



ZRNITOSŤ A SYPNÁ HUSTOTA ENERGETICKEJ ŠTIEPKY Z DENDROMASY PORASTU PLANTÁŽNICKY PESTOVANEJ DREVINY *SALIX VIMINALIS* KLON INGER

Ladislav Dzurenda¹ – Vlado Goglia² – Lukáš Ridzik¹

Abstract

In this contribution, there are presented the results of energetic properties of chip made from four year old plantation growing tree - *Salix viminalis* clone Inger, such as: bark rate in energetic chip, relative humidity in harvesting time, granularity size of this energetic chip and bulk density of chip.

The bark rate in energetic chip is $X_K = 17,45 \pm 0,97\%$. Energetic chip is consisted mainly from granularity size with 5 ÷ 35 mm elements. Bigger granularity 35 ÷ 50 mm is consisted in energetic chip from 4 to 7 percent such as the rate of lower granularity size fraction. The energetic chip with this granularity subserve of Slovak norms criteria STN 40 0058.

Bulk density of energetic chip in harvesting time $W^r = 50,18\%$ was determinate based on experiment to value $\rho_{s-w} = 285,22 \pm 1,71 \text{ kg.m}^{-3}$.

Key words: biofuel, energy chips, *Salix viminalis* clon: Inger, granularity, bulk density

ÚVOD

Drevo listnatých drevín v suchom stave 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 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Podľa prác: Varga – Godó (2002), Jandačka – Malcho – Mikulík (2007), Suchomel – Gejdoš (2007), Malaták – Vaculík (2008), Čižková – Čížek – Bajajová (2010), Liebhart (2010), Varga – Bartko (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*), vŕba biela (*Salix alba L.*) a klony výby 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

¹ Technical university in Zvolen, Faculty of wood science and technology
e-mail: dzurenda@tuzvo.sk; ridzik.lukas@gmail.com

² Institute for process Techniques Faculty of Forestry University in Zagreb
e-mail: goglia@sumfak.hr

je produkcia vlákniny pre celuzo-papierský priemysel, či suroviny pre výrobu trieskových materiálov a konároviny na výrobu zelenej štiepky určenej pre sektor energetiky.

V danom príspevku sú prezentované výsledky experimentálnych prác vykonaných za účelom stanovenia energetických vlastností štiepky dreviny *Salix viminalis* klon *Inger*, vyrobenej zo stromčekov 4 ročného plantážnický pestovaného porastu, akými sú: podiel kôry v štiepke, relatívna vlhkosť dendromasy v čase zberu, granulometrická skladba (zrnitosť) energetickej štiepky a sypná hustota energetickej štiepky.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Vzorky energetickej štiepky boli odobrané pri ťažbe 4 ročného plantážnický pestovaného porastu dreviny *Salix viminalis* klon: *Inger* Inštitútom Krista Veľkňaza pri obci Ľubica na východnom Slovensku. Zber bol vykonaný mobilnou sekačkou fínskej výroby typ: JUNKKARI HJ 10, (obr. 1).



Obr. 1 Sekačka JUNKKARI HJ 10

Podiel kôry v energetickej štiepke 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].

Stanovenie relatívnej vlhkosti energetickej štiepky bolo vykonané podľa STN EN 14774 – 2 Tuhé biopalivá - Stanovenie obsahu vlhkosti. Hodnoty relatívnych vlhkostí vzoriek boli vypočítané podľa vzťahu:

$$W^r = \frac{m_w - m_0}{m_w} \quad (2)$$

kde: m_w – hmotnosť vzorky pred sušením [g],
 m_0 – hmotnosť vzorky po vysušení na konštantnú hmotnosť [g].

Základný granulometrický rozbor energetickej štiepky bol vykonaný sitovaním t.j. preosievaním štiepky na sade sít s veľkosťami medzier v pletive: 50 mm, 35 mm, 10 mm, 5 mm, 1 mm, 0,5 mm a dno po dobu $t = 5$ min na automatickom vibračnom sitovacom stroji AS 200 firmy RETSCH. Hmotnosti frakcií na sitách boli stanovené na laboratórnych váhach RADWAG WPS 510 /c/2 s presnosťou váženia 0,001 g. Analýzy zrnitosti energetickej štiepky sú prezentované tak tabuľkovou formou, ako aj formou distribučných kriviek.

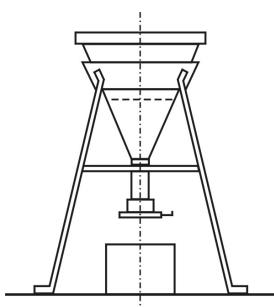
Za účelom spresnenia informácií o rozmeroch triesok najväčšej a najmenšej frakcie energetickej štiepky bol vykonaný rozbor veľkosti triesok.

Rozmery najväčších 5 kusov triesok hrubej frakcie boli zmerané posuvným meradlom s presnosťou na 0,1 mm. Rozmery najmenších triesok boli identifikované optickou metódou v Biometrickom laboratóriu FLD MZLU Brno. Analýza rozmerov a tvaru triesok bola vykonaná optickou metódou - rozborom mikroskopického obrazu získaného na mikroskope Nikon Optiphot-2 s objektívom Nikon 4x. Triedy najjemnejšej frakcie štiepky boli snímané 3 čipovou televíznou CCD kamerou HITACHI HV-C20 (RGB 752×582 pixel), horizontálnym rozlíšením 700 TV riadkov a vyhodnocované programom LUCIA-G 4.0 (Laboratory Universal Computer Image Analysis), nainštalovanom na PC s procesorom Pentium 90 (RAM 32 MB) s grafickou kartou VGA Matrox Magic pod operačným systémom Windows NT 4.0 Workstation. Program analýzy obrazu LUCIA-G umožňuje identifikovať jednotlivé častice a kvantitatívne stanoviť pre jednotlivé triedy nachádzajúce sa v analyzovanom obrazu základné informácie akými sú: dĺžka, šírka a cirkularita t.j. kruhovitosť vyjadrujúca mieru odchýlky priemetu daného tvaru triedy od priemetu tvaru kruhu podľa vzťahu:

$$\Psi = \frac{4\pi S}{O^2} \quad (3)$$

kde: S – plocha častice [m^2]
 O – obvod častice [m]

Sypná hustota energetickej štiepky v suchom stave a pri relatívnej vlhkosti v čase zberu bola laboratórne stanovená meraním na Garyho prístroji (obr. 2) formou voľného sypania energetickej štiepky z výšky 350 mm do kalibrované odmernej nádoby s objemom $V = 1000$ ml. Výpočet sypnej hustoty energetickej štiepky v suchom stave bol vykonaný prostredníctvom rovnice:



$$\rho_{s-w} = \frac{m_w}{V_w} \quad [\text{kg.m}^{-3}]$$

kde: m_w – hmotnosť sypkej drevnej hmoty [kg]
 V_w – objem sypkej drevnej hmoty [m^3]

Obr. 2 Schéma Garyho prístroja

VÝSLEDKY

Biopalivo - energetická štiepka vyrobená z dendromasy 4 ročného porastu plantážnický pestovaného klonu *Inger* dreviny *Salix viminalis* pozostáva z juvenilného dreva a juvenilnej kôry. Na obr. č. 3 sú zobrazené zrná energetickej štiepky dreviny *Salix viminalis* klon *Inger* vyrobenej na sekačke JUNKKARI HJ 10.



Obr. 3 Energetická štiepka vyrobená zo stromčekov 4 ročného plantážnický pestovaného porastu dreviny *Salix viminalis* klon *Inger*

Výsledky laboratórneho stanovenia podielu kôry vo vzorkách analyzovanej energetickej štiepky sú v tabuľke 1.

Tab. 1 Podiel kôry v energetickej štiepke dreviny *Salix viminalis* klon *Inger*

Vzorka	Vzorka 1	Vzorka 2	Vzorka 3	Priemer
Podiel kôry v štiepke [%]	18,14	17,54	16,68	17,45 ± 0,97

Hodnoty relatívnej vlhkosti analyzovaných vzoriek energetickej štiepky dreviny *Salix viminalis* klon *Inger* v čase zberu uvádzajú tabuľka 2.

Tab. 2 Relatívna vlhkosť vzoriek energetickej štiepky dreviny *Salix viminalis* klon *Inger*

Vzorka	Vzorka 1	Vzorka 2	Vzorka 3	Priemer
Relatívna vlhkosť energetickej štiepky [%]	50,48	50,50	49,57	50,18 ± 0,71

Výsledky analýz zrnitosti energetickej štiepky dreviny *Salix viminalis* klon *Inger* vyrobenej na sekačke JUNKKARI HJ 10 pri vlhkosti $W^r = 50,18 \pm 0,71\%$ sú v tabuľke 3 a identifikácia rozmerov najväčších triesok a plošných rozmerov najmenších častíc v energetickej štiepke v tabuľke 4.

