



ZESZYTY ENERGETYCZNE, TOM VII

*Wyzwania naukowe w dobie światowej  
transformacji energetycznej*

2020, s. 255–266

---

## **Optymalizacja procesu peletyzacji fusów po parzeniu kawy jako waloryzacja niskogatunkowej biomasy odpadowej na cele energetyczne**

**Anna Waloszyńska, Krzysztof Mościcki**

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny

e-mail: a.waloszynska@gmail.com

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących peletyzacji fusów po parzeniu kawy (ang. SCG – *spent coffee grounds*). Celem badań było przygotowanie peletów z fusów poddanych odpowiedniej obróbce, w taki sposób, aby odznaczały się jak najwyższą jakością, przy maksymalnie wysokiej wilgotności materiału podlegającego peletyzacji. Na podstawie wyników badań zasugerowano rozwiązania pozwalające zoptymalizować proces, zwłaszcza w kontekście suszenia materiału początkowego i doboru lepiszcza, a także wskazano na potencjał fusów po parzeniu kawy do wykorzystania na cele energetyczne.

Słowa kluczowe: biomasa, fusy po parzeniu kawy, peletyzacja, biopaliwa

### **1. Wprowadzenie**

Polityka środowiskowa i energetyczna prowadzona obecnie przez Unię Europejską kładzie duży nacisk na wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, a także na wypracowywanie nowych technologii i rozwiązań, które umożli-

wiłyby zwiększenie udziału energii z OZE w ogólnym bilansie konsumpcji energii. W Polsce kierunek ten odzwierciedla strategia przyjęta w Polityce Energetycznej Polski do 2040 roku [1]. Zgodnie ze wspomnianym dokumentem, do 2030 r. udział OZE ma stanowić nie mniej niż 23% końcowego zużycia energii w Polsce. Zakłada się również wzrost znaczenia między innymi biomasy w ciepłownictwie systemowym. Biomasa, jako odnawialne źródło energii, cieszy się bardzo dużym zainteresowaniem, zwłaszcza biorąc pod uwagę użyteczność dopasowanych do jej specyfiki urządzeń i technologii, pomocnych w zagospodarowaniu bioodpadów powstałych w różnych gałęziach przemysłu czy rolnictwa.

Kawa jest jednym z najbardziej wartościowych towarów rolniczych, a z uwagi na ograniczony klimatycznie obszar upraw – pas między Zwrotnikiem Raka a Zwrotnikiem Koziorożca, tzw. *coffee belt* – jest też jednym z najważniejszych surowców rolnych w wymianie światowej. Największym eksporterem kawy na świecie jest Brazylia, która na rynki zewnętrzne sprzedaje około 60% swojej produkcji [2]. W samym tylko 2018 r. na całym świecie skonsumowano ponad 10 milionów ton kawy, co wiąże się z generowaniem bardzo dużej ilości materiału odpadowego, który następnie powinien zostać odpowiednio zagospodarowany [3].

W ostatnich latach zwraca się na te odpady szczególną uwagę, przede wszystkim ze względu na znaczne ilości substancji organicznej, które wchodzi w skład fusów po parzeniu kawy (ang. SCG – *spent coffee grounds*). Wy różnić można ponad 1000 osobnych związków, takich jak białka, węglowodany, lipidy, ligninę, celulozę, kwasy tłuszczowe, aminokwasy, polifenole, polisacharydy, garbniki czy kofeinę [4]. SCG odznaczają się też dużą zawartością węgla, która jest zmienna w zależności od rodzaju fusów i przeprowadzonych badań. W tabeli 1 zestawiono parametry fizykochemiczne fusów, wykorzystywanych w dwóch różnych badaniach.

**Tabela 1.** Parametry fizykochemiczne fusów po parzeniu kawy SCG; opracowanie własne na podstawie [4], [5]

Składnik/Parametr	Udział w SCG [4]	Udział w SCG [5]
–	%	%
C	71,60	51,4
H	6,30	7,0
O	17,12	38,4
N	2,03	2,2
S	0,02	–
C/N	35,3	23,3

Zauważyć można zmienność zawartości węgla od 51,4 do 71,6%, co znajduje odzwierciedlenie zwłaszcza w zawartości tlenu (38,4% i 17,1%). Stosunek węgla do azotu C/N, który wpływa na rozkład mikrobiologiczny

substancji organicznych, przyjmuje wartości 23,3 i 35,3. Wskazują one na możliwość produkcji biogazu, co w połączeniu z wysoką zawartością węgla w materiale tworzy idealne warunki dla procesu fermentacji metanowej [6].

Przydatność SCG w wytwarzaniu biopaliw potwierdzono już badaniami i publikacjami naukowymi. Olej z ziaren kawy ma podobne do innych olejów roślinnych właściwości pod względem przydatności do stosowania jako surowiec do biodiesla, a jego procentowy udział w SCG wynosi 10–15% [7]. Ponowne wykorzystanie SCG do wytwarzania biowęgla jako paliwa stałego również znalazło potwierdzenie w badaniach w skali laboratoryjnej. Fusy po parzeniu kawy są tanie, łatwo dostępne, a obecnie wciąż większość tych odpadów trafia na wysypiska. Wydaje się więc, że poddanie SCG procesom technologicznym w celu uzyskania wartościowego paliwa, to idea jak najbardziej realna, nawet biorąc pod uwagę ich wykorzystanie w dużej skali – w przemyśle [8].

Biomasa jako paliwo ma wiele zalet – jest łatwo dostępna na całym świecie, do jej pozyskania wykorzystać można nadprodukcję żywności, a uprawy na cele energetyczne pozwalają zagospodarować nieużytki rolne. Kluczowym problemem związanym z biomasą w energetyce jest wysoka zawartość wilgoci w materiale. Powoduje to niską gęstość energetyczną biomasy, co skutkuje bardzo wysokimi kosztami transportu od źródła do miejsca spalania. Problematyczne może być też przygotowanie infrastruktury magazynowej dla biomasy w energetyce. Obecnie biomasę stosuje się najczęściej w dużych elektrociepłowniach jako paliwo stałe, jednak powoli wzrasta również stopień jej wykorzystania na poziomie lokalnym, w małych spalarniach i ciepłowniach. Pozwala to zaspokoić potrzeby poszczególnych społeczności, osiedli czy dzielnic, zapewnia też bezpieczeństwo dostaw energii (własna obsługa sieci ciepłowniczej).

Istnieje wiele sposobów na takie przygotowanie biomasy, aby zredukować wpływ jej wad na transport, magazynowanie i podawanie do spalania czy też współspalania. Jednym z najpopularniejszych sposobów na waloryzację biomasy jest jej peletyzacja, którą przeprowadzono w ramach omawianego w artykule eksperymentu.

Celem badań było przeprowadzenie procesu peletyzacji fusów po parzeniu kawy i jego optymalizacja w taki sposób, aby ograniczyć ilość wykorzystywanego lepiszcza i zminimalizować energię, zwłaszcza w kontekście zużycia ciepła na suszenie fusów. Starano się uzyskać dobrej jakości pelety przy maksymalnie wysokiej wilgotności peletyzowanego materiału. W artykule zaprezentowano metodykę badań, parametry wykorzystywanych materiałów oraz przedstawiono wyniki pomiarów i obliczeń, na podstawie których sformułowano wnioski dotyczące optymalizacji procesu peletyzacji fusów po parzeniu kawy.

## 2. Przebieg eksperymentu badawczego

Do badań wykorzystano gromadzony kilka miesięcy materiał fusowy, który ze względu na bardzo wysoki stopień zawilżenia poddawano suszeniu w suszarce elektrycznej tuż po pozyskaniu, a następnie przechowywano w pojemnikach. Kilkunastogodzinnemu suszeniu poddano fusy również bezpośrednio przed wykonaniem badań, celem przygotowania materiału i obliczenia zawartości pozostałej w fusach wilgoci. Jako lepszczą użyto wysłodzin, pochodzących z jednego z wrocławskich browarów. Zostały one uzyskane jako produkt uboczny zachodzących w browarze procesów technologicznych. Wysłodziny stanowią nierozpuszczalne składniki zacieru – osad z łusek, kielków oraz drobiny słodu, które powstały w kadzi filtracyjnej. Część fusów poddano dodatkowemu suszeniu, które trwało kilkanaście godzin i przebiegało w suszarce elektrycznej w temperaturze 108°C. W tym wypadku założono całkowite usunięcie wilgoci z fusów.

Przygotowano 4 rodzaje mieszanek, z których następnie formowano pelety. Szczegóły dotyczące mieszanek umieszczono w tab. 2.

**Tabela 2.** Mieszanki, ich skład i parametry składników

Mieszanka	Skład i parametry mieszanki
A – fusy bez domieszki	fusy, $W_f = W_A = 9,53\%$
B – fusy z wysłodzinami	fusy, $W_f = 9,53\%$ , 4000 g wysłodziny, $W_w = 81,62\%$ , 520 g całkowita masa mieszanki: 4520 g wilgotność mieszanki: $W_B = 17,32\%$
C – dosuszone fusy z wysłodzinami	fusy, $W_{df} = 0\%$ , 1000 g wysłodziny, $W_w = 81,62\%$ , 130 g całkowita masa mieszanki: 1130 g wilgotność mieszanki: $W_C = 11,05\%$
D – dosuszone fusy z wodą i skrobią ziemniaczaną	fusy, $W_{df} = 0\%$ , 600 g skrobia, 16 g woda, 62 g całkowita masa mieszanki: 678 g wilgotność mieszanki: $W_D = 11,10\%$

$W_f$  – wilgotność fusów, %,  $W_{df}$  – wilgotność dosuszonych fusów, %,  $W_{ww}$  – wilgotność wysłodzin, %,  $W_{A...D}$  – wilgotność mieszanek A...D, %.

Mieszankę C przygotowano w taki sposób, aby proporcje jej składników odpowiadały mieszance B: 130 g wysłodzin na 1000 g fusów. Zawartość wilgoci w wykorzystanych w obu przypadkach fusach była różna. Mieszanka D również odpowiadała proporcjom mieszance B, przy czym skrobia była substytutem suchej frakcji wysłodzin, zaś woda – wilgoci w wysłodzinach.

Każdą z mieszanin fusów z domieszkami wykonano przy użyciu homogenizatora, dokonując wcześniej wstępnego wymieszania na kuwecie. Proces

mieszania w homogenizatorze trwał kilkadziesiąt minut. Przykładowe próbki użyte do wyznaczenia wilgotności mieszanki przedstawiono na rys. 1.



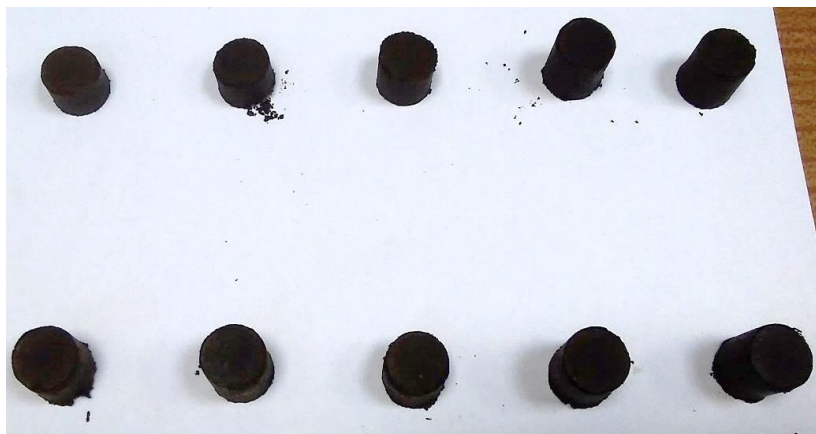
**Rys. 1.** Próbki do wyznaczenia wilgotności mieszanki C

Pelety z mieszanek A, B, C i D wykonano w skali laboratoryjnej (peleciarka ręczna). Używając peleciarki małej skali typu KL-200B wykonano pelety z mieszanek B i C.

Peletyzacja ręczna przebiegała przy użyciu granulatora ręcznego – proces ten przedstawiono na rys. 2. Do zabezpieczonej od dołu tulejki wsypywano materiał, a następnie dociskano go stalowym wałkiem. Przy pomocy dźwigni dociskano podstawkę pod ciśnieniem z przedziału 20–60 bar. Niekiedy materiał był na tyle drobny, że jego część wydostawała się w formie małych wałeczków po obu stronach złożenia, co również jest widoczne na rys. 2. W związku z powstałą wtedy szczelnością, niemożliwym było już podniesienie ciśnienia powyżej 20 bar, co skutkowało otrzymaniem peletów nie dłuższych niż kilkanaście milimetrów. Pelety wykonane z mieszanek A i B przedstawiono na rys. 3.

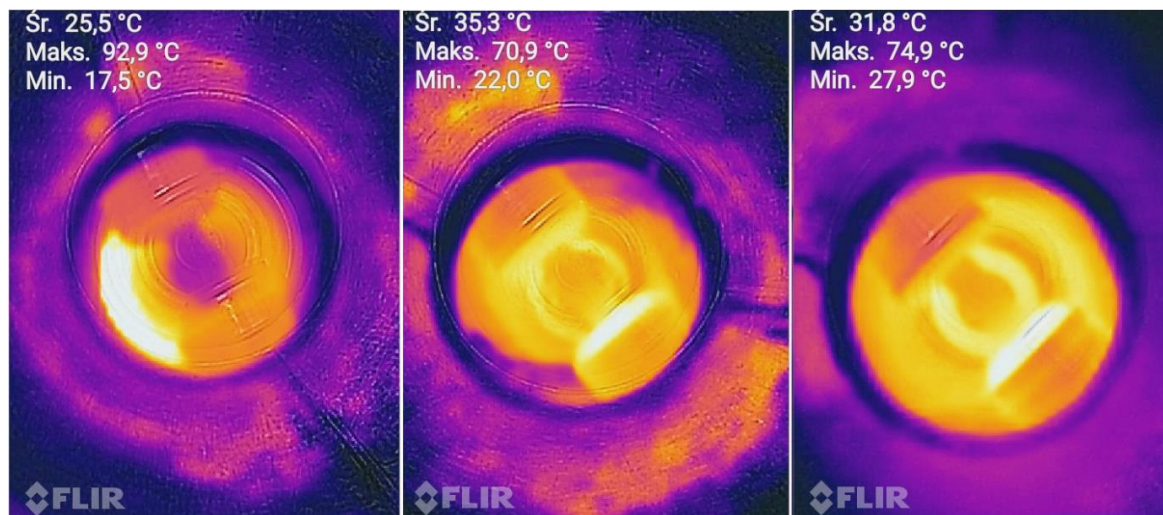


**Rys. 2.** Przebieg peletyzacji ręcznej



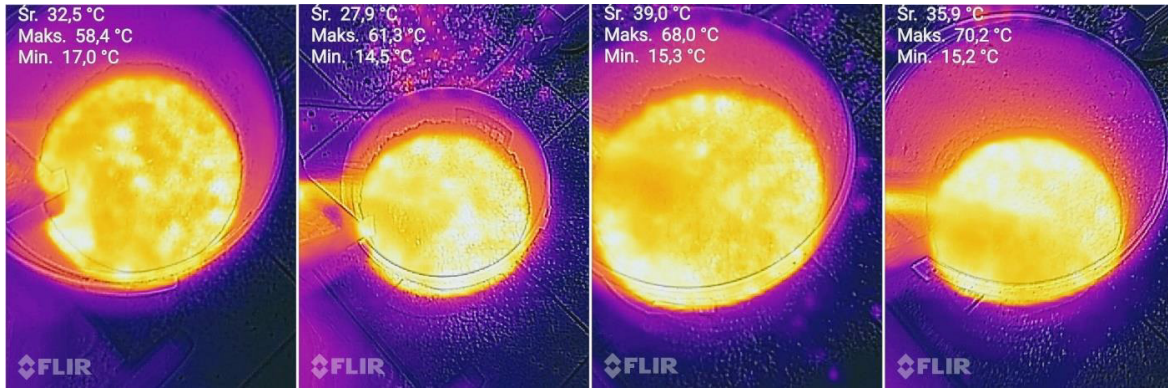
**Rys. 3.** Pelety wykonane z mieszanki A (na górze) i mieszanki B (na dole)

Peletyzacja na pelecjarce małej skali poprzedzona była wstępnym rozgrzaniem urządzenia. Granulację prowadzono kilkakrotnie, aby osiągnąć oczekiwany rezultat. Peletyzacji towarzyszyły pomiary kamerą termowizyjną, przy użyciu której prześledzono zmienność temperatur pelecjarce i mieszanek fusów podczas peletyzacji. Po wstępnym rozgrzaniu urządzenia do nawet  $103,8^{\circ}\text{C}$  wprowadzono materiał do pelecjarce. Na rysunku 4 przedstawiono obraz z kamery – moment schłodzenia się urządzenia po wrzuceniu chłodnego materiału fusowego do  $80,9^{\circ}\text{C}$  oraz dalszy wzrost temperatur matrycy i rolek. Z każdą kolejną granulacją temperatury te wzrastały aż do  $79,8^{\circ}\text{C}$ .



**Rys. 4.** Obraz z kamery termowizyjnej; widoczne schłodzenie części urządzenia po wrzuceniu chłodnego materiału oraz dalszy wzrost temperatur matrycy i rolek

Produkty peletyzacji i ich nagrzewanie w trakcie każdego kolejnego przejścia przez komorę roboczą widoczne są na rys. 5, zaś na rys. 6 pokazano wynik procesu peletyzacji. Po wykonaniu kilku granulacji na tym samym materiale ilość uformowanych peletów wzrosła.



**Rys. 5.** Obraz z kamery termowizyjnej; nagrzewanie się materiału peletyzowanego podczas każdego kolejnego przejścia przez komorę roboczą



**Rys. 6.** Wyniki peletyzacji – wraz z kolejnymi powtórzeniami procesu widocznie zwiększająca się ilość uformowanych peletów

Pelety formowały się coraz wyraźniej wraz ze zbijaniem materiału w matrycy peletarki i podnoszeniem się jej temperatury. Były one jednak kruche i nietrwałe. Próbkę peletów wykonanych z mieszanki B przedstawiono na rys. 7.



**Rys. 7.** Próbkę peletów wykonanych z mieszanki B

Po przeprowadzeniu granulacji oddzielono frakcję speletyzowaną od niespeletyzowanej. Pelety i frakcję niespeletyzowaną odłożono do swobodnego wystygnięcia, co zabezpieczyło obie frakcje przed ewentualnym samozapłonem. W tabeli 3 zestawiono masy frakcji i obliczone sprawności peletyzacji mieszanek B i C. Sprawności te są do siebie zbliżone i wynoszą niecałe 44%. Większa część mieszanek poddawanych peletyzacji nie została ostatecznie speletyzowana. Materiał osiadał na matrycy i innych częściach urządzenia.

**Tabela 3.** Masy frakcji peletyzowanych mieszanek B i C

Wielkość	B	C
Całkowita ilość materiału, g	4520	1130
Frakcja speletyzowana, g	1954	496
Frakcja niespeletyzowana, g	1985	188
Materiał utracony, g	581	446
Sprawność peletyzacji, %	43,23	43,87

Z matrycy odzyskano kilkanaście uformowanych w jej otworach peletów, które charakteryzowały się wyższą trwałością. Lepsze parametry mechaniczne były prawdopodobnie spowodowane faktem, że pelety stygły i podsychały ściśnięte w ograniczonej przestrzeni otworu o kilkumilimetrowym przekroju. Przykładowe pelety zaprezentowano na rys. 8.

**Rys. 8.** Pelety odzyskane z matrycy peleciarki

### 3. Wyniki badań

Dokonane w trakcie badań pomiary posłużyły do opracowania wyników, których podsumowanie zaprezentowano w niniejszym rozdziale.

Tabela 4 pozwala porównać zestawione gęstości peletów wykonanych ręcznie i peletów z peleciarki pozostawionych na dłużej w matrycy.

**Tabela 4.** Gęstości wykonanych peletów

Materiał	A	B	C	D	B
Sposób wykonania peletów	Peleciarka ręczna	Peleciarka ręczna	Peleciarka ręczna	Peleciarka ręczna	Peleciarka małej skali
Gęstość peletów, kg/m <sup>3</sup>	972,40	1014,95	1010,05	1007,13	1196,70

Spośród peletów wykonanych ręcznie największą gęstość (1014,95 kg/m<sup>3</sup>) miały te, wykonane z fusów z wysłodzinami o wyższej wilgotności (mieszanka B). Wpływ na gęstość miała właśnie wilgoć zawarta w fusach. Po-



zbyto się jej po dosuszeniu fusów, co znajduje odzwierciedlenie w gęstości peletów wykonanych z mieszanek C i D ( $1010,05 \text{ kg/m}^3$  i  $1007,13 \text{ kg/m}^3$ ). Ich gęstości są do siebie bardzo zbliżone. Najniższą gęstością odznaczały się pelety wytworzone z mieszanki A, czyli fusów bez lepiszcza –  $972,40 \text{ kg/m}^3$ . Brak dodatkowej wilgoci wpłynął zauważalnie na gęstość peletów. W tabeli uwzględniono też trwalsze pelety, odzyskane z matrycy pelecarki małej skali, wykonane z mieszaniny B. Ich gęstość była najwyższa ze wszystkich badanych i wyniosła  $1196,70 \text{ kg/m}^3$ , co jest skutkiem wpływu wysokiej temperatury podczas dłuższego pobytu w matrycy i czasu ich chłodzenia we wspomnianej matrycy. Okazały się one trwalsze i dłuższe od pozostałych peletów uzyskanych podczas granulacji na tym urządzeniu.

W tabeli 5 zestawiono wilgotność peletów wykonanych z mieszanek B i C – a więc mieszanek fusów mniej i bardziej dosuszonych z wysłodzinami. Oba rodzaje peletów wykonano na pelecierce małej skali. Zestawiono w niej również gęstości nasypowe wykonanych peletów.

**Tabela 5.** Zawartość wilgoci w peletach i ich gęstości nasypowe

Materiał	B	C
Zawartość wilgoci w materiale, %	17,32	11,05
Zawartość wilgoci w peletach, %	11,49	1,29
Gęstość nasypowa peletów, $\text{g/cm}^3$	0,5024	0,5535

Na podstawie powyższej tabeli można stwierdzić, że fusy zmieszane z wysłodzinami (mieszanka B, zawilgocenie 17,32%) były o ponad 6% bardziej zawilgocone, niż mieszanka fusów z wysłodzinami po dokładnym wysuszeniu fusów (mieszanka C, zawilgocenie 11,05%). Pelety wytworzone z tego materiału w pelecierce małej skali mają niższą o ponad 10% zawartość wilgoci (pelety z mieszanki B: 11,49%, pelety z mieszanki C: 1,29%).

Gęstości nasypowe peletów z mieszanin fusów z wysłodzinami są niemal identyczne, jednakże wyższą ( $0,5535 \text{ g/cm}^3$ ) charakteryzują się fusy wykonane z mniej zawilgoconej mieszanki C. Gęstość tych peletów była niższa, niż tych wykonanych z mieszanki B, zatem wynik ten mógł wiązać się z mniejszymi wymiarami wykonanych peletów. Ze względu na mniejszą zawartość wilgoci były one mniej trwałe i krótsze. W zbiorniczku pomiarowym zmieściło się więcej peletów, niż w przypadku peletów wykonanych z pierwszej wspomnianej mieszaniny.

## 4. Wnioski i podsumowanie

Współczesny świat mierzy się z wieloma wyzwaniami w zakresie ochrony środowiska. Jednym z nich jest opracowanie możliwych do zrealizowania

i opłacalnych metod zagospodarowania wciąż rosnącej ilości wytwarzanych odpadów, zwłaszcza biodegradowalnych. Szczególną grupę bioodpadów stanowią komunalne frakcje organiczne, wytwarzane w lokalach gastronomicznych i gospodarstwach domowych. Odpady biodegradowalne charakteryzują się zmiennością składu chemicznego i właściwości, stąd nie jest możliwe wypracowanie jednej, uniwersalnej technologii optymalizacji odzysku. Liczne wdrożone kierunki ich zagospodarowania obejmują między innymi spalanie, wytwarzanie paliw, wykorzystanie do nawożenia czy użyźniania gleb, a także odzysk biologiczny.

W ostatnich latach obserwuje się przyspieszony rozwój technologii spalania biomasy – produkowane są nowoczesne, zautomatyzowane kotły, projektowane z myślą o ogrzewaniu domów jednorodzinnych, a nawet miast. Sprawność takich kotłów przekracza 90%, są one również wyposażone w bardzo efektywne systemy oczyszczania spalin.

Biomasa może być wykorzystana energetycznie poprzez jej bezpośrednio spalanie w urządzeniach ciepłowniczych czy też pośrednio, przez wytwarzanie paliw gazowych i ciekłych do napędu silników spalinowych. Poza energią cieplną, z biomasy uzyskuje się pośrednio energię elektryczną i mechaniczną.

Fusy po parzeniu kawy SCG zawierają znaczne ilości substancji organicznej, zwłaszcza węgla, co powoduje ich wykorzystywanie na cele energetyczne na wiele sposobów. Wytwarza się z nich biopaliwa (biogaz, biodiesel), wykorzystuje się ciepło z ich spalania do napędzania procesów technologicznych. Badane są możliwości magazynowania w nich metanu, tworzy się też węgiel aktywny [6]–[8]. Również w Polsce fusy znajdują już wykorzystanie – produkcją brykietów z kawowych odpadów zajmuje się firma *EcoBean*.

Podczas badań podjęto próby peletyzacji mieszanek fusów z lepiszczami: wysłodzinami pobrowarnianymi i skrobią, o różnych zawartościach wilgoci, a także czystych fusów bez domieszki. Pelety wykonywano w skali laboratoryjnej oraz w pelecierce małej skali. Z podjętych prób peletyzacji fusów z wysłodzinami i skrobią, zgodnie z otrzymanymi wynikami badań laboratoryjnych, można stwierdzić, że najbardziej efektywne okazało się być granulowanie fusów z dodatkiem wysłodzin w ilości 130 g wysłodzin na 1000 g fusów.

Niewielka różnica w gęstości peletów otrzymanych z mieszanek fusów z wysłodzinami – przy czym jedne z nich były dodatkowo dosuszone – może świadczyć o braku konieczności dosuszania materiału fusowego. Poprzez ograniczenie czasu suszenia można również ograniczyć nakład energetyczny, konieczny do wytworzenia paliwa z badanej biomasy. Dalsze badania nad koniecznością i intensywnością suszenia fusów mogłyby pozwolić na zoptymalizowanie tego procesu, jednak już teraz można zauważyć, że kilkuprocentowa różnica w wilgotności mieszanek nie wpłynęła znacząco na różnicę w gęstości otrzymanych podczas peletyzacji ręcznej peletów.

Materiał fusowy można by poddać także dodatkowej obróbce termicznej jeszcze przed procesem peletyzacji. Toryfikacja poprawia właściwości biomasy, zwiększając jej wartość opałową, ale przede wszystkim pozwala zmniejszyć jej higroskopijność. Proces taki mógłby umożliwić dłuższe przechowywanie materiału – badania wskazały na mniej hydrofobową naturę toryfikatów, w porównaniu z masą nieprzetworzoną [9]. Wykorzystanie toryfikacji wiązałoby się jednak z dodatkowymi kosztami i wydatkiem energetycznym, dlatego w przypadku SCG powinno być ono poprzedzone analizami i badaniami.

Analiza gęstości peletów wykonanych na ręcznej pelecjarce pozwala stwierdzić, że w porównaniu do skrobi ziemniaczanej, właściwszym do peletyzacji lepiszczem wydają się być wysłodziny. Większą gęstość miały pelety wykonane właśnie z mieszanki fusów z wysłodzinami (dla obu wilgotności mieszanki), niż te wykonane z mieszanki fusów ze skrobią i wodą. Warto jednak odnotować niewielką różnicę w tych gęstościach – czynnikiem decydującym o wyborze lepiszcza może być więc ostatecznie jego dostępność i cena, co zagwarantowałoby użytkownikowi dużą elastyczność i dostosowanie paliwa do warunków i potrzeb.

Różnice w wynikach gęstości nasypowych mogły wynikać z różnych rozmiarów otrzymanych w procesie peletów. Warto jednakże zaznaczyć, iż produkty obu procesów peletyzacji na pelecjarce małej skali stanowiły pelety bardzo nietrwałe i kruche, a ponad połowę produktów (około 56%) stanowiła frakcja niespeletyzowana i pył. Pelety te najprawdopodobniej uległyby rozpadowi już na etapie podawania paliwa do kotła – otrzymane w trakcie przeprowadzonych badań pelety nie mogłyby więc być wykorzystane w małym ciepłownictwie. Z kolei tę część materiału, która nie uległa peletyzacji, należałoby nawrócić do powtórzenia procesu. Frakcja niespeletyzowana pod koniec całości zaplanowanego przebiegu peletyzacji znalazłaby inne zastosowanie – jako nawóz, odsprzedawany organiczny odpad, bądź materiał wykorzystywany do kolejnych procesów technologicznych.

Najbardziej obiecujące zdają się być wyniki obliczeń dotyczące peletów, które pozostawiono w matrycy pelecjarce na dłużej. Okazały się one trwalsze od pozostałych otrzymanych peletów. Podsumowując, w oparciu o przeprowadzone badania i analizę otrzymanych wyników obliczeń można stwierdzić, że fusy po parzeniu kawy, jako niskogatunkowa biomasa odpadowa, mogą być wykorzystane do wytwarzania peletów, o ile zawartość wilgoci i lepiszcza będzie odpowiednio przystosowana do peletyzowanego materiału i warunków peletyzacji. Istotne jest również dobranie odpowiednich parametrów procesu: jego czasu, temperatury i ciśnienia peletyzacji, a także utrzymywanie ich w trakcie trwania procesu. Wyniki badań, zwłaszcza dotyczące peletów wykonanych ręcznie, wskazują na potencjał tego materiału do wykorzystania na cele energetyczne i potwierdzają potencjał energetyczny badanej biomasy odpadowej.

## Literatura

- [1] Ministerstwo Klimatu, *Polityka energetyczna Polski do 2040 r. – streszczenie*, <https://www.gov.pl/web/klimat/projekt-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r> (dostęp: 02.11.2020).
- [2] S. Chudy, *Rozwój rynku kawy i zmiany w jej konsumpcji wśród Polaków*, *Journal of Agribusiness and Rural Development* 2014, 4(34), 41–51.
- [3] International Coffee Organization, *Coffee market report September 2020*, <http://www.ico.org/documents/cy2019-20/cmr-0920-e.pdf> (dostęp: 02.11.2020).
- [4] Nosek R., Tun M.M., Juchelkova D., *Energy utilization of spent coffee grounds in the form of pellets*, *Energies* 2020, 13(5), 1235. DOI: 10.3390/en13051235.
- [5] Kim J., Kim H., Baek G., Lee C., *Anaerobic co-digestion of spent coffee grounds with different waste feedstocks for biogas production*, *Waste Management* 2016, 60, 322–328. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.015.
- [6] Luz F.C., Cordiner S., Manni A., Mulone V., Rocco V., *Anaerobic digestion of liquid fraction coffee grounds at laboratory scale: Evaluation of the biogas yield*, *Energy Procedia* 2017, 105, 1096–1101. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.470.
- [7] Liu Y., Tu Q., *Reuse of spent coffee grounds to produce biodiesel and activated carbons*, Department of Biomedical, Chemical, and Environmental Engineering, University of Cincinnati, 2014.
- [8] Tsai W.T., Liu S.C., Hsieh C.H., *Preparation and fuel properties of biochars from the pyrolysis of exhausted coffee residue*, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2012, 93, 63–67. DOI: 10.1016/j.jaap.2011.09.010.
- [9] Pawlak-Kruczek H., Krochmalny K.K., Mościcki K., Zgóra J.M., Czerep M.J., Ostrycharczyk M.J., Niedźwiecki Ł., *Torrefaction of various types of biomass in laboratory scale, batch-wise isothermal rotary reactor and pilot scale, continuous multi-stage tape reactor*, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2017, 20(4), 457–472. DOI: 10.17512/ios.2017.4.3.