



Evaluation of the quality of briquettes produced on the basis of corn straw and low density polyethylene

Małgorzata KAJDA-SZCZEŚNIAK¹

¹ 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 presents results of tests of the quality of briquettes. Briquettes made of corn straw and low density polyethylene (PE-LD) were submitted for tests, performed with pre-defined temperature and pressure parameters. In order to evaluate reactions of briquettes during storage, transport and reloading compressive strength, abrasion strength and drop strength were tested. Additionally, tests for water absorbability, water resistance and sorptive properties were included in the experiment. Results of the above tests have been presented in graphic form and listed in a table.

Keywords: quality of briquettes, corn straw, PE-LD

Streszczenie

Ocena jakości brykietów wykonanych w oparciu o słomę kukurydzy i polietylenu o niskiej gęstości

W artykule przedstawiono wyniki badań odnośnie jakości brykietów. Badaniom poddano brykiety ze słomy kukurydzy i polietylenu o niskiej gęstości (PE-LD), które wykonano przy założonych parametrach temperatury i ciśnienia. W celu możliwości dokonania oceny zachowywania się brykietów podczas magazynowania, transportu i przeładunku przeprowadzono badania wytrzymałościowe na ściskanie, ścieranie i zrzucanie, które dodatkowo poszerzono o badania pod kątem wyznaczenia stopnia nasiąkliwości, wodoodporności i właściwości sorpcyjnych. Rezultaty powyższych badań zestawiono w formie graficznej i tabelarycznej.

Słowa kluczowe: jakość brykietów, słoma kukurydzy, PE-LD.

1. Wstęp

Ze sporządzonego przez [1] krajowego bilansu odnawialnych nośników energii za lata 2006 – 2010 widoczny jest wzrost ilości energii pozyskanej ze źródeł odnawialnych z 199566 TJ w 2006 r. do 287640 TJ w 2010 r. Należy nadmienić, że spośród wszystkich nośników energii największą pozycję bilansu energii odnawialnej w 2010 r. stanowiła energia biomasy stałej, której udział wyniósł 85,36% [1].

Słoma to jedna z form biomasy stałej, stanowią ją dojrzałe i wysuszone źdźbła m. in. roślin zbóż, roślin strączkowych, lnu i rzepaku. Oprócz zastosowania w rolnictwie, ogrodnictwie, czy budownictwie znajduje również zastosowanie w energetyce [2, 3]. Wg [3] przyjmuje się, że w krajach Unii Europejskiej aż 50% masy roślinnej pochodzącej z uprawy zbóż może zostać zagospodarowana w celach energetycznych. W wyniku termicznego przekształcenia słomy można odzyskać energię możliwą do wykorzystania m. in. W indywidualnych gospodarstwach np. do ogrzewania mieszkań, obór, chlewni, szklarni oraz w energetyce zawodowej [3, 4, 5]. Ponieważ słoma niezależnie od gatunku charakteryzuje się dużą objętością formuje się ją w bele, brykiety lub pelety, w celu obniżenia kosztów transportu, przechowywania oraz usprawnienia organizacji procesu spalania [3, 6]. Słomiane brykiety i pelety wytwarza się poprzez sprasowanie komponentów pod wysokim ciśnieniem z możliwością zastosowania dodatkowego komponentu jakim jest lepiszcze [6, 7, 8].

Przedmiot badań, mający za zadanie ocenę jakości paliwa, stanowią brykiety wykonane w oparciu o dwa komponenty tj. słomę kukurydzy i polietylen o niskiej gęstości (PE-LD), który w brykiecie pełni wspomnianą wyżej funkcję lepiszcza. Proces brykietowania omówiono szerzej w publikacjach [9, 10, 11, 12].

W artykule przebadano parametry wytrzymałościowe będące wyznacznikami jakości brykietu. Określają one zachowanie kształtu, odporności na ścieranie i kruszenie badanego materiału. Dodatkowo sprawdzono również odporność brykietów na działanie wilgoci w trakcie magazynowania. Uzyskane wyniki badań mają pomóc w określeniu i zapewnieniu odpowiednich warunków w trakcie transportu, operacji załadunku i rozładunku oraz składowania z uwzględnieniem m. in. nacisków w warstwie składowanego paliwa, odporności paliwa na działanie opadów atmosferycznych typu deszcz, czy śnieg [6, 13, 14, 15].

