



Fuels from the wastes as a source of renewable energy

Monika CZOP¹, Małgorzata KAJDA-SZCZEŚNIAK²

^{1,2} Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 32-237-21-04, fax. 32-237-11-67, e-mail: Monika.Czop@polsl.pl, mkajda@polsl.pl

Abstract

Waste may constitute reliable source of energy used both for heat engineering and commercial power industry. It refers both to municipal waste, biomass and special or industrial wastes. Suitability of wastes for the use in energy depends first of all on the type, homogeneity and heating properties. Recovery of energy from wastes, carried in commercial power industry installations in national conditions is a subject open for future consideration. The article presents possibilities of using agricultural wastes with plastic additives and describes emissions of impurities created during this process.

Keywords: biomass, straw, waste, chemical composition, alternative energy source, emission

Streszczenie

Paliwa z odpadów źródłem energii odnawialnej

Odpady mogą stanowić pewne źródło energii wykorzystywanej zarówno w ciepłownictwie jak i w energetyce zawodowej. Mowa tu zarówno o odpadach komunalnych, biomasie jak i odpadach specjalnych czy przemysłowych. Przydatność odpadów do energetycznego wykorzystania zależy przede wszystkim od ich rodzaju, jednorodności i właściwości paliwowych. Odzysk energii z odpadów prowadzony w instalacjach energetyki zawodowej w warunkach krajowych jest zagadnieniem przyszłościowym. W artykule zaprezentowano możliwości wykorzystania odpadów rolniczych z dodatkiem tworzyw sztucznych oraz emisje zanieczyszczeń powstających w tym procesie.

Słowa kluczowe: biomasa, słoma, odpady, skład chemiczny, potencjał energetyczny, emisja zanieczyszczeń

1. Wstęp

Energia elektryczna czy ciepła jest podstawowym elementem ekonomicznego rozwoju i czynnikiem poprawiającym jakość życia. Szacuje się, że zapotrzebowanie na energię w skali globalnej wzrośnie w ciągu najbliższych 30 lat o prawie 70%. W celu sprostania rosnącemu zapotrzebowaniu należy sięgać po różnego rodzaju dostępne źródła energii [1, 2, 3].

Narastające trudności na rynku węgla i dynamika zmian cen nośników energii budzą obawy w sektorze energetycznym. Dodatkowym obciążeniem dla polskiej gospodarki energetycznej jest ograniczenie emisji CO₂ oraz wdrażanie przez komisję europejską programu 3x20, czyli redukcję o 20% emisji gazów cieplarnianych, zwiększenie efektywności energetycznej o 20% oraz 20% udział odnawialnych źródeł energii (OZE) w ogólnym bilansie energetycznym [4, 5].

Dramatycznie narastające problemy z zagospodarowaniem odpadów powstałe w wyniku wieloletnich zaległości inwestycyjnych spowodowały, że Polska znajduje się obecnie na końcu listy dotyczącej zagospodarowania odpadów wśród państw UE. Celem krajowego planu gospodarki odpadami jest system oparty na zasadzie zrównoważonego rozwoju, w którym realizowane są zasady postępowania z odpadami zgodne z hierarchią zapisaną w ustawie o odpadach (Dz.U. z 2013 nr 0 poz. 21).

W interesie Polski jest podjęcie zdecydowanych inwestycji jak również stworzenie regulacji prawnych zwiększających bezpieczeństwo energetyczne. Jednym z możliwych, a zarazem przyszłościowym rozwiązaniem

wydaje się połączenie dwóch wymagających przekształceń sektorów polskiej gospodarki, energetyki z gospodarką odpadami.

Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej w Polsce zakłada zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo-energetycznym naszego kraju do 7,5% w 2010 roku i do 14% w 2020 roku w odniesieniu do zużycia nośników pierwotnych. Bilans energetyczny dla Polski przewiduje, że w 2015 roku 10-11% zużywanej energii będzie pochodziło ze źródeł odnawialnych, w tym z biomasy roślin energetycznych. Na tej podstawie szacuje się, że biomasa stanowić będzie trzecie, co do wielkości na świecie, naturalne źródło energii [1, 5].

Zmniejszanie się zasobów biomasy pochodzącej z leśnictwa i przemysłu drzewnego oraz przepisy, które wymuszają stopniowe zastępowanie drewna w energetyce biomasą inną niż leśna, zwiększają zainteresowanie uprawami roślin o dużym potencjale plonowym.

Do wydajnych energetycznie roślin zalicza się m. in.: trawy wieloletnie, byliny, krzewy i drzewa o krótkim cyklu produkcyjnym.

Surowce roślinne mogą wykazywać się znaczącym zróżnicowaniem, dlatego znajomość ich charakterystyki ma duże znaczenie z punktu widzenia energetycznego. Ważnymi parametrami są nie tylko wielkość plonu i jego wartość energetyczna, ale też zawartość popiołu, który pozostaje jako odpad ze spalania każdego paliwa stałego [1, 2, 3].

2. Potencjal energetyczny odpadów

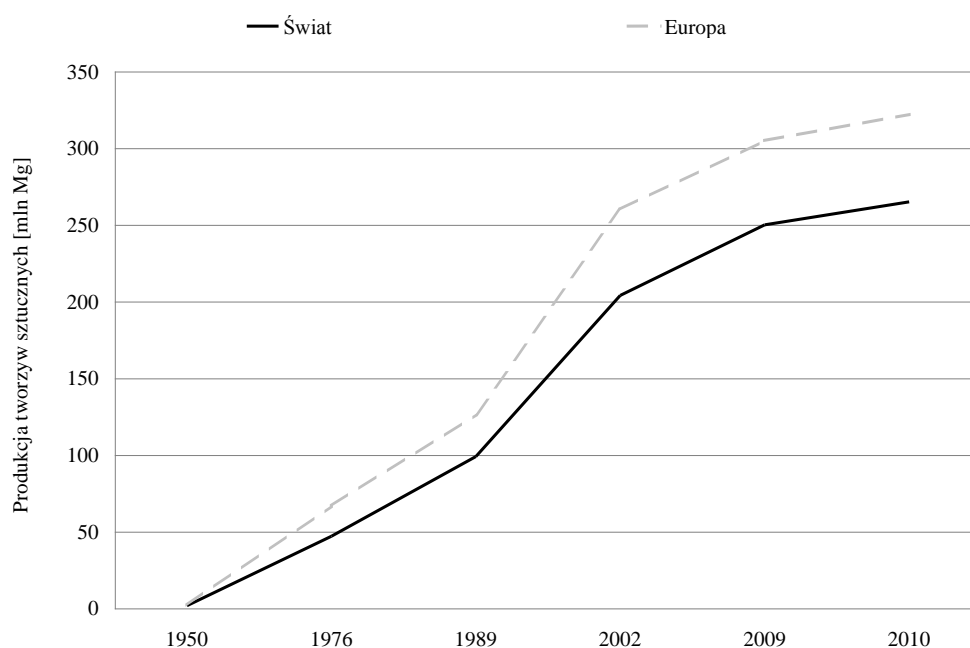
Słoma, jako uboczny produkt uprawy zbóż, powstaje w Polsce w ilości 25 – 30 mln Mg rocznie. Z tego około 15 – 20 mln Mg rocznie znajduje zastosowanie jako dodatek do pasz, ściółka, zabezpieczenie kopców oraz w produkcji materiałów izolacyjnych dla ogrodnictwa i budownictwa [5, 6, 7, 8, 9]. Pozostała część słomy może stanowić cenny surowiec energetyczny, który może pokryć do 4% zapotrzebowania Polski na energię pierwotną. Poszczególne rodzaje słomy różnią się między sobą składem pierwiastkowym, a różnice te wynikają m. in. z uwarunkowań glebowych, klimatycznych oraz działalności człowieka. Dlatego też konieczna jest ocena właściwości energetycznych słomy z uwzględnieniem jej składu chemicznego i możliwościami wykorzystania [5, 6, 10].

Stosowanie tworzyw sztucznych znacznie się rozpowszechniło, w Polsce, jak i na świecie. Wzrasta ich produkcja, rośnie zużycie, co powoduje wzrost tej grupy odpadów, które w efekcie końcowym swój cykl życia kończą na składowisku. Produkcja wyrobów z tworzyw sztucznych na świecie przekroczyła już 100 mln Mg i wciąż wzrasta. Na tej podstawie szacuje się, że średnio na rok przybywa ok. 500 tys. Mg odpadów. W roku 2010 światowa produkcja tworzyw sztucznych wzrosła w stosunku do roku 2009 o 15 mln Mg, co daje wzrost o 6%. W roku 2010 ilość wyprodukowanych tworzyw osiągnęła wielkość rzędu 265 mln Mg (Rys.2.1).

W 2010 roku produkcja tworzyw sztucznych w Europie osiągnęła 57 mln Mg, co daje 22% światowej produkcji, natomiast Chiny wyprzedziły kontynent europejski stając się największym producentem tworzyw z udziałem na poziomie 23,5% [11, 12].

Ilość odpadów polimerowych w roku 2010 wzrosła w stosunku do roku 2009 o 2,5%, do poziomu 24,7 mln Mg, z czego 10,4 mln Mg trafiło na składowiska, a 14,3 mln Mg udało się poddać odzyskowi. Ilość tworzyw sztucznych wykorzystanych w procesach odzysku energii wzrosła o 9,8%. Głównie dzięki większemu wykorzystaniu pokonsumenckich odpadów tworzyw sztucznych do produkcji paliwa przeznaczonego dla elektrowni i cementowni [11, 12].

Z odpadowych tworzyw sztucznych można wytwarzać paliwa alternatywne, aby odzyskać z nich wartość energetyczną. Obecnie w naszym kraju cenne odpady trafiają na składowiska, a można byłoby z nich pozyskać źródło energii oraz bardziej efektywnie wykorzystywać zasoby inwestując w rozbudowę infrastruktury do recyklingu i produkcji energii z odpadów [12].



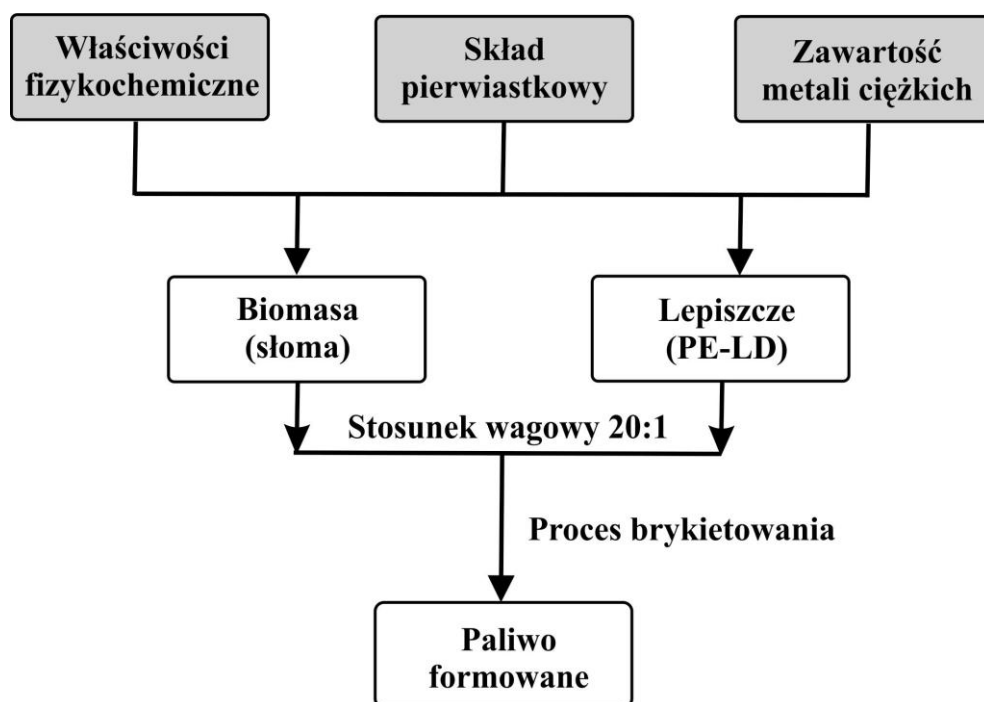
Rys. 2.1. Światowa produkcja tworzyw sztucznych w latach 1950-2010 [12].

3. Metodyka badań

Celem badań było wyznaczenie wybranych parametrów oraz charakterystycznych wielkości dla słomy i odpadowego polietylenu o niskiej gęstości jako potencjalnego surowca energetycznego. W ramach pracy przeprowadzono następujące oznaczenia:

- wartość opałowa,
- zawartość wilgoci,
- zawartość substancji lotnych,
- zawartość popiołu,
- skład pierwiastkowy (C, H, S, N, O i Cl)
- zawartość metali ciężkich.

Wszystkie oznaczenia wykonano zgodnie z obowiązującymi normami [13 – 20]. Schemat przeprowadzonych badań prezentuje rysunek 3.1.



Rys. 3.1. Schemat badań (wyk. M. Czop, M. Kajda-Szcześniak).

Z przebadanych składników wytworzono w skali laboratoryjnej dwa rodzaje paliwa:

- paliwo na bazie słomy z dodatkiem polietylenu (PE-LD) rozdrobnionego (rys. 3.2 A),
- paliwo na bazie słomy z dodatkiem polietylenu (PE-LD) nie rozdrobnionego (rys. 3.2 B).

A



B



Rys. 3.2. Paliwo na bazie słomy z dodatkiem polietylenu: A – rozdrobnionego, B – nie rozdrobnionego (wyk. M. Kajda-Szcześniak).

4. Charakterystyka badanych odpadów

Wartość energetyczna to jeden z podstawowych parametrów termofizycznych paliw stałych. Z ekologicznego punktu do korzystnych cech paliwa należy niska zawartość części lotnych, popiołu, siarki, przy wysokiej wartości opałowej. W tabeli 4.1 zamieszczono wyniki pomiarów tych parametrów wraz z podstawowymi cechami fizycznymi paliwa z biomasy z dodatkiem PE-LD w porównaniu z węglem kamiennym.

Tabela 4.1. Porównanie właściwości paliwowych odpadów i węgla [11, 21, 23, 24, 25].

Parametry	Jednostka	Słoma	PE-LD	Węgiel kamienny
Zawartość wilgoci	%	9,35	0,13	7,10
Wartość opałowa	MJ/kg	16,11	43,37	28,00
Zawartość substancji lotnych	%	67,98	94,24	26,60
Zawartość popiołu	%	5,00	0,57	12,20
Zawartość siarki	%	0,20	0,21	0,90
Zawartość węgla	%	46,27	88,36	81,00
Zawartość wodoru	%	6,41	15,75	4,80-5,50
Zawartość azotu	%	0,15	0,49	1,10
Zawartość tlenu	%	41,44	0,00	7,00
Zawartość chloru	%	0,53	0,19	0,04-0,40

Wartość opałowa wszystkich rodzajów biomasy zależy od jej wilgotności. Zwiększanie się tego parametru powoduje zmniejszanie się wartości opałowej biomasy. Wartość opałowa słomy, jako paliwa energetycznego uzależniona jest od jej gatunku, wilgotności oraz sposobu przechowywania. Bardziej wskazane jest użycie tzw. słomy szarej, czyli pozostawionej przez pewien czas po ścięciu na działanie warunków atmosferycznych, a następnie wysuszonej. Tak przygotowany materiał charakteryzuje się lepszymi właściwościami energetycznymi oraz mniejszą emisją związków siarki i chloru.

Badana słoma charakteryzuje się wartością opałową rzędu 16,11 MJ/kg przy wilgotności na poziomie 9,35%. Warunkiem dobrego spalania słomy jest niska wilgotność, nieprzekraczająca 18%.

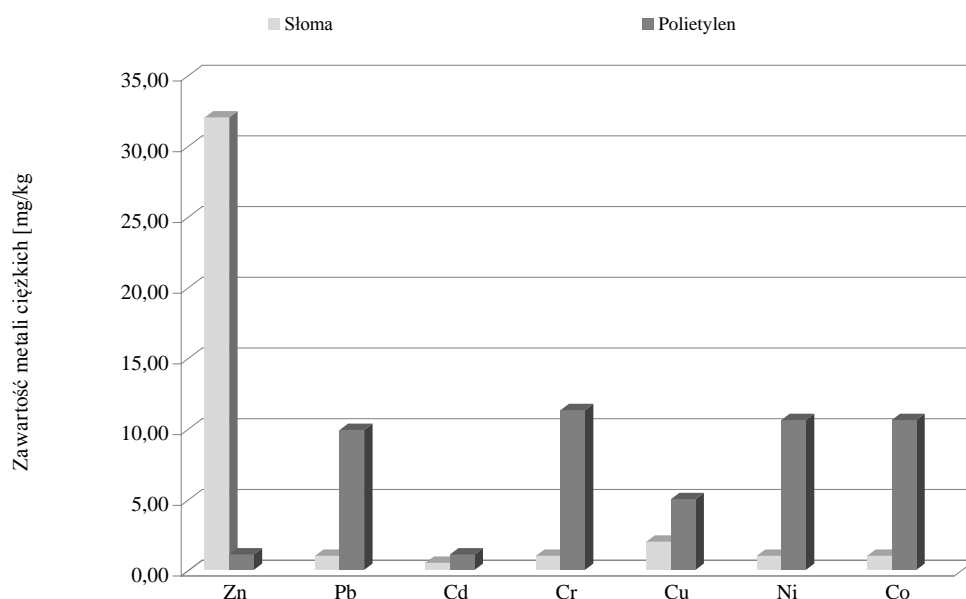
Słoma zawiera około sześciokrotnie więcej tlenu, dwukrotnie mniej węgla, a także mniej siarki i azotu w porównaniu z węglem. Słoma charakteryzuje się też wysoką zawartością chloru. Podczas spalania słomy powstaje dużo części lotnych. Natomiast spalanie węgla wiąże się z większym udziałem popiołu w palenisku.

Badany PE-LD zbudowany jest przede wszystkim z pierwiastka węgla, który stanowi ponad 80%, pozostałe pierwiastki wchodzące w skład PE-LD to wodór, siarka, azot, chlor. Ponadto w porównaniu do węgla PE-LD charakteryzuje się niską zawartością popiołu poniżej 1%, ale wysoką zawartością części lotnych powyżej 90%.

Zawartość analizowanych pierwiastków metali ciężkich w słomie i polietylenie o niskiej gęstości przedstawiono na rysunku 4.1. Słoma, podobnie jak węgiel, charakteryzuje się bardzo wysoką zawartością cynku (32,0 mg/kg s. m dla słomy i 38,4 mg/kg dla węgla.), są to wartości prawie 30-krotnie wyższe niż w polietylenie o niskiej gęstości. Zawartość ołowiu, kobaltu, niklu oraz chromu w słomie była poniżej granicy oznaczalności przyrządu pomiarowego (<1,0 mg/kg s. m).

Zawartość niklu oraz kobaltu w polietylenie była rzędu 10,6 mg/kg s. m., natomiast zawartość ołowiu oznaczono na poziomie 9,9 mg/kg s. m, dla porównania w węglu zawartość tego metalu jest rzędu 14,0 mg/kg. Zawartość cynku oraz kadmu w polietylenie była poniżej granicy oznaczalności przyrządu pomiarowego (<1,1 mg/kg s. m).

Przypuszcza się, że zawartość metali ciężkich w polietylenie jest spowodowana dodatkami np. barwnikami, stabilizatorami, plastyfikatorami, które wprowadzane są na etapie wytwarzania.



Rys. 4.1. Zawartość metali ciężkich w badanych odpadach.

5. Charakterystyka wytworzonego paliwa

Otrzymane w skali laboratoryjnej brykiety są wytwarzane z suchej, rozdrobnionej słomy przez sprasowanie pod wysokim ciśnieniem z dodatkiem substancji wiążącej (polietylen o niskiej gęstości). Wytworzone brykiety mają postać walca o średnicy 25 mm. Przygotowane w ten sposób paliwo cechuje się małym udziałem wody oraz jednolitym kształtem i rozmiarem. W tabeli 5.1 zamieszczono podstawowe właściwości paliwowe brykietów wytworzonych na bazie słomy z 5% dodatkiem PE-LD (lepiszcze), dla porównania zamieszczono również właściwości popularnych w Polsce paliw kopalnych.

Porównując właściwości węgla kamiennego i brunatnego powszechnie stosowanych w energetyce zawodowej i paliwa na bazie słomy można stwierdzić, że jakościowo podstawowy skład jest zbliżony. Różnice występują głównie w udziałach poszczególnych pierwiastków.

Tabela 5.1. Właściwości paliwowe przygotowanych do badań brykietów [21, 22, 24, 25].

Parametry	Jednostka	Paliwo ze słomy i PE-LD	Węgiel brunatny	Węgiel kamienny
Zawartość wilgoci	%	8,89	15,00-55,00	7,10
Wartość opałowa	MJ/kg	17,47	8,50-16,60	28,00
Zawartość części lotnych	%	69,29	45,00 – 65,00	26,60
Zawartość popiołu	%	4,78	10,00-35,00	12,20
Zawartość siarki	%	0,2	0,7 – 7,0	0,9
Zawartość węgla	%	48,38	66,00-73,00	81,00
Zawartość wodoru	%	6,88	5,00-7,00	4,80-5,50
Zawartość azotu	%	0,16	0,70-1,50	1,10
Zawartość tlenu	%	39,37	13,00-25,00	7,00
Zawartość chloru	%	0,51	-	0,04-0,40

Z przeprowadzonych badań wynika, że wartość opałową dla wytworzonego paliwa jest rzędu 17,47 MJ/kg.

Wytworzone paliwo charakteryzuje się niższą zawartością popiołu oraz wyższą zawartością części lotnych na tle węgla kamiennego i brunatnego.

Porównując skład elementarny omawianych paliw zaobserwowano, że wytworzone paliwo cechuje się kilkukrotnie niższą zawartością siarki i azotu w porównaniu z węglem kamiennym i brunatnym. Natomiast zawartość węgla w wytworzonym paliwie wynosiła 48,38%, jest dwukrotnie niższa niż w węglu kamiennym. Z pośród badanych parametrów brykietów na uwagę zasługuje udział chloru, który występował we wszystkich badanych próbkach. Pierwiastek ten w procedurach wysokotemperaturowych jest sprawcą powstawania dioksyn. W paliwie na bazie słomy zawartość chloru jest rzędu 0,5%.

Na potrzeby badań obliczono przykładowe właściwości energetyczne współspalania węgla z wytworzonym paliwem. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wariantów: w pierwszym przypadku rozpatrywano wsad energetyczny, w którym udział paliwa na bazie słomy stanowi 7,5%, w drugim przypadku udział paliwa stanowi 14,0%. Wyniki przeprowadzonych obliczeń wybranych właściwości energetycznych dla procesu współspalania paliwa na bazie słomy z węglem przedstawiono w tabeli 5.2.

Tabela 5.2. Parametry fizykochemiczne paliwa do procesu współspalania.

Parametry	Jednostka	Współspalanie wytworzonego paliwa z węglem		Węgiel kamienny [24, 25]
		dodatek 7,5% paliwa	dodatek 14,0% paliwa	
Zawartość wilgoci	%	7,24	7,35	7,10
Wartość opałowa	MJ/kg	27,21	26,53	28,00
Zawartość części lotnych	%	29,81	32,58	26,60
Zawartość popiołu	%	11,65	11,16	12,20
Zawartość siarki	%	0,85	0,80	0,90
Zawartość węgla	%	78,56	76,43	81,00
Zawartość wodoru	%	5,15	5,26	4,80-5,50
Zawartość azotu	%	1,03	0,97	1,10
Zawartość tlenu	%	9,43	11,53	7,00
Zawartość chloru	%	0,22	0,24	0,04-0,40

Porównując obliczone parametry można jednoznacznie powiedzieć że dodatek paliwa na bazie słomy i polietylenu nie wpływa negatywnie na właściwości paliwowe węgla. Główną zaletą współspalania tych dwóch paliw jest redukcja emisji CO₂. Bilans CO₂ ze spalania słomy jest zerowy gdyż rośliny emitują go tyle ile pobrały w procesie fotosyntezy. Współspalanie biomasy z węglem ma wiele zalet z ekologicznego punktu widzenia gdyż przyczynia się między innymi do: zagospodarowania zalegających odpadów, zmniejszenia szkód w środowisku związanych z wydobyciem paliw kopalnych, wykorzystania lokalnych zasobów energetycznych, a tym samym do decentralizacji wytwarzania energii.

Współspalanie biomasy z węglem można zaliczyć do skutecznych rozwiązań technologicznych przy wdrażaniu OZE w Polsce.

6. Podsumowanie

W oparciu o przedstawione wyniki badań można sformułować następujące wnioski:

- słoma w postaci brykietów może być bardzo atrakcyjnym produktem wykorzystywanym do celów energetycznych gdyż jej wartość opałowa nie odbiega znacznie od wartości opałowej zrębków drewna czy wierzby energetycznej,
- wykorzystanie odpadów roślinnych i odpadowych tworzyw sztucznych do celów energetycznych przyczynia się do znacznego zmniejszenia strumienia wygenerowanych odpadów komunalnych i rolniczych, z których zagospodarowaniem są obecnie problemy,
- w słomie występuje mniejsza zawartość siarki i azotu w porównaniu z węglem, co powoduje mniejszą emisję tlenków siarki i azotu do atmosfery,
- polietylen stanowi dobry materiał o właściwościach wiążących słomę,

- zastosowanie polietylenu odpadowego o niskiej gęstości, jako lepszycza, nie pogarsza wartości energetycznej wytworzonego paliwa,
- uzyskane właściwości paliwa na bazie słomy i PE-LD pozwalają na jego energetyczne wykorzystanie zarówno w procesie spalania jak i współspalania z węglem.

Zastosowanie słomy w energetyce rozproszonej jest rozwiązaniem nadal mało popularnym oraz niedocenianym w Polsce. Biomasa, jako paliwo ma wiele zalet z ekologicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia.

Literatura

1. Demirbas A., Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 31, Issue 2, 2005, ss. 171–192.
2. Eduljee G. H., Organic micropollutants emissions from waste incineration. in: Hester R. E., Harrison R. M. (ed.) – „Waste incineration and the environment”, Royal Society of Chemistry, London 1994.
3. Goldemberga J., Coelho S. T., Renewable energy—traditional biomass vs. modern biomass. *Energy Policy*, Volume 32, Issue 6, April 2004, pp. 711–714.
4. Kotowicz J., Janusz K., Sposoby redukcji emisji CO₂ z procesów energetycznych. *Rynek Energii* nr 1, 2007, ss.10-18.
5. Niedziółka I., Zuchniarz A., Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego. *MOTROL*, 8A, 2006, ss. 232 – 237.
6. Denisiuk W., Słoma – potencjał masy i energii. *Inżynieria Rolnicza* 2(100)/2008, ss. 23 – 30.
7. Dybiec Cz., Panasiuk J., Technologia wytwarzania słomianych brykietów. *Czysta Energia* 7 – 8/2002, ss. 25.
8. Guzek K., Pisarek M., Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne w Polsce. *Czysta Energia* 2/2002, ss. 6 – 7.
9. Kowalik P., Energetyczne wykorzystanie biomasy w Polsce. *Karbo*, nr 3, 1999, ss. 108 – 111.
10. Kaltschmitt M., Hartmann H., *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer, Berlin 2001.
11. Czop M., Biegańska J., Impact of selected chemical substances on the degradation of the polyolefin materials. *CHEMIK*, 66, 2012, ss. 307-314.
12. Tworzywa sztuczne – fakty 2011. Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie w roku 2010, odczyt z http://www.plasticseurope.org/documents/document/20111114105347fakty2011_final.pdf, z dnia 17.06.2012.
13. PN-ISO 1928:2002 Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania metodą spalania w bombie kalorymetrycznej i obliczanie wartości opałowej.
14. PN-G-04523:1992. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości azotu metodą Kjeldahla.
15. PN-ISO 587:2000. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości chloru z zastosowaniem mieszaniny Eschki.
16. PN-ISO 334:1997. Paliwa stałe. Oznaczanie siarki całkowitej - Metoda Eschki.
17. ISO 609:1996. Solid mineral fuels. Determination of carbon and hydrogen - High temperature combustion method.
18. PN-Z-15008-02:1993. Odpady komunalne stałe. Badania właściwości paliwowych. Oznaczanie wilgotności całkowitej.
19. PN-Z-15008-03:1993. Odpady komunalne stałe. Badania właściwości paliwowych. Oznaczanie zawartości części palnych i niepalnych.
20. PN-G-04516:1998. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości części lotnych metodą wagową.

21. Kajda-Szcześniak M., Analiza możliwości wykorzystania wybranej biomasy w procesie formowania paliw. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2008.
 22. 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.
 23. Kajda-Szcześniak M., Wandrasz J. W., Wpływ dodatku tworzywa sztucznego w procesie formowania brykietów ze słomy na ich właściwości termiczne. Ochrona Środowiska, vol. 32, nr 4, 2010, ss. 27-30.
 24. Nadziakiewicz J., Spalanie stałych substancji odpadowych. Wyd. Gnome, Katowice 2001.
 25. Kubica K., Ściążko M., Raińczak J., Współspalanie biomasy z węglem. Odczyt z dnia 11.06.2012, conbiot.ichpw.zabrze.pl/21_Cocombustion_of_coal_and_biomass.pdf.
-

