

**Jurand D. BIENÍ**

Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska  
Instytut Zaawansowanych Technologii Energetycznych  
ul. J.H. Dąbrowskiego 73, 42-200 Częstochowa  
e-mail: jurand@is.pcz.czest.pl

## **Mechaniczno-ciepne przetwarzanie odpadów komunalnych w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym**

### **Mechanical Heat Treatment (MHT) of Municipal Waste in the Context of Circular Economy**

In December 2015, the European Commission announced a “Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy” document. This action aimed at creating a sustainable, low carbon, resource efficient and competitive economy for the member states resulted from the observation of the current economy model, based on the “take, open, use and throw” principle. This model, called linear, leads to excessive depletion of natural resources and the generation of excessive waste. Today, a completely different approach is needed where reuse, repair, renewal and recycling will be the longest possible preservation of the value of the products and hence the reduction of waste. For this reason, the document mentioned above proposes the adoption of long-term targets for the recycling of municipal and packaging waste, with a significant reduction in storage capacity. In Poland and in several European Union countries, the processing of mixed municipal waste is based on waste treatment in mechanical and biological installations and thermal processing plants. On the base of the formulation of the closed-loop economy the future for such installations for municipal waste treatment does not seem rosy. To think about the high level of reuse and recycling of municipal waste, which is expected to be at least 65% by 2030, efforts are needed to improve the quality of waste. This is to be followed by a regulation on a detailed method for the selective collection of selected waste fractions, which is to harmonize the rules for selective collection in the country. But the question is how much will this improve the quality of secondary raw materials. In this context, any technology that allows for the high quality of the recycled material and achieving high levels of recycling is desirable. The paper presents the problem of mechanical and thermal treatment (MHT) of municipal waste, which is part of the closed-loop economy. In the paper there are presented some technologies already applied in UE. Particular importance is laid to polish technology called RotoSTERIL presented by Bioelectra company. The practical experience of operating this plant in Różanki shows so far that the RotoSTERIL process gives an ability to match good process parameters to a variable input. The very good quality of secondary raw materials obtained in the process has a higher attractiveness to the final consumer. The achieved levels of recycling for the four fractions of waste, such as: paper, metals, plastics and glass are high and exceeds significantly factors achieved in the process of mechanical and biological treatment, and already meets the requirements of EU recycling levels for 2020.

**Keywords:** utilization, recycling, mixed municipal waste, MHT technology, circular economy

## Wprowadzenie

W Polsce i w szeregu krajach Unii Europejskiej przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych zostało oparte na drodze przetwarzania odpadów w instalacjach mechaniczno-biologicznych oraz instalacjach termicznego przetwarzania. Tego typu instalacje powstawały (dostosowywane do wymagań RIPOK) w sposób dynamiczny, wystarczy wspomnieć, że w latach 2013-2015 liczba regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych, wskazanych w kolejno zmienianych uchwałach sejmików województw w sprawie wykonania planu gospodarki odpadami, wzrosła z 73 do 298, a 264 instalacje wskazano jako zastępcze do obsługi regionów [1]. Niestety, pomyłono się także przy dostosowaniu ilości instalacji do wielkości wytwarzanego strumienia odpadów w danym regionie gospodarki odpadami komunalnymi. W wielu przypadkach analiza porównawcza mocy przerobowych funkcjonujących instalacji do przetwarzania odpadów z wielkością wytwarzanych odpadów komunalnych wykazała wielokrotne przekroczenie tych pierwszych. Z drugiej strony w obliczu formułowania gospodarki o obiegu zamkniętym, która jest dla Komisji Europejskiej priorytetowym zagadnieniem, przyszłość instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów nie wydaje się zbyt optymistyczna. Wyraz tego można odnaleźć choćby w opublikowanym pod koniec ubiegłego roku Krajowym Planie Gospodarki Odpadami 2022 [2], gdzie zakłada się przeprowadzenie koniecznej weryfikacji istniejących i planowanych w najbliższych latach mocy przerobowych instalacji prowadzących procesy mechanicznego przetwarzania odpadów i przekształcenie ich w sortownie doczyszczające odpady selektywnie zebrane oraz instalacje biologicznego przetwarzania bioodpadów i odpadów zielonych. To działanie ma służyć efektywnemu wysortowaniu odpadów surowcowych i doczyszczeniu odpadów wysegregowanych u źródła tak, by zachować właściwą rolę hierarchii postępowania z odpadami, która szereguje metody postępowania z odpadami według ich zrównoważonego charakteru, czyli zdecydowanie przyznając pierwszeństwo zapobieganiu wytwarzaniu odpadów przed ich recyklingiem oraz termicznym przekształceniem, któremu nie powinno być poddawane więcej niż 30% wytworzonych odpadów komunalnych.

By myśleć o wysokim poziomie ponownego wykorzystania i recyklingu odpadów komunalnych, który zgodnie z założeniami ma wynosić co najmniej 65% do 2030 r. [3], konieczne są działania zmierzające do podniesienia jakości odpadów. Temu ma służyć rozporządzenie w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów [4], które ma ujednoczyć zasady dotyczące selektywnej zbiórki na terenie kraju. Na ile jednak poprawi to jakość potencjalnych surowców wtórnych, pozostaje pytaniem otwartym. Z pewnością dziś obserwuje się zbyt duży udział zmieszanych odpadów komunalnych w strumieniu odbieranych odpadów komunalnych, co w konsekwencji prowadzi do zbyt dużej masy pozostałości po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu zmieszanych odpadów komunalnych, które w następstwie kierowane są do składowania. Czy zatem nie ma efektywnych metod przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych tak, by uzyskać potencjalne surowce wtórne o odpowiedniej wysokiej jakości? Jeszcze do niedawna, zgodnie z definicją zawartą w art. 35 ust. 6 Ustawy o odpadach

z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz.U.2013.21) za regionalną instalację do przetwarzania odpadów komunalnych, tzw. RIPOK, uznawano zakład zagospodarowania odpadów o mocy przerobowej wystarczającej do przyjmowania i przetwarzania odpadów z obszaru zamieszkanego co najmniej przez 120 tys. mieszkańców, spełniający wymagania najlepszej dostępnej techniki lub technologii (zgodnie z art. 143 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska) oraz zapewniający termiczne przekształcanie odpadów lub w omawianym aspekcie mechaniczno-biologiczne przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych. Taki zapis praktycznie uniemożliwił uzyskanie statusu instalacji RIPOK dla innych rodzajów technologii przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych. Dopiero na mocy nowelizacji Ustawy o odpadach z dnia 15 stycznia 2015 r. o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw (Dz.U.2015.122 - art. 1 ust. 3 pkt d) dodano w przedmiotowej definicji zdanie „wykorzystujący nowe dostępne technologie przetwarzania odpadów”, dając tym samym możliwość do ubiegania się o status bycia instalacją regionalną instalacjom spełniającym to kryterium. Nie wymieniono jednak z nazwy takich technologii, co w dalszym ciągu mimo wszystko preferuje instalacje mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów oraz ich termicznego przetwarzania, dla których zdefiniowano dodatkowo pojęcie ponadregionalnej instalacji do przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, którą stanowi spalarnia odpadów komunalnych o mocy przerobowej wystarczającej do przyjmowania i przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych zebranych z obszaru zamieszkanego co najmniej przez 500 tys. mieszkańców, spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki.

Na mocy tej nowelizacji oraz Uchwały nr XXXI/613/13 Sejmiku Województwa Warmińsko-Mazurskiego z dnia 28 października 2013 r. zmieniającej uchwałę nr XVIII/334/12 Sejmiku Województwa Warmińsko-Mazurskiego z dnia 19 czerwca 2012 r. w sprawie wykonania Planu Gospodarki Odpadami dla województwa warmińsko-mazurskiego na lata 2011-2016 jako instalację zastępczą do obsługi Regionu Centralnego uwzględniono instalację stanowiącą mechaniczno-cieplne przetwarzanie odpadów komunalnych. Status tej instalacji został podtrzymany poprzez Uchwałę nr XXIII/523/16 Sejmiku Województwa Warmińsko-Mazurskiego z dnia 28 grudnia 2016 r. w sprawie uchwalenia Planu Gospodarki Odpadami dla województwa warmińsko-mazurskiego na lata 2016-2022 [5]. Funkcjonująca w zakładzie technologia jest w istocie ciekawa i warto jej poświęcić uwagę choćby z tego względu, że jakość uzyskiwanych surowców wtórnych oraz osiągnięte poziomy recyklingu w aspekcie wytycznych gospodarki o obiegu zamkniętym są istotnie znaczące.

## **1. Instalacje mechaniczno-cieplnego przetwarzania odpadów komunalnych**

Termin określający mechaniczno-cieplne przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych jest stosunkowo młodym pojęciem, a w literaturze przedmiotu stosowanym zamiennie z pojęciem „fizycznej obróbki odpadów”. Z uwagi na dwa

rodzaje zastosowanych procesów: mechaniczny i cieplny, termin technologia mechaniczno-cieplnego przetwarzania jest bardziej odpowiedni. Podstawowym celem procesu mechaniczno-cieplnego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych jest uzyskanie rozdziału na frakcje i rodzaje odpadów, które w kolejnym etapie umożliwiają recykling materiałowy, recykling organiczny oraz odzysk energii [6]. Proces umożliwia ponadto sterylizację odpadów oraz zmniejszenie zawartości wody w odpadach. Znane jest dwukierunkowe podejście do technicznej realizacji procesu mechaniczno-cieplnego przetwarzania odpadów: poprzez autoklawowanie lub z wykorzystaniem pieców obrotowych. Systemy różnią się parametrami procesu oraz techniczną realizacją. System autoklawowania, czyli obróbka cieplna parą pod ciśnieniem, odbywa się w zamkniętych komorach w trybie wsadowym. Z kolei system z wykorzystaniem pieców obrotowych jest procesem prowadzonym pod ciśnieniem atmosferycznym w układzie ciągłym. Jednak to w okresie ostatnich dziesięciu lat, przede wszystkim w latach 2008-2012, system autoklawowania wzbudził szersze zainteresowanie. Wynikało to poniekąd z tego, że proces sterylizacji w autoklawach jest powszechnie stosowany w medycynie w celu sterylizacji narzędzi chirurgicznych, środków farmaceutycznych. Odgrywa także znaczącą rolę w przemyśle chemicznym czy spożywczym w celu prowadzenia okresowych i ciągłych procesów technologicznych. Z powodzeniem znalazł zastosowanie również w unieszkodliwianiu odpadów medycznych. Przeszedł zatem czas, by znalazł swoje zastosowanie w branży gospodarki odpadami komunalnymi.

### 1.1. Proces mechaniczno-cieplnego przetwarzania

Żeby zrozumieć, skąd zainteresowanie procesem mechaniczno-cieplnego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, trzeba odwołać się do priorytetów ustalonych przez Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów. Dyrektywa wprowadza wiążącą hierarchię działań w zakresie gospodarki odpadami, określając odpowiednie priorytety. Na czele znajduje się zapobieganie wytwarzaniu odpadów, następnie ich ponowne wykorzystanie, recykling i inne formy odzyskiwania zawartych w nich cennych materiałów, podczas gdy ich unieszkodliwienie poprzez np. umieszczenie na składowisku odpadów traktowane jest jako rozwiązanie ostateczne. Technologia mechaniczno-cieplnego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych wpisuje się w powyższe założenie.

#### *Podstawy procesu*

Proces mechaniczno-cieplnego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych jest procesem, na który składają się procesy mechanicznego przetwarzania odpadów i cieplnego przetwarzania odpadów, połączone w jeden zintegrowany proces technologiczny przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych. Proces cieplny prowadzony w autoklawach jako proces wsadowy zachodzi w temperaturze 120÷180°C przy ciśnieniu 5÷7 barów w czasie od 30 minut do kilku godzin.

Para, wytwarzana w układzie wytwarzania pary, jest medium wykorzystywanym w tym procesie i jest wprowadzana do komory autoklawu. Założone parametry technologiczne powodują deformację tworzyw sztucznych i ich oczyszczanie, podobnie oczyszczane z różnego rodzaju nalepek są butelki szklane oraz metale. Materiał biodegradowalny, włączając w to papier i karton, jest rozwłókniany poprzez hydrolityczny rozkład złożonych substancji organicznych. W rezultacie procesu uzyskuje się czyste surowce (szkło, metal, tworzywa sztuczne), rozwłókniony materiał biodegradowalny, preRDF oraz frakcję odpadową. Charakterystykę i właściwości wytworzonych odpadów przedstawiono w pracy [7]. Dodatkowo warunki, w jakich prowadzony jest proces technologiczny, powodują sterylizację odpadów, co niewątpliwie przynosi korzyści przy dalszym magazynowaniu, transporcie, zmniejszając problem odorów i poprawiając bezpieczeństwo sanitarne. Następuje także około 15% zmniejszenie masy odpadów poddawanych autoklawowaniu. Z kolei proces dekompresji zapewnia odparowanie wilgoci, przez co dalsze suszenie przed mechaniczną obróbką nie jest zwykle wymagane. Mechaniczne przetwarzanie, przy zastosowaniu szeregu technik separacji i urządzeń w różnych konfiguracjach, zapewnia rozdział strumienia odpadów na poszczególne komponenty.

## **1.2. Instalacje mechaniczno-ciepłego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych**

Wprowadzenie idei „społeczeństwa recyklingu” w UE wzmogło zainteresowanie wykorzystaniem procesu mechaniczno-ciepłego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych w wielu firmach europejskich, które w szczególności w latach 2008-2012 prowadziły intensywne prace w zakresie uruchomienia instalacji mechaniczno-ciepłego przetwarzania odpadów. Poniżej zestawiono listę szeregu instalacji, które były planowane do uruchomienia na przestrzeni ostatnich lat. Wiele z nich nie doszło jednak do skutku ze względu na szereg przyczyn, w tym zarówno technicznych, jak i ekonomicznych. Wybrane instalacje, które funkcjonują w Europie i wykorzystują proces autoklawowania zmieszanych odpadów komunalnych, przedstawiono w tabeli 1.

Analizując dane z tabeli, można stwierdzić, że niewiele z planowanych inwestycji zostało zrealizowanych, a jeszcze mniej funkcjonuje obecnie. Przyczyn jest wiele i w wielu przypadkach nie są one znane szerszej opinii publicznej. Z pewnością jednak należy wziąć pod uwagę nie tylko względy polityczne czy ekonomiczne, ale także operacyjne związane z problemem zagospodarowania niektórych frakcji odpadów, a także awarie, które miały miejsce w wybranych instalacjach. Do takich zdarzeń z pewnością należy zaliczyć wybuch, do którego doszło w instalacji firmy Sterecycle w miejscowości Rotterdam. To wydarzenie przyczyniło się pośrednio do zakończenia działalności przez wymienioną firmę w październiku 2012 r. i tym samym nie zrealizowane zostały przez nią kolejne planowane w kolejnych latach inwestycje, które zostały uwidocznione w tabeli 1 [8-10]. Podobny problem spotkał instalację demonstracyjną zrealizowaną przez firmę Orchid Environ-

mental zlokalizowaną w Huyton o wydajności 80 tys. Mg/rok. Tym razem przyczyną był pożar, który spowodował znaczne zniszczenie instalacji i w rezultacie także jej zamknięcie [11]. Bezpośrednie powody, dla których zamknięto instalacje demonstracyjne w Hiszpanii i Francji, nie są autorowi znane.

Tabela 1. Instalacje mechaniczno-ciepłego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych (źródło: opracowanie własne)

Table 1. MHT installations of mixed municipal waste (source: own elaboration)

Wykonawca/ /Technologia	Lokalizacja	Wydajność tys. Mg/rok	Wsad	Status instalacji
Aero Thermal - AAD	Lee Moor, Plymouth, UK	75	Zmieszane odpady komunalne	Niezrealizowana
Graphite Resources	Derwenthaugh, Gateshead, Newcastle, UK	320	Zmieszane odpady komunalne/ przemysłowe	Funkcjonuje
Orchid Environmental	Huyton, Merseyside, UK	80	Zmieszane odpady komunalne	Jednostka demonstracyjna <i>Zamknięta</i>
Orchid Environmental	Bexley, South East London, UK	160	Zmieszane odpady komunalne	Niezrealizowana
Orchid Environmental	Shotton, North Wales UK	160	Zmieszane odpady komunalne	Niezrealizowana
Shanks	South Kirkby Wakefield, UK	230	Zmieszane odpady komunalne	Funkcjonuje
Sterecycle	Rotterham, South Yorkshire, UK	130	Zmieszane odpady komunalne	<i>Zamknięta</i>
Sterecycle	Cardiff, UK	200	Zmieszane odpady komunalne	Niezrealizowana
Sterecycle	Harlow, Essex, UK	240	Zmieszane odpady komunalne	Niezrealizowana
EcoHispanica	Rivas Vaciamadrid, Madrid, Hiszpania	40	Zmieszane odpady komunalne	Funkcjonuje
Ambiensys	Barbera del Valles, Barcelona, Hiszpania	25	Zmieszane odpady komunalne	Jednostka demonstracyjna <i>Zamknięta</i>
Ambiensys	Tazmalt, Algieria	80	Zmieszane odpady komunalne	<i>Projekt</i>
Estech	Herefordshire, UK	100	Zmieszane odpady komunalne	Niezrealizowana
Estech	Worcestershire, UK	100	Zmieszane odpady komunalne	Niezrealizowana
CES Autoclaves	Minnesota, Kalifornia USA	–	Zmieszane odpady komunalne	Jednostka demonstracyjna
Oxalor	Lezay, Francja	–	Zmieszane odpady komunalne	Jednostka demonstracyjna <i>Zamknięta</i>
Bioelektra	Różanki, gm. Susz, Polska	40	Zmieszane odpady komunalne	Funkcjonuje

### 1.3. Instalacje mechaniczno-ciepłnego przetwarzania w Europie

#### *Instalacja w Derwenthaugh EcoParc, Newcastle*

Instalacja w Derwenthaugh EcoParc w Newcastle została uruchomiona pod koniec 2012 r. [12]. Zaprojektowana o przepustowości 320 tys. Mg/rok wykorzystuje system autoklawowania. Odpady po wstępnym rozdrobieniu kierowane są do sekcji trzech autoklawów. Każdy autoklaw umożliwia cieplną obróbkę do 30 Mg wysortowanych lub zmieszanych odpadów komunalnych w pojedynczym cyklu. Wymiary pojedynczego autoklawu wynoszą: średnica 3,6 m, długość 16,7 m [13]. Proces ciepłego przetwarzania odpadów prowadzony jest w temperaturze 160°C w okresie jednej godziny. Ruch obrotowy zapewnia mieszanie odpadów w autoklawie, powodując ich sterylizację oraz rozwłóknianie. Para procesowa wytwarzana jest za pomocą kotłów opalanych gazem ziemnym. Po dekompresji zużyta para oddaje ciepło, skraplając się w wymienniku ciepła. Kondensat jest oczyszczany w oczyszczalni ścieków i odprowadzany do odbiornika (sieć kanalizacyjna). Po usunięciu pary następuje otwarcie autoklawu i jego opróżnianie. Prowadzona jest przy tym eliminacja odorów za pomocą filtra. Następnie odpady wprowadzone są do strefy mechanicznego przetwarzania, gdzie podlegają rozsortowaniu na poszczególne frakcje i komponenty. Planowana jest rozbudowa instalacji o sekcję pirolizy (etap uzyskiwania pozwoleń), dla której wsadem będą odpady przeznaczone do bezpośredniej pirolizy wymieszane z odpadami biodegradowalnymi uzyskanymi w wyniku mechanicznego przetwarzania. Gaz uzyskany w procesie, po oczyszczeniu, będzie spalany w silniku gazowym. Stały produkt pirolizy, tzw. koksik, spalany będzie w jednym z dwóch urządzeń do spalania, skąd wytworzone ciepło poprzez generator pary wykorzystywane będzie do podsuszania wsadu do reaktora pirolitycznego oraz zasilania autoklawów w parę. W ten sposób planowana jest poprawa całkowitego bilansu energetycznego procesu.

#### *Instalacja w South Kirkby, Wakefield*

Wiosną 2015 r. została oddana do użytkowania instalacja w South Kirkby, Wakefield zrealizowana przez Shanks o przepustowości 230 tys. Mg/rok [14]. Instalacja łączy w sobie dwa procesy: proces mechaniczno-ciepłnego przetwarzania oraz fermentacji beztlenowej. System mechanicznego sortowania składa się z dwóch linii. Pierwsza linia służy do rozsortowania zmieszanych suchych surowców, takich jak: tworzywa sztuczne, szkło, metale i papier. Jej wydajność szacuje się na 36 tys. Mg/rok. Z kolei na drugiej linii o przepustowości 30 Mg/h sortowaniu poddawane są zmieszane odpady komunalne. Proces ukierunkowany jest przede wszystkim na wytwarzanie paliwa alternatywnego RDF, które po usunięciu zanieczyszczeń ma być spalane w pobliskiej elektrowni Ferrybridge Power Station. Natomiast frakcja podsitowa kierowana jest do sterylizacji w pojedynczym autoklawie, zanim trafi do procesu fermentacji metanowej. Zastosowanie przetwarzania ciepłego ma za zadanie doprowadzić do rozwłóknienia frakcji biodegradowal-

nej i przekształcenia do postaci celulozy. Materiał w tej postaci poddawany jest hydrolizie, przez co zwiększa podatność frakcji biodegradowalnej na fermentację poprzez rozpuszczenie hemicelulozy. Wytworzony biogaz przekształcany jest w energię elektryczną wykorzystywaną na potrzeby zakładu oraz wprowadzaną do miejskiej sieci elektrycznej. Fermentat z procesu stabilizacji beztlenowej ma stanowić środek polepszający glebę o dobrych właściwościach nawozowych do wykorzystania przy pracach rekultywacyjnych.

#### *Instalacja Rivas Vaciamadrid, Madrid*

Instalacja madrycka, zrealizowana przez EcoHispanica - firmę będącą właścicielem instalacji i pomysłodawcą technologii, w porównaniu do dwóch wyżej przedstawionych instalacji jest wyraźnie mniejszą instalacją [15]. Jej przepustowość wynosi 40 tys. Mg/rok. Uruchomiona została w 2013 r. Zmieszane odpady po rozdrobnieniu - maksymalna granulacja 300 mm - kierowane są do sekcji cieplnej. Proces ten realizowany jest w oparciu o pojedynczy autoklaw pracujący w cyklu 5 Mg/h przy następujących parametrach: temperatura 130°C, ciśnienie 5 barów, czas przetrzymania w reaktorze 20 minut. Przez ten czas wprowadzone odpady poddawane są mieszaniu oraz działaniu pary o podanych wyżej parametrach, co pozwala rozwłóknić frakcję biodegradowalną, oczyścić surowce wtórne z zanieczyszczeń i wysterylizować odpady zgodnie z zapewnieniem operatora. Wilgoć z odpadów wraz z parą procesową zwracana jest do wytwornicy pary. Wcześniej poddawana jest uzdatnieniu celem utrzymania właściwych parametrów eksploatacyjnych urządzeń kotłowych przy wytwarzaniu pary technologicznej. Stacja uzdatniania wody posiada własny neutralizator odcieku, powstającego z demineralizacji wody. Woda w całym procesie cyркуluje w obiegu zamkniętym, uzupełnianym wodą sieciową ze zbiorników buforowych. Oczyszczone surowce wtórne oraz frakcja biodegradowalna zostają następnie oddzielone w sekcji mechanicznego przetwarzania. Instalacja firmy EcoHispanica jest systemem modułowym, każdy pojedynczy segment autoklawowania określany mianem „WasteCleaner” zapewnia roczną przepustowość na poziomie 40 tys. Mg odpadów, dzięki czemu instalację można rozbudowywać, dopasowując do zapotrzebowania odbiorcy. Prowadzone są prace nad zwiększeniem możliwości przepustowości jednostki WasteCleaner z 5 do 8 Mg/h. EcoHispanica planuje realizację nowych jednostek w USA, Argentynie, Brazylii i Chile - etap finalizowania kontraktów.

## **2. Instalacja mechaniczno-cieplnego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych w Różankach**

Na tle przedstawionych powyżej instalacji ta, zlokalizowana w Polsce, w zakładzie firmy Bioelektra Group S.A. w Różankach, gm. Susz, określona jako technologia RotoSTERIL jest najbardziej dojrzałym rozwiązaniem. W ciągu technologicznym (rys. 1) wyróżnia się cztery strefy: przyjęcia odpadów, cieplnego przekształcenia

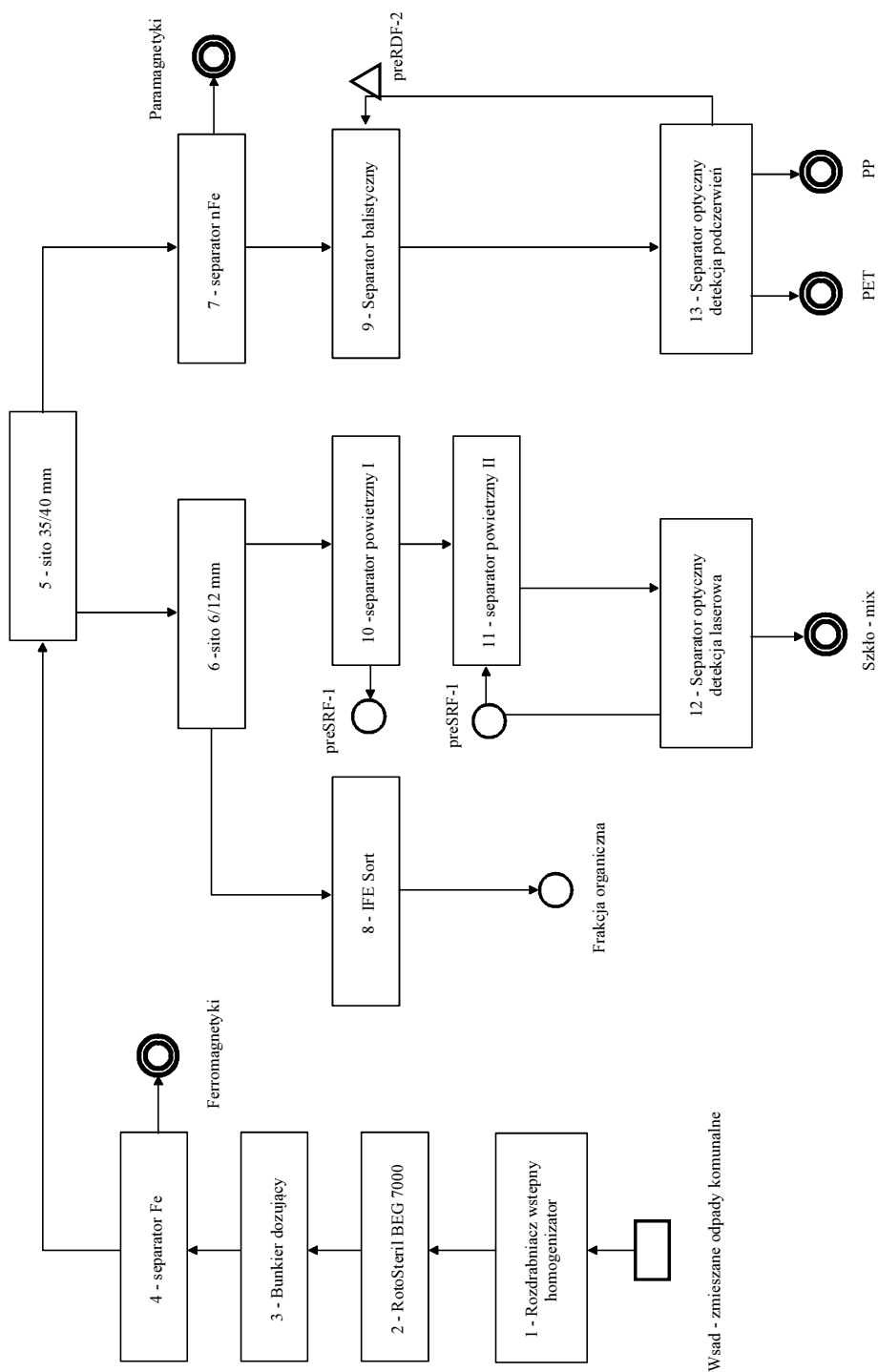


z linią załadowczo-odbiorczą, mechanicznego rozsortowywania frakcji surowców wtórnych oraz strefę magazynowania surowców wtórnych. Przyjęcie zmieszanych odpadów komunalnych, poprzez rozładunek transportu kołowego, prowadzone jest w zamkniętej hali zgodnie z zasadami najlepszych dostępnych technik. Stąd wsad podawany jest ładowarką teleskopową do wstępnego rozdrabniania w celu zhomogenizowania oraz zapewnienia określonej wielkości frakcji odpadów (mniej niż 800 mm - włącz załadowczy i wyładowczy autoklawu ma średnicę 1000 mm). Następnie za pomocą przenośnika taśmowego odpady kierowane są do sekcji cieplnej - procesu autoklawowania (sterylizacji). Proces sterylizacji (cieplny) realizowany jest w sześciu autoklawach RotoSTERIL Beg7000 wyprodukowanych przez H. Cegielski-Poznań S.A., pracujących w układzie wsadowym. Po załadowaniu, poprzez włącz załadowczy do pojedynczego autoklawu, rozdrobnionych zmieszanych odpadów komunalnych o maksymalnej dopuszczalnej masie 3 Mg następuje zamknięcie włączu, uszczelnienie komory ciśnieniowej, a następnie wstrzyknięcie strumienia nasyconej pary wodnej pod ciśnieniem bezpośrednio do urządzenia lub poprzez przeponowy wymiennik. Parametry procesu są następujące: temperatura pary 120÷150°C, ciśnienie 2÷5 barów. W tych warunkach odpady przetrzymywane są przez około 1 h - parametr ustalany przez technologa. Proces kończy się dekompresją układu. W celu rozwinięcia powierzchni odpadów w autoklawie w trakcie procesu są one dodatkowo mieszane. Mieszadło wspomaga także mechaniczny załadunek oraz wyładunek. Całkowity czas procesu sterylizacji wraz z załadunkiem i rozładunkiem trwa do 3÷4 h na jeden cykl. Ciepło i para niezbędne do procesu sterylizacji wytwarzane są w części kotłowej wraz z układem dekompresyjnym - kotłownię stanowi wydzielona powierzchnia hali zakładu.

W skład elementów kotłowni wchodzi:

- dwa kotły gazowe Viessmann typu Vitomax HS200 zasilane LPG w zabudowie kontenerowej o mocy 650 kW każdy i wydajności produkcji pary 900 kg/h,
- rozprężacz pary,
- zbiornik odmulin i odsolin,
- zbiorniki buforowe wody,
- rozdzielnica główna parowa,
- aparatura kontrolno-pomiarowa,
- armatura parowo-wodna,
- kondensator, płuczka wodna wraz z filtrem węglowym oraz schładzacz.

Po obróbce cieplnej część pary wodnej nasyconej do max 5 bar (około 33 m<sup>3</sup> - na jeden autoklaw) w wyniku chłodzenia zimną wodą ulega dekompresji. Natomiast pozostała część pary wodnej z ogrzewania międzypłaszczyzowego jest zwracana do układu procesowego wytwarzania pary. Woda cyrkuluje w obiegu zamkniętym uzupełnianym z sieci wodociągowej. Rozprężenie ciśnienia w komorze powoduje także odparowanie części wilgoci z odpadów, które po procesie sterylizacji poprzez bufor surowca międzypłaszczyzowego kierowane są do sekcji mechanicznego przetwarzania.



Rys. 1. Schemat technologiczny instalacji RotoSTERIL [16, 17]

Fig. 1. Technological scheme of RotoSTERIL technology [16, 17]

Mechaniczne przetwarzanie stanowi linia sortownicza w układzie szeregu urządzeń, których konfiguracja oraz ich rodzaj stanowi jeden z kluczowych elementów technologii. Odpady poprzez bunkier dozujący (3) zrealizowany w postaci ruchomej podłogi z bębnum obrotowym pełniącym rolę regulatora dozowania kierowane są do:

- (4) separatora metali żelaznych - wydzielenie ferromagnetyków,
- (5) przesiewacza kaskadowego z sitem 35/40 mm (punkt cięcia odpowiada oczku o wielkości  $\phi 60$  mm); stąd frakcja nadsitowa kierowana jest na separator wiroprowadowy (7); frakcja podsitowa kierowana jest do separatora typu flip-flop (6),
- (6) separator flip-flop z sitem 6/12 mm (punkt cięcia odpowiada oczku  $\phi 13,5$  mm); stąd frakcja nadsitowa kierowana jest na kaskadę separatorów powietrznych (10), (11) w celu wydzielenia materiału preSRF-1; frakcja podsitowa kierowana jest do sortera mechaniczno-pneumatycznego (8),
- (7) separator wiroprowadowy - wydzielenie paramagnetyków; pozostała część frakcji nadsitowej trafia do separatora balistycznego (9),
- (8) sorter mechaniczno-pneumatyczny IFESort - oczyszcza frakcję organiczną z zawartości twardych frakcji mineralnych - wytwarzana jest frakcja organiczna biodegradowalna,
- (9) separator balistyczny 2D/3D - oddziela materiały przestrzenne od płaskich. Frakcja płaska - materiał preRDF-2; frakcja przestrzenna kierowana na separator optyczny (13),
- (10) (11) - kaskadowy układ separatorów powietrznych do wydzielenia frakcji preSRF-1,
- (12) separator optyczny (detektor laserowy) - odbiera frakcje z kaskady separatorów powietrznych (10), (11) oraz frakcję mineralną z sortera (8). Układ doczyszczania stłuczki szklanej realizowany jest w układzie cyrkulującym,
- (13) separator optyczny (detektor podczerwieni) - realizuje odzysk tworzyw przestrzennych skierowanych z separatora balistycznego (9) z rozdziałem na frakcję materiałową PET oraz PP.

Porównując technologię RotoSTERIL z funkcjonującymi na rynku technologiami mechaniczno-ciepłnego przetwarzania odpadów komunalnych, należy wskazać, że z punktu widzenia parametrów technologicznych procesu nie odbiega ona od pozostałych. Różnicę stanowią gabaryty stosowanych autoklawów, a przez to ich nominalna przepustowość. Autoklawy RotoSTERIL Beg7000 stanowią zdecydowanie najmniejsze jednostki o maksymalnym załadunku 3 Mg na pojedynczy cykl. Dobowo oznacza to przepustowość na poziomie  $\sim 18$  Mg przetwarzanych odpadów. Ma to swoje zalety: łatwiejsza kontrola procesowa (wykorzystanie doświadczeń z zakresu autoklawów odpadów medycznych), modułowy układ z dopasowaniem do aktualnego zapotrzebowania na przetwarzanie odpadów, łatwiejsza logistyka transportu przy ewentualnym przeniesieniu linii technologicznej w inne miejsce. Wadą jest podwyższony koszt inwestycyjny. Dotychczasowe doświadczenia praktyczne z funkcjonowania zakładu w Różankach wskazują na opanowanie technologii procesowej sterylizacji i umiejętność dopasowania parametrów do zmiennego

wsadu. Zaplanowany układ technologiczny mechanicznego przetwarzania poprzez odpowiednio zaprojektowaną linię sortowniczą pozwala uzyskać wysoką skuteczność wydzielania frakcji. Odpady frakcji materiałowych, takich jak metale, szkło, charakteryzują się znacznie większym potencjałem zagospodarowania z uwagi na ich czystość w porównaniu do klasycznych systemów mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów (rys. 2).



**Rys. 2. Jakość uzyskiwanych surowców wtórnych w wyniku procesu RotoSTERIL (źródło: opracowanie własne)**

**Fig. 2. The quality of waste fraction after RotoSTERIL processing (source: own elaboration)**

W przypadku tworzyw sztucznych czystość jest podobna, jakkolwiek deformacja ich kształtu może wpływać na wykorzystanie w zakresie recyklingu materiałowego. Pozostałe, o największym udziale masowym, wytworzone w instalacji RotoSTERIL odpady stanowią odpad klasyfikowany pod kodem 19 12 12 Inne odpady z mechanicznej obróbki - prekursor 19 12 10 Odpady palne (paliwo alterna-

tywne) (rys. 3). Ze względu na właściwości fizykochemiczne wyróżnić w nich można trzy frakcje: biodegradowalną, lekką i ciężką:



Frakcja biodegradowalna

Frakcja lekka  
pre-SRFFrakcja ciężka  
pre-SRF

19 12 12 Inne odpady z mechanicznej obróbki  
(19 12 10 Odpady palne (paliwo alternatywne))

**Rys. 3.** Frakcje odpadu o właściwościach energetycznych po procesie RotoSTERIL (źródło: opracowanie własne)

**Fig. 3.** The waste fraction with potential energy properties after RotoSTERIL processing (source: own elaboration)

Do wyznaczania poziomów recyklingu surowców wtórnych ze strumienia zmieszanych odpadów komunalnych służy wzór określony w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych (DzU2016.2167). Zgodnie z ww. rozporządzeniem poziomy recyklingu i przygotowania do ponownego użycia czterech frakcji: papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła oblicza się według [1]:

$$P_{\text{pmts}} = \frac{M_{\text{r}}_{\text{pmts}}}{M_{\text{w}}_{\text{pmts}}} \cdot 100\%$$

gdzie:

- $P_{\text{pmts}}$  - poziom recyklingu i przygotowania do ponownego użycia papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła, wyrażony w %,
- $M_{\text{r}}_{\text{pmts}}$  - łączna masa odpadów papieru, metalu, tworzyw sztucznych i szkła poddanych recyklingowi i przygotowanych do ponownego użycia, pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych z gospodarstw domowych oraz od innych wytwórców odpadów komunalnych, wyrażona w Mg,
- $M_{\text{w}}_{\text{pmts}}$  - łączna masa wytworzonych odpadów papieru, metalu, tworzyw sztucznych i szkła, pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych z gospodarstw

domowych oraz od innych wytwórców odpadów komunalnych, wyrażona w Mg, obliczana na podstawie wzoru [2]:

$$Mw_{pmts} = M_o \times Um_{pmts}$$

- $M_o$  - łączna masa odebranych odpadów komunalnych od właścicieli nieruchomości,  
 $Um_{pmts}$  - udział łączny odpadów papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła w składzie morfologicznym odpadów komunalnych.

W analizowanym okresie przekazano do recyklingu następujące ilości surowców wtórnych:

- metale (żelazne i nieżelazne łącznie) - 297,72 Mg
- tworzywa sztuczne - 238,04 Mg
- szkło - 594,12 Mg
- łączna ilość odebranych zmieszanych odpadów komunalnych - 12 714 Mg
- łączny udział odpadów papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła na podstawie badań składu morfologicznego (średnia marzec - maj 2015 r.) - 15%.

Według rozporządzenia, zakładany do osiągnięcia poziom recyklingu i przygotowania do ponownego użycia na koniec 2015 r. dla takich frakcji, jak: papier, metal, tworzywa sztuczne, szkło, wyznaczono na 16%. W tym okresie w instalacji w Różankach do recyklingu przekazano łącznie 1129,88 Mg odpadów, co pozwoliło według obliczeń uzyskać poziom recyklingu o wartości 59,2%. Poziom ten zdecydowanie realizuje założenia w zakresie recyklingu i przygotowania do ponownego użycia ustalony dla 2020 r. (50%). Pod tym względem technologia RotoSTERIL jest wysoce efektywna i wpisuje się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym w cyklu odpadowym.

## Podsumowanie

„Stworzenie gospodarki o obiegu zamkniętym dla Europy jest dla obecnej Komisji kwestią o priorytetowym znaczeniu” - słowa pierwszego wiceprzewodniczącego Fransa Timmermansa wypowiedziane w rok po przyjęciu pakietu dotyczącego gospodarki o obiegu zamkniętym jasno wskazują kierunek, w którym określona polityka gospodarcza krajów Unii Europejskiej powinna dążyć, uwzględniając fazy projektowania, produkcji, konsumpcji oraz gospodarowania odpadami. Gospodarka odpadami stanowi w tym systemie istotne ogniwo łańcucha, gdzie idea zapobiegania wytwarzaniu odpadów, ponownego użycia i recyklingu odpadów staje się kluczowym czynnikiem prowadzącym do wykorzystania ograniczonych zasobów naszej planety w sposób zrównoważony. Przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych w instalacjach mechaniczno-biologicznych, które stanowią element obecnego systemu zagospodarowania tego typu odpadów, nie daje właściwych efektów. Wręcz zakłada się obecnie przeprowadzenie koniecznej weryfikacji

tych instalacji i przekształcenie ich w sortownie doczyszczające odpady selektywnie zebrane. To działanie ma służyć efektywnemu wysortowaniu odpadów surowcowych i doczyszczeniu odpadów wysegregowanych u źródła tak, by zachować właściwą rolę hierarchii postępowania z odpadami. Natomiast dla zmieszanych odpadów warto w tym względzie rozpatrzyć technologię mechaniczno-ciepłego przetwarzania, która łączy w całość proces cieplny, a następnie mechanicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych. Tym bardziej, że na tym polu mamy polskie doświadczenia. Technologia RotoSTERIL zastosowana w zakładzie Bioelektry w Różankach stanowi właśnie takie podejście do tematu przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych. Osiągana czystość surowców wtórnych w prowadzonym procesie technologicznym zdecydowanie potwierdza wyższą atrakcyjność dla końcowego odbiorcy. Należy zauważyć, że stosowana w zakładzie technologia mechaniczno-ciepłego przetwarzania jest technologią wysoce efektywną w zakresie poziomu recyklingu. Osiągane poziomy recyklingu dla czterech frakcji: papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła są wysokie i przewyższają zdecydowanie osiągnięte w instalacjach mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych. Także na dziś technologia RotoSTERIL realizuje założenia w zakresie poziomu recyklingu i przygotowania do ponownego użycia wyznaczone dla krajów członkowskich UE dla 2020 r. (50%).

## Literatura

- [1] Zapewnienie przez organy administracji publicznej prawidłowego zagospodarowania odpadów komunalnych, Raport Najwyższej Izby Kontroli, 2016.
- [2] Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2022.
- [3] COM(2015) 595.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 grudnia 2016 r. w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów, DzU2017.19.
- [5] <http://bip.warmia.mazury.pl/114/plan-gospodarki-odpadami-dla-województwa-warminsko-mazurskiego-na-lata-2016-2022.html> [21.08.2017].
- [6] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 7 listopada 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o odpadach, DzU2016.1987.
- [7] Bień J.D., Efekty pracy polskiej instalacji mechaniczno-ciepłego przetwarzania odpadów komunalnych, *Inżynieria Ekologiczna* 2017, 18, 25-31.
- [8] <http://www.letsrecycle.com/news/latest-news/sterecycle-fined-500k-preventable-worker-death/> [21.08.2017].
- [9] <http://www.thestar.co.uk/news/crime/fatal-explosion-at-rotherham-waste-plant-caused-by-neglect-1-6886852> [21.08.2017].
- [10] [https://www.researchgate.net/publication/282245156\\_The\\_Corporate\\_Manslaughter\\_and\\_Corporate\\_Homicide\\_Act\\_2007\\_and\\_the\\_Sentencing\\_Guidelines\\_for\\_Corporate\\_Manslaughter\\_more\\_bark\\_than\\_bite](https://www.researchgate.net/publication/282245156_The_Corporate_Manslaughter_and_Corporate_Homicide_Act_2007_and_the_Sentencing_Guidelines_for_Corporate_Manslaughter_more_bark_than_bite) [21.08.2017].
- [11] <http://www.letsrecycle.com/news/latest-news/orchid-shuts-formerly-defra-backed-mht-plant/> [21.08.2017].
- [12] <http://www.pxlimited.com/derwenthaugh-ecoparc> [21.08.2017].
- [13] <http://www.tempico.com/news.php?id=29> [21.08.2017].

- [14] <http://www.yorkshirepost.co.uk/news/features/the-future-of-rubbish-1-7102725> [21.08.2017].  
[15] <http://www.ecohispanica.es/en/the-rivas-plant> [21.08.2017].  
[16] <http://www.bioelektra.pl> [21.08.2017].  
[17] Prospekt reklamowy Bioelektra Group.

Czestochowa University of Technology, Faculty of Infrastructure and Environment  
Institute of Advanced Energy Technologies  
ul. J.H. Dąbrowskiego 73, 42-200 Częstochowa  
e-mail: jurand@is.pcz.czyst.pl

## Streszczenie

W grudniu 2015 r. Komisja Europejska ogłosiła komunikat Komisji Europejskiej do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Społeczno-Ekonomicznego i Komitetu Regionów, określony jako „Zamknięcie obiegu - plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym”. Podjęcie tego działania, którego celem jest stworzenie zrównoważonej, niskoemisyjnej, zasobooszczędnej i jednocześnie konkurencyjnej gospodarki krajów członkowskich, wynika z obserwacji funkcjonującego aktualnie modelu w gospodarce, opartego na zasadzie „weź, wytwórz, użyj i wyrzuć”. Model ten, zwany liniowym, prowadzi do nadmiernego wyczerpywania się surowców naturalnych i powstawania znacznych ilości odpadów. Dziś potrzebne jest całkowicie inne podejście, u źródła którego ponowne użycie, naprawa, odnawianie oraz recykling stanowiąc będą o możliwie jak najdłuższym zachowaniu wartości produktów, a przez to nastąpi ograniczenie ilości odpadów. Z tego też względu we wspomnianym na wstępie dokumencie zaproponowano między innymi przyjęcie długofalowych celów w zakresie recyklingu odpadów komunalnych oraz opakowaniowych przy wydatnym ograniczeniu możliwości ich składowania. W tym kontekście każda technologia, która pozwala uzyskać wysoką jakość surowców wtórnych oraz osiągnąć wysokie poziomy recyklingu, jest pożądana. W artykule przedstawiono zagadnienie mechaniczno-ciepłego przetwarzania odpadów komunalnych wpisujące się w zagadnienie gospodarki o obiegu zamkniętym.

**Słowa kluczowe:** przetwarzanie, recykling, zmieszane odpady komunalne, mechaniczno-ciepłe przetwarzanie odpadów, gospodarka o obiegu zamkniętym