2. Materiał i metodyka badań

Badaniom pod kątem wyznaczenia jakości poddano następujące rodzaje brykietów:

Brykiet 1 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego* wykonane przy parametrach: 68 MPa, 200°C.

Brykiet 2 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego* wykonane przy parametrach: 82 MPa, 200°C.

Brykiet 3 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego* wykonane przy parametrach: 95 MPa, 200°C.

Brykiet 4 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego* wykonane przy parametrach: 82 MPa, 190°C.

Brykiet 5 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego* wykonane przy parametrach: 82 MPa, 210°C.

Brykiet 6 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego** wykonane przy parametrach: 68 MPa, 200°C.

Brykiet 7 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego** wykonane przy parametrach: 82 MPa, 200°C.

Brykiet 8 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego** wykonane przy parametrach: 95 MPa, 200°C.

Brykiet 9 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego** wykonane przy parametrach: 82 MPa, 190°C.

Brykiet 10 – na bazie słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego** wykonane przy parametrach: 82 MPa, 210°C.

* Pod pojęciem PE-LD rozdrobnionego należy rozumieć rozdrobniony polietylen do frakcji poniżej 10 mm wymieszany ze słomą kukurydzianą i zbrykietowany.

** Pod pojęciem PE-LD nierozdrobnionego należy rozumieć zewnętrzną otoczkę z polietylenu wokół zbrykietowanej słomy kukurydzianej.

Parametry wytwarzania brykietów wyznaczono doświadczalnie, gwarantowały one zachowanie trwałej formy brykietów. Otrzymane brykiety miały kształt walca o średnicy 25 mm i długości od 20 mm do 60 mm w zależności od zastosowanych parametrów wytwarzania.

W celu określenia jakości brykietów wykonano następujące badania pod kątem wytrzymałości na zrzucanie, wytrzymałości na ścieranie, nasiąkliwości i wodoodporności, zgodnie z obowiązującymi normami [16, 17, 18]. Ponadto wykonano badania określające wytrzymałość na ściskanie, oraz właściwości sorpcyjne według metodyki własnej popartej danymi literaturowymi [6, 14, 15].

2.1. Oznaczanie wytrzymałości na zrzucanie

Każdorazowo do oznaczenia pobierano brykiety danego rodzaju wykonane przy tych samych parametrach. Brykiety zrzucano na stalową płytę z wysokości 2 m, czynność powtarzano 4-krotnie. Następnie brykiety przesiano przez sito do całkowitego oddzielenia podziarna. Pozostałe na sicie brykiety zważono z dokładnością do 0,0001 g [6, 13, 16].

Wytrzymałość na zrzucanie wyrażono jako udział masowy elementów nie uszkodzonych do całości badanej próbki [6, 13, 16].

$$w_z = \frac{m_a}{m} \cdot 100\% \quad (2.1.1)$$

gdzie:

m – masa brykietów pobranych do oznaczenia, kg

m_a – masa pozostałości brykietów na sicie o wymiarze boku oczka 25 mm, kg

Na rysunkach 2.1.1 – 2.1.2 pokazano kształty brykietów po próbie wytrzymałości na zrzucanie.



Rys. 2.1.1. Brykiety ze słomy kukurydzy i PE-LD rozdrobionego po badaniu wytrzymałości na zrzucanie (fot. M. Kajda-Szcześniak).



Rys. 2.1.2. Brykiety ze słomy kukurydzy i PE-LD nierozdrobionego po badaniu wytrzymałości na zrzucanie (fot. M. Kajda-Szcześniak).

2.2. Oznaczanie wytrzymałości mechanicznej metodą bębnową

Do oznaczenia pobrano każdorazowo brykiety danego rodzaju wykonane w założonych parametrach, zważono je z dokładnością do 0,0001 g i umieszczono w bębnie. Po wykonaniu 100 obrotów zatrzymano bęben, wyjęto brykiety i zważono z dokładnością do 0,0001 g. Następnie badaną próbę ponownie umieszczono w bębnie. Po wykonaniu dalszych 400 obrotów brykiety zważono w celu wyznaczenia wskaźnika wytrzymałości mechanicznej [17].

Wskaźnik wytrzymałości na ścieranie określono jako stosunek masy brykietów po teście do masy brykietów zasypanych do bębna [6, 13, 17].

Wskaźnik wytrzymałości W_{100} określony po wykonaniu 100 obrotów [17]:

$$w_{100} = \frac{m_b}{m} \cdot 100\% \quad (2.2.1)$$

gdzie:

m_b – masa pozostałości brykietów w bębnie po 100 obrotach, [kg]

m – masa brykietów załadowanych do bębna, kg

Wskaźnik wytrzymałości W_{500} określony po wykonaniu 500 obrotów [17]:

$$w_{500} = \frac{m_c}{m} \cdot 100\% \quad (2.2.2)$$

gdzie:

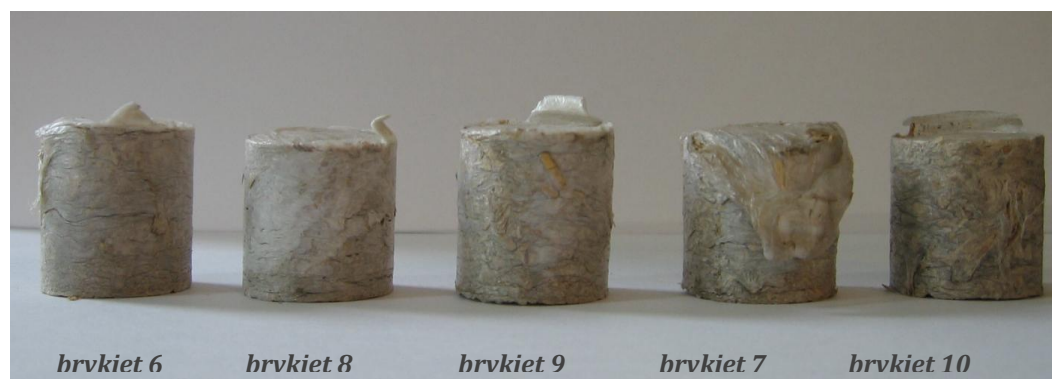
m_c – masa pozostałości brykietów w bębnie po 500 obrotach, kg

m – masa brykietów załadowanych do bębna, kg

Na rysunkach 2.2.1 – 2.2.2 pokazano kształty brykietów po próbie wytrzymałości na ścieranie.



Rys. 2.2.1. Brykiety ze słomy kukurydzy i PE-LD rozdrobnionego po badaniu wytrzymałości mechanicznej metodą bębnową (fot. M. Kajda-Szcześniak).



Rys. 2.2.2. Brykiety ze słomy kukurydzy i PE-LD nierozdrobnionego po badaniu wytrzymałości mechanicznej metodą bębnową (fot. M. Kajda-Szcześniak).

2.3. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie

Oznaczenie wykonano na uniwersalnej maszynie Heckert FPZ 100/1, którą charakteryzował zakres parametrów pracy do 100 kN, posuw 2,5 mm/min, ścisk 10 mm. Do oznaczenia pobrano każdorazowo 3 brykiety wykonane zgodnie z założonymi parametrami. Brykiet umieszczono pod trzpieniem oporowym i tarczą zgniatającą, które opuszczano do momentu zgniotu próbki. Następnie odczytano zarejestrowaną wartość siły ściskającej [9].

Na rysunkach 2.3.1 – 2.3.2 pokazano kształty brykietów po próbie wytrzymałości na ściskanie wzdłużne.



Rys.2.3.1. Brykiety ze słomy kukurydzy i PE-LD rozdrobionego po badaniu wytrzymałości na ściskanie wzdłużne (fot. M. Kajda-Szcześniak).



Rys. 2.3.2. Brykiety ze słomy kukurydzy i PE-LD nierozdrobionego po badaniu wytrzymałości na ściskanie wzdłużne (fot. M. Kajda-Szcześniak).

2.4. Oznaczanie nasiąkliwości i wodoodporności

Z brykietów wykonanych w zadanych parametrach pobrano losowo 10 z każdego rodzaju, zważono je z dokładnością do 0,0001 g i umieszczono na podstawce z sitem tak żeby nie stykały się ze sobą. Następnie podstawkę umieszczono w pojemniku z wodą destylowaną o temperaturze pokojowej. Warstwa wody ponad brykietami wynosiła ok. 35 mm. Tak przygotowane brykiety pozostawiono na 24 godziny, po upływie tego czasu podstawkę wyjęto z wody w celu odcieknięcia [18].

Nasiąkliwość brykietów wyznaczono z następującego wzoru [18]:

$$n = \frac{m_d - m}{m} \cdot 100\% \quad (2.4.1)$$

gdzie:

m_d – masa brykietów po nasyceniu wodą, kg

m – masa brykietów pobranych do oznaczenia, kg

Wodoodporność brykietów wyznaczono z następującego wzoru [18]:

$$w_o = \frac{w'_z}{w_z} \cdot 100\% \quad (2.4.2)$$

gdzie:

w_z – wskaźnik wytrzymałości na zrzucanie przed oznaczeniem nasiąkliwości brykietów, %

w'_z – wskaźnik wytrzymałości na zrzucanie po oznaczeniu nasiąkliwości brykietów, %

2.5. Oznaczanie właściwości sorpcyjnych

Badaniom mającym na celu określenie właściwości sorpcyjnych poddano odpowiednio brykiety 1, 4, 6, 9 ze względu na najniższe uzyskane parametry wytwarzania, przy których brykiety zachowały trwałą formę po wykonaniu prób wytrzymałościowych. Powyższe badania przeprowadzono w zasymulowanych warunkach laboratoryjnych. Oznaczanie właściwości sorpcyjnych polegało na składowaniu wybranych rodzajów brykietów w dwóch skrajnie różnych warunkach środowiskowych mogących wystąpić w czasie rzeczywistego magazynowania tj. w środowisku o średniej wilgotności względnej 44,20% i średniej temperaturze 24,55°C oraz w środowisku o średniej wilgotności względnej 91,76% i średniej temperaturze 24,60°C. Brykiety przechowywano w symulowanych warunkach i badano w odstępach czasowych następujące parametry [19]:

- nasycenie brykietów wilgocią,
- wilgotność względną powietrza,
- temperaturę powietrza.

Na tej podstawie obliczono współczynnik pęcznienia sorpcyjnego wg zależności [15]:

$$\alpha_s = \frac{V_w}{V_s} \quad (2.5.1)$$

gdzie:

v_w – objętość brykietów po składowaniu w symulowanych warunkach, m^3

v_s – objętość brykietów przed składowaniem w symulowanych warunkach, m^3

3. Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych badań pod kątem wytrzymałości na zrzucanie zaobserwowano, że brykiety wykonane w oparciu o słomę kukurydzy oraz PE-LD rozdrobniony lub nierozdrobniony wytworzone w założonych parametrach ciśnienia i temperatury charakteryzują się bardzo dużą wytrzymałością na zrzucanie, która kształtuje się na poziomie powyżej 99%. Zgodnie z normą [16] różnica między uzyskanymi wynikami dwóch równoległych oznaczeń nie przekroczyła 5% wyniku wyższego. Otrzymane wyniki badań dla poszczególnych rodzajów brykietów zestawiono w tabelach 3.1 i 3.2.

Tabela 3.1. Wytrzymałość na zrzucanie brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego.

| Rodzaj brykietu | Brykiet 1 | Brykiet 2 | Brykiet 3 | Brykiet 4 | Brykiet 5 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Wskaźnik wytrzymałości brykietów na zrzucanie [%] | 99,47 | 99,94 | 99,74 | 99,51 | 99,68 |

Tabela 3.2. Wytrzymałość na zrzucanie brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego.

| Rodzaj brykietu | Brykiet 6 | Brykiet 7 | Brykiet 8 | Brykiet 9 | Brykiet 10 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Wskaźnik wytrzymałości brykietów na zrzucanie [%] | 99,97 | 99,87 | 99,86 | 99,88 | 99,90 |

Na podstawie otrzymanych wyników badań odnośnie wytrzymałości na ścieranie stwierdzono, że brykiety cechuje równie wysoka wytrzymałość na ścieranie co na zrzucanie. Przeprowadzony test dowiódł, że brykiety osiągają wytrzymałość rzędu 99% zarówno po 100 jak i po 500 obrotach testera niezależnie od rodzaju badanego brykietu. Zgodnie z normą [17] różnica między uzyskanymi wynikami dwóch równoległych oznaczeń nie przekroczyła 5% wyniku wyższego. Otrzymane wyniki badań dla poszczególnych rodzajów brykietów zestawiono w tabelach 3.3 i 3.4.

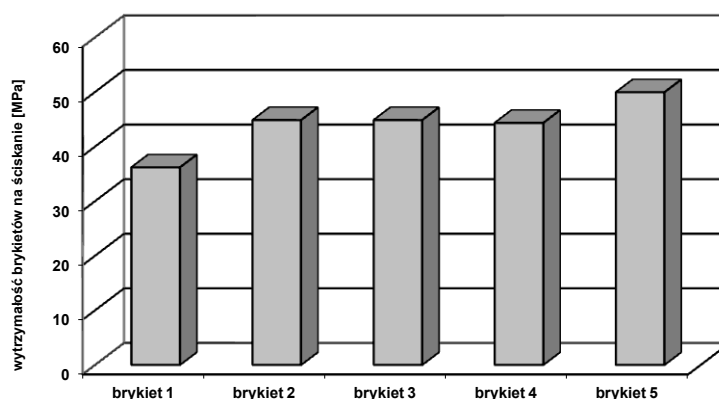
Tabela 3.3. Wytrzymałość mechaniczna brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego.

| Rodzaj brykietu | Brykiet 1 | Brykiet 2 | Brykiet 3 | Brykiet 4 | Brykiet 5 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Wskaźnik wytrzymałości mechanicznej brykietów po 100 obrotach [%] | 99,63 | 99,57 | 99,65 | 99,32 | 99,87 |
| Wskaźnik wytrzymałości mechanicznej brykietów po 500 obrotach [%] | 99,57 | 99,47 | 99,55 | 99,10 | 99,71 |

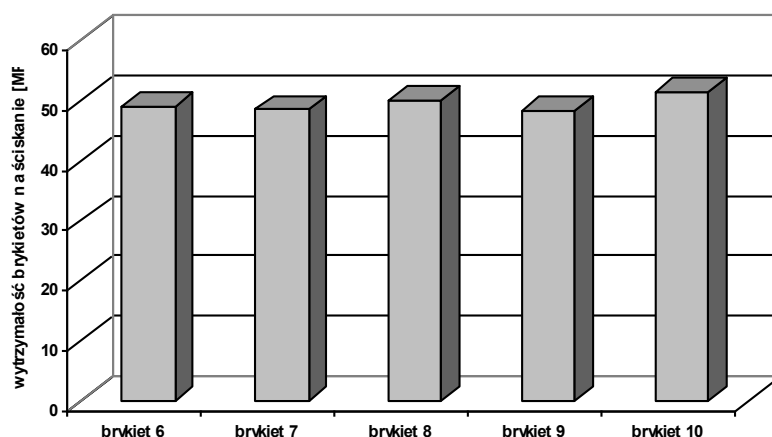
Tabela 3.4. Wytrzymałość mechaniczna brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego.

| Rodzaj brykietu | Brykiet 6 | Brykiet 7 | Brykiet 8 | Brykiet 9 | Brykiet 10 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Wskaźnik wytrzymałości mechanicznej brykietów po 100 obrotach [%] | 99,96 | 99,92 | 99,98 | 99,89 | 99,94 |
| Wskaźnik wytrzymałości mechanicznej brykietów po 500 obrotach [%] | 99,73 | 99,73 | 99,95 | 99,73 | 99,51 |

Brykiety charakteryzuje również duża wytrzymałość na ściskanie wzdłuż osi brykietu, i tak brykiety z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego charakteryzuje odpowiednio wytrzymałość na ściskanie w przedziale od 36,16 MPa (dla brykietu 1) do 49,94 MPa (dla brykietu 5). Z kolei wytrzymałość na ściskanie brykietów z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego kształtuje się na poziomie od 48,24 MPa (dla brykietu 9) do 51,30 MPa (dla brykietu 10). Otrzymane wyniki badań dla poszczególnych rodzajów brykietów zobrazowano na rysunkach 3.1 i 3.2.



Rys. 3.1. Wytrzymałość na ściskanie brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego.



Rys. 3.2. Wytrzymałość na ściskanie brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego.

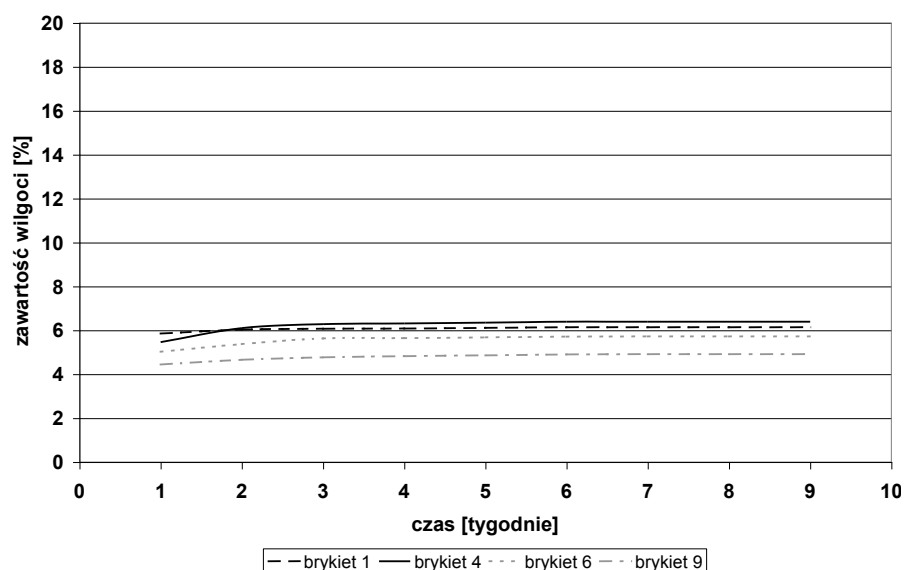
Równoległe do badań wytrzymałościowych wykonano oznaczenia mające na celu wyznaczenie stopnia nasiąkliwości i wodoodporności słomianych brykietów. Wszystkie brykiety ze słomy kukurydzy niezależnie od stopnia rozdrobnienia lepiszcza i parametrów wytwarzania uległy po 24 godzinach od zanurzenia w wodzie destylowanej całkowitemu rozmoknięciu, uniemożliwiając tym samym ponowne zważenie brykietów. Nasiąkliwość badanych brykietów wynosi 100%, natomiast wodoodporność jest równa 0.

Ocenę właściwości sorpcyjnych brykietów przeprowadzono poprzez wyznaczenie współczynników pęcznienia sorpcyjnego i określenie czasu trwania nasączenia brykietów wilgocią. Uzyskane rezultaty badań zestawiono w tabeli 3.5 oraz na rysunkach 3.3 i 3.4. Zaobserwowano, że brykiety kukurydziane niezależnie od stopnia rozdrobnienia PE-LD podczas składowania w pierwszym środowisku charakteryzującym się średnią wilgotnością względną 44,20% i średnią temperaturą 24,55°C nie uległy spęcznieniu przez okres składowania wynoszący 9 tygodni. Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu odnotowano przyrost wilgoci poniżej 1% dla brykietów składowanych przez okres 9 tygodni w środowisku o średniej wilgotności względnej 44,20% i średniej temperaturze 24,55°C. Natomiast w środowisku drugim cechującym się średnią wilgotnością względną 91,76% i średnią temperaturą 24,60°C stwierdzono, że brykiety z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego charakteryzowały się większą chłonnością wilgoci z otoczenia niż brykiety z lepiszczem polietylenowym nierozdrobnionym. Na początku eksperymentu założono, że brykiety w obu zasymulowanych środowiskach będą składowane przez okres 9 tygodni. Jednakże brykiety w środowisku o średniej wilgotności względnej 91,76% i średniej temperaturze 24,60°C składowano tylko przez okres 18 dni, ponieważ po tym czasie brykiety uległy spęcznieniu, a tym samym całkowitemu zniszczeniu. Oznacza to, że jeśli brykiety będą bezpośrednio narażone na działanie środowiska o dużej wilgotności ulegną zniszczeniu. W rozpatrywanym przedziale czasu tj. 18 dni brykiety z dodatkiem PE-LD rozdrobnionego cechowały się przyrostem wilgoci rzędu 12 – 14%, a w przypadku brykietów z dodatkiem PE-LD nierozdrobnionego zaobserwowano przyrost wilgoci na poziomie 10 – 11% [19].

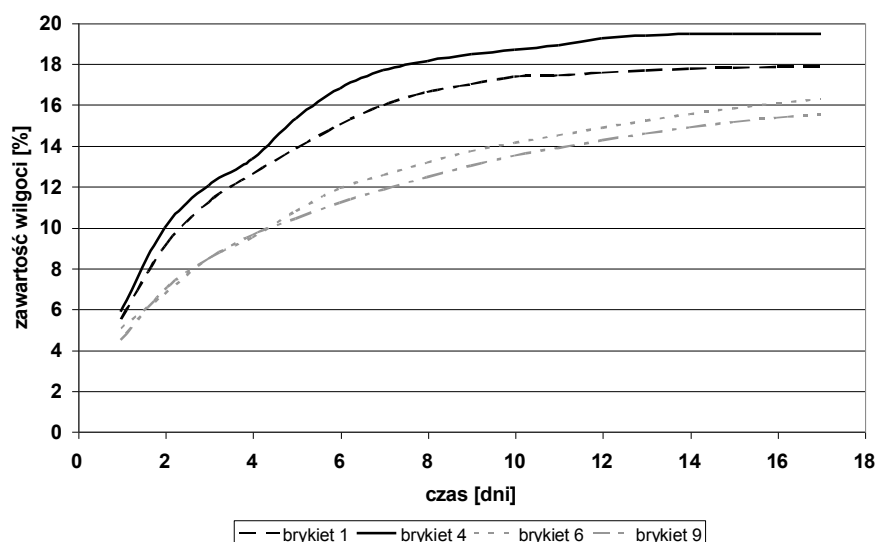
Tabela 3.5. Współczynnik pęcznienia sorpcyjnego dla wybranych brykietów wytworzonych ze słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD [19].

| Rodzaj brykietu | Brykiet 1 | Brykiet 4 | Brykiet 6 | Brykiet 9 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Współczynnik pęcznienia brykietów ($\varphi=44,20\%$, $t=24,55\text{ }^{\circ}\text{C}$)* | 1,01 | 1,06 | 1,00 | 1,02 |
| Współczynnik pęcznienia brykietów ($\varphi=91,76\%$, $t=24,60\text{ }^{\circ}\text{C}$)* | 2,09 | 2,19 | 1,34 | 1,72 |

* φ – wilgotność względna powietrza [%]; t – temperatura powietrza [°C];



Rys. 3.3. Zmiana zawartości wilgoci w wybranych brykietach wytworzonych ze słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD w zależności od czasu składowania w środowisku o średniej wilgotności względnej 44,20% i średniej temperaturze 24,55°C [19].



Rys. 3.4. Zmiana zawartości wilgoci w wybranych brykietach wytworzonych ze słomy kukurydzy z dodatkiem PE-LD w zależności od czasu składowania w środowisku o średniej wilgotności względnej 91,76% i średniej temperaturze 24,60°C [19].

Wnioski

Słoma jest materiałem trudno podatnym na brykietowanie [8], dlatego zdecydowano o dodaniu komponentu posiadającego właściwości spajające tj. PE-LD. Przebadane brykiety posiadają wysoką jakość istotną z uwagi na transport, magazynowanie, dystrybucję i przeładunek. Powyższe badania przyczyniły się do określenia najniższych parametrów wytwarzania, przy których brykiety zachowują trwałą formę zarówno bezpośrednio po

wytworzeniu jak i po próbach wytrzymałościowych. Zgodnie z uzyskanymi rezultatami badań dobre parametry wytrzymałościowe można uzyskać stosując najniższe założone wartości ciśnienia i temperatury, a mianowicie przy:

- ✓ 68MPa, 200°C – brykiet 1 i brykiet 6
- ✓ 82MPa, 190°C – brykiet 4 i brykiet 9.

W wyniku przeprowadzonych badań pod kątem nasiąkliwości, wodoodporności i sorpcji zaobserwowano dużą wrażliwość brykietów na działanie wilgoci. Badania sugerują, aby do przechowywania powyższych brykietów stosować worki np. z tworzyw sztucznych w celu wyeliminowania dostępu wilgoci pochodzącej m. in. z opadów atmosferycznych.

Literatura

1. GUS. Energia ze źródeł odnawialnych w 2010 r.
2. Denisiuk W.: Słoma – potencjał masy i energii. *Inżynieria Rolnicza* 2(100)/2008, s. 23 – 30.
3. Kotowski W.: Utylizacja i gospodarka odpadami. Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu. Wyd. TRIADA. Bytom 2006.
4. Kubica K., Jewiarz M., Szlęk A., Werle S., Kubica R., Mokrosz W.: The influence of kaolin on the straw combustion parameters in grate boilers, *International Conference on Carbon Reduction Technologies Care Tech 2011.*, Polish Jurassic Highland (Jura Region), Poland 19-22 September 2011, red. Andrzej Książdz, Sebastian Werle, 2011, pp. 137.
5. Niedziółka I., Zuchniarz A.: Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego. *MOTROL*, 2006, 8A, s. 232 – 237.
6. Hejft R.: Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Wyd. ITE, Białystok 2002.
7. Jakubiak M., Kordylewski W.: Pelety podstawowym biopaliwem dla energetyki. *Archiwum Spalania*, Vol. 8 (2008), nr 3 – 4.
8. Hejft R.: Granulowanie i brykietowanie słomy. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 2011, 50, 1, s. 13 – 14.
9. Kajda-Szcześniak M.: Analiza możliwości wykorzystania wybranej biomasy w procesie formowania paliw. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2008.
10. Wandrasz J. W., Kajda-Szcześniak M.: Gas products of briquette combustion process. *Ochrona i Inżynieria Środowiska - Zrównoważony Rozwój. Monografie nr 37*, Kraków 2008, s. 233 – 240.
11. Wandrasz J.W., Kajda-Szcześniak M.: Badania jakości paliwa formowanego na bazie słomy z pszenżyta i folii polietylenowej. *Przegląd komunalny* 9/2007 (dodatek do numeru).
12. Wandrasz J.W., Kajda-Szcześniak M.: Badania procesów przetwarzania biomasy w postaci słomy w paliwa formowane. *Zbornik prednášok z medzinárodnej konferencie Odpady 2006*, Spišská Nová Ves, s.165 – 172,
13. Hejft R., Demianiuk L.: Badanie jakości brykietów opałowych z materiału roślinnego. *Materiały Konferencyjne*, KMİUPS, Politechnika Białostocka.
14. Thome-Kozmiensky K. J.: Brennstoff aus Müll. Herstellung und Verwertung von Rückstandsbrennstoffen als Bestandteil eines Ent- und Versorgungskonzepts von Kommunen. E. F.-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1984.
15. Wandrasz J. W., Wandrasz A. J.: Paliwa formowane. Biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych. Wyd. Seidel-Przywecki Sp. z o.o. Warszawa 2006.
16. PN-G-04651 Paliwa formowane. Oznaczanie wytrzymałości na zrzucanie.
17. PN-G-04650 Paliwa formowane. Oznaczanie wytrzymałości mechanicznej metodą bębnową.
18. PN-G-04652 Paliwa formowane. Oznaczanie nasiąkliwości i wodoodporności.
19. Wandrasz J. W., Kajda-Szcześniak M.: Badanie właściwości sorpcyjnych brykietów. Paliwa z odpadów. Tom VI. Praca zbiorowa pod red. Janusza W. Wandrasza i Krzysztofa Pikonia. Wyd. Helion, Gliwice 2007, s. 155 – 159.