

Beata KLOJZY-KARCZMARCZYK\*, Said MAKOUDI\*  
Jarosław STASZCZAK\*\*

### ***Weryfikacja systemu selektywnej zbiórki odpadów komunalnych w zabudowie wielorodzinnej na przykładzie modelowego obszaru***

Streszczenie: Podstawowym celem w gospodarce odpadami jest stworzenie systemu selektywnego zbierania odpadów komunalnych z podziałem na zabudowę jednorodziną i wielorodziną z uwzględnieniem szeregu zapisów, wynikających z uregulowań prawnych oraz dokumentów nadrzędnych. Selektywne zbieranie poszczególnych frakcji odpadów komunalnych pozwala na ich ponowne wykorzystanie, z uwzględnieniem różnorodnych procesów odzysku. Jednocześnie zostaje zmniejszona masa odpadów zbieranych w sposób zmieszany, przez co ogranicza się proces ich unieszkodliwiania poprzez składowanie. Weryfikacja założeń systemu została przeprowadzona w celu uzyskania pozytywnego efektu środowiskowego selektywnego zbierania frakcji surowcowych. Należy zaznaczyć, że zbieranie odpadów na obszarach poszczególnych gmin powinno być dostosowane w praktyce do warunków lokalnych z uwzględnieniem akceptowalności rozwiązań przez społeczeństwo.

W artykule zaproponowano schemat systemu selektywnego zbierania „u źródła” frakcji surowcowych odpadów komunalnych w zabudowie wielorodzinnej dla modelowej gminy o liczbie mieszkańców na poziomie 10 000. Analizą objęto przykładowe budynki wielorodzinne zamieszkałe średnio przez 100 osób. Proponowany system obejmuje szacowanie wystarczającej ilości pojemników oraz minimalnej częstotliwości odbioru odpadów komunalnych, a także poziomu wypełnienia pojemników. Założono, że selektywne zbieranie „u źródła” obejmie papier, szkło, tworzywa sztuczne i metale oraz dodatkowo odpady niebezpieczne wydzielone ze strumienia odpadów komunalnych, odpady wielkogabarytowe, budowlano-remontowe oraz odpady zielone zbierane w odrębnych punktach. Dla zabudowy wielorodzinnej założono, że odpady surowcowe zbierane będą selektywnie w dwóch wariantach: jako poszczególne rodzaje zbierane oddzielnie w systemie wielopojemnikowym lub łącznie jako frakcja sucha w systemie dwupojemnikowym.

Przeprowadzona analiza wykazała, że zbieranie oddzielnie poszczególnych frakcji odpadów surowcowych skutkuje nierównomierną częstotliwością wywozu odpadów, a wskazanym rozwiązaniem jest odbiór i wywóz tworzyw sztucznych z częstotliwością co 4 dni, natomiast papieru i szkła z częstotliwością co 15–30 dni. Natomiast przy założeniu selektywnego zbierania łącznie całej frakcji suchej wskazanym rozwiązaniem jest odbiór i wywóz odpadów surowcowych z częstotliwością co 4 dni. Można sądzić, że dobrym postępowaniem

---

\* Dr inż., \*\* Mgr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków;  
e-mail: beatakk@min-pan.krakow.pl, makoudi@min-pan.krakow.pl, jaro@min-pan.krakow.pl.

w wielorodzinnej zabudowie jest selektywne zbieranie odpadów surowcowych oraz zmieszanych w podziale na „frakcje suche” oraz „frakcje mokre”. Taki schemat pozwolił w tym przypadku na ustalenie wspólnej częstotliwości odbioru odpadów selektywnie zebranych co 4 dni.

Słowa kluczowe: zabudowa wielorodzinna, odpady komunalne, selektywne zbieranie, odpady surowcowe, odpady zmieszane, częstotliwość odbioru odpadów

### ***Verification of a system of selective municipal waste collection in multifamily housing using the example of a model locality***

Abstract: The primary objective of waste management is to establish a system of selective municipal waste collection divided into the categories of detached housing and multi-family housing, taking into account a number of provisions pursuant to regulations and governing documents. Selective collection of various fractions of municipal waste allows for its re-use through the application of various recovery processes. At the same time the weight of mixed waste is reduced, thus limiting the process of their disposal by landfilling. For this study, an analysis was carried out to optimize such a system, focusing on the positive environmental effects of selective raw material collection. It should be noted that waste collection in individual communes should, in practice, be adapted to local conditions including the acceptability of the solutions by the local community.

This paper proposes a plan for an "at the source" selective collection system for raw materials included in municipal waste from multifamily housing in a model commune with an assumed population of 10,000 inhabitants. The analysis covered multifamily buildings occupied on average by 100 people. The proposed system includes the optimization of the number of bins and estimation of the frequency of municipal waste disposal according to the rate at which the bins are filled. It was assumed that selective collection will include paper, glass, plastics, and metals collected "at the source", as well as hazardous waste separated from the municipal waste stream, bulky waste, construction and renovation waste, and green waste collected at separate points. For multifamily housing, it was assumed that raw waste would be collected separately in two variants – as individual types collected separately via the multi-bin system, or together as the dry fraction via the dual canister system.

The conducted analysis showed that segregated collection of individual fractions of raw materials results in uneven frequency of waste disposal. The solution indicated is the collection and disposal of plastics at intervals of four days, while paper and glass are collected at intervals of 15-30 days. In contrast, when selecting all the dry fraction, the indicated solution is the collection and disposal of raw materials at intervals of 4 days. It may be beneficial in multifamily housing if selective collection of raw materials and mixed waste was divided into the "dry fraction" and the "wet fraction". Such a division of collected waste would allow the establishment of a common disposal frequency of waste collected separately every 4 days.

