Expertná analýza zhutňovania slnečnicových šupiek

Peter KRIŽAN[1,*], *Miloš MATÚŠ*[1], *Juraj BENIAK*[1], *Marek BALÁŠ*[2], *Martin LISÝ*[2]

[1] *Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Ústav výrobných systémov, environmentálnej techniky a manažmentu kvalitu, Námestie Slobody 17, 81231 Bratislava, Slovensko*
[2]*Fakulta Strojního Inženýrství VUT v Brně, Energetický ústav, Technická 2896/2, 61669 Brno, Česká Republika*

*** Email:** peter.krizan@stuba.sk

Cieľom tohto príspevku je prezentovať výsledky výskumu definovania základných vzťahov medzi technologickými a materiálovými parametrami počas zhutňovania slnečnicových šupiek. Vo všeobecnosti je proces zhutňovania ovplyvňovaný viacerými parametrami, ktoré významne ovplyvňujú aj výslednú kvalitu výliskov. Tieto parametre ovplyvňujú jednak proces samotnej úpravy a spracovania slnečnicových šupiek, zhutňovanie, ale aj energetické zhodnocovanie výliskov zo slnečnicových šupiek. V prípade zhutňovania slnečnicových šupiek je základným problémom charakter materiálu, jeho zloženie a štruktúra. Preto je veľmi dôležitou výskumnou úlohou definovať vzájomné vzťahy medzi ovplyvňujúcimi parametrami a kvantifikovať ich vplyv na výslednú kvalitu výliskov. Hlavným cieľom výskumnej úlohy je stanoviť vplyv lisovacieho tlaku, vplyv lisovacej teploty a vplyv veľkosti vstupnej frakcie na výslednú kvalitu výliskov. Výsledky výskumu prezentované v predloženom príspevku boli získané jednoosovým lisovaním na vertikálnom experimentálnom stende a taktiež lisovaním prostredníctvom peletovacieho lisu s dokovou matricou. Vplyv uvedených parametrov bol vyhodnocovaný vzhľadom k výslednej hustote výliskov, čo je jedene zo základných ukazovateľov kvality výliskov. Taktiež bola stanovená dilatácia výliskov. Stanovenie vzájomným interakcií medzi ovplyvňujúcimi parametrami poukazujú na dôležitosť a opodstatnenosť realizovaného výskumu, jednak z pohľadu produkcie výliskov ale aj z pohľadu návrhu konštrukcie zhutňovacích strojov.

Kľúčové slová: biomasa, fytomasa, slnečnicové šupky, zhutňovanie, hustota výliskov, lisovací tlak, lisovacia teplota, veľkosť frakcie

1 Úvod

V rôznych projektoch je možné sa stretnúť aj s rôznymi druhmi lisovaných materiálov a konštrukcie zhutňovacích strojov musia byť schopné daný materiál zhutniť. S rozvojom technológie energetického zhodnocovania biomasy a s postupným znižovaním množstiev využiteľnej drevnej biomasy, rastú aj požiadavky na spracovanie iných druhov biomasy, napr. rôzne druhy fytomasy [8]. Cieľom prezentovanej expertnej analýzy je na základe teoretických znalostí a na základe realizovaných experimentov definovať vplyv technologických parametrov technológie zhutňovania a vplyv mechanickej úpravy zhutňovaného materiálu (slnečnicové šupky) na výslednú kvalitu výliskov. Tieto ciele sú priamo viazané na požiadavky z praxe, odkiaľ bola požiadavka návrhu vhodného technologického postupu pre

zhutňovanie slnečnicových šupiek. Každý druh lisovaného materiálu ma svoje špecifické vlastnosti a chemické zloženie a každá aj malá zmena vlastností lisovaného materiálu môže ovplyvniť výslednú kvalitu výliskov [4]. Rôznorodosť vlastností lisovaného materiálu si vyžaduje rôzne podmienky a nastavenie technológie zhutňovania. Z dôvodu návrhu ekonomicky efektívneho spôsobu spracovania biomasy je nutné poznať a stanoviť optimálne parametre pre zhutňovanie, vzhľadom na lisovaný druh materiálu [4]. Na druhej strane, sú platné technické normy pre hodnotenie kvality výliskov z biomasy a tieto musia byť dodržané. Kvalita výliskov je podľa platných technických EN noriem [12, 13] posudzovaná na základe stanovených mechanických ukazovateľov kvality (sypná hustota, mechanická odolnosť, merná hmotnosť, atď.) a chemicko-termických ukazovateľov kvality (vlhkosť, spalné teplo, atď.).

