

## PRODUKČNÝ POTENCIÁL A ENERGETICKÉ VLASTNOSTI PRIRODZENÝCH PORASTOV JELŠE LEPKAVEJ (*ALNUS GLUTINOSA* (L.) GAERTN.) Z OBLASTI KREMNICKÝCH VRCHOV

### PRODUCTION POTENTIAL AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF NATURAL COOPICE OF ALDER (*ALNUS GLUTINOSA* (L.) GAERTN.) IN THE TERRITORY OF THE KREMNICKE HILLS.

Michal Bugala – Ladislav Dzurenda – Ľubomír Pňakovič

#### ABSTRACT

In this contribution, there are presented findings of the experimental works in order to determine production characteristics of natural coppice of alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and primary combustion characteristics of woodchips obtained from the top of crown parts after timber harvesting.

Based on experimental works there has been stated that the values of the *BAI* growth along the gradient altitude oscillate from  $1638 \pm 453$  to  $3363 \pm 928$  mm<sup>2</sup>. The average growing stock has a value of 223.2 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. The average volume of dendromass of branches is 51.4 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, which weight in a dry state is 22.6 t·ha<sup>-1</sup>.

Relative humidity of biofuel – woodchips is  $W_r = 55.13 \pm 0.35$  % and share of barks  $X_K = 12.46 \pm 0.78$  %. Share of individual elements in the combustible is the following for each element:  $C_{\xi}^{daf} = 51.14$  %,  $H_{\xi}^{daf} = 5.75$  %,  $N_{\xi}^{daf} = 0.68$  %,  $O_{\xi}^{daf} = 42.43$  %. In the comparison with chemical composition of the combustible - wood of deciduous trees, the combustible of woodchips has 6.8 % times higher content of endothermic component - nitrogen. Production of ash from dry woodchips of the analyzed plants is  $A^d = 8.1 - 13.1$  %. Based on the comparison of the lower heating value  $Q_{\xi}^d = 18,457$  kJ·kg<sup>-1</sup> of the energy woodchips in dry state ( $W_r = 0$  %) with the energy woodchips made of fast-growing trees there can be stated, that the lower heating value of dry alders woodchips is comparable with the lower heating value of dry woodchips made of plantation grown dendromass. The lower heating value at the time of harvest due to a high humidity reaches a value of one-third of the lower heating value at the dry state and for the air-dry state ( $W^r = 25$  %) it is the value of 12,996 kJ·kg<sup>-1</sup>.

**Key words:** *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., productive capacity, branches and thin branches, energy potential.

#### ÚVOD

Dendromasa patrí v Strednej Európe k významným obnoviteľným zdrojom energie t.j. zdrojom, ktorého energetický potenciál sa trvalo obnovuje prírodnými procesmi, alebo ľudskou činnosťou.

Zdrojom energetickej dendromasy z lesného hospodárstva, podľa prác SIMANOV (1995), VARGA – GODÓ (2002), ORAVEC *et al.* (2012), by mala byť dendromasa z tenčiny a nezužitkovanej hrubiny, prerezávok, manipulačných odpadov, ako i dendromasa z plantáží účelovo pestovaných rýchlorastúcich drevín. Množstvo 768 000 ton·rok<sup>-1</sup> lesnej dendromasy využívané v súčasnosti v energetike s energetickým ekvivalentom 7,3 PJ·rok<sup>-1</sup> www.forestportal.sk sa podieľa na celkovej spotrebe primárnych energetických zdrojov Slovenskej republiky cca 1 %, MH SR (2013). Podľa prognózy pre obdobie rokov 2010–2025 a víziou do roku 2050, využiteľný potenciál palivovej drevnej biomasy na lesnej i nelesnej pôde, sa bude podľa prác TRENČIANSKY *et al.* (2007), ORAVEC *et al.* (2012) postupne zvyšovať. Podiel ročnej produkcie palivovej dendromasy z lesnej a nelesnej pôdy na spotrebe primárnych palív SR sa do roku 2025 zvýši na 4,2 %.

K drevinám s veľkou perspektívou v oblasti produkcie biomasy patrí z autochtónnych druhov drevín aj jelša lepkavá (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Je nielen významnou zložkou brehových porastov s veľkou regulačnou a retenčnou schopnosťou pri vysokých vodných stavoch, ale aj dôležitou melioračnou drevinou s priaznivým vplyvom na vlastnosti pôdy, na ktorých rastie (LUKÁČIK – BUGALA 2005). V porovnaní s ostatnými hospodárskymi drevinami sa jelša vyznačuje dynamickým rastom s rýchlym nástupom kulminácie radiálneho prírastku a rubnou dobou 40–60 rokov. Dožíva sa 120–170 rokov, zriedkavo semenné jedince presahujú 200 rokov veku (SANIGA – ZRAK 2010). Jelše majú niekoľko užitočných pestovateľských výhod, ktoré zvyšujú ich potenciál do budúcnosti. Sadenice odolávajú priamemu slnku a mrazu. Prejavuje sa u nich len málo chorôb a škodcov. Po výrube z pňov vyrastie nová generácia výmladkov, z tohto dôvodu nie je potrebné umelé zalesnenie vyťažených plôch (SAARSALMI *et al.* 1991).

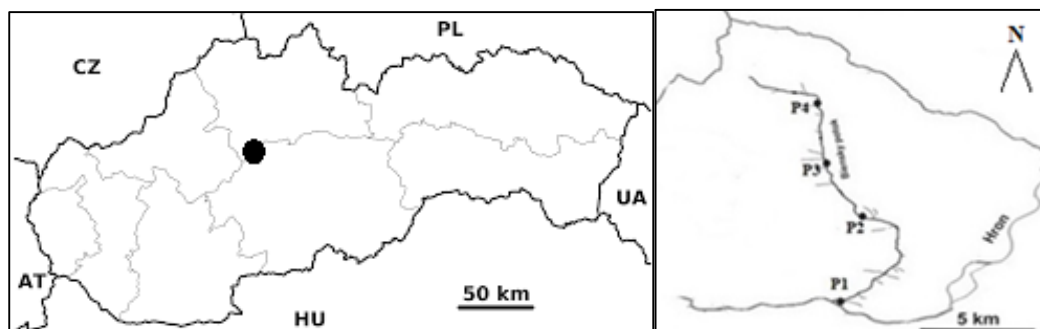
V danom príspevku sú prezentované výsledky experimentálnych prác vykonaných za účelom stanovenia produkčných vlastností prirodzených porastov jelše lepkavej a základných energetických vlastností štiepky získanej z vrcholových častí korún po ťažbových zásahoch danej dreviny. Skúmanými energetickými vlastnosťami boli stanovenia: podiel kôry v energetickej štiepke, relatívna vlhkosť, chemické zloženie horľaviny, obsah popola a výhrevnosť štiepky.

## MATERIÁL A METODIKA

Materiál pre stanovenie produkčných vlastností bol získaný zo 4 lokalít na území Vysokoškolského lesného podniku Technickej univerzity vo Zvolene, ležiaceho v orografickom celku Kremnické vrchy. Priemerná januárová teplota sa pohybuje medzi –6 až –3,5 °C, júlová teplota od 17 do 18 °C a ročný úhrn zrážok je 650–850 mm. Dominantnou skupinou lesných typov brehových porastov Bienskeho potoka je *Fraxineto - Alnetum*, kde hlavnou porastotvornou drevinou je jelša lepkavá (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Materskú horninu tvorí alúvium hlinité, prípadne štrkovité. Prevládajúcim pôdnym typom sú typologicky nevyvinuté nívne a glejové pôdy.

Zber materiálu určeného pre analýzu vzoriek sa uskutočnil v roku 2014 pred začatím vegetačného obdobia. V povodí Bienskeho potoka s dominanciou jelše lepkavej bol odobraný materiál z celkovo štyroch trvalých výskumných plôch (TVP) v kroku  $\Delta$  100 m. Na každej ploche bolo vybraných desať úrovňových jedincov. Materiál na hodnotenie produkčných vlastností (vývrty) bol odoberaný vo výške  $d_{1,3}$  pomocou Presslerovho nebožieca v dvoch na seba kolmých smeroch.

Vzorky štiepky (dreva a kôry) určené pre stanovenie energetických vlastností boli získané z vrcholovej časti stromov po výchovných zásahoch na jednotlivých plochách. Štiepka bola vyrobená na mobilnom štiepkovači továrenskej značky Linddana TP 160 PTO.



Obr. 1 Umiestnenie výskumných plôch v povodí Bienskeho potoka.  
Fig. 1 Location of research plots in the basin Biensky potok.

Odobraté vzorky na hodnotenie produkčných vlastností porastov boli analyzované v zmysle metodiky COOK - KAIRIUKSTIS (1992). Nakoľko vek mnohých jedincov nepresiahol 50 rokov, na krížové datovanie jednotlivých sérií ročných kruhov bola použitá metóda Skeletonových diagramov (CROPPER 1979), pre stanovenie miery podobnosti časových radov neparametrický tzv. *Gleichlaufigkeit* (GI) sign test (KAENNEL – SCHWEINGRUBER (1995). Pre odstránenie biologického trendu sme použili program ARSTAN ver. 41 (COOK 1985).

Na odstránenie variability rastu vplyvom rozdielnej hrúbky bol pre každého jedinca vypočítaný prírastok na kruhovej základni tzv. *BAI* index (PHIPPS – WHITON 1988).

$$r_t = r_{(t-1)} + w_t \quad (1)$$

$$BAI_t = \pi(r_t^2 - r_{(t-1)}^2) \quad (2)$$

kde:  $r_t$  – polomer stromu vo veku  $t$  [cm],  $r_{t-1}$  – polomer stromu vo veku  $t-1$  [cm],  $w_t$  – šírka letokruhu vo  $t$ -tom roku [mm],  $BAI_t$  – priemerný prírastok v  $t$ -tom roku [cm<sup>2</sup>],  $t$  – vek stromu [rok].

Pre výpočet priemerného prírastku porastu (*BAIp*) bolo uvažovaných 220 úrovňových jedincov (stromová trieda 1 a 2) na hektár, ktoré predstavujú priemerný počet úrovňových jedincov jelše lepkavej v rubnom veku. Pre výpočet priemerného ročného objemového prírastku porastu ( $i_v$ ), bola hodnota priemerného ročného prírastku porastu na kruhovej základni (*BAIp*), vynásobená priemernou výškou jedincov na konkrétnej ploche a redukovaná nepravou výtvarnicou ( $f_{1,3}$ ), pre drevinu buk (v tomto prípade 0,47). Zásoba porastov na jednotlivých plochách bola určená z objemových tabuliek drevín (pre drevinu buk a ostatné dreviny) na základe vypočítanej strednej výšky a hrúbky kmeňa. Disponibilná dendromasa konárov bola vypočítaná z celkového objemu nadzemnej biomasy stromov, kde hrubina predstavuje 76,3 %, konáre 17,5 % a ostatné časti dreviny (kôra, asimilačné orgány) 6,2 % JACOBSEN *et al.* (2003). Rozdiely v biometrických veličinách na jednotlivých plochách boli testované jednofaktorovou analýzou variancie a následne bol vykonaný Duncanov test.

Podiel kôry a dreva v energetickej štiepke dreveniny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. bol stanovený podľa STN 48 0058:2001. Zastúpenie kôry v energetickej štiepke bolo vypočítané podľa vzťahu:

$$X_k = \frac{m_k}{m_s} * 100 \quad (3)$$

kde:  $X_k$  – podiel kôry [%],  $m_k$  – hmotnosť kôry [g],  $m_s$  – hmotnosť štiepky [g].

Stanovenie relatívnej vlhkosti komponentov energetickej štiepky bolo vykonané, podľa EN 14774-2:2010. Hodnoty relatívnej vlhkosti vzoriek dreva a kôry boli vypočítané podľa rovnice:

$$W_r = \frac{m_w - m_0}{m_w} * 100 \quad (4)$$

kde:  $W_r$  – relatívna vlhkosť vzorky [%],  $m_w$  – hmotnosť vzorky pred sušením [g],  $m_0$  – hmotnosť vzorky po vysušení na konštantnú hmotnosť [g].

Prvkový rozbor horľaviny vzoriek dreva a kôry analyzovanej dreviny bol vykonaný v Centralnom lesníckom laboratóriu v Národnom lesníckom centre vo Zvolene. Podiel uhlíka  $C^{daf}$ , vodíka  $H^{daf}$  a dusíka  $N^{daf}$  v horľavine vzorky dreva a kôry bol stanovený na analyzátore NCS-FLASH EA 1112. Podiel kyslíka v horľavine vzoriek bol stanovený výpočtom, pri predpoklade nulového obsahu síry v dendromase  $S^{daf} = 0$  v súlade s STN EN 15296:2011 podľa vzťahu:

$$O^{daf} = 100 - C^{daf} - H^{daf} - N^{daf} \quad (5)$$

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

Prvkový rozbor horľaviny dendromasy – energetickej štiepky bol stanovený výpočtom na základe podielu dreva a kôry v štiepke a nameraných hodnôt zastúpenia jednotlivých prvkov v horľavine dreva a kôry podľa vzťahov:

$$\begin{aligned} C_{\xi}^{daf} &= \left[ \frac{100 - X_k}{100} \right] \cdot C_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot C_k^{daf} \\ H_{\xi}^{daf} &= \left[ \frac{100 - X_k}{100} \right] \cdot H_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot H_k^{daf} \\ N_{\xi}^{daf} &= \left[ \frac{100 - X_k}{100} \right] \cdot N_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot N_k^{daf} \\ O_{\xi}^{daf} &= \left[ \frac{100 - X_k}{100} \right] \cdot O_D^{daf} + \frac{X_K}{100} \cdot O_k^{daf} \end{aligned} \quad (6)$$

kde:  $C_{\xi}^{daf}$ ,  $H_{\xi}^{daf}$ ,  $N_{\xi}^{daf}$ ,  $O_{\xi}^{daf}$  – 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 dreva [%],  $X_K$  – zastúpenie kôry v štiepke [%].

Obsah popola z energetickej štiepky analyzovanej dreviny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. bol stanovený technickým výpočtom podľa rovnice (7) na základe podielu dreva a kôry v štiepke a laboratórne stanoveného obsahu popola jednotlivých komponentov štiepky - dreva a kôry, podľa normy STN ISO 1171:2003. Vzorky suchého dreva a suchej kôry boli žihane v muflovej peci LAC LMH 04/12 pri teplote  $t = 815 \pm 10$  °C.

$$A_{\xi}^d = \left[ \left( \frac{100 - X_K}{100} \right) \cdot A_D^d + \frac{X_K}{100} \cdot A_K^d \right] \quad (7)$$

kde:  $A_{\xi}^d$  – obsah popola zo sušiny vzorky štiepky [%],  $A_D^d$  – obsah popola zo sušiny vzorky dreva [%],  $A_K^d$  – obsah popola zo sušiny vzorky kôry [%],  $X_K$  – zastúpenie kôry vo vzorke štiepky [%].

Výhrevnosť energetickej štiepky – dendromasy dreveny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. v suchom stave  $W^r = 0\%$ , v vzduchosuchom stave  $W^r = 25\%$  a pri vlhkosti v čase ťažby  $W^r$ , bola stanovená na základe prvkového rozboru horľaviny štiepky a analýzy obsahu popola v sušine štiepky, technickým výpočtom podľa M. I. Mendelejevovej rovnice:

Rovnica pre stanovenie výhrevnosti v suchom stave  $W^r = 0\%$ :

$$Q_n^d = [339 \cdot C_{\xi}^{daf} + 1029,8 \cdot H_{\xi}^{daf} - 109 \cdot O_{\xi}^{daf}] \cdot \left[ \frac{100 - A_{\xi}^d}{100} \right] \quad (8)$$

Rovnica pre stanovenie výhrevnosti pri vlhkosti v čase zberu  $W^r$  a po preschnutí  $W^r = 25\%$ :

$$Q_n^r = [339 \cdot C_{\xi}^{daf} + 1029,8 \cdot H_{\xi}^{daf} - 109 \cdot O_{\xi}^{daf}] \cdot \left[ \frac{100 - A_{\xi}^d - W_{\xi}^r}{100} \right] - 25,12 \cdot W_r \quad (9)$$

kde:  $Q_n^d$  – výhrevnosť štiepky v suchom stave [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ],  $Q_n^r$  – výhrevnosť štiepky pri vlhkosti v čase ťažby [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ],  $C_{\xi}^{daf}$  – obsah uhlíka v horľavine vzorky [%],  $H_{\xi}^{daf}$  – obsah vodíka v horľavine vzorky [%],  $O_{\xi}^{daf}$  – obsah kyslíka v horľavine vzorky [%],  $A_{\xi}^d$  – podiel popola zo vzorky v sušine [%],  $W^r$  – vlhkosť štiepky v čase ťažby [%].

