

**ENERGETICKÉ VLASTNOSTI ZELENEJ ŠTIEPKY VYROBENEJ
Z KONÁROVINY PLANTÁŽNICKY PESTOVANEJ DREVINY
POPULUS x EUROAMERICANA KLON KOLTAY**

**ENERGETIC CHARACTERISTICS GREEN CHIPS MADE OF
BRANCHES OF WOOD SPECIES POPULUS x EUROAMERICANA
CLONE KOLTAY GROWN ON PLANTATIONS**

Ladislav Dzurenda – Martin Bartko – Lukáš Ridzik

ABSTRACT

In this contribution, there are presented the results of determination of energetic characteristics of green chips of wood species *Populus x euroamericana* clone Koltay such as: rate of bark in chips, elementary chemical composition of chip combustible, volume of ashes in dry mass of bio-fuel and lower heating value of bio-fuel in dry state.

Green chips made of branches of wood species grown on plantations: *Populus x euroamericana* clone Koltay consists of juvenile wood and juvenile bark. The rate of juvenile bark in analysed green chips $X_K = 44.80 \pm 1.30$ %.

The combustible of green chips does not differ from the chemical composition of combustible of fuel wood of wood species *Populus tremuloides* Michx except for the values of nitrogen – endothermic component of combustible. The amount of nitrogen in the combustible of green chips, with value of $N = 0.48$ % is 2.64 times higher than the amount of nitrogen in combustible of fuel wood of wood species *Populus tremuloides* Michx. This fact demonstrates itself, from the environmental aspect, in an increased production of emission – fuel nitrogen oxides NO_x.

The volume of ashes from green chips produced from branches of trees of fast growing wood species: *Populus x euroamericana* clone Koltay, determined by form of weighted mean of the content of ash in juvenile wood, juvenile bark and the rate of bark in chips is $A^d = 3.36$ %, which is a 5 to 7 times higher value, than the value of volume of ash from broad-leaved wood species.

The lower heating value of subjected chips in dry state is $Q_n = 16\,861$ kJ·kg⁻¹. This value is, in comparison with the lower heating value of wood of broad-leaved wood species shown in EN 14 961 Solid bio-fuels – Specification and classes of fuels, lower by 8.8 %.

Key words: biofuel, energy chips, *Populus x euroamericana* clone Koltay, combustible composition, ash, lower heating value.

ÚVOD

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

V ostatných 30-tych rokoch v záujme zvýšenia produkcie dendromasy pre energetické účely sú zakladané plantáže rýchlorastúcich drevín, ktorých minimálna objemová produkcia dendromasy je $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Podľa prác: VARGA – GODÓ (2002), TRENČIANSKY *et al.* (2007), JANDAČKA *et al.* (2007), SUCHOMEL – GEJDOŠ (2007), MALAŤÁK – VACULÍK (2008), ČÍŽKOVÁ *et al.* (2010), VARGA – BARTKO (2010), LIEBHART (2010), OTEPKA – 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 sp.*), vrbica biela (*Salix alba L.*) a klony vrbice košíkárskej (*Salix viminalis L.*).

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 celuzo-papierenský priemysel a konároviny na výrobu zelenej štiepky určenej pre sektor energetiky.

V danom príspevku sú prezentované výsledky experimentálnych prác vykonaných za účelom stanovenia energetických vlastností zelenej štiepky dreviny *Populus x euroamericana* klon *Koltay*, vyrobenej z konároviny 18 ročného porastu, akými sú: podiel kôry v štiepke, elementárne chemické zloženie horľaviny štiepky, podiel popola pripadajúci na jednotku sušiny biopaliva a výhrevnosť biopaliva v suchom stave.

MATERIÁL A METODIKA

Vzorky juvenilného dreva a juvenilnej kôry boli odobrané zo zelenej štiepky vyrobenej z konároviny 18 ročného plantážnicky pestovaného porastu dreviny *Populus x euroamericana* klon *Koltay* nachádzajúceho sa na trvalej výskumnej ploche v Gabčíkove.

Podiel dreva a kôry v zelenej štiepke analyzovanej dreviny bol laboratórne stanovený, podľa STN 48 0058:2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny. Zastúpenie kôry v energetickej štiepke bolo vypočítané prostredníctvom 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].

Prvkový rozbor horľaviny vzoriek juvenilného dreva a juvenilnej kôry analyzovanej dreviny bol vykonaný v Centrálnom lesníckom laboratóriu v Národnom lesníckom centre vo Zvolene. Obsah uhlíka C^{daf} [%], vodíka H^{daf} [%] a dusíka N^{daf} [%] v horľavine vzoriek juvenilného dreva a juvenilnej kôry bol stanovený na analyzátoře NCS-FLASH EA 1112. Obsah kyslíka v horľavine vzoriek bol stanovený výpočtom, pri predpoklade nulového zastúpenia síry v dendromase a jej horľavine $S^{daf} = 0$ (výskyt v stopových množstvách) podľa vzťahu:

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

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

Chemické zloženie horľaviny zelenej štiepky pozostávajúce z horľaviny juvenilného dreva a horľaviny juvenilnej kôry bolo stanovené výpočtom na základe podielu dreva a kôry v zelenej štiepke a nameraných hodnôt zastúpenia jednotlivých prvkov v horľavine dreva a kôry podľa vzťahov:

$$\begin{aligned} C_s^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot C_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot C_K^{daf} \\ H_s^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot H_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot H_K^{daf} \\ N_s^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot N_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot N_K^{daf} \\ O_s^{daf} &= \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot O_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot O_K^{daf} \end{aligned} \quad (3)$$

kde: $C_s^{daf}, H_s^{daf}, N_s^{daf}, O_s^{daf}$ – obsah uhlíka, vodíka, dusíka, kyslíka v horľavine štiepky [%],
 $C_D^{daf}, H_D^{daf}, N_D^{daf}, O_D^{daf}$ – obsah uhlíka, vodíka, dusíka, kyslíka v horľavine dreva [%],
 $C_K^{daf}, H_K^{daf}, N_K^{daf}, O_K^{daf}$ – obsah uhlíka, vodíka, dusíka, kyslíka v horľavine kôry [%],
 X_K – zastúpenie kôry v štiepke [%].

Podiel popola z dendromasy zelenej štiepky dreviny *Populus x euroamericana clone Koltay* bol stanovený formou technického výpočtu na základe zastúpenia kôry v zelenej 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 vzorky juvenilného dreva A_D^d a zo vzorky juvenilnej kôry A_K^d popisuje matematický zápis:

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

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].

Percentuálny podiel popola – anorganického zvyšku po spálení zelenej štiepky bilancuje rovnica:

$$A_s^d = \left[\frac{100 - X_K}{100} \right] \cdot A_D^d + \frac{X_K}{100} \cdot A_K^d \quad [\%] \quad (5)$$

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 [%].

Výhrevnosť zelenej štiepky – analyzovaného klonu dreviny *Populus x euroamericana* je stanovený technickým výpočtom podľa M. I. Mendelejevovej rovnice:

$$Q_n^d = [339, C_s^{daf} + 1029,8 H_s^{daf} - 108,8 O_s^{daf}] \left[\frac{100 - A_s^d}{100} \right] \quad [kJ.kg^{-1}] \quad (6)$$

kde: C_s^{daf} – obsah uhlíka v horľavine štiepky [%],
 H_s^{daf} – obsah vodíka v horľavine štiepky [%],
 O_s^{daf} – obsah kyslíka v horľavine štiepky [%],
 A_s^d – obsah popola v sušine energetickej štiepke [%].

VÝSLEDKY

Podiel kôry vo vzorkách zelenej štiepky analyzovaného klonu topol'a uvádza tabuľka 1.

Tab. 1 Podiel kôry v energetickej štiepke dreviny *Populus x euroamericana* klon *Koltay*.

Tab. 1 Shares bark in energy chips of species *Populus x euroamericana* clone *Koltay*.

Vzorka	vzorka 1	vzorka 2	vzorka 3	Priemer
Podiel kôry v štiepke [%]	43,77	45,71	44,92	44,80 ± 1,30

Elementárne chemické zloženie horľaviny vzoriek juvenilného dreva a juvenilnej kôry dreviny *Populus x euroamericana* klon *Koltay* a podiel popola uvádza tabuľka č. 2.

Tab. 2 Podiely základných prvkov horľaviny a popola v dreve a kôre dreviny *Populus x euroamericana* klon *Koltay*.

Tab. 2 Shares of elementary combustible particles and ash in wood and bark species *Populus x euroamericana* clone *Koltay*.

<i>Populus x euroamericana</i> klon <i>Koltay</i> .		C^{daf} [%]	H^{daf} [%]	O^{daf} [%]	N^{daf} [%]	A^d [%]
Drevo	vzorka 1	49,19	5,99	44,54	0,28	0,53
	vzorka 2	47,55	5,28	46,84	0,33	0,54
	vzorka 3	49,99	5,83	43,95	0,23	0,49
	priemer	48,91	5,70	45,11	0,28	0,52
Kôra	vzorka 1	48,79	5,64	44,85	0,72	6,45
	vzorka 2	48,64	5,86	44,76	0,74	7,18
	vzorka 3	48,22	5,36	45,69	0,73	6,95
	priemer	48,55	5,62	45,10	0,73	6,86

Zastúpenie prvkov horľaviny a popola v zelenej štiepke analyzovaného - plantážnický pestovaného klonu dreviny *Populus x euroamericana*, stanovené formou váženého priemeru na základe podielov juvenilného dreva a juvenilnej kôry v štiepke a

elementárneho chemického zloženia horľaviny vzoriek juvenilného dreva a juvenilnej kôry uvádza tabuľka 3.

Tab. 3 Podiely základných prvkov horľaviny a popola v štiepke drevin *Populus x euroamericana* klon *Koltay*.

Tab. 3 Shares of elementary combustible particles and ash in chips species *Populus x euroamericana* clone *Koltay*.

Drevina	Podiel dreva a kôry v štiepke [%]		Chemické zloženie horľaviny [%]				Popol [%]
			C ^{daf}	H ^{daf}	O ^{daf}	N ^{daf}	A ^d
<i>Populus x euroamericana</i> klon <i>Koltay</i> .	Drevo	55,20	48,91	5,70	45,11	0,28	0,52
	Kôra	44,80	48,55	5,62	45,10	0,73	6,86
	Štiepka	100	48,75	5,66	45,11	0,48	3,36

Výhrevnosť sušiny biopaliva – zelenej štiepky vyrobenej z konároviny klonu *Koltay* plantážnicky pestovaného topoľa: *Populus x euroamericana*, vypočítaná prostredníctvom vzťahu M. I. Mendelejeva na základe chemického zloženia horľaviny energetickej štiepky a podielu popola zo sušiny zelenej štiepky uvádza tabuľka 4.

Tab. 4 Výhrevnosť energetickej štiepky v suchom stave drevin *Populus x euroamericana* klon *Koltay*.

Tab. 4 Lower heating value of the wood chips in a dry condition of *Populus x euroamericana* clone *Koltay*.

Drevina	Výhrevnosť [kJ·kg ⁻¹]
<i>Populus x euroamericana</i> klon <i>Koltay</i>	16 861

DISKUSIA

Výsledky experimentálnych prác uvádzajú, že priemerný podiel kôry v zelenej štiepke vyrobenej z konároviny rýchlorastúcej drevin *Populus x euroamericana* klon *Koltay* je $X_K = 44,80 \pm 1,30$ %. Uvedená hodnota presahuje prípustnú hranicu podielu kôry v energetickej štiepke v zmysle STN 48 0058:2004, ktorá je $X_K = 30$ %. V porovnaní s podielom kôry v dendromase stromoch v zrelom veku drevin: *Populus tremuloides Michx.* (topoľ osika) uvádzanej v práci: HNĚTKOVSKÝ *et al.* (1983) je uvedená hodnota 3,0 ÷ 5,1 krát vyššia.

Podiel kôry v analyzovanej zelenej štiepke je o 100 % vyšší aj v porovnaní s podielom kôry v energetickej štiepke vyrobenej z dendromasy porastov plantážnicky pestovaných klonov: *Max 5*, *Oxford*, *AF 2*, *Monviso* drevin *Populus* s cyklom doby zberu 4–6 rokov v našich zemepisných podmienkach: DZURENDA – ZOLIAK (2011a, 2011b), HECL (2011).

Z porovnania chemického zloženia horľaviny zelenej štiepky tvorenej juvenilným drevom a juvenilnou kôrou plantážnicky pestovanej drevin *Populus x euroamericana* klon *Koltay* s chemickým zložením horľaviny palivového dreva drevin *Populus tremuloides Michx.* plynie: že chemické zloženie horľaviny zelenej štiepky sa nelíši od chemického zloženia palivového dreva drevin *Populus tremuloides Michx.* až na zastúpenie dusíka – endotermickej zložky horľaviny. Podiel dusíka v horľavine zelenej štiepky $N = 0,48$ % je 2,64 násobne vyšší než je podiel dusíka v horľavine palivového dreva drevin *Populus tremuloides Michx.* Zvýšený podiel dusíka v horľavine zelenej štiepky je pripisovaný jednak podielu kôry v energetickej štiepke, v ktorej zastúpenie

fytogénneho prvku – dusíka je 5 krát vyššie než v dreve PERELIIN (1965), DZURENDA (2005), ako aj prítomnosti bielkovín a aminokyselín v kambiálnych bunkách a chlorofylu v povrchových pletivách juvenilnej kôry DZURENDA – ZOLIAK (2011a).

Z environmentálneho aspektu sa uvedená skutočnosť premieta vo zvýšení produkcie emisií vo forme tzv. palivových oxidov dusíka NO_x . Podľa matematického modelu technického výpočtu koncentrácie oxidov dusíka v spalinách, DZURENDA (2008), maximálna hodnota koncentrácie oxidov dusíka NO_x v spalinách zo spaľovania zelenej štiepky vyrobenej z konároviny stromov plantážnicky pestovaného klonu dreveny: *Populus x euroamericana*, je $\text{NO}_x = 1618 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a prekračuje platnú hodnotu emisného limitu na Slovensku pre oxidy dusíka z procesov spaľovania biomasy 2,5 násobne.

Vyšší podiel popola v kôre analyzovaného klonu dreveny *Populus x euroamericana*, než v dreve danej dreveny uvádzaný v tabuľke č. 2 je potvrdením známych skutočností. Za nový poznatok možno označiť stanovenie obsahu popola zo sušiny zelenej štiepky t.j. paliva vyrobeného z konároviny plantážnicky pestovaných stromov dreveny *Populus x euroamericana* klon *Koltay* s cyklom zberu cca 20 rokov, ktorý je $A^d = 3,36 \%$. Uvedená hodnota podielu popola z analyzovanej zelenej štiepky je 5 až 7 krát vyššia než je podiel popola z dreva listnatých drevín uvádzaný autormi SIMANOV (1995), BUČKO – OSVALD (1997), DZURENDA – JANDAČKA (2010). Napriek uvedenému konštatovaniu uvedená hodnota radí predmetné biopalivo medzi nízkopopolnaté palivá.

Výhrevnosť zelenej štiepky v suchom stave analyzovaného klonu dreveny *Populus x euroamericana* vypočítaná podľa rovnice (6) je $Q_n = 16\,861 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Uvedená hodnota, v porovnaní s výhrevnosťou dreva listnatých drevín uvádzaných v EN 14 961 Tuhé biopalivá – Špecifikácie a triedy palív, je o 8,8 % nižšia. Príčinou danej skutočnosti je, tak zvýšený podiel anorganických látok (popolovín) v zelenej štiepke vyrobenej z konároviny rýchlorastúcej plantážnicky pestovanej dreveny *Populus x euroamericana* klon *Koltay*, ako i vo zvýšení obsahu dusíka – endotermickej zložky horľaviny biopaliva.

ZÁVER

Na základe vykonaných experimentálnych prác možno konštatovať, že zelená štiepka vyrobená z konároviny rýchlorastúcej dreveny *Populus x euroamericana* klon *Koltay* pestovanej na plantážach pozostáva z juvenilného dreva a juvenilnej kôry s podielom juvenilnej kôry v rozpätí hodnôt $X_k = 44,80 \pm 1,30 \%$.

Horľavina zelenej štiepky analyzovanej dreveny sa nelíši od chemického zloženia palivového dreva dreveny *Populus tremuloides Michx* až na zastúpenie dusíka – endotermickej zložky horľaviny. Podiel dusíka v horľavine zelenej štiepky $N = 0,48 \%$ je 2,64 násobne vyšší než je podiel dusíka v horľavine palivového dreva dreveny *Populus tremuloides Michx*. Uvedená skutočnosť má negatívny dopad, tak na výhrevnosť, ako aj na tvorbu a produkciu emisií vo forme oxidov dusíka.

Podiel popola z topoľovej zelenej štiepky analyzovaného klonu je $A^d = 3,36 \%$. Uvedená hodnota radí predmetné biopalivo medzi nízkopopolnaté palivá, je však v priemere 6 krát vyššia než je obsah popola z dreva listnatých drevín.

Výhrevnosť zelenej štiepky vyrobenej z konároviny dreveny *Populus x euroamericana* klon *Koltay* v suchom stave má hodnotu: $Q_n = 16\,861 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

LITERATÚRA

- 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.
- DZURENDA, L. 2005. Spaľovanie dreva a kôry. Zvolen: TU vo Zvolene. 2005, 124 s.
- DZURENDA, L. 2008. Matematický model pre výpočet emisnej veličiny c_{max} NO_x zo spaľovania vlhkej dendromasy v roštových kúreniskách. *Acta Facultatis Ecologiae*, 19(1): 49–58. ISSN 1336-300X.
- DZURENDA, L. – ZOLIAK, M. 2011a. Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky z dendromasy plantážnický pestovanej dreviny *Populus* klon *Max 5*. *Acta Facultatis xylogologiae Zvolen*, 53(1): 87–92.
- DZURENDA, L. – ZOLIAK, M. 2011b. Energetické vlastnosti biomasy – energetickej štiepky niektorých klonov plantážnický pestovanej dreviny *Populus*. In: *Využitie biomasy z obnoviteľných zdrojov na energetické účely*. Nitra : SPU. s. 137–147.
- DZURENDA, L. – JANDAČKA, J. 2010. Energetické využitie dendromasy. Zvolen : TU vo Zvolene, 162 s.
- HECL, V. 2011. Modelovanie produkcie oxidov dusíka z procesov spaľovania štiepky z energetických plantáží. [Dizertačná práca], Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene. 89 p.
- HNĚTKOVSKÝ, V. *et al.* 1983. *Papírenská príručka*. Praha : SNTL, 864 s.
- JANDAČKA, J. – MALCHO, M. – MIKULÍK, M. 2007. *Biomasa ako zdroj energie*. Žilina : Vydavateľstvo GEORG. 241 s.
- MALAŤÁK, J. – VACULÍK, P. 2008. *Biomasa pro výrobu energie*. Praha : CZU v Praze, 206 s.
- LIBHARD, P. 2010. *Energieholz im Kurzumtrieb Rohstoff der Zukunft*. Grac-Stuttgart: Leopold Stocker Verlag, 123 s.
- OTEPKA, P. – HABÁN, M. 2011. Vrba košíkárka *Salix viminalis* L. pestovaná ako obnoviteľný zdroj energie v teplej agro-klimatickej makrooblasti Slovenskej republiky. Nitra : SPU, 83 s.
- SIMANOV, V. 1995. *Energetické využívání dříví*. Olomouc : Terapolis, 98 s.
- PERELYGIN, L. M. 1965: *Nauka o dreve*. Bratislava: SVTL, 448 s.
- SUCHOMEL, J. – GEJDOŠ, M. 2007. Analysis of wood resources and price comparison in Slovakia and selected countries. In: *Woodworking techniques, Zalesina, Croatia*, pp. 143–152.
- TRENČIANSKY, M. – LIESKOVSKÝ, M. – ORAVEC, J. 2007. *Energetické zhodnotenie biomasy*. Zvolen : Národné lesnícke centrum. 147 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.
- 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*.

PodĎakovanie

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,
T. G. Masaryka 24,
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra obrábania dreva
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
dzurenda@tuzvo.sk

Martin Bartko
Národné lesnícke centrum
NLC-LVÚ
Výskumná stanica Juh Trstice
bartko@nlcsk.org

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