

**CHEMICKÉ ZLOŽENIE HORLAVINY ENERGETICKEJ ŠTIEPKY
Z DENDROMASY PLANTAŽNICKY PESTOVANEJ DREVINY
POPULUS KLON MAX 5**

**CHEMICAL COMPOSITION OF THE COMBUSTIBLE IN ENERGY CHIPS
OF WOOD SPECIES *POPULUS* – CLONES *MAX 5* GROWN ON
PLANTATIONS**

Ladislav Dzurenda – Mykola Zoliak

ABSTRACT

In this paper, there are presented the results of experimentally determined chemical composition of the combustible and ash in dry mass of energy chips made of the wood species *Populus* – clones *Max 5* grown on plantations.

The share of bark in energy chips of the wood species *Populus* – clones *Max 5* grown on plantations is $X_K = 21,33$ %.

The average chemical composition of the combustible of *Populus* – clones *Max 5* chips is: carbon $C^{daf} = 50,21$ %, hydrogen $H^{daf} = 5,99$ %, oxygen $O^{daf} = 43,32$ % and nitrogen $N^{daf} = 0,47$ %. In comparison with combustibles of wood of fully-grown broad-leaved trees, the combustible of chips of *Populus* clone *Max 5* on plantations is characterised by markedly higher share of nitrogen. The share of nitrogen in the combustible of chips of *Populus* clone *Max 5* is 3,1 times higher than the content of nitrogen in the combustible of wood chips of *Populus tremuloides*.

The share of ash in energy chips is $A^d = 0,91$ %. The increased share of bark in energy chips causes an increase of anorganic share of fuel, which means an increase of ash by approximately 60 % in comparison with the share of ash in chips of wood of fully-grown broad-leaved trees.

Keywords: bio-fuel, energy chips, *Populus* clone *Max 5*, combustible fraction, ash.

ÚVOD

V ostatných 30-tych rokoch v záujme zvýšenia produkcie dendromasy pre energetické účely sú zakladané plantáže rýchlorastúcich drevín, ktorých minimálna produkcia dendromasy je 10 t sušiny \cdot ha⁻¹ \cdot rok⁻¹. Podľa prác: VARGA, GODÓ (2002), HABOVŠTIK, DANIEL (2005), TRENČIANSKY *et al.* (2007), JANDAČKA *et al.* (2007), MALAŤÁK, VACULÍK (2008), ČÍŽKOVÁ *et al.* (2010), vhodnými drevinami pestovanými na plantážach za účelom produkcie dendromasy pre energetické účely na Slovensku a Morave sú dreviny: agát biely (*Robinia pseudoacacia* L.), niektoré klony topoľov (*Populus*), vŕba biela (*Salix alba* L.) a klony ULV, ORM a RAPP vŕby košíkárskej (*Salix viminalis*).

Problematike šľachtenia a pestovania rýchlorastúcich drevín pre priemyselné a energetické účely sa v Českej republike venuje, okrem iných, aj „Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti v.v.i. - Vyzkumná stanice Kunovice“. Na svojich plantážach sleduje aj produkčné možnosti dreviny *Populus* klony: *Max 4*, *Max 5* a *Oxford*.

Klon *Max 5* dreviny *Populus* vznikol krížením topoľa čierneho a topoľa maximowičovho v Japonsku. Počiatok šľachtenia uvedenej rýchlorastúcej dreviny, ako suroviny pre výrobu papiera, sa datuje do roku 1880. Vhodné rastové podmienky má v subtropickom, miernom a

boreálnom pásme na severnej pologule. Rastie v nadmorskej výške 350–500 m.n.m tak na rovinatých stanovištiach, ako aj v podhorských oblastiach. Uvedený klon sa v 60-tych rokoch minulého storočia preniesol z Japonska do Európy, kde na výmladkových plantážach sa pestuje pre priemyselné a energetické účely.

V danom príspevku sú prezentované výsledky experimentálnych prác stanovujúcich energetických vlastností štiepky vyrobenej z dendromasy rýchlorastúcej drevinu *Populus* klon *Max 5* pestovanej plantážnicky, akými sú: chemické zloženie horľaviny a podiel popola v sušine biopaliva.

EXPERIMENTALNA ČASŤ

Vzorky energetickej štiepky (juvenilného dreva a juvenilnej kôry) drevinu *Populus* klon *Max 5* pre stanovenie energetických vlastností štiepky boli odobraté zo 4 ročného plantážnicky pestovaného porastu vo VULHM-Vyzkumná stanica Kunovice.