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Základné biometrické charakteristiky analyzovaných jedincov jelše lepkavej v lokalite Biensky potok - orografický celok Kremnické vrchy sú uvedené v tab. 1.

**Tab. 1 Základné biometrické charakteristiky jedincov jelše lepkavej podľa jednotlivých plôch.**  
**Tab. 1 Basic biometric characteristics of individuals black alder according individual research plots.**

Plocha	$d_{1,3}$ (cm)	$h$ (m)	$w_r$ (mm)	$w_{r \max}$ (mm)	$BAI$ ( $\text{mm}^2$ )	$BAIs$ ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ )	$i_v$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ )
P1	37,6	20,03	$2,95 \pm 1,45$	7,76	$2145 \pm 497$	0,472	4,44
P2	36,3	27,93	$4,73 \pm 1,86$	9,15	$3363 \pm 928$	0,740	9,71
P3	27,5	23,30	$4,68 \pm 2,09$	7,91	$2418 \pm 512$	0,532	5,83
P4	33,8	25,30	$2,77 \pm 1,23$	7,09	$1638 \pm 453$	0,360	4,28

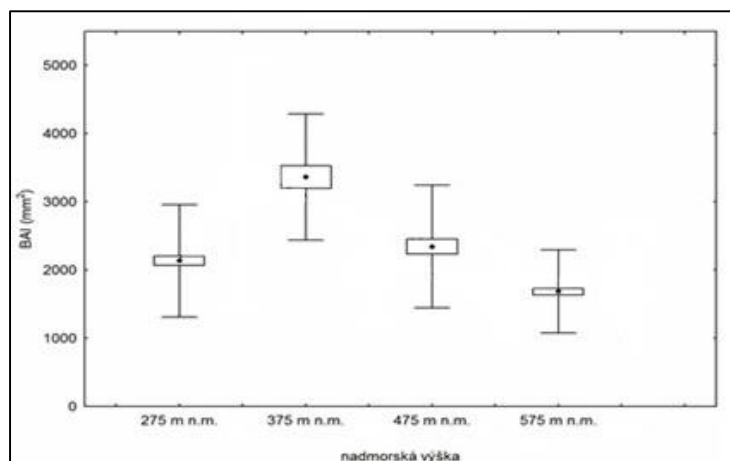
$d_{1,3}$  – priemerná hrúbka jedincov na ploche vo výške 1,3m;  $h$  – priemerná výška jedincov na ploche;  $w_r$  – priemerná šírka letokruhu a smerodajná odchýlka hodnôt,  $w_{r \max}$  – maximálna zaznamenaná šírka letokruhu;  $BAI$  – priemerný prírastok na kruhovej základni jedince a smerodajná odchýlka hodnôt,  $BAIs$  – priemerný prírastok na kruhovej základni porastu,  $i_v$  – priemerný prírastok na zásobe porastu.

Z hodnotenia základných biometrických charakteristík analyzovaných jedincov (tab. 1) možno konštatovať, že jelša lepkavá ako slnná drevina kontinentálnej klímy vytvára v sledovanej oblasti porasty charakterizované pomerne nízkou štruktúrnou diverzitou. Priemerná hrúbka jelší v danej lokalite sa pohybuje v intervale od 27,5 do 36,3cm, výška týchto jedincov je od 20,03 do 27,93 m. Priemerná nameraná hodnota šírky ročného letokruhu bez ohľadu na TVP je 3,78 mm. Zaujímavou z pohľadu produkčných možností je šírka letokruhu 9,15 mm, ktorá bola zaznamenaná na ploche P2. Na tejto ploche bola zároveň zistená i najvyššia priemerná hodnota šírky ročného kruhu  $4,73 \pm 1,86$  mm. Nízka hrúbková a výšková diferenciácia jelšových porastov bola v oblasti Kremnických vrchov zistená aj pri hodnotení štruktúrnej diverzity pomocou štruktúrnych indexov BUGALA – PITTNER (2010). K podobným výsledkom pri hodnotení výškovej a hrúbkovej rozrôznenosti prirodzených populácií rodu *Alnus* dospel aj LUKÁČIK (1999) a v NPR Jurský Šúr i KORPEL

(1989), ktorý uvádza, že vo všetkých porastoch rezervácie prevláda jednovrstvová, výškovo málo diferencovaná výstavba.

Pri sledovaní šírky letokruhov a najmä trendu vývoja *BAI* prírastku pozdĺž gradientu nadmorskej výšky (tab. 1 a obr. 3) je zrejmé, že prírastok na kruhovej základni porastu od počiatočnej hodnoty  $2145 \pm 497 \text{ mm}^2$  v nadmorskej výške 275 m výrazne stúpa až do nadmorskej výšky 375 m, kde kulminuje ( $3363 \pm 928 \text{ mm}^2$ ). Následne pozvoľna klesá po nadmorskú výšku 525m ( $1688 \pm 413 \text{ mm}^2$ ).

Na základe získaných výsledkov o produkčnej schopnosti porastov jelše lepkavej v skúmanom povodí možno konštatovať, že na modelovom poraste tvorenom 220-timi úrovňovými jedincami priemerný prírastok na zásobe porastov predstavuje hodnotu  $5,50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . KORPEL (1989) uvádza, že v oblasti NPR Jurský Šúr priemerný objemový prírastok jelšového prírodného lesa v optime pri priemernom počte 550–600 ks·ha<sup>-1</sup> hodnotu v intervale od 9 do 12 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. V tejto súvislosti je však potrebné uviesť, že NPR Jurská Šúr sa nachádza v nadmorskej výške 130 m n. m. Nami zistený priemerný objemový prírastok zodpovedá podstatne vyššej nadmorskej výške skúmaného povodia (275–525 m n. m.) ako i odlišným klimatickým podmienkam južnej časti Kremnických vrchov.



**Obr. 2** Grafické znázornenie hodnôt prírastku na kruhovej základni (rozptyl, smerodajná odchýlka a aritmetický priemer) jedincov jelše lepkavej v závislosti od nadmorskej výšky.

**Fig. 2** Graphic representation of the gain on the circular base (variance, standard deviation and arithmetic mean) of the subjects alder, depending on the altitude.

Priemerná porastová zásoba prepočítaná na ha<sup>-1</sup>, ako uvádza tab. 2, sa na jednotlivých plochách pohybovala od 140,8 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> (P3) až po 288,2 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> (P2) s priemerom 223,2 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Objem dendromasy konárov bol zaznamenaný v intervale 32,4–66,4 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> s priemernou hodnotou 51,4 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Pri redukovanej hustote dendromasy konárov jelše lepkavej  $\rho_{rc} = 440 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  daný objem predstavuje hmotnosť v suchom stave 22,6 t·ha<sup>-1</sup>.

**Tab. 2** Priemerná zásoba porastov a objem dendromasy konárov jelše lepkavej na jednotlivých plochách.

**Tab. 2** Average growing stock and dendromass plantations and alder branches to individual plots.

plocha	priemerný vek (t)	stredná hrúbka v d <sub>1,3</sub> (cm)	stredná výška (m)	objem stredného kmeňa (m <sup>3</sup> )	priemerná zásoba (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	priemerný objem dendromasy konárov (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )
P1	56	37,6	20,03	1,07	235,4	54,2
P2	48	36,3	27,93	1,31	288,2	66,4
P3	31	27,5	23,3	0,64	140,8	32,4
P4	45	33,8	25,3	1,04	228,8	52,7

Laboratórne stanovené hodnoty relatívnej vlhkosti vzoriek jednotlivých komponentov energetickej štiepky – dreva a kôry danej dreviny uvádza tab. 3.

**Tab. 3 Priemerne hodnoty relatívnej vlhkosti a jej smerodajnej odchýlky dreva a kôry dreviny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.**

**Tab. 3 The average values of the relative humidity and the standard deviation of the wood and bark of plants *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.**

Komponent energetickej štiepky	Relatívna vlhkosť $W^r$ [%]
Drevo	55,01 ± 0,34
Kôra	56,02 ± 0,39
Energetická štiepka	55,13 ± 0,35

Z meraní relatívnej vlhkosti analyzovaného biopaliva plynie, že priemerná relatívna vlhkosť dreva, kôry je adekvátna dendromase porastu v danom ročnom období. Z energetickeho hľadiska je však nutné skonštatovať, že vysoký obsah vody v biopalive znižuje jeho výhrevnosť a zvyšuje spotrebu biopaliva na výrobu jednotky tepla pri spaľovaní v tepelných generátoroch s kúreniskami upravenými na spaľovanie vlhkého biopaliva (DZURENDA *et al.* 2015).

Zavedenie predsúšania drevnej hmoty konárov a vrcholcov formou transpiračného sušenia (SIMANOV 1995, DZURENDA *et al.* 2015) je možné reálne znížiť vlhkosť tejto hmoty na vzduchosuchý stav t.j.  $W^r = 25$  % a tak využitím OZE (slnečného žiarenia a vetra) nielenže zvýšiť výhrevnosť energetickej štiepky, ale aj znížiť jej hmotnosť čo má okrem iného pozitívny dopad pri jej doprave (JANDAČKA *et al.* 2007, BANSKI – DZURENDA 2014).

Výsledky experimentálnych prác stanovenia podielu kôry vo vzorkách energetickej štiepky dreviny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. vyrobenej z konárov a nehrúbia, ako i prvkový rozbor horľaviny a obsah anorganického zvyšku - popola vzoriek suchého dreva, kôry a štiepky ( $W_r = 0$  %) uvádza tab. 4.

**Tab. 4 Podiel kôry, prvkový rozbor biopaliva – dreva, kôry a štiepky a podiel popola analyzovanej dreviny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.**

**Tab. 4 The share of bark, element analysis of biofuels – wood, bark and chips and the share of ash analyzed tree species *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.**

Drevina	n	Zastúpenie dreva a kôry v štiepke [%]		Prvkový rozbor horľaviny [%]				Popol [%]
				C <sup>daf</sup>	H <sup>daf</sup>	O <sup>daf</sup>	N <sup>daf</sup>	A <sup>d</sup>
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	9	Drevo	87,54	51,20 ± 0,5	5,71 ± 0,3	42,55 ± 0,4	0,54 ± 0,1	0,70 ± 0,02
	9	Kôra	12,46	50,70 ± 0,5	6,01 ± 0,3	41,65 ± 0,4	1,64 ± 0,1	2,68 ± 0,12
	9	Štiepka	100	51,14 ± 0,5	5,75 ± 0,3	42,43 ± 0,4	0,68 ± 0,1	0,95 ± 0,08

n – počet vzoriek

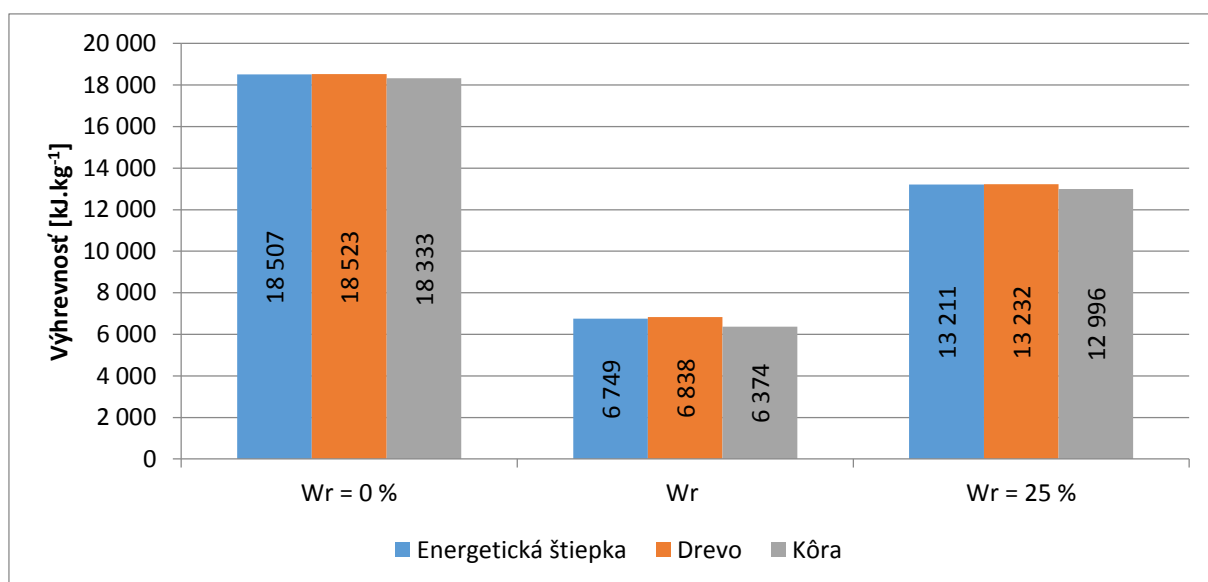
Výsledky analýz energetickej štiepky poukazujú, že priemerný podiel kôry v energetickej štiepke vyrobenej z vrcholovej časti stromu a konárov dreviny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. je  $X_K = 12,46 \pm 0,78$  %. Podiel kôry v energetickej štiepke je nižší ako prípustný podiel kôry v štiepke podľa STN 48 0058:2004,  $X_K \leq 30$  %.

Z porovnania prvkového rozboru horľaviny energetickej štiepky tvorenej drevom a kôrou pestovanej dreviny jelša lepkavá v suchom stave s horľavinou suchého dreva listnatých drevín uvádzaných v EN 14 961-1:2010 resp. v prácach DZURENDA *et al.* (2010), HECL (2011), DZURENDA – ZOLIAK (2011), PICCHIO *et al.* (2012), PESONEN *et al.* (2014) plynie, že horľavina štiepky má vyšší podiel dusíka – endotermickej zložky biopaliva. Obsah dusíka v horľavine štiepky je 6,8 krát vyšší než obsah dusíka v horľavine palivového dreva listnatých drevín. Uvedená skutočnosť má negatívny dopad na produkciu palivových oxidov

dušika emitovaných z energetického zariadenia do ovzdušia ako uvádzajú práce STUBENBERGER *et al.* (2007), DZURENDA *et al.* (2015), DEMIRBAS (2004). Prvkový rozbor ostatných zložiek horľaviny štiepky poukazuje na porovnateľné hodnoty podielu uhlíka, kyslíka a vodíka v horľavine biopaliva.

Obsah popola zo suchého biopaliva - dreva a kôry uvedený v tab. 4 poukazuje na známu skutočnosť, že kôra je biopalivo s výrazne vyššou produkciou popola než drevo. Za nový poznatok možno označiť stanovenie obsahu popola v sušine energetickej štiepky analyzovanej dreviny, ktorý je  $A_{\xi}^d = 0,95 \pm 0,08 \%$ . Ak produkcia popola z palivového dreva podľa prác: PERELYGIN (1965), SIMANOV (1995), DOMANSKI *et al.* (2007) je v rozpätí:  $0,3 \div 0,7 \%$ , tak produkcia popola z energetickej štiepky jelší lepkavej je 1,9 krát vyššia než je priemer obsahu popola palivového dreva. Z aspektu popolnatosti palív aj napriek uvedenej skutočnosti, predmetné biopalivo patrí medzi nízko-popolanaté palivá.

Výhrevnosť energetickej štiepky dreviny jelša lepkavá a jej jednotlivých komponentov v suchom stave  $W_r = 0 \%$ , ako i pri vlhkosti  $W^r$  v čase ťažby a po preschnutí na vzduchosuchý stav  $W^r = 25 \%$  uvádza obr. 4.



Obr. 3 Výhrevnosť dreva, kôry a energetickej štiepky dreviny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.  
Fig. 3 Lower heating value of wood, bark and energetic chips of tree species *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.

Z porovnania výhrevnosti  $Q_{\xi}^d = 18 457 \text{ kJ.kg}^{-1}$  energetickej štiepky v suchom stave ( $W_r = 0 \%$ ), vyrobenej z konároviny a hospodársky neúžitkovanej hrubiny dreviny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. s energetickou štiepkou vyrobenou z dendromasy porastov plantážnicky pestovaných klonov rýchlorastúcich drevín *Salix viminalis* a *Populus* na území Slovenska (DZURENDA *et al.* 2013, LIESKOVSKÝ 2015) plyní, že výhrevnosť suchej energetickej štiepky dreviny jelša lepkavá je zrovnateľná s výhrevnosťou suchej energetickej štiepky vyrobenej z plantážnicky pestovanej dendromasy. Štiepka s vlhkosťou v čase ťažby  $W^r$ , ako dokumentuje (obr. 4) má výhrevnosť o cca 65 % nižšiu než je výhrevnosť tejto štiepky v suchom stave. Zavedením predsúšania dendromasy konárov a vrcholcov na vzduchosuchý stav pred ich štiepkovaním formou transpiračného sušenia (SIMANOV 1995) je možné nielenže znížiť vlhkosť a hmotnosť štiepky ale aj 2 násobne zvýšiť výhrevnosť voči výhrevnosti pri vlhkosti v čase ťažby.

Pri energetickom využití konárov a nehrúbia dreviny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. z oblasti Kremnických vrchov je na základe priemernej produkčnej hodnoty daného



sortimentu z hektára a výhrevnosti možné konštatovať, že v čase ťažby je daná drevina zdrojom biopaliva s energetickou hodnotou  $Q = 144 \text{ TJ} \cdot \text{ha}^{-1}$  tepla vo vlhkom stave, resp.  $Q = 293,7 \text{ TJ} \cdot \text{ha}^{-1}$  vo vzduchosuchom stave.

## ZÁVER

Poznatky získané z rozboru rastových vlastností prirodzených populácií jelše lepkavej v oblasti Kremnických vrchov poukázali na pomerne veľké rozdielnosti produkčného potenciálu medzi jednotlivými skúmanými plochami. Hodnoty *BAI* prírastku pozdĺž gradientu nadmorskej výšky sa pohybujú od  $1638 \pm 453 \text{ mm}^2$  v nadmorskej výške 575 m až po kulmináciu na úrovni  $3363 \pm 928 \text{ mm}^2$  v nadmorskej výške 375 m n. m.

Priemerná porastová zásoba prepočítaná na ha sa pohybuje od  $140,8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  po  $288,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  s priemernou hodnotou  $223,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Priemerný objem dendromasy konárov je  $51,4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , čo pri redukovanej hustote dendromasy konárov jelše lepkavej  $\rho_{re} = 440 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  predstavuje hmotnosť v suchom stave  $22,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Na základe experimentálnych prác stanovujúcich energetické vlastnosti energetickej štiepky vyrobenej z dendromasy dreveny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., je relatívna vlhkosť biopaliva  $W_r = 55,13 \pm 0,35 \%$  a podiel kôry  $X_K = 12,46 \pm 0,78 \%$ . Priemerná hodnota popola – anorganického zvyšku zo spálenej jelšovej štiepky je  $A_g^d = 0,95 \pm 0,08 \%$ , čo radí predmetné biopalivo medzi nízkopopolnaté palivá.

Výhrevnosť jelšovej štiepky v suchom stave vypočítane prostredníctvom (M. I. Mendelejeva) je  $Q_n^d = 18\,457 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  a výhrevnosť v čase ťažby vplyvom vysokej vlhkosti dosahuje hodnotu jednej tretiny výhrevnosti v suchom stave, resp. dvoch tretín vo vzduchosuchom stave.

Dreveny *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. pestovaná z oblasti Kremnických vrchov je v čase ťažby aj potenciálnym zdrojom biopaliva vo forme energetickej štiepky z konárov a nehrúbia s energetickou hodnotou  $Q = 144 \text{ TJ} \cdot \text{ha}^{-1}$  tepla vo vlhkom stave, resp.  $Q = 293,7 \text{ TJ} \cdot \text{ha}^{-1}$  vo vzduchosuchom stave.

## Literatúra

- BANSKI, A., DZURENDA, L. 2014. Hustota a sybná hmotnosť energetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovaných porastov rýchlorastúcich drevín. In Acta Facultatis Xylologiae Zvolen 56(2):17–26.
- BUGALA, M., PITTNER, J. 2010. Analýza štruktúrnej diverzity porastov jelše lepkavej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) na území VŠLP TU vo Zvolene. Acta Facultatis Forestalis. Zvolen, 52(1): 43–54
- COOK, E. R. 1985. A time-series analysis approach to tree ring standardization. Ph.D. Dissertation. Tucson, University of Arizona, 171 pp.
- CROPPER, J. P. 1979. Tree-Ring Skeleton Plotting by Computer. Tree-Ring Bulletin, 39: 47–59.
- DEMIRBAS, A. 2004. Combustion characteristics of different biomass fuels. Progress in Energy and Combustion Science, 2004, 30(2): 219–230.
- DOMANSKI, M., DZURENDA, L., JABLONSKI, M., OSIPIUK, J. 2007. Drewno jako materiał energetyczny. Warszawa : Wydawnictwo SGGW. 129 s. ISBN 978-83-7244-903-0.
- DZURENDA, L., GEFFERTOVÁ, J., HECL, V. 2010. Energy characteristics of the wood-chip produced from *Salix viminalis* - clone ULV. Drvna industrija, 61(1): 27–31.
- DZURENDA, L., ZOLIAK, M. 2011. Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovanej dreveny *Populus klon MAX 5*. In Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 53(1): 87–92.

- DZURENDA, L., BARTKO, M., RIDZIK, L. 2012. Energetické vlastnosti zelenej štiepky vyrobenej z konároviny plantážnicky pestovanej dreviny *Populus x euroamericana* klon Koltay. In *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*. 2012, 54(2):115–122.
- DZURENDA, L., BANSKI, A., DZURENDA, M. 2014. Energetic properties of green wood chips from *Salix viminalis* grown on plantations. In *Scientia agriculturae bohémica*, 2014, 45(1): 44–49.
- DZURENDA, L., BANSKI, A., ŠUSTEK, J. 2015. Dendromasa – biopalivo pre výrobu tepla a elektrickej energie. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 171 s. CD-ROM, ISBN 978-80-228-2082-0.
- 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*. v tlači.
- HECL, V. 2011. Modelovanie produkcie oxidov dusíka z procesov spaľovania štiepky z energetických plantáží. [Dizertačná práca TU Zvolen]. 90 s.
- JACOBSEN, C., RADEMACHER, P., MEESENBURG, H., MEIWES, K, J. 2003. *Gehaltechemischer Elemente in Baumkompartimenten*. Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 69, Göttingen, 81 pp.
- JANDAČKA, J., MALCHO, M., MIKULÍK, M. 2007. *Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy*. Žilina : GEORG. 222 s.
- KAENNEL, M., SCHWEINGRUBER, F. H. 1995. *Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, 467 pp.
- KORPEL, Š. 1989. *Pralesy Slovenska*. Bratislava : Veda, 328 s.
- LIESKOVSKÝ, M. 2015. Vybrané produkčné a energetické vlastnosti topoľa *Populus X Euroamericana* klon Max 4. In *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen* 57(1):127–133.
- LUKÁČIK, I. 1999. Premennivosť a zdravotný stav prirodzených populácií jelše lepkavej (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) v oblasti Podunajskej nížiny. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*. 41: 67–79.
- LUKÁČIK, I., BUGALA, M. 2005. Premennivosť, rastová charakteristika a ekológia jelše lepkavej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) a jelše sivej (*Alnus incana* [L.] Moench.) na Slovensku. *Vedecké štúdie* 13/2004/A. Technická univerzita, Zvolen, 68 pp.
- MINISTERSTVO HOSPODÁRSTVA SR 2013. *Návrh energetickej politiky SR*. 87 s.
- STUBENBERGER, G., SCHARLER, R., OBERNBERGER, I. 2007. Nitrogen release behavior of different biomass fuels under lab - scale end pilot - scale conditions. In *15th European Biomass Conference & Exhibition, Berlin*, 1412–1420 p.
- PERELYGIN, L. M. 1965. *Nauka o dreve*. Bratislava : SVTL, 448 s.
- PESONEN, J., KUOKKANEN, T., KAIPIAINEN, E., KOSKELA, J., JERKKU, L., PAPPINEN, A., VILLA, A. 2014. Chemical and physical properties of short rotation tree species. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2014, 72(6): 769–777.
- 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(10): 3803–3816.
- PHIPPS, R. L., WHITON, J. C. 1988. Decline in long-term growth trends of white oak. *Can. J. For. Res.* 18: 24–32.
- ORAVEC, M., BARTKO, M., SLAMKA, M. 2012. Postupy intenzifikácie produkcie drevnej biomasy na energetické využitie. Zvolen : Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, 65 s.
- SAARSALMI, A., PALMGREN, K., LEVULA, T. 1992. Harmaalepa'n ja rauduskoivun biomassan tuotos ja ravinteiden ka' yttö energiapuuviljelma' lla. Summary: biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry. *Folia For*; 797: 1–29.
- SANIGA, M., ZRAK, J. 2010. Produkčné a rastové charakteristiky disponibilného priestoru jelšového prírodného lesa v NPR Jurský šúr. In *Pěstování lesů v nižších vegetačních stupních*. Křtiny, p. 121–126
- SIMANOV, V. 1995. *Energetické využívání dříví*. Olomouc : Terapolis, 98 s.
- Národné lesnícke centrum – Výskumný lesnícky ústav Zvolen. 64 s.
- STN ISO 1171:2003 Tuhé palivá. Stanovenie popola. 8 s.
- STN 48 0058:2004 Sortimenty dreva - Listnaté štiepky a piliny. 13 s.
- STN EN 14774-2:2010 Tuhé biopalivá - Stanovenie obsahu vlhkosti. 8 s.

STN EN 14961-1:2010 Tuhé biopalivá. Špecifikácie a triedy palív. Časť 1: Všeobecné požiadavky. 51 s.

STN EN 15296:2011 Tuhé biopalivá. Prepočet výsledkov analýz z jedného stavu na iný stav. 15 s.

TRENČIANSKY, M., LIESKOVSKÝ, M., ORAVEC, M. 2007. Energetické zhodnotenie biomasy. Zvolen : Národné lesnícke centrum. 147 s. ISBN 978-80-8093-050-9.

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.

[http://www.forestportal.sk/Les\\_Rozvoj\\_Vidieka/Biomasa/clanky/Lesna-Biomasa.aspx](http://www.forestportal.sk/Les_Rozvoj_Vidieka/Biomasa/clanky/Lesna-Biomasa.aspx)

### **PodĎakovanie**

Tato práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantového projektu: VEGA 1/0521/13 a KEGA-SR č. 006TU Z-4/2014, ako výsledok práce autorov a výraznej spolupráce agentúr VEGA a KEGA-SR.

### **Adresa autorov**

Michal Bugala  
Ladislav Dzurenda  
Ľubomír Pňakovič  
Technická univerzita vo Zvolene  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
Slovensko  
bugala@tuzvo.sk  
dzurenda@tuzvo.sk  
pňakovic@tuzvo.sk

