

Způsoby úpravy odpadní dřevní biomasy z řezu jabloní za účelem energetického využití

Ing. Sergej Ust'ak, CSc., Ing. Jakub Muňoz, Ph.D., Marie Ust'aková, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. (VÚRV), ustak@eto.vurv.cz

Souhrn

Příspěvek je věnován problematice zpracování a energetického využití odpadní dřevní biomasy z řezu jabloní. Bylo prokázáno, že drcením a komprimací této biomasy lze významně 2x až 4x zvýšit sypanou hmotnost oproti štěpce, ale palivářské vlastnosti se mění pouze v nepatrné míře. Pelety ze dřeva jabloní mají ve srovnání se standardními peletami ze smrkového dřeva mírně horší palivářské vlastnosti, a to vyšší obsah popelu a emise, přesto výhřevnost jabloňových pelet je pouze nepatrně nižší (o cca 2 %). Toto zhoršení je zapříčiněno především vyšším podílem kůry u dřeva z řezu jabloní.

Klíčová slova: jabloně; řez stromů; odpadní dřevo; energetická biomasa; tuhá biopaliva

1. Úvod

V rezortu zemědělství je hlavním zdrojem zbytkové dřevní biomasy pěstování ovocných dřevin. Nejvíce rozšířenými jsou jabloně, jejichž rozloha zabírá více než 50 % celkové plochy ovocných dřevin, která v současné době dosahuje v ČR cca 14 250 ha. Dále následují peckoviny (v klesajícím pořadí dle pěstitelských ploch slivoň, višěň, třešeň, meruňka a broskvoň) s celkovou plochou 38,2 %. Dále následuje hrušeň s cca 5 % podílu plochy, zbylých cca 6 % připadá na ovocné keře červeného a černého rybízu a angreštu.

Ovocné sady vyžadují každoroční agrotechnické zásahy, především prořezávku, jejímž cílem je mj. podpora plodnosti těchto dřevin. Odřezané větve jsou pak zdrojem dřevní biomasy. Na konci životnosti dřeviny mohou být zdrojem dřeva celé kmeny i pařezy. Dle zahraničních zdrojů, dřevo z řezu ovocných stromů tvoří jeden z nejvýznamnějších odpadů v zemědělství (Hidding, 1997; Rosua a Pasadas, 2012). Proto je dřevní zbytková biomasa výhledově perspektivní alternativou k získávání relativně velkého množství lignocelulóзовé biomasy, a tedy k produkci levné bioenergie z této suroviny.

Záměrem zavedení systému využití zbytkové dřevní biomasy z ovocných stromů je zvýšení produkce lokální bioenergie ze zdrojů místní biomasy, aby došlo ke snížení závislosti na vnějších dodávkách energie z neobnovitelných surovin, k inovaci nových technologií a zvýšení zaměstnanosti na regionální úrovni. V oblasti využití vlastní surovinové základny by mohlo dojít k omezení využívání biomasy k energetickým účelům z lesního sektoru a zlepšení rentability produkce. Tím by se omezily negativní dopady nadměrného využívání lesních porostů, což by zvýšilo hodnotu kulturního, estetického a rekreačního rázu ekosystému a stupeň ochrany životního prostředí, a to zachováním mimoprodukčních funkcí lesa, např. protierozními účinky pro zabránění sesuvů půd a lavin (Radtko et al., 2014).

Využití zbytkové (odpadní) dřevní biomasy z údržby ovocných dřevin pro energetické účely by mohlo představovat možnost zvýšení příjmů zemědělcům a z environmentálního hlediska má význam ve formě omezení využívání fosilních paliv (Brassard et al., 2014). Efektivnímu využití biomasy z řezu ovocných stromů k vytápění však musí předcházet vhodná další úprava biomasy (Radojevic et al., 2007).