Základným cieľom je definovať a stanoviť veľkosť vplyvu technologických a materiálových parametrov na výslednú kvalitu výliskov a dilatáciu výliskov, a na základe uvedeného bolo nevyhnutné postup riešenia rozdeliť do nasledujúcich logických celkov:

1.) Analýza vlastností zhutňovaného materiálu - slnečnicových šupiek.
2.) Experimentálny výskum zhutňovania slnečnicových šupiek - do formy výliskov.
3.) Poloprevádzkové skúšky peletovania slnečnicových šupiek - formy peliet.
4.) Experimentálne testovanie a overenie vlastností výliskov a peliet.

2 Sledované závislé premenné - parametre

Na základe skúseností, ktoré máme z predchádzajúcich realizovaných projektov a experimentálnych výskumov, aj na základe realizovaných podrobných analýz vplyvu parametrov počas procesu zhutňovania, boli zvolené pre opisovaný výskum nasledujúce závislé premenné - lisovací tlak, lisovacia teplota, veľkosť frakcie, s ohľadom na zhutňovaný druh fytomasy. Všetky uvedené parametre ovplyvňujú podmienky v lisovacej komore počas zhutňovania a tým zároveň ovplyvňujú výslednú kvalitu výliskov a taktiež dobu stabilizácie výliskov [5]. Získané výsledky definuje vzájomné vzťahy ovplyvňujúcich parametrov sú dôležité pre konštrukciu zhutňovacích strojov, ale aj pre návrh správnej technológie zhutňovania daných druhov fytomasy.

3 Podmienky expertnej analýzy a výskumu

Ako bolo uvedené vyššie, predmetom expertnej analýzy je stanovenie vzájomných vzťahov ovplyvňujúcich parametrov procesu zhutňovania pre zhutňovanie slnečnicových šupiek - ako odpadovej suroviny po spracovaní poľnohospodárskej plodiny. Pred samotným experimentálnym výskumom a laboratórnym testovaním boli slnečnicové šupky podrobené jednoduchým analýzam pre zistenie vlastností slnečnicových šupiek. Na dodanej vzorke bola stanovená sypná hustota a jej vlhkosť. Výsledky je možné vidieť v Tab. 1.

Tab.1 Vlastnosti dodanej vzorky materiálu

Sledovaný parameter	**Hrubá frakcia**
Relatívna vlhkosť (%)	9.24
Sypná hustota (kg/dm^3)	0.1614

Pred samotným peletovaním boli pripravené dve vzorky materiálu s rozdielnym frakčným zložením. Prvá vzorka materiálu určená na peletovanie, bola vo forme dodaného materiálu s neupraveným frakčným zložením. Druhá vzorka bola podrobená zjemneniu frakcie. Na úpravu frakčného zloženia slnečnicových šupiek bol vhodne zvolený a použitý kladivový mlyn Stoza ŠV 5 so sitom s veľkosťou otvorov ø 4 mm. Na úpravu veľkosti slnečnicových šupiek je vhodné tiež použiť nožový mlyn. Keďže súčasťou expertnej analýzy boli aj poloprevádzkové skúšky peletovania na existujúcom peletovacom lise, bolo nutné zvoliť uvedenú veľkosť sita drviča. Pre produkciu peliet ø 6 mm sa neodporúča väčší priemer otvorov sita, pri väčšej frakcii podrvených šupiek klesajú mechanické ukazovatele kvality peliet. Veľkosť dodanej frakcie slnečnicových šupiek bola pre požadované experimenty peletovania do formy peliet ø 6 mm vhodná. Drvenie bolo realizované z dôvodu stanovenia vplyvu frakčného zloženia a vplyvu veľkosti frakcie na výslednú kvalitu výliskov. Vzorku pred drvením - hrubá frakcia (dodaná vzorka) a po drvení (jemná frakcia) je vidieť na nasledujúcich obrázkoch 1 a 2.

Obr. 1 Slnečnicové šupky - hrubá frakcia

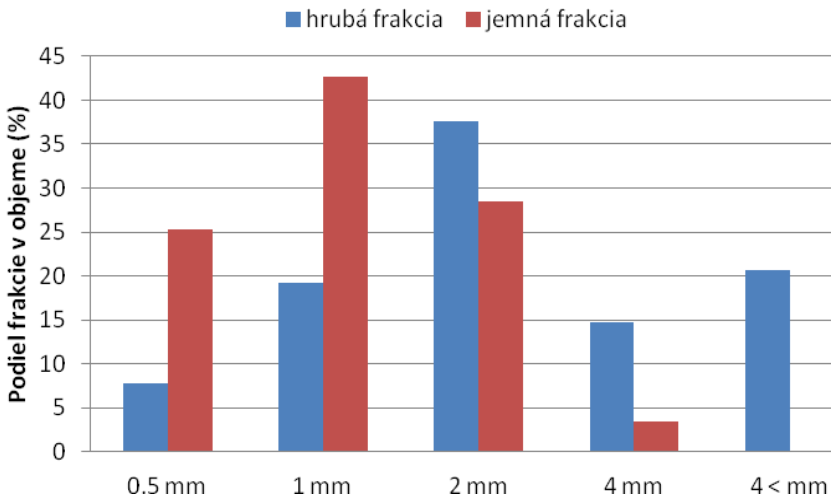
Obr. 2 Slnečnicové šupky - jemná frakcia

Následne bolo stanovené frakčné zloženie granulometrickým rozborom na vibračnej preosievačke Retsch. Výsledky sú uvedené na obrázku 3. Je zjavné, že drvenie frakcie zapríčinilo zmenu podielov jednotlivých frakcií v objeme, zvýšil sa objem jemnejšej frakcie. Z pohľadu kvality výliskov a technológie zhutňovania sú frakcie s podielom jemnejších frakcií vhodnejšie a môžu výrazne prispieť k zvýšeniu kvality výliskov [7, 9].

Takto pripravená vzorka, bola podrobená experimentálnemu výskumu zhutňovania na experimentálnom lisovacom stende (výstup výlisky ø 20 mm) a taktiež poloprevádzkovým skúškam peletovania na peletovacom lise KAHL 33-390 (výstup pelety ø 6 mm). Výlisky boli vytvorené lisovaním na experimentálnom lisovacom stende (Obr.4), ktorý je vertikálnej konštrukcie, t.z. s vertikálnou osou lisovania. Zdroj pre vyvodenie lisovacej sily je hydraulický agregát. Experimentálny lisovací stend pozostáva zo základného rámu, z valcovej lisovacej komory, z výhrevného zariadenia s teplotným senzorom pre reguláciu teploty v lisovacej komore a z protitlakovej zátky. Poloprevádzkové skúšky peletovania slnečnicových šupiek boli realizované na peletovacom lise KAHL 33-390 (Obr. 5).

Stanovená hodnota vstupnej vlhkosti slnečnicových šupiek pre technológiu peletovania je vyhovujúca, resp. mierne nižšia ako je optimálna hodnota na dosiahnutie maximálnych hodnôt fyzikálno-mechanických ukazovateľov kvality peliet. Obsah vlhkosti dezintegrovaných vzoriek bol stanovený prostredníctvom váh pre stanovenie obsahu vlhkosti

a sušiny MRS 120-3. Tento prístroj stanovuje obsah vlhkosti na základe gravimetrickej metódy [2]. Z dôvodu komplikovanosti zmien vlhkosti počas prípravy materiálu a na základe časových obmedzení bola použitá pri spracovaní expertnej analýzy iba jedna úroveň tohto parametra (w_r = 9.24 %). Napriek tomu, že súčasťou peletovacieho lisu KAHL 33-390, na ktorom boli realizované poloprevádzkové skúšky, je aj homogenizátor s vodnou tryskou na zvýšenie vlhkosti. Vopred však bolo možné konštatovať, že úprava vlhkosti šupiek sušením resp. vlhčením nebola potrebná. Takže vplyv obsahu vlhkosti nebol predmetom bádania popisovaného experimentálneho výskumu.



Obr. 3 Hmotnostný podiel jednotlivých veľkostí frakcií

Obr. 4 Experimentálny lisovací stend

Obr. 5 Peletovací lis KAHL 33-390

Opísaný experimentálny lisovací stend poskytuje široké nastavenie pre experimentálny výskum, aj pre parameter lisovací tlak, aj pre lisovaciu teplotu. Z dôvodu stanovenia vplyvu zmeny lisovacieho tlaku, bol v rámci experimentálneho výskumu realizovaný experiment lisovania so zmenou lisovacieho tlaku v rozmedzí od 63 MPa do 191 MPa. Z dôvodu stanovenia vplyvu zmeny lisovacej teploty, bol v rámci experimentálneho výskumu realizovaný experiment bez použitia dodatočnej lisovacej teploty (teda pri teplote okolia 23°C) a taktiež s použitím dodatočnej lisovacej teploty 100°C. Z technologického hľadiska nemá význam realizovať experiment mimo uvedených intervalov.

