



Pilot tests for utilization of fine coal to fuel briquettes production

Gabriel BOROWSKI¹

¹ *Katedra Podstaw Techniki, Wydział Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska, Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin, e-mail: g.borowski@pollub.pl*

Abstract

This paper presents the results of research in pilot test of fine coal processing to produce of solid fuel. Fine grained waste generated in the plant processing of Bogdanka coal mine (Lublin Coal Basin) there are taken for examination. The disposal goes in the merging of fines to obtain solid body using a roll press briquetting method. The study included the processes of material homogenising, the selection of the parameters in the roll press unit and the quality of the briquettes analyse. Toughness test, waterproof test and study of the heat of combustion as well ash emissions were performed. Using the existing technological line the pilot series of fuel briquettes with binders of potato starch and molasses as well as with the addition of wooden biomass were produced. Briquettes with starch accomplished the minimal quality requirements, however attempts to use cheaper binder, that is the molasses, failed. The addition of biomass in the amount of not greater than the 20% by weight of blend enabled to indicators change of pollution emissions make smaller in the combustion tests. Produced solid fuel had a value of energy great enough in order to use them as the alternative fuel to the burn in industrial boilers and in individual as well.

Keywords: utilization, fine coal, binders, biomass, briquettes, fuel.

Streszczenie

Badania pilotażowe utylizacji mułów węgla do produkcji brykietów paliwowych

W artykule przedstawiono wyniki prac badawczych z pilotażowych prób przetwórczych drobnoziarnistych frakcji węgla kamiennego w celu wytworzenia wtórnego paliwa stałego. Materiałem do badań były muły powstające w zakładzie przeróbki węgla kamiennego kopalni Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A. Utylizacja polegała na ich scalaniu w jednorodne bryły w prasie walcowej metodą brykietowania. Badania obejmowały procesy ujednorodnienia materiału, dobór parametrów scalania w brykietarce walcowej oraz analizę jakości brykietów. Wykonano testy wytrzymałościowe, wodoodporności oraz ocenę ciepła spalania wraz analizą popiołów ze spalania brykietów. Wykorzystując istniejącą linię technologiczną wyprodukowano pilotażowe serie brykietów paliwowych zawierających lepszczka na bazie skrobi ziemniaczanej i melasy oraz z dodatkiem biomasy z drzew liściastych. Brykiety ze skrobią spełniały minimalne wymagania jakościowe, natomiast próby zastosowania tańszego lepszczka w postaci melasy nie powiodły się. Dodatek biomasy w ilości nie większej niż 20% masy mieszanki umożliwił zmniejszenie wskaźników zanieczyszczeń w próbach spalania. Stwierdzono, że wyprodukowane paliwa mają wystarczająco dużą wartość energetyczną, aby zastosować je jako alternatywne paliwo do spalania w przemysłowych kotłach grzewczych oraz w kotłach indywidualnych.

Słowa kluczowe: utylizacja, muł węgla, lepszczka, biomasa, brykiety, paliwo.

1. Wprowadzenie

Do zagospodarowania wielu drobnoziarnistych odpadów produkcyjnych wymagana jest ich przeróbka do postaci kawałkowej. Ważnym elementem procesu przerobczego jest przygotowanie mieszanki (ujednorodnienie, dodanie lepszczka), a następnie jej formowanie w prasie pod naciskiem mechanicznym [2]. Uformowane brykiety powinny mieć dużą odporność mechaniczną uniemożliwiającą ich rozkruszenie w transporcie, rozładunku, przepakowaniu do worków itp. [5]. Stanowią one substytut surowców naturalnych i są wykorzystywane zarówno w przemyśle, jak i w gospodarstwach domowych.

W artykule przedstawiono wyniki prac badawczych dotyczących prób przemysłowego wytwarzania paliw z energetycznych materiałów ziarnistych. Wykorzystano muły i miały powstające podczas przeróbki węgla kamiennego w zakładzie produkcyjnym na terenie kopalni w Bogdancie stanowiące drobnoziarniste frakcje odpadowe.

Odpady górnictwa węgla kamiennego, zwane również odpadami powęglowymi, wytwarzane w procesach wydobywania, wzbogacenia i przetwarzania kopalni są produktami uciążliwymi do zagospodarowania [6]. Znaczne ilości drobnoziarnistych odpadów węglowych są składowane w osadnikach lub w wyrobiskach górniczych. Zawilgocony i niskokaloryczny muł węglowy jest szczególnie kłopotliwym materiałem w transporcie, wyładunku i procesie spalania. Podejmuje się próby zagospodarowania tych odpadów przez wzbogacanie metodami fizycznymi i fizykochemicznymi dla uzyskania wysokoenergetycznych koncentratów [3].

Wielu badaczy wskazuje na możliwość stosowania brykietowania mułów węgla dla uzyskania wyrobów wykorzystywanych jako nośniki energii w obiektach energetycznych [3, 6, 11, 14]. Brykietowanie jest złożonym procesem przebiegającym odmiennie dla różnych rodzajów materiałów drobnoziarnistych. O efekcie brykietowania osrodka sypkiego decydują m.in. takie czynniki, jak: mikrotwardość i wilgotność materiału, skład ziarnowy, współczynniki tarcia zewnętrznego i wewnętrznego oraz nacisk jednostkowy stempla matrycy formującej [10, 12, 16]. Niektórzy badacze stwierdzili jednak, że na uzyskanie prawidłowych brykietów większy wpływ ma rodzaj materiału i sposób jego przygotowania, niż konfiguracja i parametry układu zagęszczania [8, 15].

Węgiel drobnoziarnisty należy do materiałów wykazujących małą podatność na scalanie w prasach do brykietowania. Pożądane są więc działania mające na celu zmianę właściwości tego materiału [13]. Działania takie podjęto np. do produkcji paliw przez brykietowanie mieszanki węgla z koksikiem wraz z dodatkiem lepiszcza wieloskładnikowego [17]. Komponent wiążący zawierał zhydrolizowaną mąkę, melasę oraz rozcieńczony kwas fosforowy, pełniący rolę utwardzacza. Przygotowaną mieszankę zagęszczano w prasie walcowej uzyskując brykiety. Wyroby te następnie suszono i kondycjonowano, co powodowało utwardzenie lepiszcza oraz uzyskanie zwartych bryłek paliwa do spalania w kotłach energetycznych w indywidualnych gospodarstwach domowych i obiektach komunalnych.

Drobnoziarniste odpady węglowe mieszane są również z biomasą do bezpośredniego współspalania [9], albo przez formowanie w prasach brykietujących do uzyskania alternatywnych paliw stałych [2, 13].

2. Materiał i metodyka badań

Do prób technologicznych wybrano drobnoziarniste frakcje węgla z procesów przeróbki węgla kamiennego w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla w Kopalni Węgla Kamiennego „Bogdanka”. Podstawowym produktem zakładu przerobczego są miały węglowe o kaloryczności 20–23 MJ/kg stanowiące ok. 86% produkcji. W pierwszej kolejności z odpadów są usuwane zanieczyszczenia złomu, drewna i kamieni. Następnie węgiel jest kierowany do klasyfikacji wstępnej, gdzie wydziela się klasy ziarnowe: 200–20 mm, 20–1,5 mm oraz 1,5–0,0 mm [1].

Surowce po odwodnieniu są kierowane do zbiorników odpadów a odwodniony koncentrat do zbiorników miazgu węglowego. Wody popłuczkowe kierowane są do klasyfikacji w zespołach hydrocyklonów. Zagęszczone i odilone muły węglowe (wylewy) po odwodnieniu na filtrach próżniowych są kierowane do zbiorników miazgu węglowego, natomiast zailone muły (przelewy) po zagęszczeniu w osadnikach promieniowych i odwodnieniu na taśmowych prasach filtracyjnych są kierowane do gospodarczego wykorzystania lub do zbiorników odpadów. Wilgotność odwodnionych mułów i miazg magazynowanych w zbiornikach wynosiła około 12%.

Badania nad wykorzystaniem mułów węgla do produkcji brykietów paliwowych prowadzono w trzech etapach:

- 1) przygotowanie materiału,
- 2) formowanie w brykieciarce walcowej,
- 3) ocena jakości brykietów.

Przygotowanie materiału do scalania obejmowało ujednorodnienie struktury, dodanie lepiszcza organicznego oraz dokładne mieszanie. W trakcie mieszania korygowano zawartość wody, aby zapewnić prawidłową aglomerację ziaren mieszanki w matrycy formującej. Mieszanie prowadzono elektryczną mieszkarką łopatkową o konstrukcji pionowej, dodając do odpadów lepiszcza. Przygotowano następujące partie mieszanek węgla (tab. 2.1):

- 1) z melasą,
- 2) ze skrobią ziemniaczaną,
- 3) z melasą i skrobią łącznie,
- 4) z rozdrobnioną biomasą drzewną,
- 5) z rozdrobnioną biomasą drzewną oraz melasą.

