

**PELETOVANIE TRÁVNATÉHO ODPADU****Ing. Peter Križan, PhD.; Ing. Miloš Matúš**

Ústav výrobných systémov, environmentálnej techniky a manažmentu kvality, Strojnícka fakulta STU Bratislava;  
 Nám. Slobody 17, 81231 Bratislava  
 email: [peter.krizan@stuba.sk](mailto:peter.krizan@stuba.sk)

*Cieľom príspevku je opísať experimenty zhutňovania trávnatého odpadu – seno, a potvrdiť vhodnosť použitia tohto typu materiálu pre získavanie energie. Rápidne sa znižujú množstvá drevných odpadov pre energetické využívanie a preto je potrebné nájsť náhradu, teda materiály s veľmi podobnou energetickou hodnotou. Máme veľmi veľké možnosti začať výraznejšie využívať materiály, ktoré sa spoločne nazývajú fytomasa. V tomto príspevku je opísaná fáza úpravy sena pred zhutňovaním, samotné skúšky zhutňovania a výsledky testovania výliskov z pohľadu mechanických ukazovateľov kvality výliskov (hustota výliskov, pevnosť výliskov, oter výliskov, tvrdosť výliskov).*

Kľúčové slová: fytomasa, seno, pelety zo sena, hustota výliskov, oter výliskov, pevnosť výliskov

**ÚVOD**

Trávnatý odpad – seno, sa ako zdroj energie využíva vo viacerých krajinách. Budovanie kotolní na túto fytomasu vo vyspelých krajinách bolo a je podporované z dôvodov životného prostredia a aj preto, že je to ekonomicky zaujímavé a takéto riešenie bioenergetiky poskytuje dodatočný zdroj príjmov. Trvalý trávnatý porast ako odpad je možné energeticky zhodnotiť niekoľkými technológiami. Veľmi ekonomicky zaujímavým spôsobom energetického zhodnotenia je priamo spaľovanie. Seno ako energetickú surovinu určujú nasledovné parametre a vlastnosti:

- Výhrevnosť [kWh/kg, GJ/t]
- Teplota horenia [°C]
- Teplota tavenia popola [°C]
- Vlhkosť [%]
- Objemová hmotnosť [m<sup>3</sup>/t]
- Energetický potenciál [GJ]

Spaľovanie sena je z hľadiska uvoľňovania emisií skleníkových plynov neutrálne a jeho výhrevnosť je približne 14-15 MJ na 1 kg. Výhrevnosť nie je konštantná, závisí na druhu a akosti sena, pričom akosť je ovplyvnená obsahom vody a fázou zberu sena. V porovnaní s hnedým uhlím je výhrevnosť sena takmer totožná a v niektorých prípadoch aj vyššia.



Obr. 1 Trávnatý odpad – seno pred kosbou (vľavo) a pokosené a vysušené seno (vpravo).

Seno sa ukazuje ako veľmi vhodné palivo z niekoľkých dôvodov:

- Seno má relatívne vysokú výhrevnosť, čím sa radí pred hnedé uhlie.
- Seno je energetickou surovinou, ktorá sa bez problémov každoročne produkuje.
- Seno patrí medzi stabilné obnoviteľné zdroje energie.

- Výroba energie spaľovaním sena je z hľadiska uvoľňovania emisií skleníkových plynov neutrálna.
- Využívanie sena na energetické účely znižuje závislosť organizácií na fosílnych palivách.
- Využívanie sena vytvára priestor pre vznik nových pracovných príležitostí.