Podiel dreva a kôry v energetickej štiepke drevinu *Populus* klon *Max 5* bol stanovený laboratórne, na Katedre obrábania dreva, Drevárskej fakulty - Technickej univerzity vo Zvolene, podľa STN 48 0058:2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny. Zastúpenie kôry v energetickej štiepke bolo vypočítané zo vzťahu:

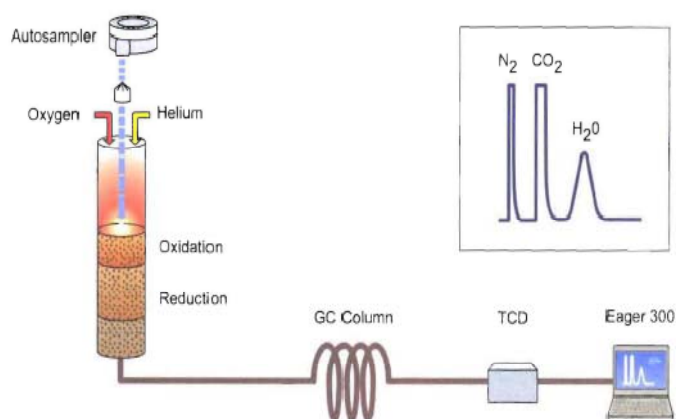
$$X_K = \frac{m_K}{m_S} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

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

Elementárny rozbor horľaviny vzoriek juvenilného topoľového dreva a juvenilnej topoľovej kôry drevinu: *Populus* klon *Max 5* bol vykonaný v Centrálnom lesníckom laboratóriu v Národnom lesníckom centre vo Zvolene. Obsah uhlíka C^{daf} [%], vodíka H^{daf} [%] a dusíka N^{daf} [%] vo vzorkách juvenilného topoľového dreva a juvenilnej topoľovej kôry bol stanovený na analyzátore NCS-FLASH EA 1112, Obsah kyslíka vo vzorke bol stanovený výpočtom, pri predpoklade nulového zastúpenia síry v dendromase $S^{daf} = 0$.

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

kde: C^{daf} – obsah uhlíka v horľavine [%],
 H^{daf} – obsah vodíka v horľavine [%],
 N^{daf} – obsah dusíka v horľavine [%].



Obr. 1. Funkčná schéma Prístroja NCS- FLASH EA 1112.
Fig. 1 Functional chart of the NCS-FLASH EA 1112 device.

Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky pozostávajúcej z horľaviny juvenilného dreva a horľaviny juvenilnej kôry je stanovené výpočtom na základe podielu dreva a kôry v štiepke a zastúpenia daného prvku v horľavine dreva a kôry podľa vzťahov:

$$\begin{aligned} C^{\text{daf}} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot C_D^{\text{daf}} + \frac{X_K}{100} \cdot C_K^{\text{daf}} \quad [\%] & N^{\text{daf}} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot N_D^{\text{daf}} + \frac{X_K}{100} \cdot N_K^{\text{daf}} \quad [\%] \\ H^{\text{daf}} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot H_D^{\text{daf}} + \frac{X_K}{100} \cdot H_K^{\text{daf}} \quad [\%] & O^{\text{daf}} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot O_D^{\text{daf}} + \frac{X_K}{100} \cdot O_K^{\text{daf}} \quad [\%] \end{aligned} \quad (3)$$

kde: $C^{\text{daf}}, H^{\text{daf}}, N^{\text{daf}}, O^{\text{daf}}$ – obsah uhlíka, vodíka, dusíka, kyslíka v horľavine štiepky [%],
 $C_D^{\text{daf}}, H_D^{\text{daf}}, N_D^{\text{daf}}, O_D^{\text{daf}}$ – obsah uhlíka, vodíka, dusíka, kyslíka v horľavine dreva [%],
 $C_K^{\text{daf}}, H_K^{\text{daf}}, N_K^{\text{daf}}, O_K^{\text{daf}}$ – obsah uhlíka, vodíka, dusíka, kyslíka v horľavine kôry [%],
 X_K – zastúpenie kôry v štiepke [%].

Podiel popola v juvenilnom dreve a juvenilnej kôre bol stanovený žiňaním suchej vzorky juvenilného dreva o hmotnosti 2 g a suchej vzorky juvenilnej kôry o hmotnosti 2 g, pri teplote 600 °C, po dobu 20 min. Žiňanie sa opakovalo, kým rozdiel hmotnosti nebol rovný alebo menší než 0,2 mg. Podiel popola vo vzorke juvenilného dreva A_D^d a vo vzorke juvenilnej kôry A_K^d kvantifikuje matematický zápis:

$$A_D^d = \frac{m_{A-D}^d}{m_D^d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4) \quad A_K^d = \frac{m_{A-K}^d}{m_K^d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

kde: m_{A-D}^d – hmotnosť popola zo suchej vzorky juvenilného dreva [g],
 m_D^d – hmotnosť suchej vzorky juvenilného dreva [g],
 m_{A-K}^d – hmotnosť popola zo suchej vzorky juvenilnej kôry [g],
 m_K^d – hmotnosť suchej vzorky juvenilnej kôry [g].

