# MECHANICKÉ VLASTNOSTI PELET Z ENERGETICKÝCH TRAVIN

THE MECHANICAL PROPERTIES OF PELLETS FROM ENERGY GRASSES

***O. Zajonc[1)], J. Frydrych[2)]***

*[1)] Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava*

*[2)] OSEVA vývoj a výzkum s.r.o. se sídlem v Zubří*

## ABSTRACT

Presently there have been a number of major developments into so-called agropellet production, where herbaceous material has been used as an alternative to wood for the production of pellets. This article deals with the pelletization of particular grass species that have been established as suitable for the production of solid biofuels. The potential for the pelletization of various kinds of grasses has been proven, furthermore their mechanical durability has also been determined (abrasion resistance- Pellet Durability Index). Of the eight types tested, the Pellet Durability Index was measured as ranging from 89,1 to 97,8% (100 Holmen NHP tester- scanning time 60 seconds). The average value has been shown to be 93,8 % and the calorific value of the individual species has also been determined. The results have then been used to test and compare the suitability of pelleting various types of grasses.

**Key words:** grass phytomass, solid biofuels, chemical composition, mechanical properties

## ÚVOD

Trvalé travní porosty představují v ČR plochu 985 859 ha, což představuje 23,3 % zemědělské půdy (k 31.12.2010) [1]. Travní fytomasu lze využít jako krmivo (silážování), pro výrobu pevných biopaliv (peletování, briketování) nebo k produkci kompostu. Travní fytomasa představuje potenciální zdroj energie, který se začíná pomalu využívat [2]. Travní fytomasa může pocházet z přirozených travních porostů nebo může být záměrně pěstována v podobě energetických travin. Energetickými travinami nelze nahrazovat přírodní travní ekosystémy, mohlo by dojít k snížení biodiverzity. Pro využití luk s vysokou biodiverzitou, je vhodné pro její zachování, využití těchto luk v původní podobě [3]. Energetické traviny představují potenciální možnost pro využití neobdělávané zemědělské půdy. Svým kořenovým systémem mohou vhodně zabraňovat erozi. Proto je lze využít pro produkci energie, v kombinaci s protierozní funkcí [4]. Problematickým parametrem je vlhkost, která hlavně v deštivých obdobích může ovlivňovat zpracování travní biomasy pro energetické účely. Při podzimní sklizni dochází k poklesu vlhkosti na přijatelnou hodnotu, kdy lze sklizenou biomasu zpracovat skoro bez dosoušení na základě aktuálních meteorologických podmínek. U trav pěstovaných na semeno v našich českých podmínkách lze doporučit sklizeň osiva pro tržní účely a vymlácenou slámu z těchto trav využít pro energetické účely což ovlivní ekonomiku pěstování této komodity. Pro studium vlastností pelet byly použity vzorky travin pěstované ve výzkumné stanici travinářské OSEVA PRO, s.r.o. (pobočka Zubří). Traviny byly pěstovány samostatně na jednotlivých osevních plochách. Pro peletování byla použita hnojená varianta travin. Jednalo se o psineček velký - Rožnovský (Agrostis gigantea Roth.), lesknice rákosovitá – Chrastava (Phalaroides arundinacea L.), kostřava rákosovitá – Kora (Festuca arundinacea Schreb.), ovsík vyvýšený- Rožnovský (Arrhenatherum elatius L.), sveřep horský – Tacit (Bromus marginatus Nees ex Steud.) hybridy jílkovitého charakteru (Festulolium): hybrid Lofa (Lolium multiflorum Lam. x Festuca arundinacea Schreb.), hybrid Perun (Lolium multiflorum Lam. x Festuca pratensis Huds. ), hybrid Bečva (Lolium multiflorum Lam. x Festuca arundinacea Schreb). Cílem výzkumu bylo ověření možnosti peletování jednotlivých druhů travin, určení mechanických vlastností pelet (otěr, nasákavost, tvrdost) a porovnání vlivu majoritních složek biomasy na kvalitu pelet.

