

ENERGETICKÉ VLASTNOSTI VZDUCHO-SUCHÉHO PALIVOVÉHO DREVA

ENERGY PROPERTIES OF AIR DRY FIREWOOD

Radovan Nosek – Michal Holubčík

ABSTRACT

Dendromass or woody biomass is an abundant renewable energy carrier. Forest residues are the remaining fraction after harvest and outtake of the wood timber, including tree tops and barks. Dendromass in quality of firewood is used as primary raw material within production of solid biofuels. During this process it is most often used air dry firewood. This firewood could be from various types of wood species. This paper deals with energy properties of dendromass in quality of air dry firewood. During experiments were tested following wood species: Norway spruce, silver fir, oak, birch, beech and Black Locust wood without and with bark. There were tested these energy parameters: density, bark content, moisture content, LHV and HHV (gross and net calorific value) and ash content. The results show that energy parameters of air dry firewood affect various aspects as species of wood, place of growing (soil quality), methods of storage and a method of dendromass preparing – feedstock treatment for biofuels production. Conversion of agricultural and forestry lignocellulose into fuels, chemicals, and materials has become a hot topic.

Keywords: biomass, feedstocks, quality, energy carrier, woody biomass, dendromass, firewood, moisture content, ash content, HHV, LHV.

ÚVOD

Využívanie dreva ako paliva má na Slovensku dlhú tradíciu. Kým v 19-stom storočí a prvej polovici 20-teho storočia malo spolu s uhlím dominantné postavenie, tak dnes medzi palivami plní funkciu doplnkového paliva. Napriek uvedenému konštatovaniu kusové palivové drevo drevín breza previsnutá (*Betula pendula*), buk lesný (*Fagus sylvatica*), dub zimný (*Quercus petraea*), či agát biely (*Robinia pseudoacacia*) je nenahradiateľným palivom pre krby, krbové kachle a krbové vložky. Zdrojom kusového palivového dreva na Slovensku podľa prác SIMANOV (1995), TRENČIANSKY *et al.* (2007), SUCHOMEL (2013), DZURENDA *et al.* (2015) je lesné hospodárstvo a čiastočne drevospracujúci priemysel, ktorý z nehrúbia, konárov či manipulačných odrezkov vyrába a na trh dodáva kusové palivové drevo. V prevažnej väčšine zdrojov tepla sa využíva drevo prirodzene sušené na vzduchu, preto je potrebné venovať patričnú pozornosť jeho kvalite, ktorú ovplyvňujú parametre, najmä podiel kôry, obsah vody, výhrevnosť a obsah popola. Relatívna vlhkosť znižuje výhrevnosť biopaliva a vplýva na proces spaľovania negatívne. Nedokonalé spaľovanie v spaľovacom

zariadení je dôsledkom nižšej účinnosti spaľovania a vyššej produkcie emisií, napr. CO, TZL vrátane sadzí a dechtov.

Drevo listnatých drevín svojimi energetickými vlastnosťami v suchom stave je podľa EN 14 961 Solid biofuels, biopalivo s výhrevnosťou $Q_n = 18,9 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, vysokým podielom prchavej horľaviny $V = 85 \%$ a nízkym obsahom popola $A = 0,3 \%$. Pozitívnu charakteristikou v porovnaní s fosílnymi palivami je jeho nízka popolnosť, ktorá podľa prác: JANDAČKA *et al.* (2007), LÁZÁR *et al.* (2012), DZURENDA *et al.* (2015) je 15 až 30 krát nižšia než popolnosť uhlia. Negatívnou vlastnosťou palivového dreva je jeho afinita k vode a vodnej pare. Hmota dreva stromu má po zoťatí priemernú relatívnu vlhkosť v závislosti na drevine od $W_r = 35\text{--}65 \%$. Z nehrubia vyrobené palivové kusové drevo voľne uložené v prekrytých skládkach prirodzeným sušením preschne na tzv. vzducho-suchý stav, čo podľa prác TREBULA – KLEMENT (2005), DZURENDA *et al.* (2015), PŇAKOVIČ – DZURENDA (2015) je relatívna vlhkosť $w_r = 15\text{--}20 \%$.

V krajinách Európskej únie je výrobe tepla z biopalív v ostatných rokoch venovaná zvýšená pozornosť z technického, energetického, ekonomického, či ekologického aspektu, čo dokladujú i práce: FILBAKK *et al.* (2010), JANDAČKA *et al.* (2011), PICCHIO *et al.* (2012), GARCIA *at al.* (2012), NOSEK *et al.* (2014), DZURENDA *et al.* (2015).

Tento článok prezentuje energetické vlastnosti kusového, vzducho-suchého, palivového dreva určeného pre spaľovanie v krboch a krbových vložkách drevín: Smrek obyčajný (*Picea abies*), Jedľa biela (*Abies alba*), Breza previsnutá (*Betula pendula*), Dub zimný (*Quercus petraea*), Buk lesný (*Fagus sylvatica*) a Agát biely (*Robinia pseudoacacia*).

MATERIÁL A METODIKA

Kusové palivové drevo určené pre spaľovanie v krboch a krbových vložkách sú polienka v tvare valca s priemerom $d = 50\text{--}70 \text{ mm}$ a dĺžky $l = 330 \text{ mm}$, resp. polené a štiepané polienka rovnakej dĺžky.

Jednotlivé vzorky vzducho-suchého smrekového a jedľového palivového dreva boli odobraté z prekrytých skládok, v ktorých sa prirodzene sušilo od marca do polovice júla v roku 2014 t.j. 5,5 mesiacov. Drevo listnatých drevín bolo skladované a prirodzene sušené 18 mesiacov. Skladovanie a prirodzené sušenie palivového dreva bolo realizované v priestoroch Žilinskej univerzity v Žiline.

Z jednotlivých skládok bola odobraná reprezentatívna vzorka palivového dreva v súlade s normou STN EN 14780. Hlavným cieľom prípravy vzorky bolo zmenšiť vzorku na jeden skúšobný podiel, alebo viac skúšobných podielov, ktoré sú zvyčajne menšie ako pôvodná vzorka. Hlavnou zásadou pri znižovaní vzorky je, že zloženie odobratej vzorky sa v priebehu všetkých krokov prípravy vzorky nesmie zmeniť. Každá časť vzorky musí reprezentovať pôvodnú vzorku.

Na vzorkách vzducho-suchého kusového palivového dreva boli stanovované nasledovné vlastnosti:

- hustota dreva v suchom stave,
- podiel kôry na vzorkách palivového dreva s kôrou,
- relatívna vlhkosť,
- spaľovacie teplo a výhrevnosť,
- podiel popola.

Časť vzoriek palivového dreva s kôrou pre analýzy spaľovacieho tepla a podielu popola bola procesmi štiepania, sekania a mletia pretvorená na drevný prach s rozmermi pod 1 mm .

Hustota testovaného dreva bola stanovená v súlade s STN 49 0108 v suchom stave. Hustota bola vypočítaná, z nameranej hmotnosti vzorky a jej objemu, podľa vzťahu:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} [kg \cdot m^{-3}] \quad (1)$$

kde: m_0 – hmotnosť suchej vzorky [kg],
 V_0 – objem suchej vzorky [m³].

Podiel kôry vo vlhkom stave v jednotlivých skúšobných vzorkách palivového dreva analyzovaných drevín bol laboratórne stanovený v súlade s normou STN 48 0058. Zastúpenie kôry v dreve bolo vypočítané prostredníctvom vzťahu:

$$X_k = \frac{m_k}{m_d} 100 [\%] \quad (2)$$

kde: m_k – hmotnosť kôry vo vzorke dreva [g],
 m_d – hmotnosť vzorky dreva [g].

Relatívna vlhkosť vzoriek biopaliva sa stanovovala v súlade s STN EN 14774 s využitím laboratórnej sušiackej váhy RADWAG 50 SX. Výsledná relatívna vlhkosť vzorky ako hmotnostné percento sa určí na základe rovnice:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_1) + m_4} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

kde: m_1 je hmotnosť prázdnej sušiackej nádoby [g],
 m_2 je hmotnosť sušiackej nádoby a vzorky pred sušením [g],
 m_3 je hmotnosť sušiackej nádoby a vzorky po sušení [g]
 m_4 je hmotnosť vlhkosti spojenej s obalom [g].

Spaľovacie teplo (Q_s) vzoriek v suchom stave a pri vlhkosti vzducho-suchého biopaliva sa stanovovalo v súlade STN EN 14918 prostredníctvom kalorimetra LECO AC 500.

Z nameraného spaľovacieho tepla vzducho-suchého biopaliva a nameranej relatívnej vlhkosti sa výpočtom stanovila výhrevnosť vzducho-suchého dreva na základe nasledovného vzťahu:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (M_{ar} + 9H) [MJ \cdot kg^{-1}] \quad (4)$$

kde: Q_s je spaľovacie teplo paliva v MJ·kg⁻¹,
 M_{ar} je relatívna vlhkosť paliva v kg·kg⁻¹,
 H obsah vodíka v palive v kg·kg⁻¹.

Podiel popola zo spálenia vzoriek jednotlivých drevín vo vzducho-suchom stave sa stanovil na základe normy STN EN 14775. Hodnota podielu popola sa stanovila výpočtom z rovnice:

$$A_r = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 [\%] \quad (5)$$

kde: m_1 je hmotnosť prázdnej misky v gramoch,
 m_2 je hmotnosť misky so skúšobnou vzorkou v gramoch,
 m_3 je hmotnosť misky s popolom v gramoch.

Každý experiment a následný výpočet sa na každej vzorke realizoval trikrát a výsledok je aritmetickým priemerom týchto troch meraní.

VÝSLEDKY

Výsledné hodnoty experimentálneho stanovenia hustoty dreva v suchom stave, relatívnej vlhkosti jednotlivých vzoriek vzducho-suchého dreva a podiel kôry na povrchu palivového dreva sú uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1 Hustota dreva, podiel kôry a relatívna vlhkosť dreva a dreva s kôrou testovaných drevín.
Tab. 1 Density, bark content and moisture content (MC) of wood and wood with bark of tested wood species.

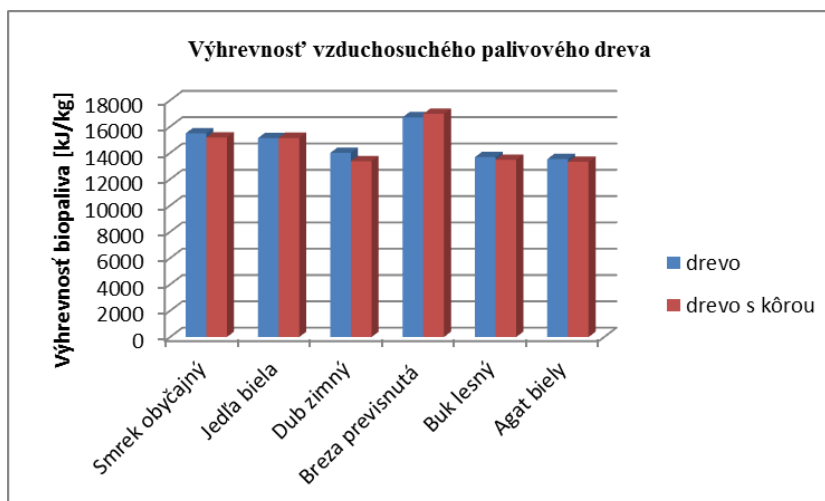
Drevina	Hustota dreva v suchom stave [kg·m ⁻³]	Podiel kôry [%]	Relatívna vlhkosť [%]	
			drevo	drevo s kôrou
Smrek obyčajný	428 ± 23	15,55 ± 0,36	16,3 ± 1,5	16,5 ± 1,4
Jedľa biela	395 ± 18	18,35 ± 0,18	16,7 ± 1,7	16,6 ± 1,3
Dub zimný	719 ± 35	25,21 ± 0,38	19,6 ± 2,4	19,7 ± 1,9
Breza previsnutá	594 ± 24	15,94 ± 0,19	17,2 ± 2,0	17,4 ± 1,4
Buk lesný	651 ± 27	9,13 ± 0,29	18,1 ± 1,8	17,9 ± 1,3
Agát biely	698 ± 34	22,15 ± 0,27	19,3 ± 2,1	19,5 ± 1,8

Hodnoty laboratórne stanoveného spaľovacieho tepla jednotlivých vzoriek palivového dreva analyzovaných drevín v suchom stave a pri vlhkosti vzducho-suchého stavu sú uvedené v tabuľke 2.

Tab. 2 Spaľovacie teplo dreva a dreva s kôrou testovaných drevín.
Tab. 2 HHV-Higher Heating Value of wood and wood with bark of tested wood species.

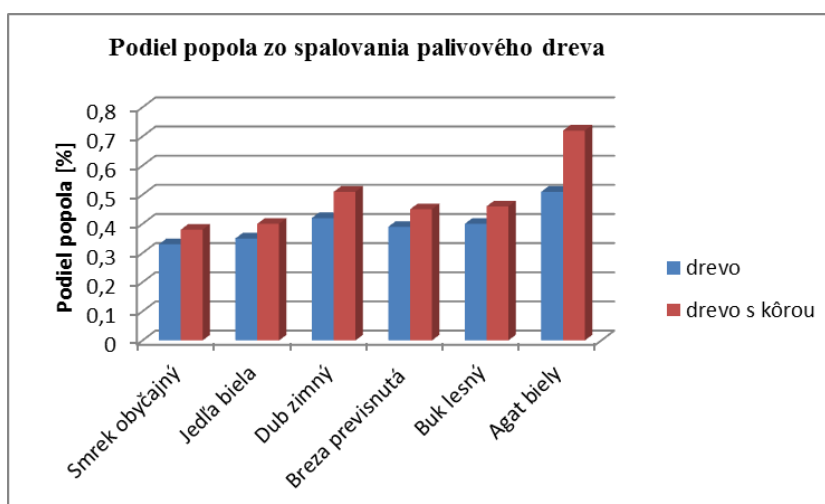
Drevina	Palivové drevo	Spaľovacie teplo [kJ·kg ⁻¹]	
		Suchý stav	Vzducho-suchý stav
Smrek obyčajný	Drevo	20 560	17 208
	Drevo s kôrou	20 245	16 905
Jedľa biela	Drevo	20 242	16 862
	Drevo s kôrou	20 225	16 868
Dub zimný	Drevo	19 685	15 807
	Drevo s kôrou	18 890	15 168
Breza previsnutá	Drevo	22 287	18 453
	Drevo s kôrou	22 658	18 715
Buk lesný	Drevo	18 860	15 446
	Drevo s kôrou	18 532	15 241
Agát biely	Drevo	18 990	15 325
	Drevo s kôrou	18 780	15 118

Výpočtom stanovené hodnoty výhrevnosti jednotlivých vzoriek vzducho-suchého dreva pri predpoklade, že podiel vodíka v dreve ihličnatých i listnatých drevín je $H = 0,06 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ sú uvedené na obr. 1.



Obr. 1 Výhrevnosť vzduchosuchého palivového dreva.
Fig. 1 LHV-Lower Heating Value air dry firewood.

Výsledné hodnoty experimentálneho stanovenia obsahu popola jednotlivých vzoriek vzducho-suchého dreva stanovené podľa metodického postupu normy EN 14775 sú uvedené na obr. 2.



Obr. 2 Obsah popola testovaných vzoriek palivového dreva podľa EN 14775.
Fig. 2 Ash content of tested samples of firewood according to EN 14775.

DISKUSIA

Hodnoty hustôt palivového dreva v suchom stave ihličnatých drevín $\rho_0 = 395 \pm 18 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ až $\rho_0 = 428 \pm 23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a listnatých drevín $\rho_0 = 594 \pm 24 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ až $\rho_0 = 719 \pm 35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ poukazujú na široký interval hmotností biopaliva v 1 m^3 . Ako uvádzajú práce PERELYGIN (1965), POŽGAJ *et al.* (1997), KÚDELA – ČUNDERLÍK (2012), vyvolaný je štruktúrou a pórovitosťou dreva jednotlivých drevín. Namerané hodnoty hustôt jednotlivých drevín možno označiť za priemerné hodnoty hustôt dreva analyzovaných drevín, čo dokladujú i práce autorov PERELYGIN (1965), REGINÁČ *et al.* (1990), POŽGAJ *et al.* (1997), DZURENDA – DELIISKI (2010), MAKOVINY (2010). Uvedené konštatovanie nepriamo deklaruje skutočnosť, že drevo počas skladovania a prirodzeného sušenia nebolo poškodené hubami, alebo inými škodcami.

Kôra je súčasťou palivového dreva a jej podiel je závislý na drevine, priemere stromu a veku stromu POŽGAJ *et al.* (1997), GOLOVKOV *et al.* (1987). Z hľadiska energetických vlastností dreva sa líši tak chemickým zložením horľaviny ako i popolnatosťou. Zvýšený podiel dusíka - endotermickej zložky horľaviny a anorganických látok (popolovín) v kôre negatívne vplyva na spaľovacie teplo a výhrevnosť kôry, ako i produkciu popola SIMANOV (1995), DZURENDA-JANDAČKA (2010). Potvrdzujú to i výsledky nami vykonaných analýz stanovujúcich produkciu popola zo vzoriek palivového dreva a palivového dreva s kôrou.

Nami namerané hodnoty spaľovacieho tepla drevín v suchom stave potvrdzujú známe poznatky, že spaľovacie teplo ihličnatých drevín má v priemere vyššiu hodnotu o 1 366 kJ·kg⁻¹ ako spaľovacie teplo listnatých drevín, až na drevo dreviny brezy previsnutej, ktorá podľa autorov: LONGAUER *et al.* (1988), GEFFERTOVÁ (2009), DZURENDA – JANDAČKA (2010) dosahuje hodnotu až 24,0 MJ·kg⁻¹.

Namerané hodnoty spaľovacieho tepla vzducho-suchého palivového dreva jednotlivých drevín sú vplyvom vlhkosti nižšie, ležia v intervale $Q_{rs} = 15\,118 \div 18\,715$ kJ·kg⁻¹. Z porovnania nameraných hodnôt spaľovacieho tepla vzducho-suchých vzoriek jednotlivých drevín s kôrou a bez kôry možno konštatovať, že vplyv dreviny a vlhkosti je výrazne väčší ako vplyv podielu kôry na spaľovacie teplo.

Priemerná výhrevnosť vzducho-suchého palivového dreva ihličnatých drevín je $Q_n = 15\,230$ kJ·kg⁻¹ a listnatých drevín $Q_n = 13\,559$ kJ·kg⁻¹. Napriek nižšej výhrevnosti vzducho-suchého palivového dreva listnatých drevín v porovnaní s drevom ihličnatým ľudia uprednostňujú drevo listnatých drevín pre ich vyššiu hustotu a dĺžku doby horenia. Vysoká výhrevnosť vzducho-suchého brezového dreva s kôrou $Q_n = 16\,963$ kJ·kg⁻¹, ako i skutočnosť plameňového a bezdechtového horenia vytvára oprávnený zvýšený záujem trhu o tento sortiment.

Podiel stanoveného popola z procesu žihania vzoriek dreva pri teplote v muflovej peci $t = 550$ °C v zmysle EN 14775 $A^d = 0,33 \div 0,35$ % pre ihličnaté dreviny a pre listnaté dreviny $A^d = 0,39 \div 0,71$ % . V porovnaní s údajmi uvádzanými v EN 14 961 sú uvedené údaje v priemere u dreva ihličnatých drevín o 13 % vyššie a u dreva listnatých drevín o 43 % vyššie. Uvedené zvýšenie podielu popola je spôsobené teplotou žihania vzoriek biopaliva, pri ktorej ako uvádzajú práce MISRA *et al.* (1994), ОТЕПКА – ТОТНОВА (2011), nedochádza k termickému rozkladu uhličitanov vápnika, horčíka a draslíka. Údaje o produkcii popola z palív a biopalív v minulosti vykonávané v zmysle STN ISO 1171 sú, ako uvádzajú DZURENDA – PŇAKOVIČ (2014), o 28 % nižšie. Kôra na povrchu palivového dreva produkciu popola zvyšuje v priemere o 12,5 %, až na palivové drevo agáta bieleho, u ktorého nárast je takmer o 30%. Napriek uvedeným skutočnostiam, produkcia popola zo spaľovania vzducho-suchého palivového dreva je v porovnaní s fosílnymi palivami veľmi nízka. Popol z procesu spaľovania dreva a kôry vo forme sypkej hmoty je vhodné hnojivo pre hnojenie trávnatých porastov a ako uvádzajú práce DEMEYER *et al.* (2001) a PITMANN (2006), hnojenie popolom z dendromasy a fytoomasy je dnes považované za cestu návratu živín do ekosystémov.

ZÁVER

Kusové palivové drevo pre spaľovanie v krboch, krbových kachliach a krbových vložkách v tvare polienok s priemerom $d = 50\text{--}70$ mm a dĺžky $l = 330$ mm, resp. polených a štiepaných polienok rovnakej dĺžky po prirodzenom presušení v prekrytých skladoch na vzducho-suchý stav má nasledovné energetické vlastnosti:

- relatívna vlhkosť $W_r = 16,3\text{--}19,7$ %,
- spaľovacie teplo $Q_{rs} = 15\,118\text{--}18\,715$ kJ·kg⁻¹,
- výhrevnosť $Q_m = 13\,315\text{--}16\,963$ kJ·kg⁻¹,

- produkciu popola $A_r = 0,33\text{--}0,71\%$

Palivové drevo ihličnatých drevín má vyššiu hodnotu spaľovacieho tepla a výhrevnosti o 10 % než drevo listnatých drevín a nižšiu popolnatosť o 12,5 %. Napriek uvedeným skutočnostiam, odberatelia proti kúpe uprednostňujú palivové drevo listnatých drevín pre ich vyššiu hustotu a dlhšiu dobu horenia. Najlepšie energetické vlastnosti má drevo brezy previsnutej, ktorého výhrevnosť vo vzducho-suchom stave je $Q_m = 16\,963\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ a popolnatosť $A_r = 0,45\%$.

LITERATÚRA

- 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*, 3(77): 287–295.
- DZURENDA, L., DELIISKI, N. 2010. Tepelné procesy v technológiách spracovania dreva. Zvolen : TU vo Zvolene, 274 s.
- DZURENDA, L., JANDAČKA, J. 2010. Energetické využitie dendromasy. Zvolen : TU vo Zvolene, 162 s.
- DZURENDA, L., BANSKI, A., DZURENDA, M. 2014. Energetic properties of green wood chips from *Salix viminalis* grown on plantations. *Scientia Agriculturae Bohemica* 45(1): 44–49. DOI: 10.7160/sab.2014.450106.
- 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. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(2): 505–509. DOI: 10.15244/pjoes/27408.
- DZURENDA, L., PŇAKOVIČ, Ľ. 2014. Quantification of the ash content from biofuel - wood according to ISO 1171 (2003) and EN 14775 (2010). *Annals of Warsaw University of Life Sciences*. 2014. sv. No. 86 (2014).
- FILBAKK, T., JIRJIS, R., NURMI, J., HØIBØ, O. 2010. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass and bioenergy*, 35: 3342–3349.
- GARCIA, R., PIZARRO, C., LAVÍN, A.G., AND BUINO, J.L. 2012. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, 103: 249–258. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.10.004.
- GEFFERTOVÁ, J. 2009. Spaľovacie teplo hydrolyzovaného brezového dreva, *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 51(2).
- JANDAČKA, J., MALCHO, M., MIKULÍK M. 2007. Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy. Žilina: GEORG. 2007. 222 s.
- JANDAČKA, J., PAPUČÍK, Š., NOSEK, R., HOLUBČÍK, M., KAPJOR, A. 2011. Environmental and energy aspects of biomass combustion. Žilina : GEORG. 2011. 305 p.
- KÚDELA, J., ČUNDERLÍK, I. 2012. Bukové drevo - štruktúra, vlastnosti, použitie. Zvolen : TU vo Zvolene, 2012, 152 s.
- LÁZÁR, M., ČARNOGURSKÁ, M., LENGYELOVÁ, M., KORBA, J. 2015. High-temperature gasification of RDF wastes and melting of fly ash obtained from the incineration of municipal, *Acta Polytechnica*, 55(1): 1–6.
- LONGAUER, J., LUPTÁK, O., KOSKA, P. 1988. Spalné teplo a výhrevnosť drevného odpadu, *VPA* 5/1987, Zvolen, 61 s.
- MAKOVÍNY, I. 2010. Úžitkové vlastnosti a použitie rôznych druhov dreva. Zvolen : TU vo Zvolene, 104 s.
- MISRA, M. K., RAGLAND K. W., BAKER, A. J., 1994. Wood ash composition as a function of furnace temperature. *Biomass and Bioenergy*, 4(2): 103–116.
- NOSEK, R. - HOLUBČÍK, M., PAPUČÍK, Š. 2014. Emission Controls Using Different Temperatures of Combustion Air, *The Scientific World Journal*, Article ID 138254, 6 p.
- OTEPKA, P., TÓTHOVÁ, S. 2011. Vlastnosti drevného popola a možnosti jeho využitia pri pestovaní energetických rastlín. Bratislava, 31 s.
- PICCHIO R, SPINA R, SIRNA A, LO MONACO A, CIVITARESE V, DEL GIUDICE A, SUARDI A, PARI L. 2012. Characterization of woodchips for energy from forestry and agroforestry production. *Energies*, 5 (2012), 3803–3816.

PITMAN, R. 2006. Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry*, 5(79): 563–588.

PŇAKOVIČ, L., DZURENDA, L. 2015. Combustion Characteristics of Fallen Fall Leaves from Ornamental Trees in City and Forest Parks, *BioResources* 10(3): 5563–5572.

REGINAČ, L. a kol., 1990. *Náuka o dreve II*. Zvolen : VŠLD. 424 s.

SIMANOV, V., 1995. *Energetické využívanie drevín*. Olomouc : Terapolis, 98 s.

STN EN 14774, 2009: Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu vlhkosti. Metóda sušením v sušiarňi. Časť 1: Celková vlhkosť. Referenčná metóda

STN EN 14775, 2009: Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu popola

STN EN 14780, 2012: Tuhé biopalivá. Príprava vzorky

STN EN 14918, 2009: Tuhé biopalivá. Stanovenie výhrevnosti

STN 49 0108, 1993: *Drevo – Zisťovanie hustoty*

SUCHOMEL, J. 2013. *Základné charakteristiky lesných drevín*. Zvolen : NLC, 2013, 82 s.

TRENČIANSKY, M., LIESKOVSKÝ, M., ORAVEC, M. 2007. *Energetické zhodnotenie biomasy*. Zvolen : Národné lesnícke centrum. 147 s.

Pod'akovanie

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia projektu VEGA 1/0548/15, „Vplyv obsahu kôry a aditív na mechanické, energetické a environmentálne vlastnosti drevných peliet“.

Adresa autorov

doc. Ing. Radovan Nosek, PhD.
Ing. Michal Holubčík, PhD,
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra energetickej techniky
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Slovensko
radovan.nosek@fstroj.uniza.sk
michal.holubcik@fstroj.uniza.sk