



Výskum vlastností kompozitného paliva zo zmesi fyto­masy a dendromasy

Miloš MATUŠ^{,1}, Peter KRIŽAN¹, Juraj BENIAK¹, Jozef BÁBICS¹*

¹ Slovenská technická univerzita v Bratislave, Strojnícka fakulta, Nám. slobody 17, 81231 Bratislava, Slovenská republika

* **Email:** milos.matus@stuba.sk

Tlak na diverzifikáciu surovínovej základne tuhých biopalív vo svete neustáva. Obrovský no doposiaľ málo využívaný energetický potenciál predstavuje odpad z poľnohospodárskej produkcie a následného spracovania. Využitie takéhoto rastlinného odpadu prináša mnohé technické problémy. Príspevok je orientovaný na výskum zvyšovania fyzikálnych a mechanických ukazovateľov kvality kompozitných peliet na báze zmesi slnečnicových šupiek a smrekových pilín. Realizované experimenty preukázali, že zvyšovaním podielu drevnej hmoty v slnečnicových šupkách je možné takúto homogenizovanú zmes nielen úspešne transformovať do paliva vo forme peliet (pri čistých šupkách to predstavuje značný problém), ale zvyšujú sa aj kvalitatívne parametre samotného paliva.

Kľúčová slova: pelety, biomasa, kompozitné palivo, slnečnicové šupky

1 Úvod

Každý druh lisovaného materiálu má svoje špecifické vlastnosti. Spracovávané materiály sa líšia svojou stavbou a zložením, čo vplýva na všetky termické a mechanické parametre procesu ich zhutňovania. Pre výrobu tuhých biopalív sa používa ako zdroj suroviny najčastejšie mäkké a tvrdé drevo, kôra, energetické plodiny (napr. rýchlorastúce dreviny) a fyto­masy.

Oblasť zhutňovania fyto­masy pre energetické účely ešte nie je veľmi rozvinutá, častejšie sa fyto­masy využíva ako surovina pre splyňovanie. Dôvodom je rozdielne chemické zloženie fyto­masy, ktoré vytvára v porovnaní s dendromasou určité obmedzenia pri spaľovaní. V súčasnosti sa pre výrobu tuhých biopalív z fyto­masy využíva ako surovina poľnohospodársky odpad, ale v poslednom čase aj celé plodiny obilnín (slama spolu so zrnom). V porovnaní s drevom má fyto­masy oveľa vyšší obsah popola. Taktiež sa musia veľmi pozorne sledovať koncentrácie dusíka, síry a chlóru, ktoré spôsobujú spaľovacím zariadeniam vážne problémy. Ďalším kritickým aspektom využitia fyto­masy ako suroviny pre tuhé biopalivá je jej nízka teplota tavenia popola [1] a zvýšené množstvo popolčeka a aerosólových emisií [2]. Z uvedených dôvodov nie je vhodné využitie takýchto biopalív pre malé spaľovacie zariadenia. Východiskom sa javí zmiešanie fyto­masy s drevnou surovinou za účelom produkcie tuhých biopalív s vhodnými kvalitatívnymi vlastnosťami. Vhodné zmesi týchto surovín môžu viesť k zníženiu alebo dokonca eliminácii uvedených problémov. Ďalším riešením sa ukazuje pridávanie aditív ako hydroxid hliníka, kaolín, oxid vápenatý či vápenec. Výsledkom je



zvýšenie teploty tavenia popola a redukcia tvorby trosky. Zároveň tieto aditíva vedú aj k zvyšovaniu mechanických ukazovateľov kvality. Napriek tomu sa ukazuje, že zmesné biopalivá fytohmoty a dendromasy nachádzajú širšie uplatnenie len pre veľké spaľovacie zariadenia.

Avšak, čo sa týka procesu výroby tuhých biopalív, má fytohmota svoje prednosti. Ekonomickou výhodou je jej vysoká dostupnosť a nízka cena. Z výsledkov prác sú pre zhutňovanie fytohmoty potrebné výrazne nižšie lisovacie tlaky na dosiahnutie rovnakej hustoty výliskov ako pre dendromasu. Súčasne je možné zníženie energetických nákladov na sušenie suroviny, pokiaľ sú dodržané podmienky jej zberu a skladovania v suchom stave.