### ÚPRAVA SENA PRED PELETOVANÍM

Parametre sena pre energetické využitie sú veľmi podobné parametrom obilnej slamy [2], z čoho vychádza možnosť rovnakej úpravy a spaľovania takéhoto materiálu. Obilná slama sa v súčasnosti využíva na energetické zhodnotenie vo väčšej miere v porovnaní so senom z dôvodu vyššej dostupnosti a potenciálu v podmienkach SR. Ale v prípade dostatočnej palivovej základne sena je možné tento materiál energeticky využiť rovnakými technológiami úpravy a spaľovania, využitím rovnakých strojných a spaľovacích zariadení ako v prípade slamy. Je potrebné uviesť, že energetické vlastnosti, ale predovšetkým chemické zloženie sena a slamy sa značne líši od drevnej biomasy, čo neumožňuje použitie rovnakej technológie spaľovania a spaľovacích zariadení.

Technológia energetického zhodnotenia trávnatého odpadu – sena, pozostáva z fázy zberu, úpravy a spaľovania. Pre podmienky zhodnotenia odpadu spaľovaním bude vo fáze zberu tento trávnatý porast pokosený a vysušený prirodzenou cestou priamo na ploche zberu. Následne je balíkován a uskladnený. Pred vstupom pripravenej suroviny do zhutňovacieho stroja je nutné balík rozdzružiť, seno dezintegrovat' na menšie častice a až následne je pripravené pre zhutňovanie.

Na našom pracovisku sme vykonali experiment, ktorý pozostával z viacerých fáz. V úvodnej časti sme rozdzruženú vzorku sena (viď. obr. 2) podrobili dezintegrácii, pretože ako je vidno z obrázka 2, seno nebolo optimálnej veľkosti frakcie. Pre dezintegráciu sme použili laboratórne dezintegračné zariadenie (nožový mlyn), obr. 4 a obr. 5. Nožové mlyny sú optimálne zariadenia na dezintegráciu odpadov z fytomasy. Odpad sa nenamotáva na pracovné nástroje zariadenia a je plynule dezintegrován na menšie častice.



Obr. 2 Vzorka sena pred dezintegráciou.



Obr. 3 Vzorka sena po dezintegrácii.

Seno posekané v pracovnej komore postupne prepadáva cez sito s veľkosťou ôk  $\varnothing$  5 mm, ktoré je umiestnené pod pracovným priestorom nožového mlynu. Pre dosiahnutie veľkosti frakcie vhodnej pre peletovanie sme vzorku posekali na nožovom mlyne 2-krát. Posekanú frakciu sena môžeme vidieť na predchádzajúcom obrázku 3.

Následujúcim krokom bolo zisťovanie vlhkosti dezintegrovanej vzorky sena. Presná metóda na zisťovanie obsahu vody vo vzorke je stanoviť ju ako úbytok hmotnosti vzorky po sušení v sušiarni, podľa normy DIN 51718 – Tuhé palivá – zistenie obsahu vody. Vlhkosť dezintegrovanej vzorky sena bola predbežne stanovená pomocou vlhkomera GMH 3830 a jej hodnota bola  $w_r = 7\%$ .

Z uskutočnených úprav vzorky trávnatého odpadu (sena) a z vykonaných analýz vzorky, a na základe skúseností a znalosti procesu zhutňovania (briketovanie, peletovanie), môžeme povedať že takto upravený a pripravený materiál je vhodný na lisovanie aj v briketovacích aj v peletovacích lisoch. V procese zhodnocovania sena bude teda nutné po rozdzružení balíkov, toto seno dezintegrovat' na nožovom mlyne. Takto upravené seno bude vhodné na briketovanie. Ak dezintegráciu zopakujeme, t.j. budeme mať dvojestupňovú dezintegráciu, budeme mať vstupný materiál (seno) vhodný aj pre technológiu peletovania. Vlhkosť vstupného materiálu je vhodná na

briketovanie aj na peletovanie. V prípade vyššej vlhkosti sena, t.z. nad 18 %, je nutné v procese zhodnocovania sena zabezpečiť vysušenie pomocou pásových alebo rúrových sušiacich zariadení.



Obr. 4 Vzorka sena pred dezintegráciou.



Obr. 5 Vzorka sena po dezintegrácii.

### PELETOVANIE TRÁVNATÉHO ODPADU

Pre potreby skúšania a testovania lisovateľnosti rôznych druhov materiálov, naše pracovisko disponuje laboratórnym peletovacím lisom (Obr. 6 a Obr. 7). Lis je určený testovanie lisovania rôznych druhov materiálov. Bol navrhnutý a skonštruovaný na našom pracovisku, s uvažovaním všetkých základných princípov procesu zhutňovania. Príkion peletovacieho lisu je 4 kW a výkon sa pohybuje v rozmedzí od 45 do 70 kg/hod. v závislosti od zhutňovaného druhu materiálu.

Účelom tejto skúšky je overiť lisovateľnosť danej vzorky vo viac-menej reálnych podmienkach, tzn. bez možnosti nastavenia optimálnych podmienok (lisovacej teploty, lisovacieho tlaku). Lisovali dezintegrovanú vzorku sena s veľkosťou frakcie najviac  $\varnothing$  4 mm s vlhkosťou 7%, pri teplote okolia cca 23-25°C. Na Obr. 8 sú vidieť pelety vylisované na tomto peletovacom lise.



Obr. 6 Pohľad na výstup z lisovacej hubice.



Obr. 7 Laboratórný peletovací lis.



Obr. 8 Pelety zo sena lisované na laboratórnym peletovacom lise [5].

### TESTOVANIE KVALITY ZLISOVANÝCH VÝLISKOV

Stanovenie hustoty výliskov (z dreva) sa vykonáva podľa normy DIN 52182 (prídavná norma k norme DIN 51731) [3]. Postup opísaný v tejto norme je možné využiť aj našom prípade. Hustota výliskov je najdôležitejším ukazovateľom kvality výliskov. Hustota výliskov je dôležitá z hľadiska ich manipulácie. Výlisky musia byť súdržné, aby nevznikali trhliny a neoddeľovali sa jemné častice. So zvyšovaním hustoty výliskov sa úmerne zvyšuje aj ich pevnosť. Výlisky s vyššou hustotou majú dlhšiu dobu horenia, čo je vzhľadom na ich primárnu úlohu ako paliva najvýznamnejšia vlastnosť. Vyššia hustota priaznivo ovplyvňuje tiež dlhotrvajúcu objemovú a tvarovú stálosť výlisku, ako aj znižuje schopnosť výlisku absorbovať vlhkosť zo vzduchu. Po vylisovaní sme umiestnili výlisk do stabilných klimatických podmienok. Pribežne meriame výlisk (jeho priemer, dĺžku a hmotnosť), avšak s týmito hodnotami ešte nie je možné ďalej pracovať. Dôvodom je dilatácia. Dilatácia je jav bežný, ale nevyhovujúci. Je nutné s ňou však uvažovať pri zisťovaní hustoty výliskov. Výlisk mení vplyvom dilatácie svoje rozmery. Proces dilatácie vzniká vplyvom uvoľnenia lisovacieho tlaku a v závislosti od vzájomnej interakcie lisovacej teploty, vstupnej vlhkosti lisovaného materiálu a vstupnej veľkosti frakcie. Na základe týchto hodnôt môže mať dilatácia charakter záporný aj kladný, t.z. rozmery výlisku sa môžu zväčšovať, ale tak isto aj zmenšovať. Menovaná norma uvažuje s dobou stabilizácie. To je doba, počas ktorej sa výlisk stabilizuje, dilatuje. Počas tejto doby výlisk pribežne meriame a vyhodnocujeme jeho hmotnosť. Ak sa v priebehu posledných 24 hodín zmení hmotnosť výlisku najviac o 0,1 %, pokladáme stav výlisku za ustálený. Pri stanovení hustoty výliskov postupujeme nasledovne: na vzorke zmeriame s presnosťou 1 % geometrické rozmery vzorky (priemer, dĺžku). Zmeriame aj hmotnosť vzorky  $m_n$  (kg alebo g). Z nameraných geometrických rozmerov vypočítame objem vzorky  $V_n$  (dm<sup>3</sup> alebo cm<sup>3</sup>). Z takto určených hodnôt vypočítamemernú hustotu vzorky  $\rho_n$  (g.cm<sup>-3</sup> alebo kg.dm<sup>-3</sup>). Výsledky testovania hustoty peliet zo sena je možné vidieť v Tab.1.

Oter sa bežne stanovuje len pre pelety, t.j. pre výlisky rozmerovej rady HP4 a HP5 normy DIN 51731, DIN Plus a pre pelety rozmerovej rady HP1, HP2, RP1, RP2 normy ÖNORM M 7135 [4]. Oter je dôležitým parametrom praktického posúdenia kvality. Tieto normy predpisujú jeho hodnoty, ako aj spôsob jeho určenia. Oter súvisí s požiadavkou zamedziť vzniku prachových častíc v procese automatizovanej dopravy takéhoto paliva a tým zamedziť výbuchu prachových častíc v procese horenia. Meranie oteru brikiet sa bežne nepoužíva, existuje však na jeho stanovenie norma STN 44 1309 „Stanovenie oteru brikiet“.

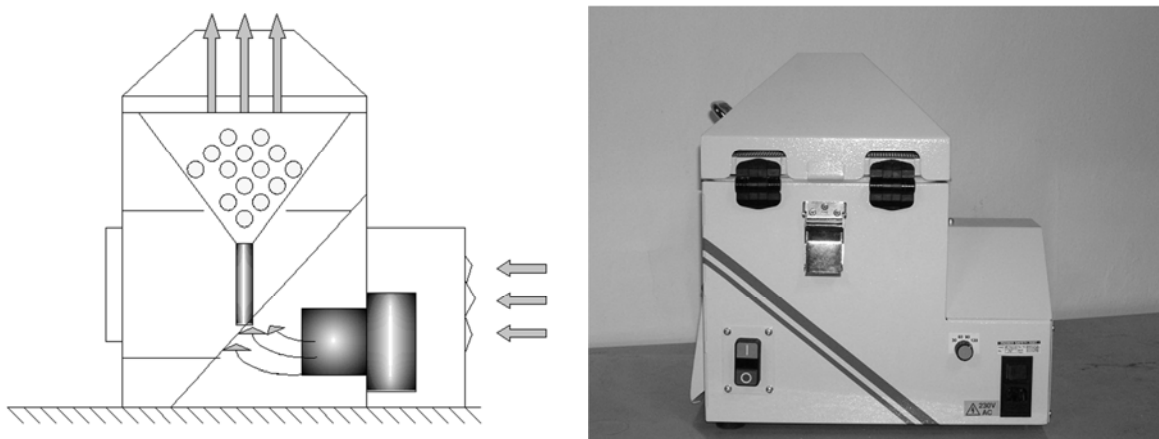
Stanovenie tohto ukazovateľa kvality peliet je jednoduché a rýchle. Skúška oteru sa robí na zariadení Lignotester (LT – II alebo NHP 100), Obr. 9. Pelety sa musia skúšať zbavené prachových častíc. Pred skúškou sa preto odsutie z peliet jemný podiel (pomocou laboratórneho sita s veľkosťou ôk 3,15 mm podľa ISO 3310-1). Naváži sa 100g ± 0,5g peliet, ktoré sa vložia do prístroja, tzv. Ligno Tester, kde sú pri tlaku 70 mbar omieľané 60 sekúnd v prúde vzduchu. Takto sú pelety namáhané podobne ako pri transporte, nárazom a trením medzi sebou a o steny zariadenia. Oter sa stanoví výpočtom z úbytku hmotnosti materiálu v %, podľa nasledovného vzťahu. Táto skúška sa vykoná 5 krát a výsledný oter sa stanoví ako aritmetický priemer výsledkov jednotlivých skúšok.

