

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA PELETÓW WYTWORZONYCH ZE SŁOMY PSZENNEJ I JĘCZMIENNEJ NA RYNKU ENERGII CIEPLNEJ

Grzegorz Maj, Wiesław Piekarski

Katedra Energetyki i Pojazdów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania produktów ubocznych sektora rolniczego w postaci słomy pszennej i jęczmiennej do celów energetycznych. Wytworzono pelet z pozyskanej biomasy, a następnie określono właściwości fizyko-chemiczne w postaci ciepła spalania, wartości opałowej i zawartości popiołu. Przeprowadzone badania wskazały, że istotnymi parametrami w procesie peletowania są: wilgotność i długość sieczki materiału. Dla słomy pszennej i jęczmiennej optymalną wilgotność do procesu zagęszczania w formę peletu określono na 14%. Optymalna długość sieczki do tego procesu powinna mieścić się w zakresie 3-8 mm. Analiza ciepła spalania i wartości opałowej wykazała dobre właściwości energetyczne badanej biomasy. Dla słomy pszennej ciepło spalania wynosiło $17,14 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, a wartość opałowa $15,76 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, zaś dla słomy jęczmiennej wartości te wynosiły odpowiednio $16,40 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $15,00 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Słowa kluczowe: ciepło spalania, wartość opałowa, aglomeracja, pelet, biomasa

Wstęp

Akcesja Polski w struktury Unii Europejskiej 1 maja 2004 roku zobowiązała nasz kraj do wdrażania i rozwoju sektora odnawialnych źródeł energii. Zgodnie z przyjętym prawem wspólnotowym jesteśmy zobligowani do zmiany struktury pozyskiwania energii i według prawa wspólnotowego (Dyrektywa 2009/28/WE) do roku 2020 udział odnawialnych źródeł energii w całkowitym zużyciu energii kraju powinien wynieść 20%. Dla Polski udział ten został obniżony do 15%. Każdy z członków UE został zobligowany do dostosowania swojej polityki energetycznej, tak aby przyniosła ona efekt w postaci osiągnięcia ustalonych, minimalnych udziałów pochodzących z OZE w ogólnych bilansach paliwowo-energetycznych krajów (Kotowicz i Bartela, 2007). Stąd też poszukuje się różnych dostępnych źródeł energii w celu wypełnienia zadeklarowanego zobowiązania, w tym produktów odpadowych i nadwyżek sektora rolno-spożywczego (Niedziółka i in., 2012; Burczyk, 2012; Denisiuk, 2008). W związku z perspektywą wyczerpywania się zasobów paliw konwencjonalnych, dywersyfikacja źródeł energii to możliwość pozyskania odnawialnych

i biodegradowalnych zasobów energii, jak również ograniczenie skażenia środowiska, które są głównym kierunkiem tych działań. Należy zaznaczyć, że w przyszłości produkcja rolnicza będzie jednym ze znaczących dostawców źródeł energii przez wykorzystanie biomasy (Wawrzosek i Piekarski, 2006).

Bezpośrednie zastosowanie biomasy w energetyce, ze względu na jej dużą wilgotność i gęstość nasypową, jest utrudnione. W celu wyeliminowania tych przeszkód zastosować można kompaktowanie surowca do postaci peletu. Proces ciśnieniowej aglomeracji surowca energetycznego zmniejsza objętość i ustala na stałym poziomie zawartość wody, zwiększa koncentrację zarówno masy, jak i energii w jednostce objętości. Ponadto podnosi efekt i komfort dystrybucji i użytkowania tak przetworzonego paliwa (Grzybek, 2004; Kowalik, 2003; Thek i Obernberger, 2004).

Stan wiedzy dotyczący procesu zagęszczania ciśnieniowego do niedawna związany był głównie z zastosowaniem kompaktowania dla różnego rodzaju pasz. Aglomerowanie biomasy wymaga znacznie innego podejścia, a parametry techniczne jak i fizyko-chemiczne optymalnego zagęszczania różnią się między sobą, głównie z powodu zastosowania surowców o odmiennych właściwościach, m.in. ich wilgotności, urządzeń stosowanych w procesie zagęszczania, różnych czynników chemiczno-biologicznych i materiałowych, mających zdecydowany wpływ na jakość granulowania materiału badawczego (Laskowski i Skonecki, 1998; Obidziński i Hejft, 2007). Stąd też w pracy przedstawiono możliwości wytwarzania peletu z odpadów produkcji sektora rolniczego w postaci słomy pszennej i jęczmiennej. Poddano badaniom także właściwości fizyko-chemiczne analizowanej biomasy.

Metodyka badań

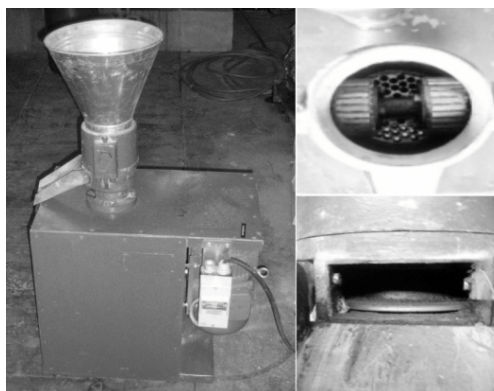
Materiał badawczy pozyskano z gospodarstw rolnych z terenu województwa lubelskiego. Słomę zebrano ze ścierni po tygodniu od skoszenia zbóż. Otrzymany materiał w pierwszym etapie badań został rozdrobniony na rozdrabniaczu bijakowym z sitem o średnicy oczek 3 mm, 8 mm i 12 mm (rys. 1).

Badany materiał zagęszczany był za pomocą pelecarki z otwartą komorą zagęszczania (rys. 2). Zamontowana matryca pobierała napęd od silnika elektrycznego o mocy 3 kW, a od niej napęd był przekazywany następnie na zamontowane nad nią ułożyskowane rolki zagęszczające. Powyższe rolki zamontowane są na nieruchomym wałku w korpusie komory zagęszczającej urządzenia. Użyta w badaniach matryca miała otwory o średnicy 8 mm, a jej wysokość wynosiła 24,5 mm. Podczas badań istniała możliwość regulacji docisku rolek zagęszczających do matrycy, którą stosowano w trakcie realizacji zagęszczania.

Proces zagęszczania odbywał się w trzech głównych etapach: suszenia, mielenia i zagęszczania. Podczas realizacji procesu zagęszczania określono parametry zagęszczania w formę peletu dla słomy pszennej i jęczmiennej w aspekcie przyjętej długości siewki i wilgotności materiału. Do procesu peletowania użyto próbek z wilgotnością: 12%, 14%, 16% i 18%. Wilgotność surowca osiągnano przez suszenie lub dodawanie wymaganej ilości wody do próbek o znanej masie i wilgotności, lub przez wykorzystanie kondycjonowania. Tak przygotowany surowiec przechowywano przez okres 48 godzin przed zagęszczaniem. Słoma pszenna i jęczmienna do procesu kompaktowania charakteryzowała się trzema długościami siewki: <3 mm; 3-8 mm; 8-12 mm.



Rysunek 1. Rozdrabniacz bijakowy typu Bąk użyty w badaniach
Figure 1. Bąk type beater grinder used in the research



Rysunek 2. Widok pelecarki zastosowanej w badaniach
Figure 2. View of the pelleting machine used in the research



Rysunek 3. Wykorzystywany w badaniach piec muflowy Nabertherm L3/11/B180 wraz z ceramicznymi tyglami
Figure 3. Muffle furnace Nabertherm L3/11/B180 along with ceramic melting pots used in the research

Oznaczenie ciepła spalania przeprowadzono za pomocą kalorymetru KL-12. Badania opierały się na specyfikacji technicznej PKN-CEN/TS 14588 i normie PN-G-04513 zgodnej z normą PN-ISO 1928.

Wartość opałowa peletów wytworzonych ze słomy jęczmiennej i pszennej obliczona została zgodnie z normą PN-ISO 1928.

Dla uzyskanych podczas badań peletów ze słomy pszennej i jęczmiennej oznaczono zawartość popiołu dla dwóch wilgotności, tj. dla słomy pszennej: 8,60% i 10,62% i dla słomy jęczmiennej 10,48% i 11,60%. Wytworzony pelet spalano w temperaturze 600°C i 815°C. Powyższe badania przeprowadzono za pomocą pieca muflowego Nabertherm L3/11/B180 (rys. 3) zgodnie z normą PN-G-04512. Piec ten był wyposażony w ceramiczne płyty grzewcze z zintegrowanym drutem grzewczym, który był zabezpieczony przed zabrudzeniem i gazami wylotowymi. Oznaczenie zawartości popiołu rozpoczynało się od nważenia próbki analitycznej 2 g paliwa i umieszczeniu jej w nagrzanym piecu oraz

ogrzewaniu jej do temperatury 500°C w czasie 30 minut, a po dalszych 30 do 60 minut ogrzewania do temperatury ustalonej w badaniu. W ustalonej w trakcie badań temperaturze próbka pozostawała przez 90 minut. Po ochłodzeniu i zważeniu próbkę prażono powtórnie przez 15 minut do momentu osiągnięcia stałej masy. Po ustaleniu stałej masy próbki dokonano ostatecznego ważenia.

Przedmiotem badań było także oznaczenie wilgotności całkowitej dla badanej biomasy metodą suszarkowo-wagową. Badania przeprowadzane były zgodnie z normą PN-Z-15008/02 tożsamą z PN-G-04511. Do badań użyto elektrycznej suszarki laboratoryjnej POL-ECO SLN 32 ECO z naturalnym obiegiem powietrza, z możliwością regulacji temperatury z dokładnością do 1°C. Suszenie próbki paliwa odbywało się w temperaturze 105°C. Do oznaczania stosowano rozdrobnione paliwo w ilości ok. 2 g. Suszenie przeprowadzono przez 90 minut. Po ochłodzeniu do temperatury wyjściowej, materiał ważono na wadze analitycznej. Suszenie ponawiano w odstępach 15 minutowych tak długo, jak długo masa nie ustaliła się z dokładnością $\pm 0,0010$ g.

Do wykonania analizy statystycznej wykorzystano pakiet SAS Enterprise Guide 4.1. Testami zgodności Shapiro-Wilka i Kołmogorova-Smirnova sprawdzono normalność rozkładu badanych cech. Test t-Studenta posłużył do oceny wpływu wilgotności na poziom ciepła spalania i wartości opałowej. Jednorodność wariancji sprawdzono przy użyciu testu Bartletta. Stosując dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA dokonano oceny wpływu wilgotności i temperatury spalania na ilość uzyskiwanego popiołu. Wszystkie analizy statystyczne były przeprowadzane na poziomie istotności $\alpha=0,05$.

Wyniki badań

Proces zagęszczania wykazał, że istotnymi parametrami mającymi wpływ na zagęszczanie badanej biomasy są długość siewki surowca, a także poziom jej wilgotności.

Badania wykazały, że istotnym czynnikiem jest właściwie przygotowanie materiału do zagęszczania pod względem rozmiaru frakcji. Stopień rozdrobnienia biomasy roślinnej ma duży wpływ na uzyskanie peletu, zachowującego kształt i formę.

W przypadku analizowanych resztek poźniwnych dla słomy pszennej i jęczmiennej, optymalna długość siewki została określona w przedziale 3-8 mm. Dla takiej długości siewki następowało poprawne zagęszczanie materiału, a otrzymywany produkt zachowywał zarówno kształt, jak i formę.

Największą efektywność procesu peletowania dla słomy pszennej uzyskano dla optymalnej długości siewki 3-8 mm. Zbyt mała frakcja nie dawała możliwości zagęszczenia jej w formę peletu, natomiast zbyt długa – powodowała zapychanie się kanałów zagęszczających matrycy, jak i samej komory zagęszczającej.

Słoma jęczmienna, podobnie jak pszena, najlepiej zęszczała się przy optymalnej długości siewki, jednakże uzyskanie peletu z siewki dłuższej było także możliwe, a otrzymany materiał charakteryzował się większą kruchością w stosunku do uzyskanego z siewki o długości 3-8 mm.

W trakcie realizacji procesu zagęszczania biomasy bardzo istotny problem podczas peletowania odgrywa wilgotność. W zależności od stopnia zawartości wody w materiale uzyskiwano produkt w postaci peletu, zachowujący kształt, rozmiar i formę.

Słoma pszenna i jęczmienna mają takie same wymagania co do wilgotności materiału w procesie aglomeracji ciśnieniowej. Najkorzystniejszy poziom wilgotności w celu zagęszczenia materiału w formę peletu wynosi 14%. Zmiana wilgotności w stosunku do optimum negatywnie wpływa na sam proces aglomeracji.

Stosowanie optymalnych parametrów zagęszczania w formę peletu pozwoliło na uzyskanie podczas realizacji procesu kompaktowania peletu zachowującego kształt i rozmiar oraz kruchość, co przedstawia rysunek 4.

a)



b)



Rysunek 4. Wytworzony pelet z zastosowaniem optymalnych parametrów zagęszczania: a) ze słomy pszennej, b) ze słomy jęczmiennej

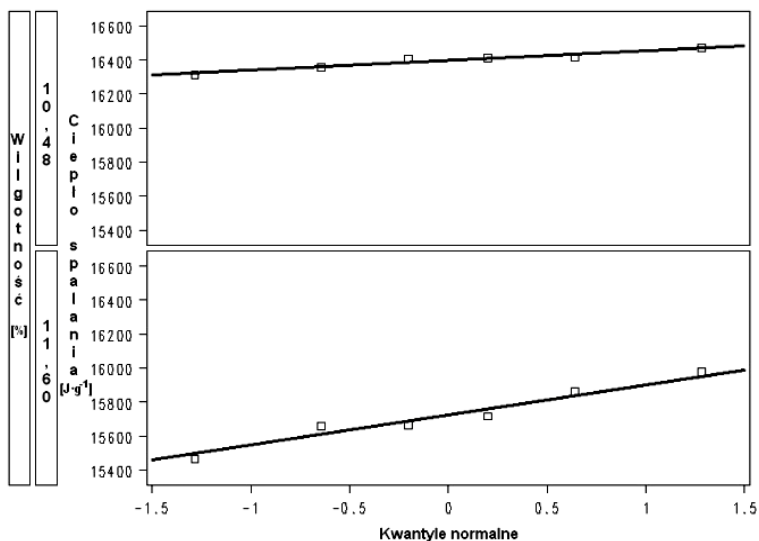
Figure 4. Produced pellet with the use of optimal concentration parameters; a) of wheat straw, b) of barley straw

Otrzymany pelet dla wszystkich badanych surowców charakteryzował się średnicą 8 mm i długością 25 mm. W związku z powyższym, uzyskany produkt spełniał normę długości dla europejskiej normy jakości peletów EN 14961-2 i EN 14961-6 dla kategorii D08 oraz austriacką Önorm M 7135, szwedzką SS 18 71 20 i niemiecką DIN 51731 dla 1 klasy jakości.

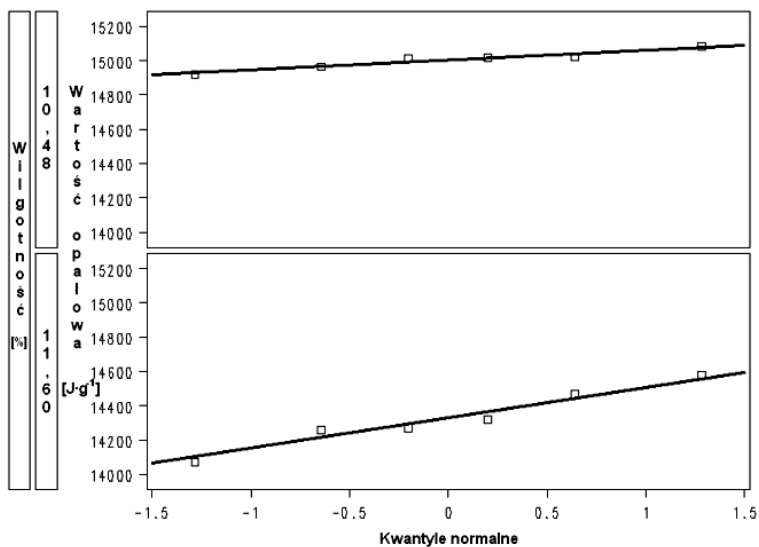
Pelet wytworzony ze słomy pszennej charakteryzował się dobrymi właściwościami energetycznymi, wyrażonym poprzez ciepło spalania i wartość opałową. W trakcie badań uzyskano ciepło spalania $16,46 \text{ MJ kg}^{-1}$ i wartość opałową $15,05 \text{ MJ kg}^{-1}$ przy wilgotności 10,62%. Dla wilgotności 8,60% ciepło spalania wyniosło $17,14 \text{ MJ kg}^{-1}$ a wartość opałowa $15,76 \text{ MJ kg}^{-1}$.

Dla peletu ze słomy jęczmiennej ciepło spalania wyniosło $15,73 \text{ MJ kg}^{-1}$, wartość opałowa $14,33 \text{ MJ kg}^{-1}$ przy wilgotności materiału 11,60%. Dla niższego poziomu wilgotności (10,48%) ciepło spalania wyniosło $16,40 \text{ MJ kg}^{-1}$, natomiast wartość opałowa $15,00 \text{ MJ kg}^{-1}$.

Otrzymane podczas badań wyniki, obejmujące ciepło spalania i wartość opałową, zostały poddane analizie za pomocą programu statystycznego. Przeprowadzono badanie normalności rozkładu dla wartości opałowej i ciepła spalania peletów wytworzonych ze słomy jęczmiennej i pszennej dla dwóch poziomów wilgotności. Rysunek 5 prezentuje wykresy kwantyl-kwantyl dla analizy rozkładu cech, tj. ciepła spalania i wartości opałowej dla peletów wytworzonych ze słomy jęczmiennej. Taką samą analizę przeprowadzono dla peletów ze słomy pszennej.



a)



b)

Rysunek 5. Wykres kwantyl-kwantyl dla analizy rozkładu normalnego ciepła spalania pelletów wytworzonych: a) ze słomy jęczmiennej, b) ze słomy jęczmiennej
 Figure 5. Quantile-quantile graph for analysis of regular combustion heat distribution of pellets produced of: a) barley straw, b) of barley straw

Stwierdzając za pomocą testów zgodności i wykresów kwantyl-kwantyl normalność rozkładu badanych cech, przeprowadzono ocenę wpływu wilgotności materiału na ciepło spalania i wartość opałową peletów wytworzonych ze słomy pszennej i jęczmiennej (tab. 1 i tab. 2).

Test t wykazał istotny wpływ wilgotności materiału na ciepło spalania i wartość opałową peletów wytworzonych ze słomy pszennej i słomy jęczmiennej.

Tabela 1

Testy t dla oceny wpływu wilgotności na ciepło spalania i wartość opałową peletów wytworzonych ze słomy pszennej

Table 1

T tests for assessment of humidity impact on the combustion heat and calorific value of pellets made of wheat straw.

Zmienna	Stopnie swobody	Wartość t	Wartość p
Wartość opałowa ($J \cdot g^{-1}$)	10	15,48	<0,0001
Ciepło spalania ($J \cdot g^{-1}$)	10	15,04	<0,0001

Tabela 2

Testy t dla oceny wpływu wilgotności na ciepło spalania i wartość opałową peletów wytworzonych ze słomy jęczmiennej

Table 2

T tests for assessment of humidity impact on the combustion heat and calorific value of pellets made of barley straw.

Zmienna	Stopnie swobody	Wartość t	Wartość p
Wartość opałowa ($J \cdot g^{-1}$)	10	8,90	<0,0001
Ciepło spalania ($J \cdot g^{-1}$)	10	8,86	<0,0001

Wzrost wilgotności o 1,12% w peletach ze słomy jęczmiennej prowadzi do obniżenia ciepła spalania o 4,10% i wartości opałowej o 4,50%. W przypadku peletów ze słomy pszennej zwiększenie o 2,02% wilgotności obniża ciepło spalania o 3,98% i wartość opałową o 4,46%.

Powyższe wyniki badań wskazują, że istotne jest zapewnienie właściwych warunków przechowywania peletów wytworzonych z biomasy roślinnej. Utrzymywanie w magazynie wilgotności na określonym poziomie zapewni stały poziom ciepła spalania i wartości opałowej, niezależnie od terminu wykorzystania peletu do celów grzewczych.

Wyniki badań zawartości popiołu dla wytworzonego peletu z badanej biomasy przedstawia tabela 3.

Przeprowadzony test Bartletta dowiódł, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o równości wariancji (tab. 4).

Tabela 3

Zawartość popiołu w pelecie wytworzonym ze słomy pszennej i słomy jęczmiennej

Table 3

Content of ash in the pellet made of wheat straw and barley straw

Materiał	Zawartość popiołu (%)		
	Temperatura spalania (°C)		Wilgotność (%)
	600	815	
Słoma pszenna	5,26	4,98	10,62
	5,14	4,86	8,60
Słoma jęczmienna	6,85	6,74	11,60
	6,20	6,37	10,48

Tabela 4

Zestawienie wyników testu jednorodności wariancji Bartletta dla zawartości popiołu, temperatury spalania i wilgotności peletów wytworzonych ze słomy pszennej i jęczmiennej

Table 4

The set of homogeneity tests results of Bartlett's variance for ash content, combustion temperature and humidity of pellets produced of wheat and barley straw

Materiał	Źródło	Test Bartletta	Wartość p
Słoma jęczmienna	Temp. spalania (600°C)	6,73	0,113
	Temp. spalania (815°C)	6,03	0,124
	Wilgotność (10,48%)	6,81	0,109
	Wilgotność (11,60%)	5,95	0,137
Słoma pszenna	Temp. spalania (600°C)	2,08	0,348
	Temp. spalania (815°C)	3,65	0,264
	Wilgotność (8,60%)	4,67	0,206
	Wilgotność (10,62%)	7,19	0,104

Następnie przystąpiono do analizy oceny wpływu temperatury spalania i wilgotności peletu na zawartość popiołu za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji ANOVA (tab. 5 i tab. 6).

Tabela 5

Zestawienie wyników analizy wariancji dla zawartości popiołu, temperatury spalania i wilgotności materiału dla peletów wytworzonych ze słomy pszennej

Table 5

The set of results of variance analysis for the ash content, combustion temperature and humidity of material for pellets produced of wheat straw

Źródło	St. sw.	Suma kwadratów	Średnia kwadratów	Wartość F	Wartość p
Temperatura spalania	1	0,357	0,357	17,80	0,613
Wilgotność	1	0,052	0,052	2,62	0,121
Błąd	20	0,401	0,020		
Razem skorygowane	22	0,810			

Tabela 6

Zestawienie wyników analizy wariancji dla zawartości popiołu, temperatury spalania i wilgotności materiału dla peletów wytworzonych ze słomy jęczmiennej

Table 6

The set of results of variance analysis for the ash content, combustion temperature and humidity of material for pellets produced of barley straw

Źródło	St. sw.	Suma kwadratów	Średnia kwadratów	Wartość F	Wartość p
Temperatura spalania	1	0,004	0,004	0,14	0,715
Wilgotność	1	1,489	1,489	3,11	0,243
Błąd	19	0,656	0,034		
Razem skorygowane	21	2,151			

Analiza wariancji potwierdziła, że na ilość uzyskiwanego popiołu zarówno dla peletów wytworzonych ze słomy pszennej, jak i jęczmiennej nie ma wpływu wilgotność materiału oraz poziom temperatury spalania

Podsumowanie

1. Badania dowodzą, że decydujący wpływ w procesie zagęszczania materiału w formę peletu ma wilgotność materiału oraz długość jego sieczki. Istotne jest odpowiednie przygotowanie materiału do procesu zagęszczania w formę peletu. Prace badawcze wykazały, że słoma pszena oraz jęczmienna, przy zachowaniu optymalnych parametrów zagęszczania w postaci długości sieczki w zakresie 3-8 mm oraz wilgotności materiału 14%, zagęszcza się prawidłowo na analizowanym typie granulatora.
2. Ciepło spalania i wartość opałowa badanego peletu były relatywnie duże, co stawia słomę pszeną, jak i jęczmienną jako bardzo dobre paliwo w energetyce odnawialnej.
3. Można uznać, że zawartość popiołu 5-6% jest mała w stosunku do tradycyjnych paliw kopalnych. Niska zawartość popiołu jest dodatkową zaletą tego paliwa.
4. Stosowanie biomasy roślinnej do celów energetycznych zwiększa lokalne bezpieczeństwo energetyczne. Natomiast dywersyfikacja źródeł energii powoduje uniezależnienie się od innych jej źródeł. Zwiększenie udziału biomasy roślinnej w bilansie paliwowo-energetycznym jednocześnie obniża udział tradycyjnych źródeł, co z kolei prowadzi do uniezależnienia się od zewnętrznych dostawców paliw kopalnych, a także znacznej poprawy środowiska przyrodniczego.

Literatura

- Burczyk, H. (2012). Biomasa z roślin jednorocznych dla energetyki zawodowej. *Czysta Energia*, 2(126), 30-32.
- Denisiuk, W. (2008). Słoma-potencjał masy i energii. *Inżynieria Rolnicza*, 2(100), 23-30.
- Grzybek, A. (2004). Potencjał biomasy możliwej do wykorzystania na produkcję peletu. *Czysta Energia*, 6, 24-25.
- Kotowicz, J.; Bartela, Ł. (2007). Energetyczne wykorzystanie biomasy drzewnej - przegląd technologii. *Rynek Energii*, 6, 22-28.

- Kowalik, P. (2003). Pelety z biomasy-paliwo przyszłości. *Agroenergetyka*, 1, 36-37.
- Laskowski, J.; Skonecki, S. (1998). Ocena porównawcza parametrów procesów aglomerowania materiałów biologicznych. *Inżynieria Rolnicza*, 2(3), 45-54.
- Niedziółka, I.; Szpryngiel, M.; Żak, W. (2012). Ocena jakości peletów wytworzonych z wybranych surowców roślinnych. *Inżynieria Rolnicza*, 2(137), 231-240.
- Obidziński, S.; Hejft, R. (2007). Wpływ parametrów aparaturowo-procesowych na wartości nacisków zagęszczających w procesie granulowania pasz. *Inżynieria Rolnicza*, 5(93), 313-319.
- Thek, G.; Obernberger, I. (2004). Wood pellet production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions. *Biomass and Bioenergy*, 27, 671-693.
- Wawrzosek, J.; Piekarski, W. (2006). Model of CO emission level of exhaust gases in tractor engines fed with biofuels. *International Agrophysics*, 20(4), 353-358.
- Dyrektywa 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- PKN-CEN/TS 14588:2005. *Biopaliwa stałe. Terminologia, definicje i określenia.*
- PN-G-04511:1980. *Paliwa stałe. Oznaczenie zawartości wilgoci.*
- PN-G-04512:1980. *Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości popiołu metodą wagową.*
- PN-G-04513:1981. *Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.*
- PN-Z-15008-02:1993. *Odpady komunalne stałe. Badania właściwości paliwowych. Oznaczanie wilgotności całkowitej.*
- PN-ISO 1928:2002. *Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania metodą spalania w bombie kalorymetrycznej i obliczanie wartości opałowej.*

POSSIBILITIES OF USE OF THE PELLETS MADE OF WHEAT AND BARLEY STRAW ON THE HEAT ENERGY MARKET

Abstract. The paper presents possibilities of using wheat straw and barley straw as wastes of agricultural sector for energy purposes. Pellet was produced from the obtained biomass and physical and chemical properties in the form of heat of combustion, calorific value and ash content were determined. The study showed that important parameters in the process of pelleting are as follows: the length of chaff of the material and its moisture content level. For wheat straw and barley straw the optimal length of the chaff indicated was in the range of 3-8 mm. The optimum value of moisture content for this process should be 14%. Analysis of the heat of combustion and calorific value showed good energy properties of the researched biomass. For wheat straw the heat of combustion was 17.14 MJ kg^{-1} and the calorific value was 15.76 MJ kg^{-1} , whereas, for barley straw, these values were respectively 16.40 MJ kg^{-1} , while the calorific value was 15.00 MJ kg^{-1} .

Key words: heat of combustion, calorific value, agglomeration, pellet, biomass

Adres do korespondencji:

Grzegorz Maj; e-mail: grzegorz.maj@up.lublin.pl
Katedra Energetyki i Pojazdów
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin