

MODIFIKÁCIA VLASTNOSTÍ DREVNÝCH PELIET APLIKÁCIU KONCENTRÁTU ORGANICKÝCH LÁTKO Z DEFIBRÁCIE

MODIFICATION OF WOOD PELLETS PARAMETERS BY USING OF CONCENTRATE OF ORGANIC COMPOUNDS FROM DEFIBRATION

Jozef Jandačka – Michal Holubčík – Milan Malcho – Radovan Nosek

ABSTRACT

Wood pellets are more and more used in this time. Problem of wood pellets is usually their transport. During transport from the producer through a supplier to the consumer leads to degradation of wood pellets and increased formation of fine material. One of the ways to produce wood pellets with higher quality is using of additives. In this work is presented using of concentrate of organic compounds from defibration as additive to increase the quality and resistance of wood pellets. The paper presents impact of various amounts addition of concentrate of organic compounds from defibration to quality of wood pellets. There is analysis of impact of addition of concentrate of organic compounds from defibration to abrasion resistance of wood pellets. There is also presented another quality parameter and it is disintegration time of pellets in the water test. Consequently, to determine the influence of different amounts of concentrate of organic compounds from defibration addition to other properties of wood pellets and they are moisture content, amount of ash and density. Measured results confirm the positive effect of concentrate of organic compounds from defibration on the quality of wood pellets.

Keywords: additive, concentrate of organic compounds from defibration, biomass, wood pellets, abrasion resistance.

ÚVOD

Drevné pelety sú charakterizované parametrami a vlastnosťami, medzi ktoré patria tvar a rozmery, objemová a sypná hmotnosť, tvrdosť a oderuvzdornosť, vlhkosť, výhrevnosť a tavitelnosť popola (DZURENDA, SLOVÁK 2001, JANDAČKA *et al.* 2011a). Tieto vlastnosti sú ovplyvnené kvalitou vstupného materiálu - drevných pilín ako aj spôsobom a technológiou ich výroby. (JANDAČKA *et al.* 2011b).

Niektoré vlastnosti drevných peliet, ako je oderuvzdornosť a objemová stálosť do značnej miery ovplyvňujú konzistenciu drevných peliet, ich tvar a rozmery počas prepravy, dopravy a uskladnenia. V prípade, že si pelety počas uskladnenia, prepravy a dopravy do spaľovacieho zariadenia neudržia svoj tvar a konzistenciu čím sa výrazne ovplyvňuje proces a kvalita spaľovania, nakoľko spaľovacie zariadenie je nastavené a regulované na palivo v štandardnej forme (HORBAJ 2000, VITÁZEK *et al.* 2008, ČARNOGURSKÁ 2012).

Výhrevnosť a pevnostné vlastnosti drevných peliet sú závislé na kvalite vstupnej suroviny a na použitej technológii výroby (SOOŠ 2005, SOOŠ *et al.*, 2012). Kvalitu

vyrobených peliet výrazne ovplyvňujú vlastnosti použitých pilín. Podľa (SAMUELSSON *et al.* 2012) má najväčší vplyv na kvalitu vlhkosť vstupnej suroviny a podmienky skladovania suroviny pred procesom výroby drevných peliet. Z predošlej práce (JANDAČKA *et al.* 2011b) taktiež vyplýva, že na kvalitu vyrobených peliet vplýva viacero iných hlavne technologických faktorov výroby. Pre dosiahnutie potrebnej kvality drevných peliet sú nutné v peletizačnom lise dostatočne vysoké lisovacie tlaky a teploty (NOSEK 2011, BUCZYŃSKI *et al.* 2012), pri ktorých dochádza k plastifikácii lignínu obsiahnutého vo vstupnej surovine. Ďalšou možnosťou zvyšovania kvality vyrobených drevných peliet je napr. pridávanie vody vo forme vodnej pary tesne pred procesom lisovania, správne nastavená medzera medzi lisovacou kladkou a matricou peletizačného lisu a pod.

Ďalšiu možnosť, ako vyrábať kvalitnejšie drevné pelety, predstavuje použitie prídavných aditív do peliet (TOBIASEN *et al.* 2007, TARASOV *et al.* 2013). Za aditívum sa považuje látka (prísada) pridávaná do základného materiálu z dôvodu zlepšenia niektorých jeho vlastností. Obyčajne sa však v praxi stáva, že so zlepšujúcimi sa parametrami sa začínajú objavovať i nové nežiadúce vlastnosti finálneho produktu. Z toho dôvodu je potrebné analyzovať jej vplyvy každej použitej prísady na vlastnosti peliet (JANDAČKA *et al.* 2011c).

V predkladanom príspevku je práve analyzovaný vplyv pridávania koncentráту organických látok z defibrácie v množstve 1–10 hm. % do smrekových pilín bez kôry na kvalitu drevných peliet. Cieľom príspevku je prezentácia výsledkov porovnania vlastností drevných peliet pri využití koncentrátu organických látok z defibrácie ako aditíva za účelom modifikácie niektorých vlastností drevných peliet s prioritou zvýšenia ich kvality.

