České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní

Odborné posouzení možností spalování odpadu o velmi nízké výhřevnosti

Posudek vyžádal:

ČAOH
Pod Pekárnami 157/3,
190 00 Praha 9
IČ: 66001536
DIČ: CZ66001536

Posudek zpracoval:

ČVUT v Praze
Fakulta strojní, Ústav energetiky
Technická 4
166 07 Praha 6
IČ: 68407700
DIČ: 68407700

Zpráva obsahuje: 12 stran

Vypracoval:

Prof. Ing. František Hrdlička, CSc.
Ing. Jan Opatřil, Ph.D.

Datum vydání: 5/2016

Fakulta strojní
Ústav energetiky
Technická 4, 166 07 Praha 6
tel.: (+420) 224 352 544
fax.: (+420) 224 353 705
energetika.cvut.cz
IČ: 68407700
DIČ: CZ68407700

Obsah

Spalování odpadu v ČR 3
Hranice spalitelnosti odpadu 3
Výhřevnost paliva 4
Postup stanovení teploty nechlazeného plamene a podmínky výpočtu 5
Vliv předehřevu spalovacího vzduchu 6
Požadované vlastnosti paliva 6
Energetické využití odpadu 8
Využitelnost materiálů s výhřevností 4 až 6 MJ/kg v energetice 9
Paliva pro energetické zdroje v ČR 9
Výhřevnost a spalné teplo 10
Závěr 11
Zdroje 11

Spalování odpadu v ČR

Na území české republiky se aktuálně nachází v provozu tři zařízení pro energetické využití odpadů a to ZEVO Malešice, SAKO Brno a Termizo Liberec. [1] Dalším zařízením je spalovna Chotíkov, kde již byl zahájen zkušební provoz. Pro spalování je zcela zásadním parametrem výhřevnost, která se v případě běžného netříděného komunálního odpadu obecně udává na úrovni 8 až 12 MJ/kg, někdy 9 až 11 MJ/kg. Významným vlivem ve vztahu k výhřevnosti odpadu ale hraje úroveň třídění vybraných komodit (papír, plast, atp.), kdy s intenzifikací separace dochází ke značné změně výhřevnosti zbytkového komunálního odpadu. Během 10-ti let se vlivem separace výhřevnost snížila více jak o 10% a tento trend stále pokračuje.

Dle výše uvedeného rozpětí je vstupní materiál relativně dobře spalitelný. Nicméně problémem je značná nehomogenita vstupního materiálu, respektive kolísavá výhřevnost. Částečně lze odstranit promícháváním, ale i přesto jsou výkyvy relativně velké. Energetická zařízení jsou vždy navrhována na dané rozpětí vlastností paliva. Přechod na nové palivo nemusí být vždy realizovatelný bez velkých zásahů do zařízení znamenajících nemalé investiční náklady. Nelze tedy libovolně energeticky využívat odpad rozdílných parametrů. Respektive parametrů, na které nejsou zařízení pro energetické využití odpadu (ZEVO) navrženy.

Spalování odpadu je specifické legislativními požadavky na emise a také na dodržení doby setrvávání spalin v teplotách přesahujících 850°C alespoň dvě sekundy za posledním přívodem spalovacího vzduchu, případně 1100°C pro nebezpečné odpady, podrobnosti uvádí předpis 354/2002 Sb. Kotle pro spalovny odpadů jsou obvykle konstruovány jako vícetahové s adiabatickým ohništěm, kde nedochází k ochlazování spalin. Pro zajištění stabilního procesu hoření a zároveň splnění legislativních požadavků je nezbytné dodržet jistou kvalitu paliva a to z pohledu výhřevnosti, obsahu vody a popelovin.

Hranice spalitelnosti odpadu

Stanovení hranice spalitelnosti odpadu je možné najít pomocí stanovení adiabatické teploty plamene. Tato teplota je stanovena jako teplota v ohništi bez odvodu tepla. V reálném zařízení dochází vždy k odvodu tepla, a proto jsou výsledky lehce posunuty. Respektive takto stanovená hranice spalitelnosti je nižší, než které lze reálně dosáhnout. Je nezbytné, aby byli splněny výše zmíněné legislativní požadavky. Proto je hranice spalitelnosti určena pro výhřevnost odpovídající adiabatické teplotě spalin 850°C.

Pro případ adiabatického ohniště lze na základě výpočtu teploty nechlazeného plamen dojít k limitním charakteristickým parametrům odpadu, který je možno energeticky využít bez potřeby přivedení dalšího paliva, tzv. spoluspalování.

V následujících výpočtech je uvažováno s parametry paliva, které vychází z obecně uváděných charakteristik prvkového složení hořlaviny odpadu, viz *tab. 1*. [2]

Dále v textu se vyskytuje horní index r, který značí původní stav paliva, d – bezvodý stav, daf – odpovídá stavu bez vody a popelovin.

tab. 1 Vlastnosti hořlaviny odpadu, převzato z [2]

	W^r	A^d	C^{daf}	H^{daf}	S^{daf}	N^{daf}	O^{daf}	$Q_S^{daf\ 1}$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[MJ/kg]
KO1	10 – 60	20 – 60	52	7	0,3	0,6	40,1	22,5

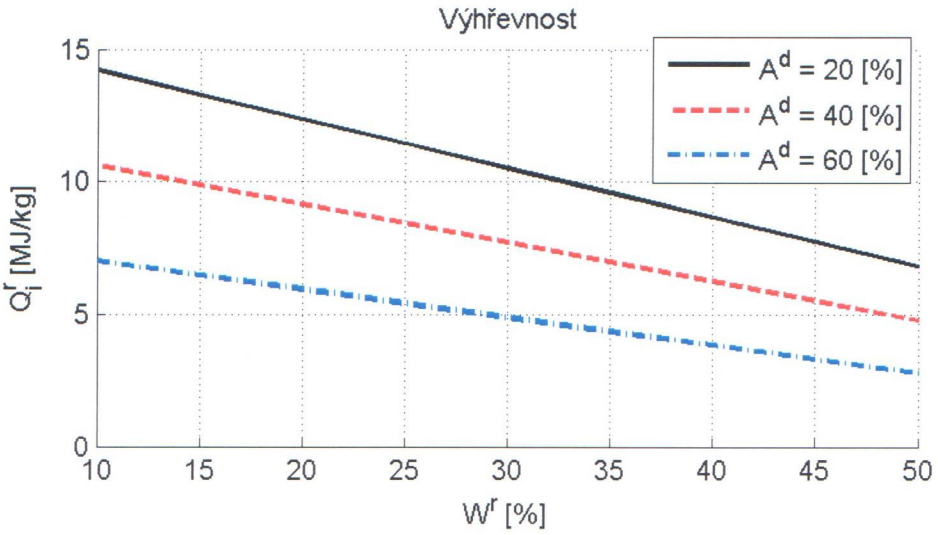
1 – spalné teplo hořlaviny

Výhřevnost paliva

Prvním krokem je stanovení výhřevnosti paliva. Je možné přepočítat výhřevnost na základě známého spalného tepla hořlaviny, nebo využít některý z dostupných vztahů založených na prvkovém složení paliva. Pro výhřevnost je použito výpočtu dle Dulonga, který dle literatury [4] je vhodný i pro odpady s velmi dobrou přesností.

$$Q_i^r = 33{,}91 \cdot C^r + 121{,}42 \cdot H^r - 15{,}18 \cdot O^r + 10{,}47 \cdot S^r - 2{,}45 \cdot W^r \ [MJ/kg]$$

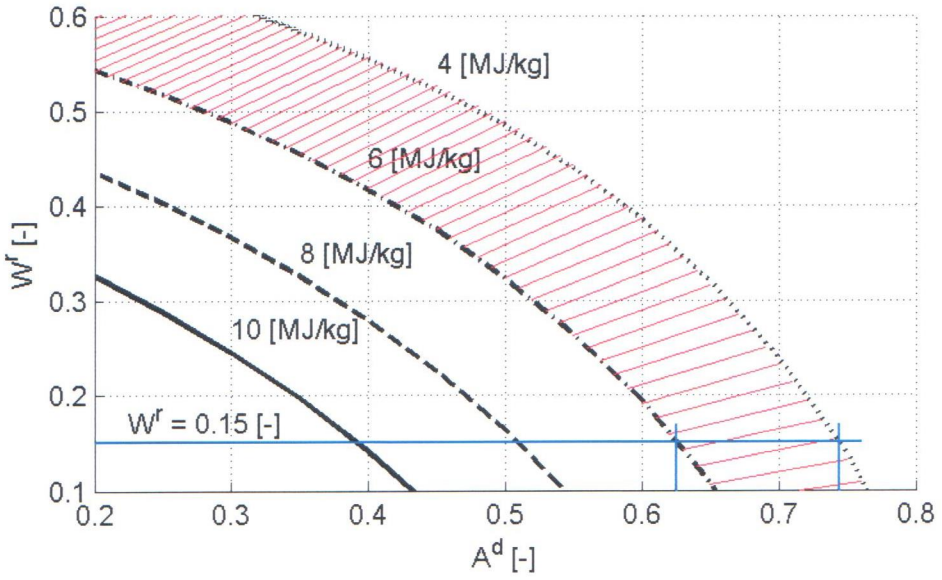
Výhřevnost je stanovena pro rozmezí obsahu vody W^r od 10 do 60 % a tři referenční obsahy popela v sušině A^d (20, 40 a60 %), viz *obr. 1*.



obr. 1 Výhřevnost paliva Q_i^r

Dále je vytvořen diagram ukazující vliv obsahu popela a vody na výhřevnost, viz obr. 2. Z diagramu je zřejmé, že palivo v intervalu 4 až 6 MJ/kg vykazuje extrémně vysoký obsah vody a samozřejmě i popela. Pro danou výhřevnost lze dohledat odpovídající množství vody a popela v sušině. Referenčnímu obsahu vody 15 % tedy odpovídá **62,5 %** obsahu popelovin v sušině při výhřevnosti 6 MJ/kg, respektive **74,4 %** popelovin při 4 MJ/kg.

Fakulta strojní
Ústav energetiky
Technická 4, 166 07 Praha 6
tel.: (+420) 224 352 544
fax.: (+420) 224 353 705
energetika.cvut.cz
IČ: 68407700
DIČ: CZ68407700



obr. 2 Diagram výhřevnosti

Postup stanovení teploty nechlazeného plamene a podmínky výpočtu

Postup výpočtu vychází z metodiky uvedené v literatuře [3], kde je uveden podrobnější popis dílčích postupů. Nejprve je třeba určit redukovanou výhřevnost Q_{ired}. Do této hodnoty je započítáno fyzické teplo paliva při 20°C a teplo přivedené cizím zdrojem Q_{cz}. Cizím zdrojem je například parní předehřev spalovacího vzduchu používaný ve spalovnách. Recirkulace spalin není do výpočtu zahrnuta.

$$Q_{ired} = Q_i^r + i_{pv} - Q_{cz}$$

Teplo uvolněné v ohništi Q_u odpovídá redukované výhřevnosti snížené o ztráty, teplu přivedenému ve spalovacím vzduchu Q_V a odečtu tepla přivedeného cizím zdrojem.

$$Q_u = Q_{ired}(1 - Z_{co} - Z_c - Z_f) + Q_v - Q_{cz}$$

Množství přivedeného vzduchu odpovídá referenční koncentraci kyslíku ve spalinách na úrovni 11 %.

Ztráta chemickým nedopalem Z_{CO} stanovena odpovídá emisnímu limitu oxidu uhelnatého CO pro spalování odpadů dle vyhlášky č. 415/2012 Sb. Referenčnímu obsahu kyslíku 11% odpovídá emisní limit CO 50 [mg/m^3].

Ztráty mechanickým nedopalem Z_C a fyzickým teplem tuhých zbytků Z_f jsou určeny na základě doporučení pro roštová ohniště dle literatury [3].

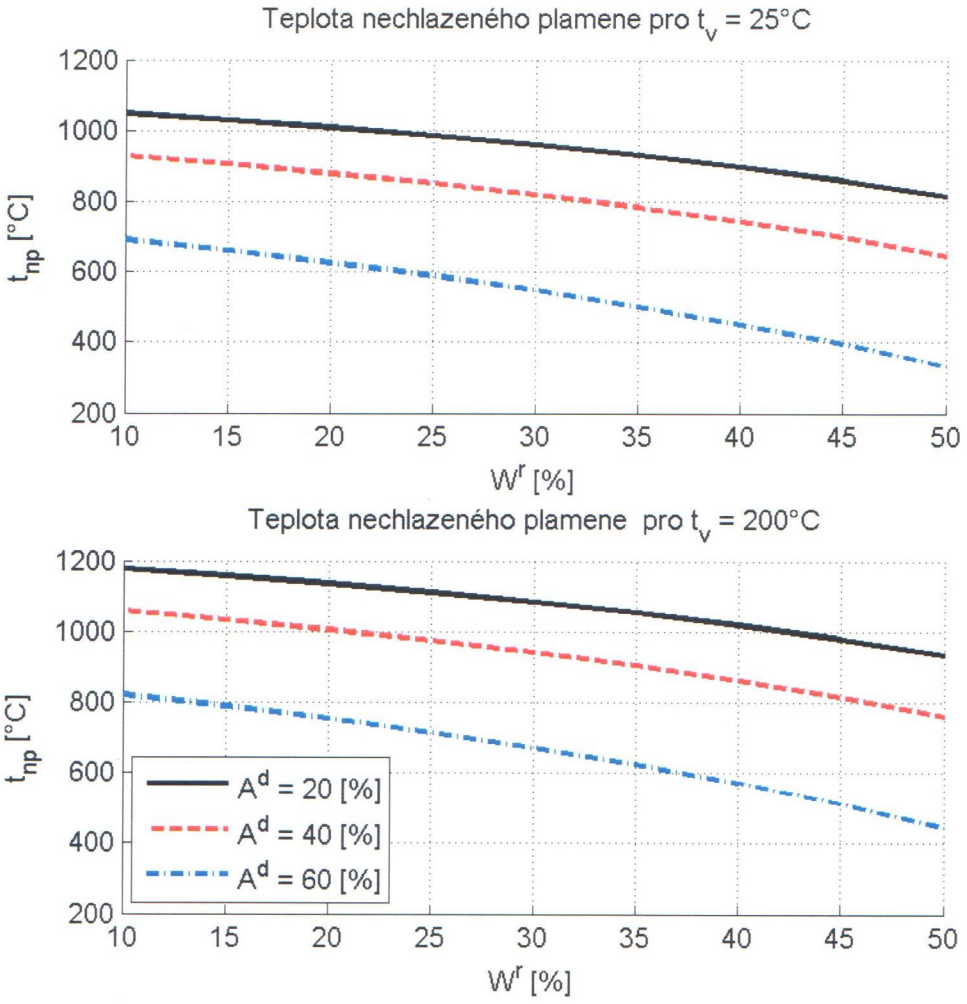
Následně teplota nechlazeného plamene t_{np} je vypočtena na základě entalpie nechlazeného plamene I_{np} odpovídající teplu uvolněnému v ohništi Q_u.

$$I_{np}^{t,\alpha} = Q_u$$

Vliv předehřevu spalovacího vzduchu

Teplotu nechlazeného plamene v ohništi lze zvýšit předehřevem přiváděného spalovacího vzduchu. Vzhledem ke specifickým vlastnostem paliva a nebezpečí zanášení ohříváku vzduchu, je předehřev obvykle řešen pomocí páry. Zde je třeba poznamenat negativní dopad na účinnost kotle. Dále je tedy zpracován případ s parním předehřevem vzduchu na 200°C.

Průběh teploty nechlazeného plamene v závislosti na obsahu vody pro tři stavy obsahu popela v sušině uvádí *obr. 3*. Zde je velmi dobře vidět posun teploty použitím předehřevu vzduchu.



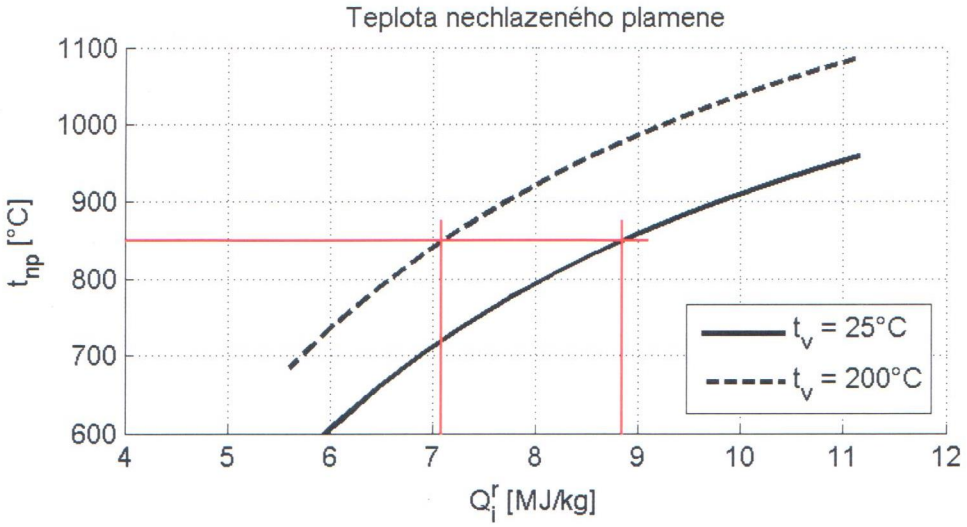
obr. 3 Průběh teploty nechlazeného plamene

Požadované vlastnosti paliva

Ke stanovení meze spalitelnosti na základě výhřevnosti je použito odpadu s referenčním obsahem vody 15 %. Na obr. 4 jsou uvedeny průběhy teploty nechlazeného plamene v závislosti na výhřevnosti pro oba dva případy. U zařízení bez předehřevu vzduchu je limitní hodnotou výhřevnosti 8,9 MJ/kg, kterému odpovídá přibližně 45,9 % popelovin v sušině. Zatímco předehřevem spalovacího vzduchu na 200°C se hodnota posouvá níže na 7,1 MJ/kg s odpovídajícím obsahem 56,2 % popelovin v sušině. Tyto hodnoty platí pro ohniště bez

odvodu tepla. V reálném zařízení vždy dochází k odvodu tepla z ohniště vyzdívkovými stěnami a hodnoty se posouvají výše. Při konzervativním odhadu odvodu tepla na úrovni 5% tepla uvolněného se hraniční výhřevnost posouvá řádově o 0,5 MJ/kg směrem nahoru (dle obsahu popela), tedy na úroveň 9,6 (A^d = 41,6 %) a 7,6 MJ/kg (A^d = 53,4 %).

Jak již bylo zmíněno výše, tak výhřevnost je možné také stanovit na základě přepočtu ze zadaného spalného tepla hořlaviny, přičemž tato hodnota vychází vyšší oproti empirickému vztahu dle Dulonga. Použitím tohoto postupu se limitní hodnoty posouvají na 8,5 MJ/kg, respektive na 7 MJ/kg (v ideálním případu bez odvodu tepla z ohniště).



obr. 4 vliv předehřevu vzduchu na teplotu nechlazeného plamene pro A^d = 40 %

Limitní hodnoty výhřevnosti a tomu odpovídající podíl popelovin v sušině pro čtyři varianty uvádí *tab. 2*.

V1 – Ideální případ bez odvodu tepla z ohniště, při teplotě spalovacího vzduchu 25°C

V2 – Ideální případ bez odvodu tepla z ohniště, při teplotě spalovacího vzduchu 200°C

V3 – S odvodem tepla z ohniště 5 %, při teplotě spalovacího vzduchu 25°C

V4 – S odvodem tepla z ohniště 5 %, při teplotě spalovacího vzduchu 200°C

tab. 2 Limitní vlastnosti paliva pro dodržení teploty 850 °C

		V1	V2	V3	**V4**
Q_i^r	[MJ/kg]	8,9	7,1	9,6	**7,6**
W^r	[%]	15	15	15	**15**
A^d	[%]	45,9	56,2	41,6	**53,4**

Fakulta strojní
Ústav energetiky
Technická 4, 166 07 Praha 6
tel.: (+420) 224 352 544
fax.: (+420) 224 353 705
energetika.cvut.cz
IČ: 68407700
DIČ: CZ68407700

Energetické využití odpadu

Palivo s výhřevností pod uváděnými limitními hodnotami nelze samostatně spalovat. Alternativou je spalování odpadu společně s kvalitnějším palivem o vyšší výhřevnosti. Účinným řešením je použití stabilizačních plynových hořáků. Nicméně spoluspalování naráží na požadavek „energetické účinnosti" dle směrnice 2008/98/ES pro zařízení na energetické využití odpadu. Výpočet energetické účinnosti definuje příloha č. 12 k zákonu č. 185/2001 Sb. Pro zařízení provozovaná před 1. lednem 2009 musí dosáhnout minimálně hodnoty 0,6 a zařízení novější 0,65. Podrobnosti výpočtu uvádí zmiňovaná příloha.

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

Přivedení dodatečného paliva má značný dopad i při použití velmi malého množství na výslednou účinnost a požadavek nelze plnit. Pro stabilní spalování odpadů s výhřevností na úrovni 4 až 6 MJ/kg je třeba přivést dodatečné teplo do ohniště, jehož množství je závislé na množství vody a popela.

Pro stanovení „účinnosti" bylo nezbytné stanovit několik základních parametrů a to na základě informací v dostupných zdrojích. Vlastní tepelná spotřeba bloku 6% vyrobeného tepla. Vlastní elektrická spotřeba bloku 500 kJ/kg paliva. Ve výpočtu nejsou zahrnuty odstávky. Podíl elektřiny z celkového vyrobeného množství energie se v zařízeních EVO v ČR pohybuje na úrovni 10%. [5], [6], [7] Zpracovány jsou dvě hodnoty výhřevnosti 4 a 6 MJ/kg pro tři obsahy popela v sušině. Dále je účinnost vždy stanovena pro dva případy. První η^1 uvažuje výrobu pouze tepla. Druhý zahrnuje kombinovanou výrobu tepla a elektřiny, s výše uvedeným podílem 10 %. Dále jsou použity stejné parametry jako u hranice spalitelnosti s předehřevem vzduchu na 200 °C. Výpočet je sestaven tak, aby bylo nalezeno množství zemního plynu (ZP), které je nezbytné do systému přivést pro zajištění stabilního spalování na požadované teplotě 850 °C. Vlastnosti ZP jsou převzaty ze zdroje [8].

Výsledky jednotlivých variant, které se liší složením vstupního paliva, sumarizuje tab. 3. Zde je patrné, že požadovaných hodnot dosahuje pouze varianta V63 s výhřevností 6 MJ/kg a obsahem 20 % popelovin v sušině. Je to způsobeno zanedbatelným množstvím přiváděného zemního plynu. U ostatních variant s narůstajícím množstvím ZP znatelně klesá účinnost vlivem rostoucí ztráty mechanickým nedopalem. Zde je zbytečné vyhodnocovat konkrétní varianty pro referenční obsah vody 15 %, a to v důsledku vysokého podílu popelovin.

tab. 3 Stanovení „účinnosti" dle přílohy č. 12 k zákonu č. 185/2001 Sb.

		V41	V42	V43	V61	V62	V63
W^r	[%]	38,5	55,5	65,15	19,4	41,7	54,35
A^d	[%]	60	40	20	60	40	20
Q_i^r	[MJ/kg]	4	4	4	6	6	6
t_{np}	[°C]	850	850	850	850	850	850
X_{zp}	[Nm^3/kg]	0,2846	0,2120	0,1711	0,1505	0,0557	0,0022
Q_i směs	[MJ/kg]	13,52	11,10	9,73	11,04	7,87	6,07
η_k	[%]	72,0	75,7	78,5	67,2	72,2	76,8
η^1	**[-]**	**0,090**	**0,199**	**0,283**	**0,194**	**0,453**	**0,713**
η^2	**[-]**	**0,202**	**0,316**	**0,405**	**0,285**	**0,548**	**0,812**

1 - výroba pouze tepla, 2 - výroba tepla a elektřiny

Kde X_{zp} je množství přivedeného ZP na kg odpadu, Q_i směs - výhřevnost směsi, η_k účinnost kotle, η^1 a η^2 účinnost stanovená dle postupu v příloze č. 12 k zákonu č. 185/2001 Sb.

Z provozního hlediska je důležitou poznámkou, že výsledky odpovídají stavu, kdy veškeré vyrobené teplo nalezne své uplatnění, což je problematické zejména v letních měsících. Reálně by v letních měsících docházelo ke snížení kapacity spalovaného odpadu tak, aby bylo dosaženo požadované účinnosti.

Využitelnost materiálů s výhřevností 4 až 6 MJ/kg v energetice

Mezi materiály s velmi nízkou výhřevností se řadí především čistírenské kaly, které jsou v ČR v malé míře spalovány. [9] Spalování čistírenských kalů je možné po odvodnění, obsahují přibližně 20% sušiny a 80 % vody. Nelze však hovořit o jejich energetickém využití, ale o termickém odstranění. Obecně materiály pod hranicí spalitelnosti nejsou v rámci energetiky efektivně využitelné, zabraňuje se tím pouze jejich skladování a v ČR nejsou ve významnějším měřítku využívány.

Paliva pro energetické zdroje v ČR

V rámci středních a velkých zdrojů je na území České republiky značná část produkce elektřiny a tepla původem z hnědého uhlí, které zajišťují čtyři společnosti. [1] Pro elektrárenské a teplárenské účely jsou obvykle využívány tzv. průmyslové směsi (PS), na jejichž parametry byly zdroje konstruovány. V poslední letech však dochází k částečnému nahrazení části konvenčního paliva alternativní biomasou. Obvykle se jedná o podíl na úrovni 10 až 20 %.

Ve velkých zdrojích je spalováno hnědé uhlí s výhřevností přibližně na úrovni 10 až 12 MJ/kg. S klesajícím jmenovitým výkonem zdrojů jsou obvykle používána kvalitnější paliva. Katalogové hodnoty výhřevnosti průmyslových směsí uvádí *tab. 4*.

tab. 4 Přehled průmyslových směsí hnědého energetického uhlí v ČR

		Směs	Výhřevnost Q_i^r [MJ/kg]
Severní energetická [10]		PS1	15,5
		PS2	14,5
		PS3	11,1
Severočeské doly [11]	Doly Bílina	PS1	15,0
		PS2	11,5
	Doly Tušimice	PS2	10,1
Sokolovská uhelná [12]	Divize Jiří	PS1	13,2
		PS2	12,7
		PS3	12,1
	Divize Družba	PS1	14,2
		PS2	12,5
		PS3	12,2
Vršanská uhelná 0		PS2	14,5
		PS3	11,1
	Hrabák	PS3	11,4

Výhřevnost a spalné teplo

Výše uvedené výpočty jsou vztahovány na hodnotu výhřevnosti z důvodů jasně definovaného vstupu a snazší práce v rámci energetických výpočtů. Spalné teplo původního vzorku Q_S^r je oproti výhřevnosti Q_i^r navýšeno o latentní teplo vzniklé kondenzací vodní páry ve spalinách. Ve spalovnách, ale i dalších energetických zdrojích větších výkonů, je teplota spalin na výstupu udržována nad rosným bodem, čímž nedochází ke kondenzaci a „získání" kondenzačního tepla. Rostoucí podíl vody se negativně projeví na rostoucí ztrátě fyzickým teplem odchozích spalin. Z pohledu energetické účinnosti kotle se jedná o ztrátu nejvýznamnější. Spalné teplo v původním vzorku tedy není vhodnou veličinou pro charakteristiku paliva a to z důvodu, že nezohledňuje poměr mezi obsahem vody a popela, který má zřejmý dopad na účinnost kotle.

Pro složení hořlaviny uvedené v *tab. 1* bude spalné teplo $Q_S^r = 9$ MJ/kg při podílu vody $W^r = 10$ % a popela $A^r = 50$ % (v původním stavu). Stejná hodnota odpovídá také obrácenému podílu vody a popela. Významný rozdíl nastává pro výhřevnost a to 0,9 MJ/kg v neprospěch paliva s vyšším obsahem vody, které odchází se spalinami.

tab. 5 Porovnání spalného tepla a výhřevnosti

	Q_S^r [MJ/kg]	Q_i^r [MJ/kg]
$W^r = 10$ %; Ar = 50 %	9	8,1
$W^r = 50$ %; Ar = 10 %	9	7,2

Pro charakteristiku paliva by bylo možné použít spalného tepla vztaženého na vzorek bez vody (obvykle značeno horním indexem d). Nicméně v rámci energetiky je zvyklostí vztahovat výpočty k výhřevnosti a proto je její použití vhodnější.

Závěr

Hraniční hodnoty výhřevnosti byly stanoveny pro palivo s referenčním obsahem vody na úrovni 15 %. Při použití předehřevu vzduchu dochází ke zvýšení teploty v prostoru ohniště, přičemž zde ve variantě V4 bylo uvažováno s předehřevem vzduchu na 200°C a souběžně s množstvím odvedeného tepla 5 %. I přes toto opatření limitní výhřevnost dosahuje hodnoty **7,6 MJ/kg při obsahu popelovin v sušině 53,4 %**. Není možné samostatně spalovat odpad s nižší výhřevností a současně dodržet legislativní požadavek na 850°C za posledním přívodem vzduchu. Odpadu s výhřevností v rozmezí 4 až 6 MJ/kg, při referenční vlhkosti 15 %, odpovídá rozsah obsahu popelovin v sušině přibližně 63 až 74 %. Zde je nezbytné přivedení dalšího kvalitnějšího paliva. Možností je například stabilizace pomocí plynových hořáků, avšak takovéto opatření naráží na požadavek energetického využití odpadu. Na výše uvedených variantách (V41 až V63) bylo ukázáno, že i poměrně malé množství dodatečného paliva přivedeného do systému velmi negativně ovlivní požadovanou účinnost. Při nedodržení požadavku se již nejedná o energetické využití odpadů.

Zde uváděné výhřevnosti jsou minimální nikoliv průměrné, vzhledem ke zmiňovaným problémům s proměnlivou výhřevností bude potřebná hodnota výhřevnosti posunuta výše. Obdobně teplota 850°C je minimální a v podmínkách provozu je třeba se držet na vyšší úrovni.

Pouze pro srovnání, v rámci elektrárenského a teplárenského průmyslu je běžně využíváno uhlí s výhřevností na úrovni 10 až 12 MJ/kg. Podobné hodnoty jsou obecně udávány i pro výhřevnost komunálního odpadu a to 8 až 12 MJ/kg. Energetická zařízení jsou obvykle na dané hodnoty navrhována.

Zdroje

[1] Existující zařízení na energetické využití odpadu [online]. ENERGOSTAT. [27.4.2015]. Dostupné z: http://energostat.cz/zevo.html

[2] BORMAN G. L.,KENNETH R. W. *Combustion Engineering*. ISBN 0-07-115978-9.

[3] DLOUHÝ T. *Výpočty kotlů a spalinových výměníků*. ČVUT v Praze, 2007. ISBN 978-80-01-03757-7.

[4] BUCKLEY T. J., DOMALSKI E. S. *Evaluation of data on higher heating values and elemental analysis for refuse-derived fuels*. Dostupné z: http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/S2014/SHWPCE/Papers/SW-Incineration-Gasification/Buckley-Domalski1988-HeatingValue-RDF.pdf

[5] BALOCH T. Týden výzkumu a inovací pro praxi 2014 [online]. [27.4.2015] Dostupné z: http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2014/index.html

[6] Zpráva o provozu spalovny – environmentální profil za rok 2014[online]. TERMIZO, a.s. [27.4.2015] Dostupné z : http://www.termizo.mvv.cz/wp-content/uploads/2015/06/Environment%C3%A1ln%C3%AD-profil-2014_def.pdf

[7] SAKO výroční zpráva – 2014 [online]. SAKO Brno, a.s. [27.4.2015]. Dostupné z : http://www.sako.cz/vyrocni-zpravy/cz/

[8] FÍK J. *Základní fyzikální vlastnosti ZP (I)* [online]. TZB-info. [27.4.2015]. Dostupné z : http://www.tzb-info.cz/1921-zakladni-fyzikalni-vlastnosti-zp-i

[9] VALEČKO Z. *Čistírenské kaly lze spalovat, ale ne energeticky využívat*. BIOM.cz [27.4.2015]. Dostupné z : http://biom.cz/cz/odborne-clanky/cistirenske-kaly-lze-spalovat-ale-ne-energeticky-vyuzivat

[10] Katalog mosteckého hnědého uhlí [online]. Severní energetická a.s. [27.4.2015]. Dostupné z : http://www.sev-en.cz/cz/uhli/katalog-uhli.pdf

[11] Katalog hnědého uhlí 2014 [online]. Severočeské doly a.s. [27.4.2015]. Dostupné z : http://www.sdas.cz/dokumenty/Katalog_2014.pdf

[12] Katalog sokolovského hnědého uhlí a briket na rok 2009 [online]. Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s. [27.4.2015]. Dostupné z : http://www.suas.cz/uploads/14203015214980904 5aec37_1001625671497f08d8993a2_katalog_SUAS_09.pdf

[13] Katalog Mostecké uhlí [online]. Czech Coal Group. [27.4.2015]. Dostupné z : http://northtrade.cz/wp-content/uploads/Katalog_MHU_2012.pdf

V Praze dne 4. 5. 2015

Prof. Ing. František Hrdlička, CSc.

Ing. Jan Opatřil, Ph.D.