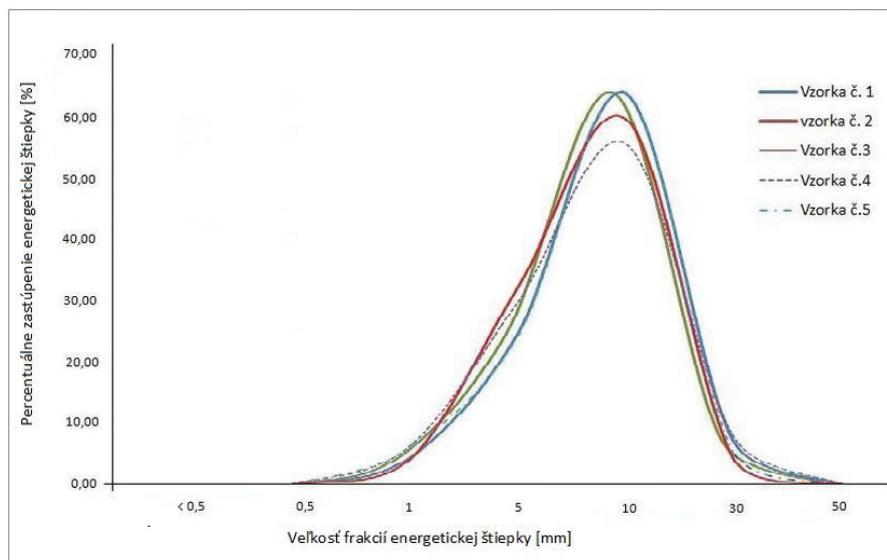
Tab. 3 Granulometrické zloženie energetickej štiepky dreviny *Salix viminalis* klon *Inger*

Rozmery oka sita	Vzorka č.1	Vzorka č.2	Vzorka č.3	Vzorka č.4	Vzorka č.5	Priemer
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	7,15	5,01	3,95	7,66	3,93	5,54
10	63,65	63,87	61,26	55,40	59,51	60,74
5	24,59	24,27	28,96	29,86	32,22	27,98
1	4,42	6,41	5,34	6,35	4,15	5,26
0,5	0,19	0,44	0,49	0,74	0,19	0,48
Dno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spolu [%]	100	100	100	100	100	100

Tab. 4 Rozmery najväčších častíc a najmenších častíc v energetickej štiepke dreviny *Salix viminalis* klon *Inger* vyrobenej na sekačke JUNKKARI HJ 10

Energetická štiepka dreviny <i>Salix viminalis</i> klon INGER	Rozmery najväčších triesok štiepky [mm]	Plošné rozmery jemnej frakcie triesok štiepky [μm]
Vzorka č. 1	56,3 x 45,8 x 17,8 55,2 x 46,8 x 15,6 50,6 x 38,8 x 14,4	687,88 x 687,37 684,64 x 624,49 624,38 x 618,31
Vzorka č. 2	55,0 x 41,2 x 13,7 52,9 x 18,9 x 18,5 51,9 x 42,8 x 15,5	788,38 x 781,17 698,84 x 662,49 676,68 x 658,31
Vzorka č. 3	58,0 x 43,2 x 14,8 54,0 x 17,5 x 17,0 52,8 x 38,6 x 7,5	778,85 x 687,85 687,82 x 581,19 586,28 x 483,87
Vzorka č. 4	55,3 x 44,8 x 16,8 55,2 x 41,8 x 14,5 53,6 x 28,8 x 28,4	667,18 x 657,27 584,54 x 464,39 524,38 x 518,21
Vzorka č. 5	55,3 x 46,8 x 18,8 54,8 x 45,6 x 14,6 50,6 x 14,4 x 14,4	678,17 x 657,27 614,64 x 603,19 584,38 x 561,42

Zrnitosť energetickej štiepky daného klonu dreviny *Salix viminalis* formou distribučných kriviek je zobrazená na obr. 4.



Obr. 4 Distribučné krivky energetickej štiepky dreviny *Salix viminalis* klon Inger.

Priemerná hodnota sypnej hustoty, ako aj sypné hustoty jednotlivých vzoriek energetickej štiepky analyzovaného klonu dreviny *Salix viminalis*, pri vlhkosti zberu $W^t = 50,18\%$ sú uvedené v tabuľke 5.

Tab. 5 Sypná hustota energetickej štiepky dreviny *Salix viminalis* klon Inger pri $w = 50,18\%$

Vzorka	Vzorka 1	Vzorka 2	Vzorka 3	Vzorka 4	Vzorka 5	Priemer
Sypná hustota [kg·m ⁻³]	282,07	291,91	279,56	300,23	283,08	287,37 ± 5,36

DISKUSIA

Výsledky experimentálnych prác uvádzajú, že priemerný podiel kôry v energetickej štiepke vyrobenej z 4 ročného porastu plantážnický pestovanej rýchlorastúcej dreviny *Salix viminalis* klon *Inger* je $X_K = 17,45 \pm 0,97\%$. Uvedená hodnota nepresahuje prípustnú hranicu podielu kôry v energetickej štiepke v zmysle STN 48 0058, ktorá je $X_K = 30\%$.

Podiel kôry v analyzovanej energetickej štiepke je zrovnatelný s podielom kôry v energetickej štiepke vyrobenej z dendromasy porastov plantážnický pestovaných klonov: *ULV*, *ORM* dreviny *Salix viminalis*, *Dzurenda - Zoliak - Kopnicka (2010)* či klonu *Max 5* dreviny *Populus* s cyklom doby zberu 4 – 6 rokov, *Dzurenda - Zoliak (2012)* v našich zemepisných podmienkach. Je však cca 2 krát menší než je podiel kôry v zelenej štiepke vyrobenej z konároviny plantážnický pestovanej dreviny *Populus alba* cv. *Palárikovo* s cyklom zberu 18 rokov *Dzurenda - Ridzik - Bartko (2012)*.

Z laboratórnych meraní relatívnej vlhkosti energetickej štiepky vyrobenej zo stromčekov 4 ročného plantážnický pestovaného porastu dreviny *Salix viminalis* klon *Inger* plynne, že relatívna vlhkosť daného biopaliva je $W^r = 50,18 \pm 0,71\%$. Uvedená hodnota je adekvátnejšia dendromase porastu a danému ročnému obdobia. Z energetického hľadiska však je nutné konštatovať, že obsah vody v biopale znižuje jeho výhrevnosť a zvyšuje spotrebu biopaliva na výrobu jednotky tepla. Jednou z alternatív čiastočného odstránenia uvedeného neduhu je rozdelenie samotného zberu na dve etapy: Prvá fáza spilovanie stromčekov a druhá fáza štiepkovanie až po preschnutí dendromasy na vzduchosuchý stav, tak ako to je desaťročia praktizované v krajinách Škandinávie, resp. odporúčané v odbornej literatúre: Simanov 1995 aj pre naše klimatické podmienky. Uvedenou skutočnosťou je možné zvýšiť výhrevnosť energetickej štiepky na $13,5 \div 14,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, t.j. o $65 \div 70\%$.

Výsledky sitovej analýzy energetickej štiepky dreviny *Salix viminalis* klon *Inger* vyrobenej na sekačke JUNKKARI HJ 10 ukazujú, že štiepka z hlavnej časti je tvorená frakciami s rozmermi $5 \div 35 \text{ mm}$, podiel hrubšej frakcie s rozmermi $35 \div 50 \text{ mm}$ predstavuje od 4 do 7 %, rovnako tak i podiel jemných frakcií s rozmermi pod 5 mm. Energetická štiepka danej granulometrickej skladby je homogénna sypká hmota spĺňajúca kritéria STN 40 0058 kladené na jemnozrnnú energetickú štiepku listnatých drevín. Sitovou analýzou bolo preukázané, že v jemnej frakcii sa nachádzajú i triesky hrubého prachu s rozmermi $0,5 \div 1 \text{ mm}$. V rozhodujúcej miere je jemná frakcia tvorená trieskami vláknitého tvaru s dĺžkou od 1 mm do 5 mm, podiel hrubého prachu nepresiahol hodnotu 1 %. Zastávame názor, že táto frakcia sa vytvorila odlamovaním drobných úlomkov okrajov kôry pri prepadoch cez sitá a jej lámaním a drobením počas sitovania.

Sypná hustota energetickej štiepky s vlhkosťou $W^r = 50,18 \%$ v čase zberu, bola laboratórne stanovená $\rho_{s-w} = 287,37 \pm 0,71 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Hodnota sypnej hustoty má praktický význam pre prepravcov biopaliva z plantáže na skládku. Vplyvom strasenia počas dopravy sa jej hodnota, ako uvádzajú práce: Trnobrański - Havránek (1975), Oswald (1992), Dzurenda (2007), s vysokou pravdepodobnosťou ešte zvýší o 15 až 30 %.

ZÁVER

Podiel kôry v energetickej štiepke vyrobenej z dendromasy 4 ročného plantážnický pestovaného porastu dreviny *Salix viminalis* klon *Inger* bol stanovený na $X_K = 17,45 \pm 0,97 \%$.

Na základe vykonaných sitových analýz je možné konštatovať, že energetická štiepka dreviny *Salix viminalis* klon *Inger* je z hlavnej časti tvorená frakciami s rozmermi $5 \div 35 \text{ mm}$, podiel hrubšej frakcie s rozmermi $35 \div 50 \text{ mm}$ predstavuje od 4 do 7 %, rovnako tak i podiel jemných frakcií s rozmermi pod 5 mm. Štiepka danej zrnitosti splňa prísne kritéria STN 40 0058: Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny, kladené na jemnozrnnú energetickú štiepku.

Sypná hustota energetickej štiepky pri vlhkosti $W^r = 50,18 \%$ v čase zberu bola laboratórne stanovená na hodnotu: $\rho_{s-w} = 285,22 \pm 1,71 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

LITERATÚRA

1. Čížková, L. – Čížek, V. – Bajajová, H. [2010]: Growth of hybrid poplars in silviculture at the age of 6 years. In: Journal of Forest Science, roč. 56 (10): 451–460.
2. Dzurenda, L. [2007]: Sypká drevná hmota, vzduchotechnická doprava a odlučovanie. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 182 s.
3. Dzurenda, L. – Zoliak, M. – Kopnická, M.: Chemické zloženie horľaviny štiepky plantážnický pestovanej dreviny *Salix viminalis*. In: Integrovaná logistika pri produkcií a využívaní biomasy. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2010, s. 43-48, ISBN 978-80-228-2143-8.
4. Dzurenda, L. – Zoliak, M. [2012]: Energetické vlastnosti biomasy – energetickej štiepky niektorých klonov plantážnický pestovanej dreviny *Populus*. In: Využitie biomasy z obnoviteľných zdrojov na energetické účely. Nitra: Vydavateľstvo SPU Nitra.
5. Dzurenda, L. – Ridzik, L. – Bartko, M.: Energetické vlastnosti biomasy – Zelenej štiepky z plantážnický pestovanej dreviny *Populus Alba* cv. Palárikovo. In: RESpect Potenciál, ekonomika, charakteristika a technológia obnoviteľných zdrojov energie. Poračska dolina: Fakulta BERG TU Košice. 6 – 13 s.
6. Jandačka, J. – Malcho, M. – Mikulík, M. [2007]: Biomasa ako zdroj energie. Žilina, Vydavateľstvo GEORG Žilina, 241 s.
7. Malat'ák, J. - Vaculík, P. [2008]: Biomasa pro výrobu energie. Praha: Vydavatel CZU v Praze, 206 p.
8. Libhard, P. [2010]: Energieholz im Kurzumtrieb Rohstoff der Zukunft. Grac-Stutgard: Leopold Stocker Verlag, 123 s.
9. Oswald, J. a kol. [1992]: Manipulácia, doprava a dopravná technika. Bratislava: Príroda, 228 s.
10. Otepka, P. – Habán, M. [2011]: Výba košíkárska *Salix viminális* L. Pestovaná ako obnoviteľný zdroj energie v teplej agro-klimatickej makrooblasti Slovenskej republiky. Nitra: Vydavateľstvo SPU Nitra, 83 s.
11. Simanov, V. [1995]: Energetické využívání dříví. Olomouc: Terapolis, 98 s.
12. Suchomel, J. – Gejdoš, M. [2007]: Analysis of wood resources and price comparation in Slovakia and selected countries. In: Woodworking techniques, Zalesina, Croatia, pp. 143-152.
13. Trnobranský, K. – Havránek, J. [1975]: Drcení, transport a spalování kůry včetne nespracovatelného odpadu. In: Drevo, 30, 110 – 114 s.
14. Varga, L. – Bartko, M. [2010]: Selekcia topoľov pre energetické porasty. In: Integrovaná logistika pri produkcií a využití biomasy. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene s. 209-213. ISBN 978-80-228-2148-3
15. 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.
16. STN 48 0058: 2004 Sortimenty dreva – Listnaté štiepky a piliny.

Poděkovanie:

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.