Key words: multifamily housing, municipal waste, selective waste collection, raw materials, mixed waste, the frequency of waste disposal

### ***Wprowadzenie***

Selektywnym zbieraniem odpadów komunalnych w gospodarstwach domowych powinny zostać objęte przede wszystkim frakcje: odpady segregowane (tzw. „odpady surowcowe” lub „frakcja sucha”) tj. papier i tektura, tworzywa sztuczne, metale, odpady wielomateriałowe, szkło; odpady niebezpieczne wydzielone ze strumienia odpadów komunalnych; odpady zielone; odpady wielkogabarytowe; odpady zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego oraz odpady budowlano-remontowe (zgodnie z zapisami KPGO 2014; M.P. 2010 nr 101 poz. 1183). Selektywne zbieranie poszczególnych frakcji odpadów komunalnych pozwala na ich ponowne wykorzystanie, z uwzględnieniem różnorodnych procesów odzysku. Jednocześnie zostaje zmniejszona masa odpadów zbieranych w sposób zmieszany, przez co ogranicza się proces ich unieszkodliwiania poprzez składowanie (Dawidowska i in. 2005; Rosik-Dulewska 2011; Kłojzy-Karczmarczyk i Staszczak 2013). Minimalizacja

procesu unieszkodliwiania odpadów komunalnych poprzez składowanie jest podstawowym elementem zapobiegania negatywnemu oddziaływaniu gospodarki odpadami na środowisko (m.in. Mikołajczak 2006; Berleć i in. 2009; Staszewska i Pawłowska 2010; Wiater 2011; Kraszewski i Pietrzyk-Sokulska (red.), 2011; Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2012). Do zmniejszenia ilości odpadów kierowanych na składowiska przyczynia się selektywne zbieranie niektórych frakcji odpadów „u źródła” i ich odbiór bezpośrednio od mieszkańców. Należy jednak podkreślić, że na ograniczenie ilości odpadów kierowanych do składowania ma wpływ szereg innych procesów, m.in. przetwarzanie mechaniczne (sortowanie) oraz przetwarzanie biologiczne frakcji z dużym udziałem odpadów ulegających biodegradacji.

Podstawowym celem w gospodarce odpadami jest stworzenie systemu selektywnego zbierania odpadów komunalnych z podziałem na zabudowę jednorodzinną i wielorodzinną z uwzględnieniem szeregu zapisów wynikających z uregulowań prawnych oraz dokumentów nadrzędnych. Nowelizacja ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (tj. Dz.U. z 2012 r., poz. 391 z późn. zm.) wprowadziła zmiany w organizacji i wymaganiach dla systemu selektywnego zbierania wybranych odpadów komunalnych. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 11 czerwca 2012 roku w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych (Dz.U. z 2012 r., poz. 645) gminy są zobowiązane osiągnąć docelowo do dnia 31 grudnia 2020 r. poziomy recyklingu i przygotowania do ponownego użycia na poziomie co najmniej 50% wagowo dla papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła. Jednocześnie rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 czerwca 2012 roku w sprawie poziomów ograniczenia masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania oraz sposobu obliczania poziomu ograniczania masy tych odpadów (Dz.U. z 2012, poz. 676) określa poziomy ograniczania masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 roku. Wymagane rozporządzeniami poziomy odzysku dla poszczególnych frakcji odpadów oraz dopuszczalne do składowania poziomy odpadów ulegających biodegradacji w poszczególnych latach podano w tabeli 1.

TABELA 1. Wymagane poziomy odzysku oraz dopuszczalne poziomy składowania dla wybranych frakcji odpadów komunalnych do roku 2020

TABLE 1. Required levels of recovery and permissible landfilling levels for selected fractions of municipal waste until 2020

Rok	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Poziomy recyklingu i przygotowania do ponownego użycia odpadów [%]*									
Papier, metal, tworzywa sztuczne, szkło*	10	12	14	16	18	20	30	40	50
Inne niż niebezpieczne odpady budowlane i rozbiórkowe*	30	36	38	40	42	45	50	60	70
Dopuszczone poziomy masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania [%]**									
W stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 roku**	75	50	50	50	45	45	40	40	35

\* Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska (Dz.U. z 2012 r., poz. 645).

\*\* Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska (Dz.U. z 2012, poz. 676).

Zadaniem gmin jest określenie wymagań dotyczących zakresu i schematu selektywnego zbierania poszczególnych frakcji odpadowych, a także rodzaju i minimalnej pojemności urządzeń przeznaczonych do zbierania odpadów komunalnych na terenie nieruchomości oraz częstotliwości i sposobu ich pozbywania się z gospodarstwa domowego. W artykule zaproponowano schemat systemu selektywnego zbierania „u źródła” frakcji surowcowych odpadów komunalnych w zabudowie wielorodzinnej. Proponowany system obejmuje szacowanie niezbędnej ilości pojemników oraz minimalnej częstotliwości odbioru odpadów komunalnych, a także poziomu wypełnienia pojemników w zabudowie wielorodzinnej dla modelowej gminy o założonej liczbie mieszkańców na poziomie 10 000.

Należy podkreślić, że zbieranie odpadów na obszarach poszczególnych gmin, prowadzone jest w praktyce w sposób zróżnicowany, z dostosowaniem systemu do warunków lokalnych. Niezmiernie istotnym elementem przy opracowaniu schematu selektywnego zbierania „u źródła” jest charakter zabudowy i prognoza wytwarzania odpadów w podziale na zabudowę wielorodzinną i jednorodziną. Próba optymalizacji systemu selektywnego zbierania odpadów komunalnych dla zabudowy jednorodzinnej była przedmiotem wcześniejszych analiz (Makoudi i Staszczak 2013).