Podiel popola v energetickej štiepke je stanovený výpočtom na základe podielu kôry a dreva v dendromase a priemernej hodnoty podielu popola v analyzovaných vzorkách juvenilného dreva a juvenilnej kôry energetickej štiepky, podľa vzťahu:

$$A^d = \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot A_D^d + \frac{X_K}{100} \cdot A_K^d \quad [\%] \quad (6)$$

kde: A_D^d – obsah popola v suchej vzorke juvenilného dreva [%],
 A_K^d – obsah popola v suchej vzorke juvenilnej kôry [%],
 X_K – zastúpenie kôry vo vzorke energetickej štiepky [%].

VÝSLEDKY

Podiel kôry v analyzovaných vzorkách energetickej štiepky dreveny *Populus* klon *Max 5* uvádza tabuľka 1.

Tab. 1 Podiel kôry v energetickej štiepke dreveny *Populus* klon *Max 5*.
Tab. 1 Shares bark in energy chips of species *Populus* clone *Max 5*.

Vzorka	Vzorka 1	Vzorka 2	Vzorka 3	Priemer
Podiel kôry v štiepke [%]	21,35	20,08	22,56	21,33

Elementárne chemické zloženie vzoriek juvenilného dreva a juvenilnej kôry drevin *Populus* klon *Max 5* uvádzajú tabuľky č. 2 a 3.

Tab. 2 Podiely základných prvkov horľaviny a popola v dreve drevin *Populus* klon *Max 5*.

Tab. 2 Shares of elementary combustible particles and ash in wood species *Populus* clone *Max5*.

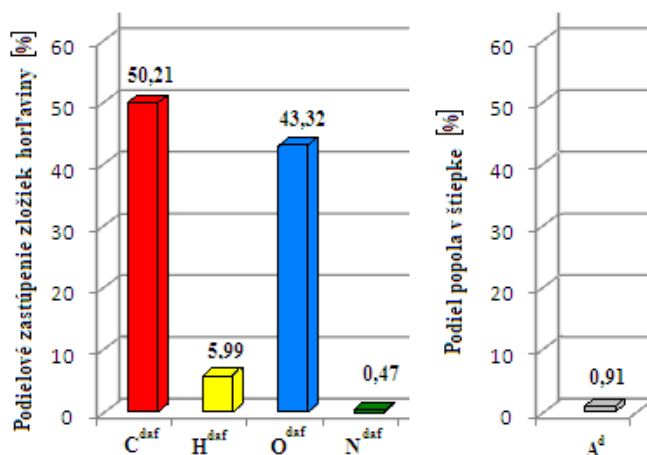
Drevina <i>Populus</i> klon <i>Max 5</i>		Elementárne zloženie horľaviny [%]				Popol A_D^d [%]
		C_D^{daf}	H_D^{daf}	O_D^{daf}	N_D^{daf}	
Drevo	vzorka 1	49,99	6,02	43,64	0,35	0,27
	vzorka 2	50,43	5,89	43,37	0,31	0,34
	vzorka 3	50,48	6,12	43,07	0,33	0,29
	priemer	50,30	6,01	43,36	0,33	0,30

Tab. 3 Podiely základných prvkov horľaviny a popola v kôre drevin *Populus* klon *Max 5*.

Tab. 3 Shares of elementary combustible particles and ash in bark species *Populus* clone *Max 5*.

Drevina <i>Populus</i> klon <i>Max 5</i>		Elementárne zloženie horľaviny [%]				Popol A_K^d [%]
		C_K^{daf}	H_K^{daf}	O_K^{daf}	N_K^{daf}	
Kôra	vzorka 1	50,24	6,05	42,69	1,02	3,22
	vzorka 2	49,64	5,96	43,39	1,01	3,17
	vzorka 3	49,82	5,72	43,49	0,97	3,21
	priemer	49,90	5,91	43,19	1,00	3,20

Na obrázku 2 je uvedené priemerné zloženie horľaviny a popola v energetickej štiepke stanovené váženým priemerom podľa rovníc (3) a (6) rýchlorastúcej drevin: *Populus* klon *Max 5* pestovanej plantážnicky.



Obr. 2 Podiely základných prvkov horľaviny a popola v štiepke drevin *Populus* klon *Max 5*.

Fig. 2 Shares of elementary combustible particles and ash in chips species *Populus* clone *Max 5*.

DISKUSIA

Výsledky experimentálnych prác stanovujúce podiel kôry v energetickej štiepke uvádzajú, že priemerný podiel kôry v energetickej štiepke drevin: *Populus* klon *Max 5* je $X_K = 21,33$ %. Uvedená hodnota nepresahuje prípustnú hranicu podielu kôry v energetickej štiepke v zmysle

STN 48 0058:2004, ktorá je $X_K = 30 \%$. Podiel kôry v energetickej štiepke je zrovnateľný s podielom kôry v energetickej štiepke z 4 až 5 ročných porastov rýchlorastúcich drevín: *Salix viminalis* klon *RAPP*, *ULV* a *ORM* pestovaných na Slovensku (DZURENDA *et al.* (2010), DZURENDA, JANDAČKA (2010) a dreviny: *Populus* klon *Oxford* pestovanej na Morave (ZOLIAK, HECL (2010)). V porovnaní s podielom kôry v dendromase stromoch topoľov v zrelom veku dreviny: *Populus tremuloides* (topoľ osika) uvádzanej v práci: HNĚTKOVSKÝ *et al.* (1983) je uvedená hodnota 1,5–2,4 krát vyššia.

Z porovnania chemického zloženia horľaviny juvenilného dreva v energetickej štiepke z dendromasy dreviny: *Populus* klon *Max 5* s chemickým zložením horľaviny palivového dreva dreviny: *Populus tremuloides* publikovanými autormi: DZURENDA, JANDAČKA (2010) plynie, že v horľavine juvenilného dreva dreviny *Populus* klon *Max 5* sa nachádza v priemere o 2,7 % viac uhlíka, o 0,7 % menej vodíka, o 3,5 % menej kyslíka a o 54,5 % viac dusíka než je zastúpenie uvedených prvkov v horľavine palivového dreva zo stromov dreviny: *Populus tremuloides*.

V horľavine juvenilnej kôry dreviny *Populus* klon *Max 5* je o 0,5 % menej uhlíka, o 0,6 % menej kyslíka a o 55,0 % viac dusíka, než je zastúpenie uvedených prvkov v horľavine kôry stromov v zrelom veku dreviny *Populus tremuloides* uvádzané autormi: ĎURKOVIČOVÁ (2009), DZURENDA, JANDAČKA (2010).

Výrazný nárast podielu dusíka v horľavine juvenilného dreva a juvenilnej kôre dreviny *Populus* klon *Max 5* v porovnaní s drevom a kôrou stromov dreviny *Populus tremuloides* je pripisovaný tak prítomnosti bielkovín a aminokyselín v kambiálnych bunkách, ako i chlorofylu v povrchových pletivách mladej kôry. Zvýšený podiel endotermickej zložky horľaviny – dusíka v horľavine juvenilného dreva a juvenilnej kôry sa premieta i v chemickom zložení horľaviny biopaliva vyrábaného z dendromasy plantážnicky pestovanej dreviny *Populus* klon *Max 5*, v ktorom je 3,1 krát vyššie zastúpenie dusíka než je jeho zastúpenie v horľavine kusového palivového dreva dreviny *Populus tremuloides*.

Laboratórne stanovený podiel popola $A^d = 0,91 \%$ v energetickej štiepke dreviny: *Populus* klon *Max 5*, radí predmetné biopalivo medzi nízkopopolnaté palivá. Z aspektu popolnatosti je energetická štiepka dreviny: *Populus* klon *Max 5*, zrovnateľná s popolnatosťou energetickej štiepky vyrobenej z dendromasy porastov plantážnicky pestovanej dreviny *Salix viminalis* klonov: *RAPP*, *ULV*, *ORM*, pestovaných na Slovensku (DZURENDA *et al.* (2010), a rýchlorastúcej dreviny *Populus* klon *Oxford* pestovanej na Morave (ZOLIAK, HECL 2010).

Produkcia popola zo spaľovania energetickej štiepky vyrobenej z dendromasy plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín: *Populus* a *Salix viminalis* v rubnej dobe 4 až 5 rokov je o 60 % vyššia než je produkcia popola z energetického využitia palivového dreva listnatých drevín uvádzaná autormi: PERELYGIN (1965), SIMANOV (1995), DZURENDA (2005).

