

AUTOREFERAT

DOTYCZĄCY DOROBKU, OSIĄGNIĘĆ
NAUKOWYCH, DYDAKTYCZNYCH
I ORGANIZACYJNYCH

dr inż. Katarzyna Grzesik

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

Kraków, listopad 2017

Spis treści

1. Imię i nazwisko.....	3
2. Uzyskane dyplomy, stopnie naukowe	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego	3
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	3
4.2. Zestawienie cyklu publikacji powiązanych tematycznie.....	4
4.3. Omówienie celu naukowego, zastosowanej metodyki, osiągniętych wyników oraz sposobów ich wykorzystania.....	5
4.3.1. Uzasadnienie podjęcia badań.....	5
4.3.2. Cel i zakres badań	6
4.3.3. Metodyka badań.....	8
4.3.4. Omówienie wyników badań	12
4.3.5. Znaczenie i wykorzystanie wyników badań	26
4.3.6. Literatura.....	27
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	30
5.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora	30
5.2. Po uzyskaniu stopnia doktora.....	30
6. Syntetyczne zestawienie dorobku naukowego	37
7. Osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne	37

1. Imię i nazwisko

Katarzyna Grzesik

poprzednie nazwiska: Grzesik-Filus, Grzesik-Wojtysiak

2. Uzyskane dyplomy, stopnie naukowe

- 11 lipca 1995** Magister inżynier inżynierii środowiska, dyplom z wynikiem celującym
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Specjalność: Ochrona Środowiska w Planowaniu i Zarządzaniu,
Tytuł pracy magisterskiej: Badania nad kompostowaniem frakcji organicznej odpadów komunalnych.
- 24 maja 2001** Doktor nauk technicznych, Dyscyplina: Inżynieria środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Tytuł rozprawy: Koncepcja regionalnego systemu gospodarki odpadami niebezpiecznymi w odpadach komunalnych

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 01.10.2001 do chwili obecnej** praca na stanowisku adiunkta
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako **osiągnięcie naukowe** wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016 poz. 882 ze zm.) wskazuję **cykl 10 publikacji** zatytułowany:

Analiza cyklu życia w ocenie metod zagospodarowania odpadów komunalnych

4.2. Zestawienie cyklu publikacji powiązanych tematycznie

Lp.	Tytuł publikacji	Udział własny	Punktacja
1.	Grzesik K. , Application of IWM-PL model for Life Cycle Assessment (LCA) of municipal waste management in Kraków. Part 1. Geomatics and Environmental Engineering, Vol. 7, 2013, No. 3, pp. 35–55	100%	Lista B czasopism MNiSW, 2013: 5
2.	Grzesik K. , Application of IWM-PL model for Life Cycle Assessment (LCA) of municipal waste management in Kraków. Part 2. Geomatics and Environmental Engineering, Vol. 7, 2013, No. 4, pp. 43–58.	100%	Lista B czasopism MNiSW, 2013: 5
3.	Grzesik-Wojtysiak K. , Ocena modelu IWM-PL - polskiej aplikacji do przeprowadzania LCA (analizy cyklu życia) systemów gospodarki odpadami Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, 2013 t. 30 z. 60 nr 3, s. 101–115.	100%	Lista B czasopism MNiSW, 2013: 5
4.	Grzesik K. , Kozakiewicz R., Bieda B., Life cycle assessment for landfilling, incineration and mechanical-biological treatment of residual waste for Krakow city Poland, SGEM2014, Geoconference 17–26, June, 2014, Albena Bulgaria Vol.2, Nuclear techno-logies, recycling, air pollution and climate change, pp. 143–150	80%	Baza Web of Science, 2014: 10
	Udział własny: koncepcja publikacji, studia literaturowe, przygotowanie danych, przeprowadzenie analizy LCA, opracowanie wyników, przygotowanie manuskryptu publikacji		
5.	Grzesik K. , Jakubiak M., Choosing the municipal waste management scenario with the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, Logistyka 2014 nr 4 dod.: CD nr 6 Logistyka – nauka, s. 4303–4309.	80%	Lista B czasopism MNiSW, 2014: 10
	Udział własny: koncepcja publikacji, studia literaturowe, przygotowanie danych, przeprowadzenie analizy LCA, opracowanie wyników, przygotowanie manuskryptu publikacji		
6.	Grzesik K. , Oddziaływanie na środowisko zbiórki i transportu odpadów w systemach gospodarki odpadami komunalnymi, Logistyka 2015 nr 4 dod CD nr 3 Logistyka-nauka, s. 8902–8910.	100%	Brak punktacji
7.	Grzesik K. , Usarz, M., A life cycle assessment of the municipal waste management system in Tarnów, Geomatics and Environmental Engineering, 2016 vol. 10 no. 2, pp. 29–38	60%	Lista B czasopism MNiSW, 2016: 11
	Udział własny: koncepcja publikacji, studia literaturowe, udział w opracowaniu wyników, przygotowanie manuskryptu publikacji		
8.	Grzesik K. , Malinowski M., Life cycle assessment of refuse-derived fuel production from mixed municipal waste, Energy Sources. Part A, Recovery, utilization, and environmental effects, 2016 vol. 38 no. 21, pp. 3150–3157	75%	lista A czasopism MNiSW, 2016: 15 Impact factor: 0,527
	Udział własny: koncepcja publikacji, studia literaturowe, udział w przygotowaniu i obliczaniu danych, przeprowadzenie analizy LCA, opracowanie wyników, przygotowanie manuskryptu publikacji		

9.	Grzesik K. , Malinowski M., Life Cycle Assessment of Mechanical -Biological Treatment of Mixed Municipal Waste, Environmental Engineering Science 2017 vol 34 no 2 pp. 207-220	75%	lista A czasopism MNiSW, 2017: 20 Impact factor: 1,426
	Udział własny: koncepcja publikacji, studia literaturowe, udział w przygotowaniu i obliczaniu danych, przeprowadzenie analizy LCA, opracowanie wyników, przygotowanie manuskryptu publikacji		
10.	Grzesik K. , Comparative environmental impact assessment of landfilling and incineration of residual waste in Krakow. Environmental Protection Engineering, 2017, Vol. 43 no. 4	100%	lista A czasopism MNiSW, 2017: 15 Impact factor: 0,514
	Suma punktów		96
	Sumaryczny Impact factor		2,467

Udział współautorów w pracach wymienionych jako osiągnięcie naukowe, został przedstawiony w oświadczeniach znajdujących się w załączniku nr 4 do wniosku.

Wyżej wymienione publikacje stanowią cykl powiązany tematycznie, były przygotowane na ustalony z góry temat i ukazywały się w sposób cykliczny w latach 2013 - 2017. Opisane w publikacjach badania, były od początku planowane jako wieloetapowy program badawczy.

4.3. Omówienie celu naukowego, zastosowanej metodyki, osiągniętych wyników oraz sposobów ich wykorzystania

4.3.1. Uzasadnienie podjęcia badań

Jednym z kluczowych wyzwań zrównoważonego rozwoju jest zintegrowana, efektywna i ekonomicznie uzasadniona gospodarka odpadami, zwłaszcza odpadami komunalnymi, których ilość zależy od zamożności społeczeństwa, poziomu konsumpcji oraz rozwoju gospodarczego. Realizacja zasad zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do gospodarki odpadami, sprowadza się do stosowania hierarchii postępowania z odpadami, która polega na następujących działaniach: zapobieganie powstawaniu odpadów, przygotowanie do ponownego użycia, recykling, inne procesy odzysku, unieszkodliwianie. Według Dyrektywy o odpadach (2008) możliwe jest odstępianie od hierarchii postępowania z odpadami, jeżeli jest to uzasadnione zastosowaniem metodyki myślenia w kategoriach cyklu życia.

W Polsce od kilku lat obserwuje się dynamiczną przebudowę systemu gospodarki odpadami komunalnymi, wymuszoną szeregiem zmian w przepisach prawnych i odejście od składowania odpadów na rzecz zwiększenia selektywnej zbiórki i poziomów recyklingu, mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów zmieszanych, a w przypadku niektórych aglomeracji miejskich, termicznego przetwarzania z odzyskiem energii.

Wybór technologii przetwarzania odpadów powinien opierać się o naukowe metody myślenia w kategoriach cyklu życia. Analiza cyklu życia (Life Cycle Assessment - LCA) jest aktualnym paradygmatem podejmowania decyzji w zakresie zarządzania środowiskiem.

LCA jest metodyką oceny aspektów środowiskowych i potencjalnych wpływów środowiskowych, pierwotnie opracowaną dla oceny cyklu życia produktu. LCA umożliwia ocenę wpływów środowiskowych wynikających ze wszystkich etapów życia produktu, począwszy od wydobycia zasobów naturalnych, ich przetwarzania, poprzez wytwarzanie produktu (proces produkcji), użytkowanie, powtórne użycie, recykling, aż po ostateczne unieszkodliwianie odpadów, tj. „od kołyski po grób” lub „od kołyski do kołyski”. LCA może

być także stosowana do oceny aspektów i wpływów środowiskowych związanych z systemem gospodarki odpadami. Cykl życia odpadu rozpoczyna się z chwilą, kiedy produkt staje się bezużyteczny i jest wyrzucony do kosza na śmieci („kołyska”), a kończy, kiedy odpad jest ostatecznie deponowany na składowisku („grób”), powodując emisję do powietrza, wody i gleby, lub kiedy odpad jest przetworzony ponownie w użyteczną materię lub energię („kołyska”).

Przeprowadzanie analizy cyklu życia jest procesem trudnym, wymagającym wielu danych (baz danych), a także metod modelujących mechanizmy środowiskowe oraz efekty powodowane przez uwalniane emisje. Analizę cyklu życia prowadzi się z zastosowaniem specjalnie opracowanych modeli. Do wykonywania badań analizy cyklu życia systemów gospodarki odpadami opracowano kilka modeli (Gentil i in. 2010) m.in.: IWM-2, ORWARE, WISARD, WRATE, EASEWASTE (i późniejszy EASETECH), LCA-IWM. W roku 2011 wydano pierwszą polskojęzyczną aplikację IWM-PL (Kraszewski A. i Pietrzyk-Sokulska, red., 2011).

W Polsce wykonuje się jeszcze niewiele analiz LCA systemów gospodarki odpadami. Den Boer i Szpadt (2012) przeprowadzili analizę trzech scenariuszy gospodarki odpadami dla Wrocławia z horyzontem czasowym 2020, przy pomocy modelu LCA-IWM. Cholewa i Kulczycka (2009) poddali ocenie scenariusze dla województwa świętokrzyskiego dla lat 2006 i 2008 z wykorzystaniem modelu IWM-2 i SimaPro. Identyczną metodykę zastosowali Kulczycka i in. (2011) do oceny oddziaływania na środowisko kilku składowisk odpadów. Nie wykonywano analiz LCA systemu gospodarki odpadami komunalnymi w Krakowie, ani żadnej instalacji gospodarki odpadami komunalnymi dla tego miasta. W Polsce nie prowadzono badań z wykorzystaniem modelu IWM-PL lub EASETECH. Ponadto nie wykonywano badań LCA dla instalacji mechaniczno - biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych.

W światowej literaturze naukowej istnieje znikoma liczba publikacji skupiających się w szczególności na modelowaniu LCA mechaniczno - biologicznego przetwarzania (MBP) odpadów, zwłaszcza w oparciu o dane rzeczywiste działających instalacji. Abeliotis i in. (2012) ocenili profil środowiskowy instalacji MBP zlokalizowanej w Atenach. Wyniki tego badania wskazują na scenariusz MBP z pełnym wykorzystaniem strumieni wyjściowych (kompost, paliwo RDF i metale), jako na generujący największe korzyści środowiskowe. Instalacja MBP zlokalizowana w regionie Attica (Grecja) została uwzględniona w badaniach Papageorgiou i in. (2009), których wyniki wskazują, że emisja gazów cieplarnianych zależy od funkcjonowania rynku na paliwo RDF wytwarzane w procesie MBP. Bovea i in. (2010) rozważali scenariusze odzysku materiałów w hiszpańskim studium przypadku. Scenariusze łączące wytwarzanie biogazu z frakcji organicznej i składowanie odpadów reszkowych z odzyskiem energii są najlepsze pod względem oddziaływania na środowisko, we wszystkich kategoriach wpływu. Montejo i in. (2013) podkreśla, że w tych studiach brakuje oceny uwzględniającej specyficzne dla danej instalacji produkty końcowe, jak również lokalne uwarunkowania wydajności danej instalacji (np. odzysk materiałów i energii).

4.3.2. Cel i zakres badań

Celem cyklu publikacji, stanowiącym prezentowane osiągnięcie naukowe, jest identyfikacja i ocena potencjalnych wpływów środowiskowych, powodowanych przez gospodarkę odpadami komunalnymi, z zastosowaniem metodyki analizy cyklu życia. Innymi słowy celem jest dokonanie całościowego przeglądu emisji do środowiska i wykorzystania zasobów spowodowanego systemem gospodarowania odpadami, na przykładzie Krakowa i Tarnowa.

Badania prowadzono w czterech etapach, w których wyznaczono szczegółowe cele naukowe.

Etap 1

Przeprowadzenie analizy LCA całych systemów gospodarki odpadami komunalnymi za pomocą modelu IWM-PL wraz z oceną tego modelu (publikacje cyklu 1,2,3,7).

Cele szczegółowe:

- Kwantyfikacja wpływów środowiskowych powodowanych przez system gospodarki odpadami komunalnymi w Krakowie, stan na 2010;
- Kwantyfikacja wpływów środowiskowych powodowanych przez system gospodarki odpadami komunalnymi w Tarnowie, stan na 2012;
- Ocena struktury, zakresu i organizacji danych wymaganych przez model IWM-PL;
- Ocena wyników modelowania generowanych przez aplikację IWM-PL.

Jednostką funkcjonalną jest ogólna ilość odpadów komunalnych wprowadzonych do systemu gospodarki odpadami w Krakowie w roku 2010 (lub w Tarnowie w roku 2012). Jednostka funkcjonalna obejmuje odpady zmieszane, odpady selektywnie zbierane, odpady wielkogabarytowe, zielone oraz odpady z infrastruktury (sektora komercyjnego) zebrane w ciągu całego roku i przekazane do przetwarzania. Granice systemu są definiowane jako wszystkie procesy odzysku i unieszkodliwiania dokonywane w instalacjach w Krakowie (lub Tarnowie), jak również poza Krakowem (Tarnowem), np. recykling surowców wtórnych.

Etap 2

Przeprowadzenie screeningu LCA (wstępnej analizy) systemów zagospodarowania zmieszanych odpadów komunalnych za pomocą modelu EASETECH (publikacje cyklu 4,5,6).

Cele szczegółowe:

- analiza porównawcza trzech scenariuszy gospodarki odpadami komunalnymi, wytworzonymi w Krakowie w 2010 r.;
- wskazanie scenariusza o najniższym potencjalnym wpływie na środowisko;
- analiza LCA etapu zbierania i transportu odpadów komunalnych, w scenariuszach gospodarowania zmieszanych odpadami komunalnymi w Krakowie;
- wskazanie znaczących kategorii wpływu i substancji decydujących o wysokich wartościach wskaźników kategorii wpływu.

Granice systemu obejmują zbiórkę, transport i zagospodarowanie tylko zmieszanych odpadów komunalnych. Modelowanymi scenariuszami zagospodarowania zmieszanych odpadów komunalnych są:

- składowanie w nowoczesnej, dobrze wyposażonej instalacji; gaz składowiskowy ujmowany i przetwarzany na energię elektryczną i ciepło, odcieki ujmowane drenażem i systemem kanalizacji przekazywane do oczyszczalni ścieków;
- spalanie w instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych, z odzyskiem energii oraz instalacją rewaloryzacji żużla;
- mechaniczno - biologiczne przetwarzanie; sortowanie, wydzielanie metali i szkła, frakcji drobnej - poddawanej stabilizacji biologicznej oraz frakcji grubej, rozdzielanej na frakcję lekką (paliwo RDF) oraz frakcję ciężką do składowania.

Pozostałe elementy systemu gospodarki odpadami komunalnymi: selektywna zbiórka, recykling selektywnie zebranych odpadów, demontaż odpadów wielkogabarytowych, kompostowanie odpadów zielonych są identyczne dla wszystkich 3 scenariuszy dlatego zostały wyłączone z granic systemu. Jednostką funkcjonalną jest całkowita ilość wytworzonych zmieszanych odpadów komunalnych w Krakowie w roku 2010, wprowadzona do systemu.

Etap 3

Szczegółowa analiza cyklu życia procesu mechaniczno-biologicznego przetwarzania (MBP) zmieszanych odpadów na podstawie rzeczywistych danych jednej z krakowskich instalacji, za pomocą modelu EASETECH (publikacje cyklu 8, 9).

Cele szczegółowe:

- kwantyfikacja przepływów/wymian ze środowiskiem związanych z mechaniczno-biologicznym przetwarzaniem zmieszanych odpadów komunalnych;
- identyfikacja i ocena potencjalnych wpływów środowiskowych powodowanych przez proces produkcji paliwa alternatywnego RDF ze zmieszanych odpadów komunalnych;
- modelowanie oddziaływania na środowisko technologii mechaniczno - biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych na rzeczywistych danych za rok 2015, z uwzględnieniem specyficznych strumieni wyjściowych i wydajności konkretnego zakładu MBP w Krakowie.

Jednostką funkcjonalną jest 1 Mg zmieszanych odpadów komunalnych wytwarzanych w Krakowie, przetwarzanych w instalacji MBP. W pierwszej fazie badań granice systemu obejmują tylko te operacje które prowadzą do wytworzenia paliwa alternatywnego RDF. W drugiej fazie rozszerzono granice systemu o procesy biologicznego przetwarzania, a także odzysk lub unieszkodliwianie odpadów końcowych: wydzielonych surowców wtórnych, składowanie stabilizatu i balastu. Spalanie paliwa RDF w cementowni zostało wyłączone z granic systemu, jest to bardzo złożony proces, służący nie tylko odzyskowi odpadów, ale także produkcji klinkieru, który wymaga oddzielnego i bardzo uważnego modelowania.

Etap 4

Szczegółowa analiza porównawcza spalania i składowania zmieszanych odpadów komunalnych dla Krakowa, za pomocą modelu EASETECH (publikacja 10).

Cele szczegółowe:

- porównanie potencjalnych wpływów środowiskowych powodowanych przez dwa scenariusze gospodarowania zmieszanyimi odpadami komunalnymi wytwarzanymi w Krakowie;
- identyfikacja znaczących kategorii wpływów oraz substancji decydujących o wysokich wartościach wskaźników kategorii wpływu.

W pierwszym scenariuszu zmieszane odpady są składowane, na nowoczesnym, dobrze wyposażonym składowisku, w drugim - spalane z zakładzie termicznego przekształcania odpadów z odzyskiem energii. Scenariusz pierwszy reprezentuje stan faktyczny gospodarki odpadami komunalnymi dla Krakowa w roku 2010, drugi scenariusz jest zgodny z planami na rok 2016. Jednostką funkcjonalną jest całkowita ilość wytworzonych zmieszanych odpadów komunalnych wytworzona i zebrana w roku 2010 w Krakowie.

4.3.3. Metodyka badań

Analiza cyklu życia

Analiza cyklu życia (LCA) jest ustrukturyzowaną techniką zarządzania środowiskowego, normalizowaną przez ISO 14040 (PN-EN ISO 14040, 2009). Norma zaleca prowadzenie LCA w czterech fazach: 1) definicja celu i zakresu badań, 2) analiza zbioru (inwentaryzacja danych), 3) ocena wpływu cyklu życia oraz 4) interpretacja.

Cel i zakres badań definiuje i opisuje produkt, proces lub usługę. W tej fazie identyfikuje się granice systemu i jednostkę funkcjonalną. (Rebitzer i in., 2004; U.S. EPA, 2006; Grzesik,

2006). Granice systemu określają procesy i elementy cyklu życia, które należą do analizowanego systemu, tj. oddzielają analizowany system od reszty technosfery i ekosfery. Jednostka funkcjonalna jest ilościowym opisem funkcji systemu (funkcja - realizowanie określonych potrzeb przez produkt, proces lub usługę). Jednostka funkcjonalna jest bazą, która umożliwia porównywanie alternatywnych produktów, procesów lub usług.

Inwentaryzacja danych / analiza zbioru (Life Cycle Inventory - LCI) jest to proces identyfikacji i kwantyfikacji wszelakich przepływów (wymian) pomiędzy środowiskiem a analizowanym systemem: zużycie energii i surowców oraz emisje (do powietrza, wody, odpady i inne) (U.S. EPA, 2006; Grzesik, 2006). Inwentaryzacja przepływów/wymian jest dokonywana w odniesieniu do jednostki funkcjonalnej. Gromadzenie danych i modelowanie systemu musi odbywać się zgodnie ze zdefiniowanym celem i zakresem badań.

Ocena wpływu cyklu życia (Life Cycle Impact Assessment - LCIA) ma na celu ustanowienie powiązań pomiędzy produktem, procesem lub usługą, a jego potencjalnymi wpływami na środowisko (U.S. EPA, 2006). Dane wejściowe i wyjściowe przepływów wykazane w analizie zbioru (LCI), są przeliczane na wartości wskaźników kategorii związanych z trzema obszarami szkody: zdrowiem ludzkim, jakością ekosystemu i wyczerpaniem zasobów (Grzesik, 2006; EC JRC, 2010). Ocena wpływu jest wykonywana w kilku krokach (U.S. EPA, 2006): 1) wybór kategorii wpływu; 2) klasyfikacja - przypisanie wyników LCI do kategorii wpływów; 3) charakteryzowanie - obliczenie wskaźników kategorii; 4) normalizacja - obliczanie wartości wskaźnika kategorii względem informacji odniesienia; 5) grupowanie - sortowanie lub ranking wskaźników; 6) ważenie - nadawanie wag (ważności) potencjalnym wpływom; 7) ocena i raportowanie wyników LCIA.

Interpretacja dokonywana z poziomu każdego etapu LCA (Rebitzer i in., 2004). Jest to systematyczna technika polegająca na identyfikacji, sprawdzaniu i ocenie informacji pochodzących z wyników LCI i LCIA. Interpretacja ma na celu analizowanie wyników, formułowanie wniosków, wyjaśnianie ograniczeń i przedstawianie rekomendacji opartych na wynikach poprzednich etapów LCA oraz zapewnienie zrozumiałej, kompletnej i spójnej prezentacji wyników zgodnie z celem i zakresem badania (PN-EN ISO 14040, 2009).

Metodyka analizy cyklu życia (LCA) jest cennym narzędziem służącym identyfikacji i oceny wpływów środowiskowych powodowanych przez scenariusze gospodarki odpadami, dostarcza szerokiego przeglądu aspektów środowiskowych, umożliwiając porównanie tych scenariuszy. Dzięki systemowemu podejściu LCA można oceniać różnorodne technologie przetwarzania odpadów, z różnymi wzorcami zużycia i wytwarzania energii, a także zróżnicowanymi poziomami odzysku materiałów (Kirkeby i in., 2006). Gospodarka odpadami jest dużym, skomplikowanym systemem, trudnym do przeprowadzenia badań i wymaga bardzo uważnej definicji zakresu badań. (Bjorklund i in., 2010).

Jednostkę funkcjonalną w badaniach LCA gospodarki odpadami definiuje się jako gospodarowanie pewną ilością odpadów, o określonym składzie morfologicznym. Poza zbieraniem i przetwarzaniem odpadów, w systemie gospodarki odpadami mogą być wytwarzane produkty końcowe, takie jak: surowce wtórne przeznaczone do recyklingu, nawozy (kompost), a także ciepło i energia elektryczna (Bjorklund i in., 2010). Cyklu życia odpadów komunalnych rozpoczyna się w momencie, kiedy śmieci są wyrzucane do kosza i kończy się, gdy przetworzone odpady (mechanicznie, biologicznie lub termicznie) są zdeponowane na składowisku. W LCA ocenia się zużycie zasobów i uwalniane emisje do powietrza, wody i gleby oraz wytwarzanie użytecznych materiałów z odpadów. Ramy czasowe oceny rozpoczynają się w chwili wytworzenia odpadów, aż do momentu ostatecznego ich unieszkodliwiania.

Model IWM-PL

W pierwszym etapie badań zastosowano polską aplikację, model IWM-PL, wydaną w 2011 roku (Kraszewski A. i Pietrzyk-Sokulska, red., 2011), która umożliwia kwantyfikację potencjalnych wpływów środowiskowych, jak również ewaluację aspektów ekonomicznych. Model wymaga wprowadzenia różnorodnych danych w 24 krokach, z których 18 dotyczy aspektów środowiskowych. Po wprowadzeniu danych oblicza emisje do powietrza i wody zestawione w formie tabel. Następnie dokonywana jest ocena wpływu cyklu życia LCIA, za pomocą metodyki opartej o Eco-indicator 99. Eco-indicator 99 polega na identyfikacji obszarów potencjalnych szkód i określeniu, co powoduje te szkody w punktach końcowych (Goedkoop i Spriensma, 2001; Dreyer i in., 2003). W metodyce tej rozpatruje się trzy kategorie szkody dla: zdrowia ludzi, jakości ekosystemu i zasobów naturalnych. Do każdej kategorii szkody przypisanych jest kilka kategorii wpływu. Kategorie szkód i odpowiadające im kategorie wpływu przedstawiono w tabeli 1. W nawiasach podano nazwy skrócone kategorii wpływu, zwyczajowo stosowane w opracowaniach i publikacjach, i zastosowane w dalszej części wniosku.

Tabela 1. Kategorie szkody i kategorie wpływu w metodyce Eco-indicator 99 (poz. 3. cyklu publikacji).

Kategoria szkody	Kategoria wpływu
Zdrowie ludzkie	Efekty kancerogenne u ludzi (Czynniki rakotwórcze)
	Zaburzenia oddechowe powodowane przez związki organiczne (Układ oddechowy – związki organiczne)
	Zaburzenia oddechowe powodowane przez związki nieorganiczne (Układ oddechowy – związki nieorganiczne)
	Szkody powodowane przez zmiany klimatyczne (Zmiany klimatu)
	Szkody powodowane przez promieniowanie jonizujące (Promieniowanie)
	Efekty powodowane przez zubożenie warstwy ozonowej (Warstwa ozonowa)
Jakość ekosystemu	Szkody powodowane przez efekty ekotoksyczne (Ekotoksyczność)
	Szkody powodowane przez efekty zakwaszenia i eutrofizacji (Zakwaszenie/eutrofizacja)
	Szkody powodowane przez użytkowanie i przekształcenie terenu (Użytkowanie terenu)
Zasoby naturalne	Szkody powodowane przez wydobywanie minerałów (Minerały)
	Szkody powodowane przez wydobywanie paliw kopalnych (Paliwa kopalne)

W modelu IWM-PL zastosowano w ograniczonym zakresie metodykę Eco-indicator 99. Nie uwzględniono kategorii szkody: zasoby naturalne. Dwie pozostałe kategorie szkody są zawężone. W kategorii szkody: zdrowie ludzkie nie uwzględniono promieniowania i zubożenia warstwy ozonowej, a w kategorii szkody: jakość ekosystemu nie uwzględniono użytkowania terenu.

W fazie oceny wpływu cyklu życia (LCIA) wyniki analizy zbioru (LCI) są przekształcane w kategorie wpływu. W kroku charakteryzowania obliczane są wartości wskaźników dla każdej kategorii wpływu. Na tym etapie nie można porównywać ze sobą kategorii wpływu, ponieważ ich wskaźniki wyrażone są w różnych jednostkach. Aby zrozumieć w jakim stopniu dana kategoria wpływu ma udział w ogólnym problemie środowiskowym, konieczna jest procedura normalizacji. Normalizacji dokonuje się poprzez podzielenie wartości wskaźników kategorii przez wartość odniesienia. Wartością odniesienia w metodyce Eco-indicator 99 jest średni wpływ na środowisko wywierany przez jednego mieszkańca Europy, w ciągu jednego roku (Goedkoop i Spriensma, 2001; Dreyer i in., 2003). Kolejnym krokiem w fazie LCIA jest ważenie/wagowanie. Wyniki otrzymane w tym kroku wyrażane są w ekopunktach (Pt). 1 Pt jest interpretowany jako jedna tysięczna rocznego wpływu na środowisko powodowanego przez statystycznego mieszkańca Europy (Dreyer i in., 2003).

Model EASETECH

W kolejnych etapach badań składających się na osiągnięcie naukowe zastosowano model EASETECH, oparty o koncepcję modelu EASEWASTE (Kirkeby i in. 2006). Modelowanie rozpoczyna się z chwilą zbierania i transportu odpadów, a kończy się ostatecznym unieszkodliwianiem odpadów końcowych, tak więc obejmuje cały system gospodarki odpadami. EASETECH oblicza emisję do powietrza, wody i gleby oraz zużycie zasobów naturalnych. Surowce wtórne wydzielone z odpadów, które poddawane są recyklingowi i energia wytworzona z odpadów są traktowane jako substytuty surowców pierwotnych lub energii uzyskanej z paliw kopalnych. Obliczone emisje i zużycie surowców (wymiany ze środowiskiem) przekształcane są na oddziaływania na środowisko, przy użyciu metodyki LCIA (oceny wpływu cyklu życia).

W modelu EASETECH zastosowano kilka metodyk LCIA, takich jak EDIP 1997 (Wenzel i in., 1997), EDIP 2003 (Hauschild i Potting, 2005), IPCC 2007 (wpływ związany z globalnym ociepleniem) (Frischknecht i in., 2007), oraz metodykę rekomendowaną przez podręcznik ILCD (EC JRC, 2011). W niniejszych badaniach zastosowano metodykę EDIP 2003, jest to zaktualizowana wersja EDIP 1997. Metodyka EDIP 2003 posiada szeroki zakres kategorii wpływu: zakwaszenie, ekotoksyczność ostra w wodzie, ekotoksyczność chroniczna w glebie, ekotoksyczność chroniczna w wodzie, eutrofizacja potencjał łączny, eutrofizacja potencjał N, eutrofizacja potencjał P, eutrofizacja lądowa, globalne ocieplenie, toksyczność dla ludzi, tworzenie się ozonu fotochemicznego wpływ na zdrowie ludzi, tworzenie się ozonu fotochemicznego wpływ na roślinność, zubożenie warstwy ozonowej w stratosferze.

Dzięki zastosowaniu metodyki EDIP 2003 uzyskuje się wyniki m.in. w tabelach inwentaryzacyjnych z obliczonymi emisjami poszczególnych substancji i zużyciem różnych rodzajów zasobów (analiza zbioru - LCI) oraz w formie znormalizowanego wpływu w poszczególnych kategoriach. Znormalizowany wpływ reprezentuje względny wpływ na środowisko w porównaniu ze średnim wpływem wywieranym przez jedną statystyczną osobę (tzw. odniesienie normalizacji). Wyniki są wyrażone w jednostce zwanej person equivalent - PE (Hansen i in., 2006). Obliczona dodatnia wartość znormalizowanego potencjalnego reprezentuje udział w całkowitym wpływie na środowisko badanego systemu gospodarki odpadami, natomiast ujemna wartość wskazuje na tzw. "uniknięte wpływy" odnoszące się do zaoszczędzonych zasobów lub unikniętych emisji.

Dane o odpadach

Dane o odpadach wytwarzanych w Krakowie pochodziły z ostatnich badań prowadzonych na terenie Krakowa, od listopada 2010 do października 2011 (Sieja i in. 2011). Według nich średni wskaźnik wytwarzania odpadów komunalnych z gospodarstw domowych przypadający na 1 mieszkańca wynosi 324,3 kg w ciągu roku. Ilość zmieszanych (resztkowych) odpadów komunalnych wytworzonych w gospodarstwach domowych w roku 2010 wynosiła 245 215 Mg, dodatkowo w obiektach infrastruktury 36 457 Mg. Parametry zmieszanych odpadów komunalnych kształtują się następująco: wilgotność 41,1%; substancje palne 78,3% s.m.; ciepło spalania 13,82 MJ/kg s.m.; wartość opałowa 7,94 MJ/kg; zawartość Cl 0,297% s.m.; zawartość F 0,0031% s.m.; zawartość S 0,168 % s.m. Skład materiałowy (morfologia) odpadów komunalnych wytwarzanych w Krakowie przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Skład materiałowy zmieszanych odpadów komunalnych w Krakowie (Sieja i in., 2011).

<i>Frakcja materiałowa</i>	<i>%</i>
Bio-odpady (organiczne)	29,22
Drewno	0,99
Papier i tektura	20,48
Tworzywa sztuczne	14,59
Szkło	8,53
Tekstylia	2,93
Metale	2,25
Odpady niebezpieczne	0,72
Kompozyty	4,6
Odpady inertne	1,96
Inne	4,89
Frakcja drobna (poniżej 10 mm)	8,84
Razem	100,00

4.3.4. Omówienie wyników badań

Etap 1

W etapie pierwszym polegającym na przeprowadzaniu analizy cyklu życia systemu gospodarki odpadami komunalnymi z wykorzystaniem modelu IWM-PL, uzyskano tablice inwentaryzacyjne z wartościami emisji do powietrza i wody, w przeliczeniu na jednostkę funkcjonalną, tj. całkowitą ilość odpadów wprowadzoną do systemu gospodarki odpadami komunalnymi w Krakowie w roku 2010, które przedstawiono w poniższych tabelach. Wartości emisji podano w jednakowych jednostkach tj. w kg, nawet wtedy, gdy zazwyczaj parametr wyrażany jest w innych jednostkach np. ChZT.

Tabela 3. Emisje do powietrza z procesów przetwarzania i transportu odpadów w Krakowie, stan na 2010 r., uzyskane w modelu IWM-PL (poz. 3. cyklu publikacji).

Emisje do powietrza	Jed.	Transport	Sortowanie	Biologiczne przetwarzanie	Termiczne przetwarzanie	Składowanie	Recykling	Suma
Pyły	kg	12	539	833	342	-40157	-12428	-50859
CO	kg	160	339	60	27	24908	-8339	17154
CO ₂	kg	29166	380397	525327	3232052	37234028	-10112862	31288108
CH ₄	kg	36	829	1229	0	5281673	-13249	5270518
NO _x	kg	525	1653	1070	444	-25470	-21120	-42898
N ₂ O	kg	0	2	3	0	-152	-428	-575
SO _x	kg	44	1564	2388	983	-114416	-52686	-162123
HCl	kg	0	83	133	55	-5339	-1328	-6397
HF	kg	0	8	13	0	-445	-13	-437
H ₂ S	kg	0	0	0	0	2727	12	2739
Węglowodory	kg	0	0	0	0	28701	0	28701
Węglowodory chlorowane	kg	0	0	0	0	728	0	728
Amoniak	kg	0	1	2	0	-82	60	-19
Arsen	kg	0	0	0	0	0	-361	-361
Ołów	kg	0	0	0	0	-3	275	272
Magnez	kg	0	0	0	0	-2	-1	-2
Rtęć	kg	0	0	0	0	-1	0	-1
Nikiel	kg	0	0	0	0	-8	-8	-16
Cynk	kg	0	0	0	1	-7	-2	-8

Wartości dodatnie w tabeli są miarą niekorzystnego wpływu na środowisko, podczas gdy wartości ujemne wskazują na wpływ korzystny tzw. „uniknięte wpływy”. Substancją emitowaną w największych ilościach jest CO₂, pochodzący ze wszystkich procesów przetwarzania i transportu. Emisje CO₂ mogą być wyjaśnione poprzez:

- zapotrzebowanie na energię elektryczną w procesach przetwarzania (urządzenia elektryczne), produkcja energii elektrycznej w Polsce opiera się głównie o spalanie węgla;
- spalanie paliwa w czasie transportu;
- emisję gazu składowiskowego, którymi głównymi składnikami są metan i CO₂.

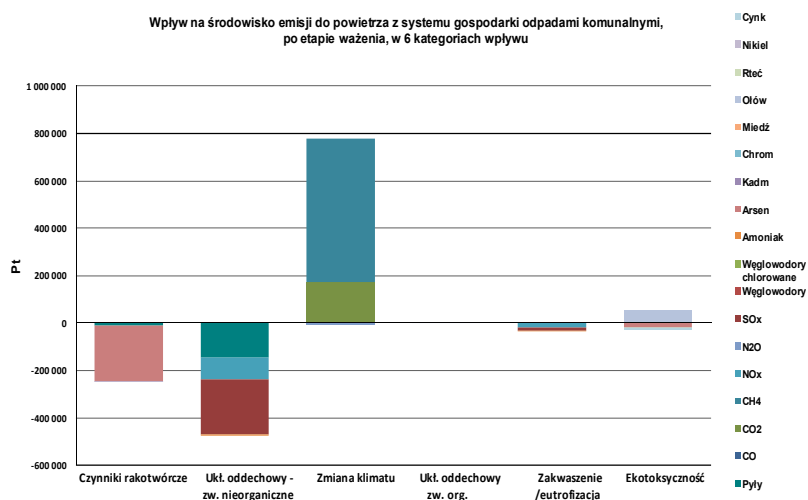
Wartości ujemne emisji: CO₂, SO_x, NO_x uwzględniają „uniknięte wpływy”. Przetwarzanie surowców wtórnych w procesie recyklingu wymaga mniej energii niż produkcja materiałów i przedmiotów z surowców pierwotnych. Jednakże wartości ujemne emisji dla procesu składowania trudno wyjaśnić nawet poprzez wykorzystanie ujmowanego biogazu do produkcji energii elektrycznej i ciepłej na składowisku odpadów komunalnych Barycz.

Tabela 4. Emisje do wody z procesów przetwarzania i transportu odpadów w Krakowie, stan na 2010r., uzyskane w modelu IWM-PL (poz. 3. cyklu publikacji)

Emisje do powietrza	Jed.	Transport	Sortowanie	Biologiczne przetwarzanie	Termiczne przetwarzanie	Składowanie	Recykling	Suma
BZT	kg	0	0	1290	-	73649	4836	79775
ChZT	kg	0	1	2184	-	73588	-186108	-110335
Zawiesiny	kg	36	60	20	-	236	-30135	-29783
OWO	kg	0	4	6	-	-212	11524	11322
AOX	kg	0	0	0	-	90	-1917	-1827
Fenole	kg	0	0	0	-	15	-6	10
Al	kg	0	164	265	-	-12997	-2558	-15125
NH ₄ ⁺	kg	0	1	224	-	925	-174	975
Arsen	kg	0	0	1	-	-26	-5	-30
Bar	kg	0	14	22	-	-1068	-269	-1303
Kadm	kg	0	0	0	-	0	-1	-1
Chlorki	kg	333	1552	1782	-	-73636	-14312	-84281
Chrom	kg	0	2	3	-	-128	-27	-150
Miedź	kg	0	1	1	-	-63	-10	-71
Fluorki	kg	0	0	0	-	18	0	17
Żelazo	kg	0	316	508	-	-20639	-3213	-23028
Ołów	kg	0	1	1	-	-63	-17	-78
Nikiel	kg	0	1	1	-	-58	-13	-69
Azotany (V)	kg	0	4	6	-	-315	3286	2981
Fosforany	kg	0	10	16	-	-780	-70	-824
Siarczany	kg	12	1307	2083	-	-101730	2596	-95733
Siarczki	kg	0	0	0	-	0	-1	-1

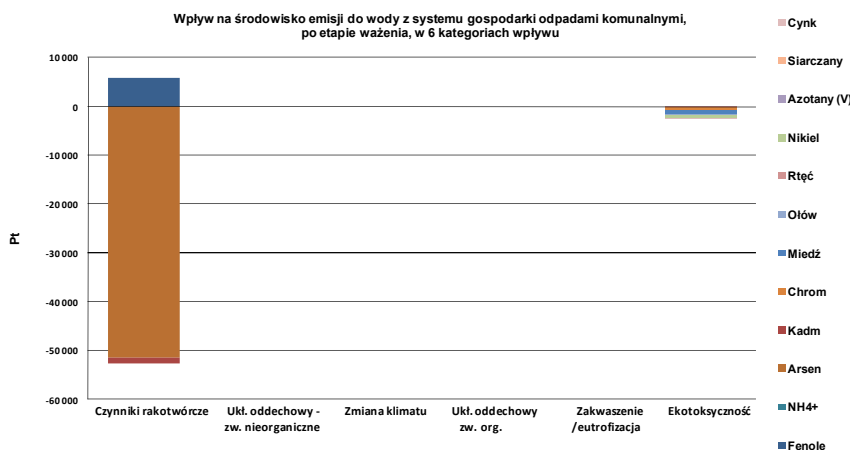
Wartości emisji do wody obliczone w modelu IWM-PL są zaskakujące. O ile ujemne wartości emisji dla procesu recyklingu są zrozumiałe („uniknięte wpływy”), o tyle dla procesu składowania dla wartości ujemnych emisji: siarczanów, chlorków, żelaza, aluminium i innych substancji nie można znaleźć uzasadnienia. Proces deponowania odpadów komunalnych na składowiskach generuje odcieki o ogromnym ładunku substancji zanieczyszczających, zwłaszcza parametrów wymienionych powyżej (Fudala – Książek, 2011; Heyer i Stegmann, 2001; Szpadt, 2006). Odcieki ze składowiska Barycz w Krakowie są ujmowane i przekazywane do miejskiej oczyszczalni ścieków, niemniej jednak efektywność oczyszczania nie jest równa 100%.

Na rysunku 1 i 2 przedstawiono wpływ na środowisko emisji do powietrza oraz emisji do wody, w sześciu kategoriach wpływu, po etapie ważenia/wagowania, z systemu gospodarki odpadami komunalnymi w Krakowie, stan w roku 2010.



Rys. 1. Wpływ na środowisko emisji do powietrza z systemu gospodarki odpadami komunalnymi, w modelu IWM-PL (poz. 3. cyklu publikacji)

Wartości trzech kategorii wpływu: czynniki rakotwórcze, układ oddechowy – związki nieorganiczne, zakwaszenie/eutrofizacja są ujemne, co oznacza pozytywny wpływ na środowisko („uniknięte wpływy”). Można to wyjaśnić recyklingiem surowców wtórnych oraz produkcją energii elektrycznej i ciepłej z ujmowanego gazu składowiskowego. Wartości pozostałych kategorii wpływu: zmiana klimatu, układ oddechowy, ekotoksyczność są dodatnie, co oznacza niekorzystny wpływ na środowisko.

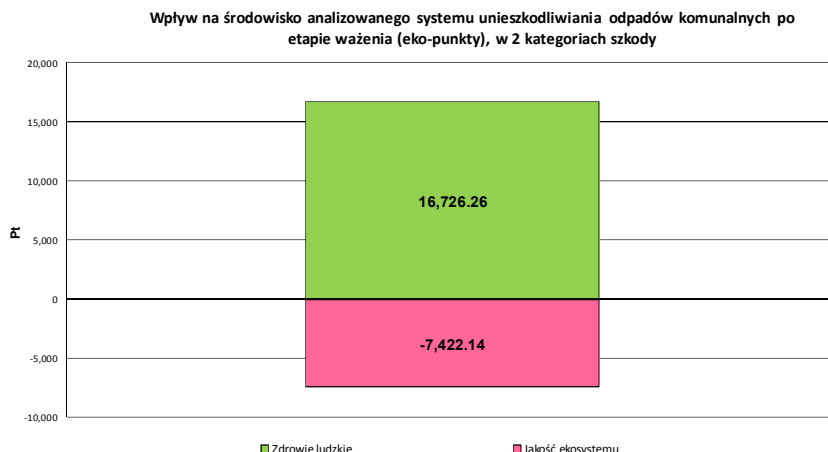


Rys. 2. Wpływ na środowisko emisji do wody, w modelu IWM-PL (poz. 3. cyklu publikacji).

