

STANOVENIE VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ TUHÝCH BIOPALÍV Z PYROLÝZNEJ TECHNOLOGIE

DETERMINATION OF SOME PROPERTIES OF SOLID BIOFUELS FROM THE PYROLYSIS TECHNOLOGY

Jan Malat'ák - Marian Kučera

ABSTRACT

At the present time there has been serious questions of non-renewable energy resources substitution that is why solved problem has world wide meaning within high increase of fuels consumption from renewable energy resources. The aim of this paper is definition of other possibilities and limits for energetic utilization of solid biomass modified by pyrolysis technology to semi coke. Analysed samples are processed to pellets made from chips, wheat straw and colza straw. There is used laboratory pyrolysis unit working on the principle of slow pyrolysis reaction which processes samples at the temperature of 400 °C and taking 220 minutes in reactor filled by nitrogen medium. The significant aim of this work is establishment of element and stoichiometric analysis and creation of model dependencies among combustion processes.

The results show that the samples analyzed by pyrolysis fuel processing have a large difference of concentration of nitrogen and chlorine. The concentration of sulfur is low, except for the pellet samples from rape straw, which in the state have a high concentration of sulfur (0.44 % wt.). Calorific value of samples examined almost doubled (from semi-forest wood chips up to 28.81 MJ·kg⁻¹). The pyrolysis fuel processing significantly reduces the proportion of volatile matter and oxygen. Stoichiometric analysis indicates a significantly modified combustion conditions examined samples of fuel that must be taken into account during combustion.

Keywords: biofuels, element analysis, stoichiometric analysis, pyrolysis, combustion, exhausted gases.

ÚVOD

Pyrolýza predstavuje proces, pri ktorom sa v inertnej atmosfére (bez kyslíka) vplyvom tepla štiepia väzby v organických molekulách a vznikajú molekuly menšie. Jedná sa o silne endotermický dej, ktorý pozostáva s veľkého množstva chemických reakcií, a zároveň poskytujúci veľké množstvo produktov. Distribúcia a zloženie reakčných produktov závisí na vhodne zvolenom type pyrolytického procesu a na podmienkach priebehu reakcie: teplota, doba zotrvania častíc biomasy v reaktore a rýchlosť ohrevu (RENSFELT, ÖSTMAN 2000, DI BLASI 2008, BRIDGWATER, GROSSI 1991, LIN *et al.* 1999).

Produktmi teplotnej pyrolýzy sú väčšinou pyrolýzne (procesné) plyny, dechty a pyrolýzny koks. Zloženie týchto produktov závisí na pyrolýznej metóde spracovania a na reakčných parametroch. Rýchla alebo ultra-rýchla pyrolýza sa používa pre maximálnu produkciu plynov a kvapalných produktov a poskytuje predovšetkým tepelný úžitok. Pomalá pyrolýza, známe ako karbonizácia sa používa predovšetkým na produkciu dreveného uhlia (BRIDGWATER 2003). Výsledné produkty z pyrolýznych procesov musia mať vyššiu využiteľnosť než nespracovaná surová biomasa. Primárne produkty pyrolýz môžu byť využívané priamo alebo po ďalšom spracovaní pre hodnotnejšie sekundárne suroviny chemického priemyslu (LIN *et al.* 1999).

Úlohou príspevku je určenie limitných hodnôt energetického využitia tuhej biomasy upravenej pyrolýznou technológiou na polokoks. Pre ďalšie posúdenie vhodnosti spaľovania tuhých biopalív v stanovenom type spaľovacieho zariadenia, alebo pri vyhodnotení akosti biopalív je potrebné poznať tie vlastnosti spaľovaných vzoriek, ktoré ich dostatočne charakterizujú. Cieľom príspevku je tiež pre vybrané druhy drevnej a rastlinnej biomasy stanoviť, porovnať a vyhodnotiť spaľovacie vlastnosti vybraných vzoriek pred a po pyrolýznom spracovaní. Ďalším cieľom je stanovenie optimálnych spaľovacích parametrov takto pyrolýzne spracovaných vzoriek. Výhodiskom pre riešenie je uskutočnenie prvkových a stechiometrických analýz vybraných vzoriek tuhých biopalív.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Tuhá biopaliva sa môžu vyrábať v rôznych veľkostiach a tvaroch. Veľkosť a tvar ovplyvňuje manipuláciu s palivom i ich vlastnosti pri spaľovaní (JANDAČKA *et al.* 2011, DZURENDA, JANDAČKA 2010). V rámci článku boli vzorky tuhých biopalív zlisované do formy peliet. Analyzované tuhé produkty pyrolýzneho spracovania a pôvodne vzorky biopalív sú uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1 Analyzované vzorky biopalív.

Tab. 1 The analysed samples of biofuels.

Vzorky pred pyrolýznym spracovaním	Vzorky po pyrolýznom spracovaní
Lesná štiepka – smrek pelety (Ø 6 mm)	Polokoks: Lesná štiepka – smrek pelety (Ø 6 mm)
Pšeničná slama – pelety (Ø 8 mm)	Polokoks: Pšeničná slama – pelety (Ø 8 mm)
Repková slama – pelety (Ø 8 mm)	Polokoks: Repková slama – pelety (Ø 8 mm)

Pre spracovanie vzoriek biopalív vo forme peliet bola použitá laboratórna pyrolýzna jednotka, ktorá pracuje na princípe pomalej pyrolýznej reakcie. Predpokladom pre použitie pyrolýzneho procesu je maximálna produkcia tuhej zložky – polokoxsu. Pre karbonizáciu bola preto použitá kontajnerová skúšobná linka, obr. 1.



Obr. 1 Čelný pohľad na reaktor skúšobnej linky s riadiacim pultom
Fig. 1 Front view of test lines reactor with control panel

Pyrolýzna jednotka je zložená z reaktora, kde po vložení vzoriek palív je atmosférický vzduch nahradený plynným dusíkom. Po ohreve na teplotu 400 °C a dobe zotrvania 220 minút bol z pyrolýznej jednotky odobraný decht a tuhý polokoks.

Pre zhodnotenie analyzovaných vzoriek tuhých biopalív a tepelnej práce spaľovacieho (pyrolýzneho) zariadenia bol základom prvkový rozbor spaľovaného tuhého paliva. Prvkové rozboru jednotlivých palív boli stanovené pre normálne podmienky (teplota $t = 0$ °C a tlak $p = 101,325$ kPa). Prvkové rozboru vzoriek palív posudzované v tomto príspevku boli realizované akreditovaným laboratóriom VŠCHT – Ústav energetiky.

Pre prvkové rozboru boli použité jednotlivé metodiky:

- obsah vody v pôvodnej vzorke W (% hm.) – metóda sušenia v sušiarňi – obsah vody v analytickej skúšobnej vzorke (ČSN EN 14774-3, 2010);
- obsah popola v pôvodnej vzorke A (% hm.) (ČSN EN 14775, 2010);
- stanovenie spalného tepla Q_s ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) (ČSN EN 14918, 2010);
- prchavá a neprchavá horľavina V^{daf} a NV^{daf} (% hm.) (ČSN EN 15148, 2010);
- obsahu uhlíka, vodíka a dusíka – inštrumentálne metódy (CEN/TS 15104, 2006);
- obsah síry a chlóru (% hm.) (ČSN EN 15289, 2011).

Stechiometrické výpočty spaľovacích procesov dopĺňajú charakteristiky paliva a sú základom pre akýkoľvek tepelný výpočet. Sú dôležité najmä pre riešenie celej rady problémov návrhovej praxe, rovnako ako aj pre kontrolu práce existujúcich spaľovacích zariadení. Pri týchto výpočtoch sa stanovuje:

- výhrevnosť biopalív;
- množstvo kyslíka (vzduchu) potrebného k dokonalému spaľovaniu biopalív;
- množstvo a zloženie spalín;
- merná hmotnosť spalín.

Výpočet spotreby vzduchu a množstva spalín sa realizovalo podľa údajov elementárnej analýzy pomocou stochiometrických rovníc (analytický spôsob) (GÜRDİL *et al.* 2009). Použitím molekulových hmotností jednotlivých prvkov sme mohli vyjadriť vzťahy pre oxidačné reakcie pri spaľovaní stochiometrickými rovnicami. Všetky objemy a hmotnosti spaľovacieho vzduchu a spalín v stochiometrických rovnicach sú udávané za normálnych podmienok a pri referenčnom obsahu kyslíka v spalínach.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Ako ukazujú výsledné hodnoty prvkovej (tab. 2) a stochiometrickej analýzy (tab. 3), takto upravené pyrolýzne vzorky biopalív majú zmenené vlastnosti, ktoré ovplyvňujú ich celkové použitie.

Jedným z kritérií pre využitie týchto palív je obsah dusíka, pretože zvýšený obsah tohto prvku obmedzuje využitie týchto biopalív priamo v spaľovacích zariadeniach. Dá sa povedať, že pyrolýzne spracovanie nemalo vplyv na celkovú zmenu koncentrácie dusíka v palive. Zníženie ostatných zložiek v palive malo vplyv na celkovom podielovom a hmotnostnom zvýšení množstva dusíka v posudzovaných vzorkách. Podľa špecifických požiadaviek pre pelety podľa smernice č. 55 – 2008 MŽP ČR je maximálna prípustná koncentrácia dusíka v palive v bezvodnom stavu vzorky 0,9 % hm. Táto požiadavka nie je splnená iba pri vzorke polokoxu z repkovej slamy, vid' tab. 2.

Z ďalších limitujúcich prvkov pre využitie biomasy je chlór. Chlór prechádza v priebehu spaľovania z veľkej časti do plynnej fázy. Vo vzorkách biopalív sa uskutočnila analýza množstva chlóru v pôvodnom stave. U drevnej biomasy, na čo poukazujú i

niektoré výskumné práce (JOHANSSON *et al.* 2004) sa koncentrácia chlóru pohybuje na veľmi nízkej hladine oproti rastlinnej biomase, a to okolo hodnoty 0,02 % hm. v pôvodnom stave. Význam chlóru spočíva na jednej strane v emisiách HCl – v ich možnom vplyve na tvorbu polychlorovaných dibenzo/dioxínov a furanov (PCDD/F) a tiež na druhej strane v korozívnych účinkoch týchto elementov, prípadne ich ďalších zlúčenín (PASTOREK *et al.* 2004). Výsledné hodnoty koncentrácie chlóru sú zobrazené v tabuľke 2.

Tab. 2 Prvková analýza vzoriek biopalív.
Tab. 2 Elemental analysis of samples of biofuels.

Vzorka	Obsah vody (% hm.)	Popol (% hm.)	Horľavina prchavá (% hm.)	Horľavina neprchavá (% hm.)	Spalné teplo (MJ.kg ⁻¹)	Výhrevnosť (MJ.kg ⁻¹)	Uhlík C (% hm.)	Vodík H (% hm.)	Dusík N (% hm.)	Síra S (% hm.)	Kyslík O (% hm.)	Chlór Cl (% hm.)
Značka	W	A	V	NV	Q _s	Q _i	C	H	N	S	O	Cl
Lesná štíepka – smrek pelety (Ø 6 mm)	5,59	0,42	79,17	14,82	18,92	17,68	47,65	5,02	0,1	0,02	41,30	0,023
Polokoks: Lesná štíepka – smrek pelety (Ø 6 mm)	1,48	1,13	37,15	60,24	29,71	28,81	74,63	3,96	0,1	0,03	18,77	0,043
Pšeničná slama – pelety (Ø 8 mm)	5,28	6,90	70,40	17,42	17,12	15,99	43,38	4,58	0,63	0,09	39,14	0,18
Polokoks: Pšeničná slama – pelety (Ø 8 mm)	1,54	17,3	18,88	62,23	26,31	25,75	67,39	2,39	1,01	0,10	10,22	0,27
Repková slama – pelety (Ø 8 mm)	5,45	4,83	72,28	17,44	17,36	16,15	43,70	4,90	0,72	0,23	40,17	0,23
Polokoks: Repková slama – pelety (Ø 8 mm)	4,88	13,3	22,72	59,13	26,88	26,22	68,38	2,48	1,36	0,44	9,19	0,37

Síra odchádza z väčšej časti v priebehu spaľovania do plynnej fázy ako SO₂ alebo SO₃. Emisie síry v tepelných zariadeniach na využitie tuhých palív z obnoviteľných zdrojov nepredstavujú, čo sa týka limitných hodnôt, spravidla žiadny problém, čo potvrdzujú i vybrané vzorky, tab. 3. Výnimkou sú pelety polokoksu z repkovej slamy, ktoré v danom stave vzorky dosahovali priemerné koncentrácie síry až 0,44 % hm. Táto zvýšená koncentrácia síry vo vzorke mohla byť spôsobená znečistením danej lokality emisiami oxidov síry. Podľa špecifických požiadaviek pre pelety podľa smernice č. 55 – 2008 MŽP ČR je maximálna prípustná koncentrácia síry v palive v bezvodnom stave vzorky 0,15 % hm. Táto požiadavka nie je splnená pri vzorkách z repkovej slamy. Rozhodujúcim faktorom koncentrácie síry v biopalive môže byť jej korozívne správanie.

Ostatné hodnoty prvkového rozboru spĺňajú optimálne parametre pre použitie týchto vzoriek biopalív v spaľovacích zariadeniach.

Pre termické využitie tuhých palív sú základnými určujúcimi parametrami výhrevnosť, obsah vody a popola. Veľkou výhodou pyrolýzneho spracovania je fakt, že výhrevnosť týchto vzoriek sa takmer zdvojnásobila (polokoks z lesnej štiepky až na 28,81 MJ·kg⁻¹). Pri spracovaní pomalou pyrolýzou vzoriek z drevnej hmoty od autora Bridgwater (2003) bola dosiahnutá výhrevnosť až 30 MJ·kg⁻¹. Na druhej strane, podiel prchavej horľaviny a množstvo kyslíka sa u týchto pyrolýzne spracovaných vzorkách palív významne redukuje. Pyrolýzne spracované vzorky nemajú už klasické vlastnosti palív z biomasy, ale majú podobné vlastnosti ako fosilne palivá. Výsledné hodnoty výhrevnosti jednotlivých sledovaných vzoriek sú uvedené v tabuľke 2.

Minimálna výhrevnosť tuhých palív, určených k spaľovaniu v malých stacionárnych zariadeniach podľa Vyhlášky č. 13/2009 Sb. nesmie byť v bezvodnom stave nižšia ako 12 MJ·kg⁻¹. Minimálna výhrevnosť tuhých palív, určených k spaľovaniu v stredných stacionárnych zariadeniach, nesmie byť v bezvodnom stave nižšia ako 10 MJ·kg⁻¹. Tieto podmienky sú u všetkých posudzovaných vzorkách splnené. Podľa špecifických požiadaviek pre pelety podľa smernice č. 55 – 2008 MŽP ČR je minimálna prípustná výhrevnosť v bezvodnom stave vzorky 16 MJ·kg⁻¹. Táto požiadavka je rovnako splnená u všetkých posudzovaných vzorkách palív.

Rozsah celkovej vody obsiahnutej vo vzorkách (tab. 2) je dosť nízky, čo má pozitívny prínos vo výhrevnosti palív. Predovšetkým pyrolýzne spracované vzorky biopalív majú zredukované množstvo vody.

Obsah popola v pôvodných vzorkách je tiež nízky, čo potvrdzujú i prvkové rozboru vybraných palív. Viac ako dvojnásobné množstvo popola majú vzorky palív po pyrolýznom spracovaní. Najväčšie množstvo popola bolo stanovené pri vzorkách z polokoksu pšeničnej slamy a repkovej slamy (rastlinná biomasa). Takto veľké množstvo popola významne ovplyvňuje tepelné vlastnosti posudzovaných tuhých palív a následne ovplyvňuje ako výber, tak i nastavenie spaľovacieho zariadenia.

Podľa špecifických požiadaviek pre pelety podľa smernice č. 55 – 2008 MŽP ČR je maximálny prípustný obsah vody v pôvodnom stave vzorky 10 % hm. Táto požiadavka je splnená u všetkých vzoriek palív. Podľa špecifických požiadaviek pre pelety podľa smernice č. 55 – 2008 MŽP ČR je maximálny prípustný obsah popola v bezvodnom stave vzorky 6 % hm. Táto požiadavka nebola splnená u peliet z polokoksu repkovej slamy. Takto stanovené vysoké množstvo popola môže vyvolať zvýšenú požiadavku na odvod tuhých zvyškov po spaľovaní a zvýšené množstvo tuhých emisií.

Najväčšie hmotnostné straty prvkov v pyrolýzne spracovaných vzorkách boli zaznamenané pri kyslíku. Pretože kyslík je nežiadúca časť paliva (viaže vodík a čiastočne i uhlík na hydroxidy, vodu a oxidy), jeho zníženie má pozitívny vplyv na zvýšenie celkovej energetickej hodnoty výsledných pyrolýznych vzoriek palív.

Ďalšou dôležitou hodnotou, z hľadiska spaľovacieho procesu, je obsah a priebeh uvoľňovania prchavej horľaviny z biopaliva. Pri posudzovaných vzorkách biopalív je viditeľná redukcia prchavej horľaviny u pyrolýzne spracovaných biopalív. Palivá s vysokým obsahom prchavej horľaviny, ako je všeobecne známe, horia dlhým plameňom. V prípade, že plyny nemajú dostatok kyslíka k horeniu, plameň je čmudivý. Naopak palivo s nízkym obsahom prchavej horľaviny horí krátkym plameňom a pri obsahu prchavej horľaviny pod hodnotou 15 % horí pri vysokých teplotách takmer bez plameňa (GÜRDİL *et al.* 2009). K redukcii prchavej horľaviny prispela predovšetkým znížená koncentrácia kyslíka a vlhkosť v palive po pyrolýznom spracovaní. Pre ďalšie tepelné využitie takto upravených palív je potrebné venovať zvýšenú pozornosť vhodnému prívodu spaľovacieho

vzduchu, aby sa strata chemickou nedokonalosťou horenia znížila na minimum. Výsledné hodnoty prchavej a neprchavej horľaviny sú uvedené v tabuľke 2.

Tab. 3 Stechiometrická analýza vzoriek biopalív za normálnych podmienok a referenčného obsahu kyslíka v spalinách $O_r = 11 \%$.

Tab. 3 The stoichiometric analysis of the original fuel samples under normal conditions and reference oxygen content in the flue gas $O_r = 11 \%$.

Vzorka	Teoretické množstvo kyslíka pre dokonalé spaľovanie ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Teoretické množstvo vzduchu pre dokonalé spaľovanie ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Skutočné množstvo vzduchu pre dokonalé spaľovanie ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Objemové množstvo vlhkých spalin ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Objemové množstvo suchých spalin ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Teoretické objemové množstvo suchých spalin ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Objemové množstvo CO_2 ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Objemové množstvo SO_2 ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Objemové množstvo H_2O ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Objemové množstvo N_2 ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Objemové množstvo O_2 ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	Teoretická konc. oxidu uhličitého v suchých spalinách (% obj.)
Značka	O_{min}	L_{min}	L_{skut}	m_{sp}^v	m_{sp}^s	m_{min}^s	m_{CO_2}	m_{SO_2}	m_{H_2O}	m_{H_2O}	m_{H_2O}	CO_2 max
Lesná štiepka – smrek pelety ($\varnothing 6$ mm)	0,88	4,18	8,78	9,77	8,79	4,15	0,89	0,00	0,98	6,86	0,97	21,30
Polokoks: Lesná štiepka – smrek pelety ($\varnothing 6$ mm)	1,48	7,05	14,80	15,76	14,71	6,89	1,39	0,00	1,05	11,5	1,63	20,10
Pšeničná slama – pelety ($\varnothing 8$ mm)	0,79	3,76	7,90	8,81	7,92	3,75	0,81	0,00	0,89	6,17	0,87	21,48
Polokoks: Pšeničná slama – pelety ($\varnothing 8$ mm)	1,32	6,28	13,18	13,93	13,12	6,15	1,25	0,00	0,81	10,3	1,45	20,31
Repková slama – pelety ($\varnothing 8$ mm)	0,81	3,84	8,07	9,02	8,08	3,82	0,81	0,00	0,94	6,31	0,89	21,22
Polokoks: Repková slama – pelety ($\varnothing 8$ mm)	1,35	6,43	13,51	14,32	13,44	6,30	1,27	0,00	0,88	10,6	1,49	20,11

Výsledné hodnoty zo stochiometrickej analýzy ukazujú na rozdielne tepelno-emisné parametre v posudzovaných vzorkách palív (tabuľka č. 3). Stechiometria posudzovaných biopalív, parametre výhrevnosti, obsah vody a hustota energie ovplyvňujú výber a návrh spaľovacieho zariadenia. Z výsledkov stochiometrickej analýzy je evidentný rozdiel spotreby množstva kyslíka a vzduchu pri dokonalom a skutočnom spaľovaní pre jednotlivé posudzované vzorky palív pred a po pyrolýznom spracovaní.

Ďalším dôležitým parametrom pre hodnotenie palív pre ich následné tepelné využitie je množstvo uvoľnených spalín pri spaľovaní (ČERNECKÝ *et al.* 2010). V tabuľke 3 sú uvedené výsledné hodnoty teoretického objemového množstva suchých spalín pri dokonalom spaľovaní a zároveň objemové množstvo vlhkých spalín pri súčiniteli prebytku vzduchu 2,1. Pri vzorkách biopalív, ktoré sú pyrolýzne spracované na polokoks boli zaznamenané významné zmeny sledovaných parametrov. Takto upravené vzorky tuhých biopalív majú podobné stechiometrické vlastnosti ako fosílna palivá (čierna uhlie).

Takto stanovené výsledné hodnoty stechiometrickej analýzy slúžia pre ďalšie nevyhnutné výpočty tepelných účinností a tepelných strát spaľovacích zariadení. Následne slúžia ku kontrole a optimalizácii spaľovacích zariadení.

ZÁVER

Výsledkom práce je pomocou pomalej pyrolýzy zvýšiť energetickú hodnotu vybranej tuhej biomasy, určiť základné palivárske rozbery takto spracovaných vzoriek palív a porovnať ich so počiatocnými vzorkami palív. Veľmi dôležitým výsledkom práce je určenie optimálnych spaľovacích parametrov takto novovzniknutých pyrolýzne spracovaných vzoriek.

Výsledky realizovaných prvkových a stechiometrických analýz ukazujú na fakt, že takto upravené pyrolýzne vzorky palív majú významne zmenené vlastnosti, ktoré ovplyvňujú ich ďalšie energetické využitie. Predovšetkým výhrevnosť vzoriek pyrolýzneho spracovania je dvojnásobná (tabuľka č. 2). Podiel prchavej horľaviny a množstvo kyslíka sa u týchto pyrolýzne spracovaných palív významne redukuje a nemajú už klasické vlastnosti palív z biomasy.

Rozsah vody obsiahnutej vo vzorkách je dosť nízky, čo má pozitívny prínos vo výhrevnosti palív. Najväčšie množstvo popola je stanovené u vzoriek z polokoxu pšeničnej slamy a repkovej slamy. Väčšie množstvo popola v palive zvyšuje požiadavku na odvod tuhých zvyškov po spaľovaní a zvyšuje množstvo tuhých emisií.

Pre ďalšie tepelné využitie týchto upravených palív je dôležité dodržať vhodný prívod spaľovacieho vzduchu a množstvo uvoľnených spalín, aby sa strata chemickou nedokonalosťou horenia znížila na minimum (tabuľka č. 3). Výsledné hodnoty zo stechiometrickej analýzy ukazujú na rozdielne tepelno-emisné parametre posudzovaných vzoriek biopalív. Z výsledkov stechiometrickej analýzy je evidentný nárast spotreby množstva kyslíka a vzduchu pre vzorky biopalív po pyrolýznom spracovaní. Objemové množstvo spalín po pyrolýznom spracovaní vzoriek palív pri zachovaní súčiniteľa prebytku vzduchu 2,1 je takmer dvojnásobné. Vzorky palív z pyrolýzneho spracovania majú podobné stechiometrické vlastnosti ako vzorky paliva z čierneho uhlia.

Pre ďalšie tepelné využitie týchto upravených biopalív je potrebné venovať zvýšenú pozornosť vhodnému prívodu spaľovacieho vzduchu, aby sa strata chemickou nedokonalosťou horenia znížila na minimum ako ukazujú práce MALAŤÁK *et al.* (2010), a JOHANSSON *et al.* (2004).

Ako ukazujú podobné práce zahraničných autorov SOLANTAUSTA *et al.* (1995), LIN *et al.* (1999), DI BLASI (2008) a GÜRDİL *et al.* (2009) dochádza po pyrolýznom spracovaní ku zmenám spaľovacích vlastností palív. Predovšetkým sa zvyšuje energetická hodnota takto spracovaných biopalív, ale na druhej strane sa musí brať ohľad na rozdielne spaľovacie vlastnosti a zároveň i výber vhodného spaľovacieho zariadenia.

Záverom je treba podotknúť, že tuhé biopalivá možno za obnoviteľné zdroje energie považovať iba za podmienok, že ich prínos energetického využitia je oveľa väčší ako náklady na pestovanie, zber a ďalšie spracovanie, ako je sušenie, lisovanie a pod. Preto

presadzovanie obnoviteľných zdrojov energie musí byť postavené na troch základných faktoroch: faktor životného prostredia, faktor ekonomický a faktor sociálny. V prípade, ak dochádza k podstatnému narušeniu jedného z týchto faktorov, je nevyhnutné ďalšie presadzovanie týchto obnoviteľných zdrojov energie starostlivo zvážiť (OLSSON *et al.* 2003, ESKILSSON *et al.* 2004, JOHANSSON *et al.* 2003).

Pre ďalšie tepelné využitie takto upravených biopalív je potrebné venovať zvýšenú pozornosť zmeneným prvkovým a stechiometrickým vlastnostiam biopalív, ktoré ovplyvňujú ich celkové energetické využitie.

LITERATÚRA

- BRIDGWATER, A. V., GROSSI, G. 1991. Biomass Pyrolysis Liquid Upgrading and Utilisation. London : Elsevier Applied Science, 1991. 356 s.
- BRIDGWATER, A. V. 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. Chemical Engineering Journal, 2003, 91: 87–102. ISSN 1385-8947.
- CEN/TS 15104: 2006. Tuhá biopaliva - Stanovení celkového obsahu uhlíku, vodíku a dusíku - Instrumentální metody. 2006.
- ČERNECKÝ, J., SILÁČI, J., KONIAR, J. 2010. Measuring gaseous emissions from dendromass combustion. In. Nové trendy v technike ochrany ovzdušia 2010. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010. s. 19–23. ISBN 978-80-228-2117-9.
- ČSN EN 14774-3: 2010. Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 3: Voda v analytickém vzorku pro obecný rozbor. 2010.
- ČSN EN 14775: 2010. Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu popela. 2010.
- ČSN EN 14918: 2010. Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti. 2010.
- ČSN EN 15148: 2010. Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu prchavé hořlaviny.
- ČSN EN 15289: 2011. Tuhá biopaliva - Stanovení celkového obsahu síry a chloru. 2011.
- DZURENDA, L., JANDAČKA, J. 2010. Energetické využitie dendromasy. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 162 s. ISBN 978-80-228-2082-0.
- ESKILSSON, D., RÖNNBÄCK, M., SAMUELSSON, J., TULLIN, C., 2004. Optimalisation of efficiency and emissions in pellet burners. Biomass and Bioenergy, 2004, 27: 541–546. ISSN 0961-9534.
- GÜRDİL, G., MALAŤÁK, J., SELVÍ, K., PINAR, Y. 2009. Biomass utilization for thermal energy. In. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2009, 2(40): 80–85. ISSN 0084-5841.
- JANDAČKA, J., NOSEK, R., HOLUBČÍK, M. 2011. Vplyv vybraných aditív na vlastnosti drevných peliet a na ich výrobu. Acta facultatis xylologiae Zvolen, 2011, 53(2): 85–91. ISSN 1336-3824.
- JOHANSSON, L.S., LECKNER B, GUSTAVSSON L., COOPER D., TULLIN C., POTTER A. 2004. Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. In Atmospheric Environment, 2004, 38: 4183–4195. ISSN 1352-2310.
- JOHANSSON, L.S., LECKNER, B., TULLIN, C., SJÖVALL, P. 2003. Particle emissions from biomass combustion in small combustors. Biomass and Bioenergy, 2003, 25: 435–446. ISSN 0961-9534.
- LIN, K.S., WANG, H.P., LIU, S.H., CHANG, N.B., HUANG Y.J., WANG, H.C. 1999. Pyrolysis kinetics of refuse-derived fuel. Fuel Processing Technology, 1999, 60: 103–110. ISSN 0378-3820.
- MALAŤÁK, J., JEVIČ, P., VACULÍK, P. 2010. Účinné využití tuhých biopalív v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek. Vědecká monografie. Praha : ČZU v Praze, 2010. 240 s. ISBN 978-80-87415-02-3.
- OLSSON, M. *et al.* 2003. Specific chimney emissions and biofuel characteristics of softwood pellets for residential heating in Sweden. Biomass and Bioenergy, 2003, 24: 51–57. ISSN 0961-9534.
- PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVIČ, P. 2004. Biomasa obnovitelný zdroj energie. Praha : FCC Public s.r.o., 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5
- RENSFELT E., ÖSTMAN, A. 2000. IEA Biomass Agreement Task X. Biomass Utilization Biomass Thermal Gasification Activity Sub-task 6- Gasification of Waste Summary and Conclusions of Twenty-five Years of Development (Rep. FBT-00/11; TPS-96/19): TPS Termiska Processer AB, Nyköping, 2000.

Směrnice č. 55 – 2008 MŽP ČR s požadavky pro propůjčení ochranné známky – Topné pelety z bylinné fytomasy.

SOLANTAUSTA Y., BRIDGWATER A.T., BECKMAN D. 1995. Feasibility of power production with pyrolysis and gasification systems. In Biomass and Bioenergy, 1995, 9: 257–269. ISSN 0961-9534.

Vyhláška č. 13/2009 Sb., MŽP ČR o stanovení požadavků na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší.

DI BLASI C. 2008. Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis. Progress in Energy and Combustion Science, 2008, 34: 47–90. ISSN 0360-1285.

PodĎakovanie

Článek vznikl v rámci řešení interního grantu IGA TF 2012 na České zemědělské univerzitě v Praze č. 31170/1312/3134.

Adresa autorov

doc. Ing. Ján Malaťák, Ph.D.
Česká zemědělská univerzita v Praze,
Technická fakulta,
Katedra technologických zařízení staveb,
Kamýcká 129,
165 21 Praha – Suchbátka
Česká republika

doc. Ing. Marián Kučera, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Katedra lesnej a mobilnej techniky
Študentská 26
960 53 Zvolen
Slovenská republika

