PELETY NA BÁZI BIOPALIV

Petr Buryan, Diana Sedláčková

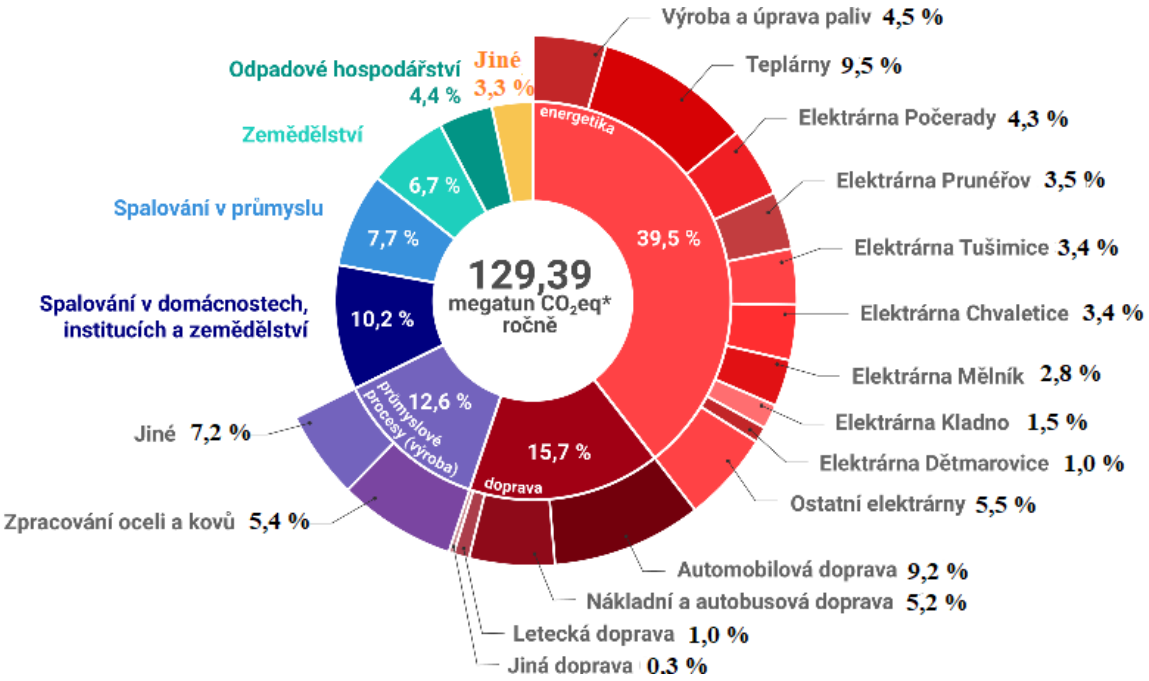
Ústav plynných a pevných paliv a ochrany ovzduší
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, Praha 6
Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig
e-mail: Petr.Buryan@vscht.cz

Práce je zaměřena na porovnání deseti základních parametrů vzorků pelet a štěpky ze dřeva a sedmi vzorků pelet z obilnin. Analýzy prokázaly, že dřevní štěpka měla vyšší sypnou hmotnost a významně nižší obsah popela než pelety z bylin. Obsah vody a výhřevnost u dřevní štěpky byl nepatrně nižší. U bylinných pelet byly zjištěny značné rozdíly. Bylo prokázáno, že významný vliv na jejich parametry má rostlinný materiál a přídavek pojiva. U pelet z žitné slámy přídavek malého množství moučky jílu zvýšil jejich mechanickou odolnost. Naproti tomu nevýhodou přidání moučky jílu jako pojícího aditiva je zvýšení obsahu popela, což snižuje výhřevnost pelet a zvyšuje hmotnost vedlejších energetických produktů.

Došlo 19. 10. 2020, přijato 17. 12. 2020
Erratum in Paliva 13, (2021), 2

1. Úvod

Současná spotřeba energie představuje výzvu pro vlády všech států Evropské unie (EU). Ty mají zajistit trvalý hospodářský rozvoj, který musí respektovat jak odpovídající ekonomické, sociální a ekologické požadavky, tak splňovat národní podmínky a požadavky EU týkající se životního prostředí. Vzhledem k současné dominující roli fosilních paliv v energetickém systému nemůže být politika ochrany klimatu úspěšná, pokud není integrována do politiky energetické [1]. Významnou měrou se v ní uplatňuje snižování emisí plynných komponent obsahujících uhlík. Nejvíce jsou zde sledovány obnovitelné zdroje energie (OZE) resp. náhrada fosilních paliv obnovitelnými zdroji, zejména energeticky využitelnou biomasou [2]. To je deklarováno i v Zelené dohodě pro Evropu, kde Evropská komise dokumentuje zájem o dekarbonizaci evropské energetiky a průmyslu [3]. ČR se v přístupové dohodě k EU, jejíž indikativní cíle jsou také součástí zákona č. 199/2005 Sb., zavázala mj. k podpoře výroby elektřiny z OZE [4]. Ten zahrnuje i střednědobý program k naplňování cílů Státní energetické koncepce a Státní politiky životního prostředí ČR, který se promítne do snížení znečišťování životního prostředí a přísnějšího dodržování emisí SO_2, VOC, CO_2 a NO_x. Podíly jednotlivých sektorů na celkových emisích skleníkových plynů v ČR v roce 2018 je zřejmý z obrázku 1 [5].



