

BADANIA PROCESU ZAGĘSZCZANIA WYCIERKI ZIEMNIACZANEJ*

Sławomir Obidziński

Zakład Techniki Rolno-Spożywczej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok
e-mail: obislaw@pb.edu.pl

Streszczenie. Jednym z odpadów poprodukcyjnych powstających w zakładach przemysłu rolno-spożywczego w procesie produkcji skrobi ziemniaczanej, który stanowi źródło tzw. „biomasy nieleśnej” jest wycierka ziemniaczana. W pracy zaprezentowano wyniki badań wpływu parametrów materiałowo-procesowych na proces zagęszczania wycierki ziemniaczanej, które przeprowadzono na stanowisku badawczym SS-3. Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że wycierka jest materiałem podatnym na zagęszczanie, a uzyskany granulot posiada wysoką gęstość ($1106-1315 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) i może być wykorzystany jako przyszłe ekologiczne paliwo stałe.

Słowa kluczowe: zagęszczanie, odpady, wycierka ziemniaczana, naciski zagęszczające, gęstość granulatu

WPROWADZENIE

Jednym ze sposobów konwersji biomasy na energię jest wytwarzanie paliwa stałego w postaci granulatu lub brykietów w procesie ciśnieniowej aglomeracji. Na przebieg procesu ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych oraz jej energochłonność ma wpływ szereg czynników, które można podzielić na (Laskowski 1989, Grochowicz 1996, Hejft 1991, 2002, Obidziński 2005):

- czynniki chemiczno-biologiczne np. skład chemiczny zagęszczanego materiału, budowa biologiczna cząstek,
- czynniki materiałowe – związane z przygotowaniem materiału do procesu zagęszczania np. wilgotność materiału, temperatura materiału, skład granulometryczny cząstek zagęszczanego materiału,

*Praca wykonana w ramach pracy własnej W/WM/5/07.

- czynniki procesowe – związane z przebiegiem procesu zagęszczania np. naciski zagęszczające, natężenie przepływu zagęszczanego materiału, prędkość zagęszczania, temperatura procesu, kondycjonowanie materiału,
- czynniki aparaturowe-konstrukcyjne np. średnica matrycy, średnica i liczba rolek zagęszczających, średnica, długość i stan powierzchni otworów w matrycy, wielkość szczeliny między matrycą a rolką, itp.

Prowadzone przez wiele ośrodków naukowych badania eksperymentalne odnośnie zagęszczania roślin energetycznych (Stolarski 2004, Stolarski i in. 2005, Stolarski i in. 2006, Stolarski i Szczukowski 2007) oraz surowców odpadowych z przemysłu rolno-spożywczego (Laskowski i Skonecki 2006, Stolarski 2006, Shaw 2008, Skonecki i Portęć 2008) pokazują, że istnieją techniczne możliwości produkcji paliwa z różnego rodzaju biomasy.

Poza odpadami drzewnymi, źródłami biomasy, która mogłaby zostać przekształcona do postaci granulatu (pelet), mogą być np. odpady z przemysłu zbożowo-młynarskiego, które mogą być komponentem do produkcji pelet (Stolarski 2006). Na cele energetyczne próbuje się wykorzystać również biomasę powstającą przy produkcji np. soków owocowych (W zakładzie przetwórstwa drzewnego Max-Parkiet wykonano próby produkcji pelet z wysortu zbożowego – odpady z elewatora – w mieszance z trocinami dębowymi oraz z odpadami po produkcji soku jabłkowego) (Stolarski 2006). Według Wandrasza (2007) w skład paliw formowanych (tworzonych w procesie zagęszczania) mogą wchodzić odpady np. odpady z przetwórstwa roślin oleistych: wytloki rzepakowe, łuska słonecznika czy łupiny orzecha, (tzw. biologiczne substancje palne BSP).

Zagęszczaniem odpadów i ich wykorzystaniem jako paliwa zajmuje się również wiele zagranicznych ośrodków naukowych, gdzie prowadzono badania zagęszczania innych odpadów poprodukcyjnych: łuski ryżu, włókna orzecha kokosowego (Chin i Siddiqui 2000), różnego rodzaju traw (Mani i in. 2006), słomy ryżowej i otrębów ryżowych (Chou i in. 2009), kompostu powstałego po produkcji grzybów (Ryu i in. 2008), pędów winorośli i odpadów korka (Mediavilla i in. 2009).