Vyššia popolnatosť energetickej štiepky vyrobenej z dendromasy rýchlorastúcich drevín je spôsobená, ako uvádzajú tabuľky 2 a 3, zvýšeným podielom popola v juvenilnej kôre. Uvedená skutočnosť je pripisovaná väčšiemu množstvu vody v juvenilnej kôre a vyššej koncentrácii minerálnych látok vo vode nachádzajúcej sa vo vodivých pletivách juvenilnej kôry než je množstvo vody a koncentrácia minerálnych látok vo vode nachádzajúcej sa v pletivách juvenilného dreva.

ZÁVER

V príspevku sú prezentované výsledky laboratórných prác kvantifikujúce chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky vyrobenej z dendromasy plantážnicky pestovanej dreviny: *Populus* klon *Max 5*. Horľavina uvedeného biopaliva pozostáva z uhlíka v množstve $C^{daf} = 50,21 \%$, vodíka v množstve $H^{daf} = 5,99 \%$, kyslíka v množstve $O^{daf} = 43,32 \%$ a dusíka v množstve $N^{daf} = 0,47 \%$. V porovnaní s horľavinou štiepky vyrobenej z dreva stromov v zrelom veku dreviny *Populus tremuloides* sa horľavina energetickej štiepky dreviny *Populus* klon *Max 5*

výrazne líši v obsahu endotermickej zložky - obsahu dusíka, ktorý je 3,1 krát vyšší než je obsah dusíka v horľavine palivového dreva dreviny *Populus tremuloides*.

Kvantifikácia podielu popola $A^d = 0,91$ % v sušine biopaliva – dendromasy plantážnicky pestovanej dreviny *Populus* klon *Max 5* radí predmetné biopalivo medzi nízkopopolnaté palivá s hodnotou nepresahujúcou jedno percento.

LITERATÚRA

- ČÍŽKOVÁ, L., ČÍŽEK, V., BAJAJOVÁ, H. 2010. Growth of hybrid poplars in silviculture at the age of 6 years. *Journal of Forest Science*, 2010, 56(10): 451–460.
- ĎURKOVIČOVÁ, J. 2009. Protokol o skúškach D-21-09: Stanovenie podielu uhlíka, dusíka a vodíka. Správa. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 8 s.
- DZURENDA, L. 2004. Emission of NO_2 from the combustion process of wet wood and bark. *Drvna Industrija*, 55(1): 19–24.
- DZURENDA, L. 2005. Spaľovanie dreva a kôry. Zvolen: TU vo Zvolene, 124 s. ISBN 80-228-1555-1.
- DZURENDA, L., GEFERTO VÁ, J., ZOLIAK, M. 2010. Energetické vlastnosti štiepky plantážnicky pestovanej dreviny *Salix viminalis* - klon Rapp. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 52(1): 85–91.
- DZURENDA, L., JANDAČKA, J. 2010. Energetické využitie dendromasy. Zvolen: TU vo Zvolene, 162 s. ISBN 987-80-228-2082-0.
- DZURENDA, L., ZOLIAK, M., KOPNICKÁ, M. 2010. Chemické zloženie horľaviny štiepky plantážnicky pestovanej dreviny *Salix viminalis*. In: *Integrovaná logistika pri produkcii a využívaní biomasy*. Zvolen: TU vo Zvolene, s.43–48, ISBN 978-80-228-2148-3.
- HABOVŠTI AK, J., DANIEL, J. 2005. Pestovanie odrôd vŕby (*Salix viminalis*) na energetické účely. *Naše pole*. 2005, 5: 10.
- 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, 241 s. ISBN 978-80-969161-3-6.
- MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. 2008. *Biomasa pro výrobu energie*. Praha: CZU, 206 s.
- PERELYGIN, L. M. 1965. *Nauka o dreve*. Bratislava: SVTL, 448 s.
- SIMANOV, V. 1995. *Energetické využívaní dříví*. Olomouc: Terapolis, 98 s.
- TRENCIANSKY, M., LIESKOVSKÝ, M., ORAVEC, J. 2007. *Energetické zhodnotenie biomasy*. Zvolen: NLC, 127 s.
- 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.
- ZOLIAK, M., HECL, V. 2010. Obsah dusíka v horľavine štiepky plantážnicky pestovanej dreviny *Populus* - klon Oxford. In: *Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2010*. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 259–266, ISBN 978-80-228-2143-8.
- STN 48 0058: 2004 *Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny*.

PodĎakovanie

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantových projektov: VEGA–SR č. 1/0358/08 a VEGA–SR č. 1/0334/11, ako výsledok práce autorov a výraznej pomoci agentúry VEGA–SR.

Adresy autorov

Prof. Ing. Ladislav Dzurenda, PhD.
Ing. Mykola Zoliak
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra obrábania dreva
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovensko
dzurenda@vsld.tuzvo.sk