



## Determination of the fuel properties of selected packaging waste from the municipal sector

Monika Czop<sup>1</sup>, Ewa Błaszczuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, [Monika.Czop@polsl.pl](mailto:Monika.Czop@polsl.pl), tel. 32 237 21 04, [Ewa.Blaszczuk@polsl.pl](mailto:Ewa.Blaszczuk@polsl.pl),

### Abstract

Plastic is a very popular material and not expensive to obtain. Therefore, it is widely used in many branches of life. In Europe the largest where plastics are used is a packaging sector, which covers 39,4% of the total demand for plastics. On this basis we may state that the plastic more and more replaces traditional packaging such as: glass, metal, wood or paper. In 2012 the amount of the polymer wastes produced in Europe reached a level of 25,2 M of Mg. Among plastic wastes the most dominant packaging wastes which constitute 62,2% of all the wastes of this type. The article presents basic fuelling properties of polymer wastes from the packaging sector. Tested wastes belong to the polyolefin group: polypropylene (PP) and polyethylene (PE), which constitutes one of the most popular and most numerous groups of plastics. In the last years we observe a gradual decrease of the amount of polymer wastes directed to landfills. In spite of the various actions which are undertaken, still 38,1% of plastic wastes is directed to landfills. In order to obtain a goal to have in Europe "Zero plastics wastes in landfills by 2020" more decisive actions should be made.

**Keywords:** plastic, waste, polymers, polyolefin, polyethylene, polypropylene, fuel properties.

### Streszczenie

Określenie właściwości paliwowych wybranych odpadów opakowaniowych z sektora komunalnego

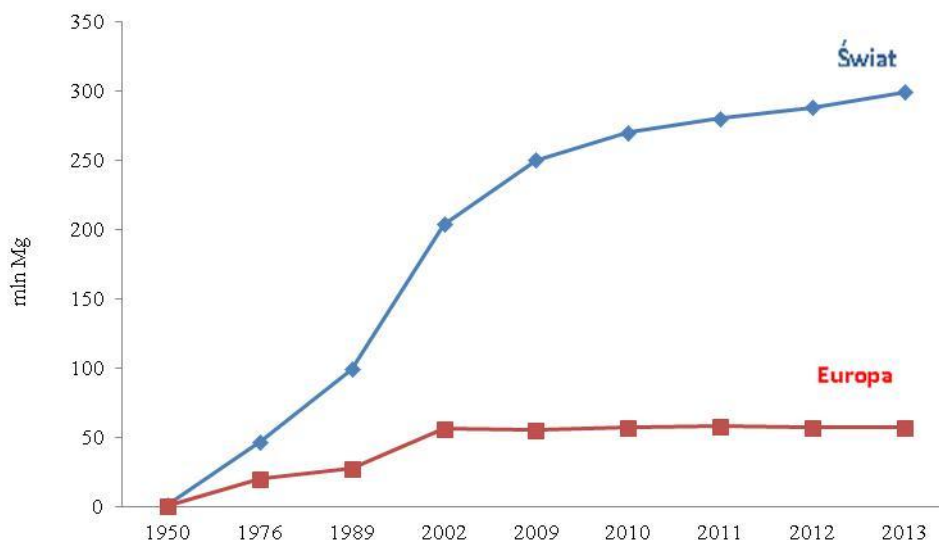
Tworzywo sztuczne jest bardzo popularnym i niedrogim w pozyskaniu materiałem, z tego względu jest powszechnie wykorzystywane w różnych dziedzinach życia. W Europie największym obszarem zastosowań tworzyw sztucznych jest sektor opakowań, który odpowiada za 39,4% ogólnego zapotrzebowania na tworzywa sztuczne. Na tej podstawie można stwierdzić, że tworzywo sztuczne coraz częściej zastępuje tradycyjne materiały opakowaniowe takie jak: szkło, metal, drewno czy papier. W 2012 roku ilość wytworzonych odpadów polimerowych w Europie osiągnęła poziom 25,2 miliona Mg. Wśród odpadów z tworzyw sztucznych dominują odpady opakowaniowe, stanowiące 62,2% wszystkich odpadów tego typu. W artykule przedstawiono podstawowe właściwości paliwowe odpadów polimerowych z sektora opakowaniowego. Badane odpady pochodzą z grupy poliolefin: polipropylen (PP) oraz polietylen (PE), które stanowią jedną z najpopularniejszych i najliczniejszych grup wśród tworzyw sztucznych. W ciągu ostatnich lat obserwuje się systematyczny spadek ilości odpadów polimerowych kierowanych na składowiska. Pomimo różnych działań ciągle jeszcze na składowiska trafia 38,1% odpadów tworzyw sztucznych. Aby realny stał się do osiągnięcia cel w Europie „zero odpadów tworzyw sztucznych na składowiskach do roku 2020”, należy podjąć bardziej zdecydowane działania.

