

## Nakłady energetyczne procesu peletowania wybranych rodzajów biomasy

**Streszczenie.** W pracy przeprowadzono analizę nakładów energetycznych ponoszonych na proces peletowania zmielonej biomasy kilku gatunków roślin. Wybrane rośliny to gatunki uprawiane na cele energetyczne w polskich warunkach klimatycznych. Materiał do badań pozyskany został z poletek doświadczalnych Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Badania przeprowadzono na linii peletującej MGL 200 firmy Kovo Novak. Przy uwzględnieniu aktualnej ceny energii elektrycznej, określono minimalne i maksymalne koszty peletowania kilograma badanych rodzajów biomasy.

**Abstract.** The paper analyzes energy inputs incurred in the process of pelletizing milled biomass of several species of plants. Selected plant species are cultivated for energy purposes in Polish climatic conditions. Material for the study was acquired from experimental plots of University of Agriculture in Krakow. The study was conducted on the line pelletizing MGL 200 from Kovo Novak. Taking into account the current price of electricity, specified the minimum and maximum costs of pelletizing one kilogram of investigated types of biomass. (*Pelletizing process energy inputs selected types of biomass*).

**Słowa kluczowe:** elektryczna linia peletująca, nakłady energetyczne, biomasa, biopaliwa stałe, pelet,  
**Keywords:** Electricity production lines pellet, energy inputs, biomass, solid biofuels, pellet

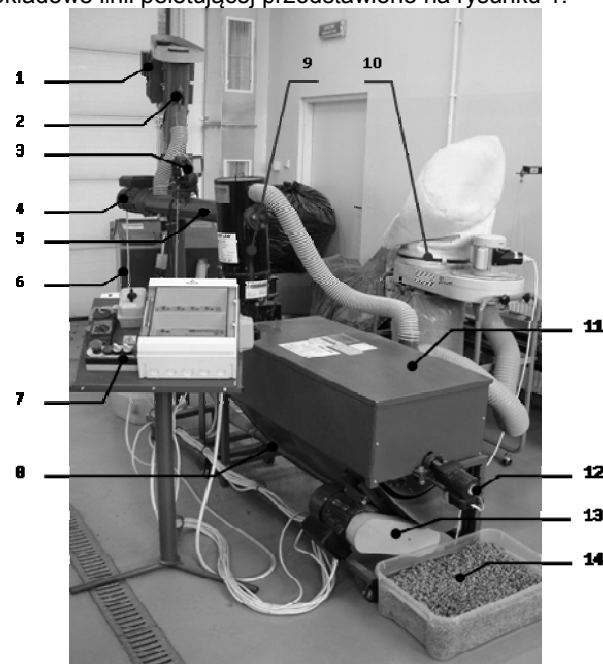
### Wstęp

Biomasa uzyskana z celowych plantacji roślin energetycznych może być spalana w pełni zautomatyzowanych systemach po warunkiem jej przetworzenia do postaci peletu. Niezaprzeczną zaletą peletu jest znaczne zwiększenie jego gęstości w stosunku do postaci biomasy nieprzetworzonej umożliwiając spowolnienie procesu spalania, a co za tym idzie wydłużenie czasu pomiędzy uzupełnieniem paliwa w zbiornikach zasypowych. Ponadto taka forma paliwa jest łatwa w transporcie i załadunku a także pozwala na automatyzację pomocniczych procesów podczas obsługi procesu spalania np. podawanie peletu z zasobnika do komory spalania. Aby możliwe było uzyskanie takiej zgranulowanej formy biopaliwa konieczne jest poniesienie określonych nakładów energetycznych, których wielkość uzależniona jest od pochodzenia biomasy, wilgotności, stopnia jej rozdrobnienia oraz średnicy ziaren uzyskiwanych peletów. Produkcja peletów polega na poddaniu wysuszonej i odpowiednio przygotowanej, rozdrobnionej biomasy działaniu wysokiej temperatury i wysokiego ciśnienia. Sam proces realizowany jest w pelecniarkach, granulatach w których to proces zagęszczania przebiega w kanałach formujących matrycy do których materiał wciskany jest przez rolki [1]. Sam proces granulacji biomasy można realizować w różny sposób. W związku z powyższym przeprowadzono badania jednej z powszechnie stosowanych metod granulacji. Badania tu przeprowadzone miały na celu określenie nakładów energetycznych ponoszonych w procesie peletowania wybranej biomasy drzewnej (topola) oraz biomasy zielnej (topinambur i miskant chiński).

### Materiał badawczy, aparatura i przebieg badań

Obecnie istnieje wiele gatunków roślin możliwych do wykorzystania na plantacjach roślin energetycznych. Próby stosowania ich jako biopaliwo są od lat prowadzone w wielu krajowych i zagranicznych jednostkach naukowych oraz przemysłowych na coraz szerszą skalę [2-8], podejmowane są również badania mające na celu określenie nakładów energetycznych ponoszonych w trakcie etapów produkcji biopaliw stałych [9-11]. Spośród wymienionych roślin energetycznych do badań wybrano te, które są szeroko stosowane w polskich warunkach klimatycznych. W przeprowadzonych badaniach topola (*Populus L.*), reprezentuje biomasę drzewną, natomiast biomasa zielną –

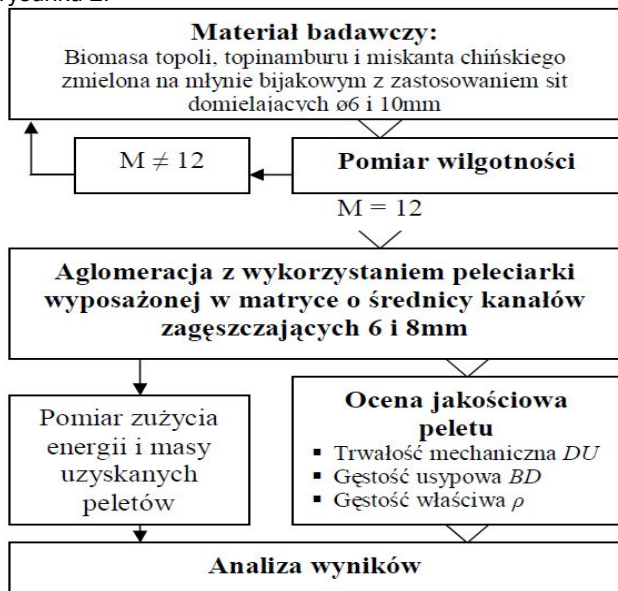
topinambur (*Helianthus tuberosus L*) oraz miskant chiński (*Miscanthus sinensis Anderss*). Materiał do przeprowadzenia badań pozyskano z poletek doświadczalnych Kolekcji Roślin Energetycznych Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Badania przeprowadzono na nowoczesnej typowej linii peletującej MGL 200 o wydajności do 100 [kg/h] firmy Kovo Novak (Czechy). Składowe linii peletującej przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1 Widok linii peletującej MGL 200 firmy Kovo Novak (Czechy), Oznaczenia: 1 – silnik przenośnika ślimakowego, 2 – regulacja dawki materiału, 3 – dozownik wody, 4 – silnik przenośnika poziomego, 5 – przenośnik poziomy, 6 – zbiornik materiału, 7 – pulpit sterowniczy, 8 – przenośnik zanieczyszczeń, 9 – pleciarka, 10 – odciąg pyłów, 11 – schładzalnik, 12 – silnik schładzalnika, 13 – napęd przenośnika zanieczyszczeń, 14 – gotowy produkt - pelet.

Instalacja wyposażona jest w zespół granulujący o elektrycznie napędzanej, tarczowej matrycy. Materiał znajdujący się w koszu zasypowym 6 (patrz rys. 1), wyposażonym w mieszadło, pobierany jest przez

przełożnik ślimakowy, na wylocie którego znajduje się system regulacji dawki materiału 2. Nadmiar materiału wraca grawitacyjnie do zbiornika, natomiast ustalona dawka materiału – również grawitacyjnie – podawana jest do przełożnika poziomego 5, który transportuje go do komory peletowania 9. Materiał spada pomiędzy rolki prasujące a powierzchnię matrycy, gdzie włączany jest w kanały prasujące i zagęszczany do postaci peletu. Nóż umieszczony pod matrycą odcina gotowy granulat, który trafia do schładzalnika 11, w którym następuje jego kondycjonowanie i odsiewanie niesprasowanego materiału. Gotowy granulat gromadzony jest w zbiorniku, natomiast zanieczyszczenia (niesprasowany materiał) transportowane są z powrotem przełożnikiem 8 do zbiornika materiału 6. Ponadto linia produkcyjna wyposażona jest w odciąg 10, którego zadaniem jest odprowadzenie pyłów i pary wodnej z komory prasowania oraz ze schładzalnika. Sterowanie pracą linii realizowane jest z pulpitu sterowniczego 7. Podczas badań nakładów energetycznych procesu peletowania zastosowano matrycę o geometrii kanałów zagęszczających stosowanych do peletowania biomasy o średnicy kanału formującego 6 [mm] i 8 [mm]. Badania przeprowadzone zostały wg schematu zamieszczonego na rysunku 2.



Rys. 2 Schemat badań nakładów energetycznych procesu peletowania, gdzie:  $M$  wilgotność względna materiału.

Materiał do produkcji peletu został rozdrobniony w rębarkę, a następnie zmielony w młynie bijakowym. Proces peletowania realizowano na matrycach, o średnicach kanałów prasujących  $\phi 6$  [mm] i  $\phi 8$  [mm]. Wilgotność zagęszczanego surowca wynosiła 12%.



Rys. 3 Widok krajowego analizatora parametrów sieci LUMEL ND1.

W celu określenia jednostkowych nakładów energetycznych  $E_j$  [Wh/kg] ponoszonych w procesie

peletowania, dokonano rejestracji zużycia energii elektrycznej przy pomocy krajowego analizatora parametrów sieci LUMEL ND1 (rys. 3).

W pierwszej kolejności, określono zużycie energii na potrzeby własne pracy urządzenia  $E_o$  [Wh], to jest na pokonanie oporów urządzeń mechanicznych. Pomiar zużywanej energii elektrycznej na potrzeby własne urządzenia był realizowany podczas pracy bez obciążenia biomasa. Pomiar zużycia energii elektrycznej (brutto)  $E_b$  [Wh] wykonano w czasie trwania procesu peletowania. Po odjęciu od energii brutto  $E_b$  energii traconej na pokonanie oporów własnych  $E_o$  i odniesieniu tej różnicy do masy wytworzonych peletów  $m$  [kg], określono energochłonność procesu peletyzacji (netto)  $E_j$  [Wh/kg] z zależności:

$$(1) \quad E_j = \frac{E_b - E_o}{m} = \frac{E}{m}$$

gdzie:  $E_j$  – energochłonność [Wh/kg],  $E$  – nakłady energetyczne netto [Wh],  $m$  – masa uzyskanego peletu [kg].

Wszystkie pomiary dla każdego wariantu powtarzano trzykrotnie a jako wynik pomiarów wskazywano otrzymaną wartość średnią arytmetyczną.

### Ocena jakości uzyskanego peletu

Aby ocenić jakość peletu należy dla otrzymanych próbek przeprowadzić pomiar: trwałości mechanicznej  $DU$ , gęstości właściwej  $\rho$  oraz gęstości nasypowej (usypowej)  $BD$ .

Gęstość nasypową uzyskanych granulatów oznaczono zgodnie z procedurą opisaną w normie PN-EN 15103:2010 (Biopaliwa stałe - Oznaczanie gęstości nasypowej). Pojemnik o znanej masie  $m_1$ , napełniano granulatem z wysokości 200–300 [mm]. Napełniony pojemnik 2 razy upuszczano z wysokości około 150 [mm] na drewnianą podstawę, uzupełniano materiał a nadmiar pozostający powyżej krawędzi zbiornika zgarniano. Ważono pojemnik z materiałem a gęstość nasypową  $BD_{ar}$  przy danej wilgotności  $M_{ar}$ , określano z zależności:

$$(2) \quad BD_{ar} = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

gdzie:  $BD_{ar}$  – gęstość usypowa [kg/m<sup>3</sup>],  $m_2$  – masa pojemnika wraz z materiałem [kg],  $m_1$  – masa pustego pojemnika [kg],  $V$  – objętość pojemnika [m<sup>3</sup>].

Do pomiarów wykorzystano znormalizowany pojemnik o objętości  $V = 0,005$  [m<sup>3</sup>].

Trwałość mechaniczna granulatu  $DU$  jest miarą jego odporności na wstrząsy i/lub ścieranie powstające w wyniku transportu, przeladunku i przebiegu innych procesów dystrybucji i składowania. Próbkę była poddawana testowi w którym pelet zderzał się ze sobą nawzajem oraz ze ścianami komory testera. Pomiar dokonywany był na stanowisku do oznaczania trwałości granulatów (rys. 4).



Rys. 4 Widok testera trwałości granulatu

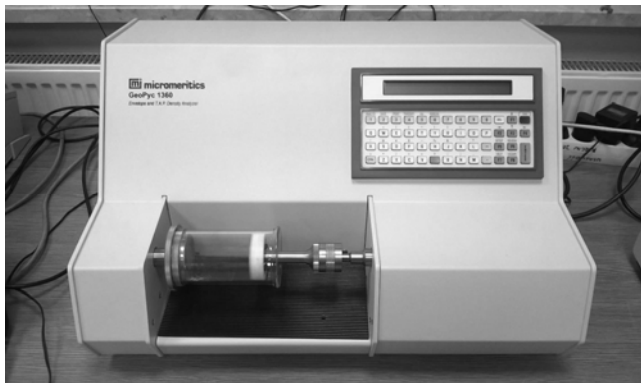
Stanowisko to zostało zaprojektowane i wykonane zgodnie z wytycznymi norm PN-EN 15210:2010 (Biopaliwa stałe - Oznaczanie wytrzymałości mechanicznej brykietów i peletów - Część 1: Pelety), które definiują kształt i wymiary komór pomiarowych oraz przebieg pomiaru. Tester wyposażony jest w dwie komory – I dla granulatów o średnicy do 25mm i II dla granulatów o średnicy powyżej 25mm. W przypadku badanych granulatów wykorzystano komorę mającą, wg wymagań normy PN-EN 15210-1:2010 kształt prostopadłościanu o wymiarach wewnętrznych  $300\pm 3 \times 300\pm 3 \times 125\pm 1,3$  [mm<sup>3</sup>]. Komora podczas testu obracała się wokół osi prostopadłej do centrum kwadratowej ściany komory. W celu uniknięcia przetaczania granul po ściankach, wewnątrz komory testera znajduje się przegroda mająca za zadanie przyspieszenie procesu destrukcji granul. Przegroda ta, o wymiarach  $230\pm 2,3 \times 50\pm 1,0$  [mm<sup>2</sup>], przymocowana jest dłuższym bokiem, symetrycznie na przekątnej kwadratowej ściany komory. Krawędzie przegrody są zaokrąglone, aby uniknąć efektu skrawania granul. Zamknięcie komory było szczelne, aby podczas wykonywania testów nie wydostawał się pył powstający w trakcie niszczenia granulatów. Zważoną, z dokładnością do 0,1 [g] próbkę granulatu o masie  $500\pm 10$  [g] umieszczano w komorze testera. Zgodnie z wytycznymi normy, komora obracała się z prędkością  $50\pm 2$  [obr/min] a czas trwania jednej próby wynosił 10 [min]. Po zakończeniu próby, granul przesiewany był przez sito otworowe o średnicy otworów  $\varnothing 3,15$  [mm]. Przesiewanie próbki dokonywane było w celu usunięcia drobnych frakcji, które oderwały się od granulatu podczas próby. Materiał pozostały na sicie był ważony na wadze laboratoryjnej z dokładnością do 0,1 [g], a trwałość granulatu  $DU$  obliczano ze wzoru:

$$(3) \quad DU = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100\%$$

gdzie:  $DU$  - trwałość granulatu,  $m_A$  - masa próbki przed testem [g],  $m_E$  - masa próbki po teście [g].

Ostateczny wynik pomiaru jest średnim wynikiem uzyskanym z dwóch pomiarów.

Gęstość właściwa peletu określona została przy wykorzystaniu piknometru quasicieczowego GeoPyc 1360 firmy Micromeritics. Urządzenie to mierzy objętość próbki umieszczonej w komorze pomiarowej, z wykorzystaniem proszku o uziarnieniu poniżej 250 [μm]. Wykorzystanie proszku zamiast cieczy pozwala na wyeliminowanie zjawiska zwilżania materiału badanego (wsiąkania), co pozwala na badanie materiałów wykazujących dużą chłonność. Widok urządzenia przedstawiono na rys. 5. W pierwszym etapie, w oparciu o pomiar przesunięcia tłoka, urządzenie wyznacza objętość proszku umieszczonego w komorze pomiarowej o znanej średnicy (rys. 6).



Rys. 5. Piknometr GeoPyc 1360 – widok ogólny



Rys.6 Komora pomiarowa Piknometru GeoPyc 1360

Po dodaniu badanej próbki o znanej masie, wyznaczana jest objętość sumaryczna – proszku i badanego materiału. Następnie wyznaczano objętość materiału jako różnicę objętości sumarycznej i objętości proszku. Gęstość właściwą określano ze wzoru:

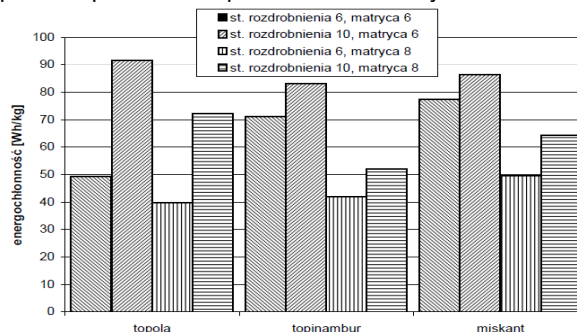
$$(4) \quad \rho = \frac{m}{V}$$

gdzie:  $\rho$  – gęstość właściwa [g/cm<sup>3</sup>],  $V$  – objętość próbki [cm<sup>3</sup>],  $m$  – masa próbki [g]

Urządzenie pozwala na ustalenie dokładnej wartości siły z jaką tłok dociska materiał znajdujący się wewnątrz komory, co daje możliwość określania objętości substancji o małej odporności na ściskanie.

#### Wyniki badań

Analiza uzyskanych wyników pozwoliła na określenie nakładów energetycznych ponoszonych w procesie peletowania biomasy w zależności od materiału, jego stopnia rozdrobnienia oraz średnicy kanałów prasujących matrycy. Uzyskane wyniki pomiaru energochłonności procesu peletowania przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Wyniki pomiarów energochłonności procesu peletowania dla badanych materiałów i wariantów pomiarowych

Dla matrycy  $\varnothing 6$  [mm] największą energochłonność peletowania zarejestrowano dla biomasy topoli o stopniu rozdrobnienia 10mm wyniosła 91,7 [Wh/kg]. Pozostała biomasa (topinambur i miskant) peletowana na tej samej matrycy i o tym samym stopniu rozdrobnienia wymaga niższych nakładów energetycznych, odpowiednio: 83,2 [Wh/kg] i 86,5 [Wh/kg]. W przypadku stopnia rozdrobnienia biomasy wynoszącym 6 [mm] dla biomasy topoli zarejestrowano najmniejszą energochłonność peletowania wynoszącą 49,3 [Wh/kg]. Podobne tendencje zaobserwowano dla matrycy  $\varnothing 8$  [mm]. W porównaniu do peletowania na matrycy o otworach  $\varnothing 8$  [mm] nakłady w przypadku matrycy  $\varnothing 6$  [mm] są zawsze wyższe. Przy przyjęciu ceny energii elektrycznej wynoszącej 0,55 [zł/kWh] otrzymano koszt procesu peletowania badanych materiałów zawierający się w przedziale od 2,2 [gr/kg] do 5 [gr/kg]. Generalnie dla wszystkich badanych materiałów mniejszy stopień rozdrobnienia (materiał mielony na sicie o

średnicy otworów  $\varnothing 10$  [mm]), powoduje wzrost nakładów energetycznych. Wywoływane jest to najprawdopodobniej tym, że część energii zużywana jest na domielenie materiału przez rolki prasujące zanim zostanie on włoczony do kanałów prasujących. Jak już wspomniano dla materiałów mielonych na sicie o średnicy otworów  $\varnothing 10$  [mm], największe nakłady energii na peletowanie zanotowano w przypadku biomasy topolowej. Jest to materiał najbardziej zdrewniały, o najwyższej gęstości właściwej i twardości, a co za tym idzie nakłady na jego domielenie przed włoczeniem do kanałów matrycy są największe.

Wyniki pomiaru trwałości uzyskanego granulatu wykazały, że w przypadku topoli (matryca  $\varnothing 8$  [mm]), trwałość peletu wykonanego z surowca zmielonego na sicie o średnicy oczek  $\varnothing 6$  [mm] wynosi 95,19% i jest wyższa w porównaniu z peletem z tego samego surowca po sicie  $\varnothing 10$  [mm], która wynosi 92,79%. W przypadku pozostałych materiałów (topinambur, miskant,) sytuacja jest odwrotna – nieznacznie wyższą trwałość uzyskał pelet wykonany z materiału po sicie  $\varnothing 10$  [mm]. Spowodowane to może być najprawdopodobniej tym, że w przypadku materiału po sicie  $\varnothing 10$  [mm], woda użyta do zwilżenia powierzchni cząstek w trakcie jego domielenia odparowywała zanim materiał został sprasowany.

Z kolei pelet wykonany na matrycy o średnicy kanałów zagęszczających wynoszącej  $\varnothing 6$  [mm] uzyskał nieznacznie wyższą trwałość w porównaniu do peletu uzyskanego na matrycy  $\varnothing 8$  [mm]. Klasyfikując uzyskany pelet wg wytycznych normy PN-EN 15961:2011 (Nawozy - Ekstrakcja rozpuszczalnego w wodzie wapnia, magnezu, sodu i siarki obecnej w postaci siarczanów), można stwierdzić że pelet z topoli uzyskany z materiału rozdrobnionego na młynie o sicie  $\varnothing 6$  [mm] i prasowany na matrycy  $\varnothing 8$  [mm] oraz  $\varnothing 6$  [mm] można zaliczyć do klasy DU95.0, pozostałe pelety uzyskane w trakcie badań mieszczą się w klasie DU95.0-. Podwyższenie trwałości peletu byłoby najprawdopodobniej możliwe poprzez dodatek lepiszczy, co nie było uwzględnione w zakresie badań.

Wyniki pomiarów gęstości właściwej i usypowej uzyskanych peletów są dla badanych materiałów zbliżone (gęstość właściwa od 1,04 [g/cm<sup>3</sup>] do 1,16 [g/cm<sup>3</sup>], gęstość usypowa od 557,18 [kg/m<sup>3</sup>] do 591,6 [kg/m<sup>3</sup>]). Można stwierdzić, że wpływ stopnia rozdrobnienia materiału oraz jego rodzaj nie ma istotnego wpływu na gęstość właściwą i usypową peletów. Klasyfikując uzyskany pelet wg wytycznych normy PN-EN 15961:2011, pelet z każdego badanego materiału można zaliczyć do klasy BD550.

### Podsumowanie

Analizując uzyskane wyniki należy stwierdzić, że wraz ze wzrostem stopnia rozdrobnienia materiału nakłady energetyczne na jego zagęszczanie maleją. Natomiast wzrost średnicy kanałów zagęszczających matrycy powoduje spadek energochłonności peletowania. Analiza wyników pozwala stwierdzić również, że z ekonomicznego punktu widzenia, do produkcji peletu nie zaleca się stosować matryc o średnicy otworów kanałów zagęszczających  $\varnothing 6$  [mm]. W porównaniu do matrycy  $\varnothing 8$  [mm], nakłady energetyczne ponoszone na peletowanie na matrycy  $\varnothing 6$  [mm] są wyższe, przy nieznacznym wzroście trwałości uzyskanego produktu. Gęstość właściwa i usypowa uzyskiwanych peletów, dla obu przypadków jest porównywalna.

W przypadku biomasy topinamburu i miskanta, dla procesu peletowania wystarczające wydaje się jej rozdrobnienie na młynie z zastosowaniem sита domielającego o średnicy oczek  $\varnothing 10$  [mm]. Co prawda

nakłady energetyczne na peletowanie tak rozdrobnionego materiału są nieznacznie wyższe niż w przypadku materiału rozdrobnionego na sicie  $\varnothing 6$  [mm], jednak trwałość peletu wytworzonego z tak przygotowanego surowca jest wyższa.

Nieco inaczej należy podejść do biomasy topolowej, w tym przypadku rozdrobnienie na sicie  $\varnothing 6$  [mm] powoduje wyraźny spadek energochłonności procesu peletowania, w stosunku do biomasy mielonej na sicie o średnicy oczek  $\varnothing 10$  [mm]. Dodatkowo trwałość peletu z tak przygotowanego surowca jest wyższa. Należy podkreślić, że w zależności od surowca (gatunek biomasy), jego parametrów (stopień rozdrobnienia) oraz parametrów pracy urządzenia peletującego (średnica kanałów matrycy) możliwe jest ponad dwukrotne zmniejszenie kosztów procesu peletowania (z 5 [gr/kg] do 2,2 [gr/kg]) przy zachowaniu porównywalnych cech jakościowych uzyskanego wyprodukowanego peletu.

**Autorzy:** dr inż. Marek Wróbel, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: [Marek.Wrobel@ur.krakow.pl](mailto:Marek.Wrobel@ur.krakow.pl), dr inż. Krzysztof MUDRYK, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: [Krzysztof.Mudryk@ur.krakow.pl](mailto:Krzysztof.Mudryk@ur.krakow.pl), dr inż. Aleksander Gąsior, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny E-mail: [alekg@el.pcz.czyst.pl](mailto:alekg@el.pcz.czyst.pl), dr inż. Zdzisław Posyłek, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny E-mail: [zdzychu@el.pcz.czyst.pl](mailto:zdzychu@el.pcz.czyst.pl), dr inż. Tomasz DRÓZDŹ, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: [Tomasz.Drozdz@ur.krakow.pl](mailto:Tomasz.Drozdz@ur.krakow.pl)

### LITERATURA

- [1] Hejft R., Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych, Biblioteka Problemów Eksploatacji, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2002, 257 (ISBN 83-7204-251-9)
- [2] Frączek J., Mudryk K., Wróbel M., Klon jesionolistny *Acer negundo* L. - Nowy potencjalny gatunek energetyczny, *Acta Agrophysica* 14 (2009), nr. 2, 313-322, (ISSN 1234-4125)
- [3] Frączek J., Mudryk K., Wróbel M., Rożnik przerośnięty *Silphium perfoliatum* L. - źródło biomasy do produkcji biopaliw stałych, *Inżynieria Rolnicza* (2011), Nr 6(131), 21-27, (ISSN 2083-1587)
- [4] Frączek J., Mudryk K., Wróbel M., Wybrane właściwości fizyko-mechaniczne topinamburu *Helianthus tuberosus* L., *Inżynieria Rolnicza* (2011), Nr 6(131), 29-36, (ISSN 2083-1587)
- [5] Mudryk K., Wróbel M., Briquetting and quality of Virginia mallow biomass briquettes, Rozdział IV w: The acquisition and processing of biomass of Virginia mallow for energy purposes (red. W. Piekarski), Wydawnictwo „Wies Jutra”, Warszawa (2011) (ISBN 978-83-62815-10-4).
- [6] Juliszewski T., Kwaśniewski D., Mudryk K., Wróbel M., Ocena wybranych parametrów biomasy pozyskanej z plantacji drzew szybko rosnących, *Inżynieria Rolnicza*. (2012), Nr 2(136), 89-97, (ISSN 2083-1587)
- [7] Karbowniczak A., Wróbel M., Rymar J., Optymalizacja składu mieszanki biomasy rożnika i słonecznika wierzbolistnego na potrzeby procesu aglomeracji, *Episteme* 1, (2015), nr 26, 255-263 (ISSN 1895-4421).
- [8] Monfort S., Manas P., Condon S., Alvarez I., Physicochemical and functional properties of liquid whole egg treated by the application of pulsed electric fields followed by heat in the presence of triethyl citrate, *Food Research International*, 48 (2012) October, 484–490 (ISSN 0963-9969)
- [9] Frączek J., Mudryk K., Wróbel M., Zapotrzebowanie mocy jednostkowej do rozdrabniania pędów wierzby na rębarkę toporowej, *Inżynieria Rolnicza*, 2009, nr 6(115), 69-77, (ISSN 2083-1587)
- [10] Frączek J., Mudryk K., Wróbel M., Nakłady energetyczne w procesie brykietowania wierzby *Salix viminalis* L., *Inżynieria Rolnicza* (2010), nr 3(121), 45-52, (ISSN 2083-1587)
- [11] Frączek J., Mudryk K., Wróbel M., Nakłady energetyczne w procesie mielenia zrębków wierzby *Salix viminalis* L., *Inżynieria Rolnicza* (2010), nr 4(122), 43-49, (ISSN 2083-1587)