmotnost	375	780	200-350	kg·m <sup>-3</sup>
Obsah dusíku	3,99	0,56	0,18	%hm.
Obsah vodíku	4,08	3,53	3,96	%hm.
obsah uhlíku	26,00	40,78	31,34	%hm.

Naměřené hodnoty jsou zpracovány řídicím systémem teplárny, emise jsou stanoveny přístrojem pro kontinuální měření Gaset CX4000 pracujícím na principu FTIR (infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací). Analyzátor je uzpůsoben pro měření ve vlhkém a korozivním prostředí při teplotách do 180 °C, přičemž teplota spalin v místě měření se obvykle pohybuje pod 150 °C. Řídicí systém reguloval technologii tak, aby byly splněny platné limity dané příslušnou legislativou [22-23].

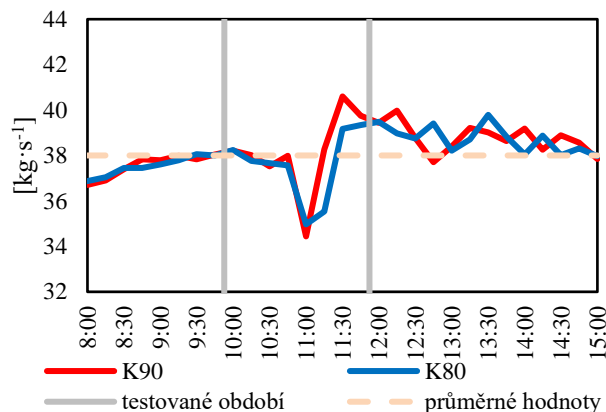
### 3. Výsledky a diskuse

Hlavním cílem provozní zkoušky bylo ověřit, zda je možné takto upravený kal spalovat ve stávající technologii, případně jestli i při relativně malém spalovaném množství kalu se projeví některé další výchylky parametrů. Z tohoto důvodu byla zkouška provedena na obou kotlích.

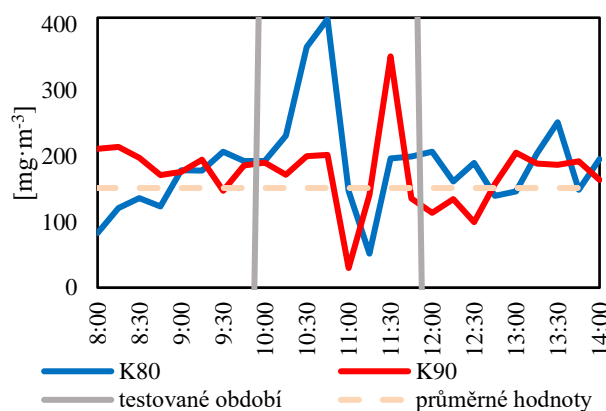
Provozní test začal v 8:30 zkouškou dopravy paliva do kotlů. Do výsypky bylo vyloženo malé množství kalu, které bylo následně dopraveno do vnitřního sila a po úspěšném vyhodnocení dopravy této části prošla stejnou zkouškou i doprava do obou kotlů. Pro tyto účely byla využita dopravní cesta fytopelet, tedy pomocí pneumatického dopravníkového systému. Jelikož doprava kalu byla vyhodnocena bez komplikací, došlo v 9:20 k zahájení vykládky zbývajících množství paliva a dopravy do zásobovacího sila.

V této části došlo k indikaci prvních problémů. Při vykládce byl kal nadměrně prašný. To zapříčinilo ztrátu kontroly hladiny paliva v zásobovacím silu, jež je vybaveno optickými senzory, které po celou dobu experimentu signalizovaly plně zaplněný zásobník. I z tohoto důvodu je čas ukončení zkoušky v přiložených tabulkách pouze přibližný. Jelikož je kapacita zásobníku vyšší než množství testovaného kalu, nepředstavovala zmíněná komplikace zásadní ohrožení provozní zkoušky.

K dávkování kalu do kotlů došlo před desátou hodinou. Řízení spalování proběhlo s ohledem na zachování požadavků výroby a plnění emisních limitů. Při začátku experimentu byly zachovány výkony dávkování paliva, které v běžném režimu odpovídají energetickému poměru hnědého uhlí ku fytopeletám 70:30. Vzhledem k odlišné výhřevnosti fytopelet a kalu byl energetický poměr hnědého uhlí ku kalu v počátku experimentu 77:23. Po zhruba půlhodině provozu byl identifikován prokazatelný pokles produkce páry ze 38 kg·s<sup>-1</sup> na 34 kg·s<sup>-1</sup>. Řídicí systém řešil vzniklou situaci zvýšením dávkování obou typů paliva, což mělo za důsledek dřívější vyprázdnění zásobního sila a tím pádem i ukončení experimentu. Výchylka v produkci je patrná na obr. 2. K další pozorované výchylce došlo při sledování emisí SO<sub>2</sub> ve spalinách. U kotle K80 došlo k prudkému zvýšení emisí z hodnoty okolo 150 mg·m<sup>-3</sup> až na 400 mg·m<sup>-3</sup>. Řídicí systém na tuto změnu reagoval zvýšením a následnou optimalizací provozu dávkování vápence, což je patrné na obr. 3. Znatelný nárůst v počátcích testování byl patrný pouze na kotli K80, nikoliv však na K90, zvýšené dávkování vápence však proběhlo do obou kotlů.

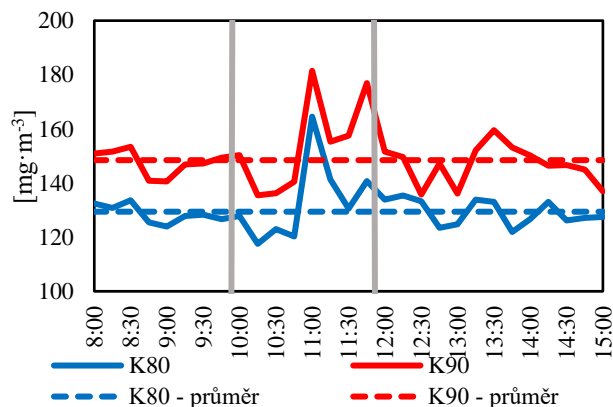


Obr. 2 Produkce páry  
Fig. 2 Steam production

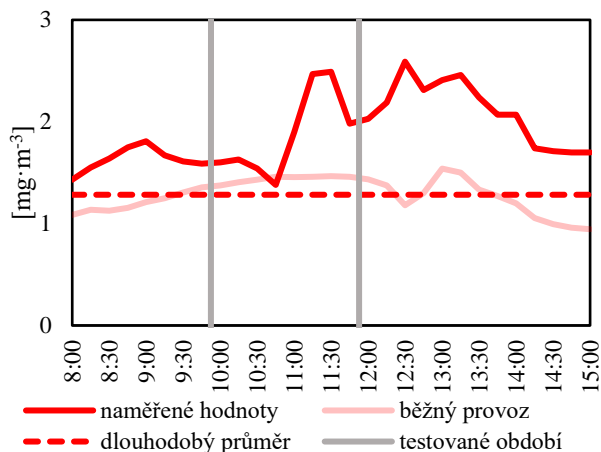


Obr. 3 Koncentrace SO<sub>2</sub> ve spalinovodu  
Fig. 3 SO<sub>2</sub> concentration in the flue gas

Výchylka od běžného stavu byla pozorována i ve zvýšeném množství NO<sub>x</sub> ve spalinách. Tato výchylka byla shodně pozorována na obou kotlích, systém reagoval zvýšením dávkování SNCR, což je patrné i na zvýšené koncentraci NH<sub>3</sub> (měřící místo ve spalinovodu společné pro spaliny z obou kotlů), která pochází právě z této technologie. Pozorované nárůsty jsou patrné na obr. 4 a obr. 5.



Obr. 4 Koncentrace NO<sub>x</sub> ve spalinovodu  
Fig. 4 NO<sub>x</sub> concentration in the flue gas



**Obr. 5** Koncentrace  $\text{NH}_3$  ve spalínovodu  
**Fig. 5**  $\text{NH}_3$  concentration in the flue gas

Mezi dalšími sledovanými parametry, jako je obsah  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$  nebo teplota ve spalínovodu, systém nezaznamenal výraznějších změn, u kterých by bylo možno konstatovat, že byly zapříčiněny spalováním kalu. Výraznějších výchylek dosahovalo množství prachu odložené na tkaninovém filtru. Z naměřených hodnot a trendů však nelze konstatovat, že za zvýšením tohoto parametru může právě spalování kalu. K ukončení testovacího provozu došlo zhruba v 11:45, následně došlo k naplnění zásobních sil peletizovanou fytomasou a k návratu do standardního režimu provozu. Porovnání maximálních výchylek emisí a produkce páry během zkoušky s dlouhodobými průměry jsou patrné v tab.3.

**Tab. 3** Porovnání maximálních výchylek emisí  
**Tab. 3** Comparison of maximum emission deviations

	původní stav [ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	max. výchylka [ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
K80 – $\text{NO}_x$	127,85	164,52
K90 – $\text{NO}_x$	148,45	181,46
K80 – $\text{SO}_2$	189,91	407,98
K90 – $\text{SO}_2$	201,44	351,27
CO	13,84	15,54
$\text{NH}_3$	1,38	2,47
	[ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	[ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
K80 – produkce páry	38,17	34,97
K90 – produkce páry	38,17	34,44

#### 4. Závěr

Vzhledem k národní a evropské politice v otázkách změny klimatu a odstupu od uhlí přechází řada provozovatelů energetických celků na substituci fosilních paliv biomasou. Dostatečně vysušený stabilizovaný čistírenský kal má sice kvalitativně horší parametry než biomasa, přesto je jeho energetické využití možné.

Provozní zkouška byla vyhodnocena kladně a z technologického hlediska není problém takto upravený kal v současném zařízení spalovat. Bylo patrné zvýšení emisí  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_x$ , což je zapříčiněno vyšším obsahem síry a dusíku v palivu (oproti referenčně spalované peletizované fytomase) a potvrzuje to konstatování uvedené v literatuře v úvodní části článku. Každopádně obě tato zvýšení byla efektivně regulována řídicím systémem a příslušnými technologiemi. Pokles produkce páry je pravděpodobně zapříčiněn nižší výhřevností materiálu oproti referenční palivové směsi.

Jako komplikace se jeví granulometrie a zvýšená prašnost kalu v dopravním systému. Bylo uvažováno, že za zvýšenou prašnost může skutečnost, že vysušený kal po příjezdu nebyl vysypán do technologie, ale v rádech jednotek dnů byl ve velkoobjemových vanách odložen před technologií. Nutno ale dodat, že po celou dobu byly vany přikryté neprodyšnou plachtou.

Z hlediska provozovatele teplárny se jeví možnost diverzifikovat svůj palivový mix lukrativně, zvláště o materiál, který má vlastnosti srovnatelné s biomasou a je možné ho i tak legislativně kvalifikovat [13, 14]. Vnímána je pozitivně i skutečnost, že popel z monospalování kalu, popřípadě ze spoluspalování s jiným materiálem klasifikace biomasy, bude díky kalu obohacen o fosfor, čímž se zvýší jeho potenciál využití na zemědělské půdě.

Přestože je možné tento kal považovat za biomasu, je nutné na situaci pohlížet i z hlediska zákona 541/2020 Sb. o odpadech [24]. Nutno dodat, že kal z čistíren odpadních vod má v katalogu odpadů své zařazení (19 08 05) [25]. Z tohoto hlediska je na kal pohlíženo jako na odpad, což znemožňuje jeho energetické využití na teplárnách, neboť nedisponují integrovaným povolením pro spalování odpadu a technologické změny nutné k jeho dosažení jsou již zásadní a nákladné. Možná změna by mohla nastat s novou vyhláškou Ministerstva životního prostředí ČR, kterou se stanoví kritéria, při jejichž splnění přestává být tuhé alternativní palivo odpadem. Na této vyhlášce ministerstvo od roku 2021 pracuje.

#### Poděkování

Článek vznikl ve spolupráci s teplárnou společností ŠKO-ENERGO, s.r.o. v Mladé Boleslavi. Tento výstup vznikl rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu–projekt č. A2\_FT0P\_2022\_002.

#### Literatura

1. Záborská J.: Technologie stabilizace čistírenského kalu s hygienizačním účinkem, Odpadové fórum (2004)
2. Směrnice evropské rady 1999/31/ES o skládkách odpadů
3. Wanner F.: Nakládání s čistírenskými kaly v České republice, SOVAK, Praha 2019
4. Český statistický úřad, Vodovody, kanalizace a vodní toky v letech 2009–2018

5. Vyhláška č. 273/2021 o podrobnostech nakládání s odpady
6. Hartig K.: Problematika kalového hospodářství, Vodní hospodářství (2017)
7. Werther J., Ogada, T.: Sewage sludge combustion, Progress in Energy and Combustion Science 25, 55-116 (1999), doi:10.1016/S0360-1285(98)00020-3
8. Nadziakiewicz J., Koziol M.: Co-combustion of sludge with coal, Applied Energy 75, 239-248 (2003), doi: 10.1016/S0306-2619(03)00037-0
9. Leckner B., Åmand L-E., Lücke K., Werther J.: Gaseous emissions from co-combustion of sewage sludge and coal/wood in a fluidized bed, Fuel 83, 447-486 (2004), doi: 10.1016/j.fuel.2003.08.006
10. Batistella L., et al.: Gaseous emissions from sewage sludge combustion in a moving bed combustor, Waste Management 46, 430-439 (2015), doi: 10.1016/j.wasman.2015.08.039
11. Li H., Li Y., Jin Y.: Gaseous Emissions from the Co-combustion of Wet Sludge and Coal, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 37, 2064-2072 (2015), doi: 10.1080/15567036.2012.666622
12. Hanzlík V., Javůrek V., Smeets B., Svoboda D.: Klimaticky neutrální Česko, McKinsey & Company, Praha 2020
13. European Commission: Guidance on Biomass Issues in the EU ETS, Brusel 2017
14. Vyhláška č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů
15. Vodohospodářský podnik, a.s.: ČOV Karlovy Vary – sušení kalu, <http://www.vhp.cz/>, staženo 31.3.2022
16. ČSN ISO 562: Stanovení prchavé hořlaviny
17. ČSN 44 1377: Stanovení obsahu vody
18. ČSN ISO 1171: Stanovení popela
19. ČSN ISO 1928: Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti
20. ČSN ISO 29541: Stanovení obsahu veškerého uhlíku, vodíku a dusíku – instrumentální metoda
21. ČSN EN ISO 16994: Stanovení obsahu celkové síry a celkového chloru
22. Zákon 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší
23. Vyhláška č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečištění a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší
24. Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech
25. Vyhláška č. 8/2021 Sb. o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů

## Summary

### *Co-combustion of Sewage Sludge in the Coal-Fired Heating Plant*

*Ondřej Hlaváček*

Due to greening of production of electricity and heat some owners of heating plant are changing their fuel mix from fossil fuels to biomass one. The stabilized sewage sludge is in this biomass category as well. New Czech national legislation limits are stricter in parameters of biological activity, so the owners of water treatment plant are looking for new utilization of their stabilized sludge. There are some possibilities in combustion or co-combustion of this sludge in currently heating plant.

The article describes the trial test of stabilized sludge combustion on heating plant technology. The heating plant is originally designed for combustion of brown coal. The stabilized sludge was produced at the municipal wastewater treatment plant, from where it was transported to low-temperature (78 °C) drying technology, from where it was transported in granular form to the heating plant in Mladá Boleslav. The fuel mixture of trial test was in energetic ratio of 23% dried sludge and 77% brown coal. The sludge was transported into the boilers by pneumatic conveying, which is used in normal operation for conveying pelletized phytomass. The result shows an increase in SO<sub>2</sub> emissions from the original 189.91 mg·m<sup>-3</sup> to 407.98 mg·m<sup>-3</sup> and an increase in NO<sub>x</sub> emissions from 148.45 mg·m<sup>-3</sup> to 181.46 mg·m<sup>-3</sup>. There were also detected increasing NH<sub>3</sub> emissions due to reaction of control system in SNCR technology od decreasing of NO<sub>x</sub> emissions. The trial test was done during full operation of the heating plant. During the test there was also a lower steam production, from originally 38.17 kg·s<sup>-1</sup> to 34.44 kg·s<sup>-1</sup>, which is related to the lower LHV compared to the reference fuel. There were no major operation problems, except higher dustiness during unloading of sludge.

Finally, the Czech legislative problems associated with the combustion of stabilized sewage sludge are mentioned. In the current system, the sludge is established as waste, which forbids the combustion of it in conventional heating plants, even though all emission legislative limits are complied with. Nowadays the Ministry of the Environment of the Czech Republic is working on new regulation, which will determine new category of solid alternative fuels and it will be solution of this situation.