

# Zhodnocení využívání organických odpadů v malých spalovacích zařízeních

Evaluation of organic waste in small combustion plants as  
biomass fuel  
autoreferát disertační práce  
PRAHA 2016

AUTOR: Ing. David Černý  
Katedra: Technologických zařízení staveb  
Školitel: Doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.  
Obor: Technika výrobních procesů

TECHNICKÁ FAKULTA

## Obsah

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Cíl práce .....                           | 1  |
| 2   | Použité metody a materiály .....          | 3  |
| 2.1 | Metodika řešení .....                     | 3  |
| 2.2 | Použité vzorky a spalovací zařízení ..... | 3  |
| 3   | Výsledky.....                             | 4  |
| 4   | Závěry.....                               | 5  |
| 5   | Summary .....                             | 7  |
| 6   | Publikační činnost .....                  | 9  |
| 6.1 | Článek Scopus .....                       | 9  |
| 6.2 | Příspěvky na konferencích .....           | 9  |
| 6.3 | Recenzované články RIV .....              | 10 |
| 6.4 | Granty.....                               | 10 |



Disertační práce se zabývá problematikou využití organických odpadů jako náhradou za fosilní paliva při topení v malých spalovacích zařízeních. V rámci řešení disertační práce jsou posuzována paliva, která by v budoucnu mohla být atraktivní, jako brikety z kompostu nebo odpady upravené hydrotermální karbonizací. Pozornost je také věnována běžně dostupnými palivům a problémům, vznikajících při jejich spalování. Analýza naměřených hodnot potom slouží k potvrzení nebo vyvrácení hypotéz.

## 1 Cíl práce

Cílem disertační práce je zabývat se problematikou využíváním organických odpadů jako zdrojem pro výrobu paliv. Pro řešení této problematiky jsou předloženy odborné hypotézy.

Hypotéza 1: *„Největší vliv na kvalitu spalovacího procesu má množství přiváděného spalovacího vzduchu, který ovlivňuje účinnost spalovacího zařízení.“*

Hypotéza 2: *„Přebytek vzduchu je velmi důležitou provozní veličinou, která ovlivňuje jednotlivé emisní koncentrace oxidu uhelnatého při spalování organických odpadů.“*

Hypotéza 3: *„Největší tepelné ztráty spalovacího zařízení jsou ztráty citelným teplem odcházejících spalin, ostatní tepelné ztráty jsou zanedbatelné.“*

Hypotéza 4: „Největší vliv na tepelné vlastnosti vzorků tuhých organických odpadů má voda obsažená v palivu, která vedle popelovin nejvíce ovlivňuje tepelné účinnosti spalovacího zařízení.“

Pro potvrzení či vyvrácení těchto hypotéz bylo potřeba stanovit následující cíle:

- 1) Provést literární rešerši zkoumaného tématu a seznámit se s nejnovejšími poznatky v oboru. Zejména s legislativními podmínkami, a to především v oblasti emisních limitů.
- 2) U posuzovaných vzorků paliv, které mají nejasné složení nebo svým charakterem neodpovídají běžným palivům, bude proveden technický rozbor.
- 3) Spálení vybraných vzorků paliv realizovat na vhodném spalovacím zařízení. Při spalování provést měření tepelně-emisních parametrů, zejména teploty spalin, emisních koncentrací O<sub>2</sub>, CO a NO<sub>x</sub> ve spalinách pomocí plynového analyzátoru.
- 4) Pokud bude palivo svým charakterem odlišné od paliva v katalogu paliv analyzátoru, je nutné pro vyhodnocení naměřených hodnot provést stechiometrickou analýzu.
- 5) Provést analýzu naměřených hodnot.

## **2 Použité metody a materiály**

### **2.1 Metodika řešení**

Metodika řešení jednotlivých hypotéz a cílů disertační práce je založena na analytickém zpracování naměřených a vypočítaných hodnot emisních koncentrací a provozních parametrů spalovacího zdroje a jejich následné syntéze. Emisní koncentrace ve spalinách byly měřeny pomocí přenosných plynových analyzátorů. Vyhodnocení naměřených hodnot probíhalo podle následujících metodik:

- Metodika stanovení stechiometrie spalovacích procesů.
- Metodika měření emisních koncentrací.
- Metodika přepočtu koncentrace znečišťujících látek.
- Metodika výpočtu tepelných účinností a tepelných ztrát.

### **2.2 Použité vzorky a spalovací zařízení**

Při řešení disertační práce byly spáleny následující vzorky paliv:

- Komerční vzorky briket z biopaliv.
- Brikety z kompostu.
- Vzorek čistírenského kalu upravený hydrotermální karbonizací (HTC).
- Pelety z katrových odpadů, s certifikací ENplus A1.

Spalování vzorků bylo realizováno na teplovzdušných zařízeních, krbových kamnech a automatických kamnech. Měření probíhalo v laboratoři a v provozu.

### 3 Výsledky

Tato kapitola shrnuje nejdůležitější dosažené výsledky jednotlivých cílů disertační práce.

Pro spalování na roštovém topeništi se z komerčních paliv jako vhodná náhrada za uhlí nebo dřevo jeví brikety z kůry, při jejichž spalování bylo dosaženo emisních koncentrací CO s hodnotou  $560,8 \pm 98,9 \text{ mg.m}^{-3}$ , hodnoty  $\text{NO}_x$  byly poměrně vysoké  $1\,193,6 \pm 141,7 \text{ mg.m}^{-3}$ . V rámci práce byly pro toto topeniště vyrobeny brikety z kompostu, jejichž emisní koncentrace CO jsou vyšší  $1\,487,8 \pm 418,8 \text{ mg.m}^{-3}$ , hodnoty  $\text{NO}_x$  byly naopak nižší  $330,8 \pm 26,3 \text{ mg.m}^{-3}$  než u briket z kůry. Na roštovém topeništi byl spalován experimentální vzorek čistírenského kalu, který byl upraven hydrotermální karbonizací, naměřené emisní koncentrace CO  $1\,493,3 \pm 237,3 \text{ mg.m}^{-3}$  a hodnoty  $\text{NO}_x$   $544,8 \pm 20,2 \text{ mg.m}^{-3}$  jsou pozitivní, protože nebylo dosaženo jmenovitého výkonu spalovacího zařízení a spalné teplo vzorku je velmi nízké  $12,61 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

V automatických kamnech bylo při spalování odpadních dřevních pelet s certifikátem ENplus A1 dosaženo nejvyšší účinnosti spalovacího zařízení  $80,8 \pm 2,7 \%$  a také velmi

nízkých emisních koncentrací CO s hodnotou  $117,5 \pm 14,4 \text{ mg.m}^{-3}$  a hodnoty NO<sub>x</sub>  $110,3 \pm 2,9 \text{ mg.m}^{-3}$ . Následné pokusy na tomto zařízení měly za cíl zvýšit účinnost spalovacího zařízení, pomocí instalace teplovzdušného výměníku a přehřevu spalovacího vzduchu. Při využití metody přehřevu spalovacího vzduchu došlo ke zvýšení emisních koncentrací CO.

## 4 Závěry

Tato kapitola shrnuje bodově jednotlivé závěry:

- Pro dosažení nejnižších emisních koncentrací je nutné provozovat spalovací zařízení při jmenovitém výkonu, za optimálního přebytku spalovacího vzduchu a nezanedbat revizi spalinových cest.
- Spalování briket z organických odpadů je vhodné provádět v menším hmotnostním toku, než je předepsáno množstvím fosilního paliva od výrobce spalovacího zařízení.
- Jako vhodná náhrada, z dostupných paliv na trhu za kusové dřevo, se jeví briketa z kůry, nicméně pro snížení vysokého obsahu NO<sub>x</sub> by bylo vhodné provést pokus s využitím 4% aditivem rašeliny.
- Velmi zajímavým zdrojem suroviny pro výrobu briket by mohly být odpadní produkty organického původu z provozu kompostárny. Pro lepší hoření by bylo



- vhodné optimalizovat tvar brikety, event. snížit její hygroskopické vlastnosti např. pomocí torrefakace.
- Metoda HTC představuje zajímavou konverzi vlhkých materiálů na tuhé materiály. Bylo by vhodné se zaměřit na využití této metody pro zpracování např. pivovarského kalu, pro počáteční studie lze využít katedrový minipivovar.
  - Nákladné prvkové analýzy lze pro experimentální vyhodnocení naměřených hodnot nahradit výpočtem dle nových korelačních závislostí viz vztah 2.3 – 2.6. Je však nutné provést technickou analýzu vzorku pro zjištění poměru obsahu vody, prchavé a neprchavé hořlaviny a obsah popelu.
  - K dalším oblastem výzkumu lze doporučit zplyňovací technologie se zaměřením na malé výkony, včetně jejich kombinace s kogenerační jednotkou. Dále tekuté odpadní hořlavé materiály pro interiérové spalování. Provést investice ve školní laboratoři do měřícího zařízení pro měření prachových částic, případně vybavit měřící úsek spalinové cesty měřením rychlosti spalin.
  - Pokračovat v hledání dostupných lokální organických odpadů jako náhradu za drahé kvalitní suroviny pro výrobu biopaliv a spojit výrobu paliv s projekty v komunitním režimu, díky kterému by stoupl zájem o paliva tohoto charakteru.

## 5 Summary

Organic wastes represent available replacement for crops grown specifically for biofuel production. However, the combustion of solid biofuels is often accompanied by technical problems. Biofuels made of organic wastes require the source of which do not contain hazardous substances that could be their combustion in simple combustion sources came into the atmosphere as emissions.