Pre dodržanie experimentálneho plánu a zaručenie korektných výsledkov, bolo nutné vylisovať pre každé nastavenie 7 výliskov. Toto je minimálny počet hodnôt pre spracovanie pomocou známych štatisticko-matematických metód [8]. Lisovanie, resp. zhutnenie bolo realizované postupne, pre zachovanie korektnosti získavania výsledných hodnôt. Kvalita výliskov je definovaná viacerými parametrami, avšak v tomto prípade (výlisky s priemerom väčším ako ø 8 mm) sme použili ako hodnotiaci parameter hustotu výliskov. Hustota výliskov bola vypočítaná na základe pomeru hmotnosti výlisku a objemu výlisku. Pre každý výlisok bola zmeraná jeho hmotnosť, dĺžka a priemer. Dĺžka a priemer výliskov bola stanovená podľa normy EN ISO 17829 [3] a následne bol vypočítaný objem výlisku. Pre každé nastavenie bola vypočítaná priemerná hodnota získanej hustoty. Po stabilizovaní výliskov, teda po dobe keď sa ustálila dilatácia výliskov, boli výlisky opätovne zvážené a zmerané. Takýmto spôsobom je možné vo všeobecnosti definovať dilatáciu výliskov a stanoviť vplyv uvedených technologických parametrov na dilatáciu výliskov [10].

4 Výsledky experimentálneho výskumu zhutňovania

Cieľom experimentálneho výskumu bolo stanoviť vplyv technologických parametrov (lisovací tlak a lisovacia teplota) procesu zhutňovania na výslednú kvalitu výliskov a na dilatáciu výliskov. Experimentálny výskum bol realizovaný na experimentálnom lisovacom stende, kde je osadená lisovacia komora s vnútornými rozmermi lisovacieho kanála dĺžky 140 mm a ø 20 mm. Preto je možné prostredníctvom stendu vyrábať výlisky s ø ± 20 mm. Výlisky vyrobené počas laboratórneho testovania sú znázornené na obrázkoch 6 a 7.

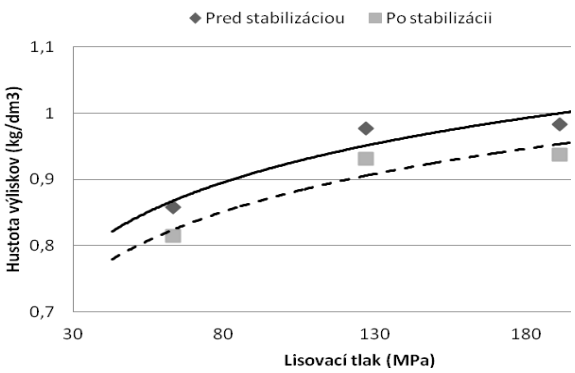
Obr. 6 Výlisky lisované pri T=23°C

Obr. 7 Výlisky lisované pri T=100°C

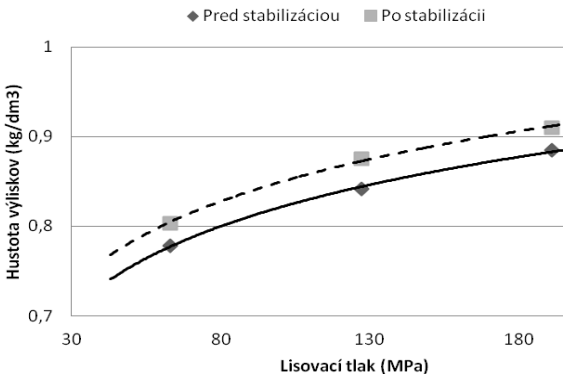
Cieľom laboratórneho testovania bolo stanoviť vplyv zmeny lisovacieho tlaku a lisovacej teploty na výslednú kvalitu výliskov a na dilatáciu výliskov. Preto bola pri tomto experimentálnom výskume použitá iba jedna úroveň veľkosti frakcie tzv. "hrubá frakcia". Na obrázku 8 je možné vidieť, že aj pri zhutňovaní hrubej frakcie dôjde k dostatočnému previazaniu častíc slnečnicových šupiek a dôjde k vytvoreniu postačujúcich väzieb medzi časticami zhutňovaného materiálu.

Obr. 8 Previazanie častíc lisovaného materiálu (slnečnicové šupky) vo výliskoch

Vplyv lisovacieho tlaku na hustotu výliskov zo slnečnicových šupiek je vidieť na obrázku 9. Z uvedených výsledkov je zrejmé, že s nárastom lisovacieho tlaku narastá aj výsledná hustota výliskov. Táto závislosť znázorňuje a poukazuje aj na dôležitosť doby stabilizácie výliskov.



Obr. 9 Závislosť hustoty výliskov od lisovacieho tlaku pri teplote T=23°C



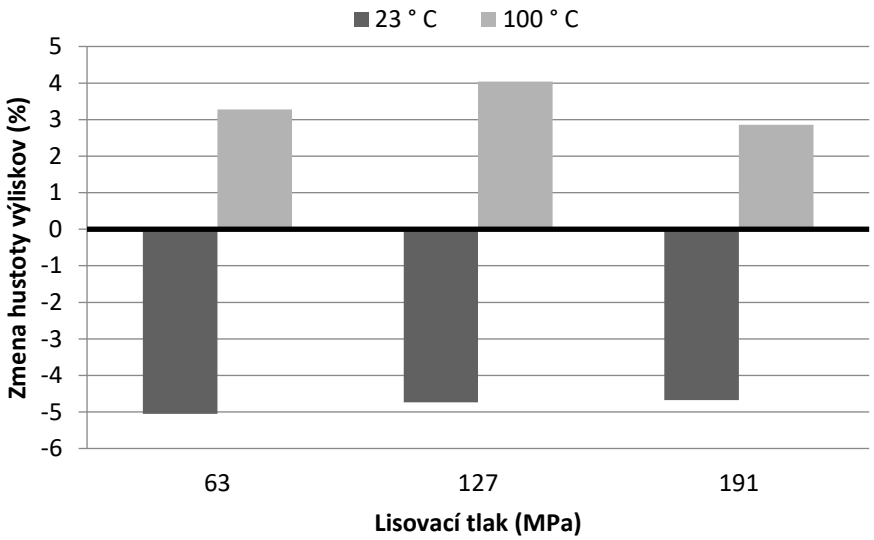
Obr. 10 Závislosť hustoty výliskov od lisovacieho tlaku pri teplote T=100°C

Doba stabilizácie je časový interval počas ktorej dochádza k dilatácií výliskov. Norma DIN 52182 [1] opisuje podmienky a proces stanovenia hustoty výliskov po dobe stabilizácie. Po zhutnení, musia byť výlisky uložené do prostredia s konštantnými klimatickými podmienkami, kde dochádza k stabilizácia. Počas tejto doby sú často merané parametre výlisku (dĺžka a priemer) a je hodnotená ich hmotnosť a hustota. Ak sa hmotnosť výlisku zmení od predchádzajúceho merania (24 hod.) najviac o 0,1%, považuje sa výlisok za stabilizovaný. Dilatácia výliskov je dej, počas ktorého sa menia geometrické parametre výlisku (dĺžka a priemer) aj hmotnosť výlisku. Tieto zmeny sú ovplyvňované nastavenými

parametrami procesu zhutňovania aj parametrami lisovaného materiálu [10]. Dilatácia má priamy vplyv na výslednú hustotu výliskov, pretože hustota sa počíta z vyššie uvedených parametrov výlisku [11]. Dilatáciu možno pozorovať po uvoľnení lisovacieho tlaku, t.z. keď lisovací tlak prestane pôsobiť na výlisok. Vplyv a veľkosť dilatácie je výsledkom vzájomného pôsobenia lisovacieho tlaku, lisovacej teploty, vlhkosti a veľkosti frakcie na výlisok, a ich vzájomnej interakcie [10].

Ako vidieť na obrázku 9, dilatácia negatívne ovplyvnila veľkosť hustoty výliskov, čo sa prejavilo v poklese hustoty výliskov. Priemerne sa hustota výliskov po stabilizácii znížila o 4,82 %.

Pri lisovaní s dodatočnou lisovacou teplotou 100°C (Obr.10) bol taktiež zaznamenaný fakt, že s nárastom lisovacieho tlaku narastá aj výsledná hustota výliskov. Avšak dodatočná lisovacia teplota tu pozitívne ovplyvnila výlisky počas doby stabilizácie a zmiernila vplyv dilatácie výliskov. Po stabilizácii boli namerané vyššie hodnoty hustôt výliskov v priemere o 3,39 %. Dodatočná lisovacia teplota pozitívne vplýva na dilatáciu výliskov. Zmeny hustôt po dobe stabilizácie, spôsobené dilatáciou, sú znázornené na nasledujúcom obrázku 11. Vidieť zápornú zmenu pri lisovaní bez dodatočnej teploty a kladnú zmenu pri lisovaní s dodatočnou teplotou 100°C.

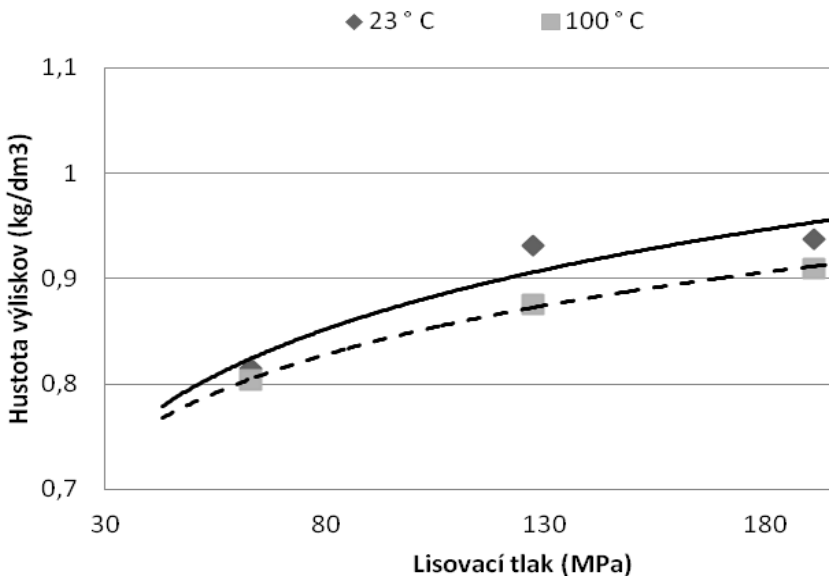


Obr. 11 Závislosť zmeny hustôt výliskov od lisovacieho tlaku pri dvoch úrovniach lisovacej teploty

Vo všeobecnosti pri rôznych druhoch biomasy s vyšším obsahom lignínovej zložky platí, že s nárastom lisovacej teploty a lisovacieho tlaku, rastie aj hustoty výliskov [6]. Lisovacia teplota má pozitívny vplyv na lignínovú zložku lisovaného materiálu, teda v procese zhutňovania ovplyvňuje plastifikáciu lignínu [5, 6, 11]. So zvyšovaním lisovacej teploty sa lignín stáva plastickejším, čo ovplyvňuje potom počas pôsobenia lisovacieho tlaku vznik pevnejších väzbových mechanizmov [6, 9, 11]. Efektívne vytvorenie pevných väzieb počas zhutňovania a plastifikácia lignínu je podmienené pôsobením vyššej lisovacej teploty [4, 7].

Výsledky znázornené na nasledujúcom obrázku 12 však ukazujú, že pri porovnaní hustôt výliskov získaných pri lisovaní s dodatočnou teplotou a bez dodatočnej lisovacej teploty (T=23°C), boli lepšie hodnoty získané pri lisovaní bez dodatočnej lisovacej teploty (T=23°C). Tento fakt sa dá pripísať chemickému zloženiu slnečnicových šupiek a charakteru tohto materiálu. Pri nízkych obsahoch lignínu a hemicelulózy v lisovanom materiály nemá dodatočná teplota počas zhutňovania zásadný vplyv na výslednú hustotu výliskov [4, 11]. Je

nutné poznamenať, že závislosti znázornené na obrázku 12 sú po stabilizácii výliskov. Priemerne hodnoty hustôt výliskov získaných pri lisovaní bez dodatočnej teploty boli vyššie o 3,57 % v porovnaní s hodnotami získanými pri lisovaní s dodatočnou lisovacou teplotou 100°C.



Obr. 12 Závislosť hustoty výliskov od lisovacieho tlaku pri lisovaní s rôznou lisovacou teplotou

5 Výsledky poloprevádzkových skúšok peletovania

Po potvrdení vhodnosti použitia technológie peletovania pre spracovanie slnečnicových šupiek, bolo nutné stanoviť vplyv veľkosti frakcie resp. zmeny granulometrického zloženia peletovanej vzorky materiálu na kvalitatívne parametre peliet. Kedže poloprevádzkové skúšky peletovania prebiehali na peletovacom lise KAHL 33-390, teda bola použitá technológia porovnateľná s podmienkami v praxi, bolo dôležité stanovený cieľ dosiahnuť s ohľadom na čo najlepšiu výstupnú kvalitu peliet. V praxi je z dôvodu prevádzky peletovacích strojov štandardné, že lisovaný materiál je vyššej vlhkosti ako tomu bolo v prípade našich vzoriek (w_r = 9.24 %). Preto bola zhutňovaná vzorka podrobená úprave vlhkosti tesne pred vstupom do lisovacej komory, ak si to situácia vyžadovala s ohľadom na výstupnú kvalitu peliet. Pred vstupom už zhutňovanej vzorky (či už hrubej alebo jemnej frakcie slnečnicových šupiek) do peletovacieho lisu bola vhodne (priebežne) upravená jej relatívna vlhkosť rozprašovaním studenej vody. Následne bola táto zmes homogenizovaná v lopatkovom homogenizátore, ktorý je súčasťou peletovacieho lisu. Hodnota dodaného množstva vody bola nastavená prietokomerom vodnej trysky umiestnenej v homogenizátore. Pri konštantnom dávkovaní suroviny bol zvyšovaný resp. znižovaný prietok vody, až kým neboli dosiahnuté pelety s najvyššími mechanickými ukazovateľmi kvality. Tieto boli podrobené laboratórnemu stanoveniu kvalitatívnych charakteristík peliet. Priemer produkovaných peliet bol ø 6 mm.

Poloprevádzkové skúšky peletovania slnečnicových šupiek obidvoch pripravených frakcií (hrubej aj jemnej) prebiehali bez technických a technologických komplikácii. Proces peletovania bol veľmi plynulý. Dosahované fyzikálno-mechanické ukazovatele kvality peliet

sú však na priemernej úrovni, čo môžeme pripísať vlastnostiam peletovaného materiálu - hlavne jeho chemickému zloženiu (obsah lignínu, hemicelulóz, atď.). Na nasledujúcich obrázkoch 13 a 14 sú znázornené vyrobené pelety.

Obr. 13 Pelety z hrubej frakcie

Obr. 14 Pelety z jemnej frakcie

Následne boli vyprodukované pelety podrobené laboratórnemu testovaniu a stanoveniu mechanických ukazovateľov kvality a niektorých chemicko-termických ukazovateľov kvality podľa technických noriem EN [12, 13]. Výsledky sú zhrnuté do nasledujúcej tabuľky 2.

Tab.2 Vlastnosti vyrobených peliet zo slnečnicových šupiek (farebne sú zvýraznené najlepšie hodnoty pre každý sledovaný parameter)

Sledovaný parameter	**Priemyselne vyrobené pelety**	**Pelety z hrubej frakcie**	**Pelety z jemnej frakcie**
Relatívna vlhkosť (%)	8.61	5.60	5.99
Spalné teplo (MJ/kg)	-	19.07	19.06
Sypná hustota (kg/dm^3)	0.422	0.611	0.552
Merná hmotnosť (kg/dm^3)	0.856	1.237	1.231
Mechanická odolnosť (%)	81.63	87.08	79.26
Oter (%)	32.79	12.63	20.51
Tvrdosť peliet (N)	197.5	190.3	207

Na základe uvedených výsledkov je možné vo všeobecnosti konštatovať, že slnečnicové šupky je možné peletovať s dosiahnutím uspokojivej kvality produkcie. Zjemnenie frakcie a zmena vlhkosti sa preukázali ako nepodstatné a nemajú výraznejší vplyv na výslednú kvalitu peliet. Preto pred procesom peletovania slnečnicových šupiek nie je nutné realizovať takéto

mechanické úpravy vstupnej suroviny. Očakávaný efekt vo forme zvýšenej kvality peliet vyrobených z jemnej frakcie sa nepotvrdil. Opak bol pravdou. Základné mechanické ukazovatele kvality peliet (sypná hustota, mechanická odolnosť, oter a aj merná hmotnosť) boli stanovené s vyššou hodnotou pri peletách vyrobených z hrubej frakcie.

6 Zhodnotenie a záver

Cieľom príspevku bolo prezentovať výsledky expertnej analýzy, ktorá bola zameraná na overenie použitia technológie zhutňovania na výrobu tuhých biopalív vo forme peliet zo slnečnicových šupiek a stanovenie vplyvu technologických parametrov procesu zhutňovania na výslednú kvalitu výliskov a dilatáciu výliskov. Hlavné poznatky získané experimentálnym výskumom a poloprevádzkovými skúškami môžu byť zhrnuté do nasledujúcich záverov:
- pre výrobu tuhých biopalív vo forme peliet zo slnečnicových šupiek je možné použiť technológiu zhutňovania - peletovanie;
- úprava veľkosti frakcie (zjemnenie frakcie) pred peletovaním neovplyvňuje pozitívne výslednú kvalitu peliet;
- zmena (zvýšenie) lisovacieho tlaku pri zhutňovaní pozitívne ovplyvňuje výslednú kvalitu výliskov;
- zmena (zvýšenie) lisovacej teploty pri zhutňovaní nemá výraznejší vplyv na výslednú kvalitu výliskov;
- zmena (zvýšenie) lisovacieho tlaku pri zhutňovaní pozitívne ovplyvňuje dilatáciu výliskov - jemne zmierňuje vplyv dilatácie;
- zmena (zvýšenie) lisovacej teploty pri zhutňovaní pozitívne ovplyvňuje dilatáciu výliskov - výrazne zmierňuje vplyv dilatácie;

Poďakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory projektu VEGA 1/0420/16 - Stanovenie a výskum vplyvu parametrov v procese zhutňovania odpadovej biomasy na výslednú kvalitu výliskov, financovaného Ministerstvom školstva SR a Slovenskou akadémiou vied.

Použitá literatúra

[1] DIN 52182. Bestimmung der Rohdichte; Deutsches Institut für Normung: Berlin, Germany, (1976). (In German)
[2] EN ISO 18134-1:2016. Solid Biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Part 1: Total moisture. Reference method. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, (2016)
[3] EN ISO 17829:2016. Solid Biofuels - Determination of length and diameter of pellets; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, (2016)
[4] P. Križan, The Densification Process of Wood Waste, 1st ed.; De Gruyter Open: Berlin, Germany, 2015; ISBN 978-3-11-044002-7, pp. 184

[5] P. Križan, M. Svátek and M. Matúš: Analysis of the significance of technological parameters at briquetting of selected types of hardwood and softwood. In: Journal of Applied Mathematics – Aplimat. Bratislava: FX s.r.o., ISBN 978-80-89313-51-8, pp. 395-404. (2011)
[6] N.P.K. Nielsen, D.J. Gardner and T. Poulsen: Importance of Temperature, Moisture Content, and Species for the Conversion Process of Wood Residues into Fuel Pellets. Wood and Fiber Science, 41(4), pp. 414-415. (2009)
[7] C. Serrano, E. Monedero, M. Lapuerta and H. Portero: Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. Fuel Processing & Technology. 92, pp. 699-706. (2011)
[8] P. Križan, M. Svátek, Research of densification process of various type of biomass, 1st ed.; Bratislava : FX s.r.o., 2014; ISBN 978-80-89313-60-0, pp. 182. (in Slovak)
[9] M. Matúš, P. Križan, M. Kováčová and J. Beniak: The influence of size fraction on the compressibility of pine sawdust and the effectiveness criterion for densification. In Acta Polytechnica. Vol. 54, No. 1, ISSN 1210-2709, pp. 52-58. (2014)
[10] P. Križan, M. Matúš, J. Beniak and M. Kováčová: Stabilization time as an important parameter after densification of solid biofuels. In Acta Polytechnica. Vol. 54, No. 1, ISSN 1210-2709, pp. 35-41. (2014)
[11] P. Križan, Ľ. Šooš, M. Matúš, J. Beniak and M. Svátek: Research of significant densification parameters influence on final briquettes quality. In: Wood research, ISSN 1336-4561, Vol.60, No.2 (2015)
[12] EN ISO 17225-2:2014. Solid Biofuels. Fuel specifications and classes. Part 2: Wood pellets for non-industrial use; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, (2014).
[13] EN ISO 17225-6:2014. Solid Biofuels. Fuel specifications and classes. Part 6: Graded non-woody pellets; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, (2014).