Obr. 1 Emise skleníkových plynů podle sektorů v roce 2018
Fig. 1 Greenhouse gas emissions by sector in 2018

Podíl hrubé konečné spotřeby energie z OZE na celkové hrubé konečné spotřebě energií v ČR činil v roce 2018 podle mezinárodní metodiky výpočtu Eurostat - Shares 15,2 %. Na spotřebě elektrické energie se OZE podílely 14 %, na spotřebě při vytápění 21 % a na spotřebě v dopravě 7 %. Vývoj podílu zdrojů OZE na hrubé konečné spotřebě energie v letech 2010–2018 je uveden v tabulce 1 [6].

Tab. 1 Podíl hrubé spotřeby el. energie z OZE - %
Tab. 1 The share of gross electricity consumption energy from RES - %

Rok	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Podíl	10,51	10,94	12,82	15,08	15,08	15,07	14,93	14,80	15,15

Tab. 2 Podíl biomasy na výrobě el. energie z OZE - 10^3 TJ, podíl - %

Tab. 2 The share of biomass in the production of el. energy from RES - 10^3 TJ, share - %

Rok	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Celková výroba z OZE	19,04	26,63	29,22	31,80	34,40	35,51	34,87	35,81	36,07
Podíl	5,37	6,06	6,54	6,06	7,17	7,53	7,44	7,97	7,63

2. Biomasa

Za biomasu obecně považujeme veškerou hmotu organického původu na naší planetě podílející se na koloběhu v biosféře. Z energetického pohledu je důležitá jen ta její část, která je energeticky využitelná a tvoří jeden z tzv. obnovitelných zdrojů energie [2].

Energetickou biomasu lze zařadit do následujících skupin, jež se částečně i překrývají – fytomasa (rostliny obecně), dendromasa (stromy), cíleně pěstovaná (byliny, dřeviny rychle rostoucí), biopaliva, odpadní biomasa, biologicky rozložitelná.

V souvislosti s energetickým využitím se za pevnou biomasu považuje odpadní a palivové dřevo, obilná a řepková sláma, cíleně pěstované rychle rostoucí dřeviny. Z obecného pohledu je však potřebné mít na zřeteli, že i exploatace biomasy v energetice není bezemisní, protože její produkce je spojena s emisemi při setí, úpravě zemědělských ploch, sklizní, sušením, úpravou, dopravou, zpracováním vedlejších energetických produktů, jejich skládkováním, atd.

Za výhody využití biomasy lze považovat - její obnovitelný charakter, z pohledu emisí CO_2 za neutrální palivo, zanedbatelný obsah síry, zvýšení nezávislosti na dovozu energetických zdrojů, častý výskyt ve formě odpadních surovin.

Její energetické využití má však i některé nevýhody. Mezi ty významné lze zařadit - nízkou výhřevnost a sypnou hmotnost, vyšší cenu než fosilní palivo s ohledem na dopravu a zpracování, sezónnost pěstování, potřeba speciálního skladování v poměrně velkém objemu (vlhkost), nižší účinnost při výrobě elektrické energie, potřebná speciální technologická infrastruktura, vedlejší produkty z jejího zpracování, závislosti na počasí [7].

V zákoně ČR 180/2005 Sb. o podpoře energie z OZE jsou definovány základní zdroje energetické biomasy:
- cíleně pěstované traviny, byliny a dřeviny k energetickému využití,
- vedlejší produkty z těžby dřeva, z úprav a prořezávek, kůra z odkornění kmenů, odpady a vedlejší produkty z rostlinné výroby,
- odpady z dřevozpracujícího průmyslu.

Chemické složení biomasy se liší od ostatních pevných paliv. Má nižší obsah popelovin o nízkém bodu tání v důsledku přítomnosti alkalických kovů, nízkou výhřevnost determinovanou obsahem vlhkosti a kyslíku. Má vyšší obsah kyslíku, prchavé hořlaviny a nízký obsah síry, popelovin a výhřevnost. Obsah vody je v řadě případů vyšší než 40 %, a proto významně ovlivňuje její výhřevnost. Pro její energetické využití je proto potřebné její snížení na hodnoty < 15 % hm. Druh biomasy determinuje obsah popelovin. Byliny obsahují v řadě případů popelovin i 10 % hm. V čistém dřevu se většinou pohybuje obsah popelovin v rozmezí 1 – 2 % hm. Obsah draslíku, resp. sodíku je příčinou snížených bodů tání popele [8, 9], tvorbou inkrustů typu $xK_2O.yCaO$, $xK_2O.yCaO.zSiO_2$, $xK_2O.yCaO.zAl_2O_3$ atd. [10–14], nežádoucích korozí energetických zařízení a nežádoucích výluhů [12]. V porovnání s hnědým i černým uhlím má biomasa vyšší reaktivitu.

Popel vzniklý při spalování biomasy se skládá ze tří různých frakcí:
- hrubý nebo roštový popel - většinou minerální zbytek biomasy,
- cyklonový popílek - jemné částice z kotle, výměníku tepla a cyklonu,
- jemný popílek - část popela zachycená v tkaninovém filtru nebo elektrofiltru.

Hmotnost jednotlivých frakcí závisí na použité technologii a palivu [9, 15–17]. Příklady množství jednotlivých frakcí uvádí tabulka 3 [18].

Tab. 3 Podíl jednotlivých frakcí popela ze spalování různých druhů biomasy - % hm.
Tab. 3 Proportion on individual ash fractions from the combustion of various types of biomass - % wt.

Biomasa	Popelová frakce		
	Hrubý popel	Cyklonový popel	Jemný popílek
Kůra	65–85	10–25	2–10
Štěpka	60–90	10–30	0–10
Piliny	20–30	50–70	10–20
Sláma a celé obilniny	80–90	2–5	5–15

Hrubý popel obsahuje minerální komponenty (hlína, písek), má proto relativně velkou zrnitost, sypnou hmotnost a hustotu. Naproti tomu jemný popílek má nejmenší hustotu a sypnou hmotnost, ale nejvyšší obsah solí. Popel

z obilovin má nízkou sypnou hmotnost z důvodu rozdílného minerálního složení a krystalické struktury. Protože popel obsahuje živiny, dá se využít i jako hnojivo. Popel ze dřeva se s ohledem na vysoký obsah vápníku využívá k neutralizaci půd. Obsah organických látek v popelech je velmi nízký, pohybuje se do 5 % hm.

Nejvýznamnějšími složkami dřeva jsou lignin, celulóza a hemicelulóza.

Nejvýznamnější části dřeva (40–45 %) je celulóza. Protože v její struktuře je poměr C a O 1:1, její výhřevnost je pouze cca 18 MJ.kg^{-1}.

Třetinu hmotnosti dřeva tvoří lignin, který z hlediska chemického představuje směs polymerů. Není tvořen ze sacharidů jako celulóza, ale většinou z aromatických alkoholů. Není proto tak hydrofilní a má o něco vyšší výhřevnost než celulóza. Při pyrolýze nebo při nedokonalém spalování dřeva se z něj uvolňují aromatické sloučeniny - např. methoxyfenoly. Součástí biomasy jsou i extrahovatelné organické látky - pryskyřice a vosky. Jejich podíl je ale malý.

Z hlavních anorganických prvků zastoupených v biomase lze uvést - K, Na, Ca, Mg, P, S a Cl. Stopové anorganické prvky - As, Cd, Co, Fe, Mn, Mo, Ni a Zn se nacházejí hlavně v kůře stromů. Průměrné obsahy vybraných významných prvků různých druhů biomasy jsou uvedeny v tabulce 4 [19].

Tab. 4 Průměrné obsahy hlavních prvků v různých druzích biomasy - % hm., sušina
Tab. 4 Average contents of main elements in different types of biomass -% wt., dry matter

Druh biomasy / prvek	C	H	O	N	K	Ca	Mg	P	S	Cl
Smrk	49,8	6,3	43,2	0,13	0,13	0,70	0,08	0,03	0,015	0,005
Buk	47,9	6,2	45,2	0,22	0,15	0,29	0,04	0,04	0,015	0,006
Topol	47,5	6,2	44,1	0,42	0,35	0,51	0,05	0,10	0,031	0,004
Olše	47,1	6,1	44,3	0,54	0,26	0,68	0,05	0,09	0,045	0,004
Žito - sláma	46,6	6,0	42,1	0,55	1,68	0,36	0,06	0,15	0,085	0,40
Žito - zrno	45,7	6,4	44,0	1,91	0,66	-	0,17	0,49	0,11	0,16
Žito - celé	48,0	5,8	40,9	1,14	1,11	-	0,07	0,28	0,11	0,34
Pšenice -sláma	45,6	5,8	42,4	0,48	1,01	0,31	0,10	0,10	0,082	0,19
Pšenice - zrno	43,6	6,5	44,9	2,28	0,46	0,05	0,13	0,39	0,12	0,04
Pšenice - celá	45,2	6,4	42,9	1,41	0,71	0,21	0,12	0,24	0,12	0,04
Triticale*) - sláma	43,9	5,9	43,8	0,42	1,05	0,31	0,05	0,08	0,056	0,27
Triticale - zrno	43,5	6,4	46,4	1,68	0,62	0,06	0,10	0,35	0,11	0,07
Triticale - celé	44,0	6,0	44,6	1,08	0,90	0,19	0,09	0,22	0,18	0,14
Ječmen - sláma	47,5	5,8	41,4	0,46	1,38	0,49	0,07	0,21	0,089	0,40
Řepka - sláma	47,1	5,9	40,0	0,84	0,79	1,70	0,22	0,13	0,27	0,47
Oves - sláma	46,1	5,9	42,5	0,74	1,54	1,34	0,20	0,25	0,10	0,20
Kukuřice - sláma	45,7	5,3	41,7	0,65	-	-	-	-	0,12	0,35
Řepka - semeno	60,5	7,2	23,8	3,94	-	-	-	-	0,10	-
Seno	46,1	5,6	38,1	1,34	-	-	-	-	0,14	1,39

Pozn.: - pod mezí citlivosti stanovení

2.1. Peletování

Biomasa má nízkou objemovou energetickou hustotu. Jednou z metod jejího zvýšení je lisování, které se rozděluje dle velikosti výlisků na peletování a briketování [19, 20].