## ENERGETICKY VÝZNAMNÉ CHEMICKÉ PARAMETRY

Peletováním bylinné fytomasy se zabývala řada autorů. Nejčastěji se peletovala sláma a jiná rezidua vznikající při zemědělské produkci nebo záměrně pěstované energetické rostliny [5-9]. Z hlediska energetického využití travní biomasy jsou problémové zvýšené obsahy dusíku [10], chlóru, alkalických prvků a fosforu. Obsah dusíku se u trav se pohybuje okolo 1,4 % w.t. [11]. Chlór v biomase ovlivňuje vznik HCl nebo KCl, které způsobují korozi spalovacích zařízení [12, 13]. Obsahy chloru v sušině slámy se pohybuje v rozmezí od 1150 do 4900 mg/kg [12], v travinách je vyšší až 0,8 % [11]. Alkálie (Na a K) způsobují tavení popelovin a jejich zestruskovatění [14]. Obsah draslíku v sušině trav je uváděn 15 g/kg, obsah sodíku se pohybuje okolo 1g/kg [11]. U chrastice rákosovité se obsah draslíku v sušině pohybuje okolo 12 g/kg, minimální a maximální obsahy se pohybují v rozmezí 3,11 – 22 g/kg [15]. Energeticky významné parametry pro peletované traviny byly stanoveny v laboratořích VŠB-TU Ostrava (tabulka č. 1).

## PŘÍPRAVA MATERIÁLU

Všechny vzorky travin byly sklizeny v měsíci září. Traviny byly vysušeny v laboratorní sušárně při teplotě 40 °C. Po vysušení byly nadrceny v kladivovém drtiči Green Energy 9FQ 50, Pest Control Corporation Vlčnov, Česká republika (výkon motoru 11kW, výkon drtiče 800-1200 kg/hod). Z hlediska mechanických vlastností je významné zrnitostní složení částic. Ze zrnitostní analýzy podrcených trav vyplývá, že nejvyšší zastoupení částic bylo v zrnitostní třídě: 0,25 – 0,5 mm (29,9 %), 1,0 – 2,0 mm (24,8 %), 0,5 – 1,0 mm (22,0 %), < 0,25 mm (20,6 %), 2,0 – 3,15 mm (2,6 %). Pelety byly připravovány z biomasy o vlhkosti 16 %. Tato vlhkost umožnila dostatečné spojení materiálu. Stelte at al. (2011) doporučuje za optimální vlhkost mezi 5 – 15 %. Při vlhkost nad 20 % vznikají pelety s nedostatečnou kvalitou, což je ovlivněno substitucí vodíkových vazeb mezi polymery, vazbami s vodou [7]. Pro peletování byl použit peletovač Green Energy JGE 120, Pest Control Corporation, Vlčnov, Česká republika. Výkon 4kW, vydatnost cca 75 kg/hod.

*Tab. č. 1: Vlastnosti použité biomasy stanovené v sušině*

| Druh traviny/ parametr | Psineček velký Rožnovský | Lesknice rákosovitá Chrastava | Kostřava rákosovitá Kora | Ovsík v yvýšený Rožnovský | Sveřep horský Tacit | Hybrid Lofa | Hybrid Perun | Hybrid Bečva | Hnědé uhlí (Bílina) [16] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Voda celková (vzorek v dodaném stavu) [%] | 54,46 | 50,22 | 54,84 | 49,87 | 32,31 | 48,52 | 53,39 | 47,78 | 30,20 |
| Popel [%] | 8,00 | 9,24 | 9,07 | 7,02 | 5,01 | 6,93 | 7,98 | 7,79 | 9,8 |
| Hořlavina [%] | 92,00 | 90,76 | 90,93 | 92,98 | 94,99 | 93,07 | 92,02 | 92,21 | - |
| Spalné teplo [kJ/kg] | 16925 | 16924 | 18258 | 17435 | 19362 | 17104 | 16912 | 16809 | 30,2 |
| Výhřevnost [kJ/kg] | 15607 | 15632 | 16956 | 16139 | 18068 | 15794 | 15651 | 15489 | 17,6 |
| Výhřevnost [kJ/kg] [1] | 5855 | 6627 | 6396 | 6944 | 11487 | 7015 | 6067 | 6989 | - |
| Vodík [%] | 6,4 | 6,27 | 6,32 | 6,29 | 6,28 | 6,36 | 6,12 | 6,41 | 5,6 |
| Uhlík [%] | 43,9 | 41,65 | 41,56 | 44,3 | 44,45 | 44,48 | 42,72 | 42,83 | 65,6 |
| Dusík [%] | 1,15 | 1,24 | 1,75 | 1 | 0,701 | 1,01 | 0,89 | 0,65 | - |
| Kyslík [%] | 40,55 | 41,60 | 41,30 | 41,39 | 43,56 | 41,22 | 42,29 | 42,32 | - |
| Síra [%] | <0,01 | 0,01 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,77 |
| Sodík[2][mg/kg] | 20,3 | 13,1 | 24,6 | 5,9 | 14,2 | 25,5 | 16,9 | 16,0 | - |
| Draslík[2] [g/kg] | 7,086 | 9,236 | 10,993 | 7,212 | 9,006 | 6,746 | 6,049 | 5,790 | - |
| Chlor[2] [g/kg] | 3,65 | 3,21 | 3,71 | 4,28 | 1,28 | 4,02 | 3,00 | 4,55 | - |
| Lignin [%] | 21,19 | 19,36 | 16,10 | 12,16 | 17,53 | 17,50 | 17,76 | 16,45 | - |
| Celulóza [%] | 50,17 | 42,12 | 49,55 | 54,15 | 53,40 | 48,60 | 55,55 | 56,51 | - |
| Hemicelulóza [%] | 26,87 | 25,47 | 33,81 | 31,24 | 21,71 | 20,42 | 26,39 | 25,17 | - |

*Vysvětlivky: [1] – vzorek v dodaném stavu, [2] – vodorozpustná forma. Analýza obsahu alkálií byla provedena podle metodiky ČSN P CEN/TS 15105 Solid biofuels – Method for determination of the water soluble content of chloride, sodium and potassium.*

## MECHANICKÉ VLASTNOSTI PELET

Z mechanických vlastností byla testována mechanická odolnost, odolnost vůči absorpci vody a tvrdost.

*Mechanická odolnost (durability)*

Mechanická odolnost (PDI) je jedním z nejvýznamnějších parametrů. Při manipulaci s peletami může docházet ke vzniku úlomků a tvorbě prachových částic, které mohou způsobovat neustálený průběh hoření. Vlivem vzniku prachových částic se zvyšuje riziko výbuchu [17].

Mechanická odolnost byla stanovena v testeru 100 Holmen NHP pomocí parametru odolnosti pelet (Pellet Durability Index - PDI). Pro porovnání vlivu doby testování na otěr byly zvoleny 2 časové režimy: 30 a 60 sekund. Vzorek byl vložen do komory, která se skládá ze čtyř děrovaných stěn, tvořících obrácený trojúhelník, kde pneumaticky cirkuloval. PDI představuje procentuálně vyjádřený podíl hmotnosti vzorku po testování a hmotnosti vzorku před testováním [18]. Při testování po dobu 60 sekund bylo rozpětí PDI mezi 89,1 až 97,8%. Mezi pelety s největší odolností proti otěru, patřily pelety vyrobené z travních hybridů jílkovitého charakteru Lofa (Lolium multiflorum Lam. x Festuca arundinacea Schreb.), Bečva (Lolium multiflorum Lam. x Festuca arundinacea Schreb.) a kostřavy rákosovité (Festuca arundinacea Schreb.). Průměrná hodnota PDI peletovaných druhů travin byla 93,8 %. Nejmenší odolnost měla lesknice rákosovitá (Phalaris arundinacea L.), sveřep horský (Bromus cartharticus Vahl.) a psineček velký (Agrostis gigantea Roth.).

Pro porovnání mechanických odolností pelet z travin, jsou uvedeny hodnoty pelet vyrobených z borovice lesní (Pinus sylvestris L.), hodnota mechanické odolnosti 96% [19]. Pelety ze směsi borovice lesní (Pinus sylvestris L.) a smrku ztepilého (Picea abies L.) vykazují hodnotu PDI 99,9% [20], pšeničná sláma (Triticum L.) 98,3 % a kukuřice (Zea L.) 98,2% [21].

*Tab. č. 2: Hodnoty naměřených testovaných veličin (PDI, WI, Tvrdost)*

| **Druh travin** | **PDI (30s)** | **PDI (60s)** | **WI (30s)** | **Tvrdost** | **Měrná hmotnost** |
|---|---|---|---|---|---|
| | [%] | | | [max. zatížení v kg] | [kg/m$^3$] |
| Lesknice rákosovitá | 94,0 | 89,1 | 35,6 | 45 | 1146,4 |
| Sveřep horský | 95,5 | 91,3 | 89,6 | 35 | 1033,5 |
| Psineček velký | 95,6 | 90,7 | 47,4 | 35 | 1125,0 |
| Hybrid Perun | 96,3 | 92,9 | 37,6 | 35 | 1092,2 |
| Ovsík vyvýšený | 97,0 | 93,0 | 42,8 | 33 | 1126,4 |
| Hybrid Lofa | 98,2 | 97,8 | 52,4 | 39 | 1173,8 |
| Hybrid Bečva | 98,5 | 97,7 | 48,8 | 39 | 1022,9 |
| Kostřava rákosovitá | 98,6 | 97,5 | 22,8 | 37 | 1074,4 |
| **Průměr** | 96,7 | 93,8 | 48,7 | 37 | 1099,3 |

*Odolnost proti absorpci vody (watter resistance)*

Odolnost proti absorpci vody je důležitým parametrem z hlediska přepravy a skladování paliva, kdy vlivem vlhkosti může dojít k její absorpci a tím ke snížení výhřevnosti a mechanické odolnosti nebo k jejímu rozpadu.

Nasákavost pelet byla měřena ponořením pelet do vody po dobu 30 sekund [22]. Při testování odolnosti pelet vůči vodnému prostředí se projevil vliv lesklé ochranné ligninové vrstvy, vytvořené při peletování. U pelet bez ochranné vrstvy docházelo ve vodném protředí po více než 30 sekundách k jejich rozpadání (sveřep horský (Bromus cartharticus Vahl.)). U ostatních vzorků došlo na povrhu pelet k částečnému vytvoření ligninové vrstvy. Nasákavost byla vyjádřena jako tzv. Wettability index (WI), který je vyjádřený jako procentuální vyjádření poměru hmotnosti pelety z rozdílu hmotnosti po ponoření a před ponořením ku hmotnosti před ponořením [23]. Výsledky testů jsou uvedeny v tabulce č.2. Pro porovnání byly stanoveny hodnoty wettability indexů u pelet vyrobených z kompostu WI = 30,2 % a u pelet od dvou výrobců vyrobených ze smrkového dřeva WI = 59,6 % a WI = 83,2 %.

*Tvrdost (hardness, compressive resistance)*

Kompresivní rezistence (tvrdost) je definována jako maximální zatížení pelety, kdy nedojde k jejímu prasknutí nebo rozdrcení [24]. Pro testování byl použit tester firmy KAHL ak14. Tester se skládá ze dvou přítlačných ploch, mezi které se vloží testovaný vzorek. Síla zatížení je simulována pružinou, která je šroubováním z jedné strany stlačována, a tím je zvětšován tlak na vzorek, až do jeho prasknutí. Po prasknutí nebo zlomení vzorku je odečtena hodnota zatížení v kilogramech [24].

U testovaných vzorků byly naměřeny hodnoty kompresivní rezistence v rozmezí 9 kg (33 – 45 kg), což odpovídá podobným materiálům. Průměrná hodnota kompresivní rezistence byla 37 kg. Pro porovnání byla změřena tvrdost pelet vyrobených ze smrkového dřeva s kůrou (Picea abies L.) 21 kg a pelety vyrobené z kompostu 5 kg.

*Měrná hmotnost (density)*

Měrná hmotnost pelet byla stanovena pomocí pyknometrické metody. Většina pelet má vlivem densifikace větší měrnou hmotnost než voda.

Závislost mezi jednotlivými parametry i mezi obsahem majoritních složek (lignin, celulóza, hemicelulóza) byla sledována pomocí korelační analýzy. Nebyla zjištěna žádná statisticky významná závislost, ani mezi obsahem ligninu a PDI. Při peletování, částečně vznikala natavením lesklá ligninová vrstva. Pro vznik vrstvy jsou důležité dva parametry, obsah ligninu a dostatečná teplota.

*Obr. 1. Pelety sveřep horský*

*Obr. 2: Pelety kostřava rákosovitá*

## ZÁVĚR

V prezentované práci byla ověřena možnost peletování energetických travin a porovnání jejich vlastností. Byly použity traviny ze zářijové sklizně. Je nutno si uvědomit, že výsledné parametry se v průběhu roku mění, vlastnosti travin v jarních měsících se liší od vlastností travin na podzim (obsah vlhkosti, draslíku, ale i obsah ligninu). Největší výhřevnost má sveřep horský – Tacit, který má ve vysušeném stavu výhřevnost 18,068 MJ/kg. Z pohledu mechanické odolnosti pelet vychází jako nejvhodnější kostřava rákosovitá a hybridy jílkovitého typu Perun a Bečva. Pelety vyrobené z kostřavy rákosovité, měly i malou nasákavost (WI – 22,8 %) a druhou nejvyšší výhřevnost (ve vysušeném stavu) 16,956 MJ/kg.

## PODĚKOVÁNÍ

Práce byla podpořena z projektu MŠMT SP2012/88 Optimalizace vlastností densifikovaných kompostů ve formě pelet z hlediska jejich využití a projektem NAZV ČR. Č. QI101C246 Využití fytomasy z trvalých travních porostů a z údržby krajiny

## LITERATURA:

[1] Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky [online]. 1.st ed. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, březen 2011 [cited 8 December 2011]. Available from: http://www.cuzk.cz/GenerujSoubor.ashx?NAZEV=10-ROC_11. ISSN 1804-2422.
[2] Technical Assessment of Grass Pellets as Boiler Fuel in Vermont. Available from: <http://www.vsjf.org/assets/files/RFPs/VT%20Grass%20Pellet%20Feasibility%20Study%202010.pdf> [cited 26 March 2012].
[3] FRYDRYCH, J., MACHÁČ, R., ANDERT, D. Alternativní využití produkce lučních porostů s vysokou druhovou diverzitou pro energetické účely. Agritech Science, 2011, , no. 1, p. 1–6.
[4] PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Význam cíleně pěstovaných energetických plodin. Biom.cz [online]. 2009-10-14 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznam-cilene-pestovanych-energetickych-plodin>. ISSN: 1801-2655.
[5] GILBERT, P., et al. Effect of process parameters on pelletisation of herbaceous crops. Fuel, 2009, vol. 88, p. 1491–1497.
[6] MANI, S., TABIL, L. G., SOKHANSANJ, S. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. Biomass and Bioenergy, 2006, vol. 30, p. 648–654.
[7] STELTE, W., et al. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. Fuel, 2011, vol. 90, p. 3285–3290.
[8] THEERARATTANANOON, K., et al. Physical properties of pellets made from sorghum stalk, com stover, wheat straw, and big bluestem. Industrial Crops and Products, 2011, vol. 33, p. 325–332.
[9] HUTLA, P. Biopaliva ve formě topných briket, 2011. Agroweb.cz. [cited 15 December 2011] Available from: http://www.agroweb.cz/Biopaliva-ve-forme-topnych-briket__s1611x57313.html
[10] WILLIAMS, A., et al. Pollutants from the combustion of solid biomass fuels. Progress in Energy and Combustion Science, 2012, vol. 38, p. 113–137.
[11] OBERNBERGER, I., BRUNNER, T., BÄRNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels—significance and impact. Biomass and Bioenergy, 2006, vol. 30, p. 973–982.
[12] OBERNBERGER, I., THEK, G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. Biomass and Bioenergy, 2004, vol. 27, p. 653–669.
[13] MICHELSEN, H. P., et al. Deposition and high temperature corrosion in a 10 MW straw fired boiler. Fuel Processing Technology, 1998, vol. 54, p. 95–108.
[14] TONN, B., et al. Leaching of biomass from semi-natural grasslands - Effects on chemical composition and ash high-temperature behaviour. Biomass and Bioenergy, 2012, vol. 36, p. 390–403.
[15] ČSN EN 14961-1. Tuhá biopaliva - Specifikace a třídy paliv - část 1: Obecné požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 56 p.
[16] Katalog hnědého uhlí [online], Severočeské doly a.s.. [cited 03 April 2012]. Available from:http://www.sdas.cz/files/sdas/kataloguhli2011-2012/Katalog_SD_2011_12.pdf.
[17] LEHTIKANGAS, P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy, 2001, vol. 20, p. 351–360.
[18] NHP100 New Holmen Portable Pellet Tester [online]. North Walsham: TekPro Limited, [cited 29 April 2011]. Available from: http://www.holmenfeed.com/UserData/en/Files/NHP100%20Manual%20Ver%2013%20-%20ENGLISH.pdf.
[19] FILBAKK, T., et al. The influence of storage and drying methods for Scots pine raw material on mechanical pellet properties and production parameters. Fuel Processing Technology, 2011, vol. 92, p. 871–878.
[20] THEERARATTANANOON, K., et al. Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw,and big bluestem. Industrial Crops and Products, 2011, vol. 33, p. 325–332.
[21] LEHTIKANGAS, P. Quality properties of pelletised sawdust,logging residues and bark. Biomass and Bioenergy, 2001, vol. 20, p. 351–360.
[22] ZAJONC, O., RACLAVSKÁ, H., JUCHELKOVÁ,D. Metodika stanovení nestandardizovaných mechanických vlastností pelet vyrobených na bázi směsných paliv.
[23] LINDLEY, J. A., VOSSOUGHI, M. Physical propertiesof biomass briquets. Trans. ASAE, 1989, vol. 32, no. 2, p. 361–366. in KALIYAN, N., MOREY, R. V. Densification of Biomass. 2008. ISBN 978-3-639-05185-8.
[24] KALIYAN, N., MOREY, R. V. Densification of Biomass. 2008. ISBN 978-3-639-05185-8.

***Kontaktní adresa:***

*Ing. Ondřej Zajonc*
*ENET-Energetické jednotky pro využití netradičních zdrojů energie*
*Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
*17.listopadu 15/2172*
*708 33 Ostrava-Poruba*
*email: ondrej.zajonc@vsb.cz*