Tabela 2.1. Materiały przygotowane do prób brykietowania

Nr testu	Rodzaj materiału	Rodzaj lepiszcza	Udział Lepiszczca [% wag.]	Wilgotność Mieszanki [% wag.]
1	Muł węgla kamiennego	melasa	10,0	25,5
2	Muł węgla kamiennego	melasa + skrobia (1:1)	10,0	24,8
3	Muł węgla kamiennego	skrobia	8,0	24,0
4	Muł węgla kamiennego + biomasa drzewna	melasa	8,0	24,5
5	Muł węgla kamiennego + biomasa drzewna	brak	–	25,0

Czas mieszania poszczególnych komponentów wynosił około 3 minuty. Dobrano go eksperymentalnie za pomocą mikrowskaźników. Użyto cząstek żelaza o jednakowych rozmiarach, pokrytych barwnikami spożywczymi. Dodając porcję mikrowskaźników przed procesem mieszania można szybko i małym kosztem zweryfikować homogenizację mieszanki. Stopień zmieszania oceniono obliczając udział cząsteczek mikrowskaźników w produkcie końcowym, używając mikroskopu i programu MicroScan for Windows. Program ten umożliwia obróbkę pobranego obrazu mikroskopowego przez ustawienie jasności, kontrastu bądź nasycenia. Wykorzystać można zestaw funkcji filtrujących, arytmetyczno-logicznych, poprawy kontrastu i segmentacji. Umożliwia to pomiary wielkości geometrycznych i obliczenie wielkości średnich, a także pól powierzchni i obwodu cząsteczek. Stwierdzono, że wydłużenie czasu mieszania powyżej 3,5 minuty nie jest korzystne, gdyż skutkuje mniejszym zmieszaniem poszczególnych składników.

Gotowe mieszanki kierowano podajnikiem taśmowym do prasy walcowej. Stosowano prasę własnej konstrukcji o poziomym układzie walców roboczych z symetrycznie rozmieszczonymi wgłębieniami, stanowiącymi matryce formujące (rys. 2.1), do których podawano materiał w sposób ciągły z zasobnika grawitacyjnego. Prasę tę charakteryzowały następujące parametry:

- prędkość obwodowa walców, $v_w = 0,3$ m/s,
- szczelina między walcami, $a = 1,2$ mm,
- siła docisku walca, $P_w = 400$ kN,
- moment obrotowy, $M_o = 19$ kNm,
- wydajność, $W_p = 800$ kg/h,
- średnica walców roboczych, $D = 500$ mm,
- liczba rzędów wgłębien formujących, $n = 7$,
- liczba wgłębien w jednym rzędzie, $k = 22$.

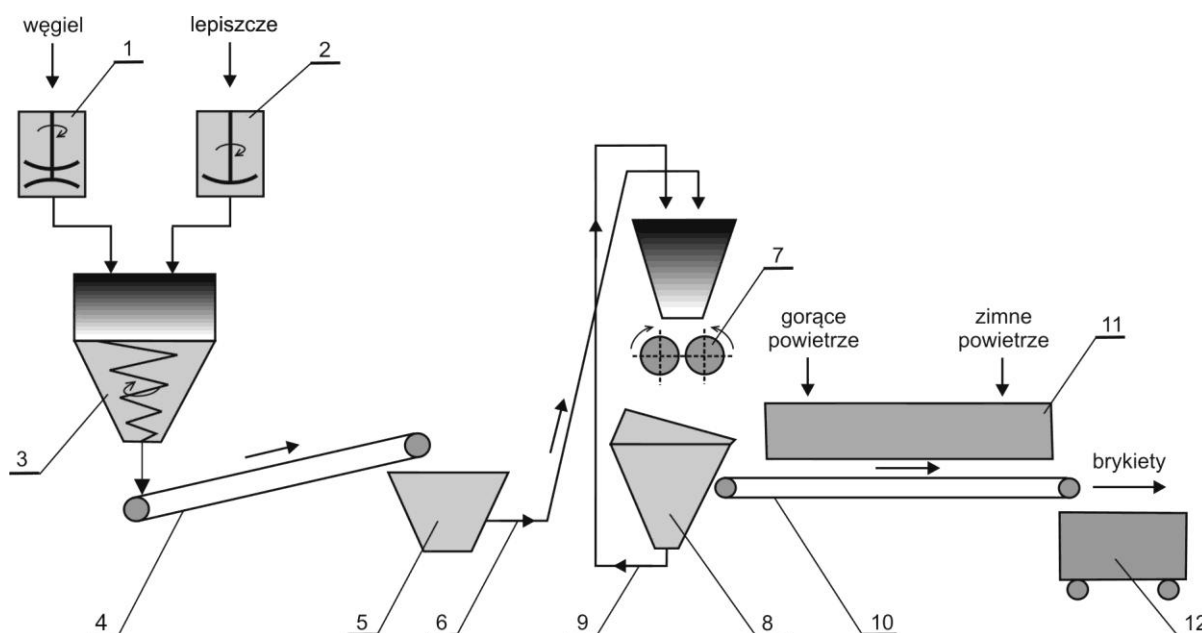
Uzyskano brykiety osiowosymetryczne o objętości około 50 cm^3 (rys. 2.2). Brykiety te bezpośrednio po uformowaniu zawierały ok. 25% wody i dosuszano je gorącym powietrzem w suszarce tunelowej. Na rysunku 2.3 przedstawiono schemat stosowanej linii technologicznej do przemysłowej produkcji brykietów paliwowych.



Rys. 2.1. Układ walców roboczych w brykierce



Rys. 2.2. Brykiety z mułów węglowych



Rys. 2.3. Schemat linii produkcyjnej brykietów: 1 – zbiornik węgla, 2 – zbiornik lepiszcza, 3 – mieszarka ślimakowa, 4 – przenośnik taśmowy, 5 – zbiornik pośredni, 6 – przenośnik ślimakowy, 7 – brykierce walcowa, 8 – separator, 9 – przenośnik do zawrotu odsiewu, 10 – przenośnik taśmowy dosuszania brykietów, 11 – suszarka tunelowa, 12 – kontener na brykiety

Do kosza zasypowego mieszarki ślimakowej (3) podawany jest ujednorodniony odpad węgla (1) oraz lepiszcze ze zbiornika z mieszadłem (2). Uśredniona mieszanka jest transportowana do zbiornika pośredniego (5), skąd przenośnikiem ślimakowym (6) jest dostarczana do prasy walcowej (7). Brykiety po odsianiu na ruszce separatora (8) są transportowane przenośnikiem taśmowym (10) do suszarki tunelowej (11). Oddzielone od brykietów podziarno jest zawracane przenośnikiem kubełkowym (9) do kosza zasypowego brykierce walcowej. Dosuszone i schłodzone brykiety są transportowane do kontenera składowego lub worków typu big-bag (12).

Ostatnim etapem procesu wytwórczego była ocena jakości brykietów z uwzględnieniem wymogów środowiska. Wykonano testy odporności mechanicznej i wodoodporności, określono wartość ciepła spalania oraz emisje pyłów do atmosfery podczas spalania w kotłach energetycznych. Sprawdzone ponadto skład chemiczny podstawowych związków pozostających w popiele po spalaniu brykietów.

Oceny wytrzymałości mechanicznej brykietów dokonano na podstawie następujących testów:

- 1) testu zrzutu grawitacyjnego,
- 2) testu ściskania.

Odporność brykietu na zrzut grawitacyjny oceniano przez procentowy ubytek masy po trzykrotnym zrzuceniu porcji brykietów z wysokości 2,0 m na stalową płytę o grubości 20 mm. Po każdym zrzucie przesiewano próbki przez sito o wymiarach oczek 8×8 mm, które stanowią dopuszczalne minimalne wymiary brykietów przeznaczonych do utylizacji [2].

Testy ściskania brykietów wykonano wykorzystując maszynę wytrzymałościową Zwick100. Polegały one na ściskaniu walcowego krążka umieszczonego płasko między głowicami urządzenia badawczego, aż do momentu jego uszkodzenia. Podczas procesu ściskania rejestrowano zależność nacisku jednostkowego stempla od jego przemieszczenia.

Duża wytrzymałość zapewnia prowadzenie mechanicznego załadunku, transportu oraz rozładunku brykietów bez obawy o ich rozkruszenie. W przypadku testu zrzutu grawitacyjnego wymagana minimalna odporność powinna wynosić co najmniej 90%, a w przypadku testu ściskania wartość nacisku jednostkowego niszczonego brykiet powinna wynosić powyżej 1,0 MPa [2].

Badania wodoodporności brykietów polegały na całkowitym ich zanurzeniu w wodzie i określeniu procentowego ubytku ich masy w czasie. Wodoodporność brykietów uznano za dobrą, gdy ubytek masy nie przekraczał 10% po dziesięciu minutach całkowitego zanurzenia.

Oznaczenie wartości energetycznej brykietów przeprowadzono w kalorymetrze, zgodnie z procedurą zawartą w normie PN-EN 14918 2010. Polega ona na całkowitym spalaniu próbki paliwa w atmosferze tlenu pod ciśnieniem, w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie, oraz na pomiarze przyrostu temperatury tej wody. Ciepło spalania paliwa jest wyliczane w sposób automatyczny i przedstawione na cyfrowym wyświetlaczu kalorymetru.

Emisje pyłów do atmosfery podczas spalania brykietów paliwowych określono w warunkach zbliżonych do panujących przy spalaniu w konwencjonalnym piecu centralnego ogrzewania. Strumień gazów spalinowych wydostających się z pieca mierzono za pomocą analizatora spalin. Analizator ten jest wielofunkcyjnym urządzeniem wyposażonym w czujniki elektrochemiczne gazów: O_2 , CO , NO , SO_2 , NO_2 oraz czujnik podczerwieni do pomiaru CO_2 . Wyniki analiz spalin były zbierane przez cały okres pomiarowy, a następnie przetwarzane przy wykorzystaniu programu komputerowego.

Skład chemiczny popiołu ze spalania brykietów paliwowych oznaczono metodą spektrometrii fluorescencji rentgenowskiej (XRF – X-Ray Fluorescence Spectroscopy).

3. Wyniki badań

Po wytworzeniu kolejnych serii brykietów pobierano próby do badań wytrzymałościowych zarówno bezpośrednio po opuszczeniu suszarki (świeże), jak i sezonowane (tab. 3.1).

W pilotażowych próbach przemysłowych nie uzyskano zwartych brykietów węglowych z lepiszczem melasowym, gdyż ich parametry wytrzymałościowe były poniżej wymaganego minimum. Dodatkowo przy dużym udziale tego lepiszcza znacznie zwiększyły się opory tarcia w elementach roboczych oraz transportowych maszyn.

Brykiety z lepiszczem dwuskładnikowym (melasa i skrobia) także nie spełniały minimalnych wymogów wytrzymałościowych. Dobre rezultaty uzyskano natomiast dodając lepiszcze na bazie skrobi ziemniaczanej. Wytrzymałość uzyskanych z tej mieszanki brykietów spełniała wymagane kryteria w testach ściskania oraz zrzutu grawitacyjnego (tab. 3.1).

Tabela 3.1. Wyniki testów wytrzymałościowych brykietów paliwowych

Lp.	Skład brykietu		Udział lepiszcza [% wag.]	Maksymalny nacisk stempla w teście ściskania [MPa]		Odporność na zrzut grawitacyjny [%]	
	rodzaj materiału	lepiszcze		brykiet świeży	brykiet sezonowany (14 dni)	brykiet świeży	brykiet sezonowany (14 dni)
1	Muł węgla kamiennego	melasa	10,0	0,51	0,57	69,7	70,2
2	Muł węgla kamiennego	melasa + skrobia (1:1)	10,0	0,81	0,88	79,7	81,1
3	Muł węgla kamiennego	skrobia	8,0	2,59	3,22	96,5	97,0
4	Muł węgla kamiennego + 20% biomasy drzewnej	melasa	8,0	1,91	2,47	95,0	96,1
5	Muł węgla kamiennego + 20% biomasy drzewnej	–	–	1,87	2,45	94,2	95,9

Pozytywne rezultaty uzyskano także w próbach produkcji biobrykietów z mułu węgla kamiennego z 20-procentowym dodatkiem biomasy drzewnej oraz 8-procentowym dodatkiem melasy. Parametry wytrzymałościowe biobrykietów z dodatkiem melasy są porównywalne z parametrami biobrykietów bezlepiszczowych (tab. 3.1). Dodawanie zatem do mułu węglowego lepiszcza z melasy okazało się zbędne. W dalszych testach określono parametry użytkowe dwóch rodzajów brykietów węglowych – z dodatkiem lepiszcza na bazie skrobi oraz z dodatkiem biomasy drzewnej (tab. 3.2).

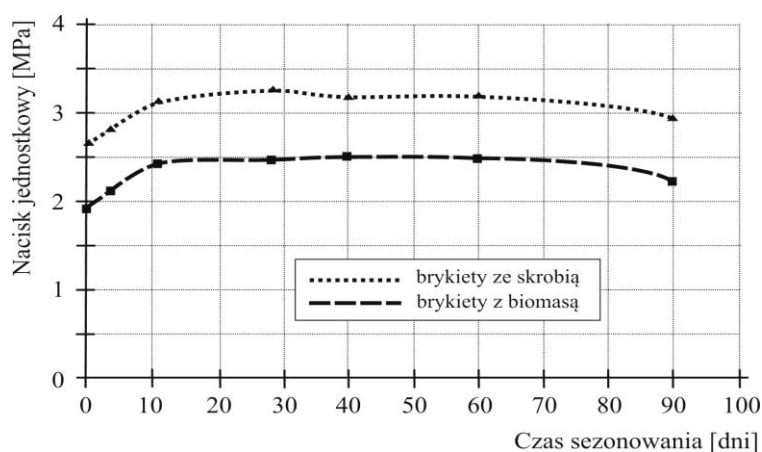
Tabela 3.2. Parametry użytkowe brykietów paliwowych

Parametr	Jednostki	Brykiet węglowy z dodatkiem skrobi	Brykiet węglowy z dodatkiem 20% biomasy
Gęstość właściwa	kg/m ³	1220	1100
Ciepło spalania	kJ/kg	23 675	21 520
Zawartość wody	%	3,8	4,3
Zawartość części lotnych	%	27,3	42,5
Zawartość popiołu	%	12,2	8,6
Zawartość siarki	%	0,6	0,5
Temperatura spiekania popiołu	°C	970	960
Temperatura mięknięcia popiołu	°C	1390	1370
Wodoodporność	min.	10,0	11,0

Ciepło spalania brykietów węglowych z dodatkiem skrobi osiągało wartość w zakresie 23–24 MJ/kg, natomiast dla brykietów z dodatkiem 20% biomasy wynosiło 21–22 MJ/kg. Biobrykiety charakteryzują się mniejszą zawartością popiołu oraz siarki.

Wodoodporność testowanych brykietów wynosiła 10–11 minut i jest wystarczająca dla ich krótkoterminowego składowania w warunkach naturalnych. Nie zalecany jest jednak dłuższy czas składowania bez zadania, albo transport na dalsze odległości w odkrytych pojemnikach.

Sprawdzono, czy właściwości wytrzymałościowe uzyskanych wyrobów ulegają zmianie w trakcie sezonowania w pojemnikach. Pomiary nacisku jednostkowego w teście osiowego ściskania wykonano po 1, 4, 11, 28, 40, 60 i 90 dobach od wytworzenia brykietów (rys. 3.1).



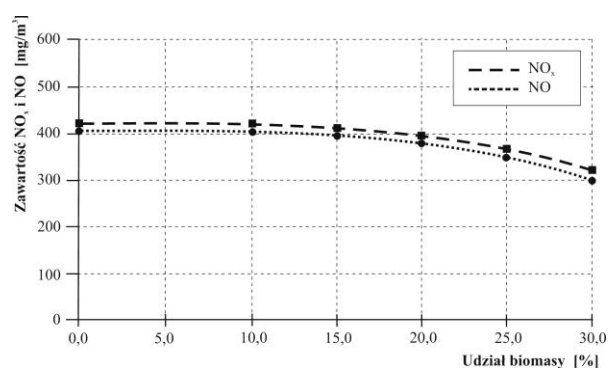
Rys. 3.1. Wpływ czasu sezonowania na wytrzymałość brykietów

Stwierdzono, że sezonowanie brykietów wpływa korzystnie na podwyższenie ich odporności mechanicznej już po 4 dniach od wyprodukowania. Dobre właściwości mechaniczne brykietów utrzymują się przez dwa miesiące od daty produkcji, a następnie ich odporność zmniejsza się.

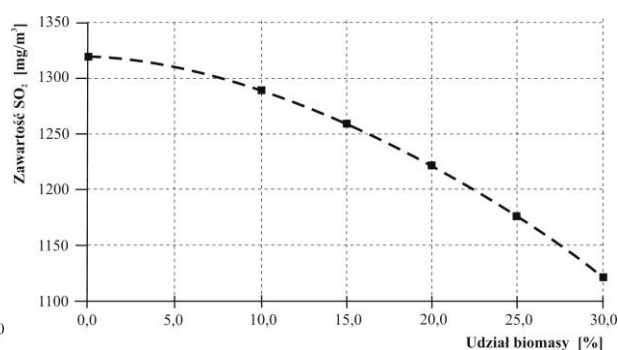
Proces spalania w piecu komorowym przeprowadzono w temperaturze 900–930 °C, Strumień gazów spalinowych wydostający się z pieca badano w sposób ciągły. Określono:

- sumę tlenków azotu – NO_x ,
- zawartość dwutlenku siarki – SO_2 ,
- zawartość tlenku węgla – CO ,
- zawartość dwutlenku węgla – CO_2 ,
- zawartość siarkowodoru – H_2S .

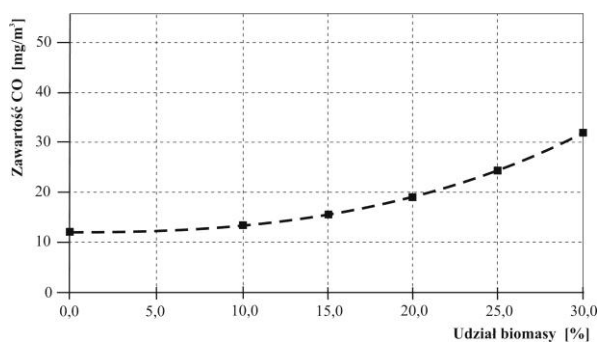
Wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń do atmosfery podczas spalania brykietów w kotłach energetycznych małej mocy w zależności od udziału biomasy (w zakresie od 0% do 30%) pokazano na rysunkach 3.2 – 3.6.



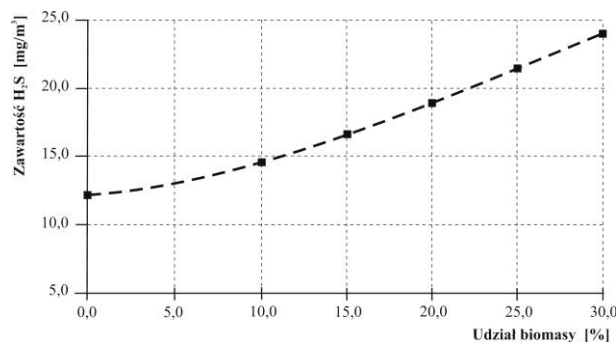
Rys. 3.2. Zmiany zawartości tlenków azotu



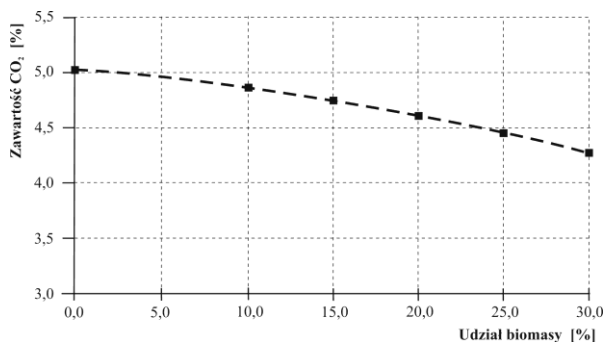
Rys. 3.3. Zmiany zawartości dwutlenku siarki



Rys. 3.4. Zmiany zawartości tlenku węgla



Rys. 3.5. Zmiany zawartości siarkowodoru



Rys. 3.6. Zmiany zawartości dwutlenku węgla

Dodatek biomasy w ilości nieprzekraczającej 20% masy mieszanki nieznacznie zmienił wartości wskaźników zanieczyszczeń gazowych w procesie spalania. Emisja tlenków azotu, dwutlenku siarki i dwutlenku węgla zmniejszyła się wraz z udziałem biomasy w brykietach, natomiast emisje tlenku węgla i siarkowodoru zwiększyły się w porównaniu do emisji powstałych przy spalaniu brykietów węglowych.

Skład chemiczny popiołu ze spalania obu rodzajów brykietów paliwowych również nie był znacząco odmienny. Wyraźnie widoczne było jedynie zmniejszenie zawartości krzemianów w popiele ze spalania biobrykietów (tab. 3.3).

Tabela 3.3. Skład chemiczny popiołu ze spalania brykietów paliwowych

Rodzaj związku chemicznego	Procentowa zawartość związku w popiele ze spalania:	
	brykietów węglowych z dodatkiem skrobi	brykietów węglowych z dodatkiem 20% biomasy
SiO ₂	55,22	49,97
Al ₂ O ₃	30,04	28,52
Fe ₂ O ₃	6,21	6,09
K ₂ O	2,98	3,51
CaO	1,66	2,50
MgO	1,46	1,93
P ₂ O ₅	0,59	0,90
Inne	1,84	5,58

Należy mieć na uwadze, że podany skład chemiczny popiołów z brykietów w dużym stopniu zależy od źródła biomasy dodanej do węgla oraz sposobu i typu urządzenia do spalania.

4. Podsumowanie

Badania wykazały, że dla uzyskania prawidłowych brykietów znaczny wpływ ma dobór właściwego lepiszcza oraz zapewnienie odpowiedniej wilgotności materiału. W testowanej linii technologicznej z prasą walcową uzyskano wytrzymałe brykiety z mułów węgla kamiennego dodając lepiszcze na bazie skrobi ziemniaczanej w ilości ok. 8% masy mieszanki oraz doprowadzając ją do wilgotności 24–25%. Uzyskane brykiety o dużym uwodnieniu wymagały termicznego dosuszenia, a następnie sezonowania w pojemnikach lub workach, dzięki czemu polepszyły się ich właściwości mechaniczne. Ze względu na wysoką cenę lepiszcza skrobiowego podjęto próby jego zastąpienia innymi dodatkami.

Zastosowanie tańszego lepiszcza w postaci melasy nie powiodło się, głównie ze względu na zbyt małe naciski w strefie formującej brykiety. Zwiększenie siły docisku materiału w istniejącym układzie zagęszczania wymaga wprowadzenia zmian konstrukcyjnych stosowanej brykietciarki. Z literatury wynika, że możliwa jest stosunkowo prosta modyfikacja sposobu zagęszczania materiału w prasie walcowej przez zastosowanie zasilania wymuszonego (np. ślimakowego) materiału w leju zasypowym, dzięki czemu zwiększy się gęstość masy podawanej do strefy formującej brykiety [4, 7, 18].

Dodatek biomasy drzewnej do mułu węgla kamiennego umożliwił wytworzenie w prasie walcowej prawidłowych brykietów, nawet bez udziału dodatkowego lepiszcza. Zawartość biomasy powinna wynosić nie więcej niż 20% masy mieszanki, co zapewnia wystarczającą odporność mechaniczną oraz zadowalającą wartość energetyczną wytwarzanego paliwa formowanego. Brykiety te mają dobrą wodoodporność, ale zaleca się stosowanie zadaszenia podczas ich dłuższego składowania.

Wytworzone brykiety z odpadów węglowych można zastosować jako paliwo wtórne do spalania w przemysłowych kotłach grzewczych oraz w gospodarstwach indywidualnych. Uwzględniając oddziaływanie na środowisko, dodatek biomasy poprawił właściwości paliwa. Podczas spalania zmniejszyły się emisje szkodliwych substancji do atmosfery, oraz pozostały mniejsze ilości popiołów w palenisku. Brykiety z biomasą stanowią zatem wartościowy produkt handlowy.

Literatura

1. Bieńko W., Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A. – technologia zakładu przeróbki mechanicznej węgla. Inżynieria Mineralna, 2(13), 2004, 45–49.
2. Borowski G., Possibilities of utilization of energy briquettes. Electrical Engineering Research Report, vol. 1(27), 2011, 48–51.
3. Boruk S., Winkler I., Ecologically friendly utilization of coal processing waste as a secondary energy source. In: Energy and Environmental Challenges to Security. Springer Publishers, 2009, 251–259.
4. Dec R.T., Optimizing and controlling roll press operating parameters. Powder Handling & Processing, vol. 14, 2002, 222–225.
5. Eremin A.Y., Babanin V.I., Kozlova S.Y., Requirement to indices of mechanical strength of briquettes with binder. Metallurgist, 11, 2003, 32–38.
6. Giemza H., Gruszka G, Hycnar J., Józefiak T., Kiermaszek K., Optymalizacja zagospodarowania sedimentu węglowego – technologia brykietowania sedimentu. Polityka Energetyczna, 10(2), 2007, 417–429.
7. Guigon P., Simon O., Roll press design – influence of force feed systems on compaction. Powder Technology, 130, 2003, 41–48.
8. Herting M.G., Kleinebudde P., Roll compaction/dry granulation: Effect of raw material particle size on granule and tablet properties. International Journal of Pharmaceutics, vol. 338, 2007, 110–118.
9. Hycnar J., Górski M., Uwarunkowania współspalania węgla i biomasy. Polityka Energetyczna, tom 6, z. spec. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2003, 309–320.
10. Kajda-Szcześniak M.D., Wyznaczanie ekspansji zwrotnej brykietów wykonanych na bazie odpadów pochodzenia rolniczego i tworzyw sztucznych. Archives of Waste Management and Environmental Protection, vol. 14(1), 2012, 33–40.
11. Loginov Yu.N., Bourkine S.P., Babailov N.A., Cinematics and volume deformations during roll-press briquetting. Journal of Materials Processing Technology, vol. 118(1-3), 2001, 151–157.

12. Mi J., Li X.-J., Design and simulation analysis of industrial coal briquetting machine. *Science and Technology*, vol. 37(5), 2006, 986–990.
 13. Plištil D., Brožek M., Malaták J., Roy A., Hutla P., Mechanical characteristics of standard fuel briquettes on biomass basis. *Research in Agricultural Engineering*, 51(2), 2005, 66–72.
 14. Purohit P., Tripathi A.K., Kandpal T.C., Energetics of coal substitution by briquettes of agricultural residues. *Energy*. Elsevier Science Publishers, 31, 2006, 1321–1331.
 15. Rahman A.N.E., Masood M.A., Prasad C.S.N., Venkatesham M., Influence of size and shape on the strength of briquettes. *Fuel Processing Technology*, 23, 1989, 185–195.
 16. Temmerman M., Rabier F., Jensen P.D., Hartmann H., Böhm T., Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes. *Biomass and Bioenergy*, 30, 2006, 964–972.
 17. Ulbricht R. (red.), Energetyczne wykorzystanie biomasy. Materiały pokonferencyjne. Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, 2005.
 18. Yehia K.A., Estimation of roll press design parameters based on the assessment of a particular nip region. *Powder Technology*, vol. 177, 2007, 148–153.
-