

ASSESSMENT OF EMISSION CHARACTERISTICS AT SELECT BIOFUELS

STANOVENÍ EMISNÍCH PARAMETRŮ U VYBRANÝCH BIOPALIV

Heneman P.¹⁾, Červinka J.¹⁾, Plíštil D.²⁾, Malat'ák J.³⁾

¹⁾ Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

²⁾ Katedra materiálu a strojírenské technologie, Česká zemědělská univerzita, Praha, Česká Republika.

³⁾ Katedra technologických zařízení staveb, Česká zemědělská univerzita, Praha, Česká Republika.

E-mail: heneman@mendelu.cz, ceuzt@mendelu.cz, plistil@tf.czu.cz, malatak@tf.czu.cz,

ABSTRACT

The aim of the measuring is the assessment of the emission levels of monitored matters in combustion gas, which are produced by combustion of various solid pressed biofuels. The combustion biofuels are pressed into the briquets (average 65 mm) and into the bale (average 1200 mm). During the measuring are monitored emission concentration of CO₂, CO, O₂, NO, NO₂, SO₂, Cl₂ and excess-air coefficient n. There are determined individual values of combustion characteristics below. There are made the graphically registration and evaluation of the results of emission parameters. The measuring of the emission parameters of pressed briquets was provided on combustion unit RETAP SK 2. Determination of the emission parameters of pressed bales was provide on combustion unit TFS 1000.

Keywords: emission, biofuels, combustion, air excess, stoichiometric calculations.

ABSTRAKT

Cílem měření je především stanovení emisních koncentrací sledovaných látek v produkovaných plynných spalínách různých typů lisovaných biopaliv. Spalovaná biopaliva jsou lisována jednak ve tvaru briket o průměru 65 milimetrů a ve tvaru balíků o průměru 1200 mm. Při vlastním měření jsou sledovány emisní koncentrace oxidu uhličitého (CO₂), oxidu uhelnatého (CO), kyslíku (O₂), oxidu dusnatého (NO), oxidu dusičitého (NO₂), oxidu siřičitého (SO₂), chlorovodíku (Cl) a součinitele přebytku vzduchu n. Dále jsou určeny jednotlivé hodnoty charakteristik spalování. Výsledky emisních parametrů jsou graficky zaznamenány a vyhodnoceny. Měření emisních parametrů lisovaných biopaliv ve tvaru briket se realizovalo ve spalovacím zařízení SK 2 od výrobce RETAP s.r.o. Stanovení emisních parametrů lisovaných biopaliv ve tvaru balíků se uskutečnilo na spalovacím zařízení TFS 1000 v obci Velký Karlov.

Klíčová slova: emise, fytopaliva, spalování, přebytek vzduchu, stechiometrické výpočty.

ÚVOD

Zjišťování emisních parametrů u vybraných biopaliv je prováděno na zhutněných biopalivech. Ta mohou být zhutněna do různých tvarů a za použití různých lisovacích tlaků. Použity jsou zhutněné materiály v podobě briket a v podobě balíků. Pokud biopaliva nejsou zhutněna do kompaktních tvarů, zabírají velký objem, zvyšují náklady na dopravu, přepravu a uskladnění. Při jejich hoření dochází k rychlému vzplanutí a předání jen části měrného tepla. Oproti tomu lisovaná biopaliva při hoření vydrží v topeništi déle.

Energetické využívání biomasy jako obnovitelného zdroje energie má celou řadu pozitivních aspektů a napomáhá řešit problémy nejen ekologické, ale i zemědělsko – lesnické (Antonelli, 1989). Palivo na bázi biomasy neobsahuje téměř žádnou síru a emise oxidu siřičitého. Ostatní škodliviny v emisích z fytopaliv jsou ve srovnání s emisemi z fosilních paliv příznivější. Podrobný popel z fytopaliv je možno z větší části použít jako hnojivo s příznivým obsahem vápníku, hořčíku, draslíku a fosforu (Sladký, Váňa, 2002).

Do roku 2010 se zvýší podíl obnovitelných a druhotných zdrojů energie ze současných 2,5 % na 3 – 6 %. To je ovlivněno vstupem České republiky do EU a čerpáním finančních podpor na obnovitelné zdroje energie. V dnešní době EU využívá 12 % obnovitelných zdrojů energie (Váňa, 2002).

MATERIÁL A METODIKA

Pro stanovení hmotnostních toků, emisních faktorů a charakteristik tuhých částic při termickém zpracování briket z biomasy je použit přístroj GA – 60. Jedná se o víceúčelový analyzátor kouřových plynů. Standardní vybavení představuje převodníky na analýzu těchto složek spalín: kyslík (O_2), oxid uhelnatý (CO), oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO_2), oxid siřičitý (SO_2) a chlorovodík (Cl). Přístroj GA – 60 umožňuje měřit jak teplotu okolí (t_{ok}), tak teplotu spalín (t_{sp}). Na základě těchto teplot a chemických parametrů provádí přístroj výpočet charakteristik spalování v rozsahu: komínová ztráta (q_a), účinnost spalování tepelně – technická (η_{kor}), přebytek vzduchu (n), dílčí ztráty. Pomocí přístroje je možné měřit přetlak i podtlak a zároveň diferenční tlak a tím i rychlost proudění spalín v kouřovodu. Dále umožňuje, na základě Bacharachovy metody, měřit i sazové číslo.

Výchozím bodem je stanovení jednotlivých stechiometrických výpočtů pro analyzovaná biopaliva. Při stechiometrických výpočtech se stanoví: výhřevnost biopaliv (Q_n) a spalné teplo (Q_s) podle ČSN 44 1352, teoretické množství kyslíku (O_{min}) a vzduchu (L_{min}) pro dokonalé spalování, skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování, hmotnostní a objemové množství vlhkých spalín (v_{sp}^v) a suchých spalín (v_{sp}^s), teoretické hmotnostní

a objemové množství suchých spalín (v_{spmin}^v), hmotnostní a objemové množství CO_2 , SO_2 , H_2O , N_2 , O_2 , teoretická hmotnostní a objemová koncentrace oxidu uhličitého ($\text{CO}_{2\text{max}}$) a oxidu siřičitého ($\text{SO}_{2\text{max}}$) v suchých spalínách. Stechiometrické výpočty umožňují dále vyjádřit teoretické koncentrace jednotlivých složek spalín v procentech hmotnostních a objemových a adiabatickou a teoretickou spalnou teplotu (Malat'ák, 2002).

Vedle chemických parametrů spalín umožňuje přístroj provádět GA – 60 též výpočty charakteristik spalování. Základní charakteristikou je tepelná ztráta, způsobena fyzickým teplem spalín odváděných do ovzduší (komínová ztráta q_a). Tato ztráta je počítána podle empirického vzorce:

$$q_a = (t_s - t_o) \cdot \left(\frac{A_2}{20,95 - O_{2M}} + B \right) \quad (1)$$

kde:

q_a ...komínová ztráta, t_s ...teplota spalín ($^{\circ}\text{C}$), t_o ...teplota okolí ($^{\circ}\text{C}$), A_2 ...konstanta závislá na palivu, B ...konstanta závislá na palivu, O_{2M} ...měřený obsah kyslíku.

Účinnost je pak stanovena jako rozdíl podle vzorce:

$$\eta = 100 - q_a \quad (2)$$

Takto vypočítaná účinnost předpokládá, že jediné snížení způsobuje komínová ztráta. Ostatní ztráty jako nedokonalé spalování, sálání apod. jsou zanedbány. Toto zjednodušení je přípustné pouze tehdy, jestliže komínová ztráta bude mnohem větší než součet zanedbaných ztrát.

Pro zpřesnění výpočtů lze použít další výpočet, zahrnující ztrátu chemickým nedopalem nebo též nedokonalým spalováním (%), stanovenou podle vzorce:

$$q_{CO} = \frac{a \cdot CO}{CO + CO_2} \quad (\%) \quad (3)$$

kde:

CO , CO_2 jsou naměřené resp. vypočítané obsahy složek v plynu, a ...je parametr zadaného paliva.

Výpočet této ztráty umožní korekci (zpřesnění) již dříve vypočítané účinnosti η pomocí vzorce:

$$\eta_{kor} = \eta - q_{CO} (\%) \quad (4)$$

Tato účinnost je nazývána tepelně technickou účinností spalování. Poslední charakteristika spalování, počítaná přístrojem, je přebytek vzduchu. Toto číslo ukazuje, kolikrát větší množství vzduchu je přiváděno do spalovacího prostoru ve srovnání s optimálním (stechiometrickým) množstvím. Přístroj počítá tuto hodnotu podle vzorce:

$$n = \frac{CO_{2MAX}}{CO_{2M}} \quad (5)$$

kde:

CO_{2MAX} ...je teoretická hodnota pro zadané palivo, CO_{2M} ...naměřená, respektive dopočítána, hodnota pro měřený režim.

VÝSLEDKY A DISKUSE

První měření ve spalovacím zařízení SK 2. V tab. 1 jsou veškeré teoretické výsledné hodnoty stechiometrie biopaliv udávány za tzv. normálních podmínek, tj. při teplotě $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlaku $p = 101,325\text{ kPa}$ a referenčním obsahu kyslíku ve spalínách $O_r = 13\%$.

Tab. 1: Teoretické výsledné hodnoty stechiometrie biopaliv

Biomass-briquette			Wood-shavings	Scorpion shell	Bark	Sorrel
Spalné teplo a výhřevnost biopaliv						
Q_n	Výhřevnost biopaliva podle ČSN 44 1352	kJ.kg^{-1}	17830	16184	16311	16859
Q_v	Spalné teplo	kJ.kg^{-1}	18960	17480	17620	18040
Prvkový rozbor biopaliv						
C	Hmotnostní podíl uhlíku v původním palivu	kg.kg^{-1}	0,47	0,44	0,46	0,46
H	Hmotnostní podíl vodíku v původním palivu	kg.kg^{-1}	0,042	0,0498	0,0533	0,045
O	Hmotnostní podíl kyslíku v původním palivu	kg.kg^{-1}	0,39	0,39	0,38	0,37
S	Hmotnostní podíl síry v původním palivu	kg.kg^{-1}	0,0003	0,0004	0,0003	0,0007
N	Hmotnostní podíl dusíku v původním palivu	kg.kg^{-1}	0,0026	0,0013	0,0029	0,0069
W	Obsah veškeré vody v původním palivu	kg.kg^{-1}	0,084	0,085	0,059	0,077
Objemové spalování						
O_{min}	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	0,85	0,82	0,88	0,85
L_{min}	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	4,03	3,89	4,200	4,07
n	Součinitel přebytku vzduchu ($O_2 = 13\%$ ve spalínách)	-	2,63	2,63	2,63	2,63

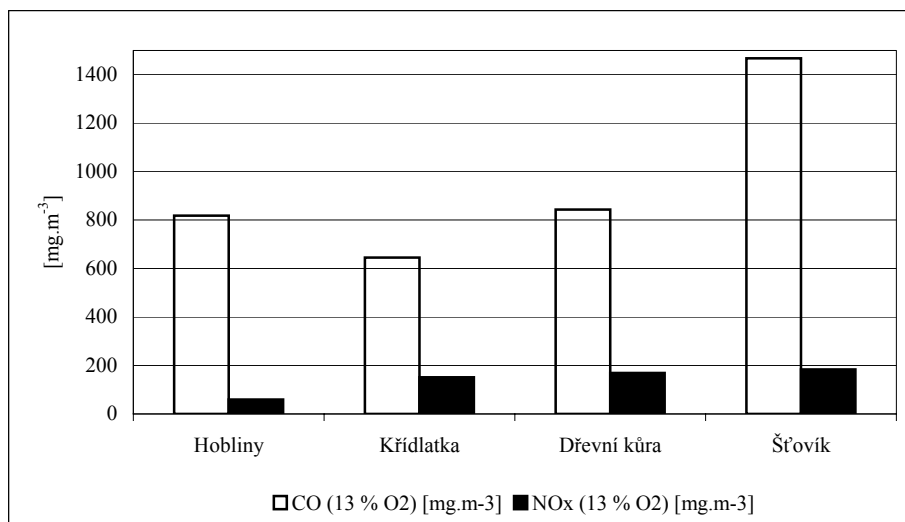
v_{sp}^v	Objemové množství vlhkých spalín	$m^3 N.kg^{-1}$	11,63	11,27	12,10	11,72
v_{sp}^s	Objemové množství suchých spalín	$m^3 N.kg^{-1}$	10,63	10,20	10,99	10,69
v_{spmin}^s	Teoretické objemové množství suchých spalín	$m^3 N.kg^{-1}$	4,03	3,85	4,13	4,041
Vyjádření jednotlivých složek spalín v % objemových						
CO_{2max}	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalínách	%	21,85	21,06	20,59	21,30
SO_{2max}	Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalínách	%	0,01	0,01	0,00	0,01
CO_2	Oxid uhličitý	%	7,61	7,22	7,05	7,38
H_2O	Voda	%	8,59	9,47	9,15	8,77
N_2	Dusík	%	71,12	70,70	71,12	71,16
O_2	Kyslík	%	11,84	11,77	11,84	11,85

Tab. 2: Výsledné průměrné emisní koncentrace kouřových plynů při spalování briket z biomasy stanovené analyzátozem GA – 60

Brikety	t_{ok}	t_{pl}	O_2	Přebytek vzduchu	CO_2	CO	CO (13 % O_2)	NO	NO (13 % O_2)	HCl	HCl (13 % O_2)	NO_x	NO_x (13 % O_2)
	[°C]	[°C]	[%]	[-]	[%]	[mg.m ⁻³]	[mg.m ⁻³]	[mg.m ⁻³]	[mg.m ⁻³]	[mg.m ⁻³]	[mg.m ⁻³]	[mg.m ⁻³]	[mg.m ⁻³]
Limitní hodnoty				pro 13 % $O_2=2,63$			650		650				
Referenční hobliny	17,00	391,50	12,70	2,49	5,78	578,50	817,75	31,47	38,65	39,03	47,93	48,25	59,26
Křídlatka	17,60	485,00	10,60	2,28	10,25	772,50	645,00	127,15	98,37	157,69	122,00	194,95	150,82
Dřevní kůra	17,00	417,90	11,72	2,49	5,76	580,50	843,00	88,87	110,24	110,22	136,71	136,30	169,01
Šťovík	14,30	429,80	12,85	2,34	4,99	916,4	1467,6	77,89	119,74	96,6	148,50	119,42	183,58

t_{ok} ...teplota okolí, t_{pl} ...teplota spalín, n z O_2 ...přebytek vzduchu vypočítaný z O_2 , n z CO_2 ...přebytek vzduchu vypočítaný z CO_2 , 13 % O_2 ...hodnoty přepočítané na 13 % kyslíku.

Obr. 1: Průměrné hodnoty koncentrací CO a NO_x přepočítané na 13 % O_2 při spalování biopaliv ve formě briket



Tab. 3. Průměrné hodnoty charakteristik spalování stanovené analyzátořem GA – 60

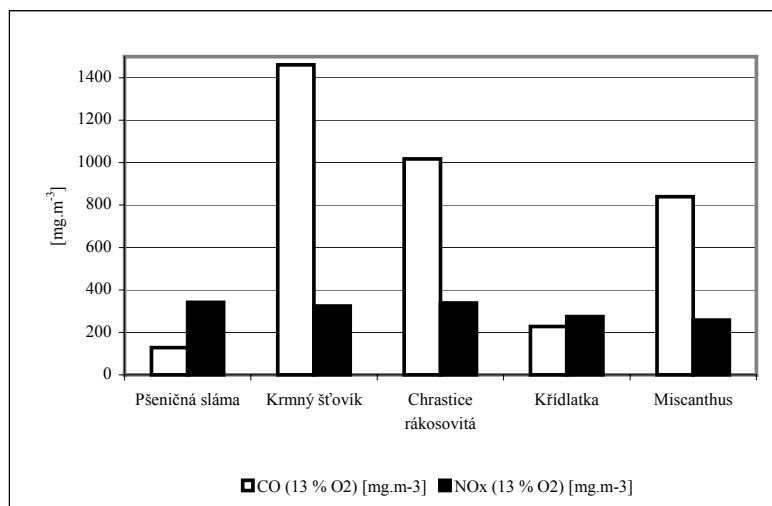
Biopalivo- brikety	Tepelná ztráta (2) [komínová ztráta q_a] [%]	Účinnost (3) [η] [%]	Tepelně technická účinnost spalováním (5) [η_{kor}] [%]	Součinitel přebytku vzduchu (6) [n]
Hoblíny	11,7	88,3	86,2	3,92
Křídlatka	14,8	85,2	83,5	2,24
Dřevní kůra	12,5	87,5	86,4	3,78
Šťovík	12,9	87,1	80,3	4,25

Druhé měření na spalovacím zařízení TFS 1000. V tab. 4 jsou veškeré teoretické výsledné hodnoty stechiometrie biopaliv udávány za tzv. normálních podmínek tj. při teplotě $t = 0^\circ\text{C}$ a tlaku $p = 101,325\text{ kPa}$ a referenčním obsahu kyslíku ve spalínách $O_r = 13\%$.

Tab. 4: Výsledky referenčního měření vybraných plynných emisí a tepelně – technických parametrů spalovacího zařízení TFS 1000 v centrálním tepelném zdroji obce Velký Karlov v roce 2003

Druh stébelnatých biopaliv	Tepelný výkon [kW]	O_2 [%] v/v	CO_2 [%] v/v	CO		NO_x		HCl		Teplota spalín C	Přebytek vzduchu	Tepelně technická účinnost spalování [%]
				[mg.mN ⁻³]	O_{2v} =13 [%] [mg.mN ⁻³]	[mg.mN ⁻³]	O_{2v} =13 [%] [mg.mN ⁻³]	[mg.mN ⁻³]	O_{2v} =13 [%] [mg.mN ⁻³]			
Limitní hodnoty					650		650				pro 13 % $O_2=2,63$	
Pšeničná sláma	550	12,7	9,4	106	128	283	342	252	388	92	3	94
Krmný šťovík	820	12,8	8,1	1203	1461	267	325	213	259	111	3	90
Chrástice rákosovitá	640	13,7	7,2	746	1018	248	338	198	270	110	3	90
Křídlatka	733	10,1	11	249	228	300	274	238	219	116	2	93
Miscanthus	760	14,5	6,3	543	839	167	258	133	206	114	3	89

Obr. 2: Průměrné hodnoty koncentrací CO a NO_x přepočítané na 13 % O_2 při spalování biopaliv ve formě balíků



DISKUSE

Mezi proměnnými faktory, které v praxi nejvíce ovlivňují tepelnou práci spalovacích zařízení, stechiometrii biopaliv, hmotnostní toky a emisní faktory, je součinitel přebytku spalovacího vzduchu a obsah veškeré vody v biopaliv (Price, 1998). Zjištěním základních stechiometrických vlastností biopaliv lze co nejefektivněji zvolit, navrhnout a zkontrolovat práci posuzovaných spalovacích zařízení (Malat'ák, 2003). Veškerá voda obsažená v biopalivu a součinitel přebytku vzduchu jsou prvotními faktory, které mohou významně ovlivnit tepelnou práci spalovacího zařízení (Bridgwater, Grossi, 1991). Vypočtené stechiometrické hodnoty se dále dosazují do výpočtu tepelných výkonů a ztrát spalovacích zařízení. Měření je provedeno v souladu s ČSN 07 0240, s ČSN 124070 a s ČSN 44 1310.

Měření emisních parametrů lisovaných biopaliv ve tvaru briket se realizovalo na spalovacím zařízení v laboratořích „Výzkumného ústavu zemědělské techniky“. Měření emisních parametrů lisovaných biopaliv ve tvaru balíků se uskutečnilo na spalovacím zařízení TFS 1000 v areálu Velký Karlov.

ZÁVĚR

Z energetických rostlin, které lze pěstovat v současné době, má největší potenciál produkce a tím i perspektivu rozvoje energetický šťovík a chrastice rákosovitá. Obdobně jako i v jiných pracích se ukazuje, že emisní parametry paliva tvořeného čistým šťovíkem však nemusí splňovat požadavky na použití v některých spalovacích zařízeních.

Ve spalovacím zařízení z Výzkumného ústavu zemědělské techniky, byl překročen limit $650 \text{ mg} \cdot \text{m}_\text{N}^{-3}$ u emisí oxidu uhlíku. Limit byl překročen u krmného šťovíku více jak 2,3x, u hoblin 1,25x, u křídlatky x a u dřevní kůry 1,3x.

Ve spalovacím zařízení ve Velkém Karlově, byl překročen limit $650 \text{ mg} \cdot \text{m}_\text{N}^{-3}$ u emisí oxidu uhlíku. Limit byl překročen u krmného šťovíku více jak 2,25x, u chrastice rákosovité 1,7x a u miscanthusu 1,3x. Problém je v rozdělení spalovacích vzduchů a pravděpodobně i v konstrukci vodou chlazené spalovací části. Základní příčinou je absence vhodného automatického regulačního systému, který by zaručil k optimu se co nejvíce blížící podíl palivo-vzduch důslednou regulací teplot ve spalovacím prostoru, CO , λ , O_2 .

Z tohoto měření jasně vyplývá, že pro snížení emisí je podstatně lepší spalovat ve spalovacích zařízeních balíky a ne brikety z energetických plodin.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

Antonelli, L.: Agricultural and forestry wastes. In: Energy from Biomass 4, Paestrum 1988, Elsevier Applied Science, London 1989, 485 s.

Bridgwater, A. V.; Grossi, G.: Biomass Pyrolysis Liquid Upgrading and Utilisation. ESP LTD, London 1991, 360 s.

Malat'ák, J.: Assessment of the Emission and Performance Characteristic at the Power Use of Solid Biomass in the Combustion Equipments with the Heat Output up to 100 KW. In.: International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, Bornova - Izmir 2003, Turkey 2003, s. 633 - 639

Malat'ák, J.: Stanovení hmotnostních toků, emisních faktorů a charakteristiky tuhých částic při termickém zpracování směsi organických odpadů a paliv rostlinného původu. Doktorská disertační práce ČZU v Praze, Praha 2002, 172 s.

Price, B.: Electricity from Biomass. Financial Times Energy, G. Britain 1998, 130 s.

Sladký, V.: Výroba sena v halových senících. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe. 1986, ÚVTIZ 16/1984, s. 74

ČSN 07 0240: Teplovodní a nízkotlaké parní kotle. ČNI Praha, Brno 1995, 64 s.

ČSN 44 1352: Stanovení spalného tepla a výpočet výhřevnosti. ÚNM Praha, Praha 1981, 23 s.

ČSN 83 4615: Stacionární zdroje emisí – Stanovení hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých částic v potrubí – Manuální gravimetrická metoda. ČNI Praha, Praha 1998, 24 s.

ČSN 83 4704: Stacionární zdroje emisí – Stanovení koncentrace emisí oxidů dusíku - Charakteristiky automatizovaných měřících metod. Praha 2001, s. 51 – 55

ČSN 44 1310: Tuhá paliva - Označování analytických ukazatelů a vzorce přepočtů výsledků na různé stavy paliva. ČNI Praha, Praha 2001, 65 s.

ČSN 83 5004: Kvalita ovzduší – Definice velikostních frakcí částic pro odběr vzorků k hodnocení zdravotních rizik. ČNI Praha, Praha 1997, 16 s.

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory grantu č. 31140/1313/313138, s názvem: Automatizované řízení dávkování briketovacího lisu s výstupem na mechanické vlastnosti finálního produktu. „Celouniverzitní interní grantová agentura České zemědělské univerzity v Praze“ a výzkumného záměru MZLU v Brně č. MSM 432100001.