Výpočet oteru [1]:

$$AR = \frac{m_E - m_A}{m_E} \cdot 100 \quad (1)$$

kde:  $AR$  – oter (%),  
 $m_E$  – hmotnosť peliet pred skúškou (kg),  
 $m_A$  – hmotnosť peliet po skúške (kg).

Akceptovateľná odchýlka aritmetického priemeru od hraničnej hodnoty je 0,2 %. Maximálna dovolená hodnota oteru je podľa normy ÖNORM M 7135 resp. normy DIN Plus  $AR_{\max}=2,3$  %. Výsledky testovanie oteru peliet zo sena je vidieť v Tab.2.



Obr. 9 Prístroj na stanovenie oteru peliet – Lignotester [1].

Tvrdosť peliet obyčajne súvisí s kvalitou zhutňovania. V zásade tvrdšie pelety sú kvalitnejšie. Pritom sa takéto pelety vyznačujú aj väčšou mernou váhou a teda aj väčšou „hustotou“ energie. Myslí sa tým, pri rovnakom objeme peliet, vyššia výhrevnosť peliet. Tvrdosť je možné jednoducho preveriť tzv. skúškou ponoru peliet do vody. Pelety s vyššou hustotou ( $> 1 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) sa musia ponoriť. Keď sa pelety ponorené do vody rozpadnú do 5 minút, ide o veľmi nízku kvalitu. Pri rozpade peliet do 15 minút, jedná sa o strednú kvalitu a pri rozpade nad 20 minút považujeme pelety za kvalitné.

Inou možnosťou na testovanie tvrdosti peliet je použiť zariadenie na testovanie tvrdosti od firmy KAHL (Obr. 10). Peleta je vložená do pracovného priestoru zariadenia medzi tvarované lisovadlo a lisovník. Zariadenie vyvíja silu na peletu až do porušenia výlisu. Zaznamenáva sa sila, ktorou sa rozdrví peleta. Takýmto zariadením však naše pracovisko nedisponuje, takže tvrdosť peliet sme preverili skúškou ponoru.



Obr. 10 Zariadenie na testovanie tvrdosti peliet od firmy KAHL [1].

Tab. 1 Namerané a vypočítané parametre peliet [5].

Vzorka č.: (a)	Dĺžka [mm]	Priemer [mm]	Hmotnosť [g]	V [mm <sup>3</sup> ]	ρ [kg/dm <sup>3</sup> ]
1	31,61	8,26	1,97	1693,8	1,1630
2	31,64	8,18	2	1662,8	1,2028
3	31,76	8,46	1,97	1785,3	1,1035
4	33,31	8,35	2,06	1824,1	1,1294
5	27,54	8,28	1,73	1482,9	1,1666
6	30,35	8,46	1,91	1706,0	1,1196
7	28,67	8,18	1,82	1506,7	1,2079
8	31,3	8,13	2,01	1624,9	1,2370
9	32,99	8,28	2,07	1776,4	1,1653
10	32,42	8,41	2,01	1800,9	1,1161
11	30,29	8,35	1,87	1658,7	1,1274
12	31,98	8,27	2,05	1717,8	1,1934
13	30,54	8,17	1,87	1601,0	1,1680
14	32,82	8,41	2,01	1823,1	1,1025
15	29,38	8,38	1,89	1620,4	1,1664
16	29,58	8,38	1,86	1631,5	1,1401
17	30,37	8,14	1,95	1580,5	1,2338
18	30,65	8,26	1,94	1642,4	1,1812
19	31,58	8,25	2,01	1688,1	1,1907
20	29,92	8,19	1,93	1576,2	1,2244
<b>ā</b>					<b>1,1670</b>

Tab. 2 Namerané a vypočítané parametre peliet pri testovaní oteru [5].

Vzorka č.: (a)	hmotnosť m <sub>E</sub> [g]	hmotnosť m <sub>A</sub> [g]	oter AR [%]
1	100,330	98,250	2,073
2	99,79	97,47	2,325
3	100,43	98,24	2,181
4	99,82	98,03	1,793
5	100,06	97,63	2,429
<b>ā</b>			<b>2,16</b>

Akceptovateľná odchýlka aritmetického priemeru od hraničnej hodnoty je 0,2 %. Maximálna dovolená hodnota oteru je podľa normy ÖNORM M 7135 resp. normy DIN Plus  $AR_{max}=2,3 \% > 2,16 \%$ . [5]

Skúška tvrdosti ponorom (viď. nasledujúci Obr. 11):

- ▶ po vložení peliet do pohára s vodou, pelety ihneď klesli na dno => hustota peliet  $> 1 \text{ kg/dm}^3$ ;
- ▶ čas rozpadu bol zaznamenaný => 12 minút a 18 sekúnd => stredná kvalita peliet



Obr. 11 Pelety zo sena – skúška tvrdosti ponorom [5].

## ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo prezentovať výsledky experimentu, ktorý bol realizovaný na našom pracovisku. Vykurovanie spaľovaním peliet vyrobených zo sena (trávnateho odpadu) je investične náročnejší spôsob výroby tepla z takéhoto paliva. Záverom môžeme konštatovať, že z pohľadu výroby peliet zo sena je tento druh materiálu bezproblémový, ľahko upraviteľný (veľkosť frakcie, vlhkosť) a jednoducho peletovateľný. Zasa na druhej strane boli zaznamenané určité komplikácie pri spaľovaní peliet. Tieto súvisia s nízkym bodom tavenia čo spôsobuje spekanie na činných častiach kotlov, ale aj s chemickým zložením sena, resp. všetkých druhov fytomasy. To spôsobuje vyššie nároky na materiálové úpravy vnútorných častí kotlov. V porovnaní s drevným odpadom boli zaznamenané teda opačné vlastnosti. Drevné pelety síce ľahšie spálime, avšak ťažšie vyrobíme.

Na strane druhej biopalivo vo forme peliet prináša celý rad výhod. Tým základným pozitívom je komfort automatizovaného procesu spaľovania a jeho vysoký stupeň regulácie. Ďalšou výhodou takéhoto biopaliva je skladovanie. Takéto ušľachtilé biopalivo je stále, neabsorbujeme atmosférickú vlhkosť a neprebiehajú v ňom degradačné procesy ako v nespracovanom sene, čím sa dlhodobo zachovávajú jeho energetické vlastnosti. Medzi výhody skladovania peliet patria tiež nižšie priestorové nároky v porovnaní s balíkmi sena vďaka vyššej hustote a vyššej energetickej hodnote viazanej na objem paliva.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol vytvorený realizáciou projektu „Vývoj progresívnej technológie zhutňovania biomasy a výroba prototypov a vysokoproduktívnych nástrojov“ (ITMS kód Projektu: 26240220017), na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KRIŽAN, P.: *Proces lisovania drevného odpadu a koncepcia konštrukcie lisov*, Dizertačná práca, ÚSETM, SjF STU v Bratislave, Júl 2009, str. 150
- [2] VŠCHT Praha (Ústav energetiky) - Analýza brikiet zo sena, pšeničnej slamy a topola

- [3] DIN Plus: 2002 Certification Scheme. *Wood pellets for use in small furnaces*. Berlin, Germany. DIN CERTCO - Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH
- [4] Ö-Norm M 7135:2000 *Compressed wood or compressed bark in natural state-pellets and briquettes, requirements and test specifications*. Vienna, Austria: Österreichisches Normungsinstitut
- [5] ŠOOŠ, L.; URBAN, F.; MATÚŠ, M.; KRIŽAN, P.; ONDRUŠKA, J.; BIATH, P.: *Expertná analýza energetického zhodnotenia trávnatého odpadu pre spoločnosť Letisko Košice-Airport Košice, a.s.* – Bratislava : STU v Bratislave SjF, 2011. - 86 s.