This thesis is focused on the assessment of technical and operational parameters of small combustion plants while burning biofuels and also of the measurement of emission concentrations of CO and NO<sub>x</sub> in the flue gas and its subsequent analysis. Samples were selected as solid fuel in the form of a lump, briquettes and pellets made from advanced materials. Incineration was realized in the fireplace with a grate furnace and automatic stove.

The bark briquettes could appear to be a suitable substitution for coal or wooden briquettes, and during combustion in grate emission concentrations of CO were achieved with a value of  $560.8 \pm 98.9 \text{ mg.m}^{-3}$ , on the contrary NO<sub>x</sub> levels were relatively high  $1\,193.6 \pm 141.7 \text{ mg.m}^{-3}$ . In case of this work, when using the furnace the briquettes were made from compost, whose emission levels are higher: CO  $1\,487.8 \pm 418.8 \text{ mg.m}^{-3}$ , NO<sub>x</sub> levels were somewhat lower  $330.8 \pm 26.3 \text{ mg.m}^{-3}$  than the briquettes bark.

An experimental sample of sewage sludge, which has been modified by hydrothermal carbonisation, was burned on the grate furnace and the measured emission levels for CO  $1\ 493.3 \pm 237.3\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  and  $\text{NO}_x$  levels  $544.8 \pm 20.2\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , positive because it was achieved the rated output of the combustion equipment and the heat of combustion of the sample is very low  $12.61\ \text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

The most efficient combustion of  $80.8 \pm 2,7\ \%$  was achieved using automatic stove, during burning waste wood pellets certificate ENplus A1, the very low levels of emission and a very low emission levels for CO with a value of  $117.5 \pm 14.4\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  and values  $\text{NO}_x$   $110.3 \pm 2.9\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  were measured. Following experiments on this device were intended to increase the efficiency of a combustion plant by installing a hot-air heat exchanger and preheating combustion air. Method with preheating combustion air caused an increase in the emission concentration of CO.

## 6 Publikační činnost

### 6.1 Článek Scopus

Černý, D., Malat'ák, J., Bradna, J.: Influence of biofuel moisture content on combustion and emission characteristics of stove. *Agronomy Research*, 2016, roč. 14, č. 3, s. 725-732. ISSN: 1406-894X.

### 6.2 Příspěvky na konferencích

Malat'ák, J., Bradna, J., Kučera, I., Černý, D., Passian, L.: Analysis of selected wood biofuels and evaluation of their thermal emission properties. In *5th International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2013, TAE 2013* 03.09.2013, Prague. Prague : Czech University of Life Sciences Prague, 2013. s. 402-408.

Černý D., Malat'ák J.: Emisní charakteristiky při spalování zemědělských odpadů na hořákovém topeništi. In: XIV. Medzinárodná vedecká konferencia mladých 2012, str. 23-28, ISBN: 978-80-228-20342-5.

Černý D., Malat'ák J.: Emission and combustion characteristics of a coal stove fired with briquettes of biomass. In: 12<sup>th</sup> International Workshop for Young Scientists, str. 19, Abstract Book, ISBN: 978-83-89969-04-0.

Černý D., Malat'ák J.: Vliv obsahu vody v palivu ze smrkové štěpky při spalování na roštovém topeništi.. In: XV. Medzinárodná vedecká konferencia mladých 2013, str. 13-19, ISBN: 978-80-552-1070-4.

### 6.3 Recenzované články RIV

Hart, J., Černý, D., Hartová, V.: Základní typy detektorů EPS a jejich rizika. Elektro, 2015, roč. 21, č. 6, s. 56-58. ISSN: 1210-0889.

Černý, D., Malat'ák, J., Bradna, J.: Stanovení tepelně-emisních vlastností smrkové štěpky při různém obsahu vody v palivu na roštovém topeništi. Agritech Science, 2015, roč. 9, č. 1, s. 1-5. ISSN: 1802-8942.

Bradna, J., I. Malat'ák, J., Černý, D.: Tepelně-emisní charakteristiky briket z odpadní biomasy na spalovacím zařízení s ručním podáváním. Agritech Science, 2014, roč. 8, č. 1, s. 1-9. ISSN: 1802-8942.

Černý, D., Malat'ák, J., Bradna, J.: Emisní charakteristiky při spalování odpadních produktů na hořákovém topeništi. Agritech Science, 2013, roč. 7, č. 2, s. 1-10. ISSN: 1802-8942.

### 6.4 Granty

IGA TF 2013: Stanovení tepelně-emisních vlastností malých spalovacích zařízení při spalování organických odpadů, 31170/1312/3114.

IGA TF 2014: Vybrané tepelně-emisní parametry při spalování paliv z biomasy v krbových kamnech, 31170/1312/3116.