



## Determining turning expansion of the briquettes made from agricultural waste and plastics

Małgorzata KAJDA-SZCZEŚNIAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii Urządzeń i Zagospodarowania Odpadów, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel.: 32-23-72-104, fax: 32-23-71-167, e-mail: mkajda@polsl.pl

### Abstract

The article deals with determining turning expansion of the briquettes. Briquettes produced on the basis of the plastics from polyolefin group and wheat-rye straw were a subject of testing. In the testing, the binder used was low density polyethylene (PE-LD). The article draws attention to various methods of producing briquettes. It also shows how the briquettes act, immediately after they are removed from the mattress and in particular intervals. The results show to what extent the briquetting parameters and a degree of binder's size reduction influence the change of the briquette's density. Performed tests seem to be significant for the logistic operations, i.e. transport, loading, unloading, storage. The results obtained are presented in tables and diagrams.

**Keywords:** plastics, agricultural waste, briquettes

### Streszczenie

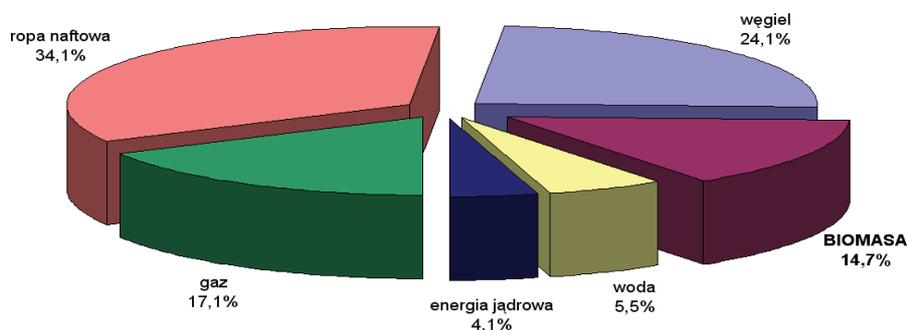
Wyznaczanie ekspansji zwrotnej brykietów wykonanych na bazie odpadów pochodzenia rolniczego i tworzyw sztucznych

Przedmiotem artykułu jest określenie ekspansji zwrotnej brykietów. Badaniom poddano brykiety wykonane w oparciu o tworzywo sztuczne z grupy poliolefin oraz słomę pszenżyta. W badaniach jako lepiszcze zastosowano polietylen o niskiej gęstości (PE-LD). W artykule zwrócono uwagę na różne metody wytwarzania brykietów, pokazano również jak zachowują się brykiety bezpośrednio po wyjęciu z matrycy oraz w przyjętych odstępach czasowych. Wyniki obrazują w jakim stopniu, na zmianę gęstości brykietów w czasie, mają wpływ parametry brykietowania oraz stopień rozdrobnienia lepiszcza. Przeprowadzone badania wydają się być istotne ze względu na operacje logistyczne tj. transport, załadunek, rozładunek, składowanie. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej i graficznej.

**Słowa kluczowe:** tworzywa sztuczne, odpady pochodzenia rolniczego, brykiety.

### 1. Wstęp

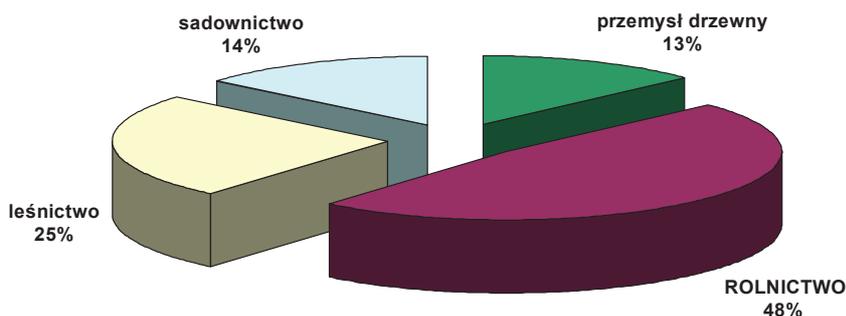
Ilość pozyskanej energii z biomasy stanowi około 15% w ogólnej konsumpcji energii pierwotnej na świecie (rys. 1.1.), w krajach rozwijających się energia uzyskana z biomasy wynosi 38%, natomiast w przypadku krajów przemysłowych udział uzyskanej energii kształtuje się na poziomie 2,8% [1].



Rys. 1.1. Udział uzyskanej energii z biomasy w ogólnej konsumpcji na świecie [1]

W świetle Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 roku Dz. U. nr 34, poz. 182 za biomasę uchodzą *stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, oraz ziarna zbóż niespełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym określonych w art. 4 rozporządzenia Komisji (WE) nr 687/2008 z dnia 18 lipca 2008 r. ustanawiającego procedury przejścia zbóż przez agencje płatnicze lub agencje interwencyjne oraz metody analizy do oznaczania jakości zbóż (Dz. Urz. UE L 192 z 19.07.2008, str. 20) i ziarna zbóż, które nie podlegają zakupowi interwencyjnemu.* Z kolei według definicji Dyrektywy 2003/30/WE *biomasa oznacza ulegającą biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości rolnictwa (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych działów przemysłu a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich.*

Potencjał energetyczny biomasy stanowią głównie nadwyżki pozyskane z rolnictwa, leśnictwa, sadownictwa oraz przemysłu drzewnego. Na rysunku 1.2 pokazano rozkład procentowy poszczególnych sektorów pozyskania biomasy, z których największy odsetek stanowi rolnictwo, bo aż 48% [2].



Rys. 1.2. Procentowy udział biomasy pozyskiwanej w Polsce [2].

Ilość pozyskanej biomasy z rolnictwa uwarunkowana jest przede wszystkim powierzchnią upraw takich zbóż jak: owies, jęczmień, pszenica, pszenżyto, kukurydza, żyto. Wpływ na wielkość zbiorów mają również czynniki atmosferyczne, nawożenie oraz odmiana uprawianej rośliny [2, 3, 4]. Szacuje się wg [3], że z 1 ha uprawy różnych zbóż można zebrać 10 – 14 Mg/ha<sup>-1</sup> s. m. słomy. Przeprowadzone w [5] badania pod kątem właściwości

paliwowych pokazały, że słoma może zarówno pełnić rolę samodzielnego paliwa jak też może stanowić jeden z jego komponentów. Za takim wykorzystaniem przemawiają właściwości słomy, przykładowo słoma pszenżyta charakteryzuje się wartością opalową rzędu 16,66 MJ/kg s. m., wilgotnością na poziomie 6,69% oraz zawartością popiołu 4,68% s. m. Na skład pierwiastkowy słomy pszenżyta składa się: węgiel 48,41% s. m., wodór 6,50% s. m., tlen 39,61% s. m., azot 0,15% s. m., siarka 0,14% s. m. i chlor w ilości 0,51% s. m. [5, 6]. Zebraną z pola słomę można spalać w różnych formach np. w postaci bel, które wytwarza się przy użyciu dużo niższych nacisków zagęszczających, przekłada się to na uzyskane gęstości. Duże bele prostopadłościennie charakteryzują się gęstością rzędu 80 – 140 kg/m<sup>3</sup>, duże bele cylindryczne cechuje gęstość na poziomie 80 – 130 kg/m<sup>3</sup>, a małe bele wysokiego zgniotu na poziomie 80 – 130 kg/m<sup>3</sup>. Niskie gęstości mają wpływ na warunki przechowywania i transportu. Słoma po uformowaniu w bele powinna być jak najszybciej składowana aby zabezpieczyć ją przed zamakaniem i pochłanianiem wilgoci z otoczenia. Szacuje się, że wskutek trwałego zawilgocenia w niektórych przypadkach tylko 10% składowanej w stertach słomy może zostać wykorzystana jako paliwo. Ponadto bele zajmują dużo większą powierzchnię magazynową w stosunku do brykietów. Ze względu na dużą objętość słoma po sprasowaniu w bele powinna być składowana w niewielkich odległościach od miejsca zbioru z przyczyn ekonomicznych i logistycznych [7, 8, 9, 10]. Dlatego wydaje się, że dla lepszego wykorzystania surowca roślinnego jakim w omawianym przypadku jest słoma powinno się ją poddawać procesom brykietowania bądź peletyzacji. Omawiane procesy wykonuje się przy nakładzie dużo większych nacisków zagęszczających, dzięki czemu wytworzone brykiety oraz pelety posiadają znacznie większą gęstość w porównaniu z belami. Brykiety cechuje gęstość na poziomie 800 – 1400 kg/m<sup>3</sup>, a pelety na poziomie 1000 – 1700 kg/m<sup>3</sup>, przez co zajmują dużo mniejszą powierzchnię, mogą być transportowane na dowolne odległości, łatwiej można je zabezpieczyć przed czynnikami atmosferycznymi typu deszcz, śnieg, wiatr, można również wprowadzić automatyzację i mechanizację przy transporcie, składowaniu i załadunku do pieca [5, 7, 10, 11, 12, 13, 14].

W niniejszym artykule przedstawiono jeden ze sposobów zagospodarowania odpadów pochodzenia rolniczego tj. słomy oraz odpadowych tworzyw sztucznych z grupy poliolefin. W opracowaniu poruszono tematykę dotyczącą procesu brykietowania wyżej wymienionych komponentów oraz ekspansji zwrotnej [5, 7, 15]. Pokazano zależność przyrostu gęstości brykietów w zależności od doboru parametrów wytwarzania oraz od rodzaju zastosowanego lepiszcza. Badania pokazują w jakim stopniu brykiety ulegają rozprężeniu, czyli o ile maleje ich gęstość w czasie, co przekłada się na wielkość zajmowanej przez nie powierzchni. Przeprowadzone analizy pokazują możliwość wspólnego wykorzystania odpadów rolniczych i odpadów tworzyw sztucznych, mogą również okazać się przydatne ze względu na określenie warunków magazynowania brykietów oraz logistykę tj. transport, załadunek, rozładunek, składowanie.

## 2. Metodyka wytwarzania brykietów

Przyjęta metodyka wytwarzania brykietów została dostosowana do rodzaju brykietowanych mieszanek oraz stopnia rozdrobnienia substancji wiążącej. W skład brykietów wchodziły słoma pszenżyta oraz polietylen o niskiej gęstości, który w brykiecie pełnił rolę spoiwa.

Wyznaczone doświadczalnie temperatury przetwórstwa zastosowanego tworzywa sztucznego z grupy poliolefin oraz przyjęte przedziały nacisków zagęszczających umożliwiały wykonanie serii brykietów, których poszczególne metodyki wytwarzania opisano poniżej. Wyróżniono cztery metody wytwarzania brykietów w warunkach laboratoryjnych.

W pierwszej metodzie zarówno słomę pszenżyta jak i polietylen rozdrobniono do frakcji nie przekraczającej 10 – 15 mm, tak rozdrobnione surowce mieszano w stosunku 20:1. Następnie wprowadzano je do matrycy, poddawane działaniu podwyższonej temperatury z przedziału 190 – 210°C ulegały sprasowaniu ze stałym naciskiem 82 MPa.

W drugiej metodzie również rozdrobniono oba komponenty do frakcji nie przekraczającej 10 – 15 mm i zmieszano je w stosunku 20:1. Różnica polegała na sprasowaniu komponentów umieszczonych w matrycy ze zmiennym ciśnieniem prasującym z zakresu 68 – 95 MPa w stałej temperaturze 200°C.

Trzecia metoda polegała na rozdrobnieniu tylko słomy pszenżyta do frakcji nie większej niż 15 mm, który dozowano do matrycy. Wyściółkę matrycy stanowiła folia PE-LD nie rozdrobniona. W finalnym produkcie folia pełniła funkcję spoiwa w postaci zewnętrznej otoczki wokół zbrykietowanej słomy. Uzyskaną próbę sprasowano przy następujących parametrach: temperatura z przedziału 190 – 210°C, stały nacisk 82 MPa.

W metodzie czwartej przygotowaną próbę sprasowano w stałej temperaturze 200°C ze zmiennym ciśnieniem prasującym z zakresu 68 – 95 MPa.

W wyniku zastosowanych metod uzyskano następujące brykiety:

- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD rozdrobnionego, wykonane przy parametrach 68 MPa, 200°C,
- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD rozdrobnionego, wykonane przy parametrach 82 MPa, 200°C,
- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD rozdrobnionego, wykonane przy parametrach 95 MPa, 200°C,
- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD rozdrobnionego, wykonane przy parametrach 82 MPa, 190°C,
- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD rozdrobnionego, wykonane przy parametrach 82 MPa, 210°C,
- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD nie rozdrobnionego wykonane przy parametrach 68 MPa, 200°C,
- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD nie rozdrobnionego, wykonane przy parametrach 82 MPa, 200°C,
- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD nie rozdrobnionego, wykonane przy parametrach 95 MPa, 200°C,
- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD nie rozdrobnionego, wykonane przy parametrach 82 MPa, 190°C,
- ✓ Brykiety na bazie słomy pszenżyta i PE-LD nie rozdrobnionego, wykonane przy parametrach 82 MPa, 210°C.

### 2.1. Stanowisko badawcze

Do zagęszczenia przygotowanych mieszanek typu słoma – tworzywo sztuczne zastosowano prasę tłokową, która jest przykładem urządzenia pracującego w sposób okresowy. Odpowiednio przygotowany materiał podawano porcjami do matrycy i prasowano za pomocą tłoka. W celu uzyskania założonego parametru siły prasującej użyto klucza dynamometryczny [5].

Otrzymane brykiety pokazano na rysunkach 2.1 – 2.2.



Rys. 2.1. Brykiety ze słomy pszenżyta i PE-LD rozdrobnionego. 1 – 68 MPa, 200°C; 2 – 82 MPa, 200°C; 3 – 95 MPa, 200°C; 4 – 82 MPa, 190°C; 5 – 82 MPa, 210°C [5, 6].



Rys. 2.2. Brykiety ze słomy pszenżyta i PE-LD nie rozdrobnionego. 1 – 68 MPa, 200°C; 2 – 95 MPa, 200°C; 3 – 82 MPa, 190°C; 4 – 82 MPa, 200°C; 5 – 82 MPa, 210°C [5, 6].

### 3. Wpływ czasu na zmianę gęstości brykietów

W ramach badań określono ekspansję zwrotną tzn. w jakim stopniu brykiety ulegają rozprężeniu od chwili ich wytworzenia. Oznaczenie zmiany gęstości brykietów w czasie polegało na pomiarze wymiarów brykietów: średnicy i wysokości, bezpośrednio po opuszczeniu matrycy przez brykiet oraz w następujących odstępach czasowych: 2, 5, 10 i 20 minut od wyjęcia brykietu z matrycy. Znając masę brykietów i wymiary uzyskane z pomiaru w poszczególnych jednostkach czasu, wyznaczono gęstość brykietów wykonanych przy założonych parametrach. Powyższe pomiary i obliczenia umożliwiły wyznaczenie czasu ustania ekspansji zwrotnej poszczególnych brykietów.

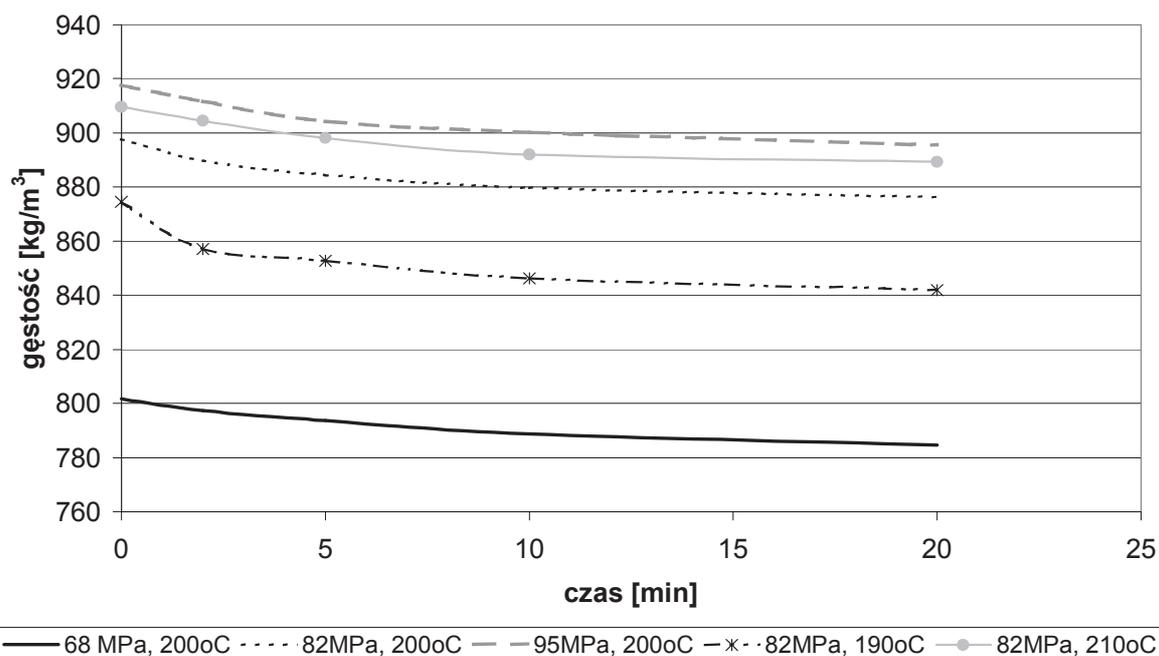
Otrzymane rezultaty badań zamieszczono w tabelach 3.1 i 3.2 oraz w formie wykresów 3.1 i 3.2.

Tabela 3.1. Zmiana gęstości brykietów ze słomy pszenżyta z dodatkiem polietylenu rozdrobnionego otrzymanych w temperaturze 190°C, 200°C, 210°C i przy ciśnieniu 68 MPa, 82 MPa, 95 MPa podczas ekspansji zwrotnej.

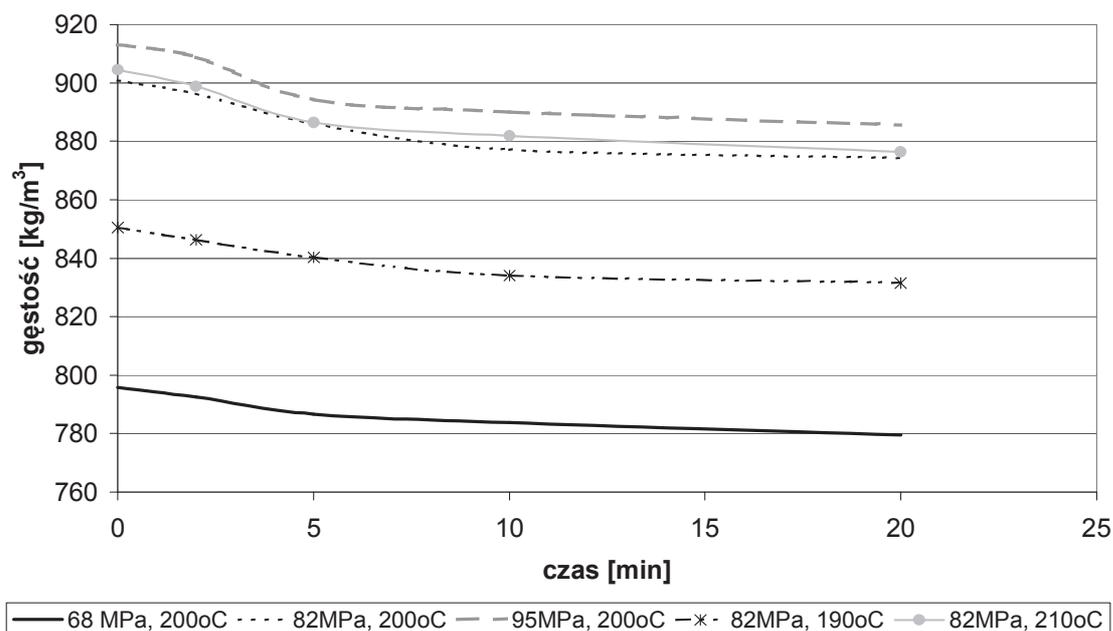
Parametry wytwarzania brykietów		Gęstość bezpośrednio po wykonaniu, kg/m <sup>3</sup>	Gęstość po 2 minutach od wykonania, kg/m <sup>3</sup>	Gęstość po 5 minutach od wykonania, kg/m <sup>3</sup>	Gęstość po 10 minutach od wykonania, kg/m <sup>3</sup>	Gęstość po 20 minutach od wykonania, kg/m <sup>3</sup>
Temp. °C	Ciśn. MPa					
<i>Brykiety na bazie słomy pszenżyta i polietylenu rozdrobnionego</i>						
200	68	801,59	797,41	793,62	788,75	784,71
200	82	897,67	889,76	884,35	879,65	876,17
200	95	917,67	911,76	904,28	900,21	895,46
190	82	874,57	857,15	852,70	846,29	841,86
210	82	909,57	904,51	898,03	891,99	889,22

Tabela 3.2. Zmiana gęstości brykietów ze słomy pszenżyta z dodatkiem polietylenu nie rozdrobionego otrzymanych w temperaturze 190°C, 200°C, 210°C i przy ciśnieniu 68 MPa, 82 MPa, 95 MPa podczas ekspansji zwrotnej.

Parametry wytwarzania brykietów		Gęstość bezpośrednio po wykonaniu, kg/m <sup>3</sup>	Gęstość po 2 minutach od wykonania, kg/m <sup>3</sup>	Gęstość po 5 minutach od wykonania, kg/m <sup>3</sup>	Gęstość po 10 minutach od wykonania, kg/m <sup>3</sup>	Gęstość po 20 minutach od wykonania, kg/m <sup>3</sup>
Temp. °C	Ciśn. MPa					
<i>Brykiety na bazie słomy pszenżyta i polietylenu nierozdrobionego</i>						
200	68	795,31	792,41	786,68	783,72	779,48
200	82	900,90	896,25	886,01	877,21	874,13
200	95	913,09	908,82	894,19	890,15	885,46
190	82	850,47	846,32	840,36	834,10	831,52
210	82	904,57	898,79	886,52	881,84	876,33



Rys. 3.1. Ekspansja zwrotna brykietów ze słomy pszenżyta i PE-LD rozdrobionego.



Rys. 3.2. Ekspansja zwrotna brykietów ze słomy pszenżyta i PE-LD nie rozdrobionego.

#### 4. Wnioski i dyskusja wyników

Gęstości poszczególnych brykietów, bezpośrednio po wytworzeniu, zawierały się w przedziale od  $795 \text{ kg/m}^3$  dla brykietów ze słomy pszenżyta i polietylenu nie rozdrobionego wykonanych przy nacisku 68 MPa i w temperaturze  $200^\circ\text{C}$  do  $917,67 \text{ kg/m}^3$  dla brykietów ze słomy pszenżyta i polietylenu rozdrobionego wykonanych przy ciśnieniu prasującym 95 MPa i w temperaturze  $200^\circ\text{C}$ .

Brykiety różnią się rzędem wielkości badanej gęstości w zależności od doboru parametrów wytwarzania tzn. przyjętych nacisków zagęszczających i wyznaczonych doświadczalnie temperatur procesu brykietowania. Najwyższą gęstością, określoną bezpośrednio po wyjęciu brykieta z matrycy, spośród przebadanych prób charakteryzowały się brykiety wykonane przy ciśnieniu prasującym rzędu 95 MPa, a najmniejszą przy ciśnieniu wynoszącym 68 MPa. Wraz ze wzrostem ciśnienia prasującego obserwuje się wzrost gęstości brykietów niezależnie od stopnia rozdrobienia zastosowanego tworzywa sztucznego. Analogicznie gęstość brykietów rośnie wraz ze wzrostem temperatury procesu wytwarzania brykietów zarówno z dodatkiem polietylenu rozdrobionego jak i nie rozdrobionego. Brykiety cechuje najniższa gęstość w temperaturze  $190^\circ\text{C}$ , z kolei w temperaturze  $210^\circ\text{C}$  osiągają największą gęstość określoną bezpośrednio po wytworzeniu.

Krzywe obrazujące ekspansję zwrotną dla wszystkich badanych prób mają podobny charakter. Zaobserwowano, że największy spadek gęstości wystąpił w czasie pierwszych 5 minut od wytworzenia brykietów. Sytuacja taka miała miejsce dla większości brykietów. Wyjątek stanowiły brykiety wykonane przy nacisku 82 MPa i temperaturze  $190^\circ\text{C}$  na bazie słomy pszenżyta i polietylenu rozdrobionego, dla których największe rozprężenie przypadało na pierwsze 2 minuty od chwili opuszczenia matrycy. Przeprowadzone badania wykazały, że gęstość wszystkich brykietów spada w czasie przy zachowaniu stałej masy. Oznacza to, że brykiety uległy ekspansji zwrotnej, czyli rozprężeniu od momentu opuszczenia matrycy. Z przeprowadzonych badań wynika, że w czasie pierwszych 20 minut od wytworzenia brykietów spadek gęstości dla brykietów z dodatkiem polietylenu rozdrobionego mieścił się w przedziale od  $16,88 \text{ kg/m}^3$  (dla brykietów wytworzonych przy zagęszczeniu 68 MPa i w temperaturze  $200^\circ\text{C}$ ) do  $32,71 \text{ kg/m}^3$  (dla brykietów wytworzonych przy zagęszczeniu 82 MPa i w temperaturze  $190^\circ\text{C}$ ). Z kolei brykiety z dodatkiem polietylenu nie rozdrobionego charakteryzowały się spadkiem gęstości na poziomie  $15,83 \text{ kg/m}^3$  (dla brykietów wytworzonych przy zagęszczeniu 68 MPa i w temperaturze  $200^\circ\text{C}$ ) do  $28,24 \text{ kg/m}^3$  (dla brykietów wytworzonych przy zagęszczeniu 82 MPa i w temperaturze  $210^\circ\text{C}$ ).

Stwierdzono, że spadek gęstości w zadanych odstępach czasowych w niewielkim stopniu zależy od parametrów wytwarzania brykietów.

### Literatura

1. Lewandowski W.: Proekologiczne źródła energii odnawialnej. WNT, Warszawa 2001.
2. Mirowski T., Mokrzycki E., Olkusiński T., Skoczek A., Szurlej A.: Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi. pod red. Eugeniusza Mokrzyckiego Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2005.
3. Grzybek A.: Potencjał biomasy możliwy do wykorzystania na produkcję pelet. *Czysta Energia* 6/2004, s. 24 – 25.
4. Grzybek A.: Wykorzystanie pelet jako paliwa. *Czysta Energia* 6/2005, s. 31 – 33.
5. Kajda-Szcześniak M.: Analiza możliwości wykorzystania wybranej biomasy w procesie formowania paliw. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2008.
6. Wandrasz J.W., Kajda-Szcześniak M.: Badania jakości paliwa formowanego na bazie słomy z pszenżyta i folii polietylenowej. *Przegląd komunalny* 9/2007.
7. Hejft R.: Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Wyd. Instytut Technologii Eksploatacji, Politechnika Białostocka 2002.
8. Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K.: Słoma energetyczne paliwo. Wyd. Wieś Jutra Sp. z o.o., Warszawa 2001.
9. Grzybek A.: Słoma surowiec energetyczny. Praca zbiorowa pod redakcją Podkównki W.: Biopaliwo. Gliceryna. Pasza z rzepaku. Wyd. Akademii Techniczno – Rolniczej, Bydgoszcz 2004.
10. Bilitewski B., Hardtle G., Marek K.: Podręcznik gospodarki odpadami. Teoria i praktyka. Wyd. Seidel – Przywecki, Warszawa 2003.
11. Hejft R., Demianiuk L.: Wytwarzanie brykietów opałowych z odpadowych surowców pochodzenia roślinnego. *Zeszyty Naukowe. Inżynieria Chemiczna i Procesowa. Politechnika Łódzka*, z. 27, Łódź 2000, s. 123-130.
12. Nendel K., Clauß B., Böttger U., Käferstein P., Gohla M., Reimer H., Tepper H., Neidel W.: Kopplung von energetischer Verwertung und Aufbereitung von Biomassen – Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2002/0122>.
13. Stolarski M.: Pelety z biomasy wierzby i ślazuwca. *Czysta Energia*, 6/2005, s. 36 – 37.
14. Hejft R., Demianiuk L.: Badanie jakości brykietów opałowych z materiału roślinnego. *Materiały Konferencyjne, KMiuPS, Politechnika Białostocka*.
15. Niedziółka I., Szymanek M., Zuchniarz A.: Ocena właściwości energetycznych i mechanicznych brykietów z masy późniejszej kukurydzy. *Inżynieria Rolnicza* 7(95)/2007, s. 153-159.

### Akty prawne

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 roku Dz. U. nr 34, poz. 182 zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii.

Dyrektywa 2003/30/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 8 maja 2003 r. w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych.