

**POPOLNATOSŤ BIOPALIVA – ENERGETICKEJ ŠTIEPKY
Z DENDROMASY PORASTOV PLANTÁŽNICKY PESTOVANÝCH
VŔB A TOPOĽOV**

**ASH OF BIOFUELS – GREEN WOOD CHIPS MADE OF DENDROMASS
FROM WILLOWS AND POPLARS GROWN ON PLANTATIONS**

Ladislav Dzurenda – Lukáš Ridzik – Miroslav Dzurenda

ABSTRACT

In this paper, there are presented the results of experimental research determining the ash content from burning of green wood chips from clones RAPP, ORM, ULV, Inger, Tordis and Sven of plantation growing *Salix viminalis* trees and clones Max 5, Oxford, AF 2 and Monviso of plantation growing *Populus* trees in rotation age of 5 years in Slovakia and vicinity. Green wood chips made from dendromass of plantation growing trees is a two-part biofuel consisting of juvenile wood and juvenile bark.

The results of laboratory tests determining the share of inorganic residue - ash from green wood chips in burning process of analysed clones indicate that the ash content of willow green wood chips in dry condition is $A^d = 0.72 \div 1.11$ % and green wood chips of analysed poplars is $A^d = 0.92 \div 1.54$ %. These results include green wood chips to low - ash biofuels. Compared to ash content of hardwood trees in *STN EN 14 961-1*, these values are 2 ÷ 5 times higher. The higher ash content of green wood chips from analysed clones of willow is caused by the share of juvenile bark with value $A^d = 2.74 \div 3.47$ % and analysed poplars with ash content of bark $A^d = 3.24 \div 5.04$ %. The share of bark in green wood chips from analysed clones of *Salix viminalis* trees is $X_B = 16.8 \div 19.7$ % and the share of bark in green wood chips from analysed clones of *Populus* is $X_B = 20.97 \div 26.67$ %.

The higher ash content in biofuel has a negative impact on a basic energetic property – lower heat value, which is lower than the lower heat value of poplar wood in dry condition by $\Delta Q_n = 184 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Keywords: biofuel, energy chips, share of bark, ash, fast-growing trees, *Salix viminalis*, *Populus*.

ÚVOD

Drevo listnatých drevín v suchom stave v zmysle STN EN 14 961 Tuhé biopalivá je biopalivo charakterizované stredne vysokou výhrevnosťou $Q_n^d = 18,9 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, vysokým podielom prchavej horľaviny $V^d = 85$ % a nízkym obsahom popola $A^d = 0,3$ %.

V ostatných 30-tych rokoch v záujme zvýšenia produkcie dendromasy pre energetické účely sú zakladané plantáže rýchlorastúcich drevín, ktorých minimálna produkcia dendromasy je $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Podľa prác: VARGA – GODÓ (2002), JANDAČKA *et*

al. (2007), SUCHOMEL – GEJDOŠ (2007), MALAŤÁK – VACULÍK (2008), ČÍŽKOVÁ *et al.* (2010), LIEBHART (2010), VARGA – BARTKO (2010), OTEPLA – HABÁN (2011) vhodnými drevinami pestovanými na plantážach za účelom produkcie dendromasy pre energetické účely v Stredoeurópskom priestore sú dreviny: agát biely (*Robinia pseudoacacia* L.), klony topoľov (*Populus*), vŕba biela (*Salix alba* L.) a klony vŕby košíkárskej (*Salix viminalis*).

Podľa spôsobu zakladania plantáže a doby pestovania porastu na plantáži, sú plantáže rýchlorastúcich drevín rozdeľované na plantáže s cyklom zberu do 5 rokov (mini rotácia), s cyklom zberu 5 až 10 rokov (midi rotácia) a cyklom zberu 10–20 rokov (maxi rotácia), SIMANOV (1995). Cieľom produkcie dendromasy z plantáží s cyklom zberu 10–20 rokov je produkcia vlákny pre celulózo-papierenský priemysel, či suroviny pre výrobu trieskových materiálov a konároviny na výrobu zelenej štiepky určenej pre sektor energetiky.