**Słowa kluczowe:** tworzywo sztuczne, odpady, polimery, poliolefiny, polietylen, polipropylen, właściwości paliwowe.

### 1. Wstęp

Obserwując ostatnie 150 lat można śmiało powiedzieć, że materiały polimerowe umożliwiły powstawanie innowacji i przyczyniały się bezpośrednio do rozwoju społeczeństwa oraz wzrostu jego dobrobytu. Z roku na rok produkcja tworzyw sztucznych na świecie, jak i w Europie diametralnie rośnie (rys.1.1). W 2013 roku światowa produkcja tworzyw sztucznych osiągnęła poziom blisko 299 mln Mg, oznacza to wzrost o 3,9% w odniesieniu do roku 2012. Natomiast w Europie, po odnotowaniu gwałtownego spadku w 2009 roku, produkcja tworzyw w 2013 roku ustabilizowała się i jest aktualnie na poziomie zbliżonym do poziomu z roku 2002 [1, 2].

Wzrost produkcji tworzyw sztucznych na światowych rynkach związany jest z niedrogim kosztem ich wytwarzania, lekkością oraz możliwością dopasowania tworzyw sztucznych do późniejszych potrzeb ich wykorzystania.



Rys. 1.1. Światowa produkcja tworzyw sztucznych w poszczególnych latach [1]

Tworzywa sztuczne znajdują zastosowanie w niemalże wszystkich dziedzinach gospodarczych, z powodzeniem zastępują tradycyjne materiały opakowaniowe. Surowiec ten jest wykorzystywany na przykład do produkcji opakowań jednorazowego użytku, butelek, pojemników na odpady, opakowań na kosmetyki jak również przy produkcji obudów sprzętów AGD i RTV [2]. Materiał ten jest bardzo rozpowszechniony i popularny, co wiąże się z coraz większą ilością odpadów z tworzyw sztucznych, szczególnie w sektorze odpadów komunalnych.

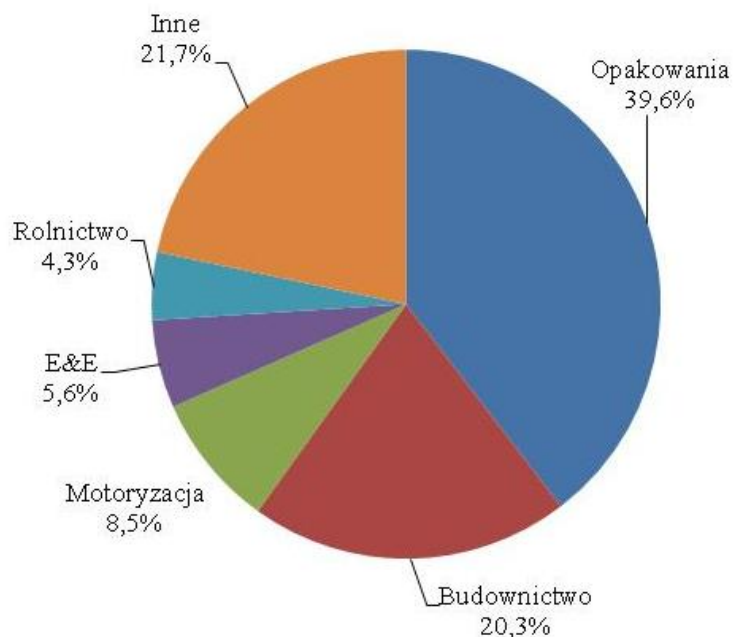
Ze względu na ich trwałość pozbycie się odpadowych polimerów jest problematyczne, gdyż pozostają w środowisku przez bardzo długi czas [3]. Zrównoważona gospodarka odpadami z tworzyw sztucznych to nie tylko wyzwanie, lecz również źródło nowych możliwości surowcowych i energetycznych. Obecnie zaledwie ułamek odpadów z tworzyw sztucznych jest poddawany recyklingowi, pomimo że jest to materiał w pełni przetwarzalny [3].

## 2. Analiza ilościowa opakowaniowych tworzyw sztucznych

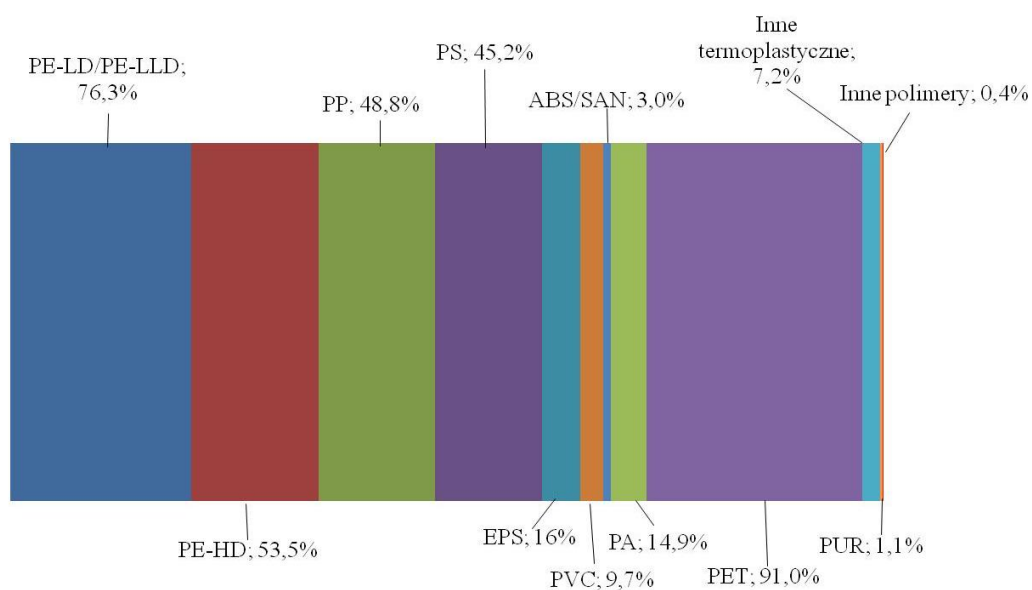
Duży rozwój tworzyw sztucznych sprawił, że odgrywają one znaczącą rolę w wielu gałęziach gospodarki. Wzmożona produkcja wyrobów wykorzystujących tworzywa sztuczne, powoduje zwiększenie ilości odpadów w procesie ich przetwarzania oraz wzrost ilości produktów zużytych, które trafiają często na składowiska [2]. Jak wskazują statystyki, produktów z tworzyw sztucznych na świecie jest coraz więcej, dlatego problem odpadowych tworzyw sztucznych jest z roku na rok większy. I chociaż zdaje się to być problematyką lokalną, tak naprawdę jest to już problem na skalę globalną. Związane jest to między innymi z zastąpieniem standardowych materiałów produkcyjnych takich jak: drewno, szkło czy metal na nowe, tańsze rozwiązania, które wykorzystują tworzywa sztuczne. Kupując jogurt, wodę bądź też inny produkt, który znajduje się w opakowaniach, rzadko można spotkać się z szklaną butelką lub kubkiem. Najczęściej podstawowe produkty spożywcze czy kosmetyczne są w opakowaniach z różnego typu tworzyw sztucznych. Największe znaczenie we współczesnej produkcji mają poliolefiny, polichlorek winylu (PVC), polistyren (PS) oraz politereftalan etylenu (PET) [2,4].

