

STANOVENÍ TEPELNĚ-EMISNÍCH VLASTNOSTÍ SMRKOVÉ ŠTĚPKY PŘI RŮZNÉM OBSAHU VODY V PALIVU NA ROŠTOVÉM TOPENIŠTI

DETERMINATION OF THERMAL EMISSION PROPERTIES OF SPRUCE CHIPS WITH DIFFERENT WATER CONTENT IN THE FUEL ON THE GRATE FURNACE

D. Černý¹, J. Malaták¹, J. Bradna²
Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze¹; VÚZT, v.v.i.²

Abstract

The aim of this paper is the experimental determination of the thermal emission properties of spruce chips with different water content in fuel for local energy use. The measurement priority is to determine the basic parameters of examined samples (elemental and stoichiometric analyzes). Furthermore there are monitored thermal-emission parameters of incinerator such as flue gas temperature and emission concentrations of carbon monoxide, carbon dioxide and nitrogen oxides depending on the operating conditions of combustion device with fixed grid. Evaluation of the measured values is carried out by regression analysis. The conclusion summarizes burning aspects of selected biomass fuel with increasing water content in the form of positives and negatives. The resulting emission concentrations and analyzes show how the crucial influence of water content in the fuel has on the whole combustion process. Increasing water content in the selected fuel leads to the following aspects: extend the time of the fuel combustion process, increasing excess air coefficient, exhaust gas cools down, thereby reducing the efficiency of the combustion device and the fuel efficiency.

Keywords: water content in the fuel, biomass, combustion, emissions, spruce chips

ÚVOD

Vzhledem ke snižování zásob fosilních paliv roste význam využívání obnovitelných zdrojů energie. Pro energetické účely z obnovitelných zdrojů ve formě biomasy se používají cíleně pěstované energetické plodiny nebo odpad organického původu (Andert et al. 2007).

Produkce organického odpadu je z hlediska množství v ČR významná zejména v oblasti zemědělské a lesnické činnosti. Pro energetické využití těchto produktů je důležité, aby spalovací proces probíhal za optimálních podmínek. Má-li se o biomase rozhodnout, zda je vhodná pro spálení v určitém typu spalovacího zařízení je zapotřebí znát takové vlastnosti biopaliv, které je dostatečně charakterizují. Z energetického hlediska je pro posuzování vhodnosti zásadní prvková a stechiometrická analýza (Malaták et al. 2009). Problematika emisí je velmi rozsáhlá a závažná, jedná se především o problematiku dokonalého spálení biomasy (Johansson, Olsson 2004). Pro energetické využití je zásadní sledovat především tepelné vlastnosti, jako je například výhřevnost (Ruzbarsky et al., 2014), ale i emisní koncentrace (Hájek et al., 2013). Mezi možnosti snižování těchto emisí patří zejména kontinuální dávkování, dostatečně vysoká teplota ve spalovací komoře, přívod sekundárních, popř. terciálních vzduchů, výběr optimální vlhkosti paliva (Kjallstrand, Olsson 2004).

Voda je obsažena v každém tuhém palivu. Podobně jako popeloviny je voda nehořlavou složkou paliva, která snižuje jeho tepelnou hodnotu, a proto je v palivu nežádoucí (Jevič et al. 2007). Článek vychází z hypotézy, že smrková štěpka při různém obsahu vody vykazuje při spalování emise odpovídající požadavku na spalování biomasy. Pro potvrzení či vyvrácení této hypotézy je nutné experimentální stanovení tepelně-emisních vlastností smrkové štěpky, která může být používána pro lokální energetické účely. Zásadní je stanovit základní parametry posuzovaných vzorků (prvková a stechiometrická analýza). Dále jsou sledovány tepelné parametry spalovacího procesu, jako teplota spalin a jednotlivé emisní koncentrace spalin v závislosti na provozních podmínkách spalovacího zařízení.

METODIKA

Metodika vychází z postupu práce, jde o přípravu vzorku, spalování a měření emisních koncentrací a provozních parametrů spalovacího zařízení. Další obsáhlou kapitolou je metodika použitá při analytickém zpracování naměřených hodnot a jejich syntéze.

Jako vzorek spalovaného biopaliva byla vybrána štěpka ze smrkového dřeva. Smrková polena určená ke spalování na roštovém topeništi byla zpracována ve

štěpkovači AL-KO 2500 na štěpku s délkou třísek 1 – 6 cm.

Základním úkolem je stanovit prvkový rozbor vzorku, kde prvky uhlík, vodík a dusík byly stanoveny na analyzátoru CHN Perkin-Elmer 2400. Pro stanovení chloru a síry byly vzorky spáleny v kyslíko-vodíkovém plameni na Wickboldově aparatuře. Nehořlavé látky paliv, tj. obsah popela a obsah veškeré vody, se určily spálením, resp. sušením příslušného vzorku. Spalné teplo posuzovaných vzorků paliv bylo určeno měřením v kalorimetru IKA 2000. Výhřevnost v práci byla určena výpočtem k čemuž byly využity výsledky elementární analýzy jednotlivých vzorků. Prvkový rozbor smrkové štěpky je uveden v tabulce 1.

Uskutečněné stechiometrické výpočty spalovacích procesů doplňují charakteristiky paliva. Při těchto výpočtech se stanovilo množství kyslíku (vzduchu)

potřebného k dokonalému spalování vzorku a měrná hmotnost spalin (viz tabulka 2). Uskutečněné výpočty jsou dosazeny do tepelně-emisního měření.

Připravený vzorek štěpky byl namočen do vodní lázně, kde dosáhl obsah vody v palivu na hodnotu 60 %. Takto upravená štěpka byla rozdělena na 5 dílčích vzorků o stejné hmotnosti, které byly následně sušeny v laboratorní sušičce MEMMERT UFE 800, byly dosaženy rozdílné obsahy vody ve vzorcích. Sušení proběhlo za teploty 105°C po dobu potřebnou k získání rozdílných hodnot vlhkosti vzorků. Obsah vody byl následně přeměřen vlhkostním analyzátozem OHAUS MB 25 (viz tabulka 2). V tabulce 2 je rovněž uvedena stechiometrická analýza vzorků za normálních podmínek a referenčního obsahu kyslíku ve spalinách pro vybrané parametry.

Tab. 1: Prvkový rozbor vzorku smrkové štěpky

Obsah vody (% hm.)	Popel (% hm.)	Hořlavina prchavá (% hm.)	Hořlavina neprchavá (% hm.)	Spalné teplo (MJ.kg ⁻¹)	Výhřevnost (MJ.kg ⁻¹)	Uhlík C (% hm.)	Vodík H (% hm.)	Dusík N (% hm.)	Síra S (% hm.)	Kyslík O (% hm.)
W	A	V	NV	Q _s	Q _i	C	H	N	S	O
14,28	2,77	75,55	14,65	18,74	17,16	43,56	5,88	0,17	0,01	33,29

Tab. 2: Stechiometrická analýza vzorků

	označení	štěpka smrk	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	jednotky
Obsah veškeré vody v původním palivu	W	0,1428	0,0318	0,0985	0,1576	0,311	kg.kg ⁻¹
Výhřevnost paliva podle ČSN 44 1352	Q _n	17 106	17 211	17 148	17 092	16 974	kJ.kg ⁻¹
Objemové spalování							
Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	L _{min}	4,31	6,33	5,89	5,51	4,50	m ³ N.kg ⁻¹
Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování	L _{skut}	9,06	13,29	12,37	11,56	9,46	m ³ N.kg ⁻¹
Teoretické objemové množství suchých spalin	v ^s _{spmin}	4,18	4,72	4,39	4,10	3,36	m ³ N.kg ⁻¹

Vzorky byly spáleny v krbových kamnech s obchodním označením CALOR firmy WAMSLER s ručním přikládáním. Pro roztopení ohniště a ustálení na provozní teplotu byla použita smrková polena. Po roztopení bylo započato měření plynovým

analyzátozem a postupně byly do ohniště přidávány vzorky štěpky.

Měření emisních koncentrací je provedeno na měřicím zařízení kouřových plynů Madur GA-60. Během experimentu jsou měřeny hodnoty teploty

okolí, teploty spalin a chemické složení plynů v rozsahu O_2 , CO , NO , NO_x . Signál převodníků je úměrný objemové koncentraci měřené složky v ppm. Interval záznamu jednotlivých průměrných složek je nastaveno po jedné minutě. Před každým měřením je provedena kalibrace měřící aparatury. Emisní koncentrace jsou přepočteny z ppm koncentrací na normální podmínky a převedeny na koncentrace $mg \cdot m^{-3}$ a referenční obsah kyslíku ve spalinách 13 %. Následně jsou výsledky tepelně-emisního měření zpracovány regresní statistickou analýzou.

VÝSLEDKY

Při měření byly přidávány jednotlivé vzorky do spalovací komory na tuhý rošt, naměřené hodnoty byly za použití stechiometrie přepočteny na referenční obsah kyslíku ve spalinách na $O_r = 13 \%$, při teplotě $t = 0^\circ C$ a tlaku $p = 101,325 \text{ kPa}$. Z naměřených hodnot jsou zpracovány závislosti na čase a na množství přiváděného spalovacího vzduchu n (součinitel přebytku vzduchu) a vypracovány grafy na obrázku 1 – 2.

Na obrázku 1 je vyjádřena v grafu závislost na přebytku spalovacího vzduchu a teploty spalin na čase. Naměřené a přepočtené hodnoty jsou podrobeny regresní analýze. U hodnot přebytku spalovacího vzduchu lze sledovat poměrně velký rozptyl hodnot, který je způsoben přikládáním jednotlivých vzorků. Během měření dochází ke zvyšujícímu se součiniteli přebytku spalovacího vzduchu, což má za následek ochlazování spalin. Tento efekt má za následek

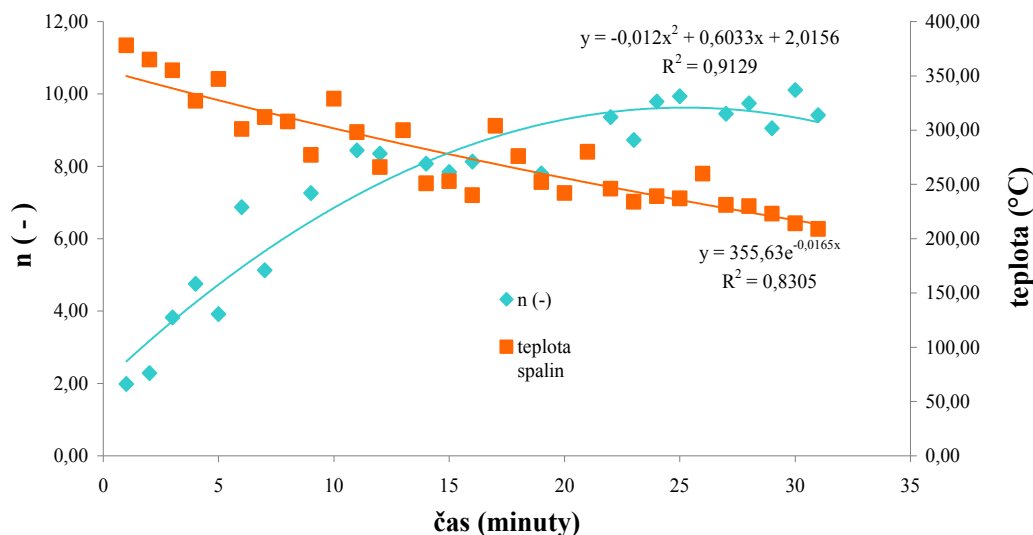
snížování účinnosti spalovacího zařízení. Lze tedy předpokládat, že je to způsobeno spalováním paliva se zvyšujícím se obsahem vody.

Na obrázku 2 je vyjádřen v grafu průběh emisních koncentrací oxidu uhelnatého v závislosti na přebytku spalovacího vzduchu pro jednotlivé vzorky. Naměřené a přepočtené hodnoty jsou podrobeny regresní analýze. Průběh emisních koncentrací oxidu uhelnatého je pro všechny vzorky stejný. S přibývajícím množstvím přebytku spalovacího vzduchu dochází k lepšímu spalování a hodnoty emisních koncentrací klesají až do minima. Po dosažení minima dochází vlivem ochlazení spalin a spalovacího prostoru opět k nárůstu hodnot emisních koncentrací oxidu uhelnatého.

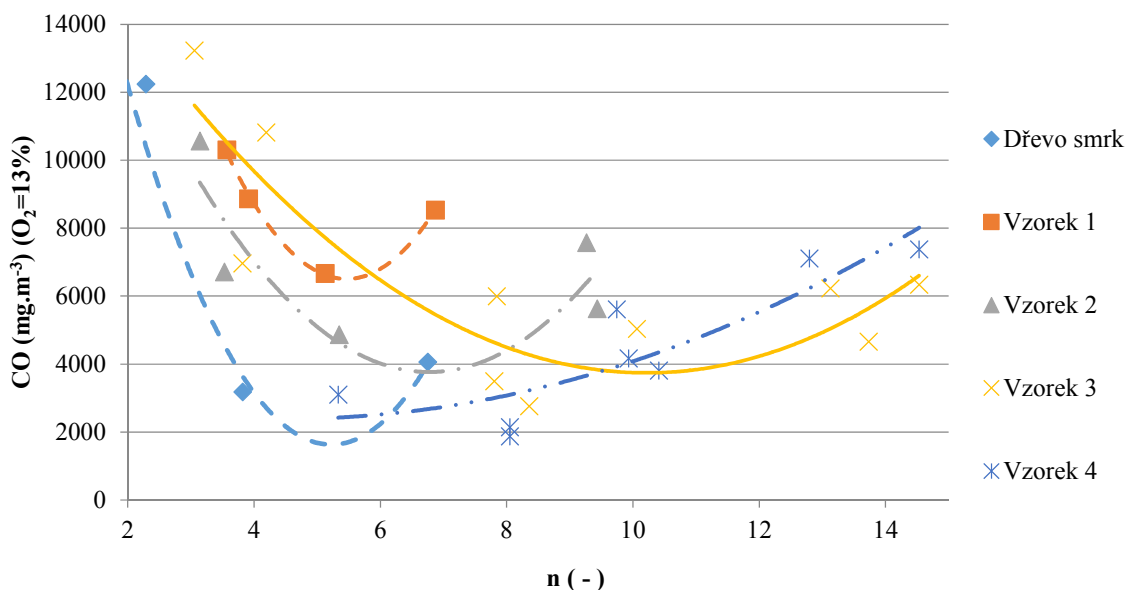
Z průběhu grafů, zejména vzorků 1, 2 a 3 je patrné, že s přibývajícím obsahem vody v palivu:

- je nutný větší přebytek spalovacího vzduchu,
- dochází k poklesu minima emisních koncentrací CO ,
- dochází k delší době hoření, tento fakt lze pozorovat na grafech pro jednotlivé vzorky na nárůstu intervalu přebytku spalovacího vzduchu, v němž hoření probíhalo.

Podle odlišné charakteristiky emisí CO u vzorku číslo 4 (tedy s obsahem vody 31,1 %) lze soudit, že obsah vody v palivu byl tak vysoký, že při fázi rozhořívání docházelo k chladnutí spalovacího prostoru a tím tvorbě emisí oxidu uhelnatého.



Obr. 1: Závislost teploty spalin a přebytku spalovacího vzduchu v závislosti na čase



Obr. 2: Emisní koncentrace CO v závislosti na součiniteli přebytku spalovacího vzduchu pro jednotlivé vzorky

Průběh emisí CO v závislosti na přebytku spalovacího vzduchu pro jednotlivé vzorky je z uvedených měření proložen polynomičnou regresní rovnicí druhého řádu, lze tedy závislost vyjádřit pomocí kvadratických rovnic:

$$\begin{aligned} \text{Dřevo smrk: } & \text{CO} = 1\,016,5 n^2 - 10\,625 n + 29\,345 \\ \text{Vzorek 1: } & \text{CO} = 1\,032,4 n^2 - 11\,284 n + 37\,339 \\ \text{Vzorek 2: } & \text{CO} = 423,04 n^2 - 5\,730,7 n + 23\,173 \\ \text{Vzorek 3: } & \text{CO} = 153,54 n^2 - 3\,137,2 n + 19\,767 \\ \text{Vzorek 4: } & \text{CO} = 55,706 n^2 - 499,57 n + 3\,507,6 \end{aligned}$$

ZÁVĚRY A DISKUZE

Výsledné parametry emisních koncentrací a analýz ukazují, jak zásadní vliv má obsah vody v palivu na průběh spalování. S přibývajícím obsahem vody ve vybraném palivu dochází k následujícím aspektům:

Pozitivním:

- Zvyšující se doba hoření paliva,
- u pozorovaného paliva štěpky ke snižování emisních koncentrací CO,
- zvětšení intervalu, ve kterém probíhá proces hoření (regulace v závislosti na přebytku vzduchu).

Negativním:

- Ochlazování spalin,
- růst součinitele přebytku spalovacího vzduchu,
- snižování účinnosti spalovacího zařízení,
- snižování výhřevnosti paliva.

Pro optimalizaci spalovacího procesu je nutné brát v úvahu, že měření probíhalo na roštovém topeništi s ručním přikládáním. Pro palivo, kterým je štěpka, je doporučeno automatické přikládání. Docílí se tak nižších maximálních hodnot emisních koncentrací oxidu uhelnatého, které se zvýší právě při přikládání na topeniště otevřením dvířek. Pro minimalizaci emisí a optimalizaci celého procesu spalování je v praxi využíváno místo roštového topeniště hořákové topeniště. Přesto lze očekávat, že se tvar emisních charakteristik nezmění.

Na základě výsledků této práce je hypotéza: „smrková štěpka při různém obsahu vody vykazuje při spalování emise odpovídající požadavku na spalování biomasy“ nepotvrzena. Výsledky práce poskytují další náměty pro optimalizaci procesu energetického využití těchto paliv pro lokálně energetické využití, protože tyto paliva vyžadují specifické nastavení provozních parametrů jednotlivých použitých spalovacích zařízení, které ovlivňují jejich emisní a tepelné vlastnosti.

Pro energetické využití produktů ze zemědělské a lesnické činnosti (ale i jiných materiálů) je nutné, aby spalovací proces probíhal za optimálních podmínek (Oberbergera, Theka 2004). Bez těchto předpokladů není spalování přínosem. Proto je vždy potřebné spalovat v konkrétním zařízení pouze takové palivo, které je určeno druhem i strukturou, jakostí atd. pro dané spalovací zařízení (Johansson et al. 2003). Určení základních spalovacích parametrů paliv je tedy

důležité zejména pro řešení celé problematiky návrhové praxe, stejně jako při kontrole práce stávajících spalovacích zařízeních. Těmto aspektům je nutné věnovat trvalou pozornost (Jevič, et al, 2007).

POZNÁMKA

Článek vznikl v rámci řešení interního grantu IGA TF na ČZU v Praze, „Vybrané tepelně-emisní parametry při spalování paliv z biomasy v krbových kamnech“, č. 2013:31170/1312/3116 a v rámci institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj VÚZT, v. v. i. RO0615.

LITERATURA

- ANDERT, D., FRYDRYCH, J. a ČECH, B., 2007. Zkušenosti ze spalování alternativních peletků. [Experiences of alternative pellets combustion]. Agritech Science, [online], www.agritech.cz, č. 1, článek 2, s. 1-5.
- MALATÁK, J., GURDIL, G., JEVIČ, P. a SELVI, K.C., 2009. Biomass heat-emission characteristics of energy. AMA - Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 39 (4), 9 – 13.
- JOHANSSON, L.S., LECKNER, B., GUSTAVSSON, L., COOPER, D., TULLIN, C. a POTTER, A., 2004. Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. Atmospheric Environment 38 (25), 4183–4195.
- HAJEK, D., MALATAK, J. a HAJEK, P., 2013. Combustion of selected biofuels types in furnace burner. Scientia Agriculturae Bohemica 44 (1), 23-31.
- RUZBARSKY, J., MÜLLER, M. a HRABE, P. 2014. Analysis of physical and mechanical properties and of gross calorific value of Jatropha curcas seeds and waste from pressing process. Agronomy Research, 12 (2), 603-610.
- KJÄLLSTRAND, J. a OLSSON, 2004. Chimney emissions from small-scale burning of pellets and fuelwood—examples referring to different combustion appliances. Biomass and Bioenergy 27, 557–561.
- JEVIČ, P., HUTLA, P, MALATÁK, J. a ŠEDIVÁ, Z., 2007. Efficiency and Gases emission with incineration of composite and one-component biocel briquettes in room heater. Research in Agricultural Engineering 53, 3, 94-102.
- OBERNBERGERA, I. a THEKA, G, 2004. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. In: Biomass and Bioenergy, 2004, 27, 653–669, ISSN 0961-9534.
- JOHANSSON, L.S., TULLIN, C., LECKNER, B., a SJÖVALL, P. 2003. Particle emissions from biomass combustion in small combustors. Biomass and Bioenergy 25, 435 – 446.

Abstrakt

Cílem tohoto článku je experimentální stanovení tepelně-emisních vlastností smrkové štěpky s různým obsahem vody v palivu pro lokální energetické využití. Prioritou měření je určení základních parametrů posuzovaných vzorků (prvková a stechiometrická analýza). Dále jsou sledovány tepelně-emisní parametry spalovacího zařízení, jako je teplota spalin a emisní koncentrace oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a oxidů dusíků v závislosti na provozních podmínkách spalovacího zařízení s pevným roštem. Vyhodnocení naměřených hodnot je provedeno pomocí regresní analýzy. Závěrem jsou shrnuty aspekty spalování vybraného paliva z biomasy s přibývajícím obsahem vody formou pozitiv a negativ. Výsledné hodnoty emisních koncentrací a analýz ukazují, jak zásadní vliv má obsah vody v palivu na průběh spalování. S přibývajícím obsahem vody ve vybraném palivu dochází k následujícím aspektům: prodlužuje se doba, ve které probíhá proces hoření paliva, roste součinitel přebytku spalovacího vzduchu, ochlazují se spaliny a tím se snižuje účinnost spalovacího zařízení a výhřevnost paliva.

Klíčová slova: obsah vody v palivu, biomasa, spalování, emise, smrková štěpka

Kontaktní adresa:

Ing. David Černý

Doc. Ing. Jan Malaták, PhD.

Technická fakulta, ČZU v Praze

Kamýčká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka

tel.: 224 383 205

e-mail: malatak@tf.czu.cz

Recenzovali: Ing. M. Macourek, Ph.D., Ing. J. Skalický, CSc.