

# Analiza możliwości wykorzystania procesów mechanicznych w segregacji odpadów komunalnych

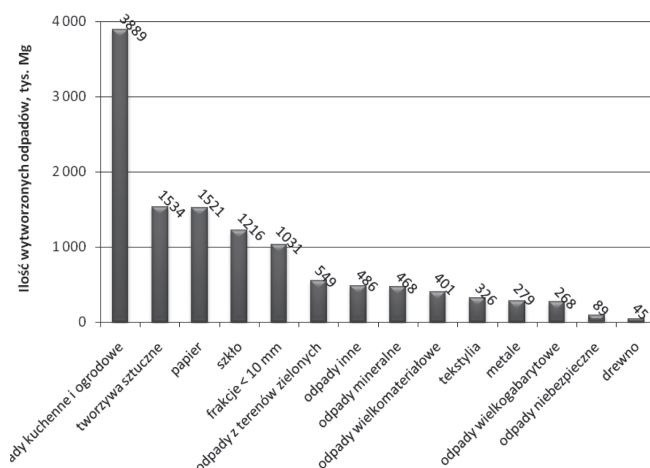
Grzegorz LIGUS - Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, Opole

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2011, 65, 11,

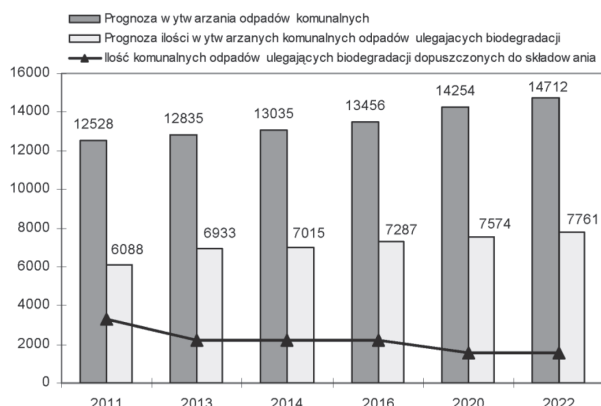
## Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój cywilizacyjny społeczeństwa, które w coraz większym stopniu przyjmuje postawy konsumpcyjne jest nieodzownie związany z oddziaływaniami na wszystkie komponenty środowiska naturalnego. Oddziaływania te są w zdecydowanej większości poznane, zarówno pod kątem swojej genezy jak i sposobów niwelowania ich negatywnych skutków. Niestety znajomość i dostępność środków zapobiegawczych nie zawsze jest równoznaczna z wyraźną poprawą jakości komponentów środowiska. Jednym z obszarów działań proekologicznych, który w skali kraju nie został w pełni dostosowany do obecnie panujących standardów europejskich, jest sektor gospodarki odpadami. W krajowym planie gospodarki odpadami 2010 [1] zdefiniowano następujące problemy w tym obszarze:

- Brak wystarczającej liczby instalacji do odzysku i unieszkodliwiania odpadów, w tym szczególnie odpadów podlegających biodegradacji
- Niska aktywność gmin w działaniach związanych z tworzeniem jednostek ponadgminnych zajmujących się gospodarką odpadami
- Niezgodny z wymaganiami prawnymi stan techniczny instalacji
- Utrudnienia lub brak dostępu do systematycznych badań morfologicznych odpadów i jakościowych produktów ich przetwarzania
- Niedostateczny stan świadomości ekologicznej społeczeństwa.



Rys. 1. Struktura i ilość odpadów komunalnych wytworzonych w Polsce w 2008 r. [2]



Rys. 2. Prognoza ilości wytwarzanych odpadów komunalnych na lata 2011-2022 [2], tys. Mg

Poza barierami natury technicznej, dodatkowym obciążeniem jest ilościowy aspekt problemu gospodarowania odpadami w Polsce. W 2008 r. całkowita ilość odpadów komunalnych wytworzonych w kraju osiągnęła poziom 12 100 tys. Mg i była wyższa o ok. 2 tys. Mg niż w 2007 r. [2]. W ciągu najbliższych 10 lat, biorąc pod uwagę rozwój gospodarczy i cywilizacyjny oraz uwarunkowania prawne, nadal prognozuje się utrzymanie bieżącego trendu wzrostu ilości wytwarzanych odpadów komunalnych.

Zgodnie z Dyrektywą Unii Europejskiej w Sprawie Odpadów [3] oraz Ustawą o odpadach [4], jak również odnosząc się do Rozporządzenia z 12 czerwca 2007 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku danego typu [5], nakładającym obowiązek unikania składowania odpadów komunalnych, których ciepło spalania przekracza 6 MJ/kg suchej masy, w Krajowym planie gospodarki odpadami 2014, za cel dalekosiężny, wyznacza się dojście do systemu zgodnego z zasadą zrównoważonego rozwoju, w którym w pełni realizowane są zasady hierarchicznego sposobu postępowania z odpadami. Oznacza to, iż po raz kolejny uwypuklono problem składowania zmieszanych odpadów komunalnych, przez sklasyfikowanie tych działań jako najmniej pożądanego sposobu zagospodarowania odpadów.

Powyższy dokument zakłada również zmniejszenie, do końca 2014 r., masy składowanych odpadów komunalnych do maksymalnie 60% wytworzonych odpadów. Ponadto, redukcji ma ulec również ilość frakcji biodegradowalnej pochodzenia komunalnego, do 50% w 2013 r. i 35% w 2020 r., w odniesieniu do masy odpadów komunalnych wytworzonych w 1995 r. Wobec niedostatecznie rozwiniętego systemu selektywnego zbierania odpadów komunalnych, zwiększenie udziału odzysku odpadów komunalnych (zarówno na drodze recyklingu jak i odzysku energii) związane jest z koniecznością budowy linii technologicznych do przetwarzania zmieszanych odpadów, funkcjonujących w ramach zakładów zagospodarowania odpadów (ZZO).

W ślad za wytycznymi dokumentów strategicznych, w najbliższym czasie należy spodziewać się intensyfikacji działań mających na celu wyłączenie ze strumienia zmieszanych odpadów komunalnych poszczególnych frakcji i przekazywania ich do odzysku lub specjalistycznego unieszkodliwiania. Jedną z możliwości gwarantujących osiągnięcie tego celu jest zastosowanie, na dowolnym etapie realizacji systemu gospodarki odpadami, segregacji zmieszanych odpadów z wykorzystaniem procesów mechanicznych. Należy mieć na uwadze, że wykorzystanie mechanicznej segregacji zmieszanych odpadów komunalnych jest jedynie uzupełnieniem elementów proponowanego systemu gospodarki odpadami, a nie samodzielną formą ich przekształcania, mogącą funkcjonować autonomicznie. Z tego też względu konieczność zlokalizowania w zakładach zagospodarowania odpadów linii technologicznych do segregacji mechanicznej, nie zwalnia administratorów systemu gospodarki odpadami, od prowadzenia szeroko zakrojonego programu selektywnej zbiórki bezpośrednio od wytwórcy odpadu (wyraźnie jest to zaakcentowane w dokumencie [2], wg którego selektywna zbiórka odpadów na objąć wszystkich mieszkańców kraju najpóźniej do 2015 r.). System gospodarki odpadami oparty na powyższych założeniach został zobrazowany na rysunku 3.



Rys. 3. System gospodarki odpadami oparty na zakładach zagospodarowania odpadów

### Procesy mechanicznego segregowania odpadów

Tworzenie wysokoefektywnych systemów gospodarki odpadami powinno być efektem synergii selektywnej zbiórki „u źródła” oraz technik sortowania mechanicznego [8÷10]. Aby w pełni przeanalizować proces segregacji mechanicznej odpadów, należy mieć świadomość, że wobec dokumentów strategicznych nie powinny one stanowić samodzielnej formy przekształcania odpadów, mogącej funkcjonować autonomicznie. Procesy mechanicznego segregowania zmieszanych odpadów komunalnych możemy sklasyfikować wg kilku kryteriów, takich jak natura procesu, wielkość oraz forma uzyskanego produktu lub liczba jednocześnie pozyskiwanych frakcji. W praktyce stosuje się głównie klasyfikację bazującą na identyfikacji cechy klasyfikującej zmieszane odpady na poszczególne frakcje lub funkcji, jaką pełni dany proces w linii technologicznej zakładu segregującego odpady. Stosując taki podział możemy rozróżnić:

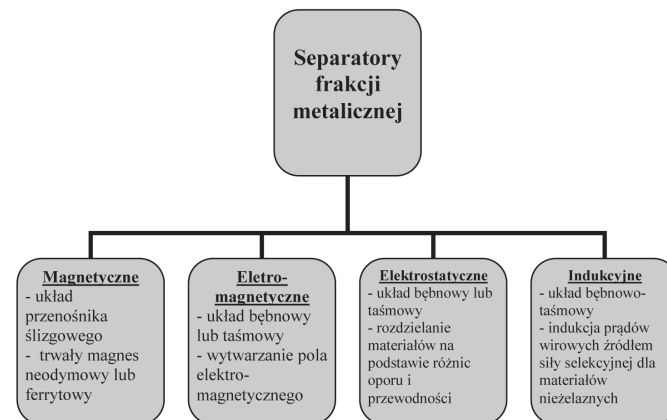
#### Procesy przesiewania

Wykorzystywane sposoby przesiewania są uzależnione od składu morfologicznego odpadów. W przesiewaczach odpadów stosuje się dwa główne rodzaje konstrukcyjne sit: sita płaskie i sita bębnowe. W obu przypadkach czynnikiem klasyfikującym jest rozmiar danej frakcji odpadu, jednak sam proces realizowany jest już odrębnymi technikami. W przesiewaniu na sitach płaskich wykorzystuje się kombinację ruchu posuwisto-zwrotnego sita i liniowego odpadu (wywołanego siłą grawitacji lub/i drganiem sita). Natomiast w sitach bębnowych moment napędowy procesu stanowi siła odśrodkowa generowana ruchem obrotowym.

#### Procesy separacji metali i metali nieżelaznych

Frakcja metalowa, ze względu na swoje właściwości fizyczne, jest stosunkowo prosta do wyodrębnienia z ogólnego strumienia odpadów. Najskuteczniejszym zabiegiem w tym zakresie jest wykorzystanie pola

magnetycznego (różnej natury) w urządzeniu lub zespole urządzeń, mogących przybierać różne konfiguracje ruchowo-przestrzenne (Rys. 4) [7, 8, 12]. Dostępne technologie umożliwiają również separację metali nieżelaznych [6, 9, 11, 13, 17]. Wysoka skuteczność wyodrębnienia ze strumienia zmieszanych odpadów frakcji metalicznej pozwala założyć, że odpady przekazane do dalszej obróbki są całkowicie jej pozbawione, co jest jednym z istotnych założeń budowania systemów mechanicznego segregowania odpadów.



Rys. 4. Podział urządzeń do odzysku frakcji metalicznych ze zmieszanych odpadów komunalnych

### Procesy separacji pneumatycznej i balistycznej

Segregacja pneumatyczna, opiera się na takim wykorzystaniu korelacji strumienia sprężonego powietrza oraz gęstości segregowanych odpadów, które umożliwiała wyselekcjonowanie, co najmniej dwóch frakcji różniących się parametrem gęstości [14]. Niewątpliwą zaletą tego procesu, jest możliwość definiowania parametru segregującego, stanowiącego wypadkową siły ciężkości i pędu segregowanych cząstek, dzięki czemu segregacja pneumatyczna jest procesem bardzo elastycznym mogącym objąć zakresem stosowalności wiele frakcji odpadów, należących do surowego lub częściowo wyselekcjonowanego strumienia odpadów komunalnych. Separacja balistyczna ma podobną naturę, z tym że siłą napędową zapewnia wirnik wyrzucający mechanicznie odpady do komory segregującej.

Proces separacji aerodynamicznej realizuje się w separatorach aerodynamicznych, a separacji aerodynamicznej w balistycznych. Umożliwiają one rozdział odpadów na dwie zasadnicze frakcje: lekką i ciężką. Do frakcji lekkiej uzyskiwanej z segregacji aerodynamicznej zaliczyć można np. papier, folie, tworzywa sztuczne, tkaniny, a kierując ją następnie do separatora balistycznego łatwo wyodrębnić już frakcje niestabilne geometrycznie typu folia, papier, tkaniny.

Pozostała z procesów segregacji aerodynamicznej i balistycznej frakcja ciężka, może być kierowana do dalszej segregacji lub uznana za balast i skierowana do składowania.

#### Procesy separacji optycznej

Separację optyczną należy uznać za godną uwagi przy rozdzielaniu zwłaszcza frakcji niemetalicznej. Rozwój optoelektroniki oraz komputerowych systemów sterowania umożliwił w ostatnich latach znaczące dopracowanie tego procesu i konstruowanie separatorów optycznych o stale rosnącej efektywności rozdziału frakcji odpadów, co w konsekwencji doprowadziło do zmiany wskaźników ekonomicznych dla przetwarzania odpadów wykorzystujących metody separacji optycznej.

Separator optyczny dowolnej frakcji wyodrębnianej ze strumienia zmieszanych odpadów komunalnych, składa się ze skanera (detektora) z systemem lamp oraz instalacji sprężonego powietrza wyposażonej w listwy regulowanych dysz impulsowych, zasilanej sprężarką. Istnieje

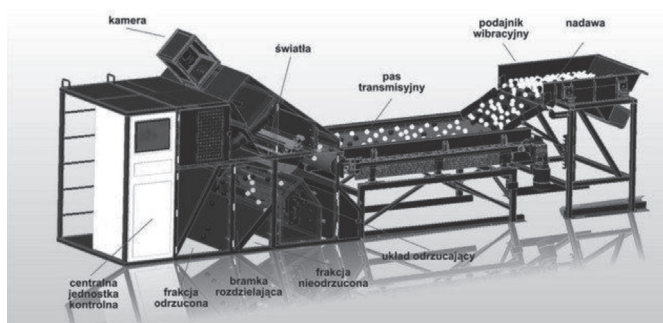
możliwość wykorzystania wspólnego układu zasilania dla wszystkich urządzeń występujących w ciągu technologicznym zasilanym sprężonym powietrzem oraz odzysku odpadowego strumienia powietrza.

W separacji optycznej najczęściej rolę skanerów pełnią detektory:

- NIR (bliskiej podczerwieni)
- VIS (światła widzialnego)
- RTG (promieniowania rentgenowskiego dużej rozdzielczości)
- AAS (spektrometrii atomowej).

Za dystrybucję zmieszanych odpadów odpowiada przenośnik taśmowy z rozbudowanym systemem sterowania prędkością posuwu [18]. Wszystkie elementy systemu są powiązane układem sterowania bazującym na złożonym algorytmie, definiowanym dla konkretnej frakcji odpadów. Zaznaczyć należy, iż zmiana algorytmu w sytuacji, gdy proces nie wymaga wymiany osprzętu, może odbywać się online. Dla instalacji o dużej przepustowości, w sytuacji niestabilnego składu morfologicznego odpadów, ekonomicznie uzasadnione jest wykorzystanie nawet wielu skanerów, klasyfikujących różne parametry optyczne segregowanych odpadów. Sam proces segregacji zachodzi w komorze separatora, która, podobnie jak dla innych urządzeń taśmowych wykorzystywanych w sortowni, musi gwarantować minimalizację grubości i jednorodność koncentracji warstwy odpadów na całej szerokości roboczej taśmy, w celu wyeliminowania nakładania się na siebie poszczególnych odpadów. Szerokość robocza jest determinowana rozmiarem obszaru pomiarowego generowanego przez skaner, lub wiele skanerów, oraz szerokością listwy dysz impulsowych. Transportowany strumień odpadów kierowany jest w obszar pomiarowy skanera zlokalizowanego ponad przenośnikiem taśmowym. Skaner identyfikuje właściwości materiału, takie jak kształt, struktura, kolor, gęstość i widmo, wymagane do jego rozpoznania. Materiały o wstępnie zdefiniowanych właściwościach są oddzielane pneumatycznie na końcu przenośnika taśmowego przez układ dysz impulsowych [19].

Zaawansowane separatory optyczne bazujące na technologii AAS, znalazły zastosowanie w instalacjach do wytwarzania paliw formownalnych, ponieważ umożliwiają wydzielanie np. tylko tworzyw sztucznych pożądaných w paliwie (PE, PP, PET), a kierowanie do balastu trafiającego na składowisko odpadów, np. tworzyw PVC zawierających chlor, niepożądany w procesach spalania. Na rysunku 5 przedstawiono schemat separatora optycznego.



Rys. 5. Schemat separatora optycznego [20]

### Zmaszynowanie zakładu segregacji odpadów

Dla wskazania możliwości wykorzystania poszczególnych procesów mechanicznych do rozdziału frakcji odpadów komunalnych w ciągu technologicznym linii do sortowania, rozpatrzono modelowy zakład zagospodarowania odpadów pod kątem zmaszynowania. Komplektacja maszynowa zakładu segregacji odpadów bazującego na procesach mechanicznych musi być wielopłaszczyznowa i zapewniać ciągłość pracy na zakładanym poziomie efektywności, przy minimalnym wkładzie prac wykonywanych manualnie.

Dobór procesów mechanicznych i ich parametrów, oraz wzajemne powiązania pomiędzy procesami, kształtuje się w oparciu o wiedzę

z zakresu składu morfologicznego, częstotliwości oraz ilości dostarczanych odpadów, jak również koncepcji dalszego postępowania z odzyskanymi frakcjami. Nie bez znaczenia są takie własności fizyczne, jak wilgotność (sortownie w pełni mechaniczną preferuje się dla odpadów suchych), czy gęstość odpadów. W zależności od tych parametrów, ciąg technologiczny będzie przybierał różną formę. Instalacje te mogą się różnić nie tylko pod względem zastosowanych w nich urządzeń, ale również w zakresie ich liczby i kolejności umiejscowienia w ciągu technologicznym. Tylko właściwy dobór poszczególnych elementów linii segregującej gwarantuje osiągnięcie zakładanych wskaźników odzysku frakcji ze zmieszanych odpadów komunalnych. W tym aspekcie, znajomość procesów stosowanych do pozyskiwania poszczególnych frakcji z odpadów wydaje się kluczowa w projektowaniu i eksploatacji linii do segregacji odpadów. Dalej przedstawiono przykładowe zmaszynowanie mechanicznej sortowni odpadów.

### Przygotowanie odpadów (kruszaraki, młyny, perforatory)

Uzyskanie rentowności transportu odpadów wymaga stosowania wielu technik mających na celu minimalizację ich objętości. Proces zagęszczania realizowany jest na każdym etapie zbiórki odpadów, począwszy od wytwórcy, a na odbiorcy końcowym kończąc. Działania takie są na tyle efektywne, że zakończenie cyklu transportowego jest równoznaczne z przeprowadzeniem wielokrotnego zagęszczania, w wyniku czego odbiorca odpadów nie ma możliwości bezpośredniego rozpoczęcia procesu sortowania. W takiej sytuacji, niezbędne staje się wprowadzenie do ciągu technologicznego procesów rozdrabniania i spulchniania. Procesy te powinny być prowadzone aż do uzyskania rozdrobnienia umożliwiającego podawanie do instalacji stałego strumienia odpadów w warstwie o przekroju prostokątnym, przy założeniu minimalizacji jej wysokości i niezmienności wymiaru poprzecznego w całym ciągu technologicznym [6]. Dotrzymanie takich założeń jest niezmiernie istotne z punktu widzenia sterowania procesem segregacji, realizowanym w złożonej linii technologicznej, której elementy funkcjonują przeważnie z różną wydajnością. Proces rozdrabniania należy podzielić na wstępny (niwelujący efekty prasowania w transporcie) oraz zasadniczy (umożliwiający otrzymanie ostatecznego rozdrobnienia). Po wstępnym rozdrobnieniu odpadów można wprowadzić stanowisko manualnego rozdziału odpadów wielkogabarytowych (duże kartony, deski, gruby złom metalowy). Niektóre procesy sortowania mechanicznego wymagają znacznego rozdrobnienia odpadów, dlatego kieruje się do nich odpady po fazie zasadniczej procesu rozdrabniania, gdzie dodatkowo zachodzi częściowa dezintegracja wielomateriałowości [16, 17]. Wprowadzenie kilku stopni intensywności rozdrobnienia odpadów stwarza możliwość dostarczania do danych urządzeń ciągu technologicznego odpadów w optymalnej formie. Dzięki łączeniu, rozdrabnianie z jednoczesnym przesiewaniem, np. na przesiewaczach sitowych, można odseparować znaczną część frakcji mineralnej (poniżej 35-40 mm) [15].

### Podział na frakcje podstawowe (przesiewacze)

Proces podziału na frakcje podstawowe ułatwia logistycznie transport wewnętrzny odpadów w obrębie całego ciągu technologicznego sortowni. Wielogabarytowy strumień odpadów jest nie tylko trudny w kontroli, ale również zmniejsza efektywność funkcjonowania niektórych typów separatorów (np. separatorów frakcji metalicznych). W celu ujednoczenia strumieni można wykorzystać np. sito bębnowe, rozdzielające odpady surowe wg wielkości na dwie frakcje podstawowe: drobną (kierowaną do separatorów magnetycznych) oraz średnią (kierowaną do separatorów pneumatycznych i balistycznych i optycznych).

### Separacja metali żelaznych i nieżelaznych (separatorzy metali)

Jak już wspomniano, separacja metali, zarówno żelaznych jak i nieżelaznych, odbywa się w sposób wysoce wydajny z wykorzy-

staniem jednej z wielu dostępnych technik. Niestety, dla zapewnienia pożądanej efektywności rozdziału, strumień odpadów musi kilkakrotnie przechodzić proces wydzielenia tej frakcji z każdego strumienia cząstkowego, wstępnie podzielonych albo już posortowanych odpadów. Z tego też względu separatory metali mogą znajdować się zarówno na początku linii technologicznej przyjmując frakcję po rozdrobnieniu i podziale podstawowym, jak i w środku ciągu technologicznego, np. za separatorem aerodynamicznym lub balistycznym.

#### **Separacja pneumatyczna i balistyczna (separatory pneumatyczne i balistyczne)**

Separatory pneumatyczne i balistyczne dokonują rozdziału frakcji średniej oraz balastu frakcji drobnej wychodzącej z separatora frakcji metalicznej. Wydzieleniu na tym etapie ulegają przede wszystkim odpady tworzyw sztucznych. Frakcja balastowa często zawiera cenny materiał mineralny – szkło. Frakcja lekka, dodatkowo jest rozdzielana na miękką i twardą (separacja folii). Ponadto separatory pneumatyczne i balistyczne odpowiadają za przygotowanie strumienia odpadów dla separatorów optycznych.

#### **Separacja optyczna (separatory optyczne)**

W zależności od wymagań dotyczących produktu opuszczającego sortownie, można stosować różne separatory optyczne (wydzielanie poszczególnych typów lub kolorów tworzyw sztucznych). Spotykane separatory umożliwiają rozdział zarówno frakcji średniej jak i drobnej. Dlatego typ separatora jest silnie determinowany zastosowaną przed nimi techniką odzyskiwania poszczególnych frakcji. Separatory optyczne mogą być stosowane w dowolnym punkcie linii technologicznej, gdyż elastyczność doboru parametru klasyfikującego umożliwia rozdział wielu typów materiałów.

#### **Urządzenia pomocnicze i uzupełniające**

Uzupełnieniem wymienionych wcześniej urządzeń jest skomplikowany system transportu, zarówno surowców jak i produktów, wykorzystujący większość dostępnych technik (transport kołowy, przenośniki taśmowe kulekowe, pneumatyczne, łańcuchowe) oraz zaawansowany system sterowania i monitoringu.

#### **Podsumowanie**

Z praktyki wynika, iż pewne typy urządzeń, niezależnie od charakteru dostarczanego do sortowni odpadu, zawsze są przypisywane do wydzielenia konkretnej frakcji odpadów (np. separatory metali spotyka się w kompostowniach, liniach segregacji odpadów, instalacjach wytwarzania paliw formowalnych). Wynika to przede wszystkim z wysokiej skuteczności odzysku danej frakcji, ale również może być efektem znikomych kosztów eksploatacyjnych separatora przy średniej bądź niewielkiej efektywności segregacji. Dla osiągnięcia zakładanych w dokumentach strategicznych wskaźników odzysku odpadów, każdy system segregacji mechanicznej zmieszanych odpadów komunalnych powinien funkcjonować opierając się na szczegółowym operacie funkcjonalno-użytkowym, zawierającym rozbudowaną analizę składu morfologicznego oraz chemicznego odpadów. Każda instalacja powinna być zatem projektowana indywidualnie już na etapie poszczególnych elementów składowych. Nie chodzi tu o tworzenie dedykowanych i specyficznych rozwiązań technicznych dla danej lokalizacji zakładu zagospodarowania odpadów, ale o wypracowanie jednoznacznych wytycznych konstrukcyjnych dla poszczególnych elementów linii oraz optymalizacji metod doboru tych elementów dla jednolitej instalacji. Wytyczne te powinny być potwierdzone – jak ma to miejsce w innych gałęziach techniki – szeroko zakrojonymi badaniami w skali laboratoryjnej i przemysłowej.

#### **Literatura**

1. Krajowy Plan gospodarki odpadami 2010, Monitor Polski, nr 90, poz. 946.
2. Krajowy plan gospodarki odpadami 2014, Monitor Polski, nr 101, poz. 1183.
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 312/3.
4. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku o odpadach, Dz. U. 2001 Nr 62 poz. 628.
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 12 czerwca 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, Dz. U. 2007 nr 121 poz. 832.
6. Wodziński P.: Elementy składowe linii technologicznych do segregacji odpadów bytowych, VIII Ogólnopolska Konferencja Naukowa Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska, materiały konferencyjne, Koszalin-Ustronie Morskie, 2006.
7. Wodziński P.: Segregacji odpadów, VI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska, materiały konferencyjne, Koszalin-Ustronie Morskie, 2004.
8. Luboński A.: *Segregacja Mechaniczna czy selektywne zbieranie*, Recykling 2007, **6(78)**.
9. Tchobanoglous G., Kreith F.: *Handbook of Solid Waste Management*. McGraw-Hill, New York, 2003.
10. Przywarska R.: *Wymagania jakościowe dla sortowni odpadów* Recykling 2006, **9(69)**.
11. Ulewicz M., Siwka J.: *Procesy odzysku i recyklingu wybranych materiałów*. Seria: Metalurgia, Nr 52. Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2010.
12. Przywarska R., Kotowski W.: *Podstawy odzysku, recyklingu i unieszkodliwiania odpadów*. Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu, Bytom, 2005.
13. Przywarska R.: *Urządzenia do segregacji metali*. Recykling 2009, **9(105)**.
14. Shapiro M., Galperin V.: *Air classification of solid particles: a review*. Chemical Engineering and Processing 2005, 44.
15. Okularczyk M.: *Frakcja mineralna ze zmieszanych odpadów komunalnych*. Recykling 2007, **2(74)**.
16. Flizikowski J.B.: *Rozdrabnianie materiałów porowatych i hiperplastycznych*. Recykling 2010, **1(109)**.
17. Bilitewski B., Haerdde G., Marek K.: *Podręcznik gospodarki odpadami*. Wydawnictwo Siedel-Przywecki, Warszawa, 2003.
18. Hryb W.: *Sortowanie odpadów*. Recykling 2010, **3(111)**.
19. Karty katalogowe produktów, [www.itech.pl](http://www.itech.pl), data dostępu 04.09.2011.
20. Karty katalogowe produktów, [www.comex-group.com](http://www.comex-group.com), data dostępu 04.09.2011.

Dr inż. Grzegorz LIGUS ukończył studia z zakresu inżynierii środowiska na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej (2004). Również na tej uczelni obronił doktorat (2008) w dyscyplinie Budowa i eksploatacja maszyn. Do 2010 r. był kierownikiem Zakładu Inżynierii Środowiska w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Oddziale Inżynierii Materiałowej, Procesowej i Środowiska w Opolu. Obecnie pracuje w Katedrze Inżynierii Środowiska Wydziału Mechanicznego Politechniki Opolskiej. Zainteresowania naukowe: gospodarka odpadami, technika ciepła, hydrodynamika układów wielofazowych. Jest autorem i współautorem 6 rozdziałów w monografiach, ponad 20 artykułów naukowo-technicznych oraz wielu posterów i referatów na konferencjach krajowych i zagranicznych. [g.ligus@po.opole.pl](mailto:g.ligus@po.opole.pl).