2 Materiál a použité metódy

Experiment je zameraný na výskum vlastností kompozitných peliet vyrobených z rôznych pomerov zmesi fytohmoty - šupky zo slnečnicových jadier (len slamený obal, nie výlisky jadier) a dendromasy - smrekové piliny. Cieľom výskumu je vplyv rôznych hmotnostných pomerov slnečnicových šupiek a drevených pilín na fyzikálne a mechanické ukazovatele kvality peliet z nich vyrobených. Medzi ukazovatele kvality tuhých ušľachtilých palív, ktorých závislosť na pomere surovín sa skúmala, patria hustota, sypná hmotnosť, vlhkosť, mechanická odolnosť a tvrdosť.



Obr. 1 Vstupné suroviny – slnečnicové šupky a smrekové piliny

Experiment uvažuje s piatimi hmotnostnými pomermi zmesí uvedenými v tabuľke 1. Z každej zmesi bolo vyprodukovaných pre potreby experimentov 25 kg peliet.

Tabuľka 1 Hmotnostný pomer surovín v peletovaných zmesiach

Zmes	Hmotnostný pomer (%)		Vlhkosť zmesi pred peletovaním (%)
	Slnečnicové šupky	Smrekové piliny	
1	100	0	8,96
2	90	10	8,90
3	80	20	8,80
4	70	30	8,78
5	60	40	8,73



Tabuľka 2 Frakčné zloženie suroviny

Veľkosť častíc (mm)	Hmotnostný podiel (%)	
	Slniečnicové šupky	Smrekové piliny
≥ 4,00	21,04	2,56
2,00 - < 4,00	14,92	12,69
1,00 - < 2,00	37,53	35,92
0,50 - < 1,00	18,89	26,06
< 0,50	7,62	22,77

Príprava materiálu spočíva v presnom navážení pomerov jednotlivých zložiek zmesí a ich výraznej homogenizácii. Nakoľko frakčné zloženie u oboch surovín (Tabuľka 2) ako aj ich relatívna vlhkosť (Tabuľka 1) je vyhovujúce, nebolo potrebné surovinu upravovať. Proces peletovania prebiehal na produkčnom peletovacom lise KAHL 33-390 za ustálených podmienok lisovania.



Obr. 2 Pelety jednotlivých zmesí rôznych hmotnostných pomerov surovín - slnečnicové šupky: smrekové piliny

3 Výsledky experimentu

Fyzikálne a mechanické vlastnosti peliet výrazným spôsobom ovplyvňujú kvalitu samotného paliva. Vplývajú na jeho stabilitu, prašnosť a priestorovú náročnosť pri transporte, manipulácii a skladovaní, ako aj na energetickú hustotu paliva. Na hodnotenie kvality kompozitného paliva boli použité normou definované postupy kvantifikácie jednotlivých parametrov.

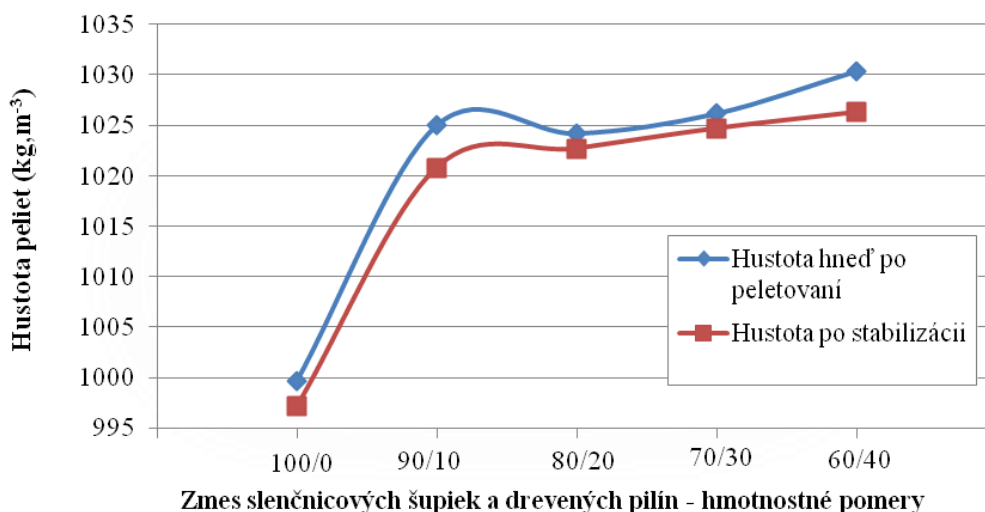
3.1 Hustota kompozitných peliet

Z každého pomeru zmesi bolo ihneď po peletovaní náhodne vybraných 10 peliet a každá z nich bola podrobená meraniu jej základných rozmerov (dĺžka a priemer) a hmotnosti.



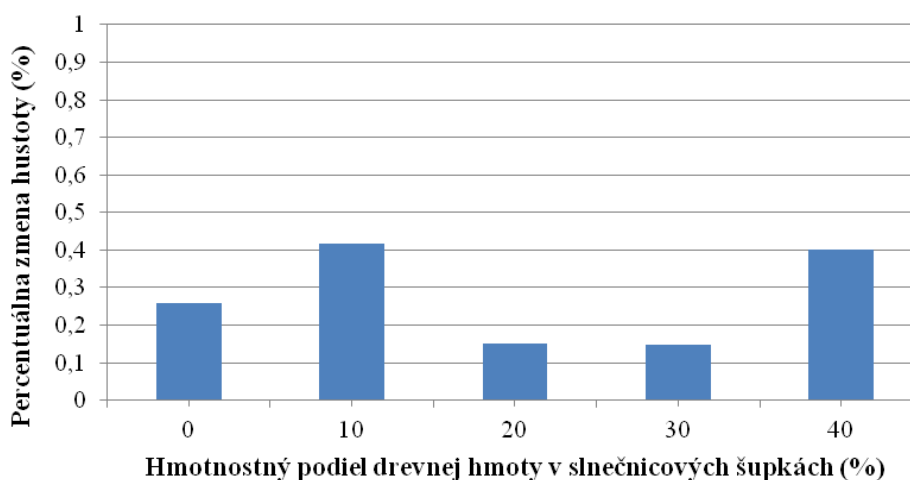
Výsledná hodnota hustoty bola vypočítaná ako aritmetický priemer nameraných hodnôt hustoty. Rovnaký postup bol vykonaný aj po vychladnutí a stabilizácii peliet (48 hodín).

Na základe výsledkov možno konštatovať, že zvyšovaním sa podielu drevených pilín v zmesi rastie hustota výliskov (obr. 3). Vo všeobecnosti platí pre drevné pelety, že so zvyšovaním hustoty peliet z drevnej hmoty rastie aj ich pevnosť. Vyššia hustota výliskov taktiež priaznivo vplyva na tvarovú a objemovú stálosť výliskov.



Obr. 3 Závislosť hustoty peliet od nárastu podielu drevnej zložky v zmesi

Pri zhutňovaní biomasy dochádza k dilatácii výliskov, preto sa musí počítať s určitou dobou ich stabilizácie po vylisovaní. Pri rôznych materiáloch a lisovacích podmienkach je možné sa stretnúť s dvoma typmi dilatácie, a to dilatácia prejavujúca sa poklesom alebo nárastom hustoty výlisku. Pri experimente bola pozorovaná dilatácia ako pokles hustoty výliskov pri každom pomere zmesi. Maximálna percentuálna zmena hustoty peliet po stabilizácii predstavuje len 0,5 %, čo znamená, že výlisky sú stabilné a dilatácia mala len nepatrný vplyv na zmenu hustoty (Obr. 4).



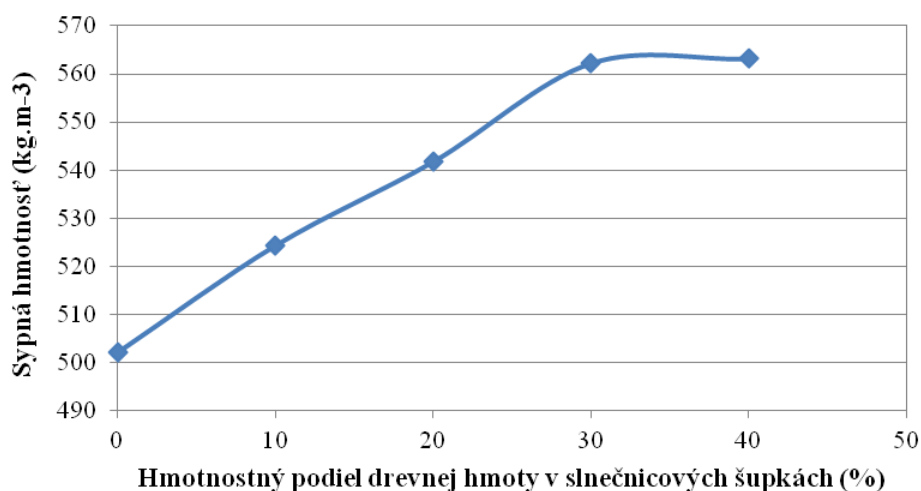
Obr. 4 Percentuálna zmena hustoty peliet po stabilizácii



3.2 Sypná hmotnosť kompozitných peliet

Sypná hmotnosť predstavuje pomer hmotnosti biopaliva nasypaného do určitého objemu. Je závislá od hustoty častíc biopaliva a objemu pórov nasypaného biopaliva. Sypná hmotnosť tuhých biopalív ako jeden zo základných ukazovateľov ich kvality je daná platnou normou STN EN ISO 17225:2014-11.

Experimentom sa jednoznačne preukázalo, že pridávaním drevených pilín do fytohmoty rastie hodnota sypnej hmotnosti peliet. Z výsledkov hodnotenia sypnej hmotnosti uvedených na Obr. 5 možno konštatovať, že zvyšovanie podielu drevnej zložky v kompozitnom palive nemá význam nad 30 % hmotnostného pomeru. Vzhľadom na cenu vstupných surovín je ekonomicky výhodné minimalizovať podiel drevnej zložky paliva.



Obr. 5 Sypná hmotnosť kompozitných peliet

3.3 Tvrdosť kompozitných peliet

Tvrdosť peliet predstavuje kvalitatívny údaj o výliskoch. Vo všeobecnosti platí že tvrdšie výlisky sú kvalitnejšie. Minimálnu hodnotu tvrdosti peliet síce norma STN EN ISO 17225:2014-11 neudáva a producenti ju povinne v protokoloch o palive udávať nemusia. Hodnota tvrdosti však predstavuje informáciu o kvalite výliskov, ktorá úmerne súvisí s ich pevnosťou, hustotou a mechanickou odolnosťou. Kvantifikovanie tvrdosti peliet využívajú producenti a obchodníci pre jednoduché a rýchle overovanie kvality výliskov.

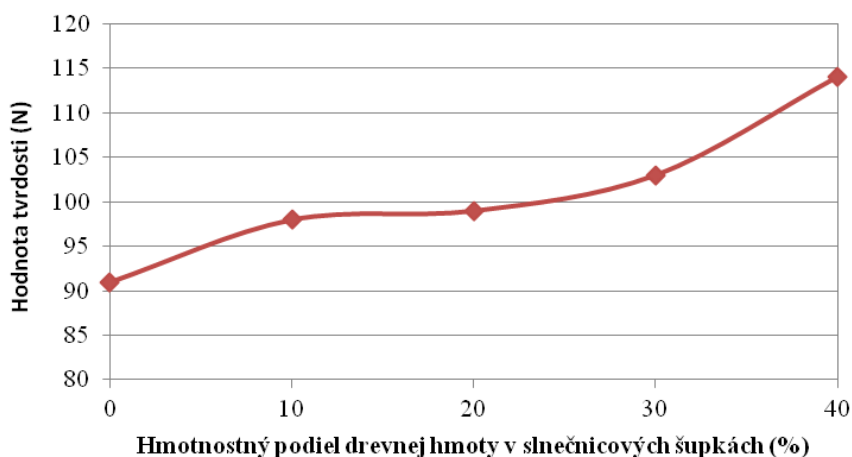
Na testovanie tvrdosti peliet bolo použité zariadenie od firmy KAHL (obr. 6). Výlisok je vložený do pracovného priestoru zariadenia medzi tvarované lisovadlo a lisovník. Zariadenie vyvíja silu na výlisok až do porušenia výlisku. Zaznamenáva sa sila, ktorou sa rozdrví výlisok.

Meranie a vyhodnocovanie tvrdosti vyprodukovaných kompozitných peliet bolo realizované desiatimi opakovaniami merania a výsledná hodnota predstavuje ich aritmetický priemer.



Obr. 6 Použité zariadenie na testovanie tvrdosti peliet od firmy KAHL

Na Obr. 7 možno pozorovať, že so zvyšovaním podielu drevených pilín v peletách výrazne rastie aj ich tvrdosť. Podľa očakávania, najvyššiu tvrdosť dosahujú pelety s najvyšším skúmaným podielom dreva (40 %).



Obr. 7 Tvrdosť kompozitných peliet

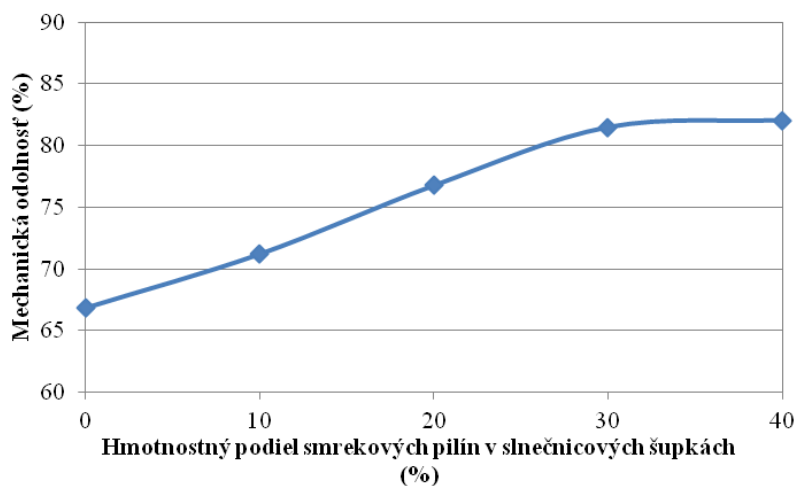
3.4 Mechanická odolnosť kompozitných peliet

Mechanická odolnosť je jeden z najvýznamnejších ukazovateľov kvality tuhých biopalív udávaných normou STN EN ISO 17225. Mechanická odolnosť definovaná normou STN EN ISO 16559 predstavuje odolnosť zhrteného biopaliva (brikiet a peliet) voči otrasom a/alebo oteru v dôsledku manipulácie a prepravy. Veľké množstvo jemných častíc môže totiž viesť ku kľembovaniu paliva v skladovacích zariadeniach spotrebiteľa, a tým spôsobiť zastavenie dodávky paliva do kotla. Rovnako môže nadmerné množstvo jemných častíc spôsobiť zablokovanie podávacej závitovky. Toto je hlavný dôvod, prečo je kladený taký veľký význam na nízky podiel jemných častíc pri skladovaní biopaliva. Okrem toho zvyšovaním množstva jemných častíc v procese spaľovania sa zvyšuje aj podiel tuhých častíc v emisiách, čomu je potrebné sa vyhnúť z ekologického hľadiska. Vysoké množstvo jemných častíc vplyva na sypnú hustotu a zvyšuje straty počas prepravy a tiež zvyšuje prachové emisie pri manipulácii s palivom. Navyše je potrebné zdôrazniť, že prach môže spôsobiť explózie počas skladovania či manipulácie.

Na základe experimentu sa jednoznačne preukázalo, že zvyšovaním podielu drevených pilín v kompozitných peletách sa výrazne zvyšuje aj hodnota mechanickej odolnosti. Tento



výrazný nárast je možné pozorovať až po zmes s obsahom drevnej zložky 30 %. Pri vyššom pomere drevnej zložky (40 %) sa hodnoty mechanickej odolnosti výrazne nemenia. Mechanická odolnosť peliet produkovaných čisto zo slnečnicových šupiek má hodnotu 66,88 %, teda po skúške obsahuje veľa prachových častíc, čo vedie k potenciálnym technickým a bezpečnostným problémom. Avšak pridávaním drevnej zložky sa významne redukoval podiel prachových častíc, a tým sa dosahuje uplatniteľnosť a energetické využitie potenciálu slnečnicových šupiek ako odpadovej suroviny. Z výsledkov experimentu vyplýva optimum pomeru slnečnicových šupiek a drevených pilín v hmotnostnom pomere 70:30.

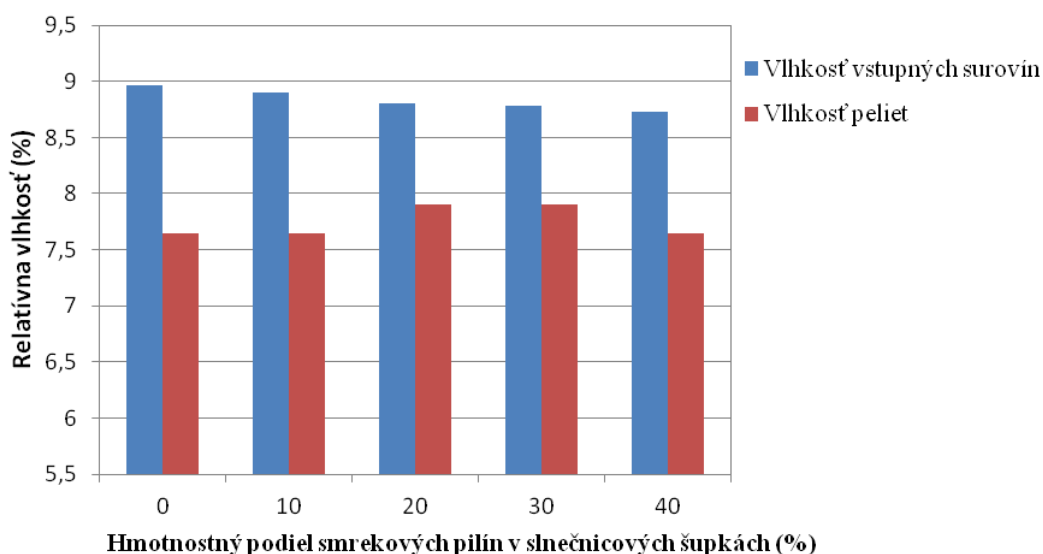


Obr. 8 Mechanická odolnosť kompozitných peliet

3.5 Vlhkosť kompozitných peliet

Vlhkosť paliva je hmotnostný podiel vody obsiahnutý v palive a má najväčší vplyv na ostatné ukazovatele kvality tuhých biopalív. Norma

STN EN ISO 17225 udáva najvyššiu dovolenú hodnotu vlhkosti výliskov 10 %. Počas procesu peletovania je možné riadne zvyšovať vlhkosť suroviny - zmesi vstupujúcej do lisovacej komory peletovacieho lisu, v záujme dosiahnutia najvyššej kvality produkovaných peliet pri ostatných nemenných podmienkach procesu. Graf na Obr. 9 uvádza hodnoty optimálnej vlhkosti jednotlivých zmesí suroviny vstupujúcej do lisovacej komory peletovacieho lisu a zároveň uvádza hodnoty vlhkosti peliet po stabilizácii (48 hod.). Z grafu je zrejmé, že s nárastom podielu drevnej hmoty dochádza k miernemu znižovaniu rozdielu vlhkosti peletovanej suroviny a hotových peliet. Vlhkosť peletovanej suroviny bola pri jednotlivých zmesiach približne rovnaká (približne 8,8 %), podobné sú aj hodnoty vlhkosti peliet jednotlivých zložení po stabilizácii (približne 7,7 %). Priemerný pokles relatívnej vlhkosti v procese peletovania je iba okolo 1,1 %.



Obr. 9 Vlhkosť peletovaných zmesí tesne pred vstupom do lisovacej komory a vlhkosť kompozitných peliet po stabilizácii (48 hod.)

4 Záver

Výsledky realizovaných experimentov zhrnuté v tabuľke 3 jednoznačne preukázali, že zvyšovaním hmotnostného podielu smrekových pilín pridávaných do kompozitného biopaliva, ktorého nosnou maticou sú slnečnicové šupky, sa výrazne zvyšujú aj jednotlivé kvalitatívne ukazovatele tohto biopaliva. Výskum dokázal, že slnečnicové šupky, ako aj iné druhy fytomasy, ktoré sú pre výrobu peliet dosahujúcich vhodné hodnoty fyzikálno-mechanických ukazovateľov kvality pre energetické využitie nepoužiteľné, je možné transformovať do biopaliva s výrazne vyššou kvalitou a lepšími vlastnosťami primiešaním drevnej zložky. Takéto kompozitné palivo dosahuje uplatniteľnosť a konkurencieschopnosť pre energetické využitie potenciálu fytomasy, ktorá by v opačnom prípade ostala nevyužitou odpadovou surovinou.

Veľmi dôležité je taktiež navrhnúť optimálne materiálové zloženie suroviny pre produkciu konkurencieschopného kompozitného paliva s ohľadom na minimalizáciu vstupných nákladov. Z nameraných hodnôt je možné konštatovať, že optimálny hmotnostný pomer slnečnicových šupiek a drevených pilín je 70:30. Ďalším zvyšovaním podielu drevnej zložky sa výrazne nezvyšujú hodnoty sypnej hmotnosti a mechanickej odolnosti. Hodnoty vlhkosti a hustoty sú pre jednotlivé hmotnostné pomery kompozitných zmesí porovnateľné. Odlišné hodnoty hustoty dosahujú výlisky z čistej fytomasy. Tvrdosť peliet sa pridaním 30 % hmotnostného podielu drevnej zložky výrazne zvýšila. Z výsledkov je zrejmé, že zvyšujúcim sa podielom drevnej hmoty budú aj naďalej narastať kvalitatívne ukazovatele tohto biopaliva, avšak treba brať ohľad aj na minimalizáciu podielu dreva, pretože drevná surovina je výrazne drahšia ako odpadová surovina z fytomasy, ktorú by inak nebolo možné energeticky efektívne využiť.

Pre zlepšenie kvality takéhoto tuhého kompozitného biopaliva by bolo navyše vhodné zmeniť tlakové pomery lisovacieho kanála tak, aby narástla lisovacia sila. Toto je možné dosiahnuť zmenou geometrických parametrov lisovacieho kanála. Aplikácia týchto opatrení predpokladá pozitívne zvyšovanie jednotlivých ukazovateľov kvality tuhého kompozitného paliva, čo môže byť námetom na nadväzujúci výskum.



Tabuľka 3 Ukazovatele kvality tuhých kompozitných biopalív

Pomer Slniečnicové šupky : smrekové piliny	Vlhkosť (%)	Hustota hneď po peletovaní (kg.m ⁻³)	Hustota po ustálení (kg.m ⁻³)	Sypná hmotnosť (kg.m ⁻³)	Mechanická odolnosť (%)	Tvrdosť (N)
100:0	7,65	999,7	997,1	501,9	66,9	91
90:10	7,65	1025,0	1020,8	524,2	71,2	98
80:20	7,90	1024,2	1022,7	541,7	76,8	99
70:30	7,91	1026,2	1024,7	562,2	81,5	103
60:40	7,64	1030,4	1026,3	563,2	82,0	114

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol v rámci realizácie projektu “Výskum a vývoj progresívneho kompozitného paliva na báze odpadovej fytohmoty a návrh technológie na jeho priemyselnú produkciu (FILIP)” podporeného prostredníctvom Grantovej schémy v rámci Programu na podporu tímových projektov mladých výskumníkov v podmienkach Strojníckej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Použitá literatúra

- [1] Hering, T., 2006. emissionvergleich verschiedener Biomasse Brennstoffe. Linz, Austria, O.O. Energiesparverband.
- [2] BIOBIB, 2003. <http://www.vt.tuwien.ac.at>, Vienna: Institute of Chemical Engineering, Fuel and Environmental Technology, Vienna University of Technology.
- [3] DONGHUI, Lu; LOPE G., Tabil. 2014. *Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders*. In *Biomass Bioenergy* [online]. 2014, pages 287-296.
- [4] KRIŽAN, P.; SVÁTEK, M. 2014. *Výskum procesu zhutňovania rôznych druhov biomasy*. 1.vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita, 2014. 180 s. ISBN 978-80-89313-60-0.
- [5] MATÚŠ, M.; KRIŽAN, P. 2011. *Hodnotenie kvality tuhých biopalív v európskom priestore*. In *Energie z biomasy XII : Sborník príspevků ze semináře*. Brno, 23.-24.11. 2011. Brno : Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství, 2011, s.85-92. ISBN 978-80-214-4403-4.