



Selected physicochemical properties of tested fuels from municipal waste

Monika Czop¹, Dominika BISTUŁA², Szymon NOWAK²

¹ Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska, e mail: Monika.Czop@polsl.pl

² studenci kierunku Inżynieria środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska, email: dominika.bistula@onet.pl; szymnow884@student.polsl.pl

Abstract

The way to deal with the increasing number of waste can be their use in the form of fuel. However, not every waste can be used as an alternative fuel. Flammable municipal waste fractions that differ structurally and in terms of properties can be used for energy production. Therefore, it is necessary to machine them mechanically - that is, optimal balancing and appropriate fragmentation - so as to obtain a homogeneous, mixed and stable mass. As combustible fractions in the fuel, plastics, tires, furniture wood, fabrics, etc. are used. Thanks to this, we can regain the enormous amount of energy contained in them, which reduces the amount of fossil fuels needed for the functioning of the installation. This translates into a significant reduction in the cost of energy production in combined heat and power plants or in cement plants.

Keywords: solid recovered fuel, cement plants, alternative energy sources.

Streszczenie

Wybrane właściwości fizykochemiczne badanych paliw z odpadów komunalnych

Sposobem na poradzenie sobie z narastającą liczbą odpadów, może być ich wykorzystanie w formie paliwa. Jednakże nie każdy odpad nadaje się do wykorzystania jako paliwo. Do produkcji energii można wykorzystywać palne frakcje odpadów komunalnych, które różnią się pod względem strukturalnym, oraz pod względem właściwości. Dlatego niezbędna jest ich obróbka mechaniczna – czyli optymalne zbilansowanie i odpowiednie rozdrobnienie – tak, by otrzymać jednorodną, wymieszaną i stabilną masę. Jako frakcje palne w paliwie wykorzystuje się tworzywa sztuczne, opony, drewno meblowe, tkaniny itp. Dzięki temu możemy odzyskać ogrom energii w nich zawartej, przez co zmniejszeniu ulega ilość paliw kopalnych potrzebnych do funkcjonowania instalacji. Przekłada się to znacząco na obniżenie kosztów wyprodukowania energii w elektrowniach, czy cementu w cementowniach.

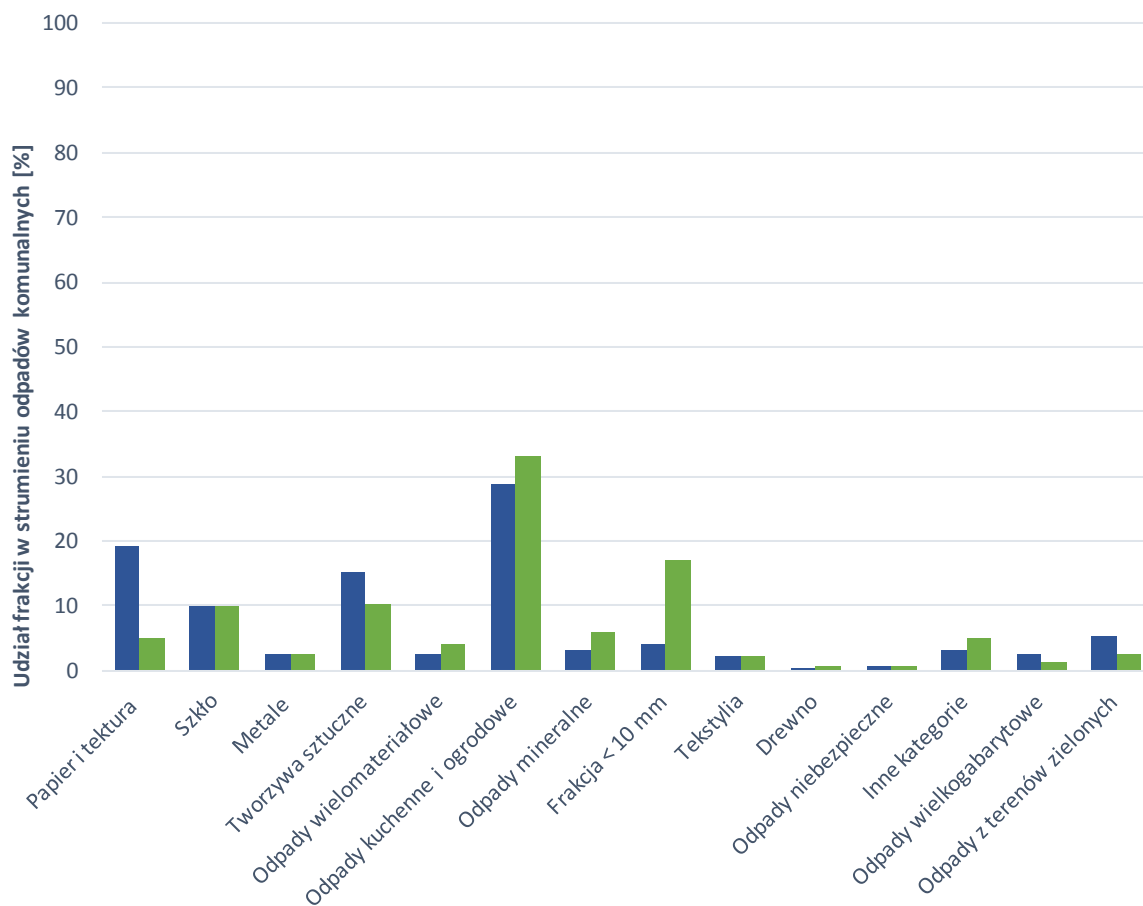
Słowa kluczowe: paliwa z odpadów, cementownie, alternatywne źródła energii.

