

Załącznik II

AUTOREFERAT

Opis dorobku i osiągnięć naukowych

Dr inż. Sławomir Obidziński
Zakład Inżynierii Rolno-Spożywczej i
Leśnej
Wydział Budownictwa i Inżynierii
Środowiska
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45E
15-351 Białystok
e-mail: s.obidzinski@pb.edu.pl

Białystok, 2015

SPIS TREŚCI

1. Dane personalne.....	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia.....	4
4.1. Określenie osiągnięcia.....	4
4.2. Wstęp	5
4.3. Cel badań stanowiących osiągnięcie naukowe	6
4.4. Wyniki badań	6
4.5. Dyskusja wyników	17
4.6. Literatura	22
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	26
6. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego.....	32

1. DANE PERSONALNE

Imię i Nazwisko: **Sławomir Obidziński**

Miejsce pracy:

Dr inż. Sławomir Obidziński
Zakład Inżynierii Rolno-Spożywczej i Leśnej
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45E
15-351 Białystok

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE – Z PODANIEM NAZWY, MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ:

- a) magister inżynier, kierunek: mechanika i budowa maszyn, Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, 16.07.1997 r., temat pracy magisterskiej: *„Badanie ciepła przemian fazowych wybranych produktów spożywczych metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej na kalorymetrze UNIPAN 608”*.
- b) doktor nauk technicznych, w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn: specjalność: maszyny i urządzenia przemysłu rolno-spożywczego, Rada Naukowa Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej, 29 marca 2006r., temat pracy doktorskiej: *„Granulowanie materiałów roślinnych w pierścieniowym układzie roboczym granulatora”*, promotor: prof. dr hab. inż. Roman Hejft.

3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH:

- 01.10.1997 - 31.03.2006** - asystent, Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego,
- 01.04.2006 - 31.12.2013** - adiunkt, Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny,
01.04.2006 - 30.09.2006 - Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego,
01.10.2006 - 30.09.2008 - Katedra Techniki Ciepłej i Inżynierii Rolniczej,
01.10.2008 - 31.12.2013 - Zakład Techniki Rolno-Spożywczej,
- 01.01.2014 – do chwili obecnej** - adiunkt, Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Inżynierii Rolno-Spożywczej i Leśnej
- 01.09.2008 – do chwili obecnej** – starszy wykładowca, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Suwałkach,
01.09.2008 - 30.09.2012 - Instytut Technologiczno-Przyrodniczy,
01.10.2011 – do chwili obecnej - Instytut Politechniczny.

4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCEGO Z ART. 16. UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. USTAW NR 65, POZ. 595, ZE ZMIANAMI: DZ. U. Z 2005 NR 164, POZ. 1365, ORAZ DZ. U. Z 2001 R., NR 84, POZ. 455):

4.1. OKREŚLENIE OSIĄGNIĘCIA

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

„CIŚNIENIOWA AGLOMERACJA ODPADOWYCH MATERIAŁÓW ROLNO-SPOŻYWCZYCH”

które dokumentuje monotematyczny cykl publikacji, wydanych po uzyskaniu przez wnioskodawcę stopnia naukowego doktora.

b) Wykaz prac dokumentujący osiągnięcie naukowe:

1. **Obidziński S. (2011).** Badanie procesu zagęszczania odpadów tytoniowych. Inżynieria i Aparatura Chemiczna Nr 1, 50(42), 29-30. MNiSW=6.
2. **Obidziński S. (2012).** Pelletization process of postproduction plant waste. International Agrophysics. Vol. 26(3), 279-284. (JCR), IF=1,574, MNiSW=20.
3. **Obidziński S. (2012).** Analysis of usability of potato pulp as solid fuel. Fuel Processing Technology 94(2012), 67-74. (JCR), IF=2,945, MNiSW=32.
4. **Obidziński S. (2013).** Ocena procesu wytwarzania granulatu opałowego z otrąb owsianych z udziałem wycierki ziemniaczanej. Acta Agrophysica, Vol. 20(2), 389-402. ISSN 1234-4125. MNiSW=7.
5. **Obidziński S. (2014).** Pelletisation of biomass waste with potato pulp content. International Agrophysics. Vol. 28(1), 85-91. (JCR), IF=1,142, MNiSW=25.
6. **Obidziński S. (2014).** Utilization of post-production waste of potato pulp and buckwheat hulls in the form of pellets. Polish Journal of Environmental Studies. 2014, Vol. 23, No. 4 (2014), 1391-1395. (JCR), IF=0,600. MNiSW=15.

Łączny *Impact Factor* tych artykułów wg listy JCR wynosi **6,361**.

Prace przedstawione jako osiągnięcie naukowe mają charakter zarówno **poznawczy** jak i **aplikacyjny**, gdyż przedstawiają wpływ czynników materiałowych procesowych i konstrukcyjnych na przebieg procesu ciśnieniowej aglomeracji odpadów roślinnych (odpadów poprodukcyjnych przemysłu rolno-spożywczego) i jakość uzyskanego produktu (granulatu). Przedstawiają one również wytyczne do nowej technologii wytwarzania granulatu (opałowego lub paszowego) z tych materiałów. Badania prowadzone w trakcie przygotowywania tych prac zaowocowały opracowaniem dwóch zgłoszeń patentowych:

1. **Obidziński S., Skwierzyński D.:** Technologia wytwarzania granulatu opałowego z wycierki ziemniaczanej. Zgłoszenie patentowe P.394547 z dnia 14.04.2011r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2011.
2. **Obidziński S.:** Granulat opałowy i paszowy oraz technologia jego wytwarzania. Zgłoszenie patentowe P.398399 z dnia 12.03.2012r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2012.,

które przedstawiają nową technologię wytwarzania granulatu opałowego i paszowego z badanych surowców odpadowych tj. wycierki ziemniaczanej (**w przypadku zgłoszenia nr 1**) i mieszaniny wycierki z innymi surowcami roślinnymi (**w przypadku zgłoszenia nr 2**). Przedstawione w zgłoszeniach patentowych nr 1 i nr 2 technologie pozwalają na wykorzystanie wycierki ziemniaczanej jako surowca do produkcji paliwa opałowego w postaci granulatu lub brykietu.

W przypadku każdej z publikacji, jaki i w przypadku wymienionych zgłoszeń patentowych byłem głównym autorem koncepcji prowadzonych badań, które zaplanowałem, przeprowadziłem, dokonałem analizy ich wyników a następnie przygotowałem publikacje oraz brałem główny udział w tworzeniu zgłoszeń patentowych.

Artykuły w czasopismach indeksowanych na liście JCR (**prace nr 2 i nr 3**) były dotychczas 7-krotnie cytowane w światowej literaturze naukowej (w artykułach naukowych z listy filadelfijskiej).

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.2. WSTĘP

Zgodnie z danymi Rocznika Statystycznego Przemysłu [2012], w Polsce w roku 2011 wytworzono 123,5 mln ton odpadów, w tym 115,8 mln Mg (93,7%) odpadów przemysłowych. Rolnictwo i przemysł rolno – spożywczy (PRS) w Polsce generuje co rok ponad 10 mln ton odpadów, które podlegają zagospodarowaniu [GUS 2010; Daniel i in. 2012]. Jednak, jak podaje Daniel i współpracownicy [Daniel i in. 2012], coraz częściej pojawia się problem niewłaściwego zagospodarowania odpadów.

Niekontrolowany rozkład odpadów z rolnictwa i przemysłu rolno–spożywczego (PRS) powoduje generowanie znacznych ilości zanieczyszczeń, w tym związków i substancji niebezpiecznych. Obecnie koniecznym staje się opracowanie nowych, racjonalnych systemów przetwarzania odpadów z produkcji i przetwarzania żywności [Arvanitoyannis i in. 2008, Listwan 2009].

Podjęcie UE do gospodarowania odpadami opiera się na trzech zasadach, do których zalicza się: zapobieganie powstawaniu odpadów, recykling i ponowne użycie odpadów oraz usprawnienie ostatecznego unieszkodliwiania i monitorowania. Zgodnie z polityką ekologiczną państwa i opracowanego Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2014 w najbliższych latach planowane jest [Monitor Polski Nr 2010]:

- utrzymanie tendencji oddzielenia wzrostu ilości wytwarzanych odpadów od wzrostu gospodarczego kraju wyrażonego w PKB;
- zwiększenie udziału odzysku, w tym w szczególności odzysku energii z odpadów, zgodnego z wymogami ochrony środowiska;
- zmniejszenie ilości wszystkich odpadów kierowanych na składowiska odpadów.
- wyeliminowanie praktyki nielegalnego składowania odpadów,
- utworzenie i uruchomienie bazy danych o produktach, opakowaniach i gospodarce odpadami (BDO).

Według GUS z 2012 roku w latach 2010-2011 zmniejszył się udział odpadów odzyskanych o 9,2% oraz wzrósł udział odpadów składowanych o 21,1% w odniesieniu do lat 2000-2005. Z danych tych wynika konieczność rozwój technologii przetwarzania odpadów na produkty użyteczne [Borowski 2013].

Według wielu naukowców [Hejft 2002, Laskowski i Skonecki 2001; Skonecki i Laskowski 2012; Mediavilla i in. 2009, 2012; Mani i in. 2006; Shaw 2008; Shaw i in. 2009; Kaliyan i Morey 2009, Niedziółka i in. 2008; Szpryngiel i in. 2011 Niedziółka i in. 2015], zajmujących się problematyką energetyki odnawialnej jednym ze sposobów zagospodarowania różnego rodzaju odpadów pochodzenia roślinnego **jest ich przetwarzanie w procesie ciśnieniowej aglomeracji do postaci paliwa stałego (granulatu, brykietu).**

Nadrzędnym celem producentów biopaliwa stałego jest dążenie do otrzymania wysokiej jakości produktów charakteryzujących się wysokim współczynnikiem wytrzymałości kinetycznej i wysoką gęstością. W praktyce jest to trudne do osiągnięcia, gdyż wpływa na to wiele czynników [Laskowski 1989; Czaban 2000, Demianiuk 2001, Grochowicz 1996, Hejft 1991; 2002; Obidziński i in. 2006]: chemiczno-biologicznych (skład chemiczny zagęszczanego materiału, jego budowa biologiczna cząstek), materiałowych (np. wilgotność materiału, skład granulometryczny cząstek zagęszczanego materiału), konstrukcyjnych zagęszczającego układu roboczego (np. średnica matrycy, średnica i

liczba rolek zagęszczających, średnica, długość i stan powierzchni otworów w matrycy, wielkość szczeliny między matrycą a rolką) oraz procesowych (np. naciski zagęszczające, natężenie przepływu zagęszczanego materiału, prędkość zagęszczania, temperatura procesu, kondycjonowanie).

Jednym z najbardziej perspektywicznych źródeł do produkcji czystej, ekologicznej energii będą w następnych latach odpadowe surowce poprodukcyjne otrzymywane w trakcie procesów przetwarzania surowców rolno-spożywczych np.: łuska gryki powstająca przy produkcji kaszy, wytloki rzepakowe powstające przy produkcji oleju rzepakowego, wycierka ziemniaczana pozostająca po produkcji skrobi, otręby zbożowe powstające przy produkcji mąki i innych produktów zbożowych, miąższ owoców powstający przy produkcji soków owocowych, i wiele innych. Wykorzystanie odpadów poprodukcyjnych przemysłu rolno-spożywczego jako potencjalnych surowców do produkcji energii jest w Polsce również usankcjonowane prawnie (m.in. Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 14 sierpnia 2008r., które obliguje do zwiększenia udziału energii pochodzącej z odnawialnych źródeł tzw. „energii zielonej” w bilansie paliwowo-energetycznym Polski).

4.3. CEL BADAŃ STANOWIĄCYCH OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE

Celem prowadzonych i zaprezentowanych w **publikacjach nr 1 – nr 6** (stanowiących osiągnięcie naukowe) badań było:

- analiza przydatności materiałów odpadowych pochodzenia roślinnego jako surowca do ciśnieniowej aglomeracji,
- określenie przydatności wycierki ziemniaczanej (materiału odpadowego o wysokiej wilgotności) jako materiału lepiszczowego,
- określenie najkorzystniejszych (optymalnych) parametrów przebiegu procesu granulowania wybranych materiałów odpadowych z punktu widzenia zapotrzebowania na moc urządzenia granulującego oraz jakości otrzymanego produktu (granulatu).

4.4. WYNIKI BADAŃ

1) publikacji nr 1:

Do odpadów przemysłowych pochodzenia organicznego, zaliczanych do grupy odpadów uciążliwych, należą m.in. odpady tytoniowe, powstałe w różnych procesach cyklu produkcyjnego tytoniu i papierosów. Odpady te mają różną postać, ale najczęściej w ich skład wchodzi resztki liści tytoniu, wiórki oraz pył o zróżnicowanej ziarnistości (od kilkunastu μm do 1 mm).

Odpady tytoniowe zawierające spore ilości pyłu tytoniowego stwarzają również niebezpieczeństwo dla zdrowia ludzi, gdyż wdychanie go może prowadzić do powstawania chorób alergicznych i schorzeń immunotoksycznych [Piotrowska-Cyplik i in. 2008]. W badaniach wstępnych stwierdzono, że w odpadach dominujące są frakcje o wielkości cząstek 0,5 mm, które stanowią ok. 62 %, o wielkości cząstek 1 mm (ok. 16 %) i o wielkości 0,25 mm (ok. 16 %). Poza tym odpady tytoniowe charakteryzują się bardzo niską wilgotnością wynoszącą ok. 9% oraz niską gęstością usypową - ok. 300 kg/m³.

W celu wyeliminowania niedogodności związanych z przechowywaniem, składowaniem i niebezpieczeństwem stwarzanym przez drobne frakcje odpadów tytoniowych dla zdrowia człowieka, postanowiono poddać je procesowi ciśnieniowej aglomeracji do postaci granulatu. Badania związane z określeniem przydatności odpadów tytoniowych pochodzących z British-American Tobacco w Augustowie do wytwarzania z nich granulatu przedstawiono w **publikacji nr 1**:

Obidziński S. (2011). Badanie procesu zagęszczania odpadów tytoniowych. Inżynieria i Aparatura Chemiczna Nr 1, 50(42), 29-30.

W publikacji tej określono najkorzystniejsze parametry materiałowo-procesowe (wilgotność odpadów i temperatury procesu) na wartości nacisków zagęszczających oraz gęstość granulatu otrzymanego z odpadów tytoniowych w procesie ich granulowania.

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym w układzie „otwarta komora zagęszczania – tłok zagęszczający”, które zostało zmodernizowane na potrzeby prowadzonych badań. Do ogrzewania komory zagęszczania zastosowano opaskę grzejącą (nałożoną na element termostatujący)

sprężoną z regulatorem temperatury. Zastosowanie opaski pozwoliło na uzyskanie temperatury procesu powyżej 100 °C. Zagęszczanie materiału odbywało się za pomocą tłoka z czujnikiem tensometrycznym pozwalającym na rejestrację sił działających na tłok.

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu wilgotności odpadów (9%, 12% i 15%) oraz temperatury procesu (40 °C, 60 °C, 80 °C i 100 °C) na naciski zagęszczające otrzymane w procesie ich granulowania i gęstość uzyskanego granulatu. Badania przeprowadzono wykorzystując matrycę o średnicy otworu 8 mm i długości równej 47 mm. Masa każdorazowo zagęszczanej próbki odpadów wynosiła 0,5 g.

Zaprezentowane w publikacji badania pozwoliły na stwierdzenie, że temperatura procesu granulowania jak i wilgotność zagęszczanego materiału mają istotny wpływ na wartości maksymalnych nacisków zagęszczających i gęstość otrzymanego granulatu.

Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami, zwiększenie wilgotności zagęszczanego materiału z 9% do 12% powoduje wzrost maksymalnych nacisków zagęszczających oraz wzrost gęstości granulatu. Dalsze zwiększanie wilgotności z 12% do 15% wpływa na nieznaczny spadek nacisków zagęszczających i spadek gęstości granulatu. Najlepszy jakościowo granulaty (granulaty o największej gęstości - ok. 1320 kg/m³) uzyskano przy wilgotności 12% i temperaturze 100 °C.

Zwiększenie temperatury procesu w przedziale od 40 do 100°C powoduje wzrost gęstości otrzymanego granulatu. Zakres temperatury prowadzenia procesu zagęszczania odpadów tytoniowych, pozwalający na otrzymanie gęstości granulatu powyżej 1000 kg/m³ to zakres od 60 do 100°C.

Wzrost gęstości granulatu wraz ze wzrostem temperatury spowodowany jest zmianami zachodzącymi w materiale w trakcie zagęszczania w wyniku oddziaływania temperatury. Ze wzrostem temperatury następuje spadek lepkości cieczy zawartej w zagęszczanych odpadach, co wpływa korzystnie na wzajemnie przemieszczanie się i „układanie” cząstek odpadów i ich upakowanie pod wpływem obciążenia tłoka zagęszczającego. Jedynie przy wilgotności materiału 15%, po przekroczeniu temperatury 60 °C nastąpił spadek gęstości otrzymanego granulatu. Spadek ten spowodowany był wzrostem ilości pary z wilgoci (w wyniku oddziaływania temperatury i ciśnienia zagęszczania). Po opuszczeniu przez granulę komory zagęszczania, wydobywająca się z niej para powoduje zerwanie słabszych wiązań powstałych podczas zagęszczania i następuje „rozprężanie” granulki (zwiększa się jej objętość) a tym samym spada gęstość granulatu. Poza tym zauważono również zjawisko przywierania zagęszczanego materiału do ścianek komory zagęszczania i tłoka zagęszczającego, co również powodowało spadek gęstości granulatu wskutek ubytków materiału z powierzchni granulki. Powierzchnia otrzymanych granul była chropowata.

Z punktu widzenia energochłonności, procesem preferowanym zakresem temperaturą, przy której należy prowadzić proces zagęszczania odpadów tytoniowych jest zakres od 70 do 100 °C. W tym zakresie następuje spadek wartości maksymalnych nacisków zagęszczających i dalszy wzrost gęstości otrzymanego granulatu.

Jak pokazały przeprowadzone badania najkorzystniejszą wartością wilgotności zagęszczanych odpadów to 12 %. Przy wilgotności tej uzyskano najlepszy jakościowo granulaty (największą gęstość granulatu oraz gładką, błyszczącą powierzchnię granulki). Poza tym przy tej wilgotności, w badanym zakresie temperatury, nie wystąpił negatywny efekt przywierania zagęszczanego materiału do ścianek komory zagęszczania i tłoka zagęszczającego (jak to miało miejsce przy wilgotności 15%), wpływający na spadek gęstości uzyskanego granulatu.

W wyniku badań stwierdzono, że odpady tytoniowe są materiałem o wysokiej podatności na zagęszczanie, o czym świadczą uzyskane niewielkie wartości maksymalnych nacisków zagęszczających (od 1,25 do 24,33 MPa), które są niższe od analogicznych wartości przy zagęszczaniu pasz (ok. 26- 36 MPa) [Obidziński 2005], tj. surowców zaliczanych do materiałów o wysokiej podatności na zagęszczanie.

Przeprowadzone badania zaprezentowane w **publikacji nr 1**, potwierdziły przydatność odpadów tytoniowych do ich wykorzystania jako surowca (pochodzącego ze źródeł tzw. „biomasy nieleśnej”) do wytwarzania granulatu opałowego w procesie aglomeracji ciśnieniowej. Uzyskane wysokie wartości gęstości granulatu świadczą o jego wysokiej odporności na warunki przechowywania, a niskie wartości nacisków zagęszczających, są korzystniejsze z punktu widzenia kosztów realizacji procesu (niskiej energochłonności procesu granulowania) w układzie roboczym granulatora.

Przedstawione w publikacji najkorzystniejsze parametry procesowo-materiałowe posłużyły do

realizacji badań procesu granulowania odpadów tytoniowych w układzie roboczym prototypowego granulatora z matrycą płaską.

Jednocześnie, zgodnie z danymi zawartymi w pracach Poskrobki [Pokrobko i in. 2010] oraz Król [Król i in. 2010], według których odpady tytoniowe są surowcem o wysokich walorach energetycznych i mogą być z powodzeniem wykorzystane jako surowiec do wytwarzania paliwa stałego (w postaci granulatu) do produkcji energii elektrycznej i ciepła.

2) publikacji nr 2:

Badania procesu granulowania mieszaniny odpadów tytoniowych z dodatkiem drobnoziarnistych odpadów melisy przedstawiono w **publikacji nr 2**:

Obidziński S. (2012). Pelletization process of postproduction plant waste. International Agrophysics. Vol. 26(3), 279-284. (JCR), IP=1,574, MNiSW=20.

Badania przedstawione w **publikacji nr 2**, były następstwem wyników otrzymanych podczas zagęszczania odpadów tytoniowych (**publikacja nr 1**) i uzyskania wysokiej jakości granulatu przy jednoczesnych niskich wartościach nacisków zagęszczających, co skłoniło do podjęcia badań nad wytworzeniem granulatu z mieszaniny odpadów tytoniowych z materiałem o niskiej podatności na zagęszczanie, jakim okazały się, po przeprowadzeniu badań wstępnych, drobnoziarniste odpady melisy. Ocenę właściwości energetycznych melisy wraz ze wstępnymi badaniami zagęszczania oceniającymi podatność odpadów melisy na zagęszczanie opisano w pracy [Obidziński 2010].

Przystępując do badań dokonano analizy doniesień literaturowych odnośnie zagospodarowania odpadów zielarskich. W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, że odpady zielarskie (np. melisy), są zazwyczaj przez zakład sprzedawane za niewielkie kwoty lub oddawane za cenę transportu [Obidziński 2010], co stanowi istotny czynnik przy wykorzystaniu tych odpadów jako surowca lub komponentu z innymi odpadami do wytwarzania np. granulatu opałowego.

Bazując na, określonych w badaniach wstępnych, cechach odpadów tytoniowych (co przedstawiono w **publikacji nr 1**) oraz odpadów melisy [Obidziński 2010], zdecydowano, że w prowadzonych badaniach procesu granulowania do odpadów tytoniowych zostanie wprowadzony dodatek 10%, 20% i 30 % drobnoziarnistych odpadów melisy. Wprowadzenie dodatku odpadów melisy (charakteryzujących się udziałem ok. 42 % cząstek o wielkości 0,125 mm oraz ok. 35 % cząstek o wielkości 0,25 mm i małą podatnością na zagęszczanie) do odpadów tytoniowych (charakteryzujących się wysoką podatnością na zagęszczanie) powinno zminimalizować niedogodność związaną z ujemnym wpływem drobnych frakcji w odpadach melisy na przebieg procesu zagęszczania i jakość granulatu.

Badane odpady (zarówno tytoniu jak i melisy) poddane procesowi granulowania miały wilgotność 12 %. Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym w układzie „otwarta komora zagęszczania – tłok zagęszczający” (opisanym w **publikacji nr 1**). Badania granulowania mieszanek odpadów tytoniowo-melisowych wykonano według planu eksperymentu Hartleya PS/DS-P4, przyjmując jako zmienne niezależne: zawartość odpadów melisy w mieszance (10%, 20% i 30 %), temperaturę procesu (40 °C, 60 °C i 80 °C), długość otworów matrycy (37 mm, 42 mm i 47 mm) i masę zagęszczanej próbki (0,3 g, 0,6 g i 0,9 g).

Zwiększenie temperatury procesu (temperatury zagęszczanych odpadów i temperatury komory roboczej) z 40 do 80 °C oraz zwiększenie długości otworów w matrycy z 37 do 47 mm powoduje wzrost maksymalnych nacisków zagęszczających, uzyskanych podczas zagęszczania mieszanki odpadów tytoniu i melisy. Wzrost nacisków wraz ze zwiększeniem temperatury, spowodowany był przywieraniem zagęszczanego materiału do ścianek komory w trakcie zagęszczania, co powodowało wzrost oporów przetłaczania. Było to szczególnie widoczne w zakresie temperatury 60÷80 °C. Natomiast wzrost maksymalnych nacisków zagęszczających wraz ze zwiększaniem długości matrycy, wynika ze zwiększenia rzeczywistej powierzchni tarcia między cząstkami zagęszczanej mieszanki a ściankami komory.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że zarówno zwiększenie masy próbki zagęszczanej mieszanki z 0,3 g do 0,9 g, jak i zwiększenie zawartości odpadów melisy w zagęszczanej mieszance z 10 do 30 %, spowodowało wzrost gęstości otrzymanego granulatu. Wzrost gęstości otrzymanego granulatu wraz ze wzrostem zawartości melisy, spowodowany jest zwiększeniem

zawartości cząstek drobnych (wraz ze wzrostem udziału melisy w zagęszczanej mieszance), co wpłynęło na zwiększenie stopnia „upakowania” cząstek w zagęszczanej mieszance. Wzrost gęstości otrzymanego granulatu wraz ze wzrostem masy zagęszczanej próbki jest związany ze wzrostem oporów przetłaczania zagęszczanej mieszanki spowodowanych wzrostem sił tarcia między zagęszczaną mieszanką i ściankami otworów matrycy, co wpłynęło na zwiększenie wartości nacisków zagęszczających.

Zwiększenie temperatury procesu z 40 do 80 °C jak i długości otworów w matrycy z 37 do 47 mm spowodowało również wzrost gęstości otrzymanego granulatu. W wyniku wysokiej temperatury i spadku lepkości cieczy zawartej w zagęszczanej mieszance odpadów, nastąpiło korzystniejsze przemieszczanie się i „układanie” drobnych cząstek odpadów pomiędzy cząstkami większymi, co spowodowało ich lepsze „upakowanie” pod obciążeniem tłoka zagęszczającego. Wzrost gęstości granulatu wraz ze zwiększaniem długości matrycy, wynikał natomiast ze znacznego wzrostu nacisków zagęszczających będących wynikiem zwiększenia oporów tarcia zagęszczanej mieszanki o powierzchnię matrycy.

Najkorzystniejsze parametry, z punktu widzenia gęstości otrzymanego granulatu powyżej 1100 kg/m³, to zakres temperatury procesu granulowania odpadów tytoniu i melisy od 60-80°C, długość otworu matrycy 47 mm, zawartość odpadów melisy w zagęszczanej mieszance ok. 20 % oraz masa próbki zagęszczanych odpadów wynosząca 0,6 g.

Przedstawione w **publikacji nr 2** badania pozwalają na stwierdzenie, że mieszanina odpadów poprodukcyjnych tytoniu i melisy jest materiałem dobrze poddającym się procesowi granulowania i może być wykorzystana jako paliwo opałowe ze względu na swoje wysokie właściwości energetyczne, co zostało potwierdzone przez wcześniejsze badania [Król i in. 2010, Obidziński 2010].

3) publikacji nr 3:

Kolejnym odpadem poprodukcyjnym powstającym w zakładach przemysłu rolno-spożywczego, mogącym stanowić bogate źródło tzw. „biomasy nieleśnej”, jest wycierka ziemniaczana, która powstaje jako odpad poprodukcyjny przy produkcji skrobi ziemniaczanej. Jest ona dość uciążliwym i trudnym do zagospodarowania odpadem organicznym, będącym pozostałością po wyplukaniu z ziemniaków skrobi i większości wód sokowych.

Przykładowo, znajdujące się na terenie miasta Łomża zakłady PEPEES S.A corocznie, w trakcie trwającej ok. 90 dni kampanii ziemniaczanej, przy dobrych plonach surowca, przerabiają ok. 150 tys. ton ziemniaków. Przekłada się to na powstanie odpadu w postaci ok. 22500 ton odprasowanej wycierki o wilgotności ok. 80 %, co w przeliczeniu na suchą substancję daje nam ok. 4500 ton suchej masy. Jest to ilość bardzo interesująca nawet z punktu widzenia energetyki zawodowej [Niesterek i in. 2008]. Wobec małego zainteresowania rolników wykorzystywaniem wycierki jako nawozu (w postaci kompostu), bądź wypełniacza paszowego oraz wobec niewielkiego zainteresowania wykorzystaniem jej jako substratu do produkcji biogazu zakłady generujące ten odpad poszukują sposobu pozbycia się kłopotliwego i kosztownego balastu. Bazując na wstępnych badaniach postanowiono określić przydatność wycierki ziemniaczanej pochodzącej z zakładów PEPEES S.A w Łomży jako przyszłego, ekologicznego paliwa stałego, co przedstawiono w **publikacji nr 3:**

Obidziński S. (2012). Analysis of usability of potato pulp as solid fuel. Fuel Processing Technology 94(2012), 67–74. (JCR), IP=2,945, MNiSW=32.

W ramach przeprowadzonej w **publikacji nr 3** analizy dokonano: oznaczenia zawartości składu pierwiastkowego (chloru, sodu, potasu, fosforu i azotu), oceny walorów energetycznych wycierki (wilgotności bezwzględnej wycierki, ciepła spalania i wartości opałowej, zawartości popiołu w wycierce), oceny nakładów energetycznych poniesionych na proces zagęszczania wycierki oraz oceny jakości (gęstości) granulatu (pelletu) z wycierki.

Oznaczenie składu elementarnego wycierki tj. oznaczeń zawartości popiołu oraz zawartości chlorków, sodu, potasu, fosforu i azotu ogólnego dokonano ze względu na ich istotny wpływ na procesy spalania.

Wyniki oznaczeń zawartości chlorków, sodu, potasu, fosforu i azotu ogólnego w wycierce ziemniaczanej (tabela 1) świadczą, że żaden z oznaczanych w wycierce pierwiastków nie przekracza dopuszczalnych wartości granicznych dla kotła fluidalnego ze złożem bąbelkowym (tabela 1).

Tabela 1. Wyniki oznaczeń zawartości suchej masy, sodu, potasu, fosforu i chlorków w próbkach granulatu z wycierki [Niesterek i in. 2008]

Lp	sucha masa [%]	Na [mg/kg]	K [mg/kg]	P [%]	Cl ⁻ [mg/kg]	azot ogólny [%]
Wycierka	70,6 ± 3,5	102 ± 10	2190 ± 22	0,034 ± 0,003	124 ± 12,4	0,474 ± 0,02
Wartości graniczne dla kotła fluidalnego ze złożem bąbelkowym	-	0,05% (500mg/kg)	0,3% (3000mg/kg)	0,07 % (700mg/kg)	0,06% (600mg/kg)	0,68 % (6800mg/kg)

Przeprowadzone oznaczenia zawartości składu pierwiastkowego (chloru, sodu, potasu, fosforu i azotu) tj. pierwiastków istotnych w procesie spalania, pozwoliły stwierdzić, iż paliwo z wycierki ziemniaczanej, w porównaniu z innymi rodzajami biomasy, może stać się bardzo dobrym i atrakcyjnym paliwem kotłowym, mogącym zostać wykorzystanym przez energetykę zawodową. Jego dodatek do innych rodzajów biomasy, z przekraczającymi parametrami granicznymi oznaczonych pierwiastków, pozwoli również na jego przemysłowe spalanie.

Zawartość wilgoci w wycierce (ok. 88,2%) stanowi poważny problem przy jej stosowaniu jako paliwa stałego, ze względu na znaczne nakłady na suszenie, bądź jej odwodnienie innymi sposobami.

Uzyskane wartości ciepła spalania i wartości opałowej wycierki pokazują, że jest ona materiałem o wysokich walorach energetycznych. Jej ciepło spalania w stanie suchym wynosi 16,33 MJ/kg, zaś wartość opałowa 15,41 MJ/kg. Na wartości ciepła spalania i wartości opałowej wycierki bardzo istotny wpływ ma jej wilgotność. W **publikacji nr 3** wyznaczono model matematyczny przedstawiający zależność ciepła spalania wycierki od wilgotności. Uzyskane wyniki badań, w porównaniu do innych surowców pochodzenia roślinnego, pokazują, że wycierka jest surowcem o walorach energetycznych zbliżonych do innych odpadów pochodzenia roślinnego m.in. słomy, makuchów rzepakowych, trocin, papieru [Obidziński 2004; Komorowicz i in. 2009; Stolarski i in. 2007; Cieślowski i in. 2006].

Badania procesu zagęszczania wycierki ziemniaczanej przeprowadzono na stanowisku badawczym w układzie „otwarta komora zagęszczania – tłok zagęszczający”, opisanym w **publikacji nr 1**. Badania wykonano według planu eksperymentu Hartleya PS/DS-P4. Wielkościami wejściowymi były parametry materiałowo-procesowe: wilgotność wycierki (35%, 40% i 45%), temperatura wycierki i układu roboczego (40 °C, 60 °C i 80 °C), średnia średnica cząstki wycierki (0,5 mm; 1,5 mm i 2,5 mm) i wielkość zagęszczanej porcji (1 g; 1,5 g i 2 g).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwiększenie zarówno temperatury procesu (temperatury wycierki i temperatury komory roboczej) jak i wilgotności wycierki powoduje spadek maksymalnych nacisków zagęszczających. Zwiększenie masy próbki wycierki z 1 do 2 g spowodowało wzrost nacisków zagęszczających. Wzrost nacisków spowodowany jest zwiększaniem masy wycierki, powodującej zwiększoną rzeczywistą powierzchnię tarcia, co wpływa na zwiększanie się oporów tarcia między zagęszczaną wycierką a ściankami komory.

Spadek maksymalnych nacisków zagęszczających wraz ze zwiększaniem wielkości cząstki wycierki z 0,5 do 2,5 mm wynika z faktu zmniejszenia właściwej powierzchni kontaktu cząstek o wielkości 2,5 mm niż w przypadku cząstek o wielkości 0,5 mm, z powierzchnią ścianki otworu matrycy.

Zwiększenie temperatury procesu (temperatury wycierki i temperatury komory roboczej) z 40 do 80 °C powoduje wzrost gęstości granulatu. Obserwowany wzrost gęstości spowodowany jest zwiększeniem stopnia żelowania skrobi w wycierce pod wpływem temperatury i powstaniem trwałszych wiązań międzycząsteczkowych w otrzymanym granulacie.

Natomiast zwiększanie wilgotności wycierki w zakresie od 35 do 45 % powoduje natomiast obniżenie gęstości otrzymanego granulatu. Powstająca w wysokiej temperaturze para z wilgoci

zawartej w wycierce zmniejsza trwałość wiązań w tworzonym aglomeracie, co wpływa ujemnie na gęstość granulatu.

Zwiększanie masy zagęszczonej próbki wycierki od 1 do 2 g powoduje zwiększanie gęstości granulatu. Obserwowany wzrost jest związany z coraz większymi oporami przetłaczania zagęszczonej wycierki powstałymi w wyniku zwiększenia rzeczywistej powierzchni tarcia między zagęszczaną masą i ściankami otworów matrycy.

Zmniejszanie wielkości cząstki granulowanej wycierki w zakresie od 2,5 do 0,5 mm powoduje wzrost gęstości granulatu. Spowodowane jest to zwiększonym spadkiem wolnej przestrzeni międzycząsteczkowej podczas zagęszczania, co wpływa dodatnio na zwiększanie się gęstości granulatu.

Przedstawione w **publikacji nr 3** badania pozwalają na stwierdzenie, że wycierka ziemniaczana jest materiałem o wysokich walorach energetycznych (wysokiej wartości ciepła spalania i wartości opałowej), pozostawiającym niewielkie zawartości popiołu po procesie spalania. Oznaczenia zawartości składu pierwiastków istotnych w procesie spalania (chloru, sodu, potasu, fosforu i azotu), pozwalają stwierdzić, iż paliwo z wycierki ziemniaczanej, w porównaniu z innymi rodzajami biomasy jest dobrym i atrakcyjnym paliwem kotłowym. Badania procesu granulowania wycierki ziemniaczanej, pokazały że, możliwe jest jej zagęszczanie po obniżeniu jej wilgotności do ok. 35-45%. Przeprowadzone badania pokazały, że podsuszona do wilgotności 35-45 % wycierka charakteryzuje się dużą podatnością na granulowanie i może zostać wykorzystana jako surowiec do produkcji ekologicznego paliwa stałego w postaci granulatu lub brykietów opałowych.

4) publikacji nr 4:

Kontynuacją badań przedstawionych w **publikacji nr 3**, były badania procesu granulowania mieszaniny odpadów zbożowych w postaci otręb owsianych i wycierki ziemniaczanej, które przedstawiono w **publikacji nr 4**:

Obidziński S. (2013). Ocena procesu wytwarzania granulatu opałowego z otręb owsianych z udziałem wycierki ziemniaczanej. *Acta Agrophysica*, Vol. 20(2), 389-402. ISSN 1234-4125. MNiSW=7.

Badania przedstawione w **publikacji nr 4** były następstwem wniosków, które wypłynęły z badań przedstawionych w **publikacji nr 3** i z doniesień literaturowych [Miranda i in. 2012; Stahl i Berghel 2011; [Filbakk i in. 2011; Poskrobko i in. 2010, Gil i in. 2010, Gil i in. 2010a; Wandrasz i Wandrasz 2006; Moran i in. 2009], według których możliwa jest konwersja poprodukcyjnych odpadów roślinnych do postaci granulatu w połączeniu z innymi odpadami roślinnymi.

Celem pracy było określenie wpływu zawartości niewysuszonej wycierki ziemniaczanej (o wilgotności ok. 88%) w mieszaninie z otrębami owsianymi na energochłonność procesu granulowania oraz na jakość uzyskanego granulatu, w aspekcie jego wykorzystania jako paszy lub paliwa opałowego.

Badania procesu zagęszczania mieszaniny otrębów owsianych i wycierki ziemniaczanej przeprowadzono na stanowisku badawczym w układzie „otwarta komora zagęszczania – tłok zagęszczający”, opisanym w **publikacji nr 1**. W trakcie badań poszukiwano optymalnego dla technologii pelletowania składu mieszanki (wycierka ziemniaczana–otręby owsiane) zapewniającego zadowalającą jakość uzyskanego granulatu. Proces zagęszczania prowadzono dla przygotowanych mieszanek o udziałach masowych 10%, 20% i 30% wycierki ziemniaczanej w mieszaninie z otrębami owsianymi. Badania wykonano w komorze otwartej o średnicy 8 mm i długości 47 mm, w temperaturze 50 °C, 70 °C i 90 °C, zagęszczając (przetłaczając) po 20 próbek o masie 1g, dla każdego punktu pomiarowego.

Zgodnie z otrzymanymi wynikami badań, zwiększenie zawartości wycierki w mieszance z otrębami owsianymi z 10 do 20% spowodowało wzrost nacisków zagęszczających o ok. 123% przy temperaturze 50°C (z 3,72 do 8,30 MPa) i aż o ok. 248% przy temperaturze 90°C (z 2,66 do 9,26 MPa). Wzrost nacisków zagęszczających wraz ze zwiększeniem zawartości wycierki spowodowany był zwiększeniem wilgotności mieszanki (z 13,38% do 20,40 %), co spowodowało zwiększenie ilości lepiscza w mieszance, które w kontakcie z powierzchnią otworu w matrycy powodowało zwiększenie

oporów przetłaczania (mieszanka już nie ślizgała się po powierzchni otworu w matrycy, jak przy 10% dodatku wycierki do otręb owsianych) i w konsekwencji wzrosły naciski zagęszczające.

Dalsze zwiększenie zawartości wycierki w mieszance z 20 do 30% spowodowało spadek nacisków zagęszczających o ok. 58% przy temperaturze 50°C (z 8,30 do 3,48 MPa) i o ok. 62,5% przy temperaturze 90°C (z 9,26 do 3,44 MPa). Było to wynikiem wzrostu wilgotności mieszanki z 20,40% do 29,58%. Taka wilgotność powodowała powstanie dużej ilości cieczy w mieszance, która pełniła rolę „smaru” przy kontakcie zagęszczanej mieszanki z otworem matrycy w trakcie zagęszczania i w konsekwencji powodowała obniżenie nacisków zagęszczających.

Przeprowadzona jednoczynnikowa analiza wariancji (jednowymiarowy test istotności Kołmogorowa-Smirnowa) na poziomie istotności $P = 0,05$, pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic pomiędzy wartościami maksymalnych nacisków zagęszczających otrzymanych przy rosnącej zawartości wycierki przy każdej badanej temperaturze. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wartościami maksymalnych nacisków zagęszczających przy temperaturze 50°C przy zawartości wycierki 10 i 30% oraz otrzymanych przy temperaturze 70°C przy zawartości wycierki 20 i 30%.

Zwiększenie temperatury procesu granulowania z 50 do 90°C, otrębów owsianych przy 10% udziale wycierki ziemniaczanej spowodowało spadek nacisków zagęszczających o ok. 40% (z 3,72 do 2,66 MPa). Inna tendencja występowała przy 20 i 30% zawartości wycierki w mieszance z otrębami. W tym przypadku zwiększenie temperatury procesu granulowania od 50 do 70°C spowodowało wzrost nacisków o ok. 12,5% przy 20% zawartości wycierki (z 8,30 do 9,33 MPa) oraz wzrost nacisków o ok. 50% przy 30% zawartości wycierki (z 3,48 do 5,22 MPa). Dalsze zwiększanie temperatury od 70 do 90°C powodowało spadek nacisków zagęszczających. Spadek nacisków zagęszczających po przekroczeniu temperatury 70°C spowodowany był zwiększeniem stopnia żelifikacji skrobi zawartej w wycierce i tworzeniem coraz większych ilości lepiscza (mieszanki skrobi i wilgoci) wraz ze wzrostem temperatury, co przyczyniło się do spadku oporów przetłaczania i zmniejszenia wartości nacisków zagęszczających.

Przeprowadzona jednoczynnikowa analiza wariancji (jednowymiarowy test istotności Kołmogorowa-Smirnowa) na poziomie istotności $P = 0,05$, pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic pomiędzy wartościami gęstości granulatu otrzymanego przy rosnącej zawartości wycierki przy każdej badanej temperaturze.

Przeprowadzone badania wykazały, że przy mniejszym niż 20% dodatku wycierki gęstość granulatu była niska. Granulat rozpadał się lub bardzo łatwo rozkruszał się. W takim wypadku (przy mniejszych zawartościach wycierki) należałoby otręby owsiane rozdrabniać, co zmniejszyłoby ich tendencje do ślizgania się po powierzchni otworu w matrycy i ułatwiłoby ich wiązanie w granuli z żelifikującą pod wpływem temperatury i wilgoci skrobią z wycierki.

Zwiększenie zawartości wycierki w mieszance z otrębami owsianymi z 10 do 20% wpłynęło na wzrost gęstości otrzymanego granulatu o ok. 15,5% przy temperaturze 50°C (z 719,11 do 840,94 kg/m³) i o ok. 14% przy temperaturze 90°C (z 790,94 do 920,95 kg/m³). Wzrost gęstości otrzymanego granulatu wraz ze zwiększeniem zawartości wycierki spowodowany był wzrostem ilości lepiscza (powstałego ze skrobi i wilgoci), które pojawiło się w mieszance wraz ze zwiększeniem ilości wycierki. Zwiększenie ilości lepiscza powodowało powstawanie coraz trwalszych wiązań cząstek mieszanki i w konsekwencji spowodowało wzrost gęstości granulatu.

Dalsze zwiększenie zawartości wycierki w mieszance z otrębami owsianymi z 20 do 30% wpłynęło na spadek gęstości otrzymanego granulatu o ok. 25% przy temperaturze 50°C (z 840,94 do 671,24 kg/m³) i o ok. 43% przy temperaturze 90°C (z 920,95 do 530,10 kg/m³). Zwiększenie zawartości wycierki w mieszance z otrębami owsianymi od 20 do 30% spowodowało zbyt duży wzrost wilgotności mieszanki z 20,40% do 29,58%, co powodowało rozprężanie nowopowstałego granulatu wskutek parowania nadmiaru wody zawartej w mieszance, po opuszczeniu komory zagęszczania.

Zwiększenie temperatury procesu granulowania mieszanki od 50 do 90°C spowodowało wzrost gęstości otrzymanego granulatu o ok. 10% (z 719,11 do 790,94 kg/m³) przy 10% dodatku wycierki oraz o ok. 9,5% (z 840,94 do 920,95 kg/m³) przy 20% zawartości wycierki w mieszance. Wzrost ten spowodowany był zwiększeniem stopnia żelifikacji skrobi zawartej w wycierce i powstawaniem coraz większych ilości lepiscza (mieszanki skrobi i wilgoci), co prowadziło do powstawania coraz trwalszych wiązań cząstek mieszanki i w konsekwencji wzrost gęstości granulatu.

Jedynie przy 30% zawartości wycierki w mieszance z otrębami, zwiększenie temperatury procesu od 50 do 90°C spowodowało spadek gęstości otrzymanego granulatu o ok. 11% (z 671,24 do 530,10 kg·m⁻³). W tym przypadku, zwiększenie temperatury procesu granulowania spowodowało rozprężanie nowopowstałego granulatu wskutek parowania nadmiaru wody zawartej w mieszance przy rosnącej temperaturze procesu. Rozprężanie nowopowstałego granulatu wpłynęło na spadek gęstości uzyskanego granulatu.

Uzyskane wartości gęstości granulatu (ok. 921 kg/m³) przy zawartości wycierki 20 % i temperaturze powyżej 90 °C, pozwoliły na stwierdzenie, że uzyskany granulak ma wysoką jakość i stanowi pełnowartościowe paliwo stałe.

W **publikacji nr 4** opisano równaniami wpływ zawartości wycierki w mieszance z otrębami owsianymi oraz temperatury procesu na maksymalne naciski zagęszczające otrzymane w procesie granulowania oraz na gęstość otrzymanego granulatu.

Przeprowadzono również analizę regresji nieliniowej otrzymanych równań na poziomie istotności P=0,05, która pozwoliła na stwierdzenie istotności poszczególnych wyrazów w przyjętych modelach. Wykonana analiza pozwoliła na stwierdzenie, że wyrazami istotnymi w przyjętych modelach są jedynie wyrazy związane z zawartością wycierki.

Wyniki badań zaprezentowanych w **publikacji nr 4**, pozwoliły na wstępne określenie parametrów realizacji procesu zagęszczania w układzie roboczym granulatora z matrycą płaską.

5) publikacji nr 5:

Po określeniu parametrów realizacji procesu granulowania mieszaniny otrębów owsianych i wycierki ziemniaczanej przeprowadzonych na stanowisku badawczym w układzie „otwarta komora zagęszczania – tłok zagęszczający”, opisanych w **publikacji nr 4** podjęto decyzję o realizacji badań procesu granulowania w układzie roboczym granulatora z płaską obrotową matrycą współpracującą z rolkami zagęszczającymi. Badania te przedstawiono w **publikacji nr 5**:

Obidziński S. (2014). Pelletisation of biomass waste with potato pulp content. International Agrophysics. Vol. 28(1), 85-91. (JCR), IP=1,025, MNiSW=25.

W trakcie badań (zaprezentowanych w **publikacji nr 5**) określono wpływ zawartości wycierki ziemniaczanej w mieszaninie z otrębami owsianymi na zapotrzebowanie na moc przez silnik napędzający granulator oraz na wytrzymałość kinetyczną otrzymanego granulatu. Po doświadczeniach zdobytych podczas badań zaprezentowanych w **publikacji nr 4**, zdecydowano się na zmianę ilości wycierki wprowadzanej do mieszaniny z otrębami owsianymi na 15 %, 20 % i 25 %.

Badania procesu zagęszczania mieszanki wycierki ziemniaczanej z otrębami owsianymi przeprowadzono na stanowisku, którego głównym elementem jest granulator P-300 z matrycą płaską. Szczelina robocza między rolką zagęszczającą a matrycą wynosiła 0,4 mm, masowe natężenie przepływu mieszanki 150 kg/h, a prędkość obrotowa matrycy 280 obr/min. Matryca użyta w trakcie badań posiadała otwory o średnicy 8 mm i długości 28 mm.

Wytrzymałość kinetyczną otrzymanego granulatu oznaczano zgodnie z normą PN-R-64834:1998, po 24 godzinach od momentu opuszczenia układu roboczego przez granulak, z wykorzystaniem testera Holmena oraz Pfosta.

Uzyskane wyniki badań, przedstawione w **publikacji nr 5**, pozwoliły stwierdzić, że zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej od 15 do 25 % w mieszance z otrębami owsianymi spowodowało znaczny spadek zapotrzebowania granulatora na moc o ok. 41 % (z 3,69 do 2,18 kW).

Spadek zapotrzebowania granulatora na moc jest spowodowany znacznym wzrostem wilgotności mieszaniny spowodowanej zwiększeniem zawartości wycierki ziemniaczanej, co również potwierdziły badania zaprezentowane w **publikacji nr 4**. Wilgotność średnia mieszaniny wzrosła z 18,50 % (przy 15 % zawartości wycierki w zagęszczanej mieszance) do 31,33 % (przy 25 % zawartości wycierki w zagęszczanej mieszance). Zwiększenie zawartości wycierki spowodowało powstanie coraz większych ilości lepiszcza (w postaci lepkiej cieczy powstałej ze skrobi i wilgoci) w trakcie procesu pelletowania. Powstałe zbyt duże ilości lepiszcza (przy zawartości wycierki 25%) spowodowało spadek oporów przetłaczania i jednocześnie zmniejszenie wartości zapotrzebowania granulatora na moc, przy jednoczesnym zachowaniu zadowalającej wytrzymałości kinetycznej

powstałego granulatu, który po schłodzeniu i zastygnięciu w nim lepkiego żelu ze skrobi tworzył w połączeniu z otrębami trwałe aglomerat.

Wpływ zawartości wycierki z_w na zapotrzebowanie granulatora na moc N_g podczas zagęszczania otrębów owsianych i wycierki w układzie roboczym granulatora z płaską matrycą opisano ogólnym równaniem funkcji wykładniczej:

$$N_g = 8,26e^{-0,053z_w} \quad (1)$$

gdzie: z_w – zawartość wycierki ziemniaczanej w mieszaninie [%].

Zwiększenie zawartości wycierki z 15 do 25 % w mieszaninie z otrębami owsianymi, wpłynęło na spadek wytrzymałości kinetycznej granulatu oznaczonej metodą Holmena. Przy czasie testu 30 s wytrzymałość kinetyczna spadła o ok. 22 % z wartości 98,42 % do 76,64 %. Przy czasie testu 60 s (właściwy czas testu dla granulatu o średnicy 8 mm, zgodnie z normą PN-R-64834:1998), wytrzymałość kinetyczna granulatu spadła o ok. 31 % z wartości 95,78 % do 65,90 %. Wzrost czasu testu do 90 s spowodował spadek wytrzymałości kinetycznej o ok. 45 % z wartości 95,24% do 52,66%

Zbliżone wyniki, co do wartości wytrzymałości kinetycznej granulatu, jak przy czasie testu Holmena, równym 60 s otrzymano przy teście Pfosta. Zwiększenie zawartości wycierki z 15 do 25 % w mieszaninie z otrębami owsianymi, spowodowało spadek wartości wytrzymałości kinetycznej granulatu o ok. 30 % z wartości 96,22 % do 67,10 %. Oznaczona wartość wytrzymałości kinetycznej granulatu metodą Pfosta jest o ok. 1 % wyższa od wartości oznaczonej metodą Holmena, co pozwoliło na stwierdzenie, że w przyszłych badaniach można stosować zamiennie obie metody. Metoda Holmena jest jednak znacznie mniej czasochłonna.

Zależność wytrzymałości kinetycznej P_{dx} granulatu od zawartości wycierki ziemniaczanej z_w w mieszaninie z otrębami, przy każdym z czasów testu Holmena, jak również przy teście Pfosta, opisano wielomianem drugiego stopnia:

$$P_{dx} = Az_w^2 + Bz_w + C \quad (2)$$

gdzie:

z_w – zawartość wycierki ziemniaczanej w mieszaninie [%].

A, B, C – współczynniki.

Przeprowadzone badania w układzie roboczym granulatora pozwoliły na stwierdzenie, że najkorzystniejszym z punktu widzenia zapotrzebowania na moc granulatora jest dodatek 20 % wycierki do otrębów owsianych. Pozwala on na znaczne obniżenie energochłonności procesu (zapotrzebowanie na moc spada przy 15 % dodatku wycierki o ok. 19 % (z wartości 3,69 do 2,98 kW) a jednocześnie uzyskanie zadowalającej jakości granulatu (powyżej 90 % wytrzymałości kinetycznej). Zwiększanie dodatku wycierki do 25 % powodowało dalszy spadek zapotrzebowanie na moc o ok. 22%, ale pociągało za sobą również spadek wytrzymałości kinetycznej do wartości poniżej 70 %, co czyni uzyskany pellet niepełnowartościowym.

Przeprowadzone badania w układzie roboczym granulatora pozwalają na stwierdzenie, że najkorzystniejszym z punktu widzenia jakości granulatu dodatkiem wycierki do otrębów owsianych był dodatek 15 %, który pozwalał na uzyskanie wysokiej jakości granulatu (o wytrzymałości kinetycznej powyżej 95 %). Zwiększenie zawartości wycierki powyżej 20 % (przy jej roboczej wilgotności ok. 85-88%) powodowało spadek wytrzymałości kinetycznej granulatu poniżej 90 %.

Wyniki badań zaprezentowane w **publikacji nr 5**, świadczą o tym, iż dodatek wycierki ziemniaczanej do odpadowych materiałów roślinnych o niskiej wilgotności (do otrębów owsianych w przypadku **publikacji nr 5**) jest doskonałym lepiszczem pozwalającym na zwiększenie podatności na zagęszczanie mieszanek, co pozwala na obniżenie energochłonności procesu granulowania (pelletowania) i jednocześnie na uzyskanie granulatu o zadowalających cechach wytrzymałościowych.

Wyniki badań otrzymane w **publikacji nr 5** w połączeniu z wynikami zaprezentowanymi w **publikacji nr 4**, pozwoliły na opracowanie szczegółowych wytycznych technologii wytwarzania granulatu opałowego (paszowego) z udziałem wycierki ziemniaczanej, czego owocem było zgłoszenie patentowe autora [Obidziński 2012]:

Obidziński S.: Granulat opałowy i paszowy i technologia jego wytwarzania. Zgłoszenie patentowe P.398399 z dnia 12.03.2012r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2012.

6) publikacji nr 6:

Wysokie wartości ciepła spalania i wartości opałowej wycierki (przedstawione w **publikacja nr 3**), właściwości antykorozyjne granulatu (pelletu) z materiałów biomasowych z udziałem wycierki [Król 2012] i doświadczenia zdobyte podczas badań zaprezentowanych w **publikacji nr 5** (dodatek wycierki ziemniaczanej do odpadowych materiałów roślinnych o niskiej wilgotności jest doskonałym lepiszczem pozwalającym na zwiększenie podatności na zagęszczanie innych materiałów o niższej podatności i pozwalającym na obniżenie energochłonności procesu granulowania, pozwalającym jednocześnie na uzyskanie granulatu o dobrych cechach wytrzymałościowych), zdecydowało na wykorzystanie wycierki jako dodatku lepiszczowego do łuski gryki - innego rolno-spożywczego surowca odpadowego o niskiej podatności na zagęszczanie. Wyniki badań procesu zagęszczania mieszaniny łuski gryki i wycierki ziemniaczanej przedstawiono w **publikacji nr 6**:

Obidziński S. (2014). Utilization of post-production waste of potato pulp and buckwheat hulls in the form of pellets. Polish Journal of Environmental Studies. 2014, Vol. 23, No. 4, (art. w trakcie druku). (JCR), IP=0,462. MNIŚW=15.

Celem badań zaprezentowanych w **publikacji nr 6** było określenie wpływu dodatku wycierki ziemniaczanej dodawanej w ilości: 15%, 20% i 25% do łuski gryki oraz warunków prowadzenia procesu granulowania tj. zmiennego masowego natężenia przepływu mieszanki przez układ roboczy granulatora (50 kg/h, 75 kg/h i 100 kg/h) na energochłonność procesu granulowania oraz na jakość uzyskanego granulatu (gęstość, wytrzymałość kinetyczną oraz jego ciepło spalania i wartość opałową). W pracy określono również wpływ procesu granulowania na zmiany aktywności wody zagęszczanej mieszanki i otrzymanego granulatu w aspekcie jego wykorzystania jako potencjalnej paszy lub paliwa opałowego.

Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej z 15 do 25% w mieszance z łuską gryki spowodowało znaczny spadek zapotrzebowania granulatora na moc. Przy masowym natężeniu przepływu mieszanki przez układ roboczy granulatora wynoszącym 50 kg/h spadek ten wyniósł ok. 35% (z 2,08 do 1,35 kW), o ok. 35% przy masowym natężeniu przepływu mieszanki 75 kg/h (z 2,73 do 1,78 kW) oraz o ok. 51 % przy masowym natężeniu przepływu mieszanki 100 kg/h (z 4,26 do 2,07 kW). Otrzymany spadek zapotrzebowania granulatora na moc był spowodowany przede wszystkim znacznym wzrostem wilgotności mieszaniny wynikający ze zwiększenia zawartości wycierki ziemniaczanej od 15 do 25%. Łuska gryki posiada niewielką wilgotność wynoszącą ok. 9,2%. Wilgotność średnia mieszaniny łuski gryki wzrosła z 18,63 % (przy 15 % zawartości wycierki w zagęszczanej mieszance) do 26,23 % (przy 25 % zawartości wycierki w zagęszczanej mieszance).

Zwiększenie masowego natężenia przepływu mieszanki przez układ roboczy granulatora z 50 do 100 kg/h spowodowało wzrost zapotrzebowania granulatora na moc. Przy zawartości wycierki w mieszance 15 %, wzrost ten wyniósł ok. 105% (od 2,08 do 4,26 kW), przy zawartości wycierki w mieszance 20%, wzrost zapotrzebowania na moc granulatora wyniósł ok. 49% (od 1,58 do 2,36 kW), a przy 25% zawartości wycierki w mieszance wzrost zapotrzebowania na moc granulatora wyniósł ok. 53% (od 1,35 do 2,07 kW). Zaobserwowany wzrost zapotrzebowania granulatora na moc wynika z faktu, że przy większej ilości doprowadzanej mieszanki do układu roboczego granulatora, zwiększa się ilość materiału zagęszczonego w jednym cyklu zagęszczania (zwiększa się grubość warstwy materiału włączana do otworów w matrycy). Zwiększona grubość warstwy w jednym cyklu zagęszczania przekłada się na wzrost oporów przetłaczania i w konsekwencji wzrost zapotrzebowania na moc granulatora.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej z 15 do 25% w mieszaninie z łuską gryki, spowodowało spadek gęstości i wytrzymałości kinetycznej granulatu oznaczonej metodą Holmena. Spadek gęstości otrzymanego granulatu wraz ze zwiększeniem zawartości wycierki ziemniaczanej z 15 do 25 %, przy masowym natężeniu przepływu mieszanki przez układ roboczy granulatora wynoszącym 50 kg/h wyniósł ok. 19,5% (z 1185,95 do 954,88 kg/m³), o ok. 20,5% przy masowym natężeniu przepływu mieszanki 75 kg/h (z 1134,42 do 902,49 kg/m³) oraz o ok. 19 % przy masowym natężeniu przepływu mieszanki 100 kg/h (z 1005,85 do 813,73 kg/m³).

W przypadku wytrzymałości kinetycznej granulatu, zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej z 15 do 25 % w mieszance z łuską gryki, spowodowało jej spadek o ok. 6% przy masowym natężeniu przepływu mieszanki przez układ roboczy granuladora wynoszącym 50 kg/h (z 98,85 do 93,22 %), o ok. 6% przy masowym natężeniu przepływu mieszanki 75 kg/h (z 96,09 do 90,74 %) oraz o ok. 11 % przy masowym natężeniu przepływu mieszanki 100 kg/h (z 93,58 do 83,22%).

Zwiększenie masowego natężenia przepływu mieszanki przez układ roboczy granuladora z 50 do 100 kg/h spowodowało spadek zarówno gęstości jak i wytrzymałości kinetycznej granulatu. Największy spadek gęstości i wytrzymałości kinetycznej granulatu wraz ze zwiększeniem masowego natężenia przepływu mieszanki przez układ roboczy granuladora z 50 do 100 kg/h zanotowano przy zawartości wycierki w mieszance 25 % - spadek gęstości granulatu o ok. 15 % (od 954,88 do 8132,73 kg/m³) i spadek wytrzymałości kinetycznej granulatu ok. 11% (od 93,22 do 83,22 %).

Uzyskane wartości gęstości i wytrzymałości kinetycznej granulatu z mieszanki łuski gryki i wycierki ziemniaczanej pozwoliły na stwierdzenie, że przy zawartości 15 % otrzymano granulát o wysokiej jakości tj. gęstości przekraczającej 1000 kg/m³ i wytrzymałości kinetycznej przekraczającej 93% (przy wszystkich badanych masowych natężeniach przepływu mieszanki przez układ roboczy urządzenia). Otrzymany granulát z łuski gryki przy zawartości 15% dodatku wycierki w pełni spełnia wymogi norm dotyczących granulatu drzewnego w krajach europejskich [Wach 2005, Hiegl i in. 2009] oraz wymogi norm: EN 14961 i PN-EN 14961 [EN 14961; ALAKANGAS 2012]. Według tych norm za pełnowartościowe paliwo stałe jest uważane paliwo o gęstości powyżej 1000 kg/m³ [Obidziński 2013]. Natomiast granulát z łuski gryki do zawartości 20 % dodatku wycierki w pełni spełnia wymagania normy EN 14961-6 [EN 14961-6], która określa klasy jakościowe paliwa i wymagania dla peletów nieдрzewnych do użytku nieprzemysłowego.

Zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej z 15 do 25 % w mieszaninie z łuską gryki, spowodowało istotne zmniejszenie spadku aktywności wody granulatu oraz jego wilgotności, oznaczonych bezpośrednio po procesie zagęszczania, w stosunku do ich wartości przed procesem zagęszczania. Zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej z 15 do 25 %, przy masowym natężeniu przepływu mieszanki przez układ roboczy granuladora wynoszącym 50 kg/h spowodowało zmniejszenie spadku aktywności wody otrzymanego granulatu o ok.6 % (z 0,916 do 0,971), przy masowym natężeniu przepływu mieszanki przez układ roboczy granuladora wynoszącym 75 kg/h – o również o ok. 6 % (z 0,905 do 0,962) oraz przy masowym natężeniu przepływu mieszanki przez układ roboczy granuladora wynoszącym 100 kg/h – zmniejszenie spadku, o ok. 10,5 % (z 0,860 do 0,950). Uzyskane wartości aktywności wody i wilgotności granulatu po procesie są zdecydowanie za wysokie, aby nie dopuścić do rozwoju pleśni w badanym granulacie. Badania Szlachty i Podawca (2007), pokazują, że pleśnie rozwijają się w paszach, których a_w jest na poziomie od 0,60 do 0,75. W związku z tym uzyskany granulát należy poddać po procesie granulowania chłodzeniu lub suszeniu, aby obniżyć jego aktywność wody poniżej 0,6.

W publikacji nr 6 przedstawiono wyznaczono zależność opisującą wpływ zawartości wycierki z_w w mieszaninie z łuską gryki na ciepło spalania mieszaniny Q_s uzyskaną podczas spalania łuski gryki i wycierki ziemniaczanej:

$$Q_s = -0,013z_w + 19,434 \quad (4)$$

oraz zależność opisującą wpływ zawartości wycierki z_w na wartość opałową Q_i mieszaniny odpadów:

$$Q_i = -0,029z_w + 18,725 \quad (5)$$

Na podstawie uzyskanych zależności stwierdzono, że zwiększenie zawartości wycierki z 0 do 25% spowodowało nieznaczny spadek ciepła spalania od wartości 19,44 do 19,09 MJ/kg (dla suchej masy mieszanki) oraz wartości opałowej od wartości 18,89 do 17,19 MJ/kg (dla suchej masy mieszanki). Uzyskane wartości ciepła spalania i wartości opałowej, świadczą, że badane mieszaniny łuski gryki i wycierki ziemniaczanej są materiałem o wysokich walorach energetycznych. Uzyskane w trakcie badań wartości ciepła spalania łuski gryki są zbliżone do badań uzyskanych przez Stolarskiego i Kwiatkowskiego [2009], według których ciepło spalania peletu z łuski gryki wynosiło 19,99 MJ/kg, a zbliżoną wartością charakteryzowała się łuska.

4.5. Dyskusja Wyników

Przeprowadzone i przedstawione w publikacjach nr 1 – nr 6 badania procesu zagęszczania pozwoliły na stwierdzenie przydatności poprodukcyjnych materiałów odpadowych przemysłu rolno-spożywczego do wytwarzania z nich granulatu. Odpowiednio dobrane parametry związane z: przygotowaniem odpadów, prowadzeniem procesu zagęszczania i konstrukcją układu roboczego zagęszczającego pozwalają na uzyskanie granulatu o wysokiej jakości (gęstości przekraczającej 1000 kg/m³ i wytrzymałości kinetycznej przekraczającej 95%), przy umiarkowanych nakładach energetycznych.

W dostępnej literaturze nie odnaleziono prac odnośnie badań związanych z wykorzystaniem poprodukcyjnych odpadów tytoniowych jako surowca do wytwarzania granulatu opałowego. Według wielu autorów m.in. [Piecuch i in. 1997; Piotrowska-Cyplik i in. 2006; Çerçioğlu, i in. 2008], odpady tytoniowe np. w postaci pyłów są przetwarzane do postaci brykietów i poddawane procesowi kompostowania. W pozycjach tych autorzy nie podają wpływu parametrów materiałowych na przebieg procesu zagęszczania ani na jakość uzyskanego brykietu. Brykiet ten jest tylko oceniany pod kątem przydatności do kompostowania.

Możliwe jest brykietowanie innych odpadów tytoniowych – pozbiorowych odpadów w postaci łądyg. Jak podaje Peševski [Peševski et. al. 2010], ze względu na wysoką wartość opałową, wynoszącą ponad 18000 kJ/kg, i niska zawartość nikotyny, łądygi tytoniowe, przetworzone do postaci brykietu mogą stanowić paliwo opałowe. W swojej pracy Peševski [Peševski et. al. 2010], nie podaje również wpływu parametrów materiałowych na przebieg procesu zagęszczania. Skupia się jedynie na oznaczeniu cech jakościowych otrzymanego brykietu tj. ciepła spalania, zawartości popiołu, wilgotności brykietu i jego gęstości usypowej.

Podjęte badania procesu zagęszczania odpadów tytoniowych i pozytywne ich efekty są zgodne z polityką ekologiczną Państwa i Krajowym Planem Gospodarki Odpadami 2014 [Monitor Polski Nr 2010], gdyż pokazują możliwość zwiększenia udziału odzysku odpadów, poprzez ich zastosowanie jako potencjalnego surowca do produkcji granulatu, z możliwością jego wykorzystania jako paszy lub źródła energii. Pozwala to na zmniejszenie ilości odpadów kierowanych na składowiska i wyeliminowanie praktyki nielegalnego ich składowania. Przeprowadzone badania (przedstawione w publikacji nr 1) pozwoliły na wyeliminowanie niedogodności związanych z przechowywaniem, składowaniem i niebezpieczeństwem dla zdrowia człowieka (stwarzanym przez drobne frakcje) odpadów tytoniowych. Zaproponowana w ramach ich zagospodarowania technologia ich ciśnieniowej aglomeracji do postaci granulatu rozwiązuje problemy racjonalnego zagospodarowania poprodukcyjnych odpadów tytoniowych.

W każdej z funkcjonujących w Polsce fabryk papierosów (m. in. British-American Tobacco w Augustowie) powstaje kilkanaście i więcej ton na dobę odpadów tytoniowych w postaci pyłu oraz łądyg, które uważane były do niedawna za całkowicie bezużyteczne i wyrzucane były w dużych ilościach na hałdy, wokół zakładów tytoniowych. Dotychczas podejmowane były nieliczne próby zagospodarowania odpadów tytoniowych [Piotrowska-Cyplik i in. 2006; Brohi i in. 1998; Çerçioğlu, i in. 2008; Öztürk, Bayraklı 2005] jednak w dalszym ciągu jest to realny problem. Według Piotrowskiej-Cyplik i współautorów [Piotrowska-Cyplik i in. 2008], najtańszym sposobem zagospodarowania odpadów tytoniowych jest stosowanie ich jako nawozu. Innym sposobem zagospodarowania odpadów tytoniowych jest ich wykorzystanie jako komponentu do produkcji lekkich betonów konstrukcyjnych [Öztürk, Bayraklı 2005]. Niektóre zakłady poddają pyliste odpady tytoniowe prasowaniu do postaci brykietów, lecz ich dalsze zagospodarowanie, według Piotrowskiej-Cyplik i współpracowników stanowi poważny problem dla środowiska. Zaproponowana w publikacji nr 1 technologia ich ciśnieniowej aglomeracji do postaci granulatu opałowego a następnie wykorzystanie tego granulatu, jako cennego źródła energii cieplnej uzyskanej w procesie spalania, pokazuje realną i alternatywną możliwość ich zagospodarowania. Właściwości granulatu z odpadów tytoniowych pomimo, jak podaje Król i współautorzy [Król i in. 2010] ryzyka korozji urządzeń realizujących proces spalania, na podobnym poziomie jak przy spalaniu kory lub słomy (znacznie mniejszym niż przy spalaniu węgla kamiennego) i predysponują go do wykorzystania jak potencjalnego źródła energii uzyskanej w procesach termicznych.

Innym z odpadów poprodukcyjnych pozostających w zakładach zielarskich, są drobnoziarniste odpady powstające podczas pakowania ziół (np. odpady melisy). W przypadku zakładów Herbol Białystok S.A. w skali roku, takich odpadów powstaje kilkadziesiąt ton. Odpady takie są zazwyczaj przez zakład sprzedawane za niewielkie kwoty np. za cenę transportu. Jednym ze sposobów zagospodarowania odpadów ziołowych jest ich zastosowanie jako dodatku do pasz [Hanczakowska 2007; Obidziński 2010], jednakże szerokie zastosowanie tych odpadów jako dodatku do pasz wymaga wielu szczegółowych badań (m.in. żywieniowych) oraz uzyskania odpowiednich pozwoleń. Poza tym są w niewielkim stopniu wykorzystywane w przemyśle cukierniczym oraz jako podkłady ogrodnicze [Hańczakowska 2007].

Podstawowym problemem związanym z ich zagospodarowaniem jest ich niewielka gęstość usypowa, nie przekraczającej 300 kg/m^3 oraz bardzo mała wielkość ich cząstek. W badanych odpadach dominującymi frakcjami są cząstki o wielkości $0,125 \text{ mm}$ (42,28 % udziału masowego) oraz frakcja o wielkości cząstek $0,25 \text{ mm}$ (34,65 %). Duży udział drobnych frakcji wpływa na istotny wzrost energochłonności procesu zagęszczania a także stwarza problemy związane z obklejaniem (zaklejaniem) przez frakcję pylistą elementów układu roboczego (rolek zagęszczających, matrycy, tłoka) w trakcie procesu zagęszczania. Te problemy sprawiają, że takie materiały z reguły są poddawane procesowi aglomeracji bezciśnieniowej, ale ta z kolei nie pozwala na otrzymanie produktu o dostatecznych walorach wytrzymałościowych, który byłby odporny na warunki przechowywania, transportu, i nie zapewnia dostatecznie długiego okresu przydatności do spożycia (w przypadku surowców paszowych).

Przedstawione w **publikacji nr 2** badania wskazują na możliwość zagospodarowania drobnoziarnistych odpadów zielarskich jako komponentu (dodatku) przy wytwarzaniu granulatu z materiałów roślinnych. Otrzymane wyniki procesu granulowania mieszaniny odpadów poprodukcyjnych tytoniu i melisy pozwalają na stwierdzenie, że badana mieszanina przy odpowiednio dobranych parametrach materiałowych jest materiałem pozwalającym na uzyskanie z niej wysokiej jakości granulatu, podobnie jak z samych odpadów tytoniowych. Granulat ten może być wykorzystane jako paliwo opałowe ze względu na swoje wysokie właściwości energetyczne, co zostało potwierdzone przez wcześniejsze badania [Król i in. 2010, Obidziński 2010].

W dostępnej literaturze nie odnaleziono prac związanych z badaniem procesu granulowania drobnoziarnistych odpadów zielarskich. Istnieje natomiast wiele prac badawczych, których autorzy prowadzili proces granulowania biomasy zielonej: np. siana z tymotki [Tabeli i in. 2011], szczawiu [Brozek i Nováková 2004; Novakova i Brozek 2008], siana łąkowego [Nona i in. 2014; Niedziółka i Szpryngiel 2012], traw [Mani i in. 2006; Kronbergs i Smits 2008; Gilbert i in. 2009; Kaliyan i Morey 2010; Rijal i in. 2012; Kaliyan i in. 2013; Maj i Piekarski 2013].

Według Gilberta [Gilberta i in. 2009] w trakcie granulowania roślin trawiastych, lignina w nich obecna, ulega zmiękczeniu w podwyższonych temperaturach i działa jako środek wiążący. Przeprowadzone przez Gilberta [Gilberta i in. 2009] badania, wykazały, że najkorzystniejsza temperatura, przy której następuje zmiękczenia to ok. 70°C .

Ze względu na marginalny (kilkuprocentowy) udział frakcji pylistych (drobnoziarnistych) w granulowanych materiałach zielonych w porównaniu z drobnoziarnistymi odpadami zielarskimi, wyniki badań procesu zagęszczania tych materiałów nie mogą być odnoszone do wyników zagęszczania odpadów zielarskich.

Kolejnym z odpadów poprodukcyjnych, powstających w zakładach przemysłu rolno-spożywczego, który może stanowić bogate źródło tzw. „biomasy nieleśnej”, jest wycierka ziemniaczana. Jest ona uciążliwym i trudnym do zagospodarowania odpadem organicznym, będącym pozostałością po wyflukaniu z ziemniaków skrobi i większości wód sokowych. Przykładowo, znajdujące się na terenie miasta Łomża zakłady PEPEES S.A corocznie, w trakcie trwającej ok. 90 dni kampanii ziemniaczanej, przy dobrych plonach surowca, przerabiają ok. 150 tys. ton ziemniaków. Przekłada się to na powstanie odpadu w postaci ok. 22.500 ton odprasowanej wycierki o wilgotności ok. 80%, co w przeliczeniu na suchą substancję daje nam ok. 4.500 ton suchej masy [Obidziński i in. 2008]. Pozytywne wyniki przeprowadzonych badań, przedstawione w **publikacji nr 3**, wskazują na duże możliwości jej zagospodarowania.

W chwili obecnej, wobec braku zainteresowania rolników wykorzystywaniem wycierki jako nawozu (w postaci kompostu) bądź wypełniacza paszowego [Bogucki i Nej 2008], zakłady generujące

ten odpad poszukują realnego i sprawdzonego sposobu jego zagospodarowania, pozwalającego na pozbycie się tego kłopotliwego i kosztownego balastu. Pomimo prób wykorzystania wycierki do produkcji etanolu [Nowacki 2006; Białas i in. 2010; Kawa-Rygielska, Pęksa 2010], bądź metanu przez fermentację beztlenową [Czyżyk i in. 2010], sposoby te nie znalazły jednak powszechnego zastosowania.

Duże ilości powstającej wycierki ziemniaczanej, która jest włóknem roślinnym wydaje się być alternatywnym paliwem, nawet z punktu widzenia energetyki zawodowej. Jej wysokie właściwości energetyczne zostały potwierdzone badaniami przedstawionymi w **publikacji nr 3** oraz w innych publikacjach m.in. w [Poskrobko i in. 2010]. Stwarza to możliwość wykorzystania jej do produkcji paliw stałych w postaci granulatu lub brykietu, co po badaniach procesu zagęszczania zostało również poparte zgłoszeniem patentowym autora [Obidziński 2012].

Wycierka ziemniaczana jest jednak materiałem o bardzo wysokiej wilgotności, przekraczającej 88 %, co stanowi poważny problem przy stosowaniu wycierki jako paliwa stałego. Wysoka wilgotność wycierki jako surowca do produkcji paliwa stałego może być zredukowana mechanicznie poprzez zastosowanie procesu odwirowania np. w wirówce dekantacyjnej, do wilgotności ok. 45-40 %, następnie zgranulowaniu oraz dosuszeniu powstałego granulatu do wilgotności ok. 15 %. Taki sposób otrzymywania paliwa stałego z wycierki będzie znacznie bardziej korzystny ekonomicznie niż wysuszenie wycierki od wilgotności ok. 88 % do wilgotności ok. 20 % i dopiero wtedy zgranulowaniu wysuszonej wycierki. Innym sposobem zmniejszenia wysokiej wilgotności wycierki ziemniaczanej jako paliwa jest jej stosowanie jako dodatku do innych odpadów biomasowych poddawanych granulowaniu, o niskiej wilgotności (np. pyły drzewne, słoma, otręby zbożowe, łuska gryki).

W badaniach procesu granulowania i produkcji granulatu poszukiwane są ponadto dodatki (tzw. lepiszczowe), które polepszają podatność na granulowanie zagęszczanych materiałów, zmniejszają zużycie energii, zwiększają wytrzymałość granul (peletu) lub też są nośnikami substancji odżywczych – w przypadku pasz itd. Potwierdzają to liczne badania, w których wprowadzano do zagęszczanej mieszaniny dodatki: sody kaustycznej i skrobi kukurydzianej jako lepiszcza w procesie zagęszczania biomasy [Finney i in. 2009], sody kaustycznej do pozostałości powstałych przy procesie produkcji oleju palmowego [Razuan i in. 2011], odpadów z miąższu oliwkowego powstający przy produkcji oleju z oliwek do zagęszczanych odpadów dębu pirenejskich [Miranda i in. 2012, Miranda i in. 2012a], przemysłowych odpadów korka do pędów winorośli [Mediavilla i in. 2009], hydrolitycznych odpadów poprodukcyjnych powstających przy produkcji etanolu z lignocelulozy do zagęszczanej biomasy [Ohman i in. 2006], gumy arabskiej i skrobi z manioku w procesie zagęszczania (brykietowania) zwęglonych (toryfikowanych) odpadów drzewnych z produkcji leśnej [Sotande i in. 2010], skrobi kukurydzianej lub lignosulfonatu (produkt uboczny w produkcji celulozy) w procesie pelletowania rozdrobnionej topoli energetycznej [Mediavilla i in. 2012], rozdrobnionego papieru, będącego odpadem po opakowaniach w procesie zagęszczania odpadów drzewnych [Kong i in. 2012], poprodukcyjnych odpadów rzepy powstających przy produkcji oleju z rzepy do zagęszczanych trocin [Stahl i Berghel 2011], mąki rzepakowej, mielonej kawy, kory drzew i proszku ligniny przy wytwarzaniu granulatu z modrzewia i tulipanowca [Ahn i in. 2014], surowego glicerolu, bentonitu i lignosulfonianu w procesie granulowania słomy pszennej [Lu i in. 2014].

W przypadku paliwa z biomasy, lepiszcza powinny spełniać: warunki antykorozyjne (korozja chlorowa), niskoemisyjne np. obniżenie w sposób pierwotny emisji NOx a w tym przypadku pelet z biomasy może być stosowany jako nośnik katalizatorów procesu spalania. Zdaniem Carroll'a i Finnan'a [2012], ulepszony dodatkiem odpowiedniego lepiszcza granul (nie wpływający niekorzystnie na jakość pracy kotłów oraz jakościowo zgodny z wymaganiami normy EN 14961), wytworzony z mieszanin biomasy odpadowej, ma szansę w przyszłości konkurować z peletem drzewnym jako paliwem stosowanym do ogrzewania i wytwarzania energii elektrycznej.

Takim dodatkiem lepiszczowym jest wycierka ziemniaczana.

Właściwości wycierki ziemniaczanej jako materiału lepiszczowego zostały potwierdzone badaniami przeprowadzonymi i przedstawionymi w **publikacjach nr 4- nr 6**, które pozwoliły określić jej przydatności jako dobrego materiału lepiszczowego.

Jednym z materiałów odpadowych powstający z ziarna owsa przy produkcji płatków owsianych i mąki owsianej są otręby owsiane. W przeciwieństwie do otrębów innych zbóż, zastosowanie otrębów

owsianych jest ograniczone do zastosowania jako surowców paszowych i w dietetyce jako składnika wielu diet.

Jak pokazały przeprowadzone badania wstępne, nierozdrobnione otręby owsiane posiadają niewielką wilgotność (ok. 5-6 %) i m.in. z tego powodu są materiałem o niskiej podatności na zagęszczanie. Śliska łuska owsiana i niewielka ilość pozostałego w otrębach bielma oraz niska zawartość wilgoci powodują, że w trakcie zagęszczania otręby są przetłaczane przy otwory matrycy przy niewielkich naciskach zagęszczających. Gęstość otrzymanego granulatu jest bardzo niska. W związku z tym należy otręby owsiane rozdrabniać, co zmniejszyłoby ich tendencje do ślizgania się po powierzchni otworu w matrycy, zwiększyć ich wilgotność przed procesem granulowania lub też zastosować do nich dodatek lepiszczowy. W badaniach zaprezentowanych w **publikacjach nr 4 i 5**, potwierdzono, że dodatek wycierki ziemniaczanej do nierozdrobnionych otrębów owsianych pozwolił na poprawę ich podatności na zagęszczanie i możliwość ich stosowania jako surowca do wytwarzania granulatu (przy ich niewielkiej wilgotności) i pozwalającym na uzyskanie granulatu o zadowalających cechach wytrzymałościowych.

W dostępnej literaturze nie odnaleziono prac związanych z badaniem procesu zagęszczania otrębów owsianych.

Istnieją natomiast inne prace badawcze, których autorzy prowadzili proces zagęszczania odpadów biomasowych z udziałem odpadów zbożowych [Niedziółka i Szpryngiel 2012; Szlachta i Jakubowska 2013; Zawiślak i in. 2014, Angulo i in. 1995]. W badaniach tych jako dodatek (komponent) zagęszczanej mieszaniny stosowane były najczęściej otręby pszenne.

Szlachta i Jakubowska [2013], prowadzili proces peletowania słomy z 10% masowym udziałem otręb pszennych, które potwierdziły zmniejszenie obciążenia napędu zespołu peletującego, pelecarki, przeciętnie, o ok. 5%, przy porównywalnej wydajności produkcji. Niedziółka i Szpryngiel [2012], oceniali cechy jakościowe peletów (m.in. średnicę i długość, ciepło spalania, gęstość nasypową, wytrzymałość kinetyczną) wytworzonych z wybranych surowców roślinnych i ich mieszanek (m.in. z udziałem otrębów pszennych) w pelecierce z jednostronną nieruchomą matrycą płaską. Angulo i in. [1995] oceniał jakość granulatu paszowego dla świń, w którym m.in. otręby pszenne pełniły rolę dodatku o dużej zawartości włókna.

W pracach tych nie przedstawiono jednak wpływu istotnych czynników na przebieg procesu zagęszczania.

Zawiślak [Zawiślak i in. 2014], prowadził badania zagęszczania otręb pszennych. W swoich badaniach stwierdził, że wartość siły zagęszczania w procesie zależy od stopnia rozdrobnienia otręb. Wzrost stopnia rozdrobnienia powoduje obniżenie sił oraz wpływa korzystnie na jakość gotowego produktu.

Dostępne są również inne prace m.in. [Robin i in. 2011; Robin i in. 2011a; Robin i in. 2011b;], w których autorzy stosowali dodatek otręb pszennych w procesie ekstruzji. Robin w trakcie swoich badań stwierdził, że dodatek otręb wpływa na lepkość ekstrudowanego surowca, zmniejsza ekspansję ekstrudowanych pianek skrobiowych, modyfikuje rozkład wody pomiędzy różnymi fazami.

Wpływu wybranych czynników na przebieg procesu zagęszczania i jakość otrzymanego granulatu można znaleźć w innych pracach [Dziki i in. 2010; Skonecki i Laskowski 2010; 2012; Skonecki i in. 2014; Zawiślak i in. 2010; Svihus i Gullord 2002; Zimonija i Svihus 2009], które jednak odnoszą się do zagęszczania ziarna zbóż.

Ze względu na odmienne właściwości rozdrobnionych surowców zbożowych (zdecydowanie większa podatność tych surowców na zagęszczanie, ze względu na duży udział w nich skrobi i białka), w porównaniu z otrębami owsianymi (w których zawartość skrobi i białka jest zdecydowanie mniejsza), trudno jest porównywać wyniki badań procesu granulowania tych surowców.

Innym surowcem odpadowym, w przypadku którego potwierdzone zostały dobre właściwości wycierki ziemniaczanej jako materiału lepiszczowego, była łuska gryki będąca surowcem odpadowym powstającym przy przetwórstwie gryki na kaszę. Z wielu doniesień literaturowych [Watanabe i in. 1997; Stolarski i Kwiatkowski 2009; Chachułowa i in 1997; Prokkoła i in. 2003; Tang i in. 2003], wynika, że łuska gryki ma kilka niszowych zastosowań, jednak praktycznie łuska najczęściej jest odpadem, a firmy przerabiające grykę szukają realnych możliwości jej wykorzystania [Stolarski i Kwiatkowski 2009].

Nierozdrobniona łuska gryki jest materiałem o niskiej podatności na zagęszczanie, co potwierdziły przeprowadzone badania wstępne, jak również doświadczenia firmy Ekofrisa [Janušonis

i in. 2009], według której produkcja granulatu z łuski gryki jest bardziej skomplikowana, niż produkcja granulatu z typowych surowców (np. trocin), ponieważ łuska gryki nie posiada w swoim składzie materiału wiążącego. Dlatego też aby zwiększyć jej podatność na zagęszczanie łuska przed procesem granulowania jest rozdrabniana lub też poddawana działaniu pary wodnej [Janušonis i in. 2009].

Innym sposobem zwiększenia podatności łuski gryki na zagęszczanie i polepszenie warunków prowadzenia procesu jest dodanie do niej w trakcie procesu granulowania materiału lepiszczowego. Potwierdziły to przeprowadzone badania zagęszczania łuski gryki z dodatkiem wycierki ziemniaczanej jako materiału lepiszczowego, opisane w **publikacji nr 6**.

W dostępnej literaturze nie odnaleziono prac związanych z badaniem procesu zagęszczania łuski gryki.

Istnieją natomiast prace badawcze, których autorzy stosowali łuskę gryki jako dodatek do pasz [Mulholland i Preston 2001; Amelchanka i in. 2010; Préstamo i in. 2003; Deng i in. 2014; Zhu i in. 2014] lub do żywności [Li i Zahang 2001, Zhang i in. 2012; Gimenez-Bastida 2015].

Podsumowując, należy stwierdzić, że badaniach zaprezentowanych w **publikacjach nr 3 – nr 6**, potwierdzono, że dodatek wycierki ziemniaczanej do odpadowych materiałów roślinnych o niskiej wilgotności (takich jak otręby owsiane czy łuska gryki) jest doskonałym lepiszczem pozwalającym na zwiększenie podatności na zagęszczanie mieszanki, co prowadzi do obniżenia energochłonności procesu granulowania (pelletowania) i pozwalającym na uzyskanie granulatu o zadowalających cechach wytrzymałościowych.

Zagęszczanie odpadowych materiałów roślinnych o niskiej wilgotności z udziałem wycierki ziemniaczanej pozwala na zagospodarowanie uciążliwego odpadu, jakim jest wycierka ziemniaczana zalegająca na olbrzymich przyzłach przez zakładem a jednocześnie pozwalają otrzymać lepszy jakościowo aglomerat (granulat, brykiet) przy niższych nakładach energetycznych poniesionych na proces zagęszczania. Poza tym, jak pokazały badania zawartości chloru i innych istotnych w procesie spalania pierwiastków w wycierce ziemniaczanej, granulat z jej udziałem może stać się bardzo atrakcyjnym paliwem w porównaniu z innymi rodzajami biomasy, (niższe zawartości tych pierwiastków w wycierce). Wprowadzenie wycierki w trakcie procesu zagęszczania do materiałów biomasowych takich jak otręby owsiane czy łuska gryki (w przyszłości również innych) zmniejsza korozyjność powstałego paliwa (granulatu) w procesie spalania. Potwierdzają to również inne badania przedstawione w pracach [Król i in. 2010; Król 2012].

Przeprowadzone badania (publikacje nr 3- nr 6) pozwoliły na stwierdzenie przydatności wycierki ziemniaczanej jako doskonałego materiału lepiszczowego, który jest jednocześnie materiałem o wysokich walorach energetycznych (wysokiej wartości ciepła spalania i wartości opałowej), pozostawiającym niewielkie zawartości popiołu po procesie spalania. Sposobem zmniejszenia wysokiej wilgotności wycierki ziemniaczanej jest jej stosowanie jako dodatku do innych odpadów biomasowych poddawanych granulowaniu, o niskiej wilgotności (np. pyły drzewne, słoma, otręby zbożowe, łuska gryki). Przeprowadzone badania procesu granulowania materiałów biomasowych o niskiej podatności na zagęszczanie z udziałem wycierki ziemniaczanej pozwoliły stwierdzić, że wycierka podnosi ich podatność na granulowanie, zmniejsza zużycie energii, zwiększa wytrzymałość granulatu (pelletu). Poza tym pozwala na zmniejszenie korozyjności urządzeń do spalania ze względu na bardzo niskie zawartości chloru.

Wyniki prowadzonych badań, pozwoliły na opracowanie szczegółowych wytycznych technologii wytwarzania granulatu opałowego lub paszowego (w zależności od zastosowanych komponentów zagęszczanych mieszanek) z udziałem wycierki ziemniaczanej, czego owocem było zgłoszenie patentowe autora [Obidziński 2012]:

Obidziński S.: Granulat opałowy i paszowy i technologia jego wytwarzania. Zgłoszenie patentowe P.398399 z dnia 12.03.2012r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2012.

4.6. LITERATURA

1. **Amelchanka S.L., Kreuzer M., Leiber F. (2010).** Utility of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) as feed. Effects of forage and grain on in vitro ruminal fermentation and performance of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 155, 111–121.
2. **Angulo E., Brufaub J., Esteve-Garcia E. (1995).** Effect of sepiolite on pellet durability in feeds differing in fat and fibre content. *Animal Feed Science and Technology*, 53, 233-241.
3. **Ahn B.J., Chang H., Lee S.M., Don Ha Choi D.H., Seong Taek Cho S.T., Gyu-seong Han G.S., Yang I. (2014).** Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. *Renewable Energy*, 62, 18-23.
4. **Arvanitoyannis I. S., Kassaveti A., Ladas D. (2008).** Food waste treatment methodologies. *Waste Management for the Food Industries*. s. 345.
5. **Białas L., Lesiecki M., Leja K., Lewandowicz G. (2010).** Ocena przydatności wycierki ziemniaczanej w wytwarzaniu półproduktu do fermentacji etanolowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 557, 467-477.
6. **Bogucki M., Neja W. (2008).** Produkty uboczne przemysłu rolno-spożywczego w żywieniu bydła. *Hodowca Bydła*, 1/2008.
7. **Borowski G. (2013).** Metody przetwarzania odpadów drobnoziarnistych na produkty użyteczne. *Monografie – Politechnika Lubelska*.
8. **Brohi A.R., Aydeniz A., Karaman M.R. (1998).** Determination of the utilization of nitrogen from tobacco-waste by wheat crop with ¹⁵N tarecer technique. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 22, 593-600.
9. **Brozek M., Nováková A. (2004).** Vlastnosti pelet ze šť'oviku (Properties of pellets from sorrel). *Farmer*, 70, 9, 60-61.
10. **Carroll J.P., Finnan J. (2012).** Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. *Biosystems Engineering*, 112, 151-159.
11. **Çerçioğlu M., Okur B., Delibacak S., Ongun A. R. (2008).** Effect of tobacco waste and manure on soil properties and yield of lettuce. *Inter.Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology*. Turkey.
12. **Chachułowa J. (red). (1999).** Pasze. Wydawnictwa SGGW. Warszawa.
13. **Cieślakowski B., Juliszewski T., Łapezyńska-Kordon B. (2006).** Utylizacja na cele energetyczne produktów ubocznych technologii biopaliwowej. *Inżynieria Rolnicza*, 12/2006, 51-57.
14. **Chou C.S., Sheau-Horng Lin S.H., Wen-Chung Lu W.C. (2009).** Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran. *Fuel Processing Technology*, 90, 980-987.
15. **Czaban J. (2000).** Ciśnieniowa aglomeracja pasz w układzie roboczym granuladora. *Praca doktorska*. Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka.
16. **Czyżyk F., Strzelczyk M., Steinhoff-Wrzeźniewska A., Godzwon J., Rajmund A., Kordlas J., Kaca E. (2010).** Wytyczne w zakresie wykorzystywania produktów ubocznych oraz zalecanego postępowania z odpadami w rolnictwie oraz przemyśle rolno-spożywczym. *Wydawnictwa Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego, Falenty–Warszawa*.
17. **Daniel Z., Juliszewski T., Kowalczyk Z., Malinowski M., Sobol Z., Paulina Wrona P. (2010).** Metoda szczegółowej klasyfikacji odpadów z sektora rolniczego i rolno-spożywczego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 2/IV/2012, s. 141–152.
18. **Demianiuk L. (2001).** Brykietowanie rozdrobnionych materiałów roślinnych. *Praca doktorska*. Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka.
19. **Deng K., Yin P., Liu X., Tang Q., Qu R. (2014).** Modeling, analysis and optimization of adsorption parameters of Au(III) using low-cost agricultural residuals buckwheat hulls. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 2428–2438.
20. **Dziki D., Laskowski J., Siastała M., Biernacka B. (2010).** Influence of moisture content on the wheat kernel mechanical properties determined on the basis of shear test. *International Agrophysics*, 24, 237-242.
21. **EN 14961 - 1 (PN-EN 14961-1:2010).** Biopaliwa stałe. Specyfikacje paliw i klasy. Część 1: Wymagania ogólne.
22. **Filbakk T., Jirjis R., Nurmi J., Høibø O. (2011).** The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass and Bioenergy*, 35, 3342-3349.
23. **Finney K.N., Sharifi V.N., Swithenbank J. (2009).** Fuel pelletisation with a binder: Part I - Identification of a suitable binder for spent mushroom compost - coal tailing pellets. *Energy and Fuels*, 23, 3195–202.
24. **Gil M.V., Casal D., Pevida C., Pis J.J., Rubiera F. (2010).** Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion. *Bioresource Technology*, 101, 5601–5608.
25. **Gil M.V., Oulego P., Casal M.D., Pevida C., Pis J.J., Rubiera F. (2010a).** Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. *Bioresource Technology*, 101, 8859–8867.
26. **Gilbert P., Ryu C., Sharifi V., Swithenbank J. (2009).** Effect of process parameters on pelletisation of herbaceous crops. *Fuel*, 88, 1491–1497.

27. **Główny Urząd Statystyczny, (2010).** Ochrona środowiska 2010. Wyd. GUS. Warszawa.
28. **Gimenez-Bastida J.A., Mariusz Piskula M., Zieliński H. (2015).** Recent advances in development of gluten-free buckwheat products. *Trends in Food Science & Technology*, 1-8. doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.013.
29. **Grochowicz J. (1996).** Technologia produkcji mieszanek paszowych. PWRiL. Warszawa.
30. **Hanczakowska E. (2007).** Zioła i preparaty ziołowe w żywieniu świń. *Wiadomości Zootechniczne*, R. XLV 3: 19-23.
31. **Hejft R. (1991).** Ciśnieniowa aglomeracja pasz i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco-brykietujących. *Rozprawy Naukowe Politechniki Białostockiej*, nr 11, Białystok.
32. **Hejft R. (2002).** Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE Radom.
33. **Hiegl W., Janssen R., Pichler W. (2009).** Advancement of pellets-related European standards. *WIP Renewable Energies*.
34. **Janušonis V., Erlickytė-Marčiukaitienė R., Marčiukaitis M. (2009).** Biomass fuel use in Ekofrisa, Lithuania. *EUBIONET III – EE/07/777/SI2.499477*.
35. **Kaliyan N., Morey R.V. (2009).** Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass Bioenergy*, 33(3), 337-359.
36. **Kaliyan, N., Morey, R.V. (2010).** Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresour. Technol.* 101, 1082–1090.
37. **Kaliyan N., Morey R.V., Schmidt D.R. (2013).** Roll press compaction of corn stover and perennial grasses to increase bulk density. *Biomass and Bioenergy*, 55, 322-330.
38. **Kawa-Rygielska J., Pęksa A. (2010).** Otrzymywanie etanolu z odpadowego granulatu ziemniaczanego. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 557, 447-453.
39. **Komorowicz M., Wróblewska H., Pawłowski J. (2009).** Skład chemiczny i właściwości energetyczne biomasy z wybranych surowców odnawialnych - *Ochrona Środowiska i zasobów naturalnych*, 40, 402-410.
40. **Kong L., Tian S. H., He C, Du C., Tu Y.Ti., Xiong Y. (2012).** Effect of waste wrapping paper fiber as a “solid bridge” on physical characteristics of biomass pellets made from wood sawdust. *Applied Energy*, 98, 33–39.
41. **Kronbergs E., Mareks Smits M. (2008).** Density of compacted herbaceous stalk materials. *Engineering for Rural Development*. Jelgava. 29- 30.05.2008, 260-264.
42. **Król D., Łach J., Poskrobko S. (2010).** O niektórych problemach związanych z wykorzystaniem biomasy nieleśnej w energetyce. *Energetyka*, 1/2010, 53-62.
43. **Król D., Łach J., Poskrobko S. (2010).** Tobacco waste and their mixture with cigarette filters as renewable energy sources, *Proceedings of the XIIIth International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy*. HTRSE-2010, Szczecin, 25-32.
44. **Król D., (2012).** Potato pulp as a modifier of biofuels rich in chlorine and alkali. *The Energy and Materials Research Conference - EMR2012*. Torremolinos (Spain), 20-22 June 2012.
45. **Laskowski J. (1989).** *Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych*. Praca habilitacyjna. Wydanie Akademii Rolniczej w Lublinie.
46. **Laskowski J., Skonecki S. (2001).** Influence of material's temperature on compression parameters of ground barley grains. *Int. Agrophysics*, 15, 173-179.
47. **Li S.-Q., Zhang Q.H. (2001).** Advances in the development of functional foods from buckwheat. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 41, 451–464.
48. **Listwan A., Baic I., Łuksa A. (2009).** *Podstawy gospodarki odpadami niebezpiecznymi*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom.
49. **Lu D., Tabil L.G., Wang D., Wang G., Emami S. (2014).** Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders. *Biomass and Bioenergy*, 69, 287-296.
50. **Maj G., Piekarski W. (2013).** Cultivation conditions, pellet manufacturing parameters and physicochemical properties of prairie cordgrass (*spartina pectinata*) as a dedicated energy crop. *Acta Agrophysica*, 20(1), 103-112.
51. **Mani S., Lope G. Tabil L.G., Sokhansanj S. (2006).** Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30, 648–654.
52. **Mediavilla I., Fernández M.J., Esteban L.S. (2009).** Optimization of pelletisation and combustion in a boiler of 17.5 kWth for vine shoots and industrial cork residue, *Fuel Processing Technology*, 90, 621–628.
53. **Mediavilla I., Esteban L.S., Fernández M.J. (2012).** Optimisation of pelletisation conditions for poplar energy crop. *Fuel Processing Technology*, 104, 7–15.
54. **Miranda M.T., Arranz J.I., Rojas S., Montero I. (2009).** Energetic characterization of densified residues from Pyrenean oak forest, *Fuel*, 88, 2106–2112.

55. **Miranda T., Arranz J.I., Montero I., Román S., Rojas C.V., Nogales S. (2012).** Characterization and combustion of olive pomace and forest residue pellets. *Fuel Processing Technology* 103 (2012), 91–96.
56. **Monitor Polski, (2010).** Krajowy plan gospodarki odpadami 2014. Nr 101, Załącznik do uchwały nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. (poz. 1183).
57. **Moran J.C., Miguez J.L., Porteiro J., Patiño D., Granada E., Collazo J. (2009).** Study of the feasibility of mixing refuse derived fuels with wood pellets through the grey and Fuzzy theory. *Renewable Energy*, 34, 2607–2612.
58. **Mulholland J.G., Preston G.K. (1995).** A comparison of buckwheat, oats, and wheat for the maintenance of liveweight and wool production in sheep. *Aust. J. Exp. Agric.* 35, 339–342.
59. **Niedziółka I., Szymanek M., Zuchniarz A., Zawisłak K. (2008).** Characteristics of pellets produced from selected plants mixes. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, Vol. 8, 157–162.
60. **Niedziółka I., Szpryngiel M. (2012).** Ocena cech jakościowych peletów wytworzonych z biomasy roślinnej. *Inżynieria Rolnicza*, Z. 2(136) T. 1, 267-276.
61. **Niedziółka I., Szpryngiel M., Magdalena Kachel-Jakubowska M., Kraszkievicz A., Zawisłak K., Sobczak P., Nadulski R. (2015).** Assessment of the energetic and mechanical properties of pellets produced from agricultural biomass. *Renewable Energy*, 76, 312-317.
62. **Niesteruk R., Obidziński S., Baldowski A., Tykocki J. (2008).** Badania oraz opracowanie koncepcji i technologii nowego paliwa z biomasy nieleśnej. Sprawozdanie z projektu badawczego własnego PWSIIP w Łomży, Łomża 2008.
63. **Nona K.D., Lenaerts B., Kayacan E., Saeys W. (2014).** Bulk compression characteristics of straw and hay. *Biosystems Engineering*, (2014) 194 -202.
64. **Nowacki W. (2006).** Ziemniaki - alternatywnym surowcem do produkcji bioetanolu. *Chemia przemysłowa BMP* 4: 23-26.
65. **Novakova A., Brożek M. (2008).** Mechanical properties of pellets from sorrel. *Engineering for Rural Development*. Jelgava. 29- 30.05.2008, 265-269.
66. **Obidziński S. (2004).** Odpady pochodzenia roślinnego i metody ich zagospodarowania. *Technique of environment protection: TOP'2004, Častá-Papiernička*, 30 June-2 July 2004. Bratislava 2004, 245-250.
67. **Obidziński S. (2005).** Granulowanie materiałów roślinnych w pierścieniowym układzie roboczym granulatora. Praca doktorska. Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka.
68. **Obidziński S., Grzybek A., Hejft R. (2006).** Czynniki mające wpływ na przebieg procesu zagęszczania materiałów roślinnych i jakość uzyskanego produktu. *Energia Odnawialna*, 7(2006), 34-38.
69. **Obidziński S. (2010).** Ocena właściwości energetycznych odpadów melisy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Zeszyt 546, 253-262.
70. **Obidziński S. (2012).** Granulat opałowy i paszowy i technologia jego wytwarzania. Zgłoszenie patentowe P.398399 z dnia 12.03.2012r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2012.
71. **Obidziński S. (2013).** The evaluation of the power consumption of the pellets production process from the plant materials". *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, Vol. 13, No. 2, 73-78.
72. **Ohman M., Boman C., Hedman H., Eklund R. (2006).** Residential combustion performance of pelletized hydrolysis residue from lignocellulosic ethanol production. *Energy Fuels* 20, 298-304.
73. **Öztürk T., Bayraklı M. (2005).** The possibilities of using tobacco wastes in producing lightweight concrete. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol. VII. Manuscript BC 05 006. (2005).
74. **Piecuch T., Dąbrowski T., Harabin Z., Waluś J. (1997).** Możliwość i celowość dodatku pyłów tytoniowych do wsadu w procesie kompostowania odpadów komunalnych. *Ochrona Powietrza i Problem Odpadów*, 6, s. 200-212,
75. **Piotrowska-Cyplik A., Cyplik P., Czarnecki Z. (2006).** Composting of briquetted tobacco dust. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 51(3) (2006).
76. **Piotrowska-Cyplik A., Cyplik P., Białas W., Z. Czarnecki Z. (2008).** Wpływ sposobu kompostowania odpadów z przemysłu tytoniowego na wybrane parametry fizyko-chemiczne i enzymatyczne. *Acta Agrophysica*, 12(2), s. 487-498.
77. **Piotrowska-Cyplik A., Dach J., Cyplik P., Marecik R., Gwiazdowska D. (2008a).** Biodegradacja nikotyny w procesie kompostowania odpadu tytoniowego z osadem ściekowym przy podwyższonej emisji amoniaku. *Nauka, Przyroda, Technologie* Tom. 2, Zeszyt 3, 1-12.
78. **Poskrobko S., Łach J., Król D. (2010).** Badanie właściwości kalorycznych wybranych odpadów przemysłowych i paliw formowalnych z odpadów. *Energetyka*, 3(669), 63, 633-640.
79. **Préstamo G., Pedrazuela A., Penas E., Lasuncion M.A., Arroyo G. (2003).** Role of buckwheat diet on rats as prebiotic and healthy food. *Nutr. Res.* 23, 803–814.
80. **Prokkoła S., Kivijävi P., Parikka P. (2003).** Effects of biological sprays, mulching materials, and irrigation methods on grey mould in organic strawberry production. *Acta Hort. (ISHS)*, 626, 169-176.
81. **Razuan R., Finney K.N., Chen Q., Sharifi V.N., Swithenbank J. (2011).** Pelletised fuel production from palm kernel cake, *Fuel Processing Technology*, Vol. 92, 609–615.

82. **Robin F., Dubois C., Pineau N., Schuchmann H.P., Palzer S. (2011).** Expansion mechanism of extruded foams supplemented with wheat bran. *Journal of Food Engineering*, 107, 80–89.
83. **Robin, F., Théoduloz, C., Gianfrancesco, A., Pineau, N., Schuchmann, H.P., Palzer, S. (2011a).** Starch transformation in bran-enriched extruded wheat flour. *Carbohydrate Polymers* 85, 65–74.
84. **Robin, F., Bovet, N., Pineau, N., Schuchmann, H.P., Palzer, S. (2011b).** On-line shear viscosity measurement of starchy melts enriched in wheat bran. *Journal of Food Science*, 76 (5), E405–E412.
85. **Rocznik Statystyczny Przemysłu. (2012).** Główny Urząd Statystyczny. Warszawa.
86. **Shaw M. (2008).** Feedstock and process variables influencing biomass densification. A Thesis. Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan. Saskatoon, Canada.
87. **Shaw M.D., Karunakaran C., Tabil L.G. (2009).** Physicochemical characteristics of densified untreated and steam exploded poplar wood and wheat straw grinds, *Biosyst. Eng.*, 103, 198–207.
88. **Skonecki S., Laskowski J. (2010).** Wpływ wilgotności śruty zbożowej na proces wyłaczania. *Acta Agrophysica*, 15(1), 155-165.
89. **Skonecki S., Laskowski J. (2012).** Wpływ średnicy komory i wilgotności słomy pszennej na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*, 19(2), 415-424.
90. **Skonecki S., Kulig R., Łysiak G. (2014).** Models of pressure compaction and their application for wheat meal. *Int. Agrophys.*, 28, 125-130
91. **Stahl M., Berghel J. (2011).** Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake. *Biomass and Bioenergy*, 35, 4849-4854.
92. **Sotande O.A., Oluyeye A.O., Abah G.B. (2010).** Physical and combustion properties of charcoal briquettes from neem wood residues. *International Agrophysics*, 24, 189-194.
93. **Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. (2007).** Charakterystyka wybranych biopaliw z biomasy stałej. *Problemy Inżynierii Rolnicze*, nr 4/2007, 21-26.
94. **Stolarski M., Kwiatkowski J. (2009).** Pozostałości z przerobu orzeszków gryki na kaszę jako surowiec energetyczny. *Pamiętnik Puławski, Zeszyt 149*, 73-80.
95. **Svihus, B., Gullord, M. (2002).** Effect of chemical content and physical characteristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry. *Anim. Feed Sci. Technol.* 102, 71–92.
96. **Szlachta J., Jakubowska J. (2013).** Analiza procesu peletowania słomy zbożowej oraz zasadności dodawania otrąb zbożowych na przykładzie wybranego zakładu produkcyjnego. *Inżynieria Rolnicza, Z. 4(147) T.1*, 365-374.
97. **Szpryngiel M., Kraszkiewicz A., Kachel-Jakubowska M., Niedziółka I. (2011).** Ocena gęstości usypowej i energochłonności produkcji peletów w pelecierce z dwustronną matrycą płaską. *Inżynieria Rolnicza, 6(131)*, 215-222.
98. **Talebi, S., Tabil, A., Opoku, A., Shaw, M. (2011).** Compression and relaxation properties of timothy hay. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, 4, 69e78.
99. **Tang J.C., Inoue Y., Yasuta T., Yoshida S., Katayama A. (2003).** Chemical and microbial properties of various compost products. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 49(2), 273-280.
100. **Wach E. (2005).** Właściwości granulatu drzewnego. *Czysta Energia*, 6/2005 (44).
101. **Wandrasz J.W., Wandrasz A. (2006).** Paliwa formowalne. Wydawnictwo Seidel-Przywecki. Warszawa.
102. **Watanabe M., Ohshita Y., Tsushida T. (1997).** Antioxidant compounds from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Mönch) hulls. *J. Agric. Food Chem.*, 45, 1039-1044.
103. **Zawiślak K., Sobczak P., Panasiewicz M., Mazur J., Nadulski R., Starek A. (2014).** Wpływ wielkości frakcji otrąb pszennych na jakość granulatu. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego 3/4–2014(11)*.
104. **Zawiślak K., Sobczak P., Panasiewicz M., Markowska A. (2010).** Wpływ wybranych parametrów technologicznych na wytrzymałość kinetyczną granulatu. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria* 9(1-2), 3-10.
105. **Zimonija O., Svihus B. (2009).** Effects of processing of wheat or oats starch on physical pellet quality and nutritional value for broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 149, 287–297.
106. **Zhang Z-L., Zhou M-L., Yu Tang Y., Li F-L., Tang Y-X., Shao J-R., Wen-Tong Xue W-T., Wu Y-M. (2012).** Bioactive compounds in functional buckwheat ford. *Food Research International*, 49, 389–395.
107. **Zhu F., Du B., Li R., Li J. (2014).** Effect of micronization technology on physicochemical and antioxidant properties of dietary fiber from buckwheat hulls. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3, 30–34.

5. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH (ARTYSTYCZNYCH)

Wieloletnie badania, które prowadziłem, w tym, również przed uzyskaniu stopnia naukowego doktora były ukierunkowane na tworzenie koncepcji i wytycznych do budowy nowych prototypowych urządzeń do realizacji procesów ciśnieniowej aglomeracji materiałów pochodzenia roślinnego i oceny ich jakości. Działalność ta była kontynuacją moich wcześniejszych projektów urządzeń do zagęszczania (powstałych przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora). Jedną z moich koncepcji, tj. projekt uniwersalnego urządzenia granulująco-brykietującego do materiałów roślinnych został wykonany w Katedrze Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego (na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej) i jest wykorzystywany obecnie do działalności naukowo-dydaktycznej. Szczegóły tego urządzenia zaprezentowano w publikacji:

Obidziński S.: Uniwersalne stanowisko do badań procesu ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budowa i Eksploatacja Maszyn, Z. 9. Białystok 2002, s. 325-331.

Układ roboczy urządzenia składa się z poziomej, nieruchomej matrycy pierścieniowej (wymiennej w zależności od potrzeb - o różnej wielkości otworów lub też o różnej grubości ścianki) oraz układu trzech rolek zagęszczających zamontowanych na pionowym wale granulatora.

Układ napędowy stanowi silnik hydrauliczny, z którego napęd przekazywany jest poprzez przekładnię zębatą, momentomierz (służy do pomiaru momentu obrotowego podczas pracy urządzenia) na wał górny, na którym zamontowany jest układ trzech rolek zagęszczających. Podawanie surowca zrealizowane jest za pomocą specjalnego układu dozowania, obracającego się wraz z obrotem rolek zagęszczających. Równomierne rozprowadzanie surowca do wnętrza matrycy pod każdą z rolek zagęszczających uzyskano za pomocą otworów wyciętych w leju (stożku) zasypowym naprzeciwko każdej z trzech rolek zagęszczających.

Działalność moja po uzyskaniu stopnia naukowego doktora była również inspirowana wcześniejszymi doświadczeniami (złożoność i różnorodność zagadnień występujących podczas granulowania i brykietowania), które sprawiają, że innowacje techniczno-technologiczne polegają na rozwiązywaniu szczegółów procesowych z jednoczesną modernizacją układów roboczych urządzeń granulująco-brykietujących. W ramach tej działalności zostało opracowane przeze mnie i współpracowników 6 zgłoszeń patentowych:

1. **Obidziński S., Zyskowski S.:** Metoda i urządzenia do określania wytrzymałości kinetycznej produktów aglomeracji ciśnieniowej. Zgłoszenie patentowe P.391255 z dnia 17.05.2010r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2010.
2. **Hejft R., Obidziński S.:** Mieszarko-brykietciarka do rozdrobnionych materiałów roślinnych. Zgłoszenie patentowe P.396292 z dnia 12.09.2011r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2011.
3. **Hejft R., Obidziński S.:** Rozdzielacz materiału w układzie roboczym granulatora. Zgłoszenie patentowe P.397576 dnia 27.12.2011r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2011.
4. **Hejft R., Obidziński S.:** Urządzenie mieszająco-grnulująco-dozujące do układu roboczego granulatora. Zgłoszenie patentowe P.397754 z dnia 09.01.2012r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2012.
5. **Obidziński S., Hejft R.:** Płaska matryca granulująco-brykietująca. Zgłoszenie patentowe P.397986 z dnia 02.02.2012r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2012.
6. **Obidziński S., Wszeborowski D.:** Tor stabilizująco-chłodzący do brykietu. Zakres terytorialny ochrony patentowej - Polska. Zgłoszenie patentowe P.412055 z dnia 20.04.2015r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2015.

W roku 2012 brałem udział w realizacji projektu badawczego MNiSW Nr N N504 488239 pt. „Badania układu roboczego granulatora do materiałów pochodzenia roślinnego”, w którym pełniłem rolę jedyne go głównego wykonawcy. W ramach realizacji tego projektu, w oparciu o wcześniejsze doświadczenia i posiadane w Zakładzie Inżynierii Rolno-Spożywczej i Leśnej (na

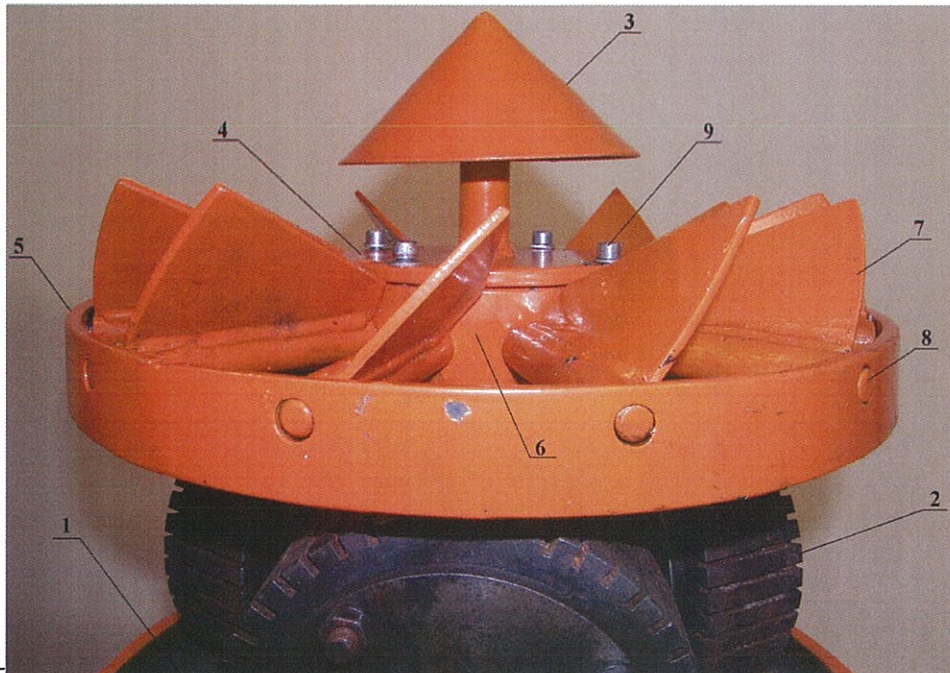
Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej) własne prototypowe konstrukcje granulatorów, prowadzone od wielu lat badania prototypów granulatorów z płaską matrycą, wymianę doświadczeń z wieloma firmami produkującymi granulatory (z płaską i pierścieniową matrycą) oraz po analizie dokumentacji patentowej takich urządzeń opracowano założenia i wykonano nowy prototypowy granulator (rys. 1). Koncepcja nowego układu granulującego (układ roboczy z płaską nieruchomą matrycą) oparta została na opracowanych zgłoszeniach patentowych (nr 3, nr 4 i nr 5).

Istotą rozwiązania **układu mieszająco-granulująco-dozującego 1** (rys. 1) do układu roboczego granulatora jest zastosowanie wewnętrznego obrotowego cylindra (obudowanego nieruchomym cylindrem zewnętrznym), do którego doprowadzany jest materiał. Cylinder wewnętrzny ma wymienne płytki, mocowane śrubami, ustawione w linii śrubowej na jego długości, z możliwością regulacji ich kąta ustawienia. Układ spełnia funkcję: mieszania, granulowania bezciśnieniowego oraz dozowania materiału do układu roboczego granulatora i eliminuje z materiału zagęszczanego niekorzystne procesowo pyliste frakcje (poprzez ich bezciśnieniową aglomerację wewnątrz cylindra obrotowego). Urządzenie mocowane jest w górnej części układu roboczego 6 granulatora z płaską nieruchomą matrycą.



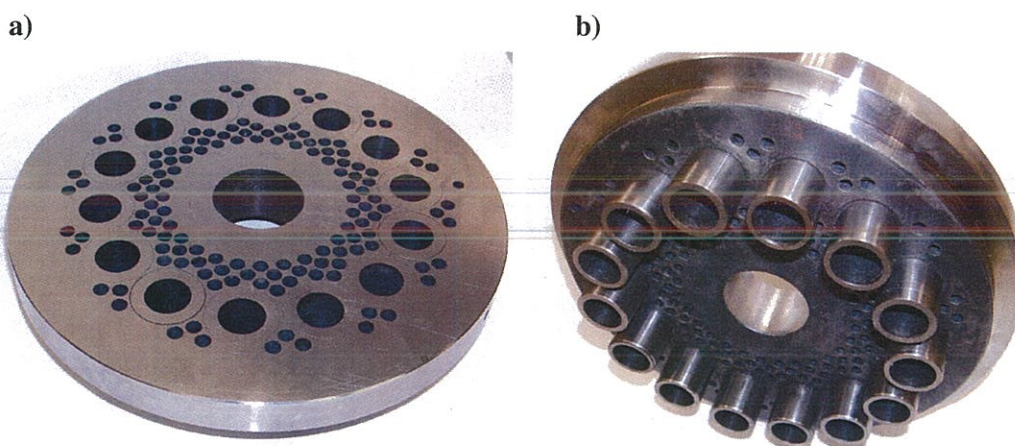
Rys. 1. Widok nowego urządzenia granulująco-brykietującego z płaską nieruchomą matrycą: 1-układ mieszająco-granulująco-dozujący, 2-napęd układ mieszająco-granulująco-dozującego, 3- zasyp surowca do układ mieszająco-granulująco-dozującego, 4- rama mocująca układ mieszająco-granulująco-dozującego, 5- wysyp surowca do układu roboczego granulatora, 6-układ roboczy granulatora, 7-wysyp granulatu z układu roboczego, 8-napęd granulatora (silnik elektryczny), 9-osłona sprzęgła i momentomierza, 10-panel sterujący, 11- przekładnia zębata, 12- podstawa

Rozdzielacz materiału (rys. 2) do układu roboczego granulatora (rys. 1, poz. 6) zamontowany jest na wale granulatora pod stożkiem dozującym 3. Istotą rozwiązania konstrukcyjnego rozdzielacza jest zastosowanie regulowanych żaluzji 7, które zapewniają równomierność strugi materiału trafiającego pod rolki zagęszczające 2. Regulowane rozwarcie skrzydeł żaluzjowych 7 pozwala również na dostosowanie wydajności urządzenia do jego mocy znamionowej, zależnie od właściwości fizyko-chemiczno-biologicznych użytego materiału.



Rys. 2. Układ rozdzielania materiału do układu roboczego urządzenia granulująco-brykietującego: a) schemat układu, b) widok układu (fotografia własna): 1-matryca płaska, 2-rolka zagęszczająca, 3-stożek dozujący, 4-tarcza mocująca stożek, 5-zewnętrzna obręcz mocująca skrzydełka, 6-wewnętrzna obręcz mocująca skrzydełka, 7 skrzydełko, 8-oś skrzydełka żaluzji, 9- śruby mocujące

Istotą rozwiązania matrycy granulująco-brykietującej (rys. 3), zastosowanej w układzie roboczym granulatora (rys. 1, poz. 6), będącej przedmiotem zgłoszenia jest zastosowanie pomiędzy otworami do brykietowania mniejszych otworów tzw. otworów granulujących.



Rys. 3. Widok specjalnej matrycy granulująco(peletująco)- brykietującej: a) z góry, b) z dołu

W dotychczasowych rozwiązaniach konstrukcyjnych płaskich matryc do brykietowania materiałów pochodzenia roślinnego pomiędzy otworami (średnica otworów od 20-30 do 50-70 mm) występowała znaczna powierzchnia tzw. martwa (powyżej 50-60 % powierzchni roboczej matrycy).

Wpływa to w znacznym stopniu na zwiększenie energochłonności procesu i ograniczenie jego wydajności. Wprowadzenie, (zgodnie ze zgłoszeniem patentowym **nr 5**), na obwodzie matrycy, w zależności od jej wielkości rzędu lub paru rzędów wymiennych tulei z tzw. otworami brykietującymi a umieszczonymi pomiędzy nimi otworami „granulującymi”, pozwala na znaczne zmniejszenie tzw. powierzchni martwej (zwiększenie współczynnika perforacji matrycy) i możliwość jednoczesnego wytwarzania w trakcie procesu zarówno brykiety jak również granulatu, co znacznie zwiększy (o ok. 20-30 %) wydajność procesu zagęszczania oraz zmniejszy jego energochłonność.

Szczegóły urządzeń będących istotą zgłoszeń patentowych (**nr 3, nr 4 i nr 5**) zaprezentowano również w publikacjach:

Hejft R., Obidziński S.: Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych – innowacje technologiczno – techniczne. Część II - Układ dozujący, mieszająco-granulujący. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2013, **Vol. 58**(1), Poznań 2013, s. 60-63.

Hejft R., Obidziński S.: Pressure agglomeration of materials of plant origin – pelletizing and briquetting (part one). Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 1/2014, Vol. 59(1), 44-47.

które zostały udostępnione w **Załączniku V**.

W ramach realizowanego **projektu badawczego MNiSW Nr N N504 488239 pt. „Badania układu roboczego granulatora do materiałów pochodzenia roślinnego”**, został wybrany wykonawca, który w oparciu o zgłoszenia patentowe (**nr 3, nr 4 i nr 5**), przygotowaną przez mnie i współautora specyfikację techniczną oraz konsultację dotyczące w/w zgłoszeń wykonał prototyp nowego układu granulująco-brykietującego (rys. 1).

Szczegóły budowy nowego prototypowego układu granulująco-brykietującego zostały przedstawione w raporcie:

Hejft R., Obidziński S.: Badania układu roboczego granulatora do materiałów pochodzenia roślinnego. Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu badawczego własnego nr N N504 488239 (numer umowy 4882/B/T02/2010/39). Białystok, listopad 2013.

Koncepcję innych urządzeń do realizacji procesu ciśnieniowej aglomeracji materiałów o podwyższonej wilgotności, w których byłem współautorem tych urządzeń tj. mieszarko-brykieciarki do rozdrobnionych materiałów roślinnych oraz układu mieszająco-zagęszczająco-dożywającego granulatora przedstawiłem w publikacjach:

Hejft R., Obidziński S.: Aglomeracja odpadowych materiałów pochodzenia roślinnego o podwyższonej wilgotności. MOTROL, Vol. 14, No 5, ISSN 1730-8658, Lublin-Rzeszów 2012, s. 177-182.

Obidziński S., Hejft R.: Budowa układu mieszająco-zagęszczająco-dożywającego granulatora do materiałów roślinnych. Inżynieria Rolnicza, Z. 1(141) T.1. Kraków 2013, s. 143-148.

które zostały udostępnione w **Załączniku V**.

Mieszarko-brykieciarkę do rozdrobnionych materiałów roślinnych stanowi cylindryczna komora mieszania, w której znajduje się wolnoobrotowe mieszadło (np. ramowe, kotwicowe, łopatkowe), które w dolnej części komory mieszania jest zakończone ślimakiem zagęszczającym współpracującym z tuleją zagęszczającą (zamocowaną na podstawie urządzenia). Urządzenie pozwala na kompromisowe rozwiązanie mieszania materiału o wysokiej wilgotności z materiałem suchym. Wysoka wilgotność jednego materiału spowoduje uruchomienie mechanizmu łączenia cząstek (także materiału suchego) poprzez mostki cieczowe. Biorąc pod uwagę, że w rozdrobnionym materiale roślinnym suchym znajduje się znaczna ilość cząstek poniżej 1mm (zależnie od sposobu rozdrabniania i rodzaju materiału roślinnego – np. trociny, słoma – szacować możemy od kilku do kilkunastu procent), to przy mieszaniu frakcja ta ulega aglomeracji bezciśnieniowej poprzez obtaczanie, tworząc wstępnie zagęszczone, wielokrotnie większe aglomeraty. Średnia wilgotność wymieszanego materiału wilgotnego i suchego, w zależności od ich procentowego udziału, może pozwolić na dalsze przetworzenie materiału sypkiego na paliwo stałe w postaci brykietów. Biorąc pod uwagę, że odpadowy materiał roślinny np. trociny, często posiada wysoką wilgotność (ok. 40-50%) przedstawiono możliwość wykorzystania mechanizmów zagęszczania bezciśnieniowego uruchamianego w trakcie mieszania dwóch materiałów w komorze mieszania poprzedzającego

procesie aglomeracji ciśnieniowej, rozpoczynający się z chwilą otwarcia mechanizmu zamykająco-otwierającego. Przedstawiony sposób brykietowania rozdrobnionych materiałów roślinnych pozwala na zmniejszenie nakładów energetycznych (dotyczących suszenia i zagęszczania) w produkcji stałego, ekologicznego paliwa z odpadów roślinnych.

Układ mieszająco-zagęszczająco-dozujący do granulatora, pozwala na eliminację najdrobniejszych frakcji rozdrobnionego materiału roślinnego (poddanego granulowaniu) przez jego bezciśnieniowe granulowanie w trakcie mieszania. Pozwala również na wstępne zagęszczanie i regulowane dozowanie materiału roślinnego podawanego do układu roboczego granulatora, co ma wpływ zarówno na jakość granulatu jak i energochłonność procesu. Materiały roślinne dostarczone do komory mieszania, w której są mieszane z wykorzystaniem dwóch mieszadeł wstęgowo-ślimakowych. Wymieszany materiał roślinny jest następnie wstępnie zagęszczany za pomocą ślimak-a stożkowego nawiniętego na wale mieszającym, współpracującego ze stożkową przesłoną komory mieszania. Wstępne zagęszczanie ciśnieniowe materiału regulowane jest wielkością szczeliny, między przesłoną stożkową i stożkiem dozującym do układu zagęszczającego granulatora. Wstępnie zagęszczony materiał roślinny jest wytłaczany przez ślimak stożkowy przez szczelinę dozującą i wpada pod roki zagęszczające 8, które wtaczają go do otworów matrycy granulatora, w której zostaje zagęszczony.

Koncepcję nowego **uniwersalnego urządzenia oraz metody do określania wytrzymałości kinetycznej produktów ciśnieniowej aglomeracji** przedstawiono w zgłoszeniu patentowym:

Obidziński S., Zyskowski S.: Metoda i urządzenie do określania wytrzymałości kinetycznej produktów aglomeracji ciśnieniowej. Zgłoszenie patentowe P.391255 z dnia 17.05.2010r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2010.

W zaproponowanej koncepcji zdecydowano się na zastosowanie wymiennych komór testujących pozwalających na połączeniu w jednym urządzeniu metod Pfosta i Holmena określania wytrzymałości kinetycznej granulatu oraz metody określania wytrzymałości kinetycznej brykietu zgodnej z normami GOST-18691-73 i ASAE S.269-1A. Zastosowanie nadmuchu powietrza i perforowanych ścianek komór testujących zwiększa agresywność testu i pozwala wyprowadzić rozkruszone cząstki z komory. Zastosowanie w urządzeniu specjalnych prowadnic i ram wykonanych z profili ze specjalnymi stopkami wahliwymi, umożliwia dostosowanie wielkości komory do określonej metody. Szczegóły uniwersalnego urządzenia oraz metody do określania wytrzymałości kinetycznej produktów ciśnieniowej aglomeracji zaprezentowano również w publikacji:

Obidziński S., Zyskowski S., Miastkowski K., Joka M., (2015). An universal device for the assessment of the kinetic durability of products of pressure agglomeration. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering”, 1/2015.

Wśród innych moich osiągnięć związanych z tworzeniu koncepcji i wytycznych do budowy nowych urządzeń są:

- zaprojektowanie i wykonanie szeregu stanowisk naukowo-dydaktycznych,
- projekt ślimakowego dozownika do materiałów roślinnych, wykonanego w Katedrze Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego i wykorzystywanego obecnie do działalności naukowo-dydaktycznej,
- przygotowanie szczegółowej koncepcji technicznej na wykonanie dozownika ślimakowego do materiałów roślinnych, wykonanego przez firmę *Hydrapress Sp. z o.o.* w Bydgoszczy w 2012 r, i wykorzystywanego obecnie do działalności naukowo-dydaktycznej.

Kolejnym kierunkiem mojej działalności naukowej, było wdrażanie wycierki ziemniaczanej jako surowca do wytwarzania paliwa stałego. Moje zainteresowanie wycierką ziemniaczaną wynikało z jej olbrzymiej ilości, jaka powstaje w Polsce. Badania pozwalające na opracowaniu koncepcji i technologii wytwarzania nowego paliwa z udziałem wycierki ziemniaczanej w połączeniu z innymi rodzajami tzw. biomasy nieleśnej zostały zrealizowane m.in. w ramach projektu badawczego:

Obidziński S. i in. (2008). Badania oraz opracowanie koncepcji i technologii nowego paliwa z biomasy nieleśnej z wykorzystaniem zasobów traw, turzyc, trzcin i zaprzeczeń terenu Narwiańskiego Parku Narodowego, topinamburu, wierzby energetycznej i słonecznika zwykłego od plantatorów oraz badań wycierki ziemniaczanej z Pepees S.A. Projektu badawczy własny Państwowej Wyższej Szkoły Informatyki i Przedsiębiorczości w Łomży. Łomża 2008.

w którym brałem czynny udział zajmując się badaniami nad właściwościami energetycznymi wycierki, oraz współtworzyłem raport końcowy z tego projektu.

Badania właściwości energetycznych wycierki ziemniaczanej przedstawiłem również w publikacji:

Obidziński S.: Ocena właściwości energetycznych wycierki ziemniaczanej. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego. Nr 1(2010). Wydawnictwa Wyższej Szkoły Menadżerskiej w Warszawie. Warszawa 2010. s. 58-62.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wycierka ziemniaczana jest surowcem wysokich walorach energetycznych. Jej ciepło spalania w stanie suchym wynosi -16,33 MJ/kg, zaś wartość opałowa w - 15,41 MJ/kg. Jednakże, jest materiałem o bardzo wysokiej wilgotności, przekraczającej często 88 %, co stanowi poważny problem przy jej stosowaniu jako surowca do wytwarzania paliwa stałego. Jednym ze sposobów wydłużenia przydatności wycierki ziemniaczanej do użytkowania lub jej stosowania jako dodatku do innych surowców roślinnych w procesie zagęszczania, jest odwadnianie mechaniczne (stosowane również ze względu na znacznie mniejsze nakłady energetyczne na realizację procesu, w porównaniu z termicznym procesem suszenia). Zastosowanie wycierki odwodnionej mechanicznie pozwala na zwiększenie udziału procentowego dodatku wycierki w zagęszczanej na cele energetyczne mieszance materiałów biomasowych. Badania związane z procesem mechanicznego odwadniania wycierki ziemniaczanej przedstawiłem w kolejnych publikacjach:

Obidziński S., Szulc K.: Badania procesu mechanicznego odwadniania wycierki ziemniaczanej. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego. Wydawnictwa Wyższej Szkoły Menadżerskiej w Warszawie. Nr 1/2014, 77-83. ISSN 0867-793X.

Obidziński S., Kostrzewska K.: The influence of the mass of a dehydrated sample and the pressure of the piston on the process of dehydration of potato pulp. Rozdział w monografii pod redakcją Jerzego Jaroszewicza: „Energia w nauce i technice 2014”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Białystok-Kleosin 2014, s. 141-152.

w których byłem autorem koncepcji prowadzonych badań, dokonałem analizy ich wyników a następnie przygotowałem na tej podstawie publikacje.

Proces odwadniania mechanicznego wycierki ziemniaczanej realizowany był z wykorzystaniem prasy hydraulicznej oraz specjalnie zaprojektowanego na potrzeby badań układu odwadniającego „tłok odwadniający- komora- matryca” umieszczonego pomiędzy tłokiem górnym i dolnym prasy. W pracach określono wpływ masy odwadnianej próbki i nacisku tłoka odwadniającego na stopień jej odwodnienia i spadek wilgotności po procesie prasowania. W trakcie badań stwierdzono, że odwodniona wycierka, poddana procesowi dosuszania przez okres 24 godzin w temperaturze ok. 20°C, obniża swoją wilgotność o ok. 42 - 49% (w zależności od parametrów odwadniania) w stosunku do wilgotności po odwodnieniu. Tymczasem wycierka nieodwodniona po tym czasie (po 24 godzinach w temperaturze 20 °C) zmniejsza swoją wilgotność tylko o ok. 22 %. Zwiększony ubytek wilgoci z wycierki odwadnianej związany jest zmianami struktury cząstek odwadnianej wycierki, która następuje w trakcie odwadniania pod naciskiem tłoka odwadniającego. Zmieniona struktura prowadzi to szybszej migracji wody z takich cząstek do otoczenia. Jest to bardzo dobra informacja z punktu widzenia dalszego jej zagospodarowania.

Na podstawie prowadzonych badań związanych z mechanicznym odwadnianiem wycierki ziemniaczanej zostało opracowane zgłoszenie patentowe:

Obidziński S., Łapiński A.: Układ odwadniająco-rozdrabniająco-dozujący materiały o wysokiej wilgotności. Zgłoszenie patentowe P.409639 z dnia 29.09.2014r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa 2014.

w którym byłem głównym autorem koncepcji urządzenia.

Istotą rozwiązania urządzenia odwadniającego jest specjalnej konstrukcji tuleja, która składa się z korpusu, w którym umieszczone jest specjalnej konstrukcji półcyndryczne sito odwadniające współpracujące z filtrem i dociskiem filtra w postaci drugiego półcyndrycznego sita. Odwadniany surowiec jest przemieszczany, przy użyciu ślimaka, wzdłuż sita odwadniającego. W trakcie przemieszczania surowca, zmniejsza się przestrzeń między sitem i rdzeniem ślimaka, powodując wyciskanie cieczy z surowca. Wyciśnięta ciecz sphywa przez otwory w dolnej części półcyndrycznego sita. Zamontowanie na końcu tulei odwadniającej wymiennego sitka i nożyka stwarza możliwość realizacji przez urządzenie operacji odwadniania, rozdrabniania i dozowania np.

do układu mieszającego urządzenia zagęszczającego. Wydajność operacji odwadniania i rozdrabniania można regulować przez zmianę prędkości obrotowej ślimaka.

6. PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWO-BADAWCZEGO

Efektom prowadzonych przeze mnie badań, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, związanych przede wszystkim z moimi zainteresowaniami naukowymi dotyczącymi procesu zagęszczania materiałów roślinnych z ich przeznaczeniem na paszę lub paliwo stałe w postaci granulatu i brykietu było opublikowanie **69 publikacji naukowych (w sumie z publikacjami stanowiącymi osiągnięcie naukowe)**, z których 4 są samodzielnymi publikacjami indeksowanymi w bazie Journal Citation Reports (JCR), posiadającymi Impact Factor. Pozostałe 65 publikacji to prace w postaci: 40 artykułów w czasopismach naukowych znajdujących się na liście czasopism punktowanych przez MNiSW, 14 rozdziałów w monografii (w tym dwa w języku angielskim), 7 artykułów opublikowanych w materiałach pokonferencyjnych i 4 publikacje w czasopismach nie znajdujące się na liście czasopism punktowanych przez MNiSW. W 23 z tych publikacji jestem jedynym autorem a w pozostałych współautorem ze znacznym wkładem w ich przygotowanie.

Syntetyczne zestawienie mojego dorobku publikacyjnego po uzyskaniu stopnia naukowego doktora przedstawiono tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie dorobku publikacyjnego po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

Rodzaj publikacji	Ilość	Uzyskane punkty
Artykuły indeksowanymi w bazie Journal Citation Reports (JCR), posiadające Impact Factor	4	92
Artykuły w czasopismach naukowych znajdujących się na liście czasopism punktowanych MNiSW	43	228
Artykuły pozostałe, nie znajdujące się na liście czasopism punktowanych MNiSW	4	0
Artykuły opublikowane w materiałach pokonferencyjnych	7	4
Rozdziały w monografiach w języku polskim	12	59
Rozdziały w monografiach w języku angielskim	2	10
RAZEM	72	393

Suma punktów za uzyskane dotychczas publikacje, zgodnie z ujednoliconym wykazem MNiSW za 2014 rok wynosi **393 punkty**, a po odjęciu punktów za monotematyczny cykl publikacji składających się na osiągnięcie habilitacyjne – wynosi **288 punktów**.

W chwili obecnej w trakcie druku oraz w trakcie recenzji znajduje się kolejnych 5 moich publikacji.

Jestem również współautorem jednego patentu oraz autorem i współautorem **8 zgłoszeń patentowych**.

W trakcie swojej pracy naukowo-badawczej brałem udział w 15 projektach naukowo-badawczych finansowanych przez KBN, MNiSW oraz w 7 projektach finansowanych ze środków Unii Europejskiej, w których byłem kierownikiem projektu (w 2 projektach) a w 5 głównym wykonawcą. Trzy spośród projektów naukowo-badawczych z moim udziałem stanowiły granty KBN i MNiSW, w których byłem głównym wykonawcą.

Byłem również autorem i współautorem **74 doniesień (referatów i plakatów)** na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych, z czego **49 doniesień** stanowiły doniesienia po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych.

Białystok, dn. 04.05.2015