Zavedení systému využití odpadů ovocných stromů se může podílet při implementaci programů využití obnovitelných zdrojů energie (OZE) k omezení nepříznivých dopadů energetického sektoru na životní prostředí, jako je změna klimatu, acidifikace krajiny, vyčerpávání fosilních paliv a další.

2. Materiál a metody

Testovaný dřevní odpad pochází z pokusného jabloňového sadu Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Praze - Ruzyni. Pro drcení byl použit štěpkovač Pezzolato PZ 110MB od výrobce f. Pezzolato, Itálie. Hlavním cílem bylo zjištění možností použití hrubé a jemné štěpky jabloní pro výrobu komprimovaných tuhých biopaliv, tj. topných briket a pelet, a následné ověření vlastností původní štěpky a výstupních biopaliv na základě testování jejich kvality a provedení palivářských zkoušek.

Hrubá syrová štěpka byla usušena v roštové sušárně a poté uskladněna pod střechem a tím připravena pro další zkoušky a testy. Pro další měření a zpracování byla použita vysušená štěpka, u níž byl opětovně změřen obsah vody, který činil $M_{ar} = 7,9 \%$.

Důležitou charakteristikou štěpky pro energetické účely, zejména pro výrobu tuhých biopaliv, je její rozdělení podle velikosti částic. Stanovení rozdělení podle velikosti částic bylo provedeno dle ČSN EN 15149-1 pomocí sady oscilačních sít. Stanovení dalších fyzikálních a chemických parametrů se provádělo dle příslušných odborových postupů a norem (uvedeno dále při popisu jednotlivých výsledků). Většina palivových zkoušek tuhé biomasy se prováděla na zařízeních Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v.v.i. Ostatní experimenty a analýzy se prováděly v laboratořích Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i.

Z laboratorních analytických metod byly použity následující postupy: 1) stanovení sušiny klasickou gravimetrickou metodou; 2) stanovení popelu a spalitelných látek při 550 °C, což je ekvivalentní parametr podílu organické sušiny neboli množství organických látek v sušině; palivářské a krmivářské výsledky jsou často uváděny jak na celkovou sušinu (tj. na vzorek bez vody), tak i na organickou sušinu (tj. na vzorek bez vody a popelu); 3) celkový obsah N byl stanoven klasickou destilační metodou Kjeldale po mineralizaci kyselinou sírovou s katalyzátory; 4) stanovení všech prvků, s výjimkou dusíku, bylo provedeno pomocí ICP analyzátoru Integra XL od firmy GBC s využitím standardních operačních postupů; 5) elementární rozborů na obsah C, H, N, O, S pomocí elementárního analyzátoru Vario Elementar Analyzer (DE) podle ČSN EN 15104; 6) spalné teplo, event. výhřevnost, pomocí kalorimetru PARR-1356-Bomp dle ČSN EN 15400.

Výše pojmenované analytické rozborů se prováděly dle běžných metodických postupů nebo příruček k specializovaným přístrojům.

3. Výsledky a diskuse

3.1. Hrubá štěpka a brikety

Zjištěné hodnoty rozdělení štěpky podle velikosti částic jsou uvedeny v tab. 1. Z těchto výsledků je vidět, že přes 50 % hmoty štěpky představují částice menší než 6,02 mm, přes 70 % hmoty štěpky představují částice menší než 8 mm a přes 95 % hmoty je tvořeno částicemi menšími než 22,4 mm.

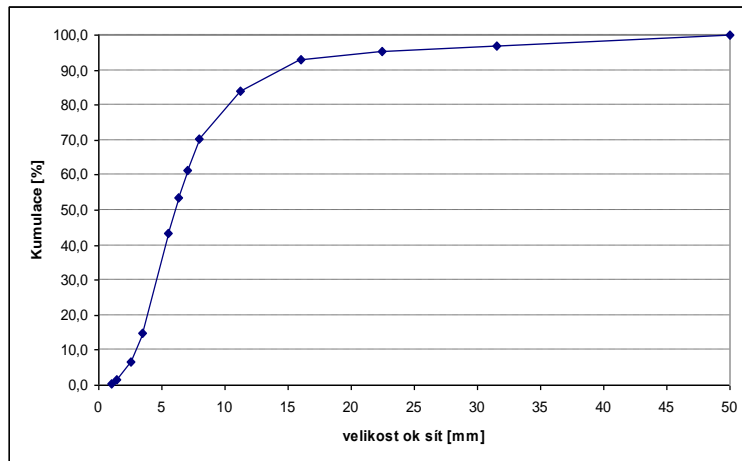
Tab. 1: Rozdělení částic štěpky z řezu jabloní

Třída síta	Velikost ok sít [mm]	Frakce [g]	Frakce [%]	Kumulace [%]
0 - 1	1	0,6	0,2	0,2
> 1-1,4	1,4	3,9	1,4	1,7
> 1,4 - 2,5	2,5	13,4	5,0	6,6
> 2,5 - 3,5	3,5	21,9	8,1	14,8
> 3,5 - 5,5	5,5	77,0	28,5	43,3*
> 5,5 - 6,3	6,3	27,8	10,3	53,6
> 6,3 - 7	7	21,0	7,8	61,4
> 7 - 8	8	24,1	8,9	70,3
> 8 - 11,2	11,2	36,8	13,6	84,0
> 11,2 - 16	16	24,7	9,2	93,1
> 16 - 22,4	22,4	6,3	2,3	95,4
> 22,4 - 31,5	31,5	4,0	1,5	96,9
> 31,5 - 85	50	8,3	3,1	100
Celkem		269,8	100,0	

Poznámka: * vypočtený $d_{50} = 6,02 \text{ mm}$

Kumulativní rozdělení částic štěpky z řezu jabloní je znázorněno na obr. 1 a struktura štěpky je též zřejmá z obr. 2. Pro tuto štěpku byla dále stanovena sypná hmotnost dle ČSN EN 15103, a to dle rovnice:

$$BD_{ar} (\text{pro } M_{ar}) = \frac{m_2 - m_1}{V} = 265,7 \text{ kg/m}^3 \quad (1)$$



Výše popsaná hrubá štěrka byla dále zpracována lisováním do formy topných briket. Pro lisování byl použit briketovací lis HLS 50 od českého výrobce firmy Briklis, spol. s r.o. Brikety jsou válcového tvaru a mají průměr 65 mm (obr. 3). Brikety byly lisovány v běžném provozním stavu (na obrázku vlevo) a dále při dlouhodobém stlačení (na obrázku vpravo).



Obr. 2. Hrubá štěrka z řezu jabloní



Obr. 3. Topné brikety ze štěrky jabloní

U obou druhů briket byla dále změřena jejich mechanická odolnost dle ČSN EN 15210-2 Tuhá biopaliva – Stanovení mechanické odolnosti a hustota dle ČSN EN 15150 Tuhá biopaliva – Stanovení hustoty částic. Výsledky uvádíme v tab. 2.

Tab. 2: Mechanická odolnost, hustota a sypná hmotnost topných briket ze štěrky z řezu jabloní

Briketa	Mechanická odolnost DU, %	Hustota ρ , kg/dm^3	Sypná hmotnost, kg/m^3
běžný provoz lisu (typ I)	88,9	0,84	352
dlouhodobé stlačení (typ II)	94,6	1,06	445

Dále byly zjištěny teploty tavení popelu briket dle ČSN P CEN/TS 15370-1. Zjištěné hodnoty jsou následující: DT – 1180 °C; HT – 1210 °C; FT – 1220 °C.