Dřevěné pelety jsou výlisky ve tvaru válce o průměru 6 až 20 mm (nejčastěji 6 až 8 mm) a délce do 50 mm. Obsah vody mají 6 až 12 % hm. a výhřevnost > 18 MJ.kg^{-1} [16]. Pelety z bylin (sláma z obilovin nebo z celých rostlin) jsou rozměrově stejné jako ze dřeva. Mají však vyšší obsah vody - 8 až 15 % hm. a nižší výhřevnost 15,5 až 17,5 MJ.kg^{-1}.

Soudržnost bio komponent během lisování se zvyšuje zasíťováním vláken, slepovacím účinkem obsažených látek (vosky, atd.) resp. aplikovaných pojiv. Při transportu a skladování těchto pelet je nezbytné mít na paměti, aby se během mechanického namáhání nerozpadaly a aby dlouhodobým skladováním nedošlo k jejich znehodnocení. Protože dřevěné pelety jsou hygroskopické, je nezbytné při jejich skladování i transportu zabránit adsorpci vody.

V protikladu k peletám z bylin jsou dřevěné pelety v ČR normovaným palivem. Na pelety z dřevního odpadu s přídavkem bylin (max. do 20 %) lze získat i známku ekologicky šetrný výrobek [21]. Protože výrobci pelet z biomasy v ČR svoji produkci vyvážejí také do zahraničí, vyvážené pelety musí mj. splňovat i normy těchto zemí. Porovnání platné rakouské a německé normy je uvedeno v tabulce 5.

Tab. 5 Kvalitativní parametry pelet podle norem
Tab. 5 Qualitative parameters of pellets according to standards

Veličina	Parametr	Ö-Norm M 7135	DIN 51731
Průměr	mm	4 – 10	4 – 10
Délka	mm	5 x d [a)]	< 50
Hustota suroviny	kg/dm^3	> 1,12	1,0 - 1,4
Obsah vody	% hm.	< 10	< 12
Obsah popela	% hm.	< 0,50	< 1,50
Výhřevnost	MJ/kg	> 18	17,5 - 19,5
Obsah síry	% hm.	< 0,04	< 0,08
Obsah dusíku	% hm.	< 0,3	< 0,3
Obsah chlóru	% hm.	< 0,02	< 0,03
Otěr	% hm.	< 2,3	-
Obsah pojiv a aditiv	% hm.	< 2	[b)]

[a)] délku 7,5 x d může vykazovat max. 20 % hm. výlisků
[b)] DIN zakazovala původně přídavné látky.

Tento zákaz byl směrnicí o malých spalovacích zařízeních zrušen, tzn. že v současnosti žádné omezení podílu pomocných lisovacích látek neexistuje.

2.2. Stanovování vlastností pelet na bázi biopaliv

Z hlediska použití pelet má důležitou roli jejich pevnost, která je definována jejich mechanickou odolností vzhledem k definovanému zatížení. Významným kvalitativním kritériem je obsah jemného podílu, tzn. podílu zrn < 3,15 mm, protože tyto mohou být příčinou provozních poruch kotlů. Jeho vznik je spojen zejména s transportem a s manipulací s peletami.

Při spalování, skladování a manipulaci s peletami je důležitá sypná hmotnost. V porovnání se štěpkou je sypná hmotnost pelet vysoká a pohybuje se kolem 650 kg.m^{-3}. Proto pelety mají menší nároky na velikost skladovacích prostorů [21]. Vlastnosti pelet z biomasy v ČR jsou determinovány v literatuře [22].

Pro spalování pelet jsou významnými parametry obsah vody a popela. Obsah vody determinuje jejich výhřevnost a taktéž jejich hmotnost. Protože jsou pelety hygroskopické, je nezbytné u nich zamezit adsorpci vody.

Při spalování pelet vzniká popel. Jedná se o anorganický podíl biomasy a použitých pomocných činidel. Jeho obsah a teplota měknutí a tání závisí na jeho složení. Významnou roli zde má způsob pěstování biomasy a řada vnějších vlivů (především způsob a četnost hnojení, složení hnojiva, atd.). Popel z dřevěných pelet vykazuje vyšší bod měknutí. Jeho obsah je menší u pelet z bylin.

Obsah dusíku v peletách je určující pro tvorbu emisí NO_x. Přítomnost draslíku na jedné straně vede ke snížení bodu tání popela, naproti tomu ale působí pozitivně vázáním některých škodlivin (síra, chlor) v popelu. Naopak přítomnost vápníku a hořčíku bod tání popela zvyšuje. Těžké kovy zhoršují možnost zhodnocení popela a působí katalyticky při tvorbě PCDD/F. Bod tání popela determinuje technologie provozů spalovacích zařízení.

3. Experimentální část

3.1. Genese vzorků

Pro srovnávací studium vlastností biopaliv byly zvoleny vzorky pelet, které jsou uvedeny v tabulce 6. Z celkového počtu 9 vzorků 7 bylo na bázi obilnin a 2 byly dřevního původu - Pelletia-cz spol. s r.o., výkon kontinuálně pracující linky od 1 t/hod, prstencový granulátor PLM 750, teplota pelet na výstupu z granulátoru 80–90 °C, průměr pelet 6–8 mm, suroviny z ČR (vstupní piliny o vlhkosti do 17 %, vstupní sláma o vlhkosti do 30 %.).

Tab. 6 Vzorky sledovaných biopaliv
Tab. 6 Samples of monitored biofuels

Označení	Genese	Průměr [mm]	Obsah jílu [% hm.]
	Dřevo		
D1	dřevní štěpka	-	-
D2	dřevní pelety	6	-
	Pelety z obilnin		
O1	sláma pšenice ozimé	6	-
O2	sláma pšenice ozimé	8	-
O3	sláma pšenice ozimé	6	3
O4	sláma žita ozimého	8	-
O5	sláma žita ozimého	6	3
O6	triticale (celé rostliny)	8	-
O7	triticale (celé rostliny)	6	3

3.2. Použité metoda a postupy

Pro stanovení sledovaných vlastností vzorků pelet byly použity následující metody a postupy.

3.2.1 Jemný podíl

Stanovení jemného podílu pelet, tj. obsahu zrn < 3,15 mm, se provádělo gravimetricky po sítové separaci [23].

3.2.2 Sypná hmotnost

Sledovaný vzorek byl nasypán do standardního zásobníku definované velikosti a zvážen. Sypná hmotnost byla vypočtena z hmotnosti vzorku a standardního objemu zásobníku. Součástí postupu byla operace, kdy se naplněný zásobník nechal 2 x spadnout volným pádem z výšky 150 mm na pevnou podložku [24].

3.2.3 Mechanická odolnost

Stanovení mechanické odolnosti bylo provedeno pomocí přístroje HPPG/1 f. Dr Braun Instrument. Postup stanovení: vzorek o hmotnosti 500 g se prosil sítem o průměru ok 3,15 mm. Poté se znovu zvážil a vložil do bubnu měřicího přístroje. Ten se nechal 10 min otáčet rychlostí 500 otáček/min. Po vyjmutí z bubnu se opět prosil sítem

s průměrem ok 3,15 mm a nadsítná frakce se zvážila. Ze stanovených dat se vypočetla mechanická odolnost D_p dle vztahu (1):

$$D_p = \frac{m_a}{m_e}.100 \quad (1)$$

kde: D_p - mechanická odolnost (% hm.),
m_e - hmotnost prosévaného vzorku před zkouškou (g),
m_a - hmotnost prosévaného vzorku po zkoušce (g).

3.2.4 Obsah vody

Stanovení bylo prováděno sušením vzorků při teplotě 105 °C za přítomnosti vzduchu do konstantní hmotnosti sušeného vzorku [25].

3.2.5 Obsah popela

Kelímek po vložení 1 g vzorku se zasunul do pece, která se následně ohřála během 60 min na (550 ± 10)°C. Na této teplotě se udržovala 2 hodiny [26].

3.2.6 Spalné teplo a výhřevnost

Stanovení proběhlo podle CEN/TS 15400. Stanovení spalného tepla bylo prováděno v kalorimetru C 200 značky IKA [27]. Přístroj byl před použitím kalibrován spálením certifikovaného vzorku kyseliny benzoové, při konstantním objemu a referenční teplotě 25 °C.

3.2.7 Obsah prchavé hořlaviny

Obsah prchavé hořlaviny byl stanoven ze ztráty hmotnosti po ohřevu vzorků na vzduchu v uzavřeném keramickém kelímku při teplotě (850 ± 10) °C a době ohřevu 7 min. [28]

3.2.8 Elementární analýza

Stanovení bylo provedeno na přístroji Thermo Scientific Flash 1112 vybaveném Dumasovskou chromatografií. Stanoven bylobsah uhlíku, vodíku, síry a dusíku. Kyslík byl dopočítáván [29].

3.2.9 Složení popela

Složení popela bylo stanoveno při pokojové teplotě pomocí práškového difraktometru f. Panalytical X'Pert PRO v Bragg-Brentanově para fokusující geometrii s použitím vlnové délky CuK_α záření (λ = 1.5418 Å, U = 40 kV, I = 30 mA). Data byla skenována pomocí ultrarychlého detektoru X'Celerator v úhlovém rozsahu 5–60° s krokem měření 0,02° a časem čítání 0,3 s/krok. Vyhodnocení dat bylo provedeno programem HighScore Plus. Tento program po vyhodnocení dat získaných pro příslušné prvky přepočítával jejich koncentrace na příslušné oxidy.

4. Výsledky a diskuse

4.1. Jemný podíl, sypná hmotnost a mechanická pevnost

Srovnání obsahů jemných podílů, sypné hmotnosti a mechanické odolnosti mezi peletami ze dřevních hmot a obilnin je patrné z dat tabulky 7.

Tab. 7 Obsah jemného podílu, sypná hmotnost a mechanická odolnost
Tab. 7 Fine content, bulk density and mechanical durability

Vzorek	Jemný podíl [% hm.]	Sypná hmotnost [kg/m^3]	Mechanická odolnost [% hm.]
D1	*)	649	*)
D2	0,03	645	98,0
O1	0,36	595	97,1
O2	0,61	511	98,0
O3	0,79	575	97,3
O4	1,46	565	92,7
O5	0,17	605	96,4
O6	0,15	545	98,2
O7	0,04	610	98,3

*) nestanoveno

Z uvedených dat v tabulce 7 vyplývá, že u pelet z obilnin byl obsah jemného podílu vyšší než u dřevních pelet. V případě pelet z žitné slámy a triticale přídavek jílové moučky snižoval výrazně obsah jemného podílu. Naproti tomu u pelet z pšeničné slámy byl vliv jílové moučky opačný.

Je zřejmé, že zjištěný jemný podíl vznikl při mechanickém namáhání pelet - při jejich transportu, uskladňování a manipulaci. Z toho důvodu může být daný parametr i mírou jejich pevnosti. K nejméně pevným peletám z tohoto hlediska patřily pelety z žitné a pšeničné slámy. Větší průměr pelet se negativně promítl do jejich menší pevnosti, což bude souviset s nižšími lokálními lisovacími tlaky při jejich výrobě.

Z tabulky 7, je zřejmé, že sypná hmotnost pelet z obilnin byla nižší. U pelet z obilnin s pojivem byla sypná hmotnost vyšší než u vzorků z čistých obilnin. Výjimkou byl vzorek pelet o průměru 6 mm slámy pšenice ozimé s přídavkem 3 % hm. jílu. D_p vzorku dřevěných pelet je velmi vysoká - dosahuje 98 % hm., viz tabulka 7. U vzorků z obilnin je nižší. Většina stanovených hodnot D_p leží v rozmezí 96,4 až 98,2 % hm. Výjimku představovaly pelety z žitné slámy o průměru 8 mm s D_p - 92,7 % hm. Stanovené hodnoty jsou v souladu s daty uvedenými v literatuře [20]. Přítomnost jílové moučky zvyšovala výrazně D_p pelet z žitné slámy, u pelet z triticale nebyl její vliv zaznamenán. U pelet z pšeničné slámy přídavek jílové moučky zvýšil D_p pouze nepatrně. V porovnání se vzorkem pelet slámy pšenice ozimé o průměru 8 mm byla ale mechanická pevnost nižší. Z naměřených hodnot nelze jednoznačně určit vliv velikosti pelet na jejich pevnost.

4.2. Obsah vody a popela

Stanovené obsahy vlhkosti a popela jsou shrnuty v tabulce 8. Obecně lze říci, že obsah vody v peletách z obilnin byl ve všech případech vyšší než u vzorků na bázi dřeva a obsah popela ve vzorcích pelet z obilnin byl cca 20-30 krát vyšší než u vzorků ze dřeva.

Tab. 8 Obsah vody a popela – % hm.
Tab. 8 Water and ash content -% wt.

Vzorek	Voda	Popel
D1	7,9	0,3
D2	8,6	0,7
O1	10,2	9,0
O2	10,6	8,9
O3	10,5	10,9
O4	9,5	7,2
O5	9,1	8,8
O6	12,3	7,8
O7	11,9	10,7

4.3. Složení popela

Vzorky pelet byly zpopelněny při 550 °C, aby se omezily ztráty draslíku při spalování. Získaná data jsou uvedena v tabulce 9.

Popel vzorku dřevní štěpky se skládal hlavně z oxidů sodíku a vápníku, popel vzorku dřevních pelet z oxidů křemíku a vápníku. Popel z dřevních pelet obsahoval čtyřikrát více oxidu vápníku než draslíku. V porovnání s popelem pelet z obilnin měl i vyšší podíl oxidů železa a manganu. Popel pelet z obilnin se skládal hlavně z oxidů křemíku a draslíku. Vysoký obsah draslíku v peletách z obilnin způsobuje nízkou teplotu měknutí popela. Vzorky pelet s jílovou moučkou měly vyšší obsah hliníku.

Tab. 9 Složení popela – % hm.
Tab. 9 Ash composition -% wt.

Prvek	Vzorek								
	D1	D2	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7
Na	10,88	0,52	0,13	0.14	0,22	0,04	0,07	0,43	0,13
Mg	4,69	4,63	3,24	3.24	2,58	2,02	2,06	3,84	2,72
Al	2,56	7,31	1,24	1.26	9,59	0,23	7,75	2,82	11,10
Si	5,66	21,51	48,20	48.21	51,62	38,24	41,29	41,76	48,18
P	5,32	1,92	2,13	2.12	1,79	3,42	3,56	9,83	6,33
S	2,07	1,37	4,85	4.85	3,31	4,39	3,59	3,83	2,43
Cl	0,06	0,08	3,05	3.48	2,21	5,29	3,71	1,14	1,28
K	11,98	10,38	27,90	27.91	21,13	37,77	29,43	22,94	17,28
Ca	49,66	40,53	7,99	8.01	5,99	8,18	7,28	11,65	8,15
Ti	0,50	0,58	0,07	0.06	0,48	0,02	0,39	0,16	0,58
Mn	4,25	5,28	-	-	-	-	-	-	-
Fe	2,09	4,75	0,51	0.50	0,88	0,22	0,73	1,36	1,63
Cu	0,05	0,03	-	-	0,02	-	-	0,01	0,01
Zn	0,34	0,32	0,02	0.01	0,02	0,02	0,01	0,06	0,04
Sr	0,16	0,13	-	-	-	-	-	-	-
Ba	0,42	0,64	-	-	-	-	-	-	-

4.4. Spalné teplo, výhřevnost a prchavá hořlavina

Výhřevnosti a spalná tepla dřevní štěpky a dřevních pelet se lišily minimálně. Spalná tepla a výhřevnosti pelet z obilnin dosahovaly nižších hodnot a to cca až o 20 %, viz tabulka 11.

Obsah prchavé hořlaviny se u sledovaných vzorků pohyboval v rozmezí 71,8 až 84,1 % hm., viz tabulka 10. Nejvyšší byl u pelet z pšeničné slámy, u kterých byl vyšší o cca 10 % než u vzorků z dřevní hmoty. Nejnižší hodnota byla zjištěna u triticalových pelet.

Tab. 10 Spalné teplo, výhřevnost a prchavá hořlavina
Tab. 10 Combustible heat, caloric value and volatile combustible content

Vzorek	Spalné teplo [MJ/kg]	Výhřevnost [MJ/kg]	Prchavá hořlavina [% hm.]
D1	19,1	17,8	77,3
D2	18,9	17,6	77,9
O1	16,3	14,4	83,2
O2	16,2	14,4	83,1
O3	15,9	14,2	84,3
O4	16,8	15,1	73,6
O5	16,5	14,9	73,5
O6	16,0	14,4	72,1
O7	15,8	14,0	71,8

4.5. Elementární analýza

Elementární složení vzorků dřevní štěpy a dřevních pelet bylo přibližně stejné. U pelet z pšenice a žita, na rozdíl od dřevních materiálů, byl prokázán vyšší obsah dusíku a nižší obsah uhlíku. Nejvyšší obsah vodíku byl u triticalových pelet. U všech ostatních vzorků byl přibližně stejný (viz tabulka 11). Obsah dusíku v případě pelet z triticale byl cca 2,5 vyšší než u pelet ze slámy žita a pšenice. Stanovená data odpovídají hodnotám uváděným v literatuře [19].

Tab. 11 Elementární složení - % hm.
Tab. 11 Elemental composition - % wt.

Vzorek	Obsah				
	C	O	H	N	S
D1	47,6	44,9	5,4	0,1	< 0,1
D2	47,5	45,0	5,6	0,1	< 0,1
O1	46,1	42,4	5,8	0,6	0,1
O2	45,9	42,5	5,7	0,6	0,1
O3	45,6	42,3	5,4	0,5	0,1
O4	46,9	42,3	5,6	0,6	0,1
O5	46,8	42,2	5,5	0,6	0,1
O6	45,1	44,1	6,3	1,5	0,1
O7	43,3	44,2	6,0	1,3	0,1

5. Závěr

Laboratorní analýzy prokázaly, že dřevní štěpka měla vyšší sypnou hmotnost a významně nižší obsah popela než dřevěné pelety. Obsah vody a výhřevnost u dřevní štěpky byl nepatrně nižší než u pelet ze dřeva. Obsah prchavé hořlaviny a elementární složení u těchto dvou porovnávaných energetických surovin se významně nelišily.

U bylinných pelet byly naproti tomu zjištěny značné rozdíly. Bylo prokázáno, že významný vliv na jejich parametry má rostlinný materiál a přídavek aditiva. U pelet z žitné slámy např. přídavek malého množství moučky jílu zvýšil jejich pevnost. Naproti tomu nevýhodou přidání moučky jílu jako pojícího aditiva je zvýšení obsahu popela, což snižuje výhřevnost pelet a navyšuje hmotnost vedlejších energetických produktů.

Při spalování pelet z bylin vzniká více emisí polutantů obsahujících chlor a oxidů dusíku než při spalování dřevní hmoty.

Literatura

1. https//www.wirtschaftun-dumwelt.at/2080/2081/2086/2142/2148.
2. Kára J., Jevič P., Pastorek Z.: Biomasa obnovitelný zdroj energie, FCC Public, 2004, ISBN 80-86534-06-5.
3. Evropská komise, Zelená dohoda pro Evropu 2019, htpps:// eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640 & from=CS
4. https//www.mpo.cz/cz/rozcestnik/ministerstvo/aplikace-zakona-c-106-1999-sb/pristupovy- protokol-c--ii--62679/.
5. http://faktaoklimatu.cz/assets/infographies/emise-cr-detail_1920.pnp.
6. MPO ČR: Podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé spotřebě energie 2010 - 2018 metodika Eurostat-Sheres, 2019.
7. http://www.unendlich-viel-energie.de.
8. Horák J., Jankovská Z., Branc M., Straka F., Buryan P., Kubesa P., Hopal F., Krpec K.: Problematika stanovení charakteristických teplot tavitelnosti popela biomasy, Chemické listy 107, (6) 502-509 (2013).
9. Buryan P.: Negativní vliv spoluspalováni biomasy na odsíření fluidních kotlů, Chemické listy 108, 1162-1167 (2014).
10. Buryan P.: The Formation of Incrustations during the Co-Combustion of Biomass in Fluidized Bed Boilers, Journal of Chemistry, ISSN 2090-9063, number 3869732, https://doi.org./10.1155/2019/3869732.
11. Buryan P.: Uvolňování plynů při stanovení charakteristických teplot tavitelnosti popela biomasy, Chemické listy 110, (6) 456-459 (2016), ISSN 1213-7103.
12. Thy P., Jenkins BM, Grundig S., Shiraki R., Lesher CE.: High temperature elemental losses and mineralogical changes in common biomass ashes, Fuel 85, 783-795 (2006).
13. Masia A.A.T., Buhre B.J.P., Grupa R.P., Wall T.F.: Use of TMA to predict deposition behavior of biomass fuels, Fuel 86, 2446-2456 (2007).
14. Llorente M.J.F, Garcia J.E.C.: Concentration of elements in wood and herbaceous biomass as a function of the dry ashing temperature, Fuel 85, 1273-1279 (2006).
15. Růžičková Z., Srb J., Mayerová M.: Popílky - Jejich úprava a využití, SNTL Praha, 2011.
16. Buryan P.: Vliv tuhých alternativních paliv na odsíření fluidních kotlů, Chemické listy 109, 635-640 (2015).
17. Najser J, Buryan, P., Skoblia, S., Frantík J., Kielar J., Peer V.: Problems Related to Gasification of Biomass-Properties of Solid Pollutants in Raw Gas, Energies, 12, 964-977 (2019).
18. Kaltschmitt M., Hartmann H.: Energie aus Biomasse, Springer-Verlag, 2001, ISBN 3-540-64853-4.
19. Andert D., Sladký V., Abraham Z.: Energetické využití pevné biomasy, VÚZT Praha, 2006, ISBN 80-86884-19-8.
20. Temmerman M., Rabier F., Jensen P. D., Hartmann H., Böhm T.: Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes, Biomass and Bioenergy 30, 964-972, (2006).
21. www.mzp.cz› *info_MZP_PSP_070630.*
22. ČSN EN ISO 17225 Tuhá biopaliva.
23. CEN/TS 15149/2: Solid biofuels: Metods for the determination of particle size distribution.
24. MS-EN 15103:2009 Solid biofuels - determination of bulk density.
25. ČSN EN ISO 17831-1 Thá biopaliva, Stanovení obsahu vody.
26. NS EN 14775: 2009 Solid biofuels - Determination of ash content.
27. CEN/TS 15400 Metody pro stanovení spalného tepla a výhřevnosti.
28. ČSN ISO 5071-1, Stanovení prchavé hořlaviny.
29. ČSN EN ISO 16559 - 4.216 Tuhá biopaliva, elementární analýza.

Summary

Pellets based on biofuels

Petr Buryan, Diana Sedláčková

Laboratory analyzes showed that the wood chips had a higher bulk density and a significantly lower ash content than wood pellets produced by the company's technological process company Pelletia-cz. s r.o. using an annular granulator with a pellet outlet temperature of 80-90 ° C. The water content and calorific value of the wood chips were slightly lower than that of the wood pellets. The content of volatile combustibles and the elemental composition of the two compared energy raw materials did not differ significantly.

On the contrary, significant differences were found in herbal pellets (from winter wheat straw, winter rye straw and from whole triticale) produced by the identical process. It was shown that both the plant material and the addition of 3 wt. clay flours (binders) affect their parameters. For example, the proportion of fine material by the addition of a binder was significantly reduced in rye (to 0.17% by weight) and triticale pellets (to 0.04% by weight). On the other hand, the disadvantage of adding

clay flour as a binder additive is the increase in the ash content, which reduces the calorific value of the pellets. The heat of combustion of pellets made of wood materials was about 2.5 MJ / kg higher than that of herbal pellets. Combustion of pellets from the three types of herbs monitored produces more emissions of chlorine and nitrogen oxides contaminants than wood samples relative to wood samples. The chlorine content in ashes from herbal pellets compared to ashes from wood materials was about 50 times higher. The nitrogen content in the compared raw materials was about 5–15 times higher for herbs.