1. Wstęp

Istnieje duży problem związany z tworzącymi się na skutek istnienia człowieka odpadami. Jest to twór, którego nie da się całkowicie wyeliminować. Stąd trzeba podjąć odpowiednie działania, aby móc zmniejszyć negatywne działanie odpadów na środowisko, a może i przy okazji na tym skorzystać. Ze względu na rosnące zagrożenie związane z odpadami komunalnymi, wprowadzone zostały liczne przepisy (Dyrektywy Unii Europejskiej oraz akty prawne prawa polskiego), które w sposób bardzo surowy opisują działania, jakie należy podjąć [1].

Odpady komunalne są odpadami, które są wytwarzane w gospodarstwach domowych. W dodatku do tego typu odpadów zaliczyć można również odpady produkowane w handlu detalicznym, przedsiębiorstwach, biurach, placówkach oświatowych, medycznych, a nawet administracyjnych. Jednak należy pamiętać o tym, że muszą one przypominać w składzie te odpady, które tworzą się w gospodarstwach domowych. Intensyfikacja odpadów komunalnych wiąże się z ogromnym rozwojem cywilizacji oraz konsumpcjonizmem.

Ilość i skład morfologiczny odpadów komunalnych zależy od miejsca ich powstania, dobytka ludności, konsumpcji wyrobów lub też od pory roku. Oprócz tego związane jest to również z obecnością budynków użyteczności publicznej, czy miejsc handlowych i przemysłowych. Na rys. 1.1 można zauważyć, jakie ilości poszczególnych frakcji odpadów komunalnych zostały zebrane w mieście oraz na terenach wiejskich. Widoczna jest znaczna różnica jeśli chodzi o papier i teksturę, tworzywa sztuczne oraz frakcję < 10 mm.



Rys. 1.1 Zestawienie odpadów komunalnych wytworzonych w dużych miastach z odpadami komunalnymi z terenów wiejskich [2]

Ze względu na to, że z roku na rok, obserwowany jest wzrost ilości powstających odpadów komunalnych, opracowano pewien schemat działania, nazywany hierarchią postępowania z odpadami. Przedstawia się on następująco: na samym szczycie, czyli najbardziej pożądanym działaniem jest zapobieganie powstawaniu odpadów. Jest to bardzo ciężkie do wykonania, ze względu na to, że nie da się w 100 % pozbyć odpadów. Kolejnym etapem jest minimalizacja odpadów, ponowne ich użycie. Najbardziej pożądanym sposobem jest recykling, który staje się coraz bardziej popularny, odzysk energii oraz unieszkodliwianie przez składowanie. Składowanie jest na samym końcu, ponieważ nie daje żadnych dodatkowych korzyści, a zajmuje powierzchnię, którą można wykorzystać inaczej.

Ostatnio coraz bardziej rozpowszechnianym pojęciem staje się gospodarka obiegu zamkniętego, czyli wykorzystanie istniejących odpadów, bez przeróbki, do stworzenia nowego przedmiotu lub urządzenia. Przy podejmowaniu kroków związanych z odpadami należy pamiętać, że recykling ich jest najważniejszym z działań. Dopiero później odzysk energii cieplnej lub elektrycznej, jako dodatkowy atut. Właśnie w związku z tym istnieją badania dotyczące paliw, które mogą posłużyć do wytwarzania energii z odpadów.

2. Paliwo z odpadów

W związku z narastającym problemem dotyczącym ilości wytwarzanych odpadów trwają prace nad zmniejszeniem ich liczby. Jednym z pomysłów są paliwa z odpadów. Są to paliwa inne niż kopalne, nuklearne oraz sztuczne paliwa radioizotopowe. Wytworzone z palnej frakcji odpadów, wykorzystywane w procesach spalania lub współspalania jako źródło energii. Mimo określenia „paliwo” w Polsce to źródło energii jest uznawane jako odpad palny o kodzie 19 12 10.

Przy produkcji paliw z odpadów używa się frakcji o jak największej wartości energetycznej (Tabela 2.1). Do najbardziej kalorycznych należą tworzywa sztuczne, gumy, oleje. Jednakże duża wartość opałowa nie zawsze oznacza, iż dany substrat może zostać użyty – wpływ na to mają także inne parametry takie jak zawartość chloru, czy metali ciężkich.

Tabela 2.1 Wartości opałowe odpadów stosowanych do produkcji paliw z odpadów [3]

Paliwo z odpadów	Wartość opałowa [MJ/kg]
Zużyte opony	29,2
Tworzywa sztuczne	40 – 46
Makulatura	ok. 11
Zużyte drewno	ok. 18
Zużyte rozpuszczalniki	25
Zużyte gumy	30
Zużyte oleje	40
Odpady komunalne	7 – 10
Emulsje wodne skondensowanych węglowodorów	12 – 17
Smoly porafinacyjne, zużyte ziemie wybielające olejów transformatorowych, parafin i wazelin technicznych	21
Węglowodory chlorowane	27
Łupki węglowe	12 – 18
Muły węglowe	12 – 18
Emulsje wodne zneutralizowanych smół rafinacyjnych	16,7
Olejowe zawiesiny ziem wybielających oraz zużytych smarów	27,2
Pozaklasowe zużyte oleje i ich mieszaniny ze zużytymi smarami	33,5

Paliwa z odpadów można podzielić na [3]:

- PAS-r – paliwo stałe rozdrobnione – produkcja tego typu paliwa polega na mechanicznej obróbce odpadu (do osiągnięcia wymaganej przez klienta granulacji). Sam proces jest prosty i polega na segregacji odpadu, mieleniu go, oraz oddzieleniu frakcji bezużytecznej, dzięki czemu otrzymuje się paliwo suche. Wartość opałowa tego typu paliwa oscyluje na poziomie 18-23 MJ/kg.
- PAS-i – paliwo stałe impregnowane – jego produkcja polega na połączeniu paliw płynnych z materiałami chłonnymi w odpowiednich maszynach, w wyniku czego otrzymuje się paliwo półsuche o wartości opałowej na poziomie 8-11 MJ/kg.
- Paliwo płynne – powstają w wyniku oczyszczenia, wymieszania, i uśrednienia odpadów płynnych. Jest to najbardziej energetyczny rodzaj paliwa (wartość opałowa w przedziale 30-36 MJ/kg).