3.2. Jemná štěpka a pelety

Z výše uvedených údajů je zřejmé, že struktura hrubé štěpky není úplně optimální pro další komprimaci, zejména do formy pelet. Proto tato primární neboli hrubá štěpka byla dodatečně rozdrobena použitím kladívkového šrotovníku ŠV 15 (výrobce STOZA s.r.o.). Desintegrace byla provedena ve dvou stupních - nejprve se sítím s průměry ok 25/20 mm, následně s průměry 6/5 mm. Prvé číslo označuje oka v plášti síta, druhé ve dně síta. Výsledné produkty (jemná štěpka I a jemná štěpka II) byly proměřeny obdobně jako hrubá štěpka (viz výše). Zjištěné mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách 3 a 4.

Tab. 3: Rozdělení částic po desintegraci na sítu 25/20 (jemná štěpka I)

Třída síta	Velikost ok síť [mm]	Frakce [g]	Frakce [%]	Kumulace [%]
0 - 1	1,0	1,6	0,6	0,6
> 1-1,4	1,4	3,1	1,2	1,8
> 1,4 - 2,5	2,5	22,4	8,4	10,1
> 2,5 - 3,5	3,5	11,8	4,4	14,5
> 3,5 - 5,5	5,5	128	47,9	62,4
> 5,5 - 6,3	6,3	69,5	26,0	88,3
> 6,3 - 7	7,0	7,5	2,8	91,2
> 7 - 8	8,0	8,2	3,1	94,2
> 8 - 11,2	11,2	9,1	3,4	97,6
> 11,2 - 16	16,0	3	1,1	98,7
> 16 - 22,4	22,4	2,9	1,1	99,8
> 22,4 - 31,5	31,5	0,5	0,2	100
> 31,5 - 85	31,6	0	0,0	100
Celkem		268	100	

Poznámka: * vypočtený $d_{50} = 4,98 \text{ mm}$

Tab. 4: Rozdělení částic po desintegraci na sítu 6/5 (jemná štěpka II)

Třída síta	Velikost ok síť [mm]	Frakce [g]	Frakce [%]	Kumulace [%]
0 - 1	1,0	37,2	13,8	13,8
> 1-1,4	1,4	15,3	5,7	19,4
> 1,4 - 2,5	2,5	90,8	33,6	53,0
> 2,5 - 3,5	3,5	32,1	11,9	64,9
> 3,5 - 5,5	5,5	23,1	8,5	73,5
> 5,5 - 6,3	6,3	68,7	25,4	98,9
> 6,3 - 7	7,0	0,7	0,3	99,1
> 7 - 8	8,0	0,6	0,2	99,4
> 8 - 11,2	11,2	0,8	0,3	99,7
> 11,2 - 16	16,0	0,4	0,1	99,8
> 16 - 22,4	22,4	0,5	0,2	100
> 22,4 - 31,5	31,5	0	0,0	100
> 31,5 - 85	31,6	0	0,0	100
Celkem		270	100	

Poznámka: * vypočtený $d_{50} = 2,40 \text{ mm}$

Fyzická struktura dodatečně rozdrčené štěpky je z obr. 4 a 5 též vizuálně zřejmá. Pro oba dezintegrované materiály byla stanovena sypná hmotnost dle rovnice (1). Pro jemnou štěpku I (materiál 25/20) je tato hodnota $252,2 \text{ kg/m}^3$, pro jemnou štěpku II (materiál 6/5) je hodnota $205,6 \text{ kg/m}^3$. Zde vidíme, že čím jemnější je štěpka, tím je „nadýchanější“, a proto má nižší sypnou hmotnost, což je důvod

potřeby následné komprimace na brikety a pelety, aby se zvýšila sypná neboli objemová hmotnost biopaliva.

Materiál jemnější struktury (jemná štěpka II) byl dále použit pro výrobu topných pelet s využitím granulační linky MGL 200 (výrobce KOVA Novák) – viz obr. 6. Výsledné pelety jsou uvedeny na obr. 7.



Obr. 4. Jemná štěpka I z řezu jabloní (25/20)



Obr. 5. Jemná štěpka II z řezu jabloní (6/5)



Obr. 6. Peletovací linka MGL 200



Obr. 7. Topné pelety ze dřeva z řezu jabloní

U vytvořených pelet byly zjištěny jejich palivo-energetické vlastnosti. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 5. Z palivářského hlediska je rovněž velmi důležité elementární složení topných pelet. Výsledky analytických rozborů provedených pomocí elementárního analyzátoru jsou uvedeny v tab. 6.

Dále byly zjištěny teploty tavení popelu pelet dle ČSN P CEN/TS 15370-1. Zjištěné hodnoty jsou následující: DT – 1180 °C; HT – 1210 °C; FT – 1220 °C.

Mimo výše uvedených parametrů, které byly stanoveny i pro štěpku, byly zjišťovány charakteristiky specifické pro komprimovaná tuhá paliva. Byly zjištěny mechanické vlastnosti pelet, a to mechanická odolnost dle ČSN EN 15210-1. Výsledná hodnota je $D_U = 98,4 \%$, což je vyhovující.

Dále byla stanovena hustota dle ČSN EN 15150 Tuhá biopaliva – Stanovení hustoty částic; výsledná hodnota je $\rho_M = 1,33 \text{ g/cm}^3$, a také sypná hmotnost dle ČSN 15103 Tuhá biopaliva – Stanovení sypné hmotnosti; výsledná hodnota je $BD_{ar} \text{ (pro } M_{ar}) = 597,5 \text{ kg/m}^3$.

Následně byly stanoveny emisní parametry vyrobených topných pelet. Pro měření emisních parametrů bylo použito spalovací zařízení KNP (výrobce Kova Novák). Jeho jmenovitý výkon je 18 kW. Pro měření emisí ve spalinách byl použit analyzátor Testo 350 XL. Měření bylo prováděno po dobu 2 h. Každých 6 s byl měřen obsah CO a NO_x. Naměřené hodnoty byly propočteny na 13 % obsah kyslíku ve spalinách.

Pro určení přijatelné hranice CO použijeme ČSN EN 14785 Spotřebiče spalující dřevěné pelety k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody. Povolená hodnota koncentrace CO je 500 mg/m³ při 13 % koncentraci O₂. Pro srovnání kvality pelet byla provedena i srovnávací zkouška se standardními peletami ze suchých smrkových pilin bez kůry. Naměřené průměrné hodnoty emisí CO přepočteny na 13 % obsah O₂ ve spalinách jsou následující: pelety z jabloní – 548 mg/m³; standardní

pelety – 423 mg/m³. Ze srovnání emisí CO je zřejmé, že pelety z jabloňového dřeva nedosahují kvality standardních pelet, ale jejich kvalita je vcelku vyhovující.

Tab. 4: Palivoenergetické parametry topných pelet ze dřeva z řezu jabloní

Parametr	Jedn.	Původní vzorek	Bezvodý stav
voda	% hm	8,23	-
prchavá hořlavina	% hm	74,26	80,92
neprchavá hořlavina	% hm	14,82	16,15
popel	% hm	2,69	2,93
spalné teplo	MJ/kg	18,31	19,95
výhřevnost	MJ/kg	16,92	18,65

Tab. 5: Obsah základních prvků v topných peletách ze dřeva z řezu jabloní

Prvek	Jedn.	Původní vzorek	Bezvodý stav
C	% hm	46,79	50,99
H	% hm	5,48	5,97
N	% hm	1,05	1,14
S	% hm	0,07	0,08
O	% hm	35,61	38,80
Cl	% hm	0,08	0,09

Při spalování bylo dále provedeno srovnání emisí NO_x u obou vzorků. Naměřené hodnoty jsou následující: pelety z jabloní – 440 mg/m³; standardní smrkové pelety – 173 mg/m³.

Ze srovnání emisí NO_x jsou zřejmé výrazně vyšší hodnoty u pelet z jabloní. Tyto hodnoty odpovídají koncentraci dusíku v palivu (viz tab. 5). U standardních pelet ze smrkového dřeva je tato koncentrace cca 3x nižší. V obou případech sledovaných emisních parametrů jsou naměřené vyšší hodnoty u pelet z jabloní zapříčiněné vysokým podílem obsahu kůry.

Tab. 6: Celkový obsah nutričních elementů ve štěpce z řezu jabloní a v jejím popelu (% sušiny)

Prvek	Štěpka		Popel štěpky	
	Průměr	± ISP _{0,95}	Průměr	± ISP _{0,95}
N	0,619	0,208	n.s.	n.s.
S	0,047	0,024	n.s.	n.s.
P	0,064	0,031	n.s.	n.s.
K	0,337	0,129	10,13	4,43
Ca	0,57	0,286	17,5	11,2
Mg	0,062	0,034	1,73	0,87
Na	0,008	0,002	0,27	0,06

Při spalování bylo rovněž provedeno subjektivní posouzení spalovacího procesu. Jedná se o případné hromadění popelu v hořáku a jeho napékání. Hoření pelet z jabloní bylo v průběhu celé spalovací zkoušky bezproblémové, ve spalovacím koši docházelo k mírnému spékání a usazování popelu, což však nemělo vliv na bezproblémový provoz zařízení.

Z palivářského hlediska je velmi důležité nejen elementární složení tuhých biopaliv, ale rovněž obsah základních živin a rizikových prvků v palivu a v následném popelu, který určuje možnost jeho zpětného využití jako hnojiva. Pokud se popel nevyužije jako hnojivo, může to přinést uživateli vysoké náklady spojené s likvidací popelu jako nebezpečného odpadu. Výsledky odpovídajících analytických rozborů provedených pomocí standardních agrochemických postupů jsou uvedeny v tab. 6 a 7.

Z výsledků uvedených v tabulkách je vidět, že popel obsahuje významné množství základních živin (především K, Ca a Mg) a řadu, pro výživu rostlin nezbytných, mikroelementů jako např. Cu, Zn, Ni, Cr, Co, Mo a V.

Tab. 7: Celkový obsah vybraných rizikových a stopových prvků ve štěpce z řezu jabloní a v jejím popelu (mg/kg suš.)

Prvek	Štěpka		Popel štěpky	
	Průměr	\pm ISP _{0,95}	Průměr	\pm ISP _{0,95}
Al	36,8	12,6	1180	530
B	7,62	3,18	224	142
Fe	42,6	35,1	1480	985
Mn	6,12	2,73	213	72
As	0,187	0,232	7,26	6,54
Be	0,009	0,005	0,28	0,22
Cd	0,0087	0,0032	0,30	0,12
Co	0,264	0,183	10,1	7,5
Cr	0,413	0,232	15,3	8,71
Cu	4,21	1,52	153	63
Mo	0,065	0,031	2,2	1,1
Ni	0,29	0,19	10,3	6,26
Pb	0,82	0,433	27,3	14,2
V	0,39	0,24	12,2	6,9
Zn	6,10	2,56	182	78

Hodnota \pm ISP_{0,95} - interval spolehlivosti průměru 0,95 neboli odchylka průměru pro koeficient spolehlivosti P = 0,95, tj. 95 %

Obsah rizikových prvků je z hlediska aplikace na půdu přípustný. Největší problém z hlediska obsahu škodlivých prvků v popelu dřevin obvykle činí obsah Cd, proto se tento prvek musí bedlivě sledovat.

4. Závěrečné shrnutí

Souhrnné hodnocení je možné na základě srovnání naměřených charakteristik různých forem tuhého paliva zhotovených ze dřeva z řezu jabloní získaných v průběhu řešení. Na základě jejich souhrnného hodnocení lze zformulovat následující závěry:

1. Drcením a komprimací dřevní biomasy z řezu stromů jabloní lze zásadním způsobem vylepšit mechanicko-fyzikální vlastnosti, zatímco palivářské vlastnosti se mění pouze v nepatrné míře. Zlepšení mechanicko-fyzikálních vlastností se projevuje především v zásadním zvýšení sypané hmotnosti, a to cca dvojnásobně u briket a trojnásobně u pelet ve srovnání se štěpkou, což podstatně zlepšuje podmínky pro logistiku těchto biopaliv. Štěpkování rovněž zvyšuje sypanou hmotnost dřevní biomasy z řezu stromů jabloní, která v přepočtu na sušinu dosahuje 2 až 4 násobku nedrcené dřevní hmoty.

2. Pelety ze dřeva z řezu jabloní mají ve srovnání se standardními peletami zhotovenými ze smrkového dřeva bez kůry mírně horší palivářské vlastnosti, a to vyšší obsah popelu a horší emisní charakteristiky, přesto výhřevnost jabloňových pelet je pouze nepatrně nižší (o cca 2 %) ve srovnání se smrkovými peletami. Toto zhoršení je zapříčiněno především vyšším podílem kůry u dřevní biomasy z řezu stromů jabloní.

3. Dle současných technických standardů dle evropské normy EN 14961-2 lze jabloňové pelety zařadit pouze do třetí skupiny kvality (tzv. třídy B, neboli pelety pro průmyslové využití), neboť první dvě třídy (A1 a A2) předpokládají peletování dřevní hmoty bez kůry (A1) nebo pouze s minimálním podílem kůry (A2), přičemž obsah popelu u třídy A2 by měl být nižší než 1,5 %.

4. Z hlediska dosažení kvality tuhých biopaliv vhodných pro domácnosti lze doporučit briketování dřevní biomasy z řezu stromů jabloní. V případě malých dopravních vzdáleností od producenta k uživateli tuhých biopaliv je vhodnější přímé využití štěpky, zejména v obecních kotelnách.

5. Poděkování

Příspěvek byl zpracován s finanční podporou MZe ČR v rámci řešení výzkumného projektu NAZV č. QJ1210104 (75 %) a projektu institucionální podpory MZe ČR reg. č. RO 0416 (25 %).

6. Literatura

Brassard, P., Palacios, J.H., Godbout, S., Bussi eres, D., Lagace, R., Larouche, J.-P., Pelletier, F., 2014: Comparison of the gaseous and particulate matter emissions from the combustion of agricultural and forest biomasses. *Bioresour. Technol.* 155, 300 – 306.

Hidding J.: Organic waste from agriculture and agrofood industry. *Biomass Gasification Pyrolysis: State of the Art and Future Prospects.* (1997) 89 – 98.

Radojevic R., Zivkovic M., Urosevic M., Radojevic D.: Technological-technical aspects of using fruit and grapevine pruning residues. *J. Agric. Technic. Energy. Agric.* (2007) 11, 32 – 36.

Radtke A., Toe D., Berger F., Zerbe, S. Bourrier F., 2014. Managing coppice forest for rockfall protection: lessons from modeling. *Ann. For. Sci.*, 71, 485 – 494.

Rosua J.M., Pasadas M.: Biomass potential in Andalusia, from grapevines, olives, fruit trees and poplar, for providing heating in homes. *Renew. Sust. Energ. Rew.* (2012) 16, 4190 – 4195.

Title: Treatment methods of waste woody biomass from pruning apple trees for the purpose of energy use

Summary

This paper discusses about the treatment and energy utilization of waste woody biomass from pruning apple trees. It was demonstrated that crushing and compression of this biomass can significantly increase the bulk density from about 2 to 4 times compared to chips, but fuel characteristics vary only to a slight extent. The pellets from apple wood, in comparison to standard pellets from spruce, account with slightly worse fuel characteristics, and so higher ash content and emissions, nevertheless the calorific value of apple wood pellets is only slightly lower (about 2 %). This impairment is mainly due to the higher share of bark in the wood of pruning apple trees.

Keywords: apple trees; pruning trees; wood waste; energy biomass; solid biofuels.