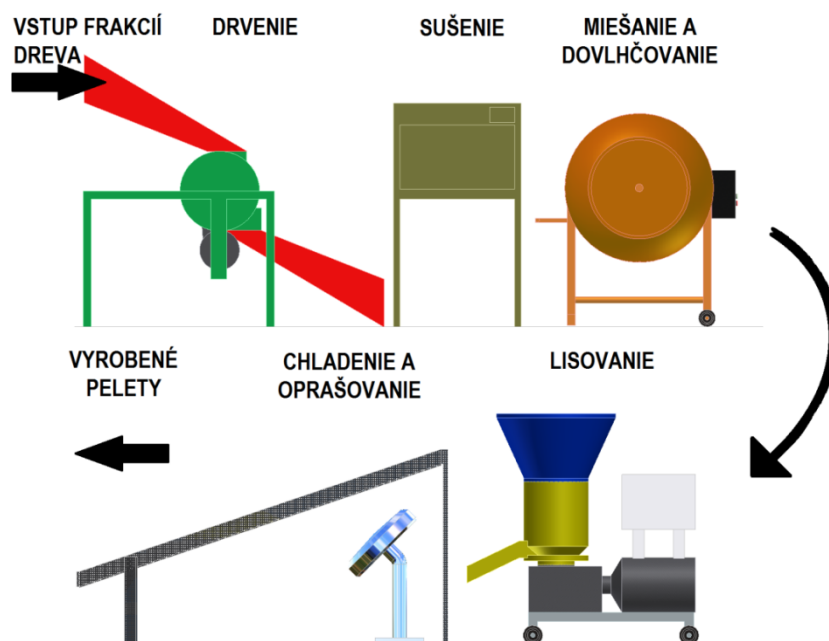
MATERIÁL A METODIKA

Výroba peliet je komplexný proces, ktorý nezávisí len od lisovania. Aby vstupná surovina mohla byť použitá na výrobu drevných peliet, musí spĺňať určité parametre. Nemala by obsahovať cudzie predmety, nesmie mať nadmerné veľkosti frakcií, musí mať potrebnú vlhkosť. Vyrobené pelety musia byť taktiež po ochladení správne uskladnené. (PAYNE 2004, DZURENDA, JANDAČKA 2010).

V priestoroch Žilinskej univerzity v Žiline bolo navrhnuté a zrealizované experimentálne zariadenie na peletizáciu podľa schémy na obr. č. 1. Zariadenie pozostáva zo zásobníka na vstupnú surovinu (biomasa určená na výrobu peliet), z drviča (drví surovinu na frakcie max. 6 mm), zo zásobníka podrvenej suroviny (podrvená surovina určená na ďalšie operácie), zo sušičky (sušenie suroviny, pokiaľ jej vlhkosť je vyššia ako vlhkosť požadovaná pre proces lisovania peliet), z miešacieho zariadenia (pridávanie aditíva do suroviny a dovlhčovanie pre vytvorenie tenkého filmu vlhkosti na povrchu suroviny za účelom zlepšenia procesu lisovania), z peletizačného lisu (lisovanie suroviny s aditívom), z chladiča vyrobených peliet s ventilátorom (ochladenie vyrobených peliet) a zo zásobníka vyrobených peliet. Vyrobené pelety sa vzdychotesne zabalia a zreteľne označia, aby boli pripravené na ďalšie operácie a testovanie).

Na výrobu experimentálnych vzoriek peliet bola použitá čistá pilina zo smrekového dreva bez kôry o vlhkosti 8 – 9 %. Zrornosť smrekovej piliny bola v intervale 0,2–2,5 mm v súlade s odporúčaním v prácach: KIZEK, MURÍN 1998, ŽIDEK 2006, DZURENDA 2009, DOBROWOLSKÁ *et al.* 2010. Pri úvodných experimentoch bola vlhkosť vstupnej suroviny z hľadiska vytvorenia konzistentnej zmesi drevných pilín a aditíva nedostatočná. Z toho dôvodu sa vlhkosť piliny upravovala jej dovlhčovaním. Na základe merania na experimentálnom peletovacom lise sa zistilo, že optimálna vlhkosť smrekovej piliny

pre výrobu peliet je 15–20 %. Piliny sa po dovlhčení zmiešali s aditívom a zmes sa rovnomerne premiešala v miešacom zariadení o objeme 50 l. Táto zmes sa následne spracovala v peletizačnom lise s výkonom 55–100 kg·h⁻¹. Je to vertikálny peletovací lis, ktorý pracuje s dvomi valcovými kladkami a otáčajúcou sa matricou. Nad matricou sú umiestnené lisovacie kladky (kolesá), ktoré sa otáčajú okolo pevne umiestneného hriadeľa. Lisovací tlak vytvárajú prítlačné skrutky, ktoré pôsobia na koncoch hriadeľa.



Obr. 1 Experimentálne zariadenie na peletizáciu.
Fig. 1 The proposed experimental device for pelletizing.

Použitie aditívum - koncentrát organických látok z defibrácie sa získava pri spracovávaní drevnej hmoty - defibrácie. Jedná sa o hnedý viskózný zahustený vodný roztok hemicelulóz, celulózy a extraktívnych látok dreva (anorganické soli, monosacharidy a oligosacharidy, rôzne polysacharidy - škrob, pektíny, cyklické alkoholy, farbivá, triesloviny a niektoré nízkomolekulové fenoly) (MELCER *et al.* 1976), ktorého vlhkosť bola 52,9 % a spalné teplo získané experimentálne pomocou kalorimetra 9,56 MJ·kg⁻¹. Na základe analýzy bol určený podiel sušiny 47,1 %. Sušina obsahovala 53,2 % uhlíka, 6,3 % vodíka, 0,3 % dusíka a 0 % síry. Pri experimentoch sa pridávalo 1–10 % aditíva.

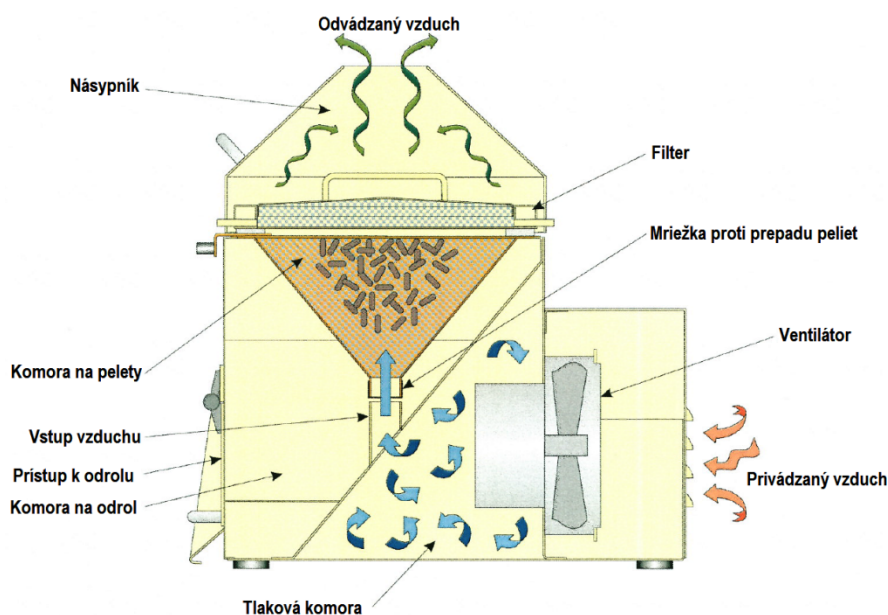
Z hľadiska kvality peliet sa určovala oderuvzdornosť peliet a doba rozpadu peliet pri vodnom teste.

Oderuvzdornosť peliet sa stanovovala na základe normy STN EN 15210. Pelety určené na testovanie sa preosiali na sieti s priemerom otvorom 3,15 mm. Preosievanie sa vykonalo mechanicky tak, aby sa oddelili jemné častice a zároveň sa zabránilo tvorbe nových jemných častíc. Skúšobné vzorky sa podrobili riadeným nárazom vzájomnými zrážkami peliet a zrážkami so stenou v skúšobnom zariadení. Na stanovenie oderuvzdornosti sa použil špeciálny prístroj, LignoTester (obr. č. 2), pričom sa stanovoval F – test (oderuvzdornosť 30 s) a DU – test (oderuvzdornosť 60 s). Každý test sa pre každú vzorku drewných peliet vykonával trikrát, pričom výsledná hodnota je priemerom z troch hodnôt. Pri oboch testoch sa do zariadenia vloží 100 g ± 0,5 g vzorky drewných peliet. Tie sú následne omieľané v prúde vzduchu o pretlaku 3000 Pa počas doby 30 s pri F – teste, respektíve v prúde vzduchu o pretlaku 7000 Pa počas doby 60 s pri DU – teste. Omieľaním vzoriek sa simuluje manipulácia, resp. transport peliet, pri ktorých dochádza k porušovaniu

celistvosti drevných peliet a vzniku odrolu, ktorý prepadá sitom do zásobníka. Po teste sa odvážia zostávajúce pelety. Hmotnosť vzoriek peliet pred a po sa stanovovala na váhach s presnosťou 0,001 g. Oderuvzdornosť sa následne určila na základe rovnice

$$DU = \frac{m_E}{m_A} \cdot 100 [\%],$$

kde m_A je hmotnosť drevných peliet pred omieľaním v gramoch,
 m_E je hmotnosť drevných peliet po omieľaní v gramoch.



Obr. 2 Princíp činnosti prístroja LignoTester.
Fig. 2 Operating principle of the device LignoTester.

Výsledné hodnoty oderuvzdornosti peliet sú priemerom 3 meraní.

Vodný test je ďalším parametrom na stanovenie kvality vyrobených drevných peliet. Táto metóda stanovenia kvality peliet je len približná a slúži len na porovnanie jednotlivých vzoriek drevných peliet (LINDLEY, VOSSOUGH 1989). Z každej vyrobenej vzorky peliet sa vyberú dve pelety tak, aby veľkosť všetkých bola približne rovnaká. Každá vzorka sa vloží do sklenenej nádoby naplnenej vodou s objemom približne 0,2 l. Od tohto okamžiku sa meria čas do doby, kým sa pelety vo vode úplne nerozpadnú. Čím dlhšie trvá rozpad pelety, tým sú pelety kvalitnejšie a odolnejšie voči vlhkosti.

Stanovenie hustoty sa vykonávalo na základe normy DIN 52 182. Náhodne sa vybralo 10 výliskov zo všetkých vzoriek peliet. Každá vzorka sa odvážila na analytickej váhe s presnosťou 0,0001 g. Ďalej sa na vzorke zmerali s presnosťou 1 % geometrické rozmery. Z nameraných geometrických rozmerov sa vypočítal objem vzorky. Následne sa určila hustota vzoriek na základe rovnice:

$$\rho = \frac{m}{V} [kg \cdot m^{-3}],$$

kde: m je hmotnosť vzorky pelety v kilogramoch.
 V je objem vzorky v m^3 .

Výsledná hodnota pre každú vzorku je priemerom 10 meraní.

Obsah vlhkosti sa stanovoval podľa STN EN 14774. Prázdna čistá hliníková miska sa odvážila s presnosťou 0,001 g, vzorka peliet sa rovnomerne rozložila po povrchu misky tak,

aby približne na 1 cm² plochy pripadalo 1 g vzorky. Naplnená miska sa odvážila s presnosťou 0,001 g. Následne sa vzorka s miskou sušila pri teplote 105 °C ±2 °C až do dosiahnutia konštantnej hmotnosti (zmena hmotnosti neprekračovala 0,2 % celkovej straty hmotnosti počas ďalšej periódy zohrievania – 60 minút). Vzorky sa sušili v sušiackej váhe RADWAG 50 SX. Výsledná vlhkosť vzorky ako hmotnostné percento sa určí na základe rovnice

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_1) + m_4} \cdot 100 [\%],$$

kde m_1 je hmotnosť prázdnej sušiackej nádoby v gramoch,
 m_2 je hmotnosť sušiackej nádoby a vzorky pred sušením v gramoch,
 m_3 je hmotnosť sušiackej nádoby a vzorky po sušení v gramoch,
 m_4 je hmotnosť vlhkosti spojenej s obalom v gramoch.

Pre každú vzorku sa experiment vykonával trikrát a výsledná hodnota je priemerom troch meraní.

Obsah popola vyrobených vzoriek peliet sa stanovil na základe normy STN EN 14775, ktorá sa používa na stanovenie obsahu popola tuhých biopalív. Vzorky drevných peliet sa pred stanovením obsahu popola vysušili v sušiarňi pri teplote 105 °C ±2 °C. Po vysušení sa dočasne umiestnili do exsíkátora. Následne sa s presnosťou 0,1 mg odvážila prázdna korundová miska, ktorá bola tesne predtým ohriata na 550 °C ±10 °C a následne ochladená na teplotu okolia. Na dno misky sa vložilo približne 5 g premiešanej vzorky, ktorá sa rozotrela po povrchu misky. Následne sa miska odvážila s presnosťou 0,1 mg. Miska sa vložila do studenej pece, kde sa ohrievala podľa nasledovného postupu:

- Počas 30 min sa rovnomerne zvyšovala teplota pece na 250 °C rýchlosťou 7,5 °C·min⁻¹.
- Teplota 250 °C sa udržiavala 60 minút, aby sa pred spaľovaním zo vzorky uvoľnili prchavé zložky.
- Počas 30 minút sa pokračovalo rovnomerné zvyšovanie teploty na 550 °C rýchlosťou 10 °C·min⁻¹.
- Teplota 550 °C sa udržiavala minimálne 120 minút.

Miska spolu s jej obsahom sa vybrala z pece a po vychladnutí sa odvážila s presnosťou 0,1 mg. Obsah popola sa určil z rovnice

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 [\%],$$

kde m_1 je hmotnosť prázdnej misky v gramoch,
 m_2 je hmotnosť misky so skúšobnou vzorkou v gramoch,
 m_3 je hmotnosť misky s popolom v gramoch.

VÝSLEDKY

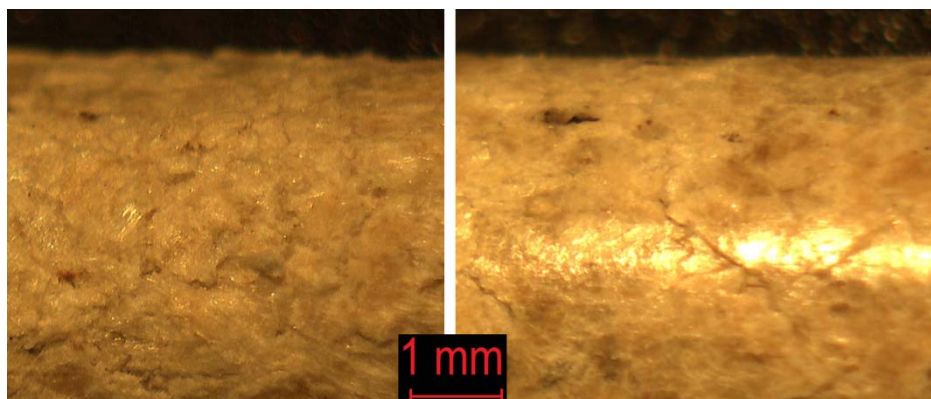
Celkovo bolo vyrobených päť vzoriek drevných peliet s rôznym množstvom prídavku aditíva podľa tab. č. 1 a jedna referenčná vzorka bez prídavku aditív.

Tab. 1 Použité množstvá aditíva.

Tab. 1 Amount of used additive.

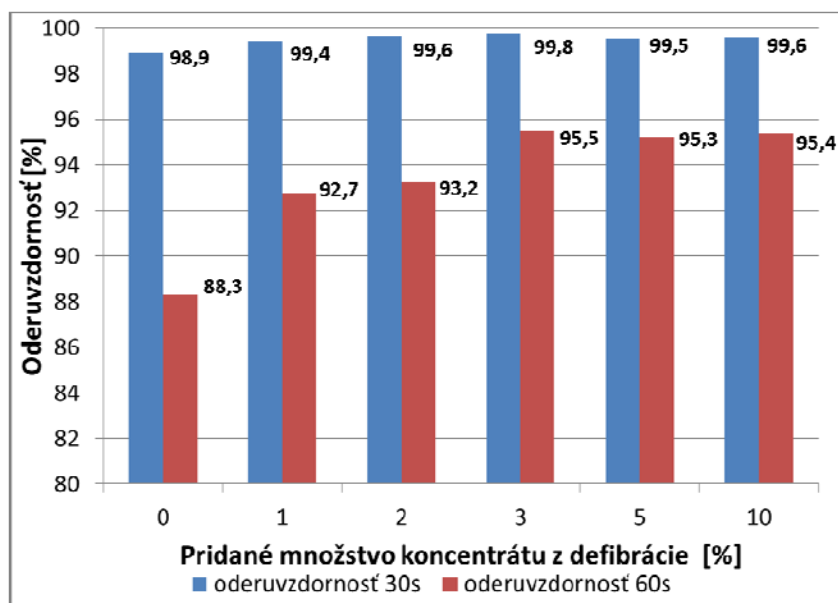
Označenie vzorky	Pridané množstvo (%)
Referenčná vzorka - RV	0
Vzorka 1	1
Vzorka 2	2
Vzorka 3	3
Vzorka 4	5
Vzorka 5	10

Povrch vyrobených vzoriek drevných peliet bol pozorovaný pomocou stereomikroskopu. Na obr. 3 sú znázornené povrchy referenčnej vzorky a vzorky 3 drevných peliet pri 15 násobnom zväčšení.



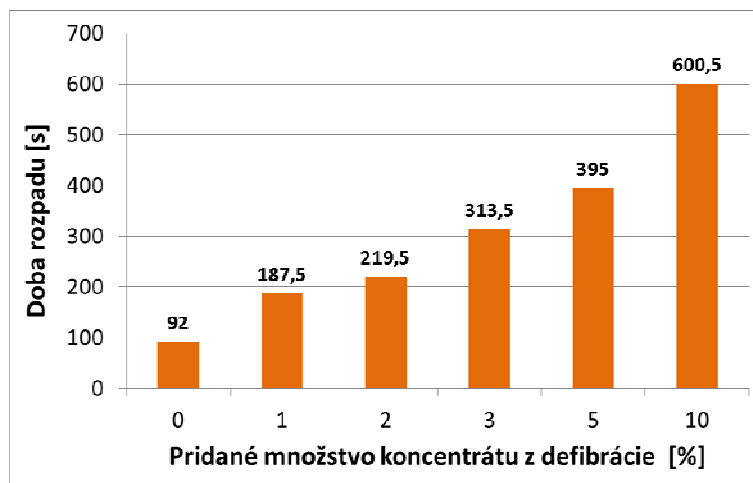
Obr. 3 Pätnásťkrát zväčšená fotografia povrchu referenčnej vzorky (vľavo) a vzorky 3 (vpravo).
Fig. 3 Fifteen times zoomed photography of surface of reference sample (left) and sample 3 (right).

Na obr. č. 4 je porovnanie priemerných hodnôt oderuvzdornosti vyrobených vzoriek drevných peliet s prídavkom rôznych množstiev aditíva.



Obr. 4 Oderuvzdornosť vzoriek drevných peliet s prídavkom rôznych množstiev aditíva.
Fig. 4 Abrasion resistance of wood pellets samples with addition various amounts of additive.

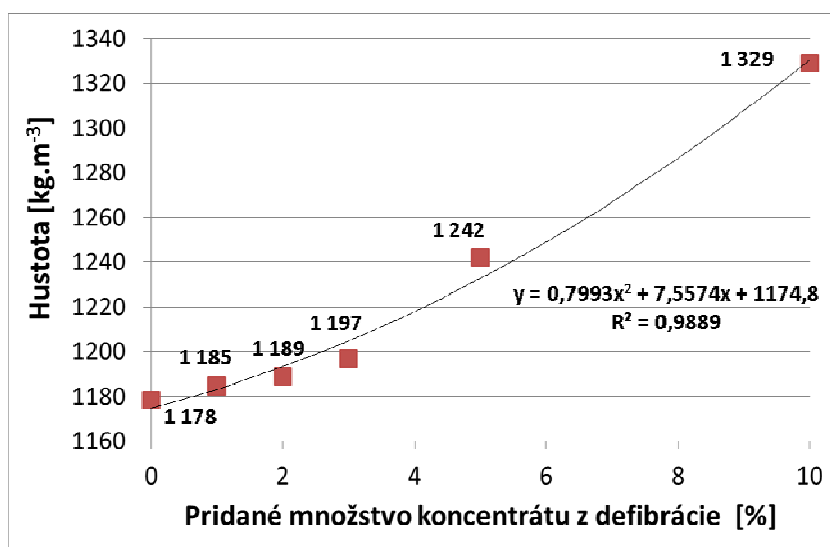
Hodnoty doby rozpadu vzoriek drevných peliet počas vodného testu sú porovnané na obr. č.5.



Obr. 5 Doba rozpadu vzoriek drevných peliet s prídavkom rôznych množstiev aditíva počas vodného testu.

Fig. 5 Disintegration time of wood pellets samples with addition various amounts of additive during water test.

Priemerné hodnoty hustôt sú uvedené na obr. č. 6.



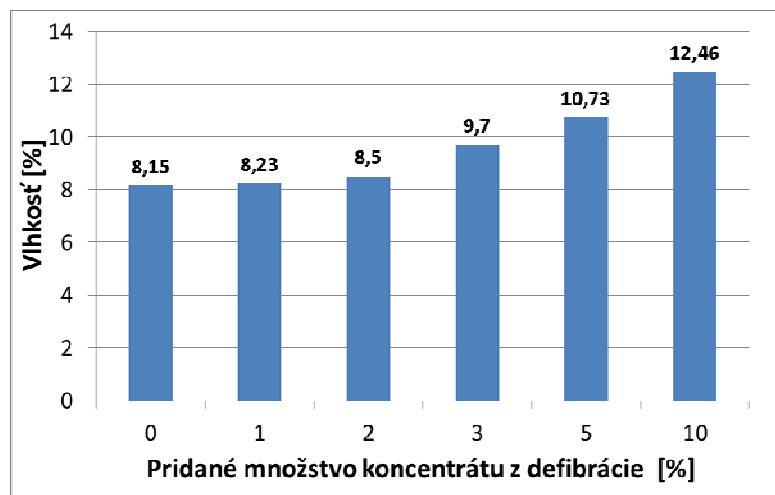
Obr. 6 Hustota vzoriek peliet s prídavkom rôznych množstiev aditíva.

Fig. 6 Density of produced wood pellets samples with addition various amounts of additive.

Na základe zistených hodnôt hustoty sa získala polynomická regresia závislosti hustoty drevných peliet na množstve pridaného aditíva:

kde r je množstvo pridaného aditíva [%].

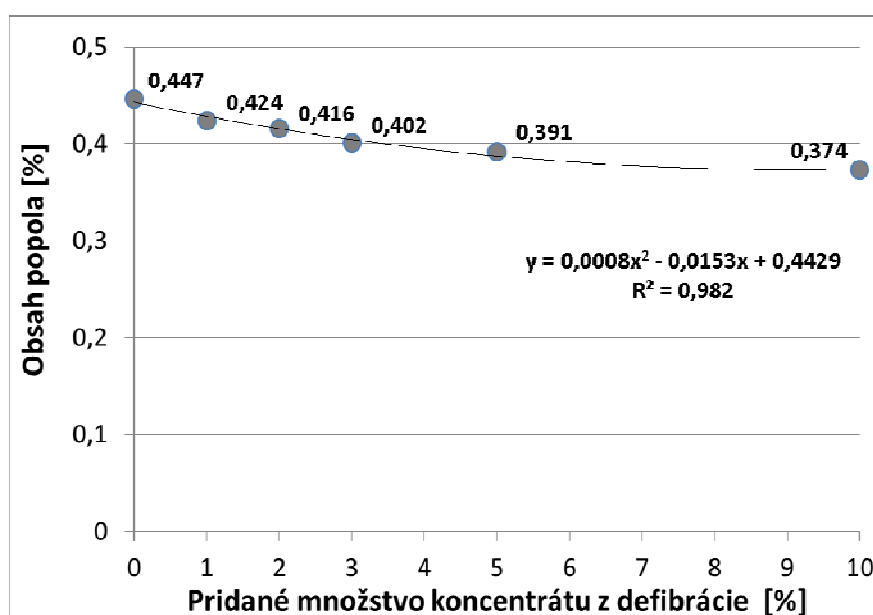
Priemerné hodnoty vlhkosti sú uvedené na obr. 7.



Obr. 7 Vlhkosť vzoriek peliet s prídavkom rôznych množstiev aditíva.

Fig. 7 Moisture content of produced wood pellets samples with addition various amounts of additive.

Porovnanie obsahu popola vzoriek drevných peliet s prídavkom rôznych množstiev aditíva je na obr. č.8.



Obr. 8 Obsah popola vzoriek peliet s prídavkom rôznych množstiev aditíva.

Fig. 8 Ash content of produced wood pellets samples with addition various amounts of additive.

Na základe zistených hodnôt obsahu popola sa získala polynomičná regresia závislosti obsahu popola drevných peliet na množstve pridaného aditíva:

kde: r je množstvo pridaného aditíva [%].

DISKUSIA

Z nameraných výsledkov možno konštatovať, že prídavok koncentráту z defibrácie má pozitívny vplyv na oderuvzdornosť drevných peliet. Z hľadiska oderuvzdornosti sa trojpercentný prídavok aditíva javí ako hraničná hodnota, pri ktorej je odolnosť peliet najvyššia a ďalšie aditíva už nemá vplyv na zvýšenie ich kvality z hľadiska oderuvzdornosti. Oderuvzdornosť (60 s) vzorky 3 je vyššia o 7,17 % v porovnaní s referenčnou vzorkou, čo je významný nárast odolnosti peliet s prídavkom aditíva. Z hľadiska oderuvzdornosti sa maximálne zlepšenie dosahuje už pri 3 % prídavku aditíva a vyššie prídavky už hodnoty oderuvzdornosti nezvyšujú.