Aby zmniejszyć rozbieżności pomiędzy produkowanymi w różnych miejscach paliwami z odpadów oraz otrzymaniu jednakowego (pod względem jakości) produktu Komitet Techniczny CEN/TC 343 wydał w ostatnich latach specyfikacje i raporty techniczne, uznane jako normy ujednolicające zasady klasyfikacji i metody badań paliw z odpadów. Normy te określają paliwo z odpadów (ang. Solid Recovered Fuel – SRF) jako: „stałe paliwo wyprodukowane z odpadów innych niż niebezpieczne, przetwarzane poprzez odzysk energii w odpowiedniej instalacji”. Dokument określił także pięć klas, wg których można zakwalifikować dane paliwo z odpadów (Tabela 2.2). Klasy dotyczą na trzech parametrów: zawartości chloru, zawartości rtęci, oraz wartości opałowej, co można rozumieć jako wartość technologiczną, środowiskową i ekonomiczną [3,4].

Tabela 2.2 System klasyfikacji paliw z odpadów wg CEN [5,6]

Parametr klasyfikacyjny	Pomiar statystyczny	Jednostka	Klasa				
			1	2	3	4	5
Wartość opałowa	Średnia	[MJ/kg] Stan roboczy	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Chlor (Cl)	Średnia	[%] Stan suchy	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	≤ 3
Rtęć (Hg)	Mediana 80-ty percentył	[mg/MJ] Stan roboczy	$\leq 0,02$ $\leq 0,04$	$\leq 0,03$ $\leq 0,06$	$\leq 0,08$ $\leq 0,16$	$\leq 0,15$ $\leq 0,30$	$\leq 0,50$ $\leq 1,00$

Wartość opałowa jest pierwszym z trzech najważniejszych parametrów klasyfikujących dane paliwo. Dla producentów paliw bardzo ważne jest by otrzymać paliwo o wymaganych przez klienta parametrach. Tymczasem skład odpadów jest bardzo zróżnicowany: od substancji o wysokiej kaloryczności (tworzywa sztuczne, drewno, tekstylia czy papier), przez substancje o zerowej kaloryczności (jak szkło i frakcje metali) określane jako balast, po materiały o ujemnej wartości kalorycznej (zawierające wilgoć). Optymalna wartość opałowa przekracza 20 MJ/kg, przy jednoczesnej zawartości wilgoci poniżej 15%.

Drugim z parametrów jest zawartość chloru w odpadzie. Wpływa on na aspekt technologiczny, ale także na temperaturę wymaganą w prowadzonym procesie termicznym. Duża zawartość chloru w odpadach prowadzić może do korozji instalacji. By uniknąć tego zjawiska w produkowanych paliwach unika się np. tworzyw PVC, zastępując je tworzywami PP, PE o niskiej zawartości chloru. Dla cementowni, które są głównymi odbiorcami tego typu paliw, istotnym jest by zawartość chloru nie przekraczała 1%.

Ostatnim z parametrów, jest zawartość rtęci (Hg). Istotność tego problemu wynika z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r., które mówi o standardach dotyczących emisji gazów i pyłów wprowadzanych do atmosfery. Cementownie zaznaczają by zawartość rtęci w paliwie nie przekraczała 2500mg/kg. Problemem jest nie tylko rtęć dostająca się wtedy atmosfery, ale także ta związana w popiele, który trafia w struktury cementu.

3. Cementownie – główny odbiorca paliw.

Paliwa z odpadów z racji swojego charakteru nie mają wielu możliwości zbytu w Polsce. W elektrowniach i elektrociepłowniach paliwa z odpadów stanowią mały odsetek używanych źródeł energii. Głównym odbiorcą paliw z opadów są cementownie. Te ogromne zakłady przemysłowe produkujące cement, wymagają ogromnych ilości energii, która jest potrzebna do mielenia surowców (marglu, wapienia, czy gliny), suszenia zmielonych produktów. Jednakże największą ilość energii pochłania piec cementowy, w którym wypalany jest klinkier. W Polsce funkcjonuje 12 cementowni oraz jedna przemysłownia.

Przekłada się to na 17 pieców do produkcji klinkieru metodą suchą oraz 7 pieców do produkcji metodą mokrą. Potencjał produkcyjny polskich cementowni jest ogromny, lecz z braku popytu cementownie produkują ok. 42 tysiące Mg cementu/dobę.

Ilość energii elektrycznej, która jest potrzebna do wytworzenia jednego Mg cementu waha się w okolicach ok. 100 kWh. Wg danych statystycznych (Tabela 3.1) zużycie ciepła w instalacjach cementowniczych oscyluje na podobnym poziomie, przy jednoczesnym spadku zużycia węgla. Oznacza to, że cementownie muszą pobierać energię z innego źródła – z paliw z odpadów. Na chwilę obecną ciepło pozyskiwane z odpadów wynosi ok. 40% zapotrzebowania cementowni, gdzie jeszcze w 2000r. ciepło z paliw z odpadów oscylowało na poziomie 2%. Ten duży wzrost spowodowany jest z coraz lepszymi jakościowo paliwami, ale także powodują go względy ekonomiczne – ceny paliw z odpadów są kilkukrotnie (lub nawet kilkunastokrotnie) niższe niż cena węgla.

Tabela 3.1 Zużycie energii w cementowniach w latach 2010-2014 [7]

	2010	2011	2012	2013	2014
Zużycie węgla (tys. Mg)	961,7	1202,5	919,5	776,1	792,8
(Zużycie energii elektrycznej (kWh/Mg cementu))	100,1	101,8	103,9	104,4	103,2
Zużycie ciepła na wypał (kJ/kg cementu)	3712,0	3823,0	3766,0	3722,0	3710,0

4. Metodyka badań

Badane paliwo z odpadów zostało poddane analizie, zostało przebadane zgodnie z procedurami opisanymi w normach zaprezentowanych w Tabeli 4.1:

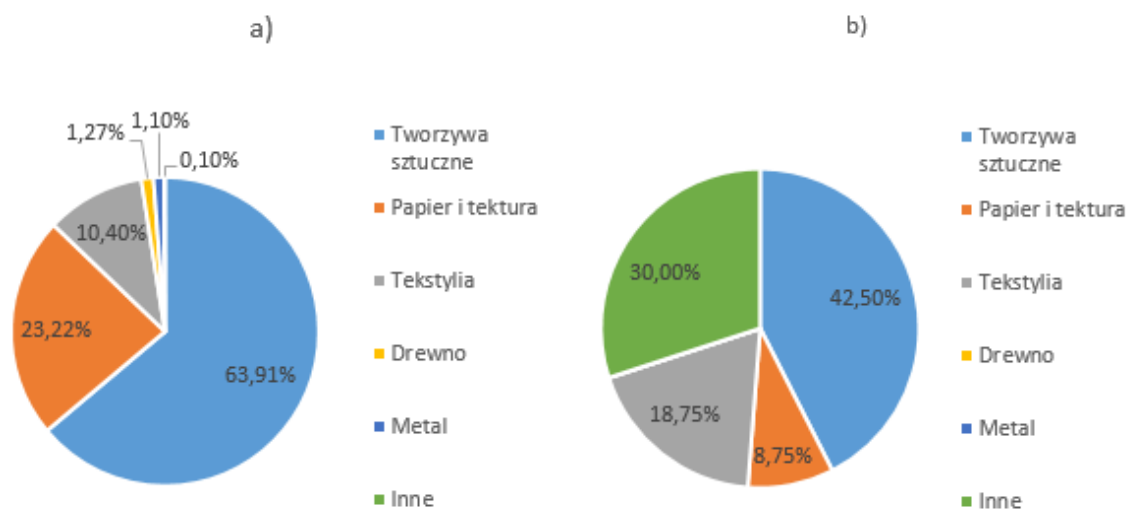
Tabela 4.1 Normy zastosowane do analizy paliw z odpadów

Parametr	Jednostka	Symbol	Norma
Oznaczanie wilgotności całkowitej	%	W_c	PN-ISO 579:2002
Oznaczanie zawartości wilgoci metodą suszarkową	%	W_a	PN-ISO 687:2002
Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości	MJ/kg	W_g, W_d	PN-EN 15400:2011
Oznaczanie zawartości popiołu.	%	A	PN-EN 15403:2011
Oznaczanie zawartości części lotnych.	%	V_l	PN-EN 15402:2011
Metody oznaczania zawartości węgla (C), wodoru	%	C, H	PN-EN 15407:2011
Oznaczanie zawartości azotu metodą Kjeldahla.	%	N	PN-G-04523:1992
Oznaczanie siarki całkowitej. Metoda Eschki	%	S	PN-ISO 334:1997
Oznaczanie zawartości chloru z zastosowaniem mieszaniny Eschki	%	Cl	PN-ISO 587:2000
Metoda absorpcyjnej spektrometrii atomowej z generowaniem zimnych par rtęci	mg/kg	Hg	Procedura IChPW Q/LP/54/A: 2011

5. Charakterystyka paliwa

Badaniu zostały poddane paliwo wytworzone z odpadów komunalnych. Na rysunku 5.1 widoczny jest rozdział przedmiotu badania na poszczególne frakcje.

Największy procent badanego paliwa z odpadów stanowi frakcja tworzywa sztucznego (prawie 64%), do której należą między innymi: reklamówki, gumy, tzw. „twardy plastik” czy butelki PET. Kolejną pod względem liczności grupę stanowi papier i tektura, czyli wszelkiego rodzaju gazety, kartki, opakowania kartonowe, ulotki. W dalszej kolejności są tkaniny, a później metal, drewno oraz inne, które oscylują pomiędzy 1%. Do grupy innych należą zanieczyszczenia takie jak kamienie i pył.



Rys. 5.1 Procentowe przedstawienie składu morfologicznego omawianych paliw z odpadów: a) paliwo badane, b) inne paliwo służące porównaniu

Otrzymane do badań paliwo zostało podzielone na dwie grupy: jako paliwo surowe, czyli takie które będzie produktem przeznaczonym dla cementowni, oraz frakcja rozdrobniona mechanicznie przeznaczona do badań laboratoryjnych. Wygląd poszczególnych paliw przedstawiają rysunki 5.2 - 5.3. Dla porównania na rysunkach 5.4 - 5.5 przedstawiono paliwo 2 w stanie rozdrobnionym oraz surowym.



Rys. 5.2 Paliwo 1 w stanie surowym



Rys 5.3 Paliwo 1 w stanie rozdrobnionym



Rys. 5.4 Paliwo 2 w stanie surowym



Rys. 5.5 Paliwo 2 w stanie rozdrobnionym

6. Wyniki badań

W tabelach 6.1 oraz 6.2 przedstawione zostały parametry wybranych paliw z odpadów komunalnych. Dla porównania zamieszczono dane paliwa konwencjonalnego. [8].

Tabela 6.1 Parametry wybranych paliw z odpadów w stanie analitycznym

Parametr	Jednostka	Paliwo 1	Paliwo 2	Węgiel
Wilgotność paliwa	%	4,38	3,04	3,80
Ciepło spalania	$\frac{MJ}{kg}$	26,99	23,66	24,04
Wartość opałowa	$\frac{MJ}{kg}$	24,43	22,30	23,06
Zawartość popiołu	%	15,20	7,56	16,50
Zawartość części palnych	%	84,80	89,40	77,00
Wodór	%	9,20	4,27	*
Rtęć	$\frac{mg}{MJ}$	0,015	0,400	*
Zawartość azotu ogólnego	%	0,71	1,10	0,57
Zawartość chloru	%	0,71	0,51	*
Zawartość siarki	%	0,66	0,59	1,44
Straty prażenia	%	11,72	*	*
Części lotne	%	68,23	79,06	29,23

* - brak danych

Tabela 6.2 Parametry wybranych paliw z odpadów w stanie roboczym

Parametr	Jednostka	Paliwo 1	Paliwo 2	Węgiel
Wilgotność całkowita	%	20,50	22,47	19,26
Gęstość nasypowa	$\frac{kg}{m^3}$	342,50	27,50	*
Ciepło spalania	$\frac{MJ}{kg}$	20,39	18,34	20,30
Wartość opałowa	$\frac{MJ}{kg}$	17,83	14,22	19,11
Zawartość części palnych	%	62,00	69,31	65,07
Zawartość popiołu	%	11,11	5,86	15,66
Wodór	%	7,64	3,54	*
Rtęć	$\frac{mg}{MJ}$	0,013	0,330	*

* - brak danych

Porównywane paliwa z odpadów pochodzą z różnych instalacji, lecz powstały ze strumienia odpadów komunalnych. Dla badanych paliw można zaobserwować różnice pomiędzy poszczególnymi parametrami. Zawartość wilgotności całkowitej oscyluje w okolicach 20%. Paliwo 1 w stanie roboczym posiada wartość opałową na poziomie 17,83 MJ/kg, natomiast paliwo 2 zaledwie 14,22 MJ/kg. Wartość opałowa obu paliw z odpadów jest i tak niższa niż wartość opałowa węgla – 19,11 MJ/kg. Dużą różnicę można zauważyć przy gęstości nasypowej paliwa. Paliwo 1 ma kilkakrotnie większą gęstość (342,5 kg/m³) od paliwa 2 (27,5 kg/m³). Różnice występują także w ilości rtęci oraz wodoru. Podobieństwa można zauważyć w zawartości części palnych, które kształtują się na poziomie 60%, oraz części lotnych powyżej kilkudziesięciu procent. Dla porównania części lotne przy spalaniu węgla wynoszą 29,23 %, co jest wartością ponad dwukrotnie mniejszą niż w przypadku paliw z odpadów. Azot występujący w porównywanych paliwach, występuje w większej ilości w paliwach z odpadów niż w węglu (nawet dwukrotnie więcej). Natomiast siarka występuje w ilościach mniejszych w paliwach z odpadów niż w węglu, gdyż jest jej około 0,6 %, a w węglu nawet 1,44%.

W tabeli 6.3 przedstawiono za wartości składników agresywnych w badanym paliwie.

Tabela 6.3 Zawartość składników agresywnych w badanym paliwie z odpadów

Parametr	Jednostka	Paliwo 1
Zawartość SO ₂	$\frac{mg}{kg}$	p.o
Zawartość HCl	$\frac{mg}{kg}$	26192,58
	%	2,62

p.o – poniżej progu oznaczalności

Przeprowadzone badania wykazały, że zawartość SO₂ w badanym paliwie znajduje się poniżej progu oznaczalności, natomiast zawartość HCl, która kształtuje się na poziomie 2,62%, podczas gdy dopuszczalna wartość nie powinna przekraczać 1%.

W tabeli 6.4 przedstawione są wyniki odnośnie klasy paliwa 1 oraz 2.

Tabela 6.4 Klasa paliwowa

	Wartość opałowa, [$\frac{MJ}{KG}$]	Chlor, [%]	Rtęć, [$\frac{mg}{MJ}$]
PALIWO 1			
Wartość	17,83	0,71	0,015
Klasa	3	3	1
PALIWO 2			
Wartość	14,22	0,51	0,33
Klasa	4	2	5

Na podstawie przeprowadzonej analizy paliwa przydzielono do klas zgodnie z normą [6]. Paliwo 1 można zaklasyfikować do klasy 331. Z kolei paliwo 2 ma klasę 425, co pokazuje, że jest to paliwo o gorszych parametrach niż paliwo 1.

7. Podsumowanie

Narastająca ilość odpadów, generuje z ich bezpiecznym zagospodarowaniem. Jednym z pomysłów są paliwa z odpadów. Do ich produkcji używa się palnych frakcji odpadów, w szczególności tworzyw sztucznych, gumy, olejów. Ich wysoka kaloryczność oraz powszechność sprawia, że jest to dobry surowiec. W ten sposób można wyprodukować paliwo o wysokiej wartości opałowej, jednocześnie pozbywając się najliczniejszej grupy odpadów.

Głównym odbiorcą paliw z odpadów w Polsce są cementownie. Używa się w nich przeważnie paliw typu RDF – jest to paliwo suche, rozdrobnione, wytworzone z odpadów komunalnych i przemysłowych, paliw stałych impregnowanych, a także opon. Paliwa te muszą spełniać odpowiednie wymagania, głównie dotyczące wilgotności, zawartości chloru oraz wartości opałowej.

Zawartość wody (wilgotność) powinna mieć wartość niższą od 23%. Jest to spowodowane późniejszym procesem spalania paliwa, oraz jego kalorycznością czyli ciepłem spalania i wartością opałową. Im bardziej zawilgocone jest paliwo tym gorzej ulega procesowi spalania i uzyskana ilość energii jest mniejsza. Stąd cementownie niechętnie kupują zawilgocone paliwo z odpadów, a cena w takim wypadku jest znacznie mniejsza od paliwa spełniającego postawione kryteria. Wilgotność najpopularniejszego źródła energii – węgla kamiennego – wynosi ok. 19%, natomiast badanego paliwa z odpadów wynosi 20,50%. Dla porównania wilgotność innego paliwa z odpadów wynosi 22,47%. Na podstawie podanych wartości można potwierdzić, że badane paliwo z odpadów spełnia warunek narzucony przez cementownie.

Kolejnym ważnym parametrem jest wartość opałowa paliwa. W tym wypadku wartość ta powinna być większa od 18 MJ/kg. Należy zwrócić uwagę, że otrzymane wyniki są podane dla stanu analitycznego, a następnie przeliczone na stan roboczy, natomiast wymagania dotyczą wartości opałowej dla stanu roboczego. Badane paliwo z odpadów posiada wartość opałową 17,83 MJ/kg, co nie spełnia warunków stawianych przez cementownie. Również porównywane w tabelach paliwo z odpadów nie spełnia tego kryterium. Jedynie węgiel kamienny osiąga wymaganą wartość opałową.

Trzeci parametr, na który należy zwrócić uwagę to zawartość chloru. Wartość ta dla cementowni nie może przekraczać 0,7 %. Badane paliwo z odpadów przekracza tę wartość o 0,1 %, co już powoduje, że nie spełnia wymagań. Porównywane paliwo natomiast spełnia kryteria, co trudno powiedzieć w wypadku węgla kamiennego, gdyż tu zawartość chloru jest różna w zależności od położenia geograficznego złoża (od 0,1 do 1 %).

Innym parametrem, na który należy zwrócić uwagę są pozostałości po spalaniu paliwa, czyli popiół. W cementowniach jest on włączany w struktury cementu, dlatego jego ilość nie stanowi problemu, natomiast w elektrociepłowniach powinno go powstawać jak najmniej. Badane podczas projektu paliwo po spalaniu pozostawia po sobie ok. 11% popiołu, co w porównaniu do węgla (15,66%) jest dobrym wynikiem. Zawartość popiołu w paliwach z odpadów zależy bardzo mocno od ich składu, stąd ciężko ograniczyć go do minimum lub utrzymać na stałym poziomie.

Składniki agresywne takie jak siarka (w postaci SO_2) i chlor (w postaci chlorowodoru - HCl) powodują niszczenie, korozję instalacji w których spalane są paliwa z odpadów. Badane paliwo zawierało siarkę poniżej progu oznaczalności, natomiast chlorowódor został oznaczony na poziomie 2,52%. Aby móc wykorzystywać paliwo w cementowniach zawartość HCl nie powinna przekraczać 1%.

Odnosząc się do klasyfikacji paliw z odpadów wg CEN, badane paliwo ma klasę 3 3 1.

8. Literatura

1. Bistula, D. (2018). Projekt inżynierski: Analiza zanieczyszczeń w popiele ze spalarni odpadów komunalnych, Gliwice.
 2. Jędrzak A. (2010). Analiza dotycząca ilości wytwarzanych oraz zagospodarowanych odpadów ulegających biodegradacji, Zielona Góra.
 3. J. Walendziewski, M. Kałużyński, A. Surma (2007). Określenie potencjału odpadów i ich rodzajów do produkcji stałych paliw alternatywnych, Politechnika Wroclawska.
 4. van Tubergen J., Glorius T., Waeyenbergh, E. (2005). Classification of solid recovered fuels, European Recovered Fuel Organisation.
 5. EN-15359:2010. Solid recovered fuels. Specification and classes.
 6. PN-EN 15359:2012. Stałe paliwa wtórne – Wymagania techniczne i klasy.
 7. Stowarzyszenie producentów cementu: Przemysł cementowy w liczbach 2017. [online: <http://polskicement.pl/files/Pages/490/uploaded/informator%202017%20www2.pdf>], dostęp w internecie: 20.12.2018.
 8. Nowak, Sz. (2018). Projekt inżynierski: Paliwa alternatywne szansą na bezpieczne zagospodarowanie wysokoenergetycznej frakcji odpadów komunalnych, Gliwice.
-