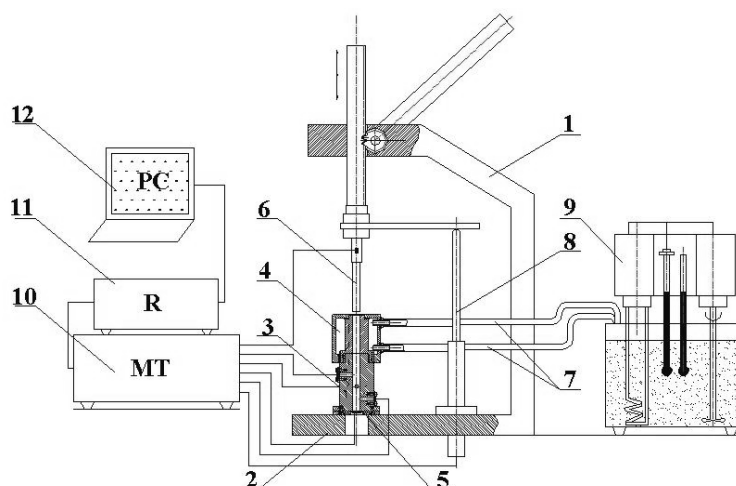
Jednakże parametry powstającego z biomasy paliwa są zazwyczaj gorsze niż pelet z czystych trocin zarówno z drzew iglastych, jak i liściastych (Stolarski 2006). Obecnie w dobie rozwoju rynku pelet i braku trocin coraz częściej sięga się po inne surowce odpadowe oraz biomasę z upraw energetycznych. Jest to również spowodowane umocowaniami prawnymi m.in. Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 14.08.2008r. W/w Rozporządzenia ma zachęcić „dużą energię” do inwestowania w rozwój upraw energetycznych, która w Polsce rozwija się zbyt wolno (mimo dostępnego na ten cel arealu), a także podjęcia wysiłku zagospodarowania różnego rodzaju odpadów biomasowych pochodzenia nieleśnego (Kamieński 2008). W związku z tym zasoby „biomasy nieleśnej”, w najbliższych latach będą cieszyły się coraz większym popytem.

Jednym z odpadów powstających w zakładach przemysłu rolno-spożywczego, która może stanowić bogate źródło tzw. „biomasy nieleśnej”, jest wycierka ziemniaczana, będąca odpadem poprodukcyjnym w produkcji skrobi ziemniaczanej.

MATERIAŁ I METODYKA BADAWCZA

Do badań wykorzystano wycierkę ziemniaczaną pochodzącą z Zakładu Peepes S.A. w Łomży.

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym SS-3 (rys. 1).



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego SS-3: 1 – praska, 2 – podstawa, 3 – komora zagęszczania, 4 – element termostatu, 5 – dno komory, 6 – tłok zagęszczający, 7 – przewody elastyczne, 8 – czujnik przemieszczenia, 9 – ultratermostat, 10 – mostek tensometryczny, 11 – rejestrator, 12 – komputer

Fig. 1. Schematic of the investigation stand SS-3: 1 – press, 2 – base, 3 – densification chamber, 4 – heat exchanger, 5 – chamber bottom, 6 – densification piston, 7 – flexible ducts, 8 – displacement sensor, 9 – ultrathermostat, 10 – extensometer bridge, 11 – recorder, 12 – computer

W skład stanowiska wchodzi praska ręczna 1, na której podstawie zamocowano otwartą komorę zagęszczania 3 (posiadającą otwór o średnicy 8 mm), do której zasypywano badany materiał. Komorę zagęszczania 3 ogrzewano od góry specjalnym elementem termostatu 4, do którego doprowadzono przewodami 7, wodę z ultratermostatu 9, dzięki czemu możliwa jest regulacja temperatury procesu. Zagęszczanie mieszanki odbywało się za pomocą tłoka 6, z czujnikiem tensometrycznym pozwalające na rejestrację sił działających na tłok.

Stanowisko SS-3 oprzyrządowano w aparaturę kontrolno-pomiarową, która pozwala na jednoczesny pomiar i rejestrację: sił działających na tłok zagęszczający

cy 6, sił działających na ścianki komory zagęszczania (na tłoczki umieszczone na różnej wysokości komory zagęszczania 3), przemieszczenie tłoka zagęszczającego 6 (za pomocą czujnika przemieszczenia 8).

Sygnaly z układu tensometrów naklejonych na tłoku zagęszczającym 6, tłoczków bocznych oraz z czujnika przemieszczenia 8 doprowadzano do mostka tensometrycznego 11 a następnie rejestrowano rejestratorem 12 (sprzężonym z komputerem 13) w postaci plików binarnych, które poddano dalszej obróbce.

Badania procesu zagęszczania wycierki ziemniaczanej na stanowisku SS-3 wykonano według planu eksperymentu Hartleya PS/DS-P. Wielkościami wejściowymi były parametry materiałowo-procesowe, których wartości ustalono na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych:

- $x_1 = w_w$ – wilgotność wycierki (35,40 i 45 %),
- $x_2 = t_w$ – temperatura wycierki i układu roboczego (40,60 i 80 °C),
- $x_3 = d_c$ – średnia średnica cząstki wycierki (0,5; 1,5; i 2,5 mm),
- $x_4 = m_p$ – wielkość zagęszczanej porcji (1, 1,5 i 2 g).

Macierz planu eksperymentu (tab. 1) o N-17 punktach planu wygenerowana została przez program STATISTICA 7.0.

Tabela 1. Macierz planu eksperymentu Hartleya PS/DS-P: Ha4: z przyjętymi wartościami rzeczywistymi badanych parametrów

Table 1. Matrix of the plan of the Hartley PS/DS-P experiment: Ha4: with the adoption of real values of studied parameters

N	x_i w_w (%)	t_w (°C)	d_c (mm)	m_p (g)
1	45	40	0,5	1
2	35	80	0,5	1
3	35	40	2,5	1
4	45	80	2,5	1
5	45	40	0,5	2
6	35	80	0,5	2
7	35	40	2,5	2
8	45	80	2,5	2
9	35	60	1,5	1,5
10	45	60	1,5	1,5
11	40	40	1,5	1,5
12	40	80	1,5	1,5
13	40	60	0,5	1,5
14	40	60	2,5	1,5
15	40	60	1,5	1
16	40	60	1,5	2
17	40	60	1,5	1,5

Badanie procesu zagęszczania składało się z trzech etapów:

- przygotowanie surowca przed procesem zagęszczania (suszenie wycierki, rozdrabnianie i segregacja wycierki na właściwe frakcje, dowilżanie w celu uzyskania przyjętej wilgotności, przygotowanie próbek o określonej w planie masie, wygrzewanie próbek do zadanej temperatury),
- zagęszczanie (granulowanie) przygotowanych próbek materiału w komorze otwartej (o średnicy 8 mm) i rejestracja wyników,
- badanie jakości otrzymanego granulatu.

Przed rozpoczęciem procesu zagęszczania (przed pomiarami) wygrzewano odpowiednio wcześniej komorę zagęszczania oraz próbki surowca (umieszczone w szczelnie zamkniętych próbkówkach) do wymaganej temperatury. W trakcie badań, zagęszczano po 20 próbek dla każdego punktu przyjętego planu eksperymentu.

Następnie (po 72 godz. od momentu opuszczenia komory) określano gęstość otrzymanego granulatu, mierząc suwmiarką wysokość i średnicę piętnastu granul (z dokładnością $\pm 0,02$ mm) oraz określając ich masę wagą laboratoryjną z dokładnością $\pm 0,001$ g. Gęstość aglomeratu obliczana jako stosunek masy granul do sumy ich objętości.

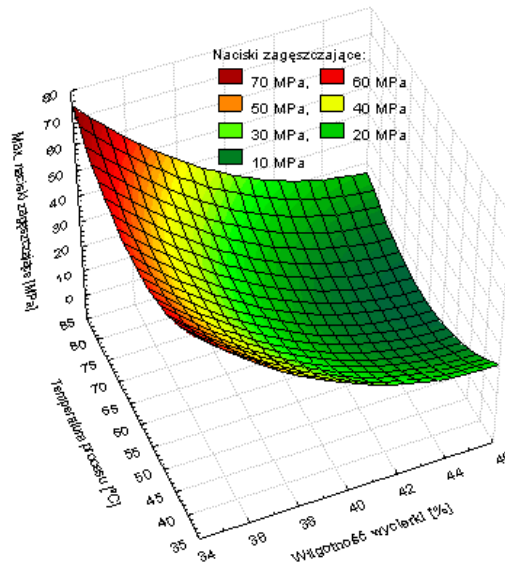
WYNIKI BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwiększenie temperatury procesu (temperatury wycierki i temperatury komory roboczej) jak i wilgotności wycierki powoduje spadek maksymalnych nacisków zagęszczających (rys. 2a). Spadek nacisków zagęszczających spowodowany wzrostem temperatury, jest widoczny w zakresie temperatury od 40 do 70°C. Dalsze zwiększanie temperatury powoduje wzrost nacisków zagęszczających. Obserwowany wzrost jest związany prawdopodobnie, ze spadkiem wilgotności wycierki w trakcie jej wygrzewania (na ściankach próbkówek po ogrzewaniu widoczna była skroplona para wodna).

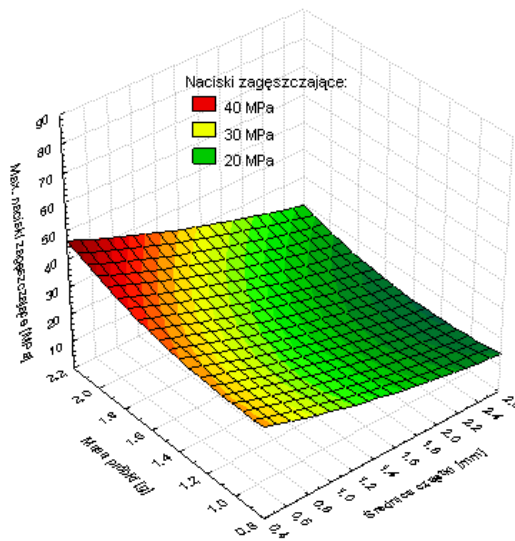
Zwiększenie masy próbki wycierki z 1 do 2 g powoduje wzrost nacisków zagęszczających (rys. 2b). Wzrost nacisków zagęszczających wraz z zwiększeniem masy próbki jest spowodowany zwiększaniem się ilości wycierki poddawanej procesowi zagęszczania w komorze otwartej, co powoduje wzrost rzeczywistej powierzchni tarcia, która wpływa na zwiększanie się oporów tarcia występującego między zagęszczaną wycierką a ściankami komory.

Spadek maksymalnych nacisków zagęszczających wraz ze zwiększaniem wielkości cząstki (rys. 2b), wynika z faktu zmniejszenia właściwej powierzchni kontaktu cząstek o wielkości 2,5 mm w porównaniu do cząstek o wielkości 0,5 mm z powierzchnią ścianki otworu matrycy.

a)



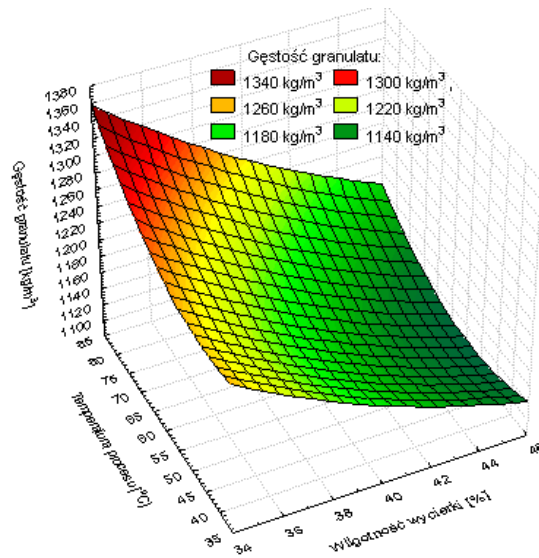
b)



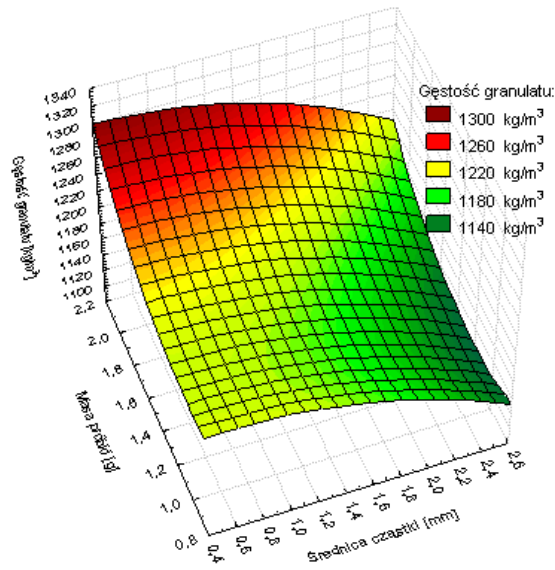
Rys. 2. Zależność pomiędzy maksymalnymi naciskami zagęszczającymi (otrzymanymi w procesie zagęszczania wycierki ziemniaczanej w komorze otwartej) a parametrami materiałowo-procesowymi: a) wilgotnością wycierki i temperaturą procesu, b) masą zagęszczanej próbki i średnicą cząstki wycierki

Fig. 2. Relationship between maximum pressures of densification (received in the densification process of pulp potato in the open chamber) and material and process parameters a) moisture of pulp and temperature of the process, b) the sample mass of pulp and the diameter of the particle

a)



b)



Rys. 3. Zależność pomiędzy gęstością granulatu otrzymanego w procesie zagęszczania wycierki ziemniaczanej w komorze otwartej a parametrami materiałowo-procesowymi: a) wilgotnością wycierki i temperaturą procesu, b) masą zagęszczanej próbki i średnicą cząstki wycierki

Fig. 3. Relationship between density of pellets received in the densification process of pulp potato in the open chamber and material and process parameters a) moisture of pulp and temperature of the process, b) the sample mass of pulp and the diameter of the particle

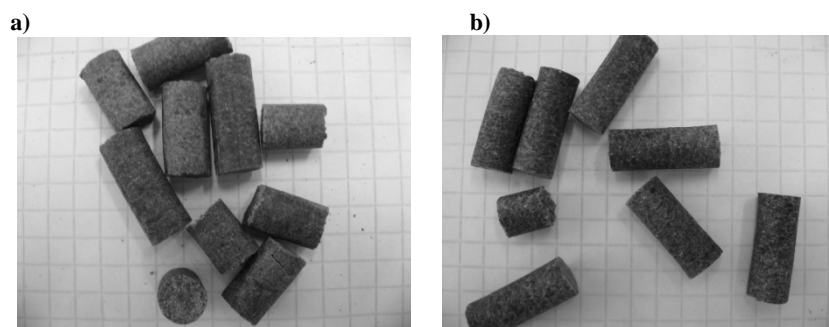
W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwiększenie temperatury procesu i zmniejszenie wilgotności wycierki powoduje wzrost gęstości otrzymanego granulatu (rys. 3a). Wzrost gęstości granulatu wraz ze wzrostem temperatury, jest widoczny w całym badanym zakresie temperatury. Obserwowany wzrost gęstości spowodowany jest zwiększeniem stopnia zżelowania skrobi w wycierce i powstaniem coraz trwalszych wiązań w otrzymanym granulacie.

Zwiększanie wilgotności wycierki od 35 do 45% powoduje obniżenie gęstości granulatu (rys. 3b). Powstająca w wysokiej temperaturze para z wilgoci zawartej w wycierce zmniejsza czas oddziaływania wysokiej temperatury na zagęszczany materiał, przez co powstawanie trwałych wiązań w tworzonej granuli zachodzi wolniej, co wpływa ujemnie na gęstość granulatu.

Zwiększanie masy zagęszczonej próbki wycierki powoduje zwiększanie gęstości otrzymanego aglomeratu, co jest widoczne w całym zakresie masy zagęszczanej próbki tj. od 1-2 g (rys. 3b). Obserwowany wzrost jest związany z coraz większymi oporami przetłaczania zagęszczanej wycierki wraz ze wzrostem masy zagęszczanej próbki w otwartej komorze zagęszczania, powstałymi w wyniku zwiększenia rzeczywistej powierzchni tarcia między zagęszczaną masą i ściankami otworów matrycy.

Zmniejszanie cząstki granulowanej wycierki w zakresie od 2,5 do 0,5 mm (rys. 3b) powoduje wzrost gęstości aglomeratu. Spowodowane jest to spadkiem ilości powietrza między cząstkami wycierki wraz z zmniejszeniem jej wymiarów, co wpływa dodatkowo na zwiększanie się gęstości granulatu.

Na rysunku 4 przedstawiono widok granulatu z wycierki ziemniaczanej otrzymanego przy różnych parametrach procesu.



Rys. 4. Widok granulatu z wycierki ziemniaczanej otrzymanego przy parametrach procesu a) wilgotność wycierki $w_w = 45\%$, temperatura procesu $t_w = 40^\circ\text{C}$, średnica cząstki $d_c = 1,5$ mm, masa próbki $m_p = 1$ g, b) $w_w = 40\%$, $t_w = 60^\circ\text{C}$, $d_c = 1,5$ mm, $m_p = 2$ g

Fig. 4. View of pellets from pulp potato received at different parameters of the process a) moisture of pulp $w_w = 45\%$, temperature of the process $t_w = 40^\circ\text{C}$, diameter of the particle $d_c = 1,5$ mm, mass of sample $m_p = 1$ g, b) $w_w = 40\%$, $t_w = 60^\circ\text{C}$, $d_c = 1.5$ mm, $m_p = 2$ g

WNIOSKI

1. Wycierka ziemniaczana jest materiałem bardzo dobrze poddającym się procesowi zagęszczenia.
2. Wilgotność wycierki i temperatura procesu to parametry mające największy wpływ na wartości nacisków zagęszczających oraz gęstości granulatu otrzymanego z wycierki ziemniaczanej.
3. Najkorzystniejszy zakres temperatury prowadzenia procesu zagęszczania wycierki ziemniaczanej z punktu widzenia obciążenia układu roboczego (wartość nacisków zagęszczających) to zakres 60-70°C.
4. Uzyskana w trakcie badań wysoka gęstość granulatu (1106-1315 kg·m⁻³) to bardzo korzystna cecha otrzymanego granulatu jako przyszłego paliwa.
5. Uzyskany granulak z wycierki ziemniaczanej może być wykorzystany jako przyszłe paliwo stałe (do produkcji energii elektrycznej i ciepła z Odnawialnych Źródeł Energii).

PIŚMIENNICTWO

- Chin O.C., Siddiqui K.M., 2000. Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures. *Biomass and Bioenergy*, 18, 223-228.
- 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.
- Grochowicz J., 1996. Technologia produkcji mieszanek paszowych. Wyd. 2. PWRiL, Warszawa.
- Hejft R., 1991. Ciśnieniowa aglomeracja pasz i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco-brykietujących. *Rozprawy Naukowe Politechniki Białostockiej*, nr 11, Białystok.
- Hejft R., 2002. Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Biblioteka Problemów Eksploatacji. Politechnika Białostocka, ITE Radom.
- Kamieński Z., 2008. Koniec wakacji, początek zmian. *Czysta Energia*, nr 9/2008.
- Laskowski J., 1989. Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych. Praca habilitacyjna. Wydanie Akademii Rolniczej w Lublinie.
- Laskowski J., Skonecki S., 2006. Wpływ średnicy komory i masy próbki na zagęszczanie poekstrakcyjnej śruty rzepakowej. *Inżynieria Rolnicza*, 6, 15-23.
- 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 residua. *Fuel Processing Technology*, 90, 621-628.
- Obidziński S., 2005. Granulowanie materiałów roślinnych w pierścieniowym układzie roboczym granulatora. Rozprawa doktorska. Politechnika Białostocka.
- Ryu C., Khor A., Sharifi V.N., Swithenbank J., 2008. Pelletised fuel production from coal tailings and spent mushroom compost – Part I. Identification of pelletisation parameters. *Fuel Processing Technology*, 89, 276-283.
- Shaw M., 2008. Feedstock and process variables influencing biomass densification. A Thesis. Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan. Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

- Skonecki S., Potręć M., 2008. Wpływ wilgotności łusek kolb kukurydzy na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*, 11(3), 725-732.
- Stolarski M., 2006. Wykorzystanie biomasy do produkcji pelet. *Czysta Energia*, 55.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Kwiatkowski J., Grzelczyk M. 2005. Charakterystyka zrębków oraz peletów (granulatów) z biomasy wierzby i ślazuwca jako paliwa. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1(47), 13-22.
- Stolarski M., Szczukowski S., 2007. Pelet z różnych surowców. *Czysta Energia*, 7.
- Stolarski M., Tworkowski J., Szczukowski S., 2006. Produktywność i charakterystyka biomasy wierzby jako paliwa. *Energetyka*, IX, 53-56.
- Sudhagar 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.
- Wandrasz J.W., 2007. Wykorzystanie palnych substancji organicznych w formowaniu wybranych paliw. *Przegląd Komunalny*, 192.

INVESTIGATION OF DENSIFICATION PROCESS OF POTATO PULP

Sławomir Obidziński

Department of Agricultural and Food Techniques, Mechanical Faculty,
Białystok Technical University
ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok
e-mail: obislaw@pb.edu.pl

Abstract. One of the production wastes generated by food and agricultural industries in the process of potato starch potato production, which is a source of so-called „non-forest biomass”, is potato pulp. The paper presents the results of investigations on the influence of material and process parameters on the densification process of potato pulp, executed on the SS-3 test station. The investigations permit to affirm that is a material susceptible to densification and that pellets produced from it have high density (1106-1315 kg m⁻³) and may be utilised as solid ecological fuel in the future.

Keywords: densification, waste, potato pulp, densification pressure, density of pellets