

## ENERGETICKÁ CHARAKTERISTIKA BIOPALIVA - LÍSTIA Z JESENNÉHO OPADU STROMOV TVRDÝCH LISTNATÝCH DREVÍN

### COMBUSTION CHARACTERISTICS OF BIOFUELS - FALLEN LEAVES OF HARDWOOD DECIDUOUS TREES

Ladislav Dzurenda – Ľubomír Pňakovič

#### ABSTRACT

In this contribution, there are presented the results of the analyses of the combustion characteristics of biofuels - more concretely, fallen leaves of hardwood deciduous trees.

Based on experimental works there has been stated that the relative humidity of the leaf at the time of fall is  $W_r = 37.9\text{--}46.9\%$ . The average share of individual elements in the combustible is  $C^{\text{daf}} = 49.1\%$ ,  $H^{\text{daf}} = 6.0\%$ ,  $N^{\text{daf}} = 1.2\%$ ,  $S^{\text{daf}} = 0.1\%$ ,  $O^{\text{daf}} = 43.6\%$ . In the comparison with chemical composition of combustible - wood of deciduous trees the combustible of leaves has 7.5 times higher content of endothermic component - nitrogen. Production of ash from dry leaves of the analyzed plants is  $A^{\text{d}} = 8.1\text{--}13.1\%$ . From the aspect of ash production leaves are comparable to fossil fuels - brown graded coal. Lower production of ash was observed in leaves of birch (*Betula pendula* Roth.) with a value  $A^{\text{d}} = 4.8\%$ .

The higher heating value of dry fallen leaves of hardwood, deciduous trees is between  $Q_s = 16046\text{--}19754\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  and the lower heating value on the lower limit of  $Q_n = 15887\text{--}19573\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . In comparison with dry fuel wood of hardwood deciduous trees the higher heating value of dry leaves is lower by 10.9 % and the lower heating value is lower by 6.5 %. The decline in basic combustion characteristics, i.e. the higher heating value and the lower heating value, is caused in the decisive extent by its high ash content and in small extent by increased content of nitrogen, it means, by the endothermic component in combustible of leaves.

**Keywords:** biofuel, leaves, fallen leaves of trees, moisture, elementary analysis of combustibles, the higher heating value, the lower heating value, ash.

#### ÚVOD

Významným obnoviteľným zdrojom energie (OZE) t.j. zdrojom energie, ktorého energetický potenciál sa trvalo obnovuje prírodnými procesmi, alebo ľudskou činnosťou je biomasa zahŕňajúca fytomasu a dendromasu. Špecifické postavenie z aspektu uvedenej definície OZE má lístie - zelená hmota listnatých stromov. Opadnuté lístie zo stromov v lesoch sa prirodzeným biochemickým procesom mení na humus, ktorý je zdrojom živín pre ďalší rast samotného stromu a inej lesnej vegetácie BUBLINEC (1984), SIMANOV (1995). Tento

prirodzený kolobeh je narušený v mestských aglomeráciách, kde vo väčšine prípadov lístie padá na kamenný, asfaltový, betónový, či iný nepriepustný povrch chodníkov.

Opadnuté lístie na chodníkoch a pri lavičkách v mestských parkoch predstavuje nežiaduci odpad. Pri efektívnom udržiavaní čistoty a poriadku v mestských parkoch je uvedené lístie vhodnou surovinou pre kompostovanie, resp. surovinou pre výrobu tepla v energetických zariadeniach APALOVÍČ (1998), KOLLÁROVA – PLÍVA (2005), JANDAČKA *et al.* (2007), MARTINÍK *et al.* (2014).

V danom príspevku sú prezentované výsledky experimentálnych prác vykonaných za účelom stanovenia základných energetických vlastností biopaliva – lístia z jesenného opadu stromov tvrdých listnatých drevín, akými sú: relatívna vlhkosť zelenej hmoty po opade, elementárne chemické zloženie horľaviny, spaľovacie teplo, výhrevnosť, produkcia anorganického podielu - popola a jeho chemická skladba.

## MATERIÁL A METODIKA

Na experimentálne práce stanovenia základných energetických vlastností biopaliva - lístia z jesenného opadu listnatých stromov, bolo použité lístie stromov tvrdých listnatých drevín: dub letný (*Quercus robur* L.), javor horský (*Acer pseudoplatanus* L.), orech kráľovský (*Juglans regia* L.), jaseň štíhly (*Fraxinus excelsior* L.), hrab obyčajný (*Carpinus betulus* L.) a breza previsnutá (*Betula pendula* Roth.) z parkov miest: Zvolen a Sliač.

Stanovenie relatívnej vlhkosti lístia jednotlivých drevín sa vykonávalo v laboratóriu Katedry obrábania dreva Technickej univerzity vo Zvolene, podľa *STN EN 14774-2 Tuhe biopalivá – Stanovenie obsahu vlhkosti*. Hodnoty relatívnej vlhkosti vzoriek boli vypočítané podľa rovnice:

$$W^r = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde:  $m_w$  – hmotnosť vzorky pred sušením [g]

$m_0$  – hmotnosť vzorky po vysušení na konštantnú hmotnosť [g]

Prvkový rozbor horľaviny vzoriek suchého lístia zo stromov jednotlivých drevín bol vykonaný na analyzátoře NCS-FLASH EA 1112. Podiel kyslíka v horľavine vzoriek bol stanovený výpočtom v súlade s *STN EN 15296:2011* podľa vzťahu:

$$O^{daf} = 100 - C^{daf} - H^{daf} - N^{daf} - S^{daf} \quad [\%] \quad (2)$$

kde:  $C^{daf}$  – obsah uhlíka v horľavine [%],

$H^{daf}$  – obsah vodíka v horľavine [%],

$N^{daf}$  – obsah dusíka v horľavine [%],

$S^{daf}$  – obsah síry v horľavine [%].

Kvantifikácia podielu popola zo spálenia suchého lístia sa vykonala podľa *STN ISO 1171/2003 Tuhé palivá – Stanovenie popola*. Vzorky lístia boli žihane v muflovej peci LAC LMH 04/12 pri teplote  $815 \pm 10$  °C. Podiel popola z biopaliva analyzovanej vzorky vyjadrený v hmotnostných percentách sa vypočítal podľa vzorca:

$$A_{paliva}^d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100 \quad [\%] \quad (3)$$

kde:  $m_3$  – hmotnosť vzorkovnice s popolom [g],

$m_2$  – hmotnosť vzorkovnice so vzorkou [g],

$m_1$  – hmotnosť vzorkovnice [g].

Následne z popola listia drevín: dub letný (*Quercus robur* L.), javor horský (*Acer pseudoplatanus* L.) a breza previsnutá (*Betula pendula* Roth.) bolo metódou AES ICP stanovené množstvo vápnika Ca, horčíka Mg, draslíka K, mangánu Mn, fosforu P, zinku Zn a železa Fe v popole daných biopalív. Princíp metódy AES ICP je založený na meraní atómovej emisie jednotlivých prvkov optickou spektroskopickou technikou pomocou atómoveho emisného spektrometra s induktívne viazanou plazmou ES 725 VARIAN.

Spaľovacie teplo vzoriek suchého listia po vysušení na konštantnú hmotnosť ( $W_r = 0\%$ ) bolo stanovené v kalorimetri na tuhé palivá IKA C 200 (softvér Cal Win) v súlade s *STN ISO 1928:2003 Tuhé palivá - Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti*.

Dolná hranica výhrevnosti vzoriek listia v suchom stave ( $W_r = 0\%$ ), ako aj pri vlhkosti v čase opadu listia  $W_r$  sa stanovila technickým výpočtom podľa rovnice M. I. Mendelejevovej na základe prvkového rozboru horľaviny, analýzy podielu popola v sušine a relatívnej vlhkosti biopaliva:

$$Q_n^d = [339.C^{daf} + 1030.H^{daf} + 104.S^{daf} - 109.O^{daf}] \cdot \left[ \frac{100 - A^d}{100} \right] \text{ [kJ.kg}^{-1} \text{]} \quad (4)$$

$$Q_n^r = [339.C^{daf} + 1030.H^{daf} + 104.S^{daf} - 109.O^{daf}] \cdot \left[ \frac{100 - A^d - W_r}{100} \right] - 25,12.W_r \text{ [kJ.kg}^{-1} \text{]} \quad (5)$$

kde:  $C^{daf}$  – obsah uhlíka v horľavine vo vzorke suchého listia [%],  
 $H^{daf}$  – obsah vodíka v horľavine vo vzorke suchého listia [%],  
 $S^{daf}$  – obsah síry v horľavine vo vzorke suchého listia [%],  
 $O^{daf}$  – obsah kyslíka v horľavine vo vzorke suchého listia [%],  
 $A^d$  – podiel popola zo vzorky suchého listia [%],  
 $W_r$  – relatívna vlhkosť vzorky listia [%].

## VÝSLEDKY

Výsledky analýz chemického zloženia horľaviny suchého listia z jesenného opadu stromov analyzovaných drevín uvádza tabuľka 1, formou zápisu  $x_i = \bar{x}_i \pm u_{ci}$  t.j. priemernej nameranej hodnoty a kombinovanej štandardnej neistoty merania.

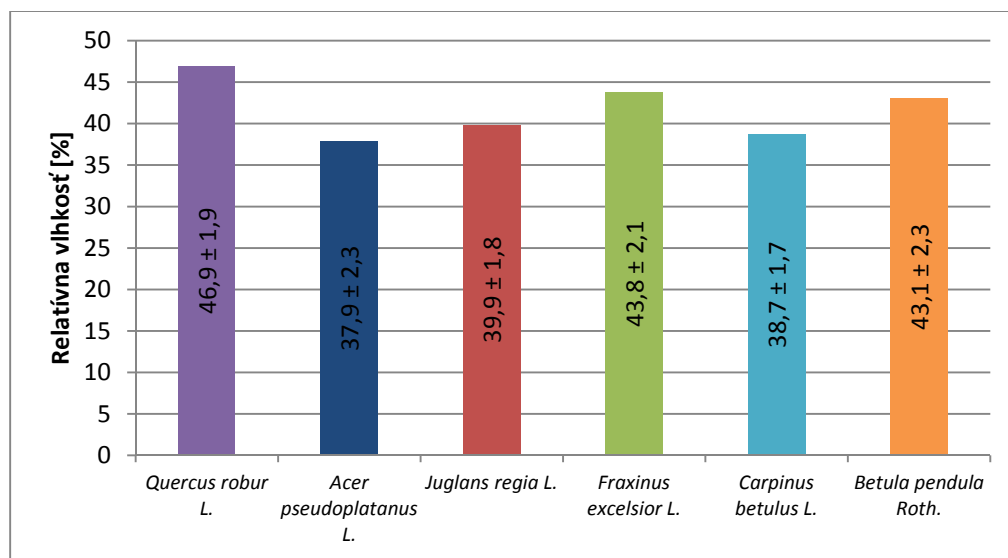
**Tab. 1 Chemické zloženie horľaviny suchého listia z jesenného opadu stromov vybraných tvrdých listnatých drevín.**

**Tab. 1 The chemical composition of combustible dry leaves of the autumn trees litterfall the selected of hard deciduous trees.**

Listie dreviny	Počet analýz	Chemické zloženie horľaviny [%]				
		$C^{daf}$	$H^{daf}$	$N^{daf}$	$S^{daf}$	$O^{daf}$
<i>Quercus robur</i> L.	3	50,6 ± 0,5	6,1 ± 0,3	1,1 ± 0,1	0,1 ± 0,01	42,1 ± 0,4
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	3	46,9 ± 0,5	6,0 ± 0,3	0,9 ± 0,1	0,2 ± 0,01	46,0 ± 0,4
<i>Juglans regia</i> L.	3	49,3 ± 0,5	6,0 ± 0,3	1,5 ± 0,1	0,1 ± 0,01	43,1 ± 0,4
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	3	47,9 ± 0,5	6,0 ± 0,3	1,1 ± 0,1	0,1 ± 0,01	44,9 ± 0,4
<i>Carpinus betulus</i> L.	3	48,2 ± 0,5	5,9 ± 0,3	1,3 ± 0,1	0,1 ± 0,01	44,5 ± 0,4
<i>Betula pendula</i> Roth.	3	51,6 ± 0,5	6,2 ± 0,3	1,2 ± 0,1	0,2 ± 0,01	40,8 ± 0,4

Priemernú hodnotu relatívnej vlhkosti v čase opadu biopaliva – listia z jesenného opadu stromov jednotlivých drevín uvádza obrázok 1. V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty nameraných energetických charakteristík listia analyzovaných drevín, spaľovacie teplo a

podiel popola z lístia v suchom stave ( $W_r = 0\%$ ). Výsledky kvalitatívnej analýzy popola t.j. zastúpenia vápnika Ca, horčíka Mg, draslíka K, man-gánu Mn, železa Fe, fosforu P, a zinku Zn v popole z dubového, javorového a brezového lístia, metódou AES ICP, sú prezentované v tabuľke 3.



**Obr. 1** Relatívna vlhkosť biopaliva – lístia z jesenného opadu stromov vybraných tvrdých listnatých drevín.  
**Fig. 1** Relative humidity of biofuels – leaves of autumn trees litterfall the selected of hard deciduous trees.

**Tab. 2** Spaľovacie teplo a podiel popola biopaliva - suchého lístia z jesenného opadu stromov vybraných tvrdých listnatých drevín.

**Tab. 2** Higher heating value and ash content of biofuels - dry leaves of autumn trees litterfall the selected of hard deciduous trees.

Lístie dreviny	Energetické vlastnosti biopaliva - lístia z jesenného opadu stromov			
	n	Spaľovacie teplo [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	n	Podiel popola [%]
<i>Quercus robur</i> L.	6	18487 ± 363	3	8,1 ± 1,8
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	6	16046 ± 484	3	12,4 ± 1,4
<i>Juglans regia</i> L.	6	16972 ± 510	3	12,6 ± 1,2
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	6	16514 ± 486	3	11,9 ± 1,3
<i>Carpinus betulus</i> L.	5	16278 ± 612	3	13,1 ± 1,5
<i>Betula pendula</i> Roth.	6	19754 ± 342	3	4,8 ± 1,2

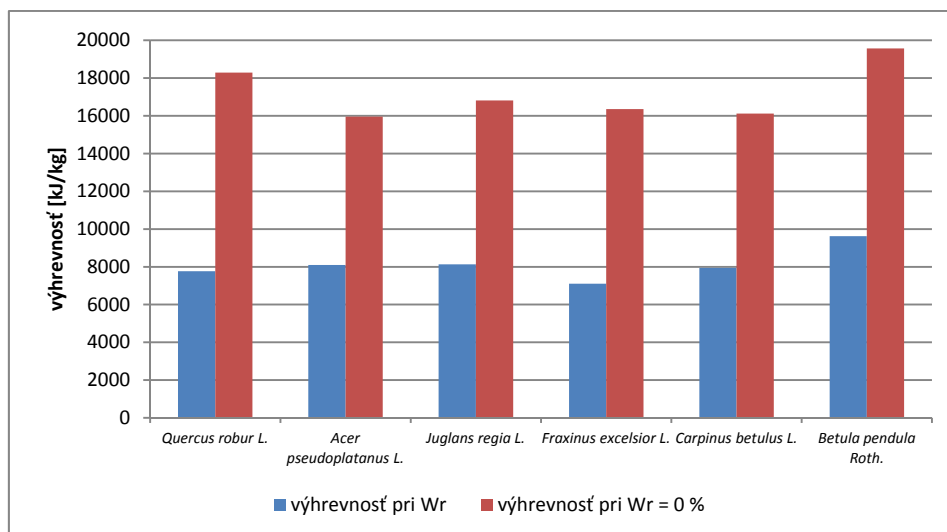
Poznámka: n – počet vykonaných meraní danej energetickej vlastnosti.

**Tab. 3** Chemické zloženie popola zo suchého lístia z jesenného opadu stromov tvrdých listnatých drevín.

**Tab. 3** The chemical composition of the ash from the dry leaves of the autumn trees litterfall of hard deciduous trees.

Lístie dreviny	Zastúpenie anorganických prvkov v popole zo suchého lístia [ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]						
	Ca	Mg	K	Mn	Fe	P	Zn
<i>Quercus robur</i> L.	179,3	19,1	20,1	2,8	12,7	13,6	0,2
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	204,0	17,4	8,7	5,0	6,4	5,9	0,1
<i>Betula pendula</i> Roth.	290,0	58,9	32,2	14,7	7,9	9,6	2,7

Výhrevnosť lístia zo stromov tvrdých listnatých drevín, pri relatívnej vlhkosti v čase opadu a v suchom stave  $W_r = 0\%$ , je formou stĺpcového grafu zobrazená na obr. 2.



Obr. 2 Výhrevnosť listia z jesenného opadu stromov analyzovaných drevín, pri pôvodnej vlhkosti a suchom stave ( $W_r = 0\%$ ).

Fig. 2 Lower heating value of the leaf litterfall autumn trees analyzed tree species in the original moisture and dry state ( $W_r = 0\%$ ).

## DISKUSIA

Výsledky experimentálnych prác stanovujúcich relatívnu vlhkosť listia z jesenného opadu uvádzajú, že relatívna vlhkosť listia je v rozpätí:  $W_r = 37,9\text{--}46,9\%$ . Uvedená vlhkosť je prijateľná pri spracovaní predmetnej zelenej hmoty kompostovaním, resp. výrobe bioplynu anaeróbnou fermentáciou JANDAČKA *et al.* (2007). Až takéto priaznivé hodnotenie sa nevzťahuje na energetické využitie listia pre výrobu tepla priamym spaľovaním. Listie s takouto vlhkosťou, ako dokumentuje obr. 2, má výhrevnosť o cca 50 % nižšiu než je výhrevnosť toho istého listia v suchom stave. Zvýšená vlhkosť listia sa negatívne premieta nielen na znížení základných energetických hodnôt biopaliva t.j. spaľovacieho tepla a výhrevnosti, ale ako uvádza v práci: MARTINÍK *et al.* (2014) aj vo výrobnom procese jeho technologického spracovania na brikety. Vlhké posekané listie upcháva sitá triediča čím narušuje plynulosť danej technologickej operácie.

Z porovnaní chemického zloženia horľaviny listia z jesenného opadu stromov tvrdých listnatých drevín v suchom stave s horľavinou suchého dreva listnatých drevín uvádzaných v EN 14 961-1:2010 *Tuhé biopalivá*, resp. v prácach DZURENDA – JANDAČKA (2010), HECL (2011), DZURENDA *et al.* (2010, 2011, 2014) plynie, že horľavina listia má vyšší podiel dusíka – endotermickej zložky biopaliva. Obsah dusíka v horľavine suchého listia je 7,5 krát vyšší než obsah dusíka v horľavine palivového dreva listnatých drevín a 40 krát vyšší než v horľavine palivového dreva ihličnatých drevín. Uvedená skutočnosť má negatívny dopad na produkciu palivových oxidov dusíka emitovaných z energetického zariadenia do ovzdušia. DZURENDA (2004), DOMANSKI *et al.* (2007), STUBENBERGER *et al.* (2007), DZURENDA *et al.* (2014). Prvkový rozbor ostatných zložiek horľaviny listia poukazuje na vyšší rozptýlený podiel uhlíka a kyslíka v horľavine biopaliva než je tomu u palivového dreva listnatých drevín. Obdobné zistenie o energetických vlastnostiach listia z ovocných stromov uvádzajú práce GARCIA *et al.* (2011), FERNANDES *et al.* (2013).

Podiely popola zo suchého listia analyzovaných drevín uvádzané v tab. 2 poukazujú na skutočnosť, že listie z jesenného opadu stromov je biopalivo s výrazne vyššou produkciou popola než je produkcia popola zo spaľovania palivového dreva listnatých, či

ihličnatých drevín. Ak produkcia popola z palivového dreva podľa prác: PERELYGIN (1965), BLAŽEJ (1970), SIMANOV (1995), GEMZICKÁ – KEDER (2005), DZURENDA (2007) je v rozpätí: 0,3–0,7 %, tak produkcia popola z listia tvrdých listnatých stromov (až na listie brezy) je v priemere 25 krát vyššia. Z aspektu popolnatosti je tak biopalivo - listie z jesenného opadu listnatých stromov zrovnateľné s fosílnym palivom - triedeným hnedým uhlím ( $A^r = 7\text{--}12\%$ ) z Hornonitrianskych baní, či Mostecké pánve v Čechách.

Z kvantitatívneho rozboru analyzovaných anorganických prvkov popola plynie, že najvyššie hmotnostné zastúpenie v popole má vápnik s priemernou hodnotou  $Ca = 224,4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  popola. Zastúpenie ostatných analyzovaných prvkov, v porovnaní s vápnikom, je nižšie: horčíka 7,5 krát, draslíka 11,2 krát, mangánu, fosfora a železa cca 25 krát. Zastúpenie zinku v popole s priemernou hodnotou  $Zn = 0,15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  je 1500 krát nižšie než vápnika až na popol z brezového listia (*Betula pendula* Roth.), u ktorého kvantifikované množstvo zinku voči vápniku je 107 krát nižšie.

Chemická skladba popola má bezprostredný vplyv na tepelné charakteristiky popola. Podľa prác: MALAŤAK – VACULÍK (2008), JANDAČKA *et al.* (2011) tepelné charakteristiky popola z biopalív sú v rozhodujúcej miere závislé na zastúpení vápnika, horčíka a draslíka. Kým vápnik a horčíkom zvyšujú teplotu tavenia popola, tak draslík s teplotou spekania  $850\text{ }^\circ\text{C}$  prispieva k znižovaniu tepelných charakteristík anorganického zvyšku zo spaľovania biopalív. Na základe porovnania pomeru zastúpenia súčtu vápnika a horčíka k draslíku ( $Ca + Mg$ ) :  $K = 2,8$  v popolovine dreva listnatých drevín (*EN 14 961-1:2010 Tuhé biopalivá*) s pomerom týchto prvkov v popole zo suchého listia ( $Ca + Mg$ ) :  $K = 12,8$  je možné konštatovať, že pomer vápnika s horčíkom k draslíku je v popole zo suchého listia výrazne vyšší, na základe čoho je možné konštatovať, že v procese spaľovania listia sa nebude popol spekať a tak nebude ovplyvňovaný jeho transport po roštniciah v kúreniskách tepelných generátorov.

Popol vzniknutý v procese spaľovania dreva a kôry vo forme sypkej hmoty sa v minulosti používal v poľnohospodárstve a lesníctve ako hnojivo. Pri hnojení lesných porastov sa odporúčalo dávkovanie 1–16 ton popola na 1 ha. Obecne sa hnojenie popolom z dendromasy a fytomasy i dnes považuje za cestu návratu živín do lesných ekosystémov pri komplexnom využívaní lesa, ako uvádzajú práce SIMANOV (1995), DEMKO (1996), DEMEYER *et al.* (2001), PITMANN (2006), KUOKKANEN *et al.* (2009), ZACHAROVÁ *et al.* (2014).

Namerané hodnoty spaľovacieho tepla suchého listia analyzovaných drevín sú v rozpätí hodnôt  $Q_s = 16\ 046\text{--}19\ 754\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  a dolná hranica výhrevnosti vypočítaná prostredníctvom rovnice M. I. Mendelejeva je  $Q_n = 15\ 887\text{--}19\ 573\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . V porovnaní s priemernou hodnotou spaľovacieho tepla a výhrevnosti palivového dreva listnatých drevín v suchom stave ( $Q_s = 20\ 100\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $Q_n = 18\ 900\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) uvádzanými v *EN 14 961-1:2010* je spaľovacie teplo suchého listia analyzovaných drevín nižšie v priemere o 10,9 % a výhrevnosť suchého listia nižšia o 6,5 %. Pokles základných energetických charakteristík je v rozhodujúcej miere spôsobený zvýšeným obsahom anorganických látok (popolovín) v listí a čiastočne aj zvýšeným podielom dusíka – endotermickej zložky horľaviny biopaliva.

## ZÁVER

Na základe experimentálnych prác stanovujúcich energetické vlastnosti listia z jesenného opadu stromov tvrdých listnatých drevín je možné konštatovať, že relatívna vlhkosť biopaliva je  $W_r = 37,9\text{--}46,9\%$ . Uvedená skutočnosť ma negatívny dopad na zníženie základných energetických hodnôt biopaliva t.j. spaľovacieho tepla a výhrevnosti.

Chemické zloženie horľaviny – listia zo stromov tvrdých listnatých drevín v porovnaní s chemickým zložením horľaviny palivového dreva listnatých drevín sa líši len vyšším obsahom dusíka. Horľavina listia obsahuje 7,5 krát viac dusíka než horľavina palivového dreva listnatých drevín.

Priemerná hodnota popola – anorganického zvyšku zo spáleného listia analyzovaných drevín je 25 krát vyššia, než je podiel popola z palivového dreva listnatých drevín. Produkcia popola z listia analyzovaných drevín, až na listie brezy previsnutej v rozsahu  $A_d = 8,1\text{--}13,1\%$  je zrovnateľná s produkciou popola hnedého triedeného uhlia.

Spaľovacie teplo suchého listia z jesenného opadu stromov analyzovaných tvrdých listnatých drevín je v rozpätí hodnôt  $Q_s = 16\ 046\text{--}19\ 754\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  a výhrevnosť  $Q_n = 15887\text{--}19\ 573\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . V porovnaní so suchým palivovým drevom tvrdých listnatých drevín ( $Q_s = 20\ 100\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $Q_n = 18\ 900\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), je spaľovacie teplo suchého listia menšie o 10,9 % a výhrevnosť nižšia o 6,5 %. Pokles základných energetických charakteristík t.j. spaľovacieho tepla a výhrevnosti je v rozhodujúcej miere spôsobený jeho vysokou popolnatosťou listia a v menšej miere i zvýšeným podielom dusíka – endotermickej zložky horľaviny.

Na základe výsledkov energetických analýz listia z jesenného opadu stromov tvrdých listnatých drevín je možné konštatovať, že predmetné listie spĺňa kritéria vlhkého biopaliva a môže byť využité aj pre spaľovanie v kotloch s kúreniskami na spaľovanie dendromasy vyššej vlhkosti.

## LITERATÚRA

- APALOVÍČ., R. a kol. 1998. Obnoviteľné zdroje energie – možnosti regiónu. Banská Bystrica : OLIS.
- BLAŽEJ, A., ŠUTÝ, L., KOŠÍK, M., KRKOŠKA, P., GOLIS, E. 1975. Chémia dreva. Bratislava : ALFA, 221 s.
- BUBLINEC, E. 1984. Vplyv výroby biomasy na ochudobňovanie pôdy o živiny. Zvolen : VÚLH, 115 pp.
- DEMEYER, A., VOUNDI-NKANA, J. C., VERLO, M. G., 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology*, 77(3): 287–295.
- DOMANSKI, M., DZURENDA, L., JABLONSKI, M., OSIPIUK, J. 2007. Drewno jako materiał energetyczny. Warszawa : Wydawnictwo SGGW, 2007. 129 s. ISBN 978-83-7244-903-0.
- DZURENDA, L. 2004. Emission of  $\text{NO}_2$  from the combustion process of wet wood and bark. *Drvna industrija*. 2004. 55(1): 19–24.
- DZURENDA, L., GEFFERTOVÁ, J., HECL, V. 2010. Energy characteristics of the wood-chip produced from *Salix viminalis* - clone ULV. *Drvna industrija*, 2010, 61(1): 27–31.
- DZURENDA, L., JANDAČKA, J. 2010. Energetické využitie dendromasy. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 161 s. + 1 CD-ROM ISBN 978-80-228-2082-0.
- DZURENDA, L., RIDZIK, L., DZURENDA, M. 2013. Popolnatosť biopaliva – energetickej štiepky z dendromasy porastov plantážnicky pestovaných vrúb a topoľov. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*. 2013, 55(1): 111–118,
- DZURENDA, L., BANSKI, A., DZURENDA, M. 2014. Energetic properties of green wood chips from *Salix viminalis* grown on plantations. *Scientia agriculturae bohémica*, 45(1): 44–49.
- DZURENDA, L., LADOMERSKÝ, J., HRONCOVÁ, E. 2015. Conversion factor of fuel-bound nitrogen to oxides in the process of spruce wood combustion in boiler grate furnaces. *Pol. J. Environ. Stud*. 24(2): 11–15.
- FERNANDES, E. R.K., MARANGONI, C., SOUZA, O., SELLIN, N. 2013. Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. *Energy Conversion and Management* 75: 603–608.

- GARCIA, R., PIZARRO, C., LAVÍN, A.G., BUINO, J.L. 2012. Charakterization of Spanish biomass waster for energy use. *Bioresource Technology*, 103: 249–258.
- GEMZICKÁ, E., REDER, R. 2005. Zastúpenie chemických prvkov v štiepkach. In: *Vybrané procesy pri spracovaní dreva 2005*. Zvolen : TU vo Zvolene, 91–106 s.
- HECL, V., 2011. Modelovanie produkcie oxidov dusíka z procesov spaľovania štiepky z energetických plantáží. [Dizertačná práca TU Zvolen]. 90 s.
- JANDAČKA, J., MALCHO, M., MIKULÍK, M., 2007. Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy. Žilina : Vydavateľstvo GEORG, 222 s. ISBN 978-80-969595-3-2.
- JANDAČKA, J., NOSEK, R., HOLUBČÍK, M. 2011. Vplyv vybraných aditív na vlastnosti drevných peliet a na ich výrobu. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 53(2): 85–91.
- KOLLÁROVÁ, M., PLÍVA, P. 2005. Technika pro kompostování v pásových hromadách. In: *Zemědělská technika a biomasa 2005*. Praha : VUZT. p.14–20.
- KUOKKANEN, M., POYKIO, R., KUOKKANEN, T., NURMESNIEMI, H. 2009. Wood ash – a potential forest fertilizer. In *Energy research at the University of Oulu*. s. 89–93.
- MALAŤÁK, J. – VACULÍK, P. 2008. Biomasa pro výrobu energie. Praha : CZU v Praze, 206 s. ISBN 978-80-213-1810-6.
- MARTINÍK, L., DRASTICHOVÁ, V., HORÁK, J., JANKOVSKÁ, Z., KRPEC, K., KUBEŠA, P., HOPAN, F., KALIČÁKOVÁ, Z. 2014. Spaľování odpadní biomasy v malých zařízeních. *Chem. Listy* 108: 156–162.
- PERELYGIN, L. M. 1965: *Nauka o dreve*. Bratislava : SVTL, 448 s.
- PITMAN, R., 2006. Wood ash use in forestry – a review of the enviromental impacts. *Forestry* 5. 79: 563–588.
- SIMANOV, V. 1995. Energetické využívání dříví. Olomouc : Terapolis, 98 s.
- STEGELMEIER, M., SCHMITT, V., KALTSCHMITT, M. 2011. Pelletizing of autumn leaves – possibilities and limits. *Biomass Conversion and Biorafinery* 1, 173–187 p.
- STUBENBERGER, G., SCHARLER, R., OBERNBERGER, I. 2007. Nitrogen release behavior of different biomass fuels under lab - scale end pilot - scale conditions. In: *15<sup>th</sup> European Biomass Conference & Exhibition*, Berlin, 1412–1420 p.
- ZACHAROVÁ, A., KONTRIŠOVÁ, O., KONTRIŠ, J., OLLEROVÁ, H. 2012. Vplyv drevného popola na obsah makroprvkov v juvenilných jedincoch smreka obyčajného. *Zvolen. Acta facultatis ecologiae*, 26: 61–65 s.
- STN EN 14961-1:2010 Tuhé biopalivá.Špecifikácie a triedy palív. Časť 1: Všeobecné požiadavky. 51 s.
- STN EN 14774-2:2010 Tuhé biopalivá - Stanovenie obsahu vlhkosti. 8 s.
- STN EN 15296:2011 Tuhé biopalivá. Prepočet výsledkov analýz z jedného stavu na iný stav. 15 s.
- STN ISO 1171:2003 Tuhé palivá. Stanovenie popola. 8 s.
- STN ISO 1928:2003 Tuhé paliva. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti. 43 s.

## Pod'akovanie

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantového projektu: KEGA–SR č. 006TU Z-4/2014, ako výsledok práce autorov a výraznej pomoci agentúry KEGA–SR.

## Adresa autorov

Ladislav Dzurenda,  
 Ľubomír Pňakovič  
 Technická univerzita vo Zvolene  
 Drevárska fakulta  
 T. G. Masaryka 24  
 960 53 Zvolen  
 dzurenda@tuzvo.sk  
 pnakovic@tuzvo.sk