### **1. Prognoza wytwarzania i selektywnego zbierania odpadów**

W praktyce gminy wdrażają różne schematy selektywnego zbierania odpadów komunalnych, których skuteczność zależy w dużej mierze od przyjętych założeń oraz masy i rodzaju rzeczywiście wytwarzanych odpadów. Projektowanie efektywnego oraz przyjaznego dla środowiska i mieszkańców, systemu selektywnego zbierania odpadów wymaga znajomości danych, takich jak liczba ludności, morfologia i ilość wytwarzanych odpadów, wskaźniki wytwarzania. W większości gmin brak jest rzeczywistych gminnych badań morfologii wytwarzania odpadów, co utrudnia szacowanie ich ilości. W takim przypadku do szacowań można przyjąć dane z Krajowego Planu Gospodarki Odpadami (aktualnie KPGO 2014), wojewódzkiego planu gospodarki odpadami lub dane statystyczne (Grabowski 2011). Należy zaznaczyć, że przyjęcie takich danych w miejsce danych lokalnych może mieć wpływ na dokładność szacowań.

Proponowany w artykule system selektywnego zbierania odpadów surowcowych opracowano **dla zabudowy wielorodzinnej łączącej pierwotnie 10 000 mieszkańców** (przyjęta modelowa gmina – obszar modelowy). Prognoza wytwarzania całości odpadów komunalnych została opracowana dla grup odpadów zgodnie z przyjętą analizą morfologiczną oraz wskaźnikami wytwarzania z Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2014 (M.P.2010, nr 101, poz. 1183) (tab. 2). Dla prognozowania wytwarzania odpadów do 2020 roku przyjęto ponadto prognozę dotyczącą zmian liczby ludności dla obszaru Polski ([www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl)).

W analizie założono, że selektywnym zbieraniem „u źródła” objęte zostaną: papier, tworzywa sztuczne, szkło, metale oraz odpady niebezpieczne wydzielone ze strumienia odpadów komunalnych, odpady wielkogabarytowe, budowlano-remontowe, a także odpady zielone zbierane w odrębnych punktach (np. PSZOK). Dla potrzeb analizy założono, że selektywne zbieranie odpadów „u źródła” w modelowej gminie doprowadzi do osiągnięcia odpowiednich poziomów wymaganych przepisami prawa (tab. 1) dla odpadów surowcowych, nazywanych

TABELA 2. Prognoza wytwarzania odpadów komunalnych przez modelową gminę o zabudowie wielorodzinnej i liczbie mieszkańców 10 000 w latach 2014 i 2020

TABLE 2. Forecast of municipal waste generation by a model commune with multifamily housing and a population of 10,000 in 2014 and 2020

Frakcja morfologiczna odpadów (rodzaj odpadu):	Odpady wytworzone [Mg/rok]	
	rok 2014	rok 2020
Papier i tektura	396	414
Szkło	416	436
Metale	61	64
Tworzywa sztuczne	449	470
Odpady wielomateriałowe	163	171
Odpady kuchenne i ogrodowe	1 498	1 569
Odpady mineralne	114	120
Frakcje <10mm	278	291
Tekstyliia	163	171
Drewno	12	13
Odpady niebezpieczne	25	26
Inne kategorie	184	192
Odpady wielkogabarytowe	106	111
Odpady z terenów zielonych	217	227
Ogółem zabudowa wielorodzinna	4 082	4 275

Źródło: na podstawie wskaźników KPGO 2014 [M.P. 2010 nr 101 poz. 1183]

w prowadzonej analizie łącznie „frakcją suchą”. Pozostała część odpadów wybranych frakcji oraz frakcje nieujęte będą trafiać do strumienia odpadów zmieszanych, a następnie mogą zostać przetworzone w całości lub w części w wyniku dalszego procesu segregacji mechanicznej i zostać skierowane do przetwarzania biologicznego.

### 1.1. Odpady surowcowe selektywnie zbierane

Założono, że w modelowej gminie o liczbie mieszkańców 10 000 każdy budynek wielorodzinny ma 5-kondygnacji zamieszkałych łącznie przez 100 osób. Zgodnie z Narodowym Spisem Powszechnym z 2011 roku ([www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl)), w skali kraju przeciętna liczba osób w gospodarstwie domowym wynosi 2,82 osoby, a na terenie miasta 2,52 osoby. Z przyjętych założeń wynika zatem, że każdy budynek zamieszkiwany jest średnio przez 40 rodzin. Każdy budynek w modelowej gminie zostanie zaopatrzone w komplet pojemników (1100 dm<sup>3</sup>) z uwzględnieniem selektywnego zbierania, w ilości uzależnionej od przyjętego systemu zbierania. Dla zabudowy wielorodzinnej założono, że odpady surowcowe zbierane będą selektywnie w dwóch wariantach:

- Wariant I zakłada, że zbieranie selektywne odpadów surowcowych prowadzone będzie do trzech pojemników o pojemnościach 1100 dm<sup>3</sup> każdy (szkło białe i ko-

lorowe, papier i makulatura oraz łącznie tworzywa sztuczne i drobne metale) – wielopojemnikowy system zbierania.

- Wariant II zakłada, że zbieranie odpadów surowcowych prowadzone będzie do wspólnego pojemnika o pojemności 1100 dm<sup>3</sup> jako łączna frakcja sucha – dwupojemnikowy system zbierania (z podziałem na „suche-mokre”).

W każdym z analizowanych wariantów odpady zmieszane będą zbierane do pojemnika o pojemności 1100 dm<sup>3</sup>.

Masa odpadów surowcowych przeznaczona do selektywnego zebrania (tab. 3), ustalona zgodnie z wymaganymi poziomami dla poszczególnych lat, jest wielkością wyjściową i podstawową do oszacowania częstotliwości odbioru i wywozu odpadów z modelowego budynku zamieszkałego przez 100 osób.

TABELA 3. Odpady surowcowe (frakcja sucha) wytworzone przez mieszkańców budynku wielorodzinnego w modelowej gminie oraz prognozowane wielkości selektywnego zbierania „u źródła” w latach 2014 i 2020

TABLE 3. Raw material waste (dry fraction) generated by the inhabitants of a multi-family building in a model commune and a forecast of selective collection “at the source” in 2014 and 2020

Rodzaj odpadu	Wytwarzanie oraz selektywnie zbieranie dla jednego budynku zamieszkałego przez 100 mieszkańców		Rok 2014	Rok 2020
Wariant I	papier	masowe poziomy selektywnego zbierania [Mg/rok]	0,55	2,08
		liczba dni potrzebnych do napełnienia 1 pojemnika*	55	15
		wytworzone ogółem [Mg/rok]	3,96	4,15
	szkło łącznie	masowe poziomy selektywnego zbierania [Mg/rok]	0,58	2,18
		liczba dni potrzebnych do napełnienia 1 pojemnika*	117	31
		wytworzone ogółem [Mg/rok]	4,16	4,36
	tworzywa sztuczne i metale	masowe poziomy selektywnego zbierania [Mg/rok]	0,71	2,67
		liczba dni potrzebnych do napełnienia 1 pojemnika*	14	4
		wytworzone ogółem [Mg/rok]	5,10	5,34
Wariant II	frakcja sucha łącznie	masowe poziomy selektywnego zbierania [Mg/rok]	1,85	6,93
		liczba dni potrzebnych do napełnienia 1 pojemnika*	11	3
		wytworzone ogółem [Mg/rok]	13,23	13,85

\* Przyjęty współczynnik wypełnienia pojemników 0,85.

## 1.2. Odpady zbierane w sposób zmieszany

Przy założeniu selektywnego zbierania odpadów surowcowych „u źródła”, odpadów z terenów zielonych, odpadów wielkogabarytowych, odpadów remontowo-budowlanych, zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego oraz odpadów niebezpiecznych, pozostałe odpady zbierane w sposób zmieszany w zabudowie wielorodzinnej (docelowo w roku 2020):

- 50% masy odpadów surowcowych (papier, szkło, tworzywa sztuczne i metal),
- 100% odpadów ulegających biodegradacji z wyłączeniem odpadów zielonych oraz papieru, a obejmujących odpady kuchenne i ogrodowe, część odpadów wielomateriałowych, tekstylnych, drewna oraz frakcji <10 mm,

- 60% odpadów wielomateriałowych,
- 100% odpadów mineralnych,
- 70% frakcji <10 mm,
- 50% odpadów tekstylnych,
- 50% drewna.

W tabeli 4 oszacowano i podano masę poszczególnych frakcji morfologicznych odpadów wchodzących w skład odpadów zmieszanych i zbieranych w gospodarstwach jako zmieszane dla 2014 i 2020 roku.

TABELA 4. Masa odpadów zbieranych w sposób zmieszany przez 10 000 mieszkańców modelowej gminy z zabudową wielorodzinną w latach 2014 i 2020

TABLE 4. Mass of mixed waste collected by 10,000 inhabitants of a model commune in multifamily housing in 2014 and 2020

Fracja morfologiczna odpadów (rodzaj odpadu)	Odpady zbierane w sposób zmieszany [Mg/rok]	
	rok 2014	rok 2020
Papier i tektura	340	207
Szkło	358	218
Metale	53	32
Tworzywa sztuczne	386	235
Odpady wielomateriałowe	99	103
Odpady kuchenne i ogrodowe	1 498	1 569
Odpady mineralne	114	120
Frakcje <10 mm	194	203
Tekstylia	82	85
Drewno	6	6
Razem zmieszane dla gminy 10 000 mieszkańców	3 130	2 779
Razem zmieszane dla budynku wielorodzinnego zamieszkałego przez 100 mieszkańców	31,30	27,79

## 2. Szacowanie niezbędnej ilości pojemników oraz poziomu ich wypełnienia

Określenie ilości niezbędnych pojemników do zbierania odpadów surowcowych i pozostałych w sposób zmieszany w poszczególnych latach, celem osiągnięcia odpowiednich rocznych poziomów recyklingu i przygotowania do ponownego użycia jest istotnym etapem projektowania systemu selektywnego zbierania odpadów. **Ilość niezbędnych pojemników** określono z wykorzystaniem przekształconego wzoru, podawanego w poradniku S. Opęchowskiego (2006):

$$n = \frac{Wv \cdot M \cdot t}{V}$$

gdzie:

- $n$  – liczba pojemników o pojemności  $V$ ,
- $W_v$  – objętościowy wskaźnik wytwarzania odpadów [ $\text{dm}^3/\text{mieszkańca}/\text{dzień}$ ],
- $M$  – liczba mieszkańców,
- $t$  – liczba dni (częstotliwość odbioru),
- $V$  – pojemność pojemnika [ $\text{dm}^3$ ].

Ciężar objętościowy odpadów surowcowych został przyjęty na podstawie własnych doświadczeń pozyskanych w warunkach rzeczywistych z wyszczególnieniem pojemników o pojemności  $1100 \text{ dm}^3$ . Przyjęte wartości ciężaru objętościowego odpadów wynoszą: dla papieru  $90 \text{ kg/m}^3$ , szkła  $200 \text{ kg/m}^3$ , tworzyw sztucznych  $30 \text{ kg/m}^3$ , metalu  $70 \text{ kg/m}^3$ . Ciężar objętościowy odpadów zmieszanych zależy od ich stopnia zagęszczenia w pojemnikach, stąd przyjęto oszacowaną, uśrednioną wielkość na poziomie  $200 \text{ kg/m}^3$ . Przyjęte wartości w dużej mierze mieszczą się w granicach podawanych w innych źródłach informacji, m.in. za S. Opęchowskim (2006). Założono, że pojemnik wypełniony w całości odpadami w praktyce wypełniony jest na poziomie 85% (współczynnik wypełnienia pojemników 0,85).

### 2.1. Selektywne zbieranie odpadów surowcowych

Szacowanie częstotliwości odbioru i wywozu odpadów surowcowych dla zabudowy wielorodzinnej oraz poziomu wypełnienia pojemników przeprowadzono dla dwóch wariantów selektywnego zbierania (I oraz II). Poziom wypełnienia pojemników zależy od przyjętej częstotliwości wywozu odpadów, co podaje tabela 5 oraz ilustruje rysunek 2.

Z przeprowadzonych obliczeń, wykonanych z wykorzystaniem przekształconego wzoru za S. Opęchowskim (2006) wynika, że w celu osiągnięcia odpowiednich poziomów recyklingu i przygotowania odpadów surowcowych do ponownego użycia, przy założeniu selektywnego zbierania „u źródła”, istnieje konieczność rozstawienia zróżnicowanej ilości pojemników w zależności od rodzaju odpadu (tab. 5). Największą wymaganą ilość pojemników obliczono dla zbieranej frakcji tworzyw sztucznych oraz metali. Chcąc zatem zapewnić optymalne wypełnienie pojemności pojemników, należy przyjąć różną częstotliwość odbioru i wywozu odpadów selektywnie zebranych, w zależności od przyjętego wariantu selektywnego zbierania, przy czym częstotliwość wywozu powinna się zwiększać w kolejnych latach funkcjonowania systemu (rys. 1, 2). Przy założeniu wypełnienia pojemników w całości odpadami wymagana częstotliwość wywozu kształtuje się w szerokich granicach, a dla szkła w roku 2014 wynosi około 4 miesiące (rys. 1, tab. 3). Taka częstotliwość, korzystna ze względów ekonomicznych, jest jednak trudna do zaakceptowania w warunkach zabudowy wielorodzinnej ze względów sanitarnych.

Przy założonym I wariantcie zbierania i przy częstotliwości wywozu raz na 15 dni, pojemniki z przeznaczeniem na papier i szkło osiągną poziom wypełnienia kolejno 27% i 13% w 2014 roku oraz 101% i 48% w roku 2020 roku. Częstotliwość odbioru dla szkła zebranego selektywnie powinna zostać zatem zmniejszona do wywozu raz na 30 dni (rys. 1). Natomiast pojemniki z przeznaczeniem łącznie na tworzywa sztuczne i metale przy wywozie raz na 4 dni zostaną wypełnione w 26% w 2014 roku i 97% w 2020 roku.



TABELA 5. Poziom wypełnienia pojemników przy określonej częstotliwości odbioru i wywozu odpadów surowcowych zebranych selektywnie przez 100 mieszkańców jednego budynku wielorodzinnego

TABLE 5. The rate of bin filling at a certain frequency of disposal of raw material waste collected separately by 100 inhabitants of one, multi-family building

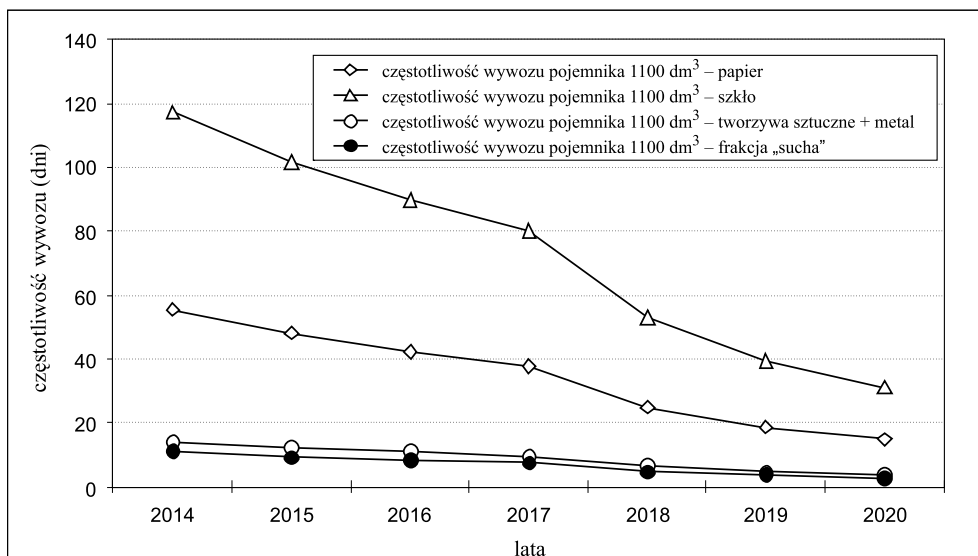
Rodzaj odpadu		Selektywnie zbieranie dla jednego budynku zamieszkałego przez 100 mieszkańców	Rok 2014	Rok 2020
Wariant I	papier	ilość pojemników wymagana zgodnie z przyjętymi poziomami selektywnego zbierania dla jednego budynku wielorodzinnego rocznie [szt]	7	25
		poziom wypełnienia przy odbiorze co 15 dni [%]	27	101
		poziom wypełnienia przy odbiorze co 21 dni [%]	38	141
		poziom wypełnienia przy odbiorze co 30 dni [%]	54	202
	szkło łącznie	ilość pojemników wymagana zgodnie z przyjętymi poziomami selektywnego zbierania dla jednego budynku wielorodzinnego rocznie [szt]	3	12
		poziom wypełnienia przy odbiorze co 15 dni [%]	13	48
		poziom wypełnienia przy odbiorze co 21 dni [%]	18	67
		poziom wypełnienia przy odbiorze co 30 dni [%]	26	96
	tworzywa sztuczne i metale	ilość pojemników wymagana zgodnie z przyjętymi poziomami selektywnego zbierania dla jednego budynku wielorodzinnego rocznie [szt]	24	89
		poziom wypełnienia przy odbiorze co 4 dni [%]	26	97
		poziom wypełnienia przy odbiorze co 7 dni [%]	45	170
	Wariant II	frakcja sucha łącznie	ilość pojemników wymagana zgodnie z przyjętymi poziomami selektywnego zbierania dla jednego budynku wielorodzinnego rocznie [szt]	33
poziom wypełnienia przy odbiorze co 4 dni [%]			37	137
poziom wypełnienia przy odbiorze co 4 dni [%] przy założeniu 2 pojemników			18	69
poziom wypełnienia przy odbiorze co 7 dni [%] przy założeniu 2 pojemników			32	120

Szacowana liczba pojemników została zaokrąglona do pełnych wartości.  
Przyjęty współczynnik wypełnienia pojemników 0,85.

Przy założonym II wariantie zbierania, obejmującym łącznie frakcję suchą i przy częstotliwości wywozu raz na 4 dni, pojemniki z przeznaczeniem na odpady surowcowe osiągną łącznie poziom wypełnienia kolejno 37% w 2014 roku i 137% w 2020 roku. Na przełomie 2018 i 2019 roku przy częstotliwości wywozu raz na 4 dni zachodzi zatem konieczność podwojenia ilości pojemników lub zwiększenia częstotliwości wywozu.

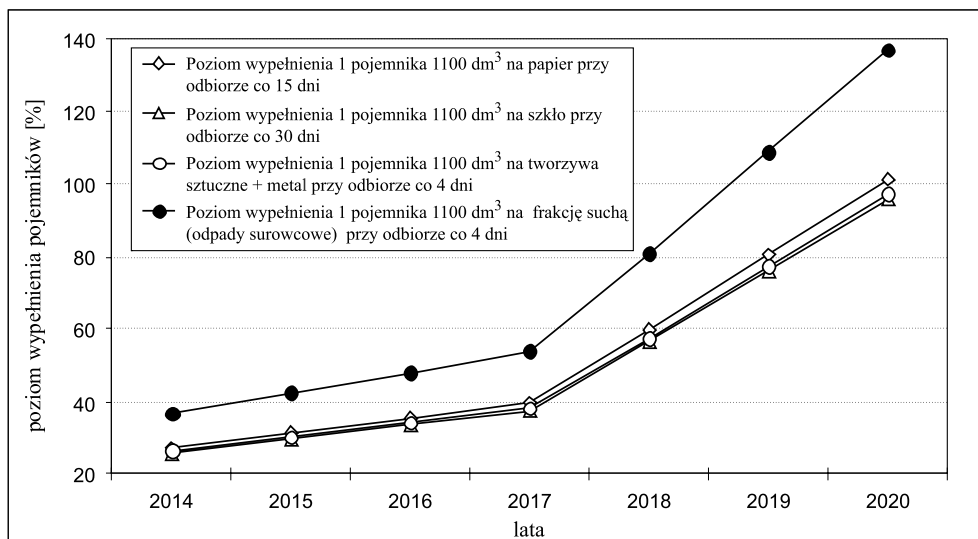
## 2.2. Zbieranie odpadów w sposób zmieszany

Celem określenia ilości niezbędnych pojemników do zbierania zmieszanych odpadów komunalnych z terenu zabudowy wielorodzinnej oraz poziomu ich wypełnienia założono,



Rys. 1. Szacowana częstotliwość wywozu odpadów przy założonym całkowitym wypełnieniu pojemników (współczynnik wypełnienia 0,85) dla modelowego budynku (100 mieszkańców)

Fig. 1. Estimated frequency of exporting the waste containers filled (filling factor – 0.85) for the model building (100 inhabitants)



Rys 2. Poziom wypełnienia pojemników w poszczególnych latach i proponowana częstotliwość wywozu w roku 2020 przy wyposażeniu modelowego budynku (100 mieszkańców) w zestaw jednakowych pojemników zgodnie z dwoma wariantami

Fig. 2. The rate of bin filling in different years and proposed frequency of disposal in 2020, assuming that the model building (100 inhabitants) has a set of identical bins in two variants

że każdy budynek zabudowy wielorodzinnej wyposażony będzie w pojemniki 1100 dm<sup>3</sup> (1 lub 2 pojemniki), do których trafiać będą pozostałe odpady nie zbierane selektywnie. Z odpadów zbieranych w sposób zmieszany wyłączono papier, szkło, tworzywa sztuczne i metale (zbierane selektywnie „u źródła”) oraz dodatkowo odpady niebezpieczne wydzielone ze strumienia odpadów komunalnych, odpady wielkogabarytowe, budowlano-remontowe oraz odpady zielone, zbierane w odrębnych punktach (np. PSZOK – punktach selektywnego zbierania odpadów komunalnych).

Dla założonych częstotliwości wywozu odpadów zbieranych w sposób zmieszany z terenu zabudowy wielorodzinnej całej gminy, a także odbieranych od 100 mieszkańców przykładowego budynku wielorodzinnego określono liczbę pojemników o pojemnościach 1100 dm<sup>3</sup> konieczną do rozstawienia celem zbierania rocznych ilości zmieszanych odpadów komunalnych (tab. 6). Przewidywane poziomy wypełnienia pojemników przy założeniu rozstawienia ich kompletu dla każdego budynku z osobna przedstawiono na rysunku 3.

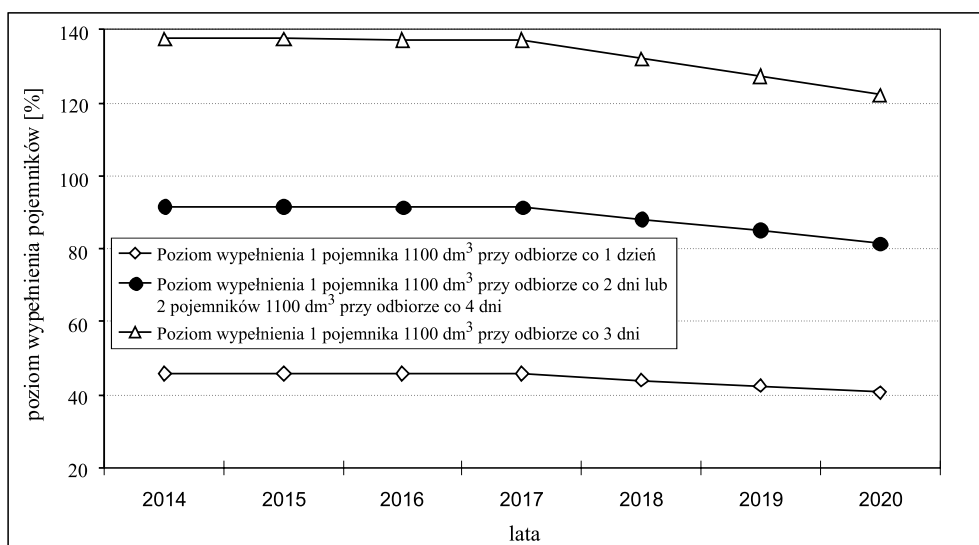
TABELA 6. Zależność koniecznej do rozstawienia liczby pojemników od częstotliwości wywozu odpadów komunalnych zbieranych w sposób zmieszany w latach 2014 i 2020