Na základe dosiahnutých priemerných hodnôt doby rozpadu vzoriek drevných peliet možno konštatovať, že prídavok koncentráту z defibrácie mal pozitívny vplyv na kvalitu drevných peliet. Výrazný efekt zvýšenia doby rozpadu drevenej pelety o 100 % sa dosiahol už pri 1 % prídavku. Podobný trend pokračoval aj s ďalším pridaným množstvom aditíva. Prídavok 10 % aditíva zvýšil hodnotu doby rozpadu pelety viac ako 6,5 násobne.

Hustota vzoriek drevných peliet sa pohybovala od $1178 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ referenčnej vzorky do $1328 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vzorky drevných peliet s 10 % prídavkom koncentráту z defibrácie. Na základe obr. č.5 možno konštatovať, že objemová hmotnosť vzoriek drevných peliet rastie s pridávaním aditíva. Namerané hodnoty zodpovedajú odporúčaným hodnotám objemovej hmotnosti drevných peliet v intervale $1000\text{--}1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ podľa STELTE *et al.* 2011.

S rastúcim množstvom pridaného koncentráту z defibrácie mala vlhkosť peliet tendenciu rastu. Hodnoty vlhkosti sa pohybovali od 8,15 % referenčnej vzorky do 12,46 % vzorky s 10 % prídavkom aditíva. Tento nárast bol spôsobený vysokým obsahom vlhkosti v použítom aditíve zapracovanom následne do vzoriek peliet.

Z dosiahnutých hodnôt vyplýva, že prídavok koncentráту z defibrácie má pozorovateľný vplyv aj na obsah popola. Obsah popola sa s pridávaným množstvom aditíva znižoval až na hodnotu 0,374 % pri 10 % prídavku. Obsah popola všetkých vzoriek, referenčnej vzorky a vzoriek drevných peliet s prídavkom rôzneho množstva aditíva sa pohyboval od hodnoty 0,37 % do 0,45 %, čím spĺňajú triedu A1 podľa normy STN EN 14961. Uvedené hodnoty podielu popola z peliet sú zrovnateľné s popolnatosťou palivového dreva uvádzanou autormi: GOLOVKOV *et al.* 1987, SIMANOV 1995, DZURENDA, JANDAČKA 2010 a v porovnaní s popolnatosťou energetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovaných porastov vrb a topoľov popolnosť peliet s prídavkom koncentráту z defibrácie je 2 až 3 krát nižšia ako uvádzajú práce DZURENDA *et al.* 2010, DZURENDA *et al.* 2013.

ZÁVER

Zo zistených kvalitatívnych parametrov možno konštatovať, že pridanie koncentráту z defibrácie má výrazný vplyv na kvalitu drevných peliet. S rastúcim percentuálnym zvyšovaním percenta aditíva v peletách sa zvyšovali hodnoty oderuvzdornosti, doby rozpadu vo vodnom teste a hustoty v porovnaní s referenčnou vzorkou. Pozitívny vplyv použitého aditíva sa prejavuje aj vizuálne na povrchu drevných peliet (obr. č. 3), na ktorom je výrazne menej trhlín a povrch je kompaktnejší. Drevné pelety s prídavkom aditíva boli viac súdržné, mali oveľa menej trhlín na povrchu a boli pevnejšie.

Použitím koncentráту z defibrácie ako aditíva je teda možné zvýšiť kvalitu drevných peliet. Takéto drevné pelety majú vyššiu mechanickú odolnosť a znesú počas transportu aj hrubšie zachádzanie.

Použitie koncentráту z defibrácie ako aditíva bude po ďalších vykonaných experimentoch pravdepodobne možné odporučiť aj výrobcom drevných peliet, nakoľko surovina s obsahom koncentráту z defibrácie je odpadový produkt pri spracovaní reziva podobne ako drevné piliny, pričom účinky na kvalitatívne parametre peliet sú pozitívne.

LITERATÚRA

- BUCZYŃSKI R., WEBER R., SZLEK A., NOSEK R. 2012. Time-dependent combustion of solid fuels in a fixed-bed: Measurements and mathematical modeling. *Energy and Fuels* 26(8): 4767–4774.
- ČARNOGURSKÁ M., KOŠKO M., PŘÍHODA M. 2012. Modelovanie vybraného polutanta pri spaľovaní dreva. *Energetika*, 62. ISSN 0375-8842.
- DIN 52 182, 1976: Prüfung von Holz; Bestimmung der Rohdichte, (Testing of wood; determination of density).
- DOBROWOLSKA E., DZURENDA L., JABLONSKI M., KLOSINSKA T. 2010. Wykorzystanie energetyczne dendromasy. Warszawa: SGGW, 2010, 168 s.
- DZURENDA L. 2009. Štruktúra zrnitosti a podiel izometrických triesok v mokrej piline z procesov pílenia dreva na hlavných piliarskych strojoch. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*, 51(1): 55–66, ISSN 1336-3824.
- 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. ISSN 0012-6772.
- DZURENDA L., JANDAČKA J. 2010. Energetické využitie dendromasy. Zvolen: TU vo Zvolene, 162 s. ISBN 978-80-228-2082-0.
- DZURENDA L., RIDZIK L., DZURENDA M. 2013. Popolnatosť biopaliva – energetickej štiepky z dendromasy porastov plantážnicky pestovaných vrb a topoľov. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*, 55(1): 111–118. ISSN 1336-3824.
- DZURENDA L., SLOVÁK J. 2001. Energetické vlastnosti peliet vyrobených zo smrekovej piliny. *Acta Mechanica Slovaca*. 5(3): 201–206.
- GOLOVKOV S. I., KOPERIN I. F., NAJIDENOV V. I. 1987. Energetičeskoe ispolzovanie drevesnych otchodov. Moskva: Lesnaja promyšlennost', 221 s.
- HORBAJ, P. 2000. Ekologické aspekty spaľovania palív. Martin: Neografia. 71 s. ISBN 80-7099-405-3.
- JANDAČKA J., NOSEK R., HOLUBČÍK M. 2011c. Vplyv vybraných aditív na vlastnosti drevných peliet a na ich výrobu, *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*, 53(2): 85–91. ISSN 1336-3824.
- JANDAČKA J., NOSEK R., PAPUČÍK Š., HOLUBČÍK M., ŽIDEK L., HARANT R., LENHART P. 2011b. Drevné pelety a aditíva, Žilina: Juraj Štefůň – GEORG, 130 p. ISBN 978-80-89401-23-9.
- JANDAČKA J., PAPUČÍK S., NOSEK R., HOLUBČÍK M., KAPJÓR A., 2011a. Environmentálne a energetické aspekty spaľovania biomasy. Žilina: Juraj Štefůň – GEORG, ISBN 978-80-89401-40-6.
- KALIYAN N., MOREY V. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products, *Biomass and bioenergy*. 33: 337–359.
- KIZEK J., MURÍN V. 1998. Tepelná bilancia spaľovania drevného odpadu a vznikajúcich škodlivých emisií. *Energetické premeny v priemysle*, 98, ISBN 80-7099-357-X.
- LINDLEY JA, VOSSOUGH M. 1989. Physical properties of biomass briquettes. *Transactions of the ASAE* 32:361–6.
- MELCER I. a kolektív. 1976. Analytická chémia dreva. Bratislava: Alfa.
- NOSEK R., JANDAČKA J., SZLEK A. 2011. Simulation of coal combustion process in small boiler, *AIP Conference Proceedings* 1337 , pp. 43–47.
- PAYNE JD. 2004. Predicting pellet quality and production efficiency. *World Grain*, 68–70.
- PFOST, H. B. 1964. The effect of lignin binders, die thickness and temperature on the pelleting process. *Feedstuffs*. 36(22): 20, 54.
- SAMUELSSON R., LARSSON H., THYREL M., LESTANDER A. 2012. Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets, *Applied Energy*, 99: 109–115. ISSN 0306-2619.
- SIMANOV V. 1995. Energetické využívání dříví. Olomouc: Terapolis, 98 s.

- STELTE W., HOLM J., SANADI A., BARSBERG S., AHRENFELDT J., HENRIKSEN U. 2011, Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel*. 90: 3285–3290.
- STN EN 14775, 2009: Solid biofuels. Determination of ash content.
- STN EN 14918, 2009: Solid biofuels. Determination of calorific value.
- STN EN 14961, 2011: Solid biofuels, Fuel specifications and classes.
- STN EN 15210, 2009: Solid biofuels. Determination of mechanical durability of pellets and briquettes.
- STN ISO 540, 2008: Hard coal and coke: Determination of ash fusibility.
- ŠOOŠ I. 2005. Výskum zhutňovania nových druhov materiálov. In *Energetika a životní prostředí*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, s. 159–163.
- ŠOOŠ I., KOLEJÁK M., URBAN F. 2012. Biomasa-obnoviteľný zdroj energie. Bratislava: VERT, ISBN 978-80-970957-3-4.
- TARASOV D., SHAHI CH., LEITCH, M. 2013. Effect of Additives on Wood Pellet Physical and Thermal Characteristics: A Review, *ISRN Forestry*, Volume 2013.
- TOBIASEN L., SKYTTE R., PEDERSEN L.S., PEDERSEN S.T., LINDBERG M.A. 2007. Deposit characteristic after injection of additives to a Danish straw fired suspension boiler; *Fuel Processing Technology*, Elsevier.
- VITÁZEK I., HAVELKA J., TIROL J. 2008. Tepelná hodnota palív. In *Aplikácia experimentálnych a numerických metód v mechanike tekutín*. Žilina: ŽU. s. 331–336. ISBN 978-80-8070-826-9.
- ŽIDEK L. a kol. 2006. Vykurovanie drevnými peletami. Biomasa, združenie právnických osôb. Považská Bystrica: UNIPRINT, 2006. ISBN 80-969468-8-7.

PodĎakovanie

Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia projektu “Riešenie problematiky nízkotaviteľných popolovín pri spaľovaní biomasy” APVV-0458-11.

Adresa autorov

prof. Ing. Jozef Jandačka, PhD.
 Ing. Michal Holubčík
 prof. RNDr. Milan Malcho, PhD.
 doc. Ing. Radovan Nosek, PhD.
 Žilinská univerzita v Žiline
 Strojnícka fakulta
 Katedra energetickej techniky
 Univerzitná 8215/1
 010 26 Žilina
 Slovensko
 jozef.jandacka@fstroj.uniza.sk
 michal.holubcik@fstroj.uniza.sk
 milan.malcho@fstroj.uniza.sk
 radovan.nosek@fstroj.uniza.sk