Energetická štiepka vyrobená z dendromasy porastov rýchlorastúcich drevín je dvojsložkové biopalivo pozostávajúce z juvenilného dreva a juvenilnej kôry. Podľa prác: Dzurenda *et al.* (2009), Dzurenda *et al.* (2010), HECL (2011), DZURENDA – ZOLIAK (2011), DZURENDA *et al.* (2012a) zameraných na ergo-environmentálne hodnotenie energetických vlastností biopalív, vzrastajúci podiel juvenilnej kôry v energetickej štiepke negatívne vplýva na popolnatosť, výhrevnosť biopaliva a produkciu emisií-NO_x.

V danom príspevku sú prezentované výsledky experimentálnych prác stanovujúcich energetickú vlastnosť – popolnatosť štiepky vyrobenej z vybraných klonov vŕb a topoľov pokusne pestovaných na území Slovenska, resp. jeho pomedzí.

MATERIÁL A METODIKA

Vzorky energetickej štiepky klonov RAPP, ULV a ORM dreviny *Salix viminalis* boli odobraté z 5 ročného plantážnicko pestovaného porastu vo Výskumnom ústave trávnych porastov a horského poľnohospodárstva – výskumná stanica Krivá na Orave (obr. 1). Vzorky energetickej štiepky klonov Inger, Tordis a Sven tej istej dreviny boli odobraté z 5 ročného porastu plantážnicko pestovanom Inštitútom Krista Veľkňaza pri obci Ľubica na východnom Slovensku. Vzorky energetickej štiepky dreviny *Populus* klonov: Max 5, Oxford boli odobraté z porastu vo Výskumnom ústave lesného hospodárství a myslivosti v.v.i. - Výskumná stanice Kunovice a klonov AF 2 a Monviso z porastu firmy: Alesia Franco, na Slovensko – rakúskom pomedzí pri obci Marchegg. Vzorky energetickej štiepky analyzovaných klonov jednej i druhej dreviny boli odobraté počas ťažby v zimnom období – v čase vegetačného pokoja.



Obr. 1 Lokality plantáží vŕb a topoľov, z ktorých boli odobrané vzorky energetickej štiepky.

Fig. 1 The locations of willows and poplars plantations which from the sample of energetic chip was obtained.

Podiel kôry v energetickej štiepke jednotlivých klonov dreviny *Salix viminalis*, ako i dreviny *Populus* bol laboratórne stanovený, podľa STN 48 0058:2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny. Podiel kôry sa stanovil na vzorkách štiepok s hmotnosťou $200 \pm 0,01$ g. Kôra sa od dreva oddelila mechanicky. Kôra sa následne odvážila na laboratórnej váhe: WPS 510/C/2 fy: RADWAG s presnosťou na 0,01 g a vypočítal sa podiel kôry vo vzorke prostredníctvom vzťahu:

$$X_K = \frac{m_K}{m_\xi} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde: m_K – hmotnosť kôry vo vzorke štiepky [g],
 m_ξ – hmotnosť vzorky štiepky [g].

Hodnotu rozšírenej neistoty stanovenia podielu kôry v energetickej štiepke na hranici konvenčnej štatistickej spoľahlivosti 95 % kvantifikuje rovnica:

$$U_K = 2 \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad [\%] \quad (2)$$

kde: u_A – štandardná neistota typu A [%]
 u_B – štandardná neistota typu B [%]

Popolnosť biopaliva - energetickej štiepky analyzovaných klonov dreviny *Salix viminalis*, ako i klonov dreviny *Populus* bola stanovená formou technického výpočtu na základe zastúpenia kôry v štiepke a podielu popola z juvenilného dreva a juvenilnej kôry.

Kvantifikácia podielu popola z juvenilného dreva a juvenilnej kôry bola vykonaná laboratórne podľa normy STN ISO 1171 Tuhé palivá - Stanovenie popola. Podiel popola zo spálenej vzorky juvenilného dreva A_D^d a zo spálenej vzorky juvenilnej kôry A_K^d popisujú rovnice formou strednej hodnoty podielu popola a rozšírenej neistoty stanovenia výsledku:

$$\begin{aligned} A_D^d &= \bar{A}_D^d \pm U_{A_D} \quad [\%] \\ A_K^d &= \bar{A}_K^d \pm U_{A_K} \quad [\%] \end{aligned} \quad (3)$$

kde: \bar{A}_D^d – stredná hodnota podielu popola zo sušiny vzoriek juvenilného dreva [%],
 U_{A_D} – absolútna hodnota rozšírenej neistoty podielu popola juvenilného dreva [%],
 \bar{A}_K^d – stredná hodnota podielu popola zo sušiny vzoriek juvenilnej kôry [%],
 U_{A_K} – absolútna hodnota rozšírenej neistoty podielu popola juvenilnej kôry [%].

Percentuálny podiel popola – anorganického zvyšku po spálení dvojzložkového biopaliva – energetickej štiepky matematicky popisuje rovnica:

$$A_\xi^d = \left[\left(\frac{100 - X_K}{100} \right) \cdot A_D^d + \frac{X_K}{100} \cdot A_K^d \right] \pm U_A \quad [\%] \quad (4)$$

kde: A_D^d – podiel popola zo sušiny juvenilného dreva [%],
 A_K^d – podiel popola zo sušiny juvenilnej kôry [%],
 X_K – zastúpenie kôry vo vzorke energetickej štiepky [%],
 U_A – rozšírená neistota podielu popola z energetickej štiepky na hranici konvenčnej štatistickej spoľahlivosti 95 %.

Hodnotu rozšírenej neistoty stanovenia popola z energetickej štiepky na hranici konvenčnej štatistickej spoľahlivosti 95 % kvantifikuje vzťah:

$$U_A = \sqrt{\left(\frac{100 - X_K}{100}\right)U_{AD}^2 + \frac{X_K}{100}U_{AK}^2} \quad [\%] \quad (5)$$

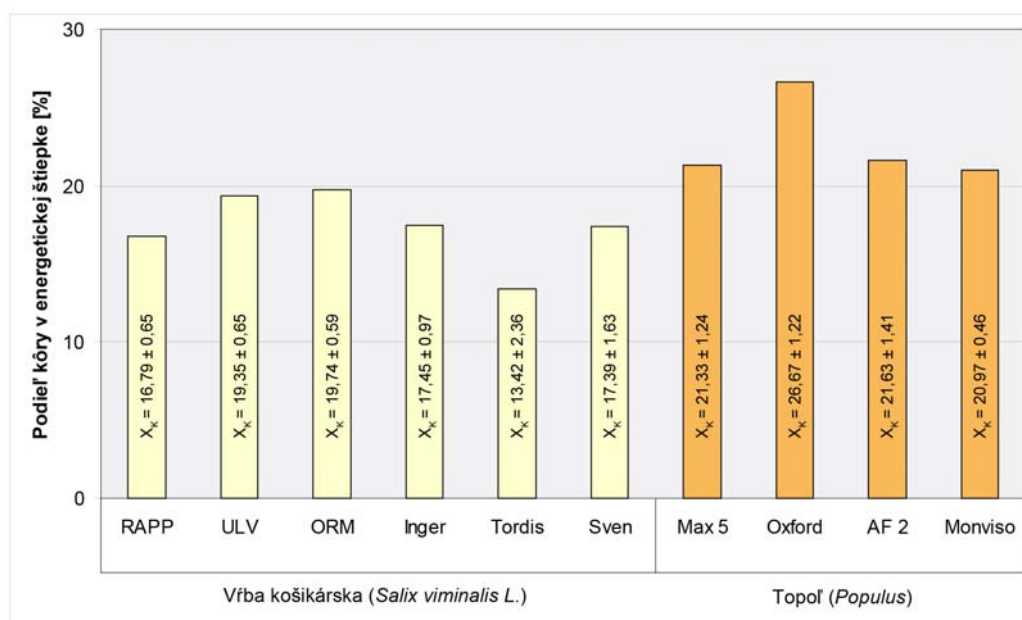
kde: X_K – podielové zastúpenie kôry vo vzorke energetickej štiepky [%],

U_{AD} – rozšírená neistota stanovenia podielu popola z juvenilného dreva [%],

U_{AK} – rozšírená neistota stanovenia podielu podielu popola z juvenilnej kôry [%].

VÝSLEDKY

Podiely kôry vo vzorkách energetickej štiepky analyzovaných klonov dreviny *Salix viminalis* a klonov dreviny *Populus* sú prezentované na obr. 2.



Obr. 2. Podiel kôry v energetickej štiepke z dendromasy plantážnicky pestovaných klonov: RAPP, ULV, ORM, Inger, Tordis, Sven dreviny *Salix viminalis* a klonov Max 5, Oxford, AF 2, Monviso dreviny *Populus* v strednej Európe.

Fig. 2 The share of bark in energetic chip from dendromass of plantation growing clones: RAPP, ULV, ORM, Inger, Tordis, Sven from *Salix viminalis* tree and clones: Max 5, Oxford, AF 2, Monviso of Poplar tree in Mediterranean Europe.

Výsledky analýz stanovujúcich podiel popola zo suchého juvenilného dreva, suchej juvenilnej kôry analyzovaných klonov *Salix viminalis* a podiel popola samotnej energetickej štiepky vypočítanej podľa rovnice 4 uvádza tabuľka 1.

Obdobne podiely popola zo vzoriek suchého juvenilného dreva, suchej juvenilnej kôry a energetickej štiepky v suchom stave analyzovaných klonov: Max 5, Oxford, AF2 a MONVISO dreviny *Populus* uvádza tabuľka 2.

Porovnanie popolnatosti jednotlivých komponentov energetickej štiepky analyzovaných klonov vrb a topoľov s popolnatosťou samotnej energetickej štiepky a priemernou hodnotou popolnatosti dreva listnatých drevín $A^d = 0,3 \%$ je na obr. 3.

Tab. 1 Podiel popola z energetickej štiepky analyzovaných klonov dreviny *Salix viminalis*.

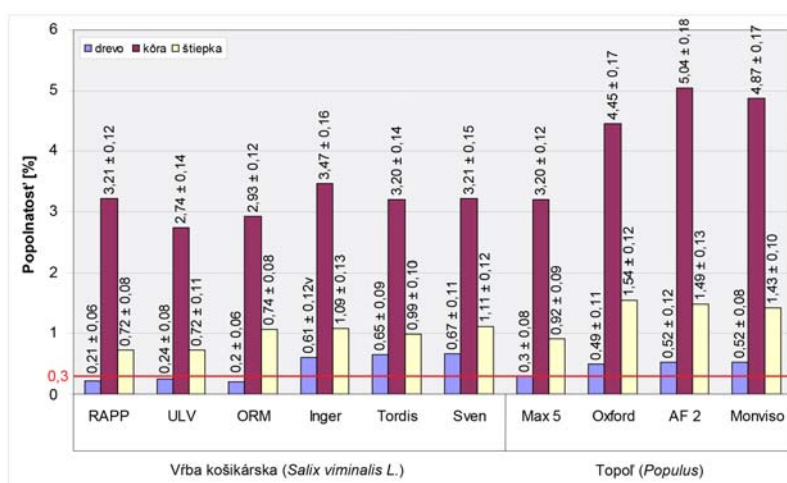
Tab. 1 Ash content of energetic chip from analyzed clones of *Salix viminalis* tree.

Klony dreviny <i>Salix viminalis</i>		Podiel popola z energetickej štiepky [%]	
		zložky štiepky	štiepka
RAPP	drevo	$A_D^d = 0,21 \pm 0,06$	$A_S^d = 0,72 \pm 0,08$
	kôra	$A_K^d = 3,21 \pm 0,12$	
ULV	drevo	$A_D^d = 0,24 \pm 0,08$	$A_S^d = 0,72 \pm 0,11$
	kôra	$A_K^d = 2,74 \pm 0,14$	
ORM	drevo	$A_D^d = 0,20 \pm 0,06$	$A_S^d = 0,74 \pm 0,08$
	kôra	$A_K^d = 2,93 \pm 0,12$	
Inger	drevo	$A_D^d = 0,61 \pm 0,12$	$A_S^d = 1,09 \pm 0,13$
	kôra	$A_K^d = 3,47 \pm 0,16$	
Tordis	drevo	$A_D^d = 0,65 \pm 0,09$	$A_S^d = 0,99 \pm 0,10$
	kôra	$A_K^d = 3,20 \pm 0,14$	
Sven	drevo	$A_D^d = 0,67 \pm 0,11$	$A_S^d = 1,11 \pm 0,12$
	kôra	$A_K^d = 3,21 \pm 0,15$	

Tab. 2 Podiel popola z energetickej štiepky analyzovaných klonov dreviny *Populus*.

Tab. 2 Ash content of energetic chip from analyzed clones of *Populus* tree.

Klony dreviny <i>Populus</i>		Podiel popola z energetickej štiepky [%]	
		zložky štiepky	štiepka
Max 5	drevo	$A_D^d = 0,30 \pm 0,08$	$A_S^d = 0,92 \pm 0,09$
	kôra	$A_K^d = 3,20 \pm 0,12$	
Oxford	drevo	$A_D^d = 0,49 \pm 0,11$	$A_S^d = 1,54 \pm 0,12$
	kôra	$A_K^d = 4,45 \pm 0,17$	
AF2	drevo	$A_D^d = 0,52 \pm 0,12$	$A_S^d = 1,49 \pm 0,13$
	kôra	$A_K^d = 5,04 \pm 0,18$	
MONVISO	drevo	$A_D^d = 0,52 \pm 0,08$	$A_S^d = 1,43 \pm 0,10$
	kôra	$A_K^d = 4,87 \pm 0,17$	



Obr. 3. Popolnosť' juvenilného dreva, juvenilnej kôry a biopaliva – energetickej štiepky analyzovaných klonov vřb a topoľov.

Fig. 3. Ash of juvenile wood, juvenile bark and biofuel - energetic chip of analyzed clones from willows and poplars.

DISKUSIA

Výsledky experimentálnych prác uvádzajú, že priemerný podiel kôry v energetickej štiepke z 5 ročných porastov plantážnicky pestovaných klonov dreveny *Salix viminalis* je v intervale $X_K = 13,42 \div 19,74$ % a klonov dreveny *Populus* v intervale $X_K = 20,97 \div 26,67$ %. Ani v jednom prípade podiel kôry nepresahuje prípustnú hranicu $X_K \leq 30$ % stanovenú normou STN 48 0058:2004. Na základe uvedenej skutočnosti možno konštatovať, že energetická štiepka zo všetkých analyzovaných klonov dreveny *Salix viminalis*, ako i dreveny *Populus* spĺňa kvalitatívne kritérium stanovujúce mieru prípustnosti podielu kôry v biopalive.

Z porovnania priemernej hodnoty podielu kôry v topoľovej energetickej štiepke analyzovaných klonov $X_K = 22,65$ % s priemernou hodnotou podielu kôry vo vrbovej energetickej štiepke $X_K = 17,35$ % možno konštatovať, že podiel kôry v topoľovej štiepke je o 5,3 % vyšší. Z analýz podielu kôry v energetickej štiepke vykonaných na našom pracovisku vyplýva, že na podiel kôry v energetickej štiepke z plantáží rýchlorastúcich stromov nevlýva len faktor – druhu dreveny, ale aj faktor – sortimentu, z ktorého je energetická štiepka vyrobená. Podiel kôry v energetickej štiepke vyrobenej z konároviny plantážnicky pestovaných topoľov klonov Koltay, resp. Cifra s cyklom zberu 25–30 rokov, ako uvádzajú práce: DZURENDA *et al.* (2012a) a DZURENDA *et al.* (2012b) je v rozpätí hodnôt $X_K = 41–46$ %. Energetická štiepka z topoľovej konároviny uvedených klonov prevyšuje prípustnú hranicu podielu kôry v biopalive stanovujúce normou STN 48 0058:2004 o 11 % až 16 %. Zvýšený podiel kôry na dendromase konárov uvádza v práci i VARGA – GODÓ (2002) pre klony topoľov: Lux, Robusta, I-214, či Candicans.

Zvýšený podiel kôry v energetickej štiepke z plantážnicky pestovanej dendromasy s cyklom zberu 5 rokov v porovnaní s podielom kôry na dendromase stromov v rubnom veku je v súlade s poznatkami o závislosti podielu kôry na priemere stromov uvádzaných v prácach: POŽGAJ *et al.* (1997), ako i v prácach uvádzajúcich podiel kôry v dendromase v závislosti na veku stromu GOLOVKOV *et al.* (1987), VARGA – BARTKO (2010). Pre ilustráciu uvádzame, že podiel kôry v analyzovanej energetickej štiepke z dendromasy topoľových plantáží je 1,5–2,6 krát vyšší než je zastúpenie kôry na dendromase neodkôrnených topoľových výrezoch uvádzanom v práci: HNĚTKOVSKÝ *et al.* (1983).

Podiel popola z energetickej štiepky vyrobenej z dendromasy plantážnicky pestovanej rýchlorastúcej dreveny *Salix viminalis* v rubnej dobe 5 rokov je $A^d = 0,72 \div 1,11$ % a energetickej štiepky analyzovaných klonov topoľov $A^d = 0,92 \div 1,54$ %. Uvedené hodnoty radia predmetnú energetickú štiepku medzi nízkopopolnaté palivá i keď v porovnaní s drevom listnatých drevín podľa STN EN 14 961-1 sú to hodnoty 2÷5 krát vyššie. Vyššia popolnosť analyzovanej energetickej štiepky je v rozhodujúcej miere spôsobená podielom juvenilnej kôry a jej vyššou popolnosťou.

Vyšší podiel anorganického zvyšku zo spálenia kôry než dreva uvádzaný v tab. 1 a 2 je potvrdením známych skutočností uvádzaných v prácach: PERELYGIN (1965), GOLOVKOV *et al.* (1987), SIMANOV (1995). Za nový poznatok možno označiť stanovenie podielu popola juvenilnej kôry v suchom stave, ktorá v porovnaní s priemernou hodnotou podielu popola z kôry listnatých drevín $A^d = 1,5$ % (STN EN 14 961-1) je u juvenilnej kôry z vrb 2 krát vyššia a u u juvenilnej kôry topoľov 2 až 3 krát vyššia.

Zvýšenie anorganického podielu v biopalive sa negatívne premieta na výhrevnosti biopaliva, JANDAČKA *et al.* (2011). Pokiaľ priemerná výhrevnosť suchého dreva listnatých drevín $Q_n = 18,4 \pm 0,4$ MJ·kg⁻¹, zvýšenie obsahu popolovín rovnajúce sa hodnote 1 % znižuje jeho výhrevnosť o hodnotu $\Delta Q_n = 184$ kJ·kg⁻¹. Potvrdzujú to i výsledky experimentálne stanovenej výhrevnosti energetickej štiepky vrby - klonov ORM, ULV, Sven v prácach: LAZDINIJA *et al.* (2006), DZURENDA *et al.* (2009), DZURENDA *et al.* (2010).

Popol vytvorený v procesoch spaľovania dendromasy, ako uvádzajú: NIKITIN (1956), BUCHANAN (1963), KÜRSCHNER (1966), BLAŽEJ *et al.* (1975), BUČKO – OSVALD (1997) je zmesou prevažne oxidov: K_2O , Na_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 . V minulosti sa popol z biomasy používal ako hnojivo v poľnohospodárstve, či rekultivácii poľnohospodárskej pôdy, lúk a pasienok, SIMANOV (1995), DEMKO (1996).

ZÁVER

Výsledky prác stanovujúce podiel anorganického zvyšku - popola zo spaľovania energetickej štiepky vyrobenej z dendromasy plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín: *Salix viminalis* a *Populus* v rubnej dobe 5 rokov uvádzajú, že podiel popola zo spaľovania vrbovej energetickej štiepky v suchom stave analyzovaných klonov je v rozpätí hodnôt $A^d = 0,72 \div 1,11$ % a energetickej štiepky analyzovaných topoľov $A^d = 0,92 \div 1,54$ %. Uvedené hodnoty radia predmetnú energetickú štiepku medzi nízkopopolnaté palivá.

Z porovnania uvedených hodnôt s popolnatosťou dreva listnatých drevín plynie, že sú to hodnoty 2 ÷ 5 krát vyššie. Vyššiu popolnosť energetickej štiepky analyzovaných klonov vrb a topoľov spôsobuje zvýšený podiel juvenilnej kôry s vyššou popolnosťou. Z energetického hľadiska je to balast, negatívne vplyvajúci na základné energetické vlastnosti biopaliva - spalné teplo a výhrevnosť.

LITERATÚRA

- BLAŽEJ, A. *et al.* 1975. Chémia dreva. Bratislava : ALFA, 221 s.
- BUCHANAN, N. A. 1963. Extraneous Components in Wood. In: The Chemistry of Wood. New York – London – Sydney.
- BUČKO, J., OSVALD, A. 1997. Rozklad dreva teplom a ohňom. Zvolen : TU vo Zvolene, 100 s.
- ČÍŽKOVÁ, L., ČÍŽEK, V., BAJAJOVÁ, H. 2010. Growth of hybrid poplars in silviculture at the age of 6 years. Journal of Forest Science, 56(10): 451–460.
- DEMKO, J. *a kol.* 1996. Komplexné využitie produktov lesa. Zvolen: TU vo Zvolene, 159 s.
- DZURENDA, L., ZOLIAK, M., MALIŠ, M. 2009. Svojstva energetickej štiepky drevesiny *Salix viminalis* - klon ORM vyraščeného na plantažach. In: Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Forest and Wood Technology No 68/2009.
- 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., ZOLIAK, M. 2011. Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovanej dreviny *Populus* klon *Max 5*. Acta Facultatis xylologiae Zvolen, 53(1): 87–92.
- DZURENDA, L., BARTKO, M., RIDZIK, L. 2012a. Energetické vlastnosti zelenej štiepky vyrobenej z konároviny plantážnicky pestovanej dreviny *Populus* x Euroamerikana klon Koltay. Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 54(2): 115–122.
- DZURENDA, L., HECL, V., DZURENDA, M. 2012b. Energetic characteristics of green chips made of branches of wood species *Populus deltoides* clone *Cifra* grown on plantations. In: Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Forest and Wood Technology No 74/2012.
- GOLOVKOV, S. I., KOPERIN, I. F., NAJDENOV, V. I. 1987. Energetičeskoe ispolzovanie drevesnych otchodov. Moskva : Lesnaja promyšlennost', s. 221.
- HNĚTKOVSKÝ, V. *et al.* 1983. Papírenská příručka. Praha : SNTL, 864 s.
- JANDAČKA, J., MALCHO, M., MIKULÍK, M. 2007. Biomasa ako zdroj energie. Žilina : Vydavateľstvo GEORG. s. 241.

- JANDAČKA, J., NOSEK, R., HOLUBČÍK, M. 2011. Vplyv vybraných aditív na vlastnosti drevných peliet a na ich výrobu. In: Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen, 53(2): 85–91.
- LAZDINIJA, D. *et al.* 2006. Sootvetstvie nekotorych porod ivovy (*Salix*) i ich selekcionnyh kloníc gla polučeniya energetičeskoj drevesiny. In: Annals of Warsaw Agricultural Univesity – SGGW, Forest and Wood Technology No 59/2006: 39–43.
- LIBHARD, P. 2010. Energieholz im Kurzumtrieb Rohstoff der Zukunft. Grac - Stutgard: Leopold Stocker Verlag, 123 s.
- MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. 2008. Biomasa pro výrobu energie. Praha : CZU v Praze, 206 s.
- NIKITIN, N. I. 1956. Chemie dřeva. Praha : SNTL, 552 s.
- ОТЕПКА, P., HABÁN, M. 2011. Vřba kořikárska *Salix viminalis* L. pestovaná ako obnoviteľný zdroj energie v teplej agro-klimatickej makrooblasti Slovenskej republiky. Nitra : SPU, 83 s.
- SIMANOV, V. 1995. Energetické využívaní dříví. Olomouc : Terapolis, 98 s.
- PERELYGIN, L. M. 1965: Nauka o dreve. Bratislava : SVTL, 448 s.
- POŽGAJ, A. *a kol.* 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava : Príroda, 407 s.
- SUCHOMEL, J., GEJDOŠ, M. 2007. Analysis of wood resources and price comparation in Slovakia and selected countries. In: Woodworking techniques, Zalesina, Croatia, s. 143–152.
- VARGA, L., GODÓ, T. 2002. Rýchlorastúce dreviny a možnosti zvýšenia produkcie biomasy na energiu. In Využívanie lesnej biomasy na energetické účely v podmienkach SR. Zvolen : LVU, s. 28–37.
- VARGA, L., BARTKO, M. 2010. Selekcia topoľov pre energetické porasty. In: Integrovaná logistika pri produkcii a využití. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene. s. 209–213.
- STN 48 0058: 2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny.
- EN STN 14961-1: 2010 Tuhé biopalivá – Špecifikácie a triedy palív.

Pod'akovanie

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantového projektu: VEGA–SR č. 1/0334/11, ako výsledok práce autorov a výraznej pomoci agentúry VEGA–SR.

Adresy autorov

Ladislav Dzurenda,
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24,
960 53 Zvolen
dzurenda@tuzvo.sk

Lukáš Ridzik
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24,
960 53 Zvolen
ridzik.lukas@gmail.com

Miroslav Dzurenda,
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24,
960 53 Zvolen
dzurenda_miroslav@yahoo.de