TABLE 6. The correlation between the number of bins and the frequency of disposal of mixed municipal waste collected in 2014 and 2020

Liczba pojemników / Częstotliwość wywozu [dni]	Rok 2014	Rok 2020
Prognozowana masa zebranych odpadów zmieszanych <b>dla całej gminy</b> (10 000 mieszkańców) [Mg]	3 130	2 779
Liczba pojemników o poj. 1100 dm <sup>3</sup> wymagana dla całej gminy:		
– co 1 dzień	46	41
– co 2 dni	92	81
– co 4 dni	183	163
– co 7 dni	321	285
Prognozowana masa zebranych odpadów zmieszanych <b>dla jednego budynku</b> (100 mieszkańców) [Mg]	31,30	27,79
Liczba pojemników o poj. 1100 dm <sup>3</sup> wymagana dla jednego budynku:		
– co 1 dzień	0,5	0,4
– co 2 dni	0,9	0,8
– co 4 dni	1,8	1,6
– co 7 dni	3,2	2,9

Szacowana liczba pojemników dla całej gminy została zaokrąglona do pełnych wartości. Przyjęty współczynnik wypełnienia pojemników 0,85.

Poziom wypełnienia pojemnika zależy od częstotliwości jego wywozu. Przy codziennej częstotliwości opróżniania, pojemnik 1100 dm<sup>3</sup> będzie zapełniony w 46% w 2014 roku i 41% w 2020 roku, natomiast przy dwudniowej częstotliwości opróżniania poziom wypełnienia wynosić będzie 92% w 2014 roku i 81% w 2020 roku. Przy trzydniowej częstotliwości opróżniania pojemnik 1100 dm<sup>3</sup> będzie zapełniony w 138% w 2014 roku i 122% w 2020 roku, co oznacza, że należy wyposażyć budynek w dodatkowy



Rys 3. Poziom wypełnienia pojemników przeznaczonych na odpady zbierane w sposób zmieszany w poszczególnych latach i proponowana częstotliwość wywozu przy założeniu zwiększającego się selektywnego zbierania frakcji suchej odpadów do roku 2020 dla modelowego budynku (100 mieszkańców)

Fig. 3. The rate of filling bins for mixed waste in subsequent years and the proposed frequency of disposal assuming an increase in the collected dry waste fraction until 2020 for the model building (100 inhabitants)

pojemnik. Wyposażenie każdego budynku w dwa pojemniki o pojemnościach 1100 dm<sup>3</sup> z częstotliwością wywozu co 4 dni zapewni 92% poziom wypełnienia pojemnika w 2014 roku i 81% w 2020 roku.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że minimalna częstotliwość odbioru odpadów komunalnych zmieszanych zbieranych przez mieszkańców budynku wynosi co 2 dni przy założeniu rozstawienia jednego pojemnika lub co 4 dni przy rozstawieniu dwóch pojemników przy każdym budynku (rys. 3). Jest to proponowana przez autorów częstotliwość wywozu zmieszanych odpadów komunalnych. Takie rozwiązanie pozwoli ponadto na jednoczesny wywóz odpadów (co 4 dni) zbieranych selektywnie, jako frakcja sucha (II wariant selektywnego zbierania) oraz zbieranych w sposób zmieszany.

### Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono założenia i efekty weryfikacji schematu systemu selektywnego zbierania „u źródła” frakcji surowcowych odpadów komunalnych w zabudowie wielorodzinnej dla modelowej gminy o założonej liczbie mieszkańców na poziomie 10 000. Objęto nią budynki wielorodzinne zamieszkałe średnio przez 100 osób. Mimo, że analizę przeprowadzono dla modelowej (fikcyjnej) gminy, to opracowany schemat postępowania i wnioski mogą mieć zastosowanie przy optymalizacji systemu w rzeczywistych gminach.

Powinny się one charakteryzować dużym udziałem zabudowy wielorodzinnej, a zbieranie odpadów na ich obszarach powinno zostać zweryfikowane w odniesieniu do możliwości i uwarunkowań gminy.

Zakładając wymagane poziomy selektywnego zbierania odpadów surowcowych oraz wyniki szacowań ilości niezbędnych pojemników, poziomu ich wypełniania i częstotliwości wywozu stwierdza się, że zbieranie oddzielnie poszczególnych frakcji odpadów surowcowych skutkuje nierównomierną częstotliwością wywozu odpadów. Przy założeniu przeznaczenia jednego pojemnika na każdą z frakcji (system wielopojemnikowy), najlepszym rozwiązaniem – zdaniem autorów – jest odbiór i wywóz tworzyw sztucznych z częstotliwością co 4 dni, natomiast papieru i szkła z częstotliwością odpowiednio co 15 oraz co 30 dni. Natomiast przy założeniu selektywnego zbierania łącznie dla wszystkich frakcji suchych (system dwupojemnikowy) i przy przyjęciu jednego wspólnego pojemnika dla każdego budynku, najlepszym rozwiązaniem jest odbiór i wywóz odpadów surowcowych z częstotliwością co 4 dni. W okolicach roku 2018 zachodzić będzie jednak konieczność zwiększenia ilości pojemników przeznaczonych na zbieranie frakcji suchej do dwóch.

Biorąc pod uwagę przeprowadzoną analizę oraz uwarunkowania i cechy zabudowy wielorodzinnej można sądzić, że rozsądnym rozwiązaniem dla takiego charakteru obszaru jest selektywne zbieranie odpadów surowcowych oraz zmieszanych w podziale na „frakcje suche” oraz „frakcje mokre”. W analizowanym przypadku taki podział zbieranych odpadów komunalnych pozwala na ustalenie wspólnej częstotliwości odbioru odpadów selektywnie zebranych jako frakcja sucha oraz zbieranych w sposób zmieszany, która wynosi tutaj co 4 dni. System zbierania dwupojemnikowy jest z powodzeniem stosowany w dużych aglomeracjach miejskich, a zebrana frakcja kierowana jest do rozdzielania w sortowni (Jakubiak i Śliwka 2013). Należy jednak zaznaczyć, że najwyższą wartość surowcową osiąga się przy zbieraniu odpadów w sposób selektywny w systemie wielopojemnikowym bez późniejszej segregacji mechanicznej (Kraszewski i Pietrzyk-Sokulska, red., 2011).

Weryfikacja założeń systemu została przeprowadzona w celu uzyskania pozytywnego efektu środowiskowego selektywnego zbierania frakcji surowcowych i nie uwzględnia strony ekonomicznej realizacji zadań. Zasady funkcjonowania systemu wpływają jednak zarówno na wysokość opłat wnoszonych przez mieszkańców jak też na jakość poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego. Wybór systemu selektywnego zbierania i wdrażanie założeń na obszarach poszczególnych gmin powinny być dostosowane w praktyce do warunków lokalnych z uwzględnieniem akceptowalności poszczególnych rozwiązań przez społeczeństwo.

Praca została zrealizowana w ramach prac statutowych IGSMiE PAN

## Literatura

- Berleć i in. 2009 – Berleć, K., Budzińska, K., Szejniuk, B. i Kułakowska, A. 2009. Ocena oddziaływania składowiska odpadów komunalnych na wybrane parametry mikrobiologiczne powietrza. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, t. 11, s. 1317–1328.
- Dawidowska i in. 2005 – Dawidowska, A., Bzowski, A. i Roszko, K. 2005. *Instalacja do segregacji odpadów komunalnych ZUOK „Zoniówka” w Zakopanem elementem ograniczenia ilości składowanych odpadów*. Mat. VI Forum Gospodarki Odpadami, Licheń–Poznań, s. 449–455.

- Grabowski, Z. 2011. *Wtyczne dla gmin dotyczące wdrażania systemu gospodarowania odpadami komunalnymi*. Ministerstwo Środowiska;
- Jakubiak, M. i Śliwka, M. 2013. Gospodarka odpadami komunalnymi w Krakowie jako element zrównoważonego rozwoju miasta. *Logistyka* 4, s. 152–159.
- Klojzy-Karczmarczyk i in. 2012 – Klojzy-Karczmarczyk, B., d'Obyrn, K. i Mazurek, J. 2012. Analysis of Long-Term Changes in Water Chemistry of the Malinówka Stream in the Region of Potencial Municipal Landfill Impact on Barycz Salt Deposit Post-Mining Sites. *Polish Journal of Environmental Studies*, Wyd. HARD Publishing Company, Olsztyn, Poland, t. 21, nr 5A, s. 180–185.
- Klojzy-Karczmarczyk, B. i Staszczak, J. 2013. Ograniczenie składowania w wyniku segregacji i selektywnego zbierania frakcji suchej odpadów komunalnych. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 84, Wyd. IGSMiE PAN, s. 75–87.
- Krajowy Plan Gospodarki Odpadami KPGO 2014 – przyjęty Uchwałą Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie *Krajowego planu gospodarki odpadami 2014* [M.P. 2010 nr 101 poz. 1183].
- Kraszewski, A. i Pietrzyk-Sokulska, E. (red.) 2011. *Ocena systemu gospodarki odpadami. Cz. I – Uwarunkowania prawne i technologiczne oraz kryteria oceny funkcjonowania gospodarki odpadami; Cz. II – Praktyczne zastosowania*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Makoudi, S. i Staszczak, J. 2013. Próba optymalizacji systemu selektywnej zbiórki odpadów komunalnych u źródła w zabudowie jednorodzinnej. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 84, Wyd. IGSMiE PAN, s. 89–101.
- Mikołajczak, J. 2006. The assesment the environmental risk on the areas degraded by the landfill. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 22, z. 4, Wyd. IGSMiE PAN, s. 67–74.
- Opęchowski, S. 2006. *Zasady określania liczby i rodzaju pojemników do zbierania odpadów komunalnych w tym do selektywnego gromadzenia oraz częstotliwości ich opróżniania. Poradnik*. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Ekologii Miast OBREM, Łódź,
- Rocznik statystyczny GUS, BDL, 2011 [www.stat.gov.pl].
- Rosik-Dulewska, Cz. 2011. *Podstawy gospodarki odpadami*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 maja 2012 r. w sprawie *poziomów ograniczenia masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania oraz sposobu obliczania poziomu ograniczania masy tych odpadów* [Dz.U. z 2012 r., poz. 676].
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2012r. w sprawie *poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych* [Dz.U. z 2012 r., poz. 645].
- Wiater J., 2011. Wpływ składowisk odpadów komunalnych na jakość wód podziemnych oraz właściwości gleb. *Inżynieria Ekologiczna* nr 26, s. 133–146.
- Staszewska, E. i Pawłowska, M. 2010. Characteristics of Emissions from Municipal Waste Landfills. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, t. 12, s. 47–59.
- Uchwała Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie *Krajowego planu gospodarki odpadami 2014*, [M.P.2010, nr 101, poz. 1183].
- Ustawa z dnia 13 września 1996 roku o *utrzymaniu czystości i porządku w gminach* [t.j. Dz.U. z 2012 r., poz. 391 z późn. zm].