W Europie największym obszarem zastosowań tworzyw sztucznych jest sektor opakowań, który stanowi prawie 40% ogólnego zapotrzebowania na tego typu materiał. Na rysunku 2.1 przedstawiono ogólne europejskie zapotrzebowanie na tworzywa sztuczne dla poszczególnych segmentów gospodarczych w 2013 roku.

a)



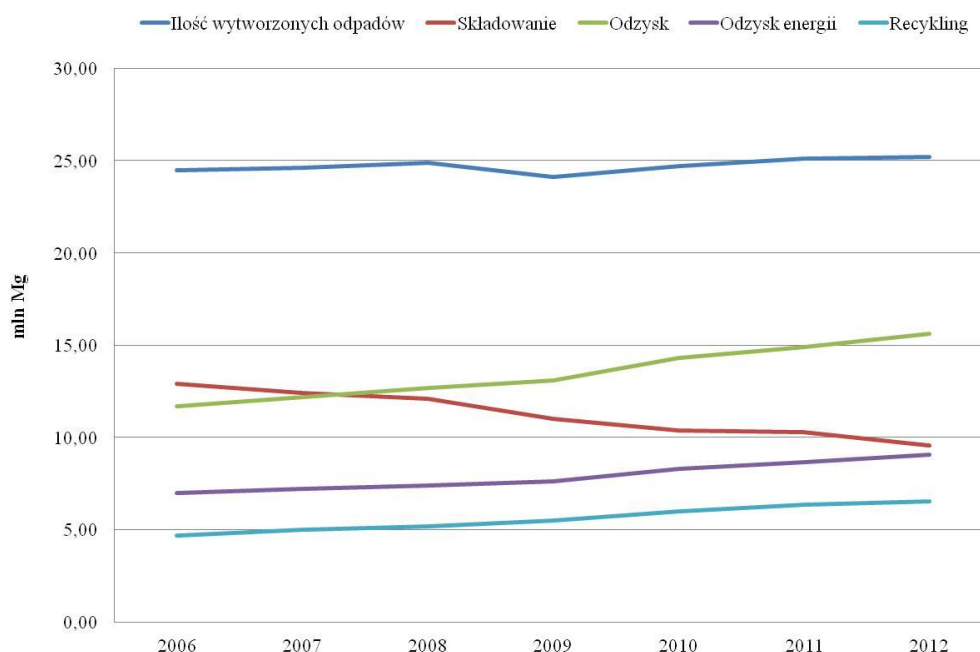
b)



Rys.2.1. Zużycie tworzyw sztucznych w Europie w 2013 roku a) zużycie b) struktura zastosowań poszczególnych polimerów w opakowaniach [1,5]

Wykorzystanie odpadów z tworzyw sztucznych w krajach Unii Europejskiej po upływie okresu ich użytkowania ulega ciągłej poprawie, coraz mniejsza ich ilość kończy swój cykl życia na składowisku.

Każdego roku w państwach członkowskich obserwowana jest korzystna tendencja w odniesieniu do poziomów odzysku i recyklingu odpadowych tworzyw sztucznych (Rys.2.2).



Rys.2.2. Sposoby zagospodarowania odpadów tworzyw sztucznych w EU27 plus Norwegia i Szwajcaria [1]

Zagospodarowanie wszystkich pokonsumenckich odpadów z tworzyw sztucznych w Europie w 2012 roku kształtowało się następująco: 26,3% odpadów było poddawane recyklingowi mechanicznemu, 0,3% skierowano do recyklingu surowcowego, 35,6% poddawano odzyskowi energii, natomiast 38,1 % odpadów trafiło na składowiska. Nieustannie dąży się do optymalizacji systemu w taki sposób, aby odpady z tworzyw sztucznych były w 100% ponownie wykorzystywane [4].

Największą liczbę pokonsumenckich odpadów z tworzyw sztucznych pozyskuje się z sektora opakowaniowego. Szacuje się, że w Europie w roku 2012 poddanych recyklingowi mechanicznemu zostało 5,3 mln Mg odpadów opakowaniowych, 80 tys. Mg wprowadzono do recyklingu surowcowego, a 5,4 mln Mg poddano odzyskowi energii, bezpośrednio w spalarniach lub jako paliwo alternatywne.

Na uwagę zasługuje fakt, że wszystkie kraje członkowskie Unii Europejskiej w roku 2012, z wyjątkiem Malty, osiągnęły 22,5% poziom odzysku opakowań. Natomiast takie kraje jak Niemcy, Austria, Luksemburg, Belgia, Szwecja, Dania i Holandia, a także Norwegia i Szwajcaria, osiągnęły poziom odzysku tworzyw sztucznych w zakresie od 90% do 100%. Tak wysokie poziomy odzysku zostały osiągnięte poprzez wprowadzenie zakazu deponowania na składowiskach odpadów z tworzyw sztucznych. Wymienione kraje są pozytywną odpowiedzią na założony w Europie cel - „Zero odpadów z tworzyw sztucznych na składowiskach w 2020 roku” [1,2,6].

### 3. Charakterystyka badanych odpadów opakowaniowych

Celem artykułu jest określenie podstawowych właściwości odpadowych opakowań polimerowych wysegregowanych ze strumienia komunalnego pod kątem wykorzystania ich, jako substratu do stałego paliwa wtórnego (SRF). Odpady użyte do badań pochodzą z typowych gospodarstw domowych, ze względu na swój charakter, np. zabrudzenia oraz specyfikę prowadzenia zbiórki „u źródła” nie nadają się do recyklingu materiałowego. Należy dodać, że są to odpady opakowaniowe po produktach spożywczych oraz kosmetycznych. Głównie to poliolefiny takie jak: polipropylen (PP) oraz polietylen miękki (LDPE) i twardy (HDPE). Na potrzeby analityki opakowania zostały rozdrobnione mechanicznie.

### 4. Określenie właściwości paliwowych wybranych odpadów opakowaniowych z sektora komunalnego

Celem części badawczej pracy było określenie właściwości paliwowych wybranych odpadów opakowaniowych z sektora komunalnego. Badania właściwości paliwowych przeprowadzono zgodnie z normami, przedstawionymi w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Normy, wg których oznaczono właściwości paliowe badanych odpadów opakowaniowych

Właściwości paliwowe	Jednostka	Symbol	Norma
Oznaczanie wilgotności całkowitej.	%	W	PN-Z-15008-02:1993P
Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.	kJ/kg	W <sub>d</sub>	PN-Z-15008-04:1993P
Oznaczanie zawartości popiołu.	%	A	PN-EN 15403:2011E
Oznaczanie zawartości części lotnych.	%	V <sub>l</sub>	PN-EN 15402:2011E
Oznaczanie zawartości węgla i wodoru.		C, H	PN-Z-15008-05:1993P
Oznaczanie zawartości azotu metodą Kjeldahla.	%	N	PN-G-04523:1992P
Oznaczanie siarki całkowitej. Metoda Eschki.	%	S	PN-ISO 334:1997P
Oznaczanie zawartości chloru z zastosowaniem mieszaniny Eschki.	%	Cl	PN-ISO 587:2000P
Oznaczanie temperatury zapłonu i palenia – Metoda otwartego tygła Clevelanda.	°C	T	PN-EN ISO 2592:2008P

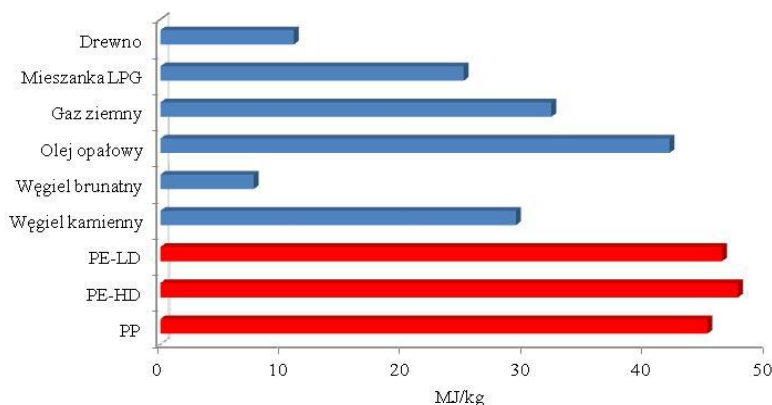
## 5. Wyniki badań

W ramach badań przeprowadzono analizę podstawowych właściwości paliwowych wybranych odpadów opakowaniowych z tworzywa sztucznego. W tabeli 5.1 zaprezentowano analizę techniczną badanych odpadów.

Tabela 5.1. Analiza techniczna badanych odpadów opakowaniowych [2]

L.p.	Parametry	Jednostka	Wartość		
			LDPE	HDPE	PP
1	Wilgotność całkowita	%	0,23	0,17	0,15
2	Gęstość nasypowa	kg/m <sup>3</sup>	184	242	197
3	Zawartość części lotnych	%	96,98	97,25	98,68
4	Zawartość części palnych	%	98,51	98,19	99,51
5	Zawartość popiołu	%	1,49	1,81	0,49
6	Ciepło spalania	MJ/kg	47,28	49,25	48,07
7	Wartość opałowa	MJ/kg	46,33	47,65	45,13

Badane odpady z tworzywa sztucznego są materiałem suchym, ich wilgotność kształtowała się na poziomie około 0,2%. Powszechnie używany w energetyce węgiel kamienny ma około 5-30% wilgoci, co niekorzystnie wpływa na wartość opałową i zapłon danego paliwa, jak również powoduje korozję kwasową w kotłach grzewczych i ich kanałach. Zawartość części palnych we wszystkich badanych odpadach kształtowała się na poziomie 98%, natomiast zawartość popiołu była poniżej 2%. Badane poliolefiny charakteryzują się bardzo wysoką wartością opałową (rzędu 42MJ/kg) i niską wilgotnością. Biorąc pod uwagę jedynie parametry techniczne, badane odpady nadają się do wykorzystania, jako paliwo [6].

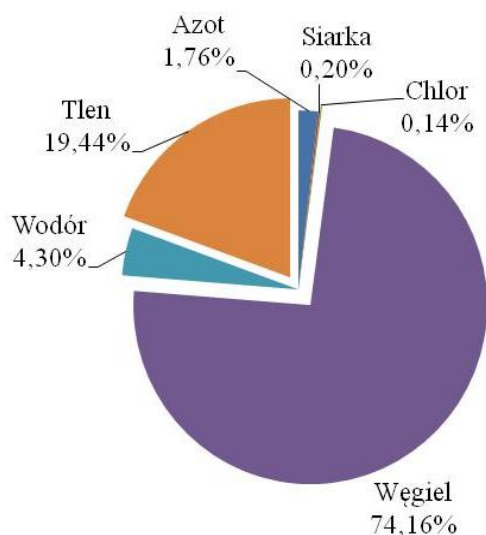


Rys. 5.1. Wartość opałowa badanych odpadów i przykładowych paliw [2,7]

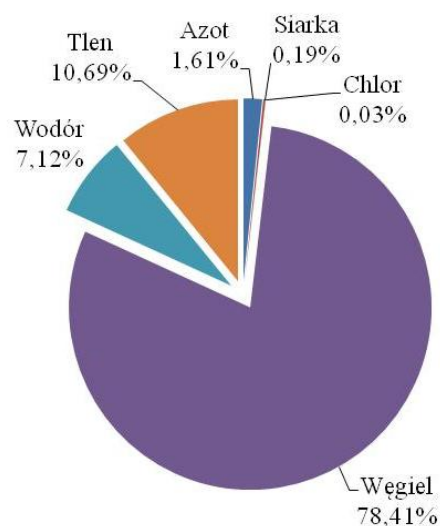
Dla porównania na rysunku 5.1 przedstawiono parametry wartości opałowej dla różnych potencjalnych paliw.

W badanych odpadach określono zawartość składników palnych tzw. skład elementarny. Na rysunku 5.2 zostały zaprezentowane wyniki analizy pierwiastków części palnych, takich jak siarka, azot, chlor, węgiel, wodór oraz tlen.

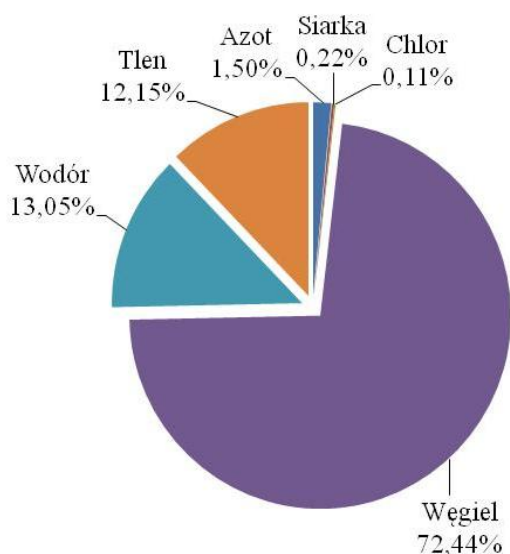
a)



b)



c)



Rys. 5.2. Skład elementarny badanych odpadów opakowaniowych wykonanych z a) LDPE, b) HDPE, c) PP [2]

Zawartość czystego węgla w paliwie informuje o ilości ciepła jaka zostanie wydzielona podczas procesu spalania. We wszystkich badanych odpadach udział tego pierwiastka jest duży i utrzymuje się na poziomie ponad 70%, co zbliża je do tradycyjnych paliw kopalnych. Zawartość pierwiastka węgla dla węgla kamiennego jest rzędu 82% [10].

Kolejnym badanym pierwiastkiem jest wodór, którego ilość w paliwie jest niewielka (kilka procent masy palnej), ale bardzo ważna ze względu na wysokie ciepło spalania [11]. Wodór decyduje m.in. o łatwości zapłonu danego paliwa [8]. Zawartość tego pierwiastka w badanych odpadach jest następująca: LDPE (4,23%), HDPE (7,12%) i najwyższa w PP (13,05%).

Kolejnym pierwiastkiem wchodzącym w skład badanych odpadów opakowaniowych jest siarka, której zawartość nie jest pożądana. Spowodowane jest to tym, iż spora jej część w procesie spalania przechodzi do gazów spalinowych w postaci tlenków siarki, głównie ditlenku siarki ( $\text{SO}_2$ ) [11]. Ditlenek siarki może w palenisku przechodzić w trójtlenek siarki, który powoduje kondensowanie się kwasu siarkowego na powierzchniach urządzeń, powodując silną korozyjność oraz może przyczynić się do powstawania kwaśnych deszczy [8]. W przypadku badanych odpadów z tworzyw sztucznych, zawartość siarki jest stosunkowo niewielka, kształtuje się na poziomie około 0,2%. Rozpatrując ten parametr pod kątem paliwowym i wymagań cementowni, musi on być poniżej 1%.

Procentowy udział azotu w odpadach opakowaniowych utrzymuje się na poziomie poniżej 2%. Azot stanowi balast w paliwie, ponieważ nie bierze udziału w spalaniu. Tlenki azotu, które przedostają się do atmosfery powodują degradację środowiska naturalnego i przyczyniają się do powstawania kwaśnych deszczy [8].

Zawartość chloru w badanych próbkach odpadów opakowaniowych z tworzyw sztucznych kształtuje się na poziomie poniżej 0,14%. Zawartość chloru w odpadach powinna wynosić mniej niż 1%, aby można je było wykorzystać jako paliwo alternatywne w cementowni, gdzie w przypadku badanych odpadów warunek ten jest spełniony.

Tlen zawarty w paliwie stałym bierze udział w spalaniu palnych składników, a jego udział dochodzi nawet do 40% masy palnej [8]. Zawartość tego pierwiastka w odpadach kształtowała się na poziomie od 10-20%.

Tabela 5.2 prezentuje wyniki dotyczące analizy zawartości składników agresywnych. W badanej frakcji odpadów z tworzyw sztucznych wysegregowanych ze strumienia komunalnego, zawartość ditlenku siarki jest znikoma, a w przypadku odpadów z polietylenu jest ona poniżej progu oznaczalności. Również zawartość chlorowodoru we wszystkich odpadach jest niewielka i wynosi 0,03 ppm.

Niska zawartość składnika agresywnego takiego jak chlor, zmniejsza ryzyko wytwarzania się w niskich temperaturach spalania dioksyn i furan, toksycznych związków chemicznych, szkodliwych dla ludzi.

Analiza badanych odpadów również wykazała, iż zawartość tritlenku azotu ( $\text{NO}_3$ ) jest niewielka. W przeliczeniu na zawartość procentową jest to wielkość poniżej 0,0005%.

Tabela 5.2. Zawartość składników agresywnych w badanych odpadach [2]

L.p.	Parametry	Jednostka	Wartość		
			LDPE	HDPE	PP
1	Zawartość tritlenku azotu	ppm	5,89	3,36	1,26
2	Zawartość ditlenku siarki	ppm	p.o.*	p.o.*	0,01
3	Zawartość chlorowodoru	ppm	0,03	0,03	0,03

\* poniżej progu oznaczalności

W ramach badań przeprowadzono oznaczenie temperatury zapłonu wybranych odpadowych tworzyw sztucznych metodą Clevelanda. Wyniki z przeprowadzonych badań prezentuje tabela 5.3. Odpad z polipropylenu charakteryzuje się najniższą temperaturą topnienia ( $80^\circ\text{C}$ ) i dymienia ( $112^\circ\text{C}$ ), natomiast odpad z polietylenu o dużej gęstości posiada najwyższą temperaturę dymienia ( $180^\circ\text{C}$ ) wśród badanych poliolefin. Temperaturę zapłonu na poziomie  $230^\circ\text{C}$  uzyskano dla odpadu z polietylenu o niskiej gęstości. Żaden z badanych odpadów nie posiada temperatury palenia. Taki stan można tłumaczyć dodatkiem antypirenów wprowadzanych do opakowań na etapie produkcji.

Tabela 5.3. Temperatura zapłonu badanych odpadów [2]

L.p.	Parametry	Jednostka	Wartość		
			LDPE	HDPE	PP
1	Temperatura dymienia	$^\circ\text{C}$	112	180	112
2	Temperatura przetwórstwa (topnienia)	$^\circ\text{C}$	100	170	80
3	Temperatura zapłonu	$^\circ\text{C}$	230	brak	brak
4	Temperatura palenia	$^\circ\text{C}$	brak	brak	brak

## 6. Podsumowanie

Analizując wyniki przeprowadzonych badań dla odpadów opakowaniowych z tworzywa sztucznego można powiedzieć, iż materiały te wykazują bardzo dobre właściwości paliwowe. Wszystkie badane odpady

charakteryzują się niską wilgotnością, wysoką zawartością frakcji palnej, a co za tym idzie niską zawartością popiołu, wartość opałowa badanych odpadów jest wysoka. Wymienione parametry przemawiają za energetycznym wykorzystaniem tego typu odpadowych tworzyw sztucznych. Badane odpady mogą pełnić w energetyce funkcję tradycyjnych paliw, a także częściowo zastąpić tradycyjne nośniki energii. W ten sposób można zmniejszyć strumień odpadowych tworzyw sztucznych kierowany na składowiska, a przy okazji pozyskać energię tak cenną w dzisiejszych czasach.

### Literatura

1. Tworzywa sztuczne-2013, <http://www.plasticseurope.pl/cust/documentrequest.aspx?DocID=59397>, (z dnia 20.10.2014).
  2. Błaszczak E., Poliolefiny jako stałe paliwo wtórne, Praca magisterska, Gliwice 2014.
  3. Zielona Księga w sprawie europejskiej strategii dotyczącej odpadów z tworzyw sztucznych w Środowisku, Bruksela 2013.
  4. Czop M., Select polymer wastes as possible sources of solid recovered fuels, Pol. J. Environ. Stud. 2014 vol. 23 no. 4, 1369-1372,
  5. Majka T. M., Majka M., Odpady z tworzyw sztucznych jako nowe i tanie komponenty stosowane do wyrobu nanokompozytów polimerowych, studenckie naukowe czasopismo internetowe, [www.think.wsiz.rzeszow.pl](http://www.think.wsiz.rzeszow.pl), ISSN 2082-1107, Nr 4 (12) 2012, s. 60-74.
  6. Czop M., Kozielska B., Właściwości fizykochemiczne mieszanki odpadów z grupy poliolefin, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, vol. 12 nr 1 (2010), s. 47-56.
  7. Kijeński J., Błędzki A. K., Jeziórska R., Odzysk i recykling materiałów polimerowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011.
  8. Czop M., Badania podstawowych właściwości paliwowych odpadów poliolefinowych, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, vol.15 nr 3 (2013), s.71-80.
  9. Strona internetowa <http://www.instalacjebudowlane.pl/5044-23-40-wartosc-energetyczna-wegla-gazu-oleju-i-innych-paliw.html>, z dnia 20.10.2014.
  10. Nadziakiewicz J., Spalanie stałych substancji odpadowych. Wydawnictwo Gnome, Katowice 2001.
  11. Strona internetowa, [http://www.i15.p.lodz.pl/strony/elektrownie/spalanie\\_wegla.pdf](http://www.i15.p.lodz.pl/strony/elektrownie/spalanie_wegla.pdf), z dnia 20.10.2014. Gliwice 2000.
-