



Arkadiusz PRIMUS¹, Czesława ROSIK-DULEWSKA²

Potencjał paliwowy frakcji nadsitowej odpadów komunalnych i jego rola w krajowym modelu gospodarki odpadami

Streszczenie: W artykule przybliżono charakterystykę frakcji nadsitowej wytwarzanych w regionalnych instalacjach przetwarzania odpadów komunalnych. W lipcu 2013 roku wprowadzono zmiany do ustawy o czystości i porządku w gminie, które wdrożyły w Polsce nowy model gospodarki odpadami komunalnymi oparty na mechaniczno-biologicznym ich przetwarzaniu. Podstawowym elementem tego systemu są sortownie odpadów komunalnych, które są obecnie źródłem wytwarzania frakcji nadsitowej posiadającej własności paliwowe. Dla potrzeb rozpoznania jej właściwości autorzy artykułu przeprowadzili badania własne koncentrujące się na rozpoznaniu podstawowych właściwości energetycznych frakcji nadsitowej w poszczególnych sezonach roku wraz z rozróżnieniem rodzajów zabudowy. Przeprowadzono badania składu morfologicznego dla potrzeb określenia koncentracji frakcji energetycznych. Przeanalizowano stabilność jakościową strumienia frakcji nadsitowej pod względem możliwości energetycznego zagospodarowania w instalacjach termicznego przekształcania odpadów. Badania składu morfologicznego wykazały podwyższoną koncentrację frakcji energetycznych (papier, tworzywa sztuczne, tekstylia) w stosunku do zmieszanych odpadów komunalnych. Jednocześnie badania własności energetycznych wskazują na podwyższoną standaryzację energetyczną tej frakcji w rozkładzie czasowym (pory roku) oraz rozkładzie przestrzennym (zróżnicowany rodzaj zabudowy). Badania wykazały, że wartość opałowa w zbadanych próbkach zawiera się w przedziale 18,1–23,5 MJ/kg, gdzie wartość średnia wynosi 21,5 MJ/kg. Udział popiołu zawiera się natomiast w przedziale 11,8–24,1%, a udział części palnych 67,6–77,5%. Dobre własności paliwowe oraz standaryzacja jakościowa strumienia wskazują na możliwość stosowania rozwojowych technologii zgazowania odpadów zgodnie z nowymi przepisami dyrektywy IED (Dyrektywa 2010). Technologia zgazowania, produkcja syngazu i jego spalanie w silnikach tłokowych małej mocy stanowią obecnie interesującą alternatywę dla klasycznych instalacji termicznego przekształcania odpadów opartych na technologii spalania wpisując się w rozwój instalacji RIPOK i potrzebę wdrażania gospodarki w obiegu zamkniętym.

Słowa kluczowe: frakcja nadsitowa, własności energetyczne odpadów, zgazowanie odpadów, kogeneracja, energia z odpadów, morfologia odpadów, badania odpadów

¹ INVESTEKO SA, Świętochłowice; e-mail: arkadiusz.primus@investeko.pl

² Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze; e-mail: czeslawa.rosik-dulewska@ipis.zabrze.pl

Fuel potential of the over-sieve fraction of municipal waste and its role in the national waste management model

Abstract: This article presents the characteristics of the over-sieve fraction generated in regional municipal waste treatment plants. In July 2013, amendments were introduced to the Act on Maintaining Cleanliness and Order in Communes, which implemented a new model of municipal waste management in Poland based on mechanical and biological treatment. The basic element of this system is the sorting of municipal waste, which is currently a source of production of the over-sieve fraction that possesses fuel properties. In order to determine its properties, the authors of the article conducted their own research focusing on the recognition of basic energy properties of the over-sieve fraction generated in each season and by distinguishing the building types. Morphological composition tests were carried out aimed at determining the concentration of energy fractions. The qualitative stability of the over-sieve fraction stream in terms of the possibility of energy management in thermal waste treatment installations was also analyzed. The morphological composition tests showed increased concentration of energy fractions (paper, plastics, textiles) in relation to mixed municipal waste. At the same time, research on energy properties indicates increased energy standardization of this fraction in relation to time distribution (seasons) and spatial distribution (distinguished building types). Good fuel properties and quality standardization of the stream favor the implementation of gasification technologies in accordance with the new provisions of the IED Directive 2010. The gasification technology, production of syngas and its combustion in the low-powered reciprocating engine are now an interesting alternative to classic installations for the thermal treatment of waste based on incineration technology, in line with the development of the Regional Municipal Waste Treatment Installation and the need to implement the Circular Economy.

Keywords: over-sieve fraction, energy properties of waste, gasification of waste, cogeneration, energy from waste, waste morphology, waste research

Wprowadzenie

Gospodarka odpadami komunalnymi w Polsce w ostatnich kilku latach przeszła istotne transformacje systemowe oraz technologiczne. Przeniesienie odpowiedzialności na samorządy przyniosło efekty w postaci uporządkowania systemu transportu oraz koncentracji strumieni odpadów w regionach. Ośrodki gminne i miejskie zobowiązane zostały do budowy Regionalnych Instalacji Przetwarzania Odpadów Komunalnych (RIPOK) i ich wyposażenia technicznego. W efekcie wdrożenia systemu gospodarki odpadami opartego na procesach mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych jest możliwość dalszego planowania bardziej efektywnych sposobów zagospodarowania powstających strumieni odpadów.

Jednym z takich strumieni odpadów wymagającym dalszego zagospodarowania jest frakcja nadsitowa posiadająca właściwości paliwowe, która w obecnym systemie prawnym przeznaczona jest do dalszego zagospodarowania w kierunku odzysku energii w procesach termicznego przekształcenia, ale budowa takich zaawansowanych technologicznie instalacji wymagać będzie właściwego planowania oraz wysokich nakładów inwestycyjnych.

Ponadto w związku z brakiem możliwości składowania odpadów o właściwościach energetycznych (od początku 2016 roku) widoczny jest obecnie problem z wytwarzaną frakcją nadsitową. Analiza oraz właściwe rozpoznanie strumienia odpadów komunalnych jest obecnie kluczowe, aby w krajowym systemie gospodarki odpadami opartym na procesach mechaniczno-biologicznego przetwarzania (MBP) efektywnie i sprawnie realizować inwestycje budowy instalacji termicznego przekształcenia odpadów komunalnych (ITPOK).

1. Model gospodarki odpadami w Polsce

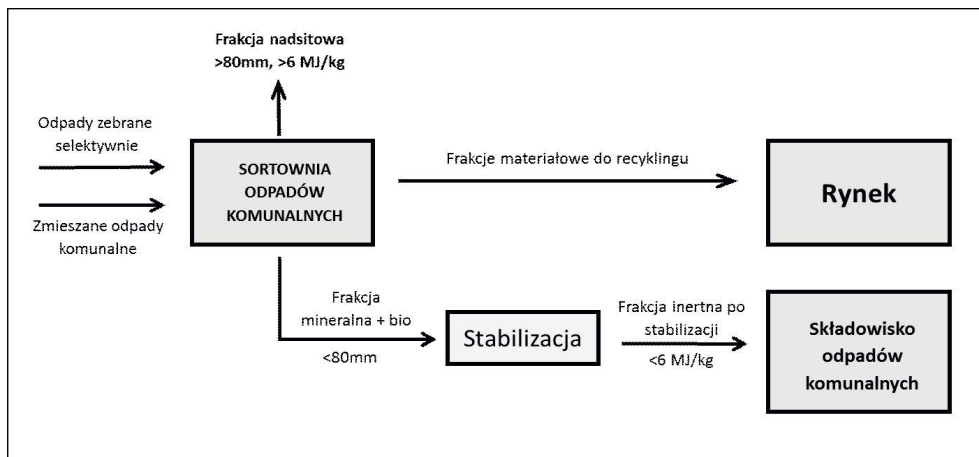
Wprowadzony ustawą o czystości i porządku w gminie model oparty na MBP funkcjonuje od 1 lipca 2013 roku. Stanowi on podstawę obecnego systemu gospodarki odpadami w kraju i jednocześnie bazę dla rozwoju i dalszych wdrożeń, które pozwolą na zwiększenie efektywności zagospodarowania odpadów zgodnie z hierarchią postępowania. Obecny system wymusza kierowanie strumieni odpadów komunalnych bezpośrednio do instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania, gdzie podstawowym kryterium jest ilość i jakość tego strumienia, a podstawą uznania instalacji za regionalną jest możliwość zagospodarowania odpadów od co najmniej 120 tys. mieszkańców. Na podstawie wskaźnika wytwarzania odpadów (kg/mieszkańca/rok) można określić minimalną wydajność instalacji MBP, a jest to warunek, który determinuje ilość dostarczanych i przetwarzanych w instalacji odpadów. Prognoza przedstawiona w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami (2016–2022) określa obecną wartość oraz prognozę wskaźnika wytwarzania odpadów komunalnych, na podstawie którego można wyznaczyć minimalną wydajność RIPOK (ok. 40 tys.Mg/rok).

Techniczne wymagania dla wybudowanych i funkcjonujących obecnie Regionalnych Instalacji Przetwarzania Odpadów Komunalnych (RIPOK) określało rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 września 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych (Dz.U. 2012, poz. 1052) stanowiące przepisy wykonawcze do ustawy o porządku i czystości w gminie (Dz.U. 1996 Nr 132, poz. 622, tekst jedn. z Dz.U. z 2018 r. poz. 1454). Mimo iż rozporządzenie to straciło moc prawną dnia 23 stycznia 2016 r. wszystkie działające obecnie RIPOK nadal spełniają wymagania techniczne w nim określone.

Jednocześnie decyzją wykonawczą Komisji (UE) 2018/1147 z dnia 10 sierpnia 2018 r. zostały ustanowione zasady dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do przetwarzania odpadów zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE wprowadzając ogólnoeuropejskie wymagania dla procesów mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Konkluzje BAT wskazują na obligatoryjne wymagania techniczne dla wszystkich instalacji MBP w każdym kraju członkowskim, niezależnie od przepisów krajowych. Pożądanym efektem wprowadzenia tych regulacji jest wzrost standardów techniczno-środowiskowych dla krajów Unii Europejskiej.

Rozwój systemu gospodarki odpadami komunalnymi oraz jego efektywność środowiskowa zakłada wzrost udziału odpadów selektywnie zbieranych stanowiących wydzielone frakcje materiałowe w stosunku do odpadów zmieszanych. W tej sytuacji sortownia stanowi kluczowy element instalacji RIPOK, gdzie wprowadzany strumień odpadów jest rozdzielany na frakcje o możliwie największej skuteczności separacji, pozwalając tym samym na dalsze ich efektywne ekonomicznie zagospodarowanie. W przypadku strumieni przeznaczonych do odzysku materiałowego ich przetwarzanie w RIPOK polega na takim doczyszczeniu, aby doskonaląc czystość, a tym samym wartość rynkową, zwiększyć efektywność odzysku/recyklingu. Odpady zbierane selektywnie są doczyszczane w sortowniach odpadów zmieszanych wykorzystując do tego celu procesy ręcznej separacji w kabinach sortowniczych (rys. 1).

Głównym problemem jest obecnie strumień odpadów frakcji nadsitowej nienadający się do dalszego przetwarzania w kierunku recyklingu materiałowego oraz stabilizacji



Rys. 1. Funkcje techniczne sortowni odpadów komunalnych i jej rola w MBP; opracowanie własne

Fig. 1. Technical functions of the municipal waste sorting plant and its role in MBT

tlenowej lub beztlenowej. Jednocześnie ze względu na ciepło spalania powyżej 6 MJ/kg, nie kwalifikuje się także do składowania zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach, (Dz.U. z 2015 r., poz. 1277). Oznacza to, że strumień ten ze względu na swoje właściwości paliwowe powinien być przeznaczony do termicznego przekształcania.

Wg różnych źródeł literaturowych ilość odpadów frakcji nadsitowej należy szacować na poziomie 30–45% strumienia odpadów komunalnych zmieszanych wprowadzanych do instalacji RIPOK (Ściążko i Nowak 2017), a dane z wywiadu przeprowadzonego w 12 RIPOK wskazują na wartość około 50%, natomiast w KPGO przyjęto optymistycznie poziom 30% i to do tej wartości odniesiono zapotrzebowanie na instalacje TPO w kraju.

Przyjmując zatem bezpieczną i zarazem realną wartość udziału frakcji nadsitowej w strumieniu odpadów komunalnych zmieszanych na poziomie 40%, możemy oszacować jej ilość na poziomie 4 mln Mg/rok.

Należy również zwrócić uwagę, że wydzielony strumień frakcji nadsitowej zależy od standardów technicznych wyposażenia sortowni odpadów, jak również od uwarunkowań rynkowych i popytu na materiał przeznaczony do recyklingu.

Zatem w planowaniu instalacji energetycznego przekształcania frakcji nadsitowej w systemie opartym na MBP w programie gospodarki o obiegu zamkniętym należy uwzględnić wszystkie wskazane powyżej tendencje prawno-rynkowe.

2. Badania i charakterystyka frakcji nadsitowej odpadów komunalnych

Ze względu na to, że charakterystyka frakcji nadsitowej wciąż nie jest dobrze rozpoznana, dlatego też dla potrzeb planowania i projektowania instalacji energetycznego prze-

kształcenia w przedstawionych badaniach podjęto próbę określenia ich właściwej ilości, jakości i zmienności w czasie (pory roku) i w miejscu (trzy niezależne sortownie odpadów zlokalizowane na obszarach o charakterze wiejskim w zabudowie jednorodzinnej, miejskim w przeważającej zabudowie wielorodzinnej oraz mieszanym, gdzie prowadzona jest selektywna zbiórka odpadów oraz spełnione są wymogi techniczne RIPOK). Poboru próbek dokonano w lutym, kwietniu, lipcu oraz wrześniu.

W pobranych próbkach frakcji nadsitowej odpadów komunalnych 12 uśrednionych metodycznie) oznaczono skład morfologiczny oraz wybrane właściwości fizykochemiczne. Aby zminimalizować błędy metodyczne poboru reprezentatywnych próbek, nie pobierano ich w okresach świątecznych, dniach targowych itp.

Metodykę badań, w tym dobór składu morfologicznego, opracowano na podstawie:

- obowiązującego w trakcie prowadzenia badań rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 10 czerwca 2010 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych kwali-

TABELA 1. Skład morfologiczny badanych odpadów frakcji nadsitowej w sezonach (wartości uśrednione dla analizowanych rodzajów zabudowy)

TABLE 1. The morphological composition of the analyzed over-sieve fraction waste in seasons (values averaged for the analyzed types of buildings)

Lp.	Rodzaj materiału	Udział procentowy [%]			
		zima	wiosna	lato	jesień
1.	Odpady kuchenne pochodzenia roślinnego, zwierzęcego, ogrodowe, z terenów zielonych	8,0	15,1	6,5	23,1
2.	Papier i tektura	20,5	11,8	27,4	15,7
3.	Odpady wielomateriałowe, w tym odpady z utrzymania higieny	17,8	18,5	11,4	12,6
4.	Tworzywa sztuczne	24,7	30,8	33,3	35,6
5.	Tekstyliia	12,0	8,1	13,7	9,4
6.	Szkło	4,3	4,2	0,7	1,4
7.	Metale	1,8	1,7	1,8	0,7
8.	Drewno	1,0	2,5	0,6	1,4
9.	Skóra	0,0	0,0	0,0	0,0
10.	Guma	0,1	0,0	0,0	0,0
11.	Gruz, odpady budowlane	4,5	0,5	0,7	0,0
12.	Odpady mineralne	0,1	0,0	0,0	0,0
13.	Odpady niebezpieczne	0,5	0,5	0,5	0,1
14.	Inne	4,8	6,4	3,4	0,0

Badania i opracowanie własne.

fikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów komunalnych (Dz.U. 117, poz. 788),

- norm przenoszących normę EN 15442:2011 Stałe paliwa wtórne – Metody pobierania próbek i normę EN 15443:2011; Stałe paliwa wtórne – Metody przygotowywania próbki laboratoryjnej.

Wyniki uzyskane z badań przedstawiono w tabelach 1 i 2.

TABELA 2. Skład morfologiczny badanych odpadów frakcji nadsitowej w analizowanych rodzajach zabudowy (wartości uśrednione dla sezonów)

TABLE 2. The morphological composition of the analyzed over-sieve fraction wastes in the analyzed types of buildings (values averaged for seasons)

Lp.	Rodzaj materiału	Udział procentowy [%]		
		mieszana	wielorodzinna	jednorodzinna
1.	Odpady kuchenne pochodzenia roślinnego, zwierzęcego, ogrodowe, z terenów zielonych	18,1	15,7	5,8
2.	Papier i tektura	14,2	17,0	25,3
3.	Odpady wielomateriałowe, w tym odpady z utrzymania higieny	13,5	18,1	13,6
4.	Tworzywa sztuczne	34,1	21,5	37,7
5.	Tekstyliia	8,9	16,1	7,3
6.	Szkło	0,6	3,2	4,2
7.	Metale	0,8	1,9	1,8
8.	Drewno	1,5	1,0	1,7
9.	Skóra	0,0	0,0	0,0
10.	Guma	0,1	0,0	0,0
11.	Gruz, odpady budowlane	0,8	3,2	0,3
12.	Odpady mineralne	0,1	0,0	0,0
13.	Odpady niebezpieczne	0,5	0,4	0,1
14.	Inne	6,9	2,6	2,9

Badania i opracowanie własne.

Analiza morfologiczna dla 12 pobranych próbek odpadów (fr. nadsitowej) z podziałem na rodzaje zabudowy oraz z podziałem na sezony ukazuje względną stabilność w ujęciu rocznym. Skład morfologiczny frakcji nadsitowej wskazuje również tendencję do koncentracji frakcji energetycznych (papier, tworzywa sztuczne, tekstyilia).

3. Ocena potencjału energetycznego frakcji nadsitowej odpadów komunalnych

Właściwości fizykochemiczne strumienia odpadów przeprowadzone w oparciu o stabilność jakościową sezonową oraz przestrzenną muszą być rozpatrywane w odniesieniu do technicznych możliwości ich energetycznego odzysku, jak również dostępności rynkowej.

Cechą charakterystyczną badanej frakcji nadsitowej odpadów komunalnych jest wysoki udział zawartości frakcji energetycznych w porównaniu do uśrednionego udziału tej frakcji w zmieszanych odpadach komunalnych, co wpływa korzystnie na energetyczne właściwości użytkowe omawianej frakcji (tab. 3).

TABELA 3. Porównanie udziału frakcji energetycznych w strumieniu frakcji nadsitowej wydzielonej z odpadów komunalnych do analogicznych frakcji w zmieszanych odpadach komunalnych

TABLE 3. Share comparison of energy fractions in the stream of the over-sieve fraction separated from municipal waste to analogous fractions in mixed municipal waste

Lp.	Rodzaj materiału	Udział procentowy [%]	
		frakcja resztkowa	zmieszane odpady komunalne*
1	Papier i tektura	18,8	11,2
2	Odpady wielomateriałowe	15,1	3,5
3	Tworzywa sztuczne	31,1	12,1
4	Tekstylnia	10,8	2,8
5	Drewno	1,4	0,4

* Źródło danych na podstawie KPGO 2022; Kłojzy-Karczmarczyk i Staszczak 2017.

Zastosowanie technik separacji frakcji mineralnych oraz ulegających biodegradacji z wykorzystaniem sit bębnowych w sortowniach powoduje wzrost koncentracji materiałowych nośników paliwowych, takich jak: papier, tworzywa, tekstylia i drewno. Dodatkowym efektem wydzielenia frakcji podsitowej (< 80 mm) jest podwyższona stabilizacja strumienia w ujęciu sezonowym, a w szczególności widoczna pomiędzy porą letnią i zimową. Zatem dzięki standaryzacji technologii mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych wytwarzana w sortowniach odpadów frakcja nadsitowa charakteryzuje się również zwiększoną stabilnością składu morfologicznego, niezależnie od miejsca czy regionu, w którym powstaje.

Ocenię poddano kluczowe parametry jakościowe dla frakcji nadsitowej, w odniesieniu do technicznych wymagań termicznego przekształcania odpadów.

Według różnych źródeł średnia wartość opałowa w stanie roboczym frakcji nadsitowej wynosi powyżej 12 MJ/kg, co znacząco przekracza wartość progową autotermicznego przekształcania odpadów, która określana jest na poziomie 7–8 MJ/kg. Wysoka wartość opałowa

wpływa również korzystnie na wzrost sprawności odzysku energii z odpadów oraz zwiększenie wachlarza stosowanych technik termicznego przekształcania odpadów.

Prezentowane wyniki badań dotyczą próbek w stanie roboczym przygotowanych według przedstawionych powyżej metodyk. Charakteryzowały się one bardzo niską zawartością wody na poziomie 2–4%, co przekładało się na niewielką różnicę wartości opałowej oraz ciepła spalania. Jednakże głównym celem badawczym było wskazanie cech stabilności sezonowej oraz przestrzennej strumienia odpadów frakcji nadsitowej.

Robocza techniczna zawartość wody we frakcji nadsitowej podczas poboru różni się w zależności od sezonu oraz stosowanych technologii MBP w zakresie pomiędzy 20–40% masy odpadu, co przekłada się na wartość opałową frakcji nadsitowej odpadów komunalnych na poziomie pomiędzy 11–14 MJ/kg, w obiegu rynkowym.

Jak wcześniej wspomniano, ważnym kryterium ceny potencjału energetycznego frakcji nadsitowej jest jakościowa stabilność w poszczególnych sezonach, a w szczególności pomiędzy sezonami letnim i zimowym, co było przedmiotem badań.

Prezentowane wyniki badań wskazują na wysoką wartość opałową próbek odpadów we wszystkich sezonach. Charakteryzują się one stabilnością jakościową w poszczególnych porach roku, co potwierdza ich podwyższoną standaryzację (tab. 4).

TABELA 4. Wybrane właściwości palne frakcji nadsitowej odpadów komunalnych w analizowanych sezonach/porach roku

TABLE 4. Selected flammable properties of the over-sieve fraction of municipal waste in the analyzed seasons

Lp.	Wielkość	Jednostka	Sezon			
			zima	wiosna	lato	jesień
1	Wartość opałowa	MJ/kg	18,6	19,8	18,6	17,5
2	Ciepło spalania	MJ/kg	19,9	21,2	20,0	19,0
3	Części palne	%	70,3	73,7	72,0	75,3
4	Zawartość popiołu	%	20,9	13,5	17,3	16,5
5	Zawartość chloru	%	1,5	1,0	0,5	0,9
6	Zawartość siarki	%	0,5	0,2	0,2	0,3

Badania i opracowanie własne.

Analiza zawartości chloru w poszczególnych porach roku wykazuje mniejszą stabilność w badanych próbkach. Mechaniczny rozdział frakcji odpadów w instalacjach MBP powoduje koncentrację strumienia tworzyw sztucznych, a tym samym koncentrację PCV, co wynika z tego, że we wszystkich badanych instalacjach MBP nie jest on separowany ręcznie ani mechanicznie jako odpad przeznaczony do recyklingu.

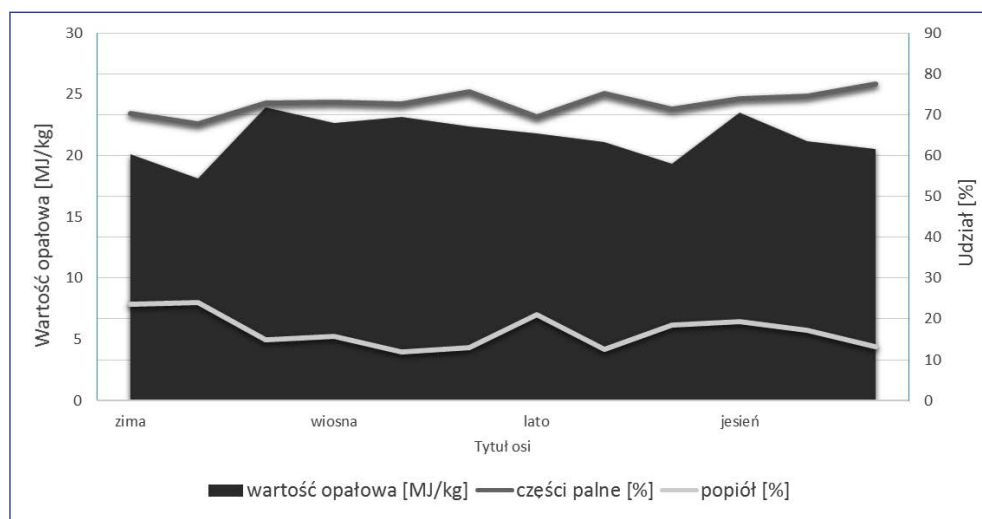
Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposo-

bów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu (Dz.U. 2016, poz. 108) udział chloru powyżej 1% w strumieniu odpadów przeznaczonych do energetycznego przekształcenia determinuje wymagania dotyczące temperatury termicznego przekształcenia na poziomie 1100°C, ze względu na potrzebę destrukcji dioksyn i furanów. Warunek ten ma kluczowe znaczenie przy doborze technologii termicznego przekształcenia odpadów oraz istotnie wpływa na koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne. Ponadto wymagana wyższa temperatura spalania przekłada się na obniżenie efektywności energetycznej procesu odzysku energii. Dodatkowo podwyższona zawartość chloru w spalinach niekorzystnie wpływa na korozję w części kotłowej instalacji, co również przekłada się na podwyższenie kosztów eksploatacyjnych.

Przeprowadzone badania wskazują zatem na potrzebę dodatkowych rozwiązań technologicznych w zakresie separacji PCV ze strumienia frakcji nadsitowej tak, aby zapewnić wymaganą standaryzację oraz zapobiegać incydentalnemu występowaniu w niej udziałów chloru powyżej 1%.

Zawartość siarki w badanych próbkach frakcji nadsitowej wskazuje stabilny udział w poszczególnych sezonach, a zatem nie powinna istotnie wpływać na techniczne wymagania procesu odzysku energii w instalacjach, nie generując większych problemów korozyjnych w części kotłowej. Udział siarki w odpadach należy odnieść jednak do wymagań technicznych instalacji oczyszczania spalin. Powtarzalny udział masowy siarki w sezonach korzystnie wpływa na stabilność procesów usuwania siarki w tych instalacjach.

Wykres (rys. 2) przedstawia najważniejsze parametry jakościowe charakteryzujące właściwości paliwowe frakcji nadsitowej w badanych sezonach. Ponadto dla zobrazowania cech



Rys. 2. Podstawowe właściwości energetyczne frakcji nadsitowej odpadów komunalnych w analizowanych porach roku
Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Basic energy properties of the over-sieve fraction of municipal waste in the analyzed seasons

standaryzacji czasowej i przestrzennej strumienia odpadów ujęto na nim wszystkie analizowane próbki (12).

Wcześniej w tabeli 4 przedstawiono wartości uśrednione, natomiast wartość opałowa we wszystkich 12 próbkach zawiera się w przedziale 18,1–23,5 MJ/kg. Udział popiołu zawiera się natomiast w przedziale 11,8–24,1%, z kolei udział części palnych w przedziale 67,6–77,5%.

W efekcie analizy widoczna jest wysoka i względnie stabilna wartość opałowa dla wszystkich zbadanych próbek. Średnia wartość opałowa dla całego roku wynosi 21,5 MJ/kg.

Wysoka wartość opałowa badanych próbek oraz widoczna standaryzacja jakościowa frakcji nadsitowej w ujęciu sezonowym oraz przestrzennym wskazuje na wyróżniające się wartościowe cechy paliwowe tego strumienia odpadów.

Wszystkie te uwarunkowania pozwalają stwierdzić podwyższoną jakość właściwości paliwowych strumienia frakcji nadsitowej odpadów komunalnych, zwiększając tym samym jej atrakcyjność energetyczną w stosunku do zmieszanych odpadów komunalnych.

W gospodarce w obiegu zamkniętym jedynie odpad nadsitowy może być rozpatrywany jako strumień przeznaczony do dalszego energetycznego przekształcenia, natomiast zmieszany odpad komunalny, w modelu opartym na MBP, nie może być traktowany jako strumień z takim przeznaczeniem. Zgodnie z właściwą hierarchią postępowania z odpadami należy zatem w pierwszej kolejności wyczerpać techniczne i organizacyjne możliwości wydzielania strumieni materiałowych z przeznaczeniem do ponownego wykorzystania i recyklingu, ale także pamiętać, że efektywność ekologiczna tego modelu jest bezpośrednio uzależniona od uwarunkowań rynkowych branży recyklingu i poszczególnych branż produktowych (produkcja elementów z tworzyw sztucznych, produkcja opakowań szklanych, produkcja papieru i tektury).

4. Kierunki technologiczne termicznego przekształcenia frakcji nadsitowej odpadów komunalnych

Właściwości energetyczne frakcji nadsitowej odpadów komunalnych, a w szczególności wysoka wartość opałowa oraz sezonowa i przestrzenna standaryzacja pozwalają na rozpatrywanie większego wachlarza dostępności rozwiązań technologicznych w zakresie termicznego przekształcenia.

Ponadto w analizie doboru technologii termicznego przekształcenia frakcji nadsitowej należy uwzględnić specyfikę modelu gospodarki odpadami opartego na MBP, jak i funkcjonujących RIPOK, spełniających także istotną rolę w rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym.

Dzięki nowym regulacjom dyrektywy IED oraz ich implementacji do prawodawstwa krajowego pojawiła się także możliwość rozwoju technologii zgazowania odpadów.

Przepisy dyrektywy IED wprowadziły warunkowe zwolnienie z wymagań technicznych termicznego przekształcenia odpadów dla technologii zgazowania lub/i pirolizy, które pozostały jako obowiązkowe dla procesów spalania odpadów.

Zapisy dyrektywy wskazują, że przepisy szczególne dotyczące termicznego przekształcenia odpadów nie mają zastosowania dla ww. instalacji, jeżeli gazy powstałe w wyniku tego

przetwarzania termicznego są oczyszczone w takim stopniu, że przed spalaniem nie są już odpadami i nie mogą spowodować emisji większych niż w wyniku spalania gazu ziemnego.

Należy zatem w obecnym modelu gospodarki odpadami rozpatrywać wdrożenia instalacji termicznego przekształcania odpadów bazujące odrębnie na technologii spalania oraz zgazowania odpadów.

Klasyczne podejście do termicznego przekształcania odpadów bazowało dotychczas w Europie na dużych systemowych spalarniach zmieszanych odpadów komunalnych. Cechą charakterystyczną tego strumienia odpadów jest jednak dość niska wartość opałowa kształtująca się na poziomie 8–9 MJ/kg. Wymuszało to budowę dużych instalacji opartych na rusztowej technologii spalania odpadów obejmujących swym zasięgiem znaczny obszar zbiórki i rozbudowany system logistyki transportu tych odpadów.

Występująca w obecnym modelu gospodarki odpadami opartym na MBP frakcja nadsitowa odpadów komunalnych ze względu na swe właściwości paliwowe umożliwi realne rozpatrywanie zastosowań technologii zagazowania o zasięgu lokalnym przypisanym do funkcjonujących instalacji RIPOK.

Wymagania jakościowe dla strumienia odpadów przeznaczonych do zgazowania są wyższe w zakresie ich homogenizacji oraz własności paliwowych, a w szczególności relatywnie wysokiej wartości opałowej. Wykazane cechy frakcji nadsitowej spełniają podstawowe warunki do możliwych wdrożeń technologii zgazowania w ujęciu nowych regulacji prawnych.

Istnieje zatem możliwość rozwinięcia modelu gospodarki odpadami opartego na MBP oraz RIPOK o wdrożenia dedykowanych i przypisanych do sortowni instalacji zgazowania, spełniających prawne wymagania jakościowe i emisyjne pozwalające na spalanie syngazu w układach wysokosprawnej kogeneracji opartej na silnikach tłokowych produkujących energię cieplną i elektryczną.

Dzięki takim rozwiązaniom sprawność produkcji energii elektrycznej jest wysoka nawet dla układów kogeneracji małej mocy do 5 MWe w stosunku do instalacji termicznego przekształcania odpadów opartych na technologii spalania, produkcji pary oraz jej rozprężaniu w turbinach. Wysoki współczynnik skojarzenia energii w układach turbinowych małej mocy jest osiągalny przy bardzo wysokich kosztach inwestycyjnych, nieporównywalnych z kosztami inwestycyjnymi dla układów kogeneracji opartych na silnikach tłokowych (Skorek i Kalina... 2005).

Relatywnie wysoki udział produkcji energii elektrycznej pozwala osiągać wyższe przychody ze sprzedaży energii do sieci elektroenergetycznej przy jednoczesnym zagospodarowaniu mniejszego strumienia energii cieplnej w otoczeniu.

Można zatem rozpatrywać wdrożenia instalacji zgazowania z układami kogeneracyjnymi na silnikach tłokowych o mocach 4–5 MWe i o wydajnościach instalacji zgazowania 25 tys. Mg/rok odpadów frakcji nadsitowej jako rozbudowę istniejących RIPOK.

Wprowadzone zmiany w przepisach dotyczące technologii zgazowania oraz wdrożony od kilku lat system gospodarki odpadami oparty na MBP pozwala realnie finansowo analizować wdrożenia technologii zgazowania i produkcji energii w skali lokalnej (Primus i Rosik-Dulewska... 2017). Pozwoli to rozwiązać narastający problem z zagospodarowaniem frakcji nadsitowej zapewniając jednocześnie zachowanie „zasady bliskości” jako istotnego elementu efektywnej gospodarki odpadami komunalnymi.

Podsumowanie

System gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce działa obecnie w oparciu procesy mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Sieć Regionalnych Instalacji Przetwarzania Odpadów Komunalnych nie zabezpiecza efektywnego zagospodarowania frakcji nadsitowej powstającej jako strumień odpadów o właściwościach paliwowych.

Jednocześnie koncentracja tych strumieni w instalacjach MBP z obszarów o populacji powyżej 120 tys. mieszkańców oraz standaryzacja techniczna strumienia w sortowniach odpadów stanowi podstawę do właściwego planowania instalacji termicznego przekształcania odpadów.

Wyniki badań i przeprowadzona analiza wskazują, że charakterystyczną cechą energetyczną odpadów frakcji nadsitowej jest ich stabilizacja jakościowa w wszystkich sezonach oraz stabilizacja przestrzenna według źródeł powstawania.

Własności paliwowe, wyższa standaryzacja sezonowa oraz przestrzenna frakcji nadsitowej pozwalają na planowanie inwestycji w oparciu o bardziej zaawansowane technologicznie układy odzysku energii z odpadów.

Analiza kierunków technologicznych zagospodarowania energetycznego wskazuje na możliwość zastosowań technologii zgazowania odpadów jako alternatywy dla technologii spalania.

Dzięki wprowadzonym dyrektywą IED zmianom prawnym w zakresie uwarunkowań technologiczno-środowiskowych dla technologii zgazowania odpadów realny staje się rozwój mniejszych instalacji termicznego przekształcania odpadów bazujących na układach zgazowania, produkcji i oczyszczania syngazu.

Instalacje takie mogą stanowić lokalne rozwiązanie problemu zagospodarowania frakcji nadsitowej jako rozwinięcie istniejącego systemu gospodarki odpadami opartego na procesach mechaniczno-biologicznego przetwarzania i sieci RIPOK. Ponadto wpisują się w potrzebę rozwoju gospodarki w obiegu zamkniętym.

Literatura

- Decyzja Wykonawcza Komisji (UE) 2018/1147 z dnia 10 sierpnia 2018 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do przetwarzania odpadów zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego nr 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (ang. Integrated Emission Directive – dyrektywa IED).
- Kłojzy-Karczmarczyk, B. i Staszczak, J. 2017. Szacowanie masy frakcji energetycznych w odpadach komunalnych wytwarzanych na obszarach o różnym charakterze zabudowy. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 20, z. 2, s. 143–154.
- KPGO 2022; Krajowy Plan Gospodarki odpadami 2022 (M.P. z 2016, poz. 784).
- Norma przenosząca normę EN 15442:2011 Stałe paliwa wtórne – Metody pobierania próbek i normę EN 15443:2011; Stałe paliwa wtórne – Metody przygotowywania próbki laboratoryjnej.
- Primus, A. i Rosik-Dulewska, B. 2017. Produkcja energii w źródłach kogeneracyjnych małej mocy z wykorzystaniem technologii zgazowania odpadów pochodzenia komunalnego. Uwarunkowania prawne i ekonomiczne. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 20, z. 3, s. 79–92.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach, Dz.U. z 2015 r., poz. 1277).

- Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu (Dz.U. z 2016r, poz. 108).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 września 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych (Dz.U. 2012, poz. 1052).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2016 r. w sprawie warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów (Dz.U. 2016, poz. 847).
- Skorek, J. i Kalina, J. 2005. *Gazowe układy kogeneracyjne*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- Ściążko, M. i Nowak, W. 2017. Technologie zgazowania odpadów komunalnych. *Nowa Energia* 1.
- Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 roku (Tekst jednolity Dz.U. z 2016, poz. 1987).
- Ustawa o porządku i czystości w gminie (Dz.U. 1996 Nr 132, poz. 622, tekst jedn. z Dz.U. z 2018 r. poz. 1454).