Jedynie dla dwóch kategorii wpływu dla emisji do wód tj. czynników rakotwórczych oraz ekotoksyczności wartości są różne od zera, obydwie ujemne. Wartości zerowe dla kategorii: układ oddechowy – związki nieorganiczne, układ oddechowy – związki organiczne oraz zmiana klimatu mogą być wyjaśnione tym, że emisje do wody zasadniczo nie wpływają na zaburzenia oddechowe u ludzi ani zmiany klimatyczne. Natomiast trudno znaleźć uzasadnienie dla wartości zerowej zakwaszenia/eutrofizacji, biorąc pod uwagę znaczne wartości parametrów zanieczyszczających w odciekach ze składowisk odpadów komunalnych. W tym kontekście również trudno tłumaczyć ujemne wartości kategorii: czynniki rakotwórcze i ekotoksyczność (korzystny wpływ na środowisko). Z zamieszczonych na rys 2. wyników analizy cyklu życia wynika, że wpływ na środowisko emisji do wody,

pochodzących z systemu gospodarki odpadami komunalnymi jest pozytywny, co należy uznać za nieprawdopodobne.

Końcowy wynik przeprowadzonej analizy cyklu życia systemu gospodarki odpadami komunalnymi jest wyrażony w ekopunktach (Pt) w dwóch kategoriach szkody: zdrowie ludzkie i jakość ekosystemu. Wynik końcowy ewaluacji przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Wpływ na środowisko systemu gospodarki odpadami komunalnymi w Krakowie w 2010 roku, w dwóch kategoriach szkody, w modelu IWM-PL (poz. 2. cyklu publikacji).

Negatywny wpływ na środowisko jest obserwowany tylko w jednej kategorii szkody: zdrowie ludzkie (wartość większa od zera). Podczas gdy dla kategorii szkody: jakość ekosystemu wpływ na środowisko jest pozytywny (wartość mniejsza od zera). Trudno uznać za wiarygodny taki wynik, otrzymany w wyniku zastosowania modelu IWM-PL, który informuje o tym, że system gospodarki odpadami komunalnymi w dużej aglomeracji miejskiej, powoduje poprawę jakości ekosystemów. Wyniki uzyskane dla systemu gospodarki odpadami w Tarnowie, stan na rok 2012, są podobne do wyników dla Krakowa.

Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki modelowania z zastosowaniem aplikacji IWM-PL, model ten może służyć do wstępnych, bardzo pobieżnych analiz porównawczych scenariuszy gospodarki odpadami, ale nie do dokumentowania wpływu na środowisko przyjętego systemu gospodarki odpadami.

Ponadto wprowadzanie danych w zakresie procesów przetwarzania odpadów, budzi poważne zastrzeżenia i wątpliwości. Wymagane parametry w procesie składowania, dotyczące gazu i odcieków, są sformułowane niejednoznacznie. Model nie jest elastyczny i nie umożliwia wprowadzania różnych konfiguracji systemu, np. produkcji paliwa RDF z odpadów wielkogabarytowych, a nie ze zmieszanych odpadów komunalnych. W opisie oprogramowania podano, że model IWM-PL ma własną bazę danych, obejmującą wielkość i rodzaj emisji związanych z poszczególnymi procesami przetwarzania określonej ilości odpadów. Baza ta pochodzi z modelu IWM-2 wydanego wraz publikacją (McDougall i in., 2001). W opisie oprogramowania nie podano algorytmów obliczania emisji z poszczególnych procesów przetwarzania, nie jest więc zatem jasne, w jaki sposób liczone są wartości emisji do wód i powietrza. Szczególnie istotne jest to w przypadku składowania odpadów i emisji do wód (ujemne wartości substancji zanieczyszczających) w module "odzysk odcieków". Już samo sformułowanie jest nieprawidłowe, bo można mówić jedynie o unieszkodliwianiu odcieków składowiskowych, ale nie ich odzysku (odzysk oznacza użyteczne zastosowanie). Prawdopodobnie ten moduł jest wadliwie skonstruowany, dając niewiarygodne wyniki modelowania.

Etap 2

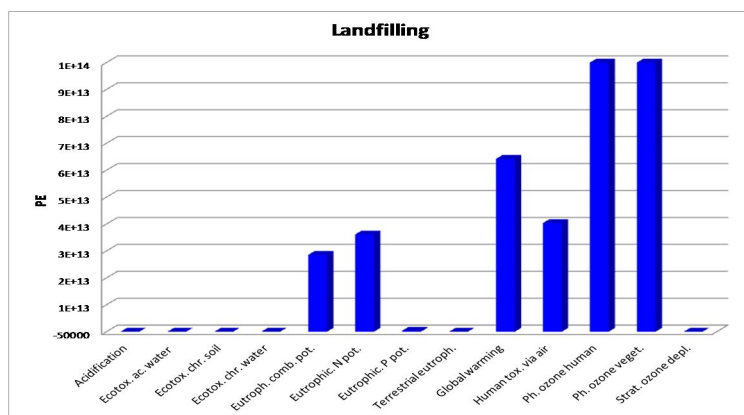
W etapie drugim badań dokonano wstępnej analizy (screening LCA), z zastosowaniem modelu EASETECH, trzech scenariuszy zagospodarowania zmieszanych odpadów komunalnych dla Krakowa, wytworzonych w roku 2010. Modelowanie zostało przeprowadzone przy założeniu takiej samej ilości i jakości zmieszanych odpadów w trzech scenariuszach: składowania, spalania i mechaniczno-biologicznego przetwarzania.

Głównymi problemami środowiskowymi związanymi ze składowaniem odpadów są: gaz składowiskowy z beztlenowego rozkładu materii organicznej zawartej w odpadach oraz odcieki z opadów atmosferycznych infiltrujących przez zdeponowane odpady. Potencjał wytwarzania gazu składowiskowego oblicza się poprzez zawartość lotnych substancji stałych w każdej frakcji materiałowej, potencjał wytwarzania metanu dla każdej frakcji materiałowej oraz stężenie metanu w gazie składowiskowym. Efektywność ujmowania gazu wynosi 88%, zebrany gaz w całości kierowany jest do produkcji energii elektrycznej wytwarzanej przez turbiny, ze sprawnością 30%. Efektywność unieszkodliwiania substancji w ujmowanym gazie wynosi 98% - 99%.

Ocena środowiskowych aspektów spalania odpadów obejmuje zarówno rzeczywiste emisje ze spalarni, jak i "uniknięte" emisje, ponieważ produkcja energii z odpadów zastępuje produkcję energii z paliw kopalnych. Na modelowanie spalania znaczący wpływ ma wilgotność i wartość opałowa odpadów.

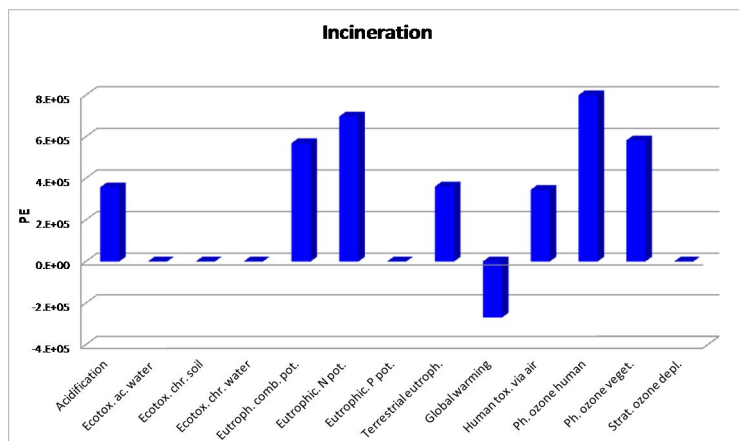
Instalacja mechaniczno - biologicznego przetwarzania odpadów (MBP) jest modelowana jako kombinacja procesów separacji mechanicznej i obróbki biologicznej. W tym scenariuszu brane jest także pod uwagę zagospodarowania odpadów końcowych, tzn. składowanie stabilizatu po obróbce biologicznej i balastu oraz spalanie wytworzonego paliwa alternatywnego (RDF). Poziomy odzysku wybranych frakcji materiałowych, współczynniki przepływów strumieni odpadów obliczono na podstawie badań eksperymentalnych przeprowadzonych w zakładzie MBP w Krakowie (Malinowski 2012, 2013). Natomiast obliczone poziomy odzysku wydzielanych surowców wtórnych zweryfikowano w oparciu o badania przeprowadzone przez Montejo i in. (2013). Średnie zużycie paliwa dla operacji mechanicznych (maszyny napędzane silnikami Diesla) obliczono na podstawie danych dostarczonych przez instalację MBP.

W wyniku modelowania z wykorzystaniem aplikacji EASETECH otrzymano tablice inwentaryzacyjne z wartościami emisji poszczególnych substancji i zużyciem różnych zasobów (liczące kilkadziesiąt pozycji) oraz wartości znormalizowanego potencjalnego wpływu na środowisko w 13 kategoriach, wyrażonych w jednostkach person equivalent (PE). Znormalizowany potencjalny wpływ na środowisko rozważanych scenariuszy przedstawiono na rysunkach 4, 5, 6.



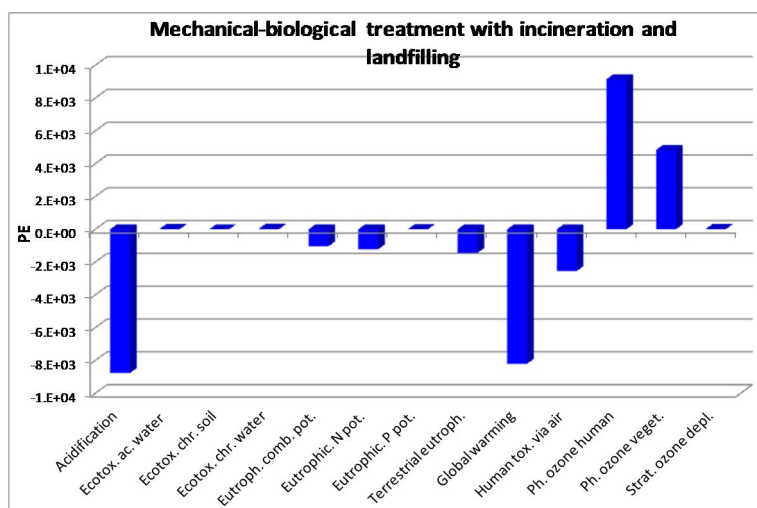
Rys. 4. Znormalizowany wpływ na środowisko scenariusza składowania zmieszanych odpadów komunalnych w Krakowie, w modelu EASETECH (poz. 4. cyklu publikacji).

Scenariusz składowania odpadów przyczynia się głównie do tworzenia ozonu fotochemicznego (wpływającego zarówno na zdrowie człowieka, jak i wegetację) oraz na globalne ocieplenie, głównie ze względu na emisję gazu składowiskowego oraz jego spalanie w celu wykorzystania energetycznego. Wysokie wartości wskaźników obserwuje się również w kategoriach: eutrofizacji i toksyczności dla ludzi, ze względu na odcieki i ich unieszkodliwianie.



Rys. 5. Znormalizowany wpływ na środowisko scenariusza spalania zmieszanych odpadów komunalnych w Krakowie, w modelu EASETECH (poz. 4. cyklu publikacji).

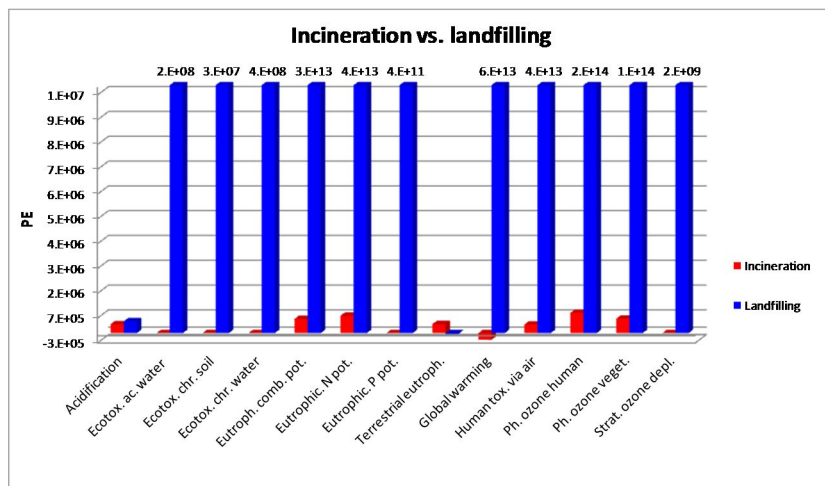
W scenariuszu spalania pozytywny wpływ na środowisko wskazano w kategorii globalne ocieplenie, natomiast w większości kategorii wpływ na środowisko jest negatywny. Najwyższy negatywny wpływ spalania obserwuje się w kategorii tworzenie ozonu fotochemicznego, oddziaływania na zdrowie człowieka i na roślinność, głównie z powodu emisji tlenków azotu z komina spalarni. Emitowane tlenki azotu są również odpowiedzialne za wysokie wartości wskaźników w kategoriach eutrofizacji i toksyczności dla ludzi.



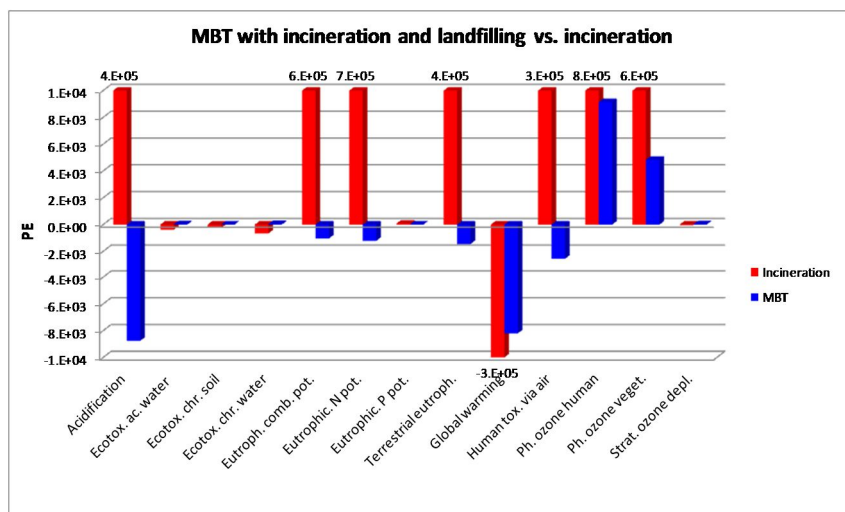
Rys. 6. Znormalizowany wpływ na środowisko scenariusza mechaniczno - biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych w Krakowie (poz. 4. cyklu publikacji).

Scenariusz mechaniczno-biologicznego przetwarzania ma zarówno negatywny, jak i pozytywny wpływ na środowisko. Negatywnie wpływa na tworzenie ozonu fotochemicznego (wpływ na zdrowie ludzi i na roślinności). Procesem o największy negatywnym wpływie na środowisko w tym scenariuszu jest składowanie frakcji drobnej po biologicznej stabilizacji, natomiast procesem korzystnym dla środowiska jest spalanie paliwa alternatywnego (oszczędność paliwa konwencjonalnego). Najwyższy pozytywny wpływ obserwuje się w kategoriach zakwaszenie i globalne ocieplenie.

Wyniki znormalizowanego potencjalnego wpływu dla trzech scenariuszy zostały porównane ze sobą i pokazane na rysunkach 7 i 8. Dla wszystkich kategorii wpływu, poza jedną, wartości wskaźników są wyższe dla składowania niż dla spalania. Najbardziej znaczące różnice występują w kategorii globalne ocieplenie. Do tej kategorii w największym stopniu przyczynia się emisja metanu ze składowania odpadów. Wartości poniżej zera dla spalania wskazują na pozytywny wpływ na środowisko, jest to głównie spowodowane "unikniętymi" emisjami dwutlenku ze spalania węgla pochodzenia kopalnego. Odpady są źródłem energii, dlatego mniej paliw kopalnych jest spalanych w celu pozyskania energii.



Rys. 7. Porównanie znormalizowanego wpływu na środowisko dla scenariusza składowania i spalania zmieszanych odpadów komunalnych w Krakowie (poz. 4. cyklu publikacji).



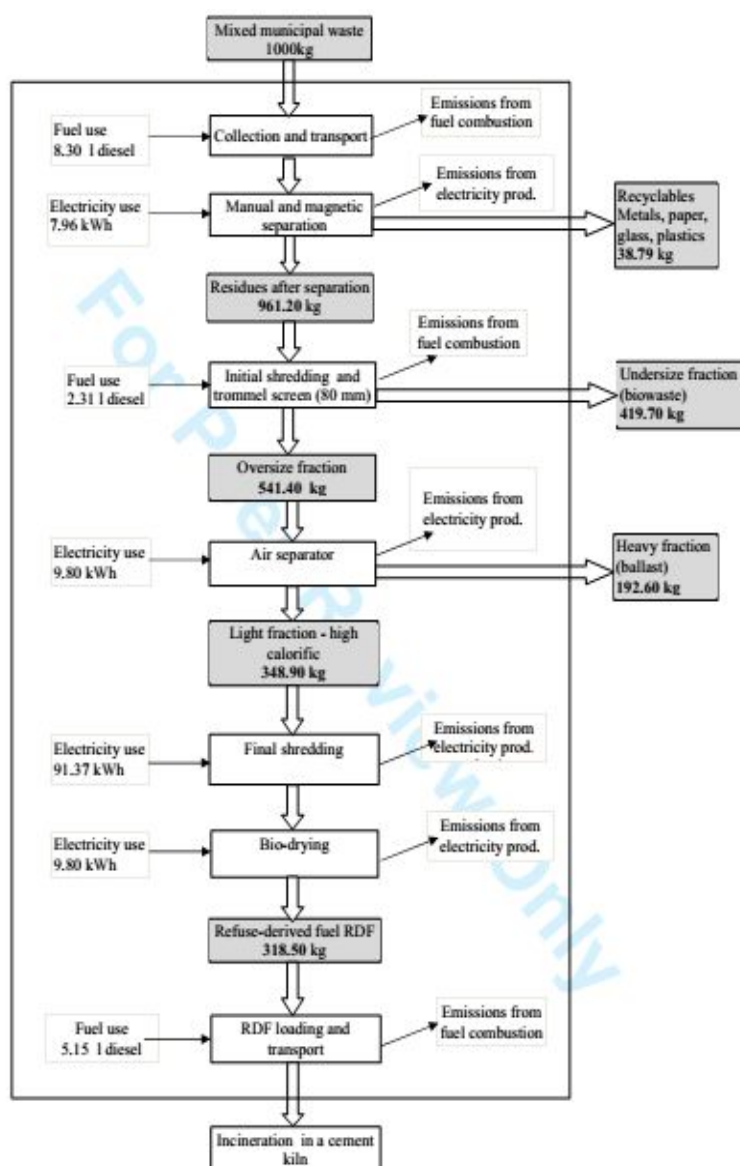
Rys. 8. Porównanie znormalizowanego wpływu na środowisko dla scenariusza spalania i mechaniczno - biologicznego przetwarzania (poz. 4. cyklu publikacji).

Najniższy wpływ na środowisko jest wykazany dla scenariusza MBP. Najbardziej znaczącymi procesami w tym scenariuszu są: składowanie stabilizatu po biologicznym przetwarzaniu (negatywny wpływ) i oraz spalanie paliwa alternatywnego RDF (pozytywny wpływ). Z drugiej strony dla procesów mechanicznych (separacji) i procesów biologicznych (kompostowanie) konieczna jest energia, zarówno paliwo (w maszynach z silnikiem Diesla), jak i energia elektryczna. Wyniki modelowania scenariusza MBP są bardzo obiecujące, jednak w modelowaniu tego scenariusza występują niepewności, zwłaszcza w odniesieniu do zużycia paliwa i energii elektrycznej oraz dokładnych zmian w strumieniach przetwarzanych odpadów.

Etap 3

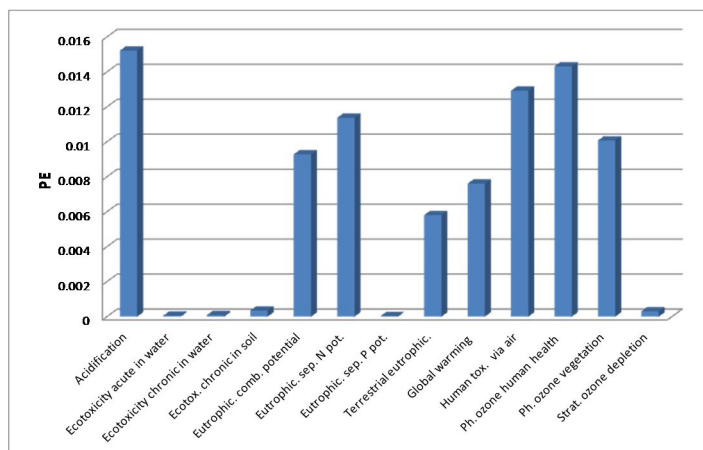
W trzecim etapie badań przeprowadzono szczegółowe modelowanie LCA procesu wytwarzania paliwa alternatywnego w instalacji MBP, a także kompletnego procesu mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów, w oparciu o dane uzyskane w jednej z krakowskich instalacji.

Dla modelowania wpływu na środowisko wytwarzania paliwa alternatywnego ze zmieszanych odpadów komunalnych, ustalono precyzyjne granice systemu. Obejmują one tylko te operacje które prowadzą do wytworzenia paliwa alternatywnego RDF, natomiast z analizy wyłączono pozostałe operacje, m.in. tlenową stabilizację (kompostowanie), frakcji drobnej organicznej, składowanie balastu, recykling wydzielonych surowców wtórnych. Proces produkcji paliwa alternatywnego ze zmieszanych odpadów komunalnych realizowany jest w sekwencji następujących po sobie operacji zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 9. Sporządzono bilans masowy poszczególnych strumieni odpadów oraz bilans zużycia paliw i energii w przeliczeniu na jednostkę funkcjonalną, którą jest 1 Mg zmieszanych odpadów komunalnych dostarczanych do instalacji. Granice systemu wraz z bilansem masowym oraz zużyciem paliw i energii przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Granice systemu, przepływy strumieni odpadów, bilans masowy, zużycie paliw i energii w przeliczeniu na jednostkę funkcjonalną (poz. 8. cyklu publikacji).

Wyniki modelowania przedstawione na rysunku 10 są wyrażone jako znormalizowany potencjalny wpływ na środowisko w jednostkach person equivalent (PE).

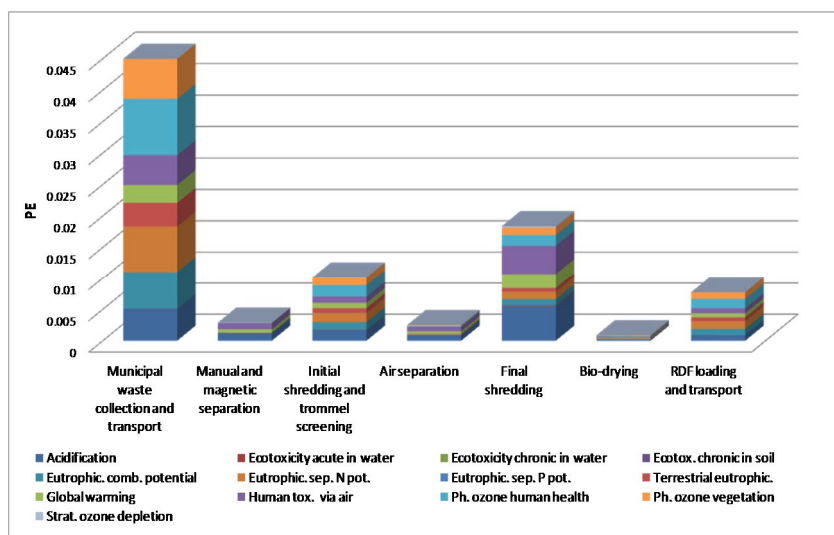


Rys. 10. Znormalizowany potencjalny wpływ na środowisko produkcji paliwa alternatywnego, w modelu EASETECH (poz. 8. cyklu publikacji).

Do znaczących kategorii wpływów należą: tworzenie ozonu fotochemicznego (wpływ na zdrowie ludzi i roślinność); eutrofizacja (potencjał N i potencjał łączny); zakwaszenie; toksyczność dla ludzi; eutrofizacja lądowa; globalne ocieplenie. Następujące emisje substancji przyczyniają się do wysokich wartości w poszczególnych kategoriach wpływu:

- zakwaszenie: SO_2 , NO ze spalania paliw w pojazdach i w wyniku spalania paliw kopalnych podczas procesu wytwarzania energii elektrycznej, także emisje HCl i HF w wyniku produkcji energii elektrycznej;
- tworzenie ozonu fotochemicznego (wpływ na zdrowie i na roślinność): NO_x , CH_4 , NMVOC (non-methane volatile organic compounds);
- toksyczność dla ludzi: NO_x , formaldehyd, H_2S , ze spalania paliwa w pojazdach i produkcji energii elektrycznej;
- eutrofizacja: NO_x ;
- zmiany klimatyczne: CO_2 , CH_4 ze spalanie paliw kopalnych.

W omawianym systemie produkcji paliwa alternatywnego operacjami o największym oddziaływaniu na środowisko są: zbiórka i transport zmieszanych odpadów komunalnych, rozdrabnianie końcowe frakcji o wysokiej wartości opałowej. Wpływ na środowisko poszczególnych operacji produkcji paliwa alternatywnego ze zmieszanych odpadów komunalnych przedstawiono na rysunku 11. Zbieranie i transport odpadów komunalnych powoduje ponad 51% całkowitego wpływu na środowisko, a ostateczne rozdrabnianie powoduje 21 % całkowitego wpływu.



Rys. 11. Znormalizowany wpływ na środowisko poszczególnych operacji produkcji paliwa alternatywnego, w modelu EASETECH (poz. 8. cyklu publikacji).

Modelowaniu LCA poddano także pełny proces mechaniczno - biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, w konkretnej instalacji MBP, w oparciu o dane rzeczywiste za rok 2015.

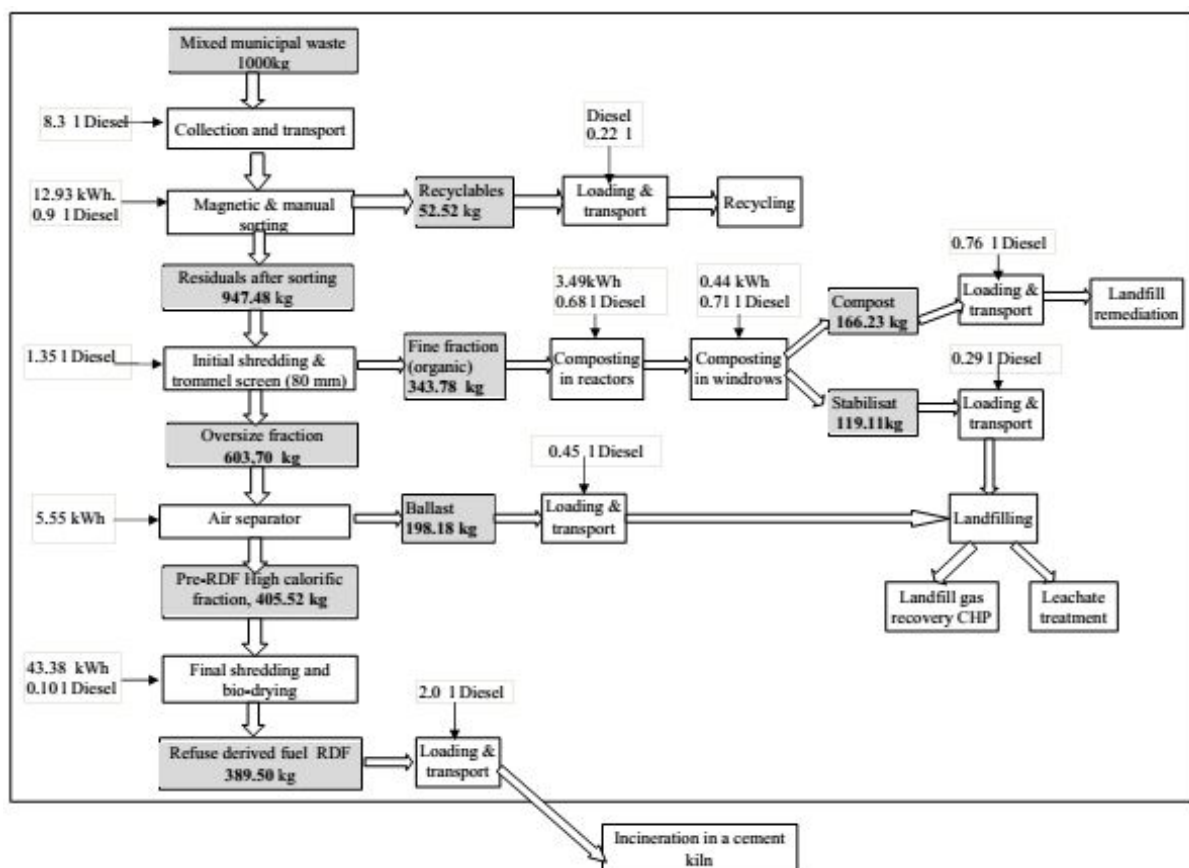
Granice systemu obejmują cały łańcuch wartości, od zbiórki i transportu zmieszanych odpadów komunalnych, poprzez operacje mechaniczne i biologiczne, aż po ostateczne zagospodarowanie odpadów końcowych, wytwarzanych w instalacji MBP. W procesach mechanicznych wytwarzane jest paliwo alternatywne (RDF) i balast, z wydzieleniem surowców wtórnych. Kompost niskiej jakości i stabilizat wytwarzane są w procesach biologicznych. Granice systemu obejmują również procesy zagospodarowania odpadów końcowych, takie jak:

- recykling surowców wtórnych wydzielonych z mieszanych odpadów komunalnych: papieru i tektury, szkła, metali żelaznych, metali nieżelaznych, tworzyw sztucznych;
- wykorzystanie kompostu niskiej jakości do rekultywacji zamkniętego składowiska odpadów komunalnych;
- składowanie stabilizatu (przetworzonej biologicznie frakcji organicznej - drobnej);
- składowanie balastu.

Składowanie odbywa się w dobrze wyposażonym obiekcie, w którym ujmowany jest gaz składowiskowy i przetwarzany na ciepło i energię elektryczną. Odcieki zbierane są poprzez system drenażu, a następnie kierowane do oczyszczalni ścieków komunalnych. Transport produktów i odpadów końcowych do odbiorców również zawarty jest w granicach systemu.

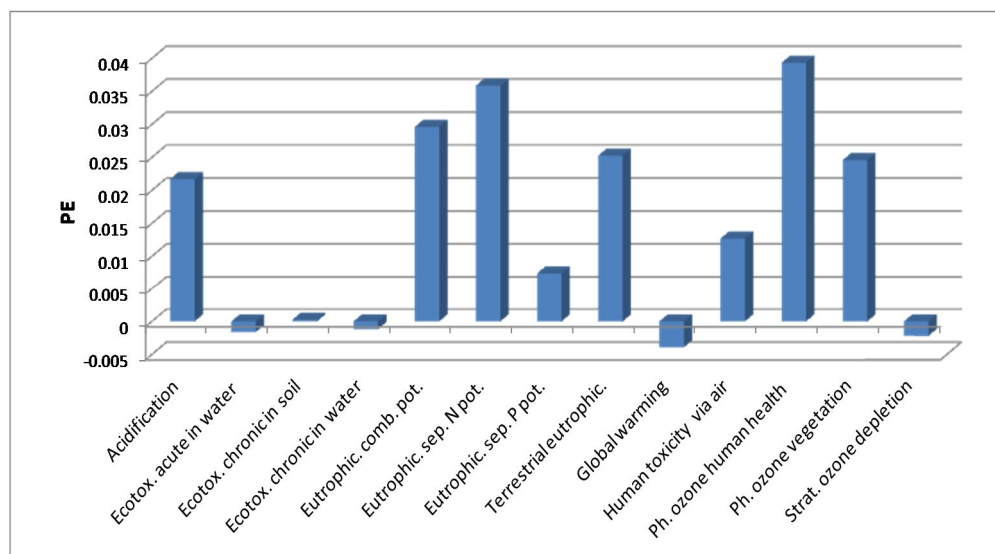
Spalanie RDF w piecu cementowym jest bardzo złożonym procesem, w którym nie tylko odzyskuje się energię z paliwa alternatywnego, ale z surowców (wapień, kreda, glina, piasek) produkuje się klinkier. Ponadto w piecach cementowych spalane są paliwa kopalne, a także inne odpady, nie tylko RDF z odpadów komunalnych. Dlatego spalanie RDF w piecu cementowym wymaga szczegółowego i bardzo starannego modelowania, i jest przedmiotem oddzielnego badania LCA. Tak więc spalanie RDF jest wyłączone z granic systemu niniejszych badań. Jednakże wstępne modelowanie wskazuje, że 1 Mg RDF zastępuje 700 kg węgla, stąd spalanie RDF przynosi korzyści dla środowiska.

Granice systemu tej analizy, wraz ze schematem blokowym, bilansem masowym poszczególnych strumieni odpadów, a także zużycie energii elektrycznej i paliwa w przeliczeniu na jednostkę funkcjonalną 1 Mg zmieszanych odpadów komunalnych, przedstawiono na rysunku 12.



Rys. 12. Granice systemu, przepływy strumieni odpadów, bilans masowy, zużycie paliw i energii w przeliczeniu na jednostkę funkcjonalną (poz. 9. cyklu publikacji).

Końcowe wyniki modelowania mechaniczno - biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych wyrażone jako znormalizowany potencjalny wpływ na środowisko w jednostkach person equivalent (PE), przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 13. Znormalizowany wpływ mechaniczno – biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych wraz zagospodarowaniem odpadów końcowych (poz. 9. cyklu publikacji).

Do znaczących kategorii wpływu należą: tworzenie ozonu fotochemicznego (wpływ na zdrowie ludzi i roślinność); eutrofizacja (potencjał N, potencjał łączny i eutrofizacja lądowa); zakwaszenie; toksyczność dla ludzi.

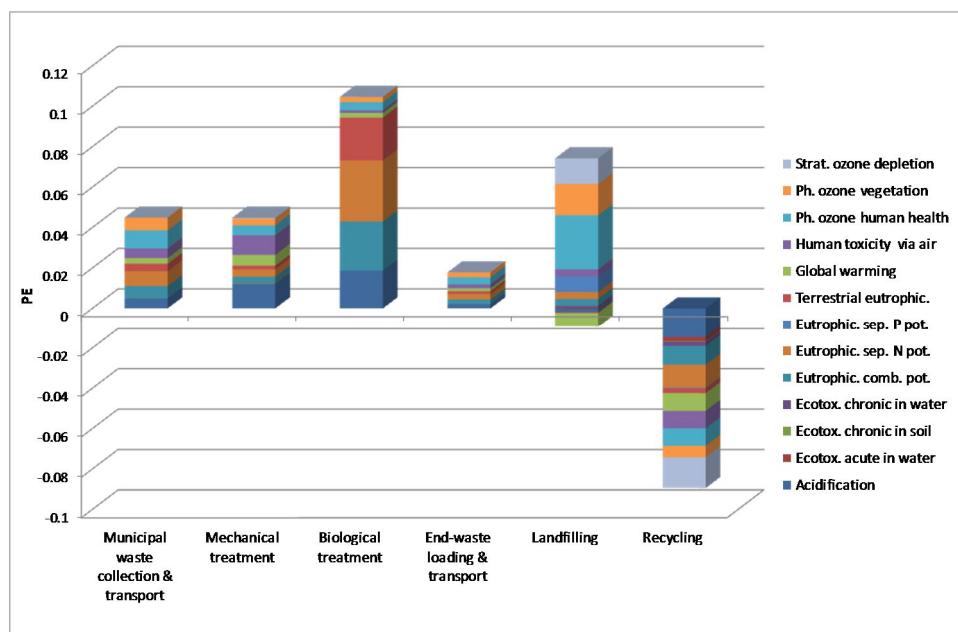
Poniżej podano substancje przyczyniające się w największym stopniu do wysokich wartości wskaźników kategorii, wraz z wielkościami emisji, w przeliczeniu na jednostkę funkcjonalną:

- CH₄ - emitowany w ilości 2.93 kg: przyczynia się do tworzenia ozonu fotochemicznego, pochodzi ze składowania balastu i stabilizatu;
- NO_x - emitowana ilość 0.27 kg, NMVOC (non-methane volatile organic compounds) - emitowana ilość 0.02 kg - przyczyniają się do tworzenia ozonu fotochemicznego, pochodzą z transportu odpadów komunalnych i końcowych;
- NH₃ - emitowany w ilości 0.23 kg, azotany emisja - 0.18 kg przyczyniają się do eutrofizacji, pochodzą z procesu kompostowania;
- NO_x, azotany przyczyniają się także do toksyczności dla ludzi;
- Formaldehyd - wielkość emisji 0.00005 kg, benzen - emisja 0.00003 kg, H₂S emisja - 0.0003 kg przyczyniają się do toksyczności dla ludzi, pochodzą z produkcji energii elektrycznej.

Znormalizowane potencjalne wpływy obliczone zostały również dla poszczególnych procesów technologicznych w granicach systemu. Analizowany system jest modelowany w sposób bardzo szczegółowy, w granicach systemu zostało zdefiniowanych 28 procesów. Dlatego procesy zostały grupowane w celu przejrzystego, zrozumiałego prezentowania wyników. Grupowanie procesów jest następujące:

- zbiórka i transport zmieszanych odpadów komunalnych;
- procesy mechaniczne: ręczne i magnetyczne sortowanie, rozdrabnianie wstępne, sito obrotowe, separator powietrzny, rozdrabnianie końcowe, suszenie – jako etapy produkcji paliwa alternatywnego RDF;
- procesy biologiczne: kompostowanie w bioreaktorach wraz z przenośnikami taśmowymi i załadunkiem, kompostowanie w pryzmach wraz z układaniem pryzm, napowietrzanie i końcowe przesiewanie na kompost niskiej jakości i stabilizat do składowania;
- składowanie stabilizatu i wykorzystanie kompostu do rekultywacji zamkniętego składowiska;
- załadunek i transport odpadów końcowych;
- recykling wszystkich surowców wtórnych wydzielonych w sortowaniu ręcznym i magnetycznym.

Znormalizowane potencjalne wpływy na środowisko dla grup procesów technologicznych przedstawiono na rysunku 14.



Rys. 14. Znormalizowane potencjalne wpływy środowiskowe dla grup procesów mechaniczno – biologicznego przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych (poz. 9. cyklu publikacji).

Operacjami technologicznymi w największym stopniu wpływającymi na środowisko jest przetwarzanie biologiczne: stabilizacja tlenowa frakcji podsitowej zarówno w bioreaktorach, jak również dojrzwianie w przyzmac, głównie z powodu emisji NH_3 i N_2O . Składowanie balastu i zastosowanie niskiej jakości kompostu do rekultywacji składowiska powoduje nieznacznie niższy wpływ na środowisko niż przetwarzanie biologiczne. Wpływ jest związany głównie z emisją CH_4 nie ujmowanego poprzez system odzysku gazu składowiskowego. Potencjalny wpływ procesów mechanicznych jest znacznie niższy, i spowodowany jest głównie emisją NO_x ze spalania paliwa i zużycia energii elektrycznej przez urządzenia. Oddziaływanie etapu zbiórki i transportu odpadów zmieszanych jest porównywalne z procesami mechanicznymi, emisje głównie NO_x , NMVOC (non-methane volatile organic compounds), SO_2 i CO_2 ze spalania paliwa w pojazdach. Recykling surowców wtórnych wydzielonych w instalacji ma pozytywny wpływ na środowisko w postaci „unikniętych” emisji.

Spalanie paliwa RDF w piecu cementowym powoduje znaczne oszczędności środowiskowe ponieważ 1 Mg RDF zastępuje 700 kg węgla. Jednakże produkcja klinkieru w piecu cementowym jest bardzo skomplikowanym systemem i wymaga dokładnego modelowania w oddzielnym studium.

Etap 4

W czwartym etapie badań dokonano szczegółowego porównania scenariuszy zagospodarowania zmieszanych odpadów komunalnych dla Krakowa, reprezentujących: składowanie (stan faktyczny w roku 2010) oraz spalanie (plan na rok 2016). Modelowanie wykonano za pomocą modelu EASETECH, a jednostkę funkcjonalną stanowiła całkowita ilość zmieszanych odpadów komunalnych wytworzona w roku 2010.

Końcowe wyniki modelowania składowania i spalania zmieszanych odpadów komunalnych wyrażone jako znormalizowany potencjalny wpływ na środowisko, w jednostkach person equivalent (PE), przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Znormalizowany wpływ na środowisko dla spalania i składowania zmieszanych odpadów komunalnych w Krakowie, w jednostkach PE (poz. 10. cyklu publikacji).

Kategoria wpływu	Spalanie	Składowanie
Zakwaszenie	3.57E+05	4.72E+05
Ekotoksyczność ostra w wodzie	-3.73E+02	2.17E+08
ekotoksyczność chroniczna w glebie	-2.50E+02	3.08E+07
ekotoksyczność chroniczna w wodzie,	-6.66E+02	3.98E+08
eutrofizacja potencjał łączny	5.69E+05	2.86E+13
eutrofizacja potencjał N	6.98E+05	3.61E+13
eutrofizacja potencjał P	7.53E+01	3.72E+11
eutrofizacja lądowa	3.60E+05	-2.67E+04
globalne ocieplenie	-2.70E+05	6.42E+13
toksyczność dla ludzi	3.45E+05	4.04E+13
tworzenie się ozonu fotochemicznego wpływ na zdrowie ludzi	8.15E+05	2.20E+14
tworzenie się ozonu fotochemicznego wpływ na roślinność	5.82E+05	1.30E+14
zubożenie warstwy ozonowej w stratosferze	-3.85E+01	2.03E+09

Wartości wskaźników niemal wszystkich kategorii wpływu są znacząco wyższe dla składowania. A następujące substancje przyczyniają się w największym stopniu do wysokich wartości wskaźników poszczególnych kategorii wpływu:

- metan, emitowany w ilości 2.16E+16 kg przypadającej na jednostkę funkcjonalną, przyczynia się do globalnego ocieplenia oraz tworzenia ozonu fotochemicznego;
- trichlorofluorometan (CFC-11) w ilości 8.16E+06 kg przyczynia się głównie do zubożenia warstwy ozonowej w stratosferze;
- tlenki azotu emitowane w ilości 9.67E+5 kg decydują o zakwaszeniu i eutrofizacji;
- fosforany emitowane do wody w ilości 3.61E+11 kg przyczyniają się do eutrofizacji;
- chrom VI, ksylen i selen emitowane do wód decydują o ekotoksyczności;
- nikiel i polichlorowane bifenyle emitowane do powietrza przyczyniają się do ekotoksyczności.

Globalne ocieplenie i tworzenie ozonu fotochemicznego wynikają z emisji metanu, jak również jego ujmowania i przetwarzania na energię elektryczną i ciepłą, natomiast kategorie eutrofizacja i toksyczność są związane z odciekami ze składowiska i procesem ich oczyszczania.

W scenariuszu spalania w większości kategorii wpływ na środowisko jest negatywny. Najwyższy negatywny wpływ spalania obserwuje się w kategorii tworzenie ozonu fotochemicznego, oddziaływania na zdrowie człowieka i na roślinność, głównie z powodu emisji tlenków azotu z komina spalarni. Emitowane tlenki azotu są również odpowiedzialne za wysokie wartości wskaźników w kategoriach eutrofizacji i toksyczności dla ludzi.

Wyniki modelowania scenariusza spalania zmieszanych odpadów komunalnych wskazują na pozytywny efekt (wartości poniżej zera) w odniesieniu do kategorii: globalne ocieplenie, zubożenie warstwy ozonowej i dla wszystkich typów ekotoksyczności. Uniknięte wpływy w przypadku globalnego ocieplenia spowodowane są przede wszystkim ograniczeniem spalania węgla do produkcji energii.

Determinantami decydującymi o wynikach modelowania analizy cyklu życia składowania odpadów są te, które wpływają na potencjał wytwarzania gazu wysypiskowego tj. skład

odpadów zmieszanych, a w szczególności zawartość odpadów ulegających biodegradacji i ich parametry. Na wyniki spalania decydujący wpływ ma wilgotność i wartość opałowa odpadów. Obniżenie wilgotności i zwiększanie wartości opałowej (na przykład wydzielenie odpadów kuchennych) może poprawić efektywność środowiskową spalarni odpadów komunalnych.

4.3.5. Znaczenie i wykorzystanie wyników badań

Analiza cyklu życia (LCA) początkowo opracowana do oceny cyklu życia produktów, może być stosowana do ewaluacji systemów gospodarki odpadami, jak również instalacji oraz technologii przetwarzania odpadów. Metodyka LCA jest efektywnym narzędziem identyfikacji i oceny wpływu na środowisko gospodarki odpadami komunalnymi, dostarcza szerokiego przeglądu aspektów środowiskowych różnych scenariuszy zarządzania odpadami umożliwiających ich porównanie. LCA umożliwia także ocenę różnych technologii przetwarzania odpadów przy różnych wzorcach zużycia energii i produkcji wraz z różnymi poziomami odzyskiwania materiałów. Trudną do przecenienia zaletą stosowania LCA jest ujednolodzenie oceny oddziaływania na środowisko przedsięwzięć związanych z zarządzaniem odpadami.

Jednakże gospodarka odpadami jest obszernym, skomplikowanym systemem, trudnym do przeprowadzenia badań. Dlatego prowadzenie LCA wymaga specjalnie opracowanych modeli dedykowanych do oceny systemów gospodarki odpadami komunalnymi. W opisywanych badaniach będących osiągnięciem naukowym pracowano z dwoma modelami, co pozwoliło na ich ocenę i porównanie.

W modelu IWM-PL wprowadzanie danych w zakresie procesów przetwarzania odpadów, budzi zastrzeżenia, ponieważ wymagane parametry w procesie składowania, dotyczące gazu i odcieków, są sformułowane niejednoznacznie. Ponadto model nie jest elastyczny i nie umożliwia wprowadzania różnych konfiguracji systemu gospodarki odpadami. Metodyka oceny wpływu cyklu życia (LCIA) w modelu IWM-PL jest oparta o Eco-indicator 99, ale jedynie w ograniczonym zakresie. Dla modelu nie podano algorytmów obliczania emisji z poszczególnych procesów przetwarzania, nie jest jasne, w jaki sposób liczone są wartości emisji do wód i powietrza. Wyniki modelowania otrzymane w badaniach wskazują, że moduł „odzysku odcieków” może być wadliwie skonstruowany, dając niewiarygodne wartości emisji do wód z procesu składowania odpadów. Oprogramowanie IWM-PL może służyć jedynie do wstępnych, pobieżnych analiz porównawczych scenariuszy gospodarki odpadami, ale nie do dokumentowania wpływu na środowisko przyjętego systemu gospodarki odpadami komunalnymi.

Model EASETECH jest zaawansowaną aplikacją do przeprowadzania LCA złożonych systemów gospodarki odpadami komunalnymi. Modelowanie wytwarzanych strumieni odpadów jest bardzo dokładne, ponieważ odpady komunalne definiowane są poprzez 48 frakcji materiałowych. Dla każdej frakcji podano wiele parametrów fizycznych i chemicznych, takich jak skład pierwiastkowy, ciepło spalania, wartość kaloryczna, potencjał tworzenia metanu itp. Parametry te zostały określone na podstawie długotrwałych badań eksperymentalnych. Aplikacja jest elastyczna, umożliwia swobodną konfigurację całego systemu i poszczególnych procesów jednostkowych. Każdy proces i przemiany strumieni odpadów można dowolnie i bardzo precyzyjnie definiować, z podaniem wejściowych strumieni odpadów do procesu, jak również wyjściowych, a także parametrów przemian, jakim ulegają strumienie odpadów w tych procesach. Definiowanie i informacje o procesach jednostkowych są podane w sposób jasny i konsekwentny dla każdego procesu przetwarzania odpadów. Do modelu wydano obszerną dokumentację z przejrzystym opisem algorytmów obliczania emisji do środowiska z poszczególnych procesów przetwarzania. EASETECH

zawiera kilka uznanych metodyk oceny wpływu cyklu życia (LCIA), opisanych w publikacjach naukowych. Wyniki modelowania generowane są w postaci tablic inwentaryzacyjnych emisji i zużycia zasobów (kilkaset pozycji), a także w postaci wartości parametrów charakteryzowania dla każdej kategorii wpływu, natomiast wynik końcowy w postaci znormalizowanego potencjalnego wpływu na środowisko. Umożliwia to prześledzenie znaczących kategorii wpływu, w tym identyfikację substancji odpowiedzialnych za wartości wskaźników kategorii. Aplikacja nie generuje wykresów, ale umożliwia eksport wyników liczbowych do arkusza kalkulacyjnego Excel, w którym można uzyskać wyniki w postaci graficznej.

W opisanych badaniach dokonano identyfikacji i oceny potencjalnych wpływów środowiskowych, tj. przeglądu emisji do środowiska i wykorzystania zasobów spowodowanych przez różne scenariusze gospodarowania odpadami komunalnymi w Krakowie. Wskazano znaczące kategorie wpływu oraz emitowane substancje decydujące o wysokich wartościach wskaźników kategorii wpływu. Rezultaty badań stanowią znaczący wkład w poszerzenie wiedzy na temat oddziaływania na środowisko przetwarzania odpadów komunalnych, zwłaszcza w Polsce, gdzie do tej pory niewiele było wykonywanych tego typu badań. Dla Krakowa nie było prowadzono w ogóle takich badań.

W przytoczonych badaniach dokonano także szczegółowego modelowania LCA mechaniczno - biologicznego przetwarzania odpadów, uzyskując dokładną kwantyfikację wszystkich wymian pomiędzy środowiskiem, a konkretną instalacją MBP, na podstawie rzeczywistych danych operacyjnych za rok 2015. Rezultaty badań w znacznym stopniu przyczyniają się do poszerzenia wiedzy i lepszego zrozumienia technologii MBP i jej oddziaływania na środowisko. Co jest szczególnie cenne, ponieważ liczba publikacji w czasopismach naukowych w zakresie analizy cyklu życia mechaniczno – biologicznego przetwarzania odpadów jest znikoma. Rezultaty badań mają znaczenie praktyczne poprzez wskazanie procesów w ciągu technologicznym o największym oddziaływaniu na środowisko. Minimalizacja uciążliwości środowiskowej powinna być skierowana w pierwszej kolejności na te procesy.

Analiza porównawcza scenariuszy gospodarki zmieszanymi odpadami komunalnymi w Krakowie naukowo potwierdza słuszność wprowadzanych zmian w systemie gospodarki odpadami. Składowanie odpadów realizowane w roku 2010 jest znacznie bardziej uciążliwe dla środowiska niż planowane spalanie w roku 2016.

Na oddziaływanie na środowisko procesu spalania, wpływają parametry odpadów: wilgotność i wartość opałowa. Zatem obniżenie wilgotności i zwiększanie wartości opałowej (na przykład wydzielenie odpadów organicznych) może poprawić efektywność środowiskową spalarni odpadów komunalnych. Dlatego zalecane jest poddanie odpadów mechaniczno-biologicznemu przetwarzaniu przed skierowaniem do spalarni.

4.3.6. Literatura

- Abeliotis, K., Kalogeropoulos, A., and Lasaridi, K., 2012. Life Cycle Assessment of the MBT plant in Ano Liossia, Athens, Greece. *Waste Management* 32, 213-219
- Bjorklund A., Finnveden G., Roth L., 2010. Application of LCA in Waste Management, [W:] Christensen Th. H. (Eds.), *Solid Waste Technology & Management*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 137-160.
- Bovea, M.D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, A., and Colomer-Mendoza, F.J., 2010. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. *Waste Management* 30, 2383-2395.

- Cholewa M., Kulczycka J., 2009. Ocena cyklu życia systemu gospodarki odpadami komunalnymi w województwie świętokrzyskim [W:] Kulczycka J. i Pietrzyk-Sokulska E. (Red.), Ewaluacja gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, 59-71.
- den Boer E., Szpadt R., 2012. Ocena cyklu życia systemu gospodarki odpadami na przykładzie Wrocławia. *Ochrona Środowiska* 34 (3), 39–44.
- Dreyer L.C., Niemann A.L., Hauschild M.Z., Comparison of Three Different LCIA Methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99: Does it matter which one you choose? *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2003, 8 (4) 191-200.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (OJ L 312, 22.11.2008)
- EC JRC, 2010. European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2010a. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. Publications Office of the European Union, Luxemburg
- EC JRC, 2011. European Commission-Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 2011), International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook-Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context, First edition, Publications Office of the European Union, Luxemburg, November 2011.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Hirschier, R., Hellweg, S., Humbert, S., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M., and Nemecek T., 2007. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Ecoinvent report No. 3, v2.0., Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf 2007.
- Fudala – Książek S., 2011. Wpływ zrzutu odcieków składowiskowych na efektywność pracy miejskiej oczyszczalni ścieków. Rozprawa doktorska. Politechnika Gdańska.
- Gentil EC, Damgaard A, Hauschild M, Finnveden G, Eriksson O, Thorneloe S, Kaplan PO, Barlaz M, Muller O, Matsui Y, Ii R, Christensen TH. 2010. Models for waste life cycle assessment: review of technical assumptions. *Waste Management* 30 (12), 2636-48
- Goedkoop, M., Spriensma, R., 2001. The Eco-indicator 99 - A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report. Pre Consultants, B.V, Amersfoort, The Netherlands.
- Grzesik K., 2006. Wprowadzenie do oceny cyklu życia (LCA) – nowej techniki w ochronie środowiska. *Inżynieria Środowiska* T. 11, z. 1, 101-113
- Hansen, T.L., Christensen, T.H., and Schmidt, S., 2006. Environmental modelling of use of treated organic waste on agricultural land: a comparison of existing models for life cycle assessment of waste systems, *Waste Management & Resource*, 24, 141–152.
- Hauschild, M. and Potting, J., 2005. Spatial differentiation in life cycle impact assessment – the EDIP 2003 methodology. *Environmental News* no. 80. The Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency, Copenhagen.
- Heyer K. U. and Stegmann R., 2001. Leachate management: leachate generation, collection, treatment and costs. Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Hamburg, Dostępny on-line: <http://www.ifas-hamburg.de/pdf/leachate.pdf>
- Kirkeby J.T., Birgisdóttir H., Bhandar G.S., Hauschild M.Z. and Christensen T.H., 2007. Modeling of environmental impacts of solid waste landfilling within the life-cycle analysis program EASEWASTE. *Waste Management*, vol. 27, pp. 961-970
- Kirkeby, J.T., Birgisdóttir, H., Hansen, T.L., Christensen, T.H., Bhandar, G.S., and Hauschild, M., 2006. Environmental assessment of solid waste systems and technologies: EASEWASTE. *Waste Management Research*, 24, 3–15
- Kraszewski A., Pietrzyk-Sokulska E. [Red.], 2011. Ocena systemu gospodarki odpadami. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków

- Kulczycka J., Henclik A., Lelek Ł., 2011. Ocena cyklu życia (LCA) systemów gospodarki odpadami, [W:] Kraszewski A., Pietrzyk-Sokulska E. (Red.) Ocena systemu gospodarki odpadami, t. 2, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Krakow, 39-90.
- Malinowski M. 2012. Uwarunkowania wytwarzania paliw alternatywnych ze zmieszanych odpadów komunalnych. *Episteme* Nr 14/2012, s. 101-108.
- Malinowski M. 2013. Określenie wybranych właściwości odpadów komunalnych w gminach podmiejskich. Rozprawa doktorska. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
- McDougall F, White P, Franke M, Hindle P., 2001. *Integrated solid waste management: a life cycle inventory*. Second Edition. Oxford, United Kingdom: Blackwell Publishing;
- Montejo, C., Tonini, D., Márquez, M.C., and Astrup, T.F., 2013. Mechanical–biological treatment: Performance and potentials. An LCA of 8 MBT plants including waste characterization. *Journal of Environmental Management* 128, 661-673.
- Papageorgiou, A., Karagiannidis, A., Barton, J.R., and Kalogirou, E., 2009. Municipal solid waste management scenarios for Attica and their greenhouse gas emission impact. *Waste Management and Research* 27, 928–937
- Pennington, D., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Jolliet, O., Rydberg, T., Rebitzer, G.: Life cycle assessment Part 2: current impact assessment practice. *Environ. Int.* 2004. 30, 721- 739.
- PN-EN ISO 14040: 2009. Polska Norma. Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura, Polski. Komitet Normalizacyjny, Warszawa
- Rebitzer G, Ekvall T, Frischknecht R, Hunkeler D, Norris G, Rydberg T, Schmidt WP, Suh S, Weidema BP, Pennington DW., 2004. Life cycle assessment part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30 (5), 701-20.
- Riber C., Bhandar G.S., Hauschild M., Christensen T.H., 2008. Environmental assessment of waste incineration in a life-cycle-perspective (EASEWASTE). *Waste Management and Research*, vol. 26, pp. 96-103
- Sieja L., Kalisz M., Książek D., Szojda G., 2011. Badanie ilości i struktury odpadów komunalnych Miasta Krakowa. Raport końcowy, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Katowice, 2011.
- Szpadt R., 2006. Usuwanie i oczyszczanie odcieków ze składowisk odpadów komunalnych. *Przegląd komunalny*, vol. 12(183), pp. 60-66.
- U.S. EPA, 2006. *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. EPA/600/R-06/060.
- Wenzel, H., Hauschild, M., and Alting, L., 1997. *Environmental assessment of products*, Vol. 1: methodology tools and case studies in product development. Institute of Product Development, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

5.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora

W ramach doktoratu zajmowałam się tematyką odpadów niebezpiecznych zawartych w odpadach komunalnych. Prowadziłam badania na 10 składowiskach odpadów komunalnych obsługujących: Kraków, gminę Słomniki, Brzesko, Łukowicę, sołectwa gminy Nowy Targ, gminę Myślenice, Chrzanów, powiat olkuski, gminę Sędziszów oraz powiat rzeszowski. Określiłam eksperymentalnie zawartość odpadów niebezpiecznych w odpadach komunalnych oraz zaproponowałam system zbiórki, gromadzenia i transportu odpadów niebezpiecznych wraz ze wskazaniem odbiorców określonych rodzajów odpadów niebezpiecznych. W okresie przed doktoratem opublikowałam 4 artykuły w czasopismach i 4 referaty w materiałach konferencyjnych:

- Grzesik – Filus K., 1999. Składowiska odpadów komunalnych w Polsce południowo-wschodniej – wybrane przykłady. Konferencja: Odpady przemysłowe i komunalne powstawanie oraz możliwości ich zagospodarowania. NOT AGH Kraków, 15-16 kwiecień 1999
- Grzesik – Filus K., 1999. Odpady niebezpieczne w odpadach komunalnych trafiających na wysypiska w Polsce południowo-wschodniej. III Międzynarodowe Forum Gospodarki Odpadami Techniczne i Społeczne aspekty gospodarki odpadami. PZLiTS Oddział w Poznaniu. Poznań, 9-12 maj 1999
- Grzesik – Filus K., Korbut R., Kuczyńska I., 2000. Odpady niebezpieczne w odpadach komunalnych w gminie rolniczej na przykładzie gminy Słomniki. Inżynieria Środowiska Tom 5, zeszyt 1
- Grzesik – Filus K., 2000. Klasyfikacja odpadów niebezpiecznych typu komunalnego, ich struktura i właściwości z uwzględnieniem życia i zdrowia ludzkiego oraz środowiska przyrodniczego Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa Unieszkodliwiania i utylizacja komunalnych odpadów niebezpiecznych. ABRYŚ. Wisła, kwiecień 2000
- Grzesik – Filus K., Kuczyńska I., 2000. Gospodarka odpadami komunalnymi w gminie Słomniki – stan obecny i propozycja zmian. Inżynieria Środowiska. Tom 5, zeszyt 2
- Grzesik – Filus K., 2001. Odpady niebezpieczne pochodzenia komunalnego na terenach wiejskich województwa małopolskiego – ilość i struktura. Konferencja naukowo-techniczna pt. „Gospodarka odpadami komunalnymi”. Politechnika Koszalińska, Środkowopomorska Rada Naczelnej Organizacji Technicznej. Kołobrzeg, 14-17 maj 2001
- Grzesik – Filus K., Mikołajczak J., 2001. Regulacje prawne w zakresie gospodarki odpadami. Inżynieria Środowiska. Tom 6, zeszyt 1
- Grzesik – Filus K., 2001. Rozwiązania europejskie w gospodarce odpadami niebezpiecznymi pochodzenia komunalnego. Inżynieria Środowiska. Tom 6, zeszyt 2.

5.2. Po uzyskaniu stopnia doktora

Działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora obejmowała m.in.: udział w międzynarodowych projektach badawczych, badania własne i statutowe, autorstwo lub współautorstwo ekspertyz i prac zamawianych, recenzowanie projektów badawczych i publikacji naukowych, udział w radach i komitetach sterujących. Szczegółowy wykaz prac naukowych i twórczych prac zawodowych znajduje się w załączniku 5. Poniżej zestawiono, w sposób skrótowy, najważniejsze dokonania.

Międzynarodowe projekty badawcze

- kierowanie międzynarodowym projektem badawczym ENVIREE (Przyjazne dla środowiska i efektywne metody pozyskiwania metali ziem rzadkich ze źródeł wtórnych) finansowanego z programu ERA-MIN, w latach 2015 - 2017;

- udział w projektach międzynarodowych:
 - STORM Industrial Symbiosis for the Sustainable Management of Raw Materials; finansowanego przez EIT Raw Materials; 2016 - 2018;
 - konsorcjum EIT Raw Materials 2015 - 2022;
 - ETIV – EMAS Technical Implementation and Verification w ramach programu Leonardo da Vinci, 2004-2005;
 - ESTO Specific Study: The Impact of REACH on the chemical industry in the New European Member States, 2004.

Badanie własne i statutowe

- kierowanie jednym projektem badań własnych realizowanym na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w latach 2002 - 2003;
- kierowanie podzadaniami w ramach badań statutowych Katedry Kształtowania i Ochrony Środowiska Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH (w latach 2004 - 2016).

Ekspertyzy, prace na zamówienie przemysłu i instytucji

- autorstwo lub współautorstwo 24 prac zrealizowanych na zamówienie przemysłu i instytucji (m.in. ArcelorMittal, SGL Carbon, Miki Recykling, kopalnie węgla kamiennego, Sąd Okręgowy w Bielsku - Białej, stacje demontażu pojazdów);
- autorstwo 19 planów gospodarki odpadami, aktualizacji i sprawozdań z realizacji planów m.in. dla Bydgoszczy, Nowego Targu, Niepołomic, Dobczyc, Zabierzowa, gmin podkrakowskich.

Recenzje projektów badawczych i publikacji naukowych

- praca jako niezależny ekspert dla Komisji Europejskiej w ocenie wniosków o finansowanie badań w: 13 konkursach Siódmego Programu Ramowego (FP7), 4 konkursach programu Horyzont 2020 (H2020), jednym konkursie M-ERA NET. Łącznie oceniłam 126 wniosków o finansowanie badań w 18 konkursach, w latach 2007 - 2016. Ponadto dokonałam oceny jednego realizowanego projektu w ramach programu H2020;
- Recenzja wniosku o finansowanie badań w konkursie PRELUDIUM do Narodowego Centrum Nauki, 2012;
- Recenzja 3 publikacji w czasopismach z bazy JCR: Polish Journal Environmental Studies - 2014, Journal of Cleaner Production - 2016, Waste Management - 2017.

Członkowsko w radach i komitetach

- Komitetu Sterującego Wojewódzkiego Planu Gospodarki Odpadami – województwo małopolskie, 2003.
- Rady Programowej ds. Gospodarki Odpadami działającej przy Prezydencie Miasta Krakowa, 2007 –2010;
- Komitetu Sterującego Programu Innowacyjny Recykling NCBiR 2016-2017;

Nagrody za działalność naukową

- Nagroda w Konkursie „PRAESIGNIS” na najlepszą pracę doktorską pod patronatem Marszałka Województwa Małopolskiego - tematyka związana z priorytetami rozwoju województwa, 2003.
- Rektora AGH zespołowa III stopnia za osiągnięcia naukowe, 2009;
- Rektora AGH indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe, 2011;
- Nagroda dla the Most Outstanding Presentations 17th International Multidisciplinary GeoSciences Conference SGEM, 2017;

Moja działalność naukowa i publikacyjna po uzyskaniu stopnia doktora skupiała się na następujących głównych obszarach badawczych:

- gospodarka odpadami komunalnymi,
- gospodarka odpadami przemysłowymi,
- analiza cyklu życia produktów i procesów technologicznych.

Gospodarka odpadami komunalnymi

W latach 2002 - 2003 byłem kierownikiem badań własnych pt. "Ocena dostosowania funkcjonowania składowisk odpadów oraz recyklingu odpadów poużytkowych do nowych regulacji prawnych". Szczegółowo zostały rozpoznane kwestie przepływu informacji i funduszy w zakresie recyklingu odpadów poużytkowych, wynikające z nowych zapisów ustawowych. Druga część realizowanych prac w ramach badań własnych obejmowała ocenę funkcjonowania składowisk odpadów w województwie małopolskim. Łącznie poddano ocenie przeglądy ekologiczne 28 składowisk odpadów. Wyniki przeprowadzonych badań skutkowały opublikowaniem czterech artykułów:

- Grzesik – Filus K., 2002. Organizacja recyklingu akumulatorów w nowych warunkach prawnych. Przegląd komunalny. Recykling. 4/2002
- Grzesik – Filus K., 2002. Przepływ informacji w ustawie o obowiązkach przedsiębiorców. Przegląd komunalny. Recykling. 6/2002
- Grzesik – Filus K., Mikołajczak J., Kozakiewicz R., 2003. Ocena przeglądów ekologicznych składowisk odpadów w wybranych powiatach województwa małopolskiego. Inżynieria Środowiska. Tom 8, zeszyt 1
- Grzesik – Filus K., Mikołajczak J.: Zadania administracji samorządowej w procesie dostosowywania składowisk odpadów do wymogów Unii Europejskiej. Ogólnopolska konferencja z cyklu Instrumenty Zarządzania Ochroną Środowiska - Problematyka ocen środowiskowych w przededniu wstąpienia Polski do Unii Europejskiej. AGH Kraków, 16-18 października 2003.

W latach 2003-2010 zajmowałam się zagadnieniem planowania gospodarki odpadami komunalnymi. W tym okresie opracowałam kilkanaście planów gospodarki odpadami na szczeblu gminnym. Oceniałam też realizację polityki ekologicznej państwa i zasad zrównoważonego rozwoju za pomocą planów gospodarki odpadami dla wybranych gmin województwa małopolskiego. W ramach badań nad tym zagadnieniem opublikowałam następujące prace:

- Grzesik – Filus K., 2003. Koncepcja gospodarki odpadami niebezpiecznymi pochodzenia komunalnego w Małopolsce. Międzynarodowe Forum Gospodarki Odpadami „Teczniczo-Ekonomiczno-Organizacyjne Aspekty Gospodarki Odpadami” Poznań - Gniezno, 18-21 maja 2003
- Grzesik – Filus K., 2004. Planowanie gospodarki komunalnymi odpadami niebezpiecznymi w Małopolsce. Inżynieria Środowiska. Tom 9, zeszyt 1, s. 71-81
- Grzesik K., Kozakiewicz R., 2005. Zagadnienia oceny oddziaływania na środowisko w planach gospodarki odpadami dla gmin. II Konferencja z cyklu instrumenty Zarządzania Ochroną Środowiska. Oceny oddziaływania na środowisko na szczeblu krajowym i regionalnym. AGH Kraków, 20 – 22 października 2005.
- Grzesik K., 2005. The waste management plans – tools of sustainable development. Polish Journal of Environmental Studies. vol. 14, No. 5, pp. 703-706
- Grzesik K., 2008. The realization of the commune waste management plans - a step towards sustainable development. Polish Journal of Environmental Studies. Vol 17, No. 3A, pp 225–230

- Grzesik K., 2008. Wypełnianie zadań planów gospodarki odpadami w gminach podmiejskich Krakowa [W:] V ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna Postęp w inżynierii środowiska. Rzeszów–Polańczyk 25 IX–27 IX 2008
- Grzesik K., 2008. Realizacja planów gospodarki odpadami w gminach – krok w stronę zrównoważonego rozwoju. III konferencja Ochrona i inżynieria środowiska zrównoważony rozwój. Kraków, 18–20 września 2008
- Grzesik K., 2009. Realizacja planów gospodarki odpadami w gminach podmiejskich Krakowa. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska. z. 56.

Budowa instalacji gospodarki odpadami, Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych, której koszt wyniesie około 400 mln zł, musi być poprzedzona wnikliwą analizą i długoterminową, co najmniej 25 letnią, prognozą wytwarzania odpadów komunalnych na terenie objętym projektem. Prognozowane wielkości strumieni wytwarzanych odpadów komunalnych jest podstawą określenia przepustowości planowanej instalacji. Proste prognozowanie całkowitej ilości wytwarzanych odpadów komunalnych jest niewystarczające dla potrzeb takiej inwestycji. Należy wykonać prognozę i dokładne modelowanie wszystkich strumieni odpadów zawartych w odpadach komunalnych. Takie modelowanie jest zadaniem złożonym i wymaga uwzględnienia wszelkich dostępnych danych, a także czynników, które wpływają na wytwarzanie odpadów takich jak: tendencje demograficzne, zmiany wskaźnika wytwarzania odpadów, zmiany w składzie morfologicznym odpadów. Modelowanie strumieni odpadów komunalnych dla Bydgosko – Toruńskiego Obszaru Metropolitalnego wykonano dla okresu 2006 – 2032.

Wyniki pracy zebrano w publikacji:

- Grzesik K., 2010. Modelling the generated municipal waste streams for planning the incineration plant for the Bydgoszcz – Torun Metropolitan Area. Polish Journal of Environmental Studies. Series of Monographs. Vol. 2, pp. 44 – 56.

Gospodarka odpadami przemysłowymi

W swojej pracy analizowałam gospodarkę odpadami przemysłowymi, w tym także odpadami niebezpiecznymi. Wyniki analiz zostały opisane w artykułach:

- Przewoźnik D., Grzesik – Filus K., 2004. Odpady niebezpieczne na terenie województwa podkarpackiego Inżynieria Środowiska Tom 9, zeszyt 2, s. 179–190
- Przewoźnik D., Grzesik K., 2005. System gospodarowania olejami odpadowymi na terenie województwa podkarpackiego. Inżynieria Środowiska Tom 10, zeszyt 2
- Grzesik K., 2005. Uwarunkowania prawne recyklingu baterii. Przegląd komunalny. Recycling. 2005 no 1, pp 22-24
- Grzesik K., 2005. Gospodarka odpadami garbarskimi i kuśnierskimi w Nowym Targu. VI Międzynarodowe Forum Gospodarki Odpadami „Efektywność gospodarowania odpadami” Poznań – Licheń Stary, maj – czerwiec, 2005

W latach 2006-2008 brałam udział w przygotowaniu wniosków o udzielenie pozwoleń zintegrowanych dla instalacji produkcyjnych i instalacji gospodarki odpadami dla ArcelorMittal w Krakowie. W tym celu dokonałam analizy gospodarki odpadami w sektorze metalurgicznym w kontekście wymogów związanych z przygotowaniem materiałów do pozwoleń zintegrowanych w tym:

- ustalenia zakresu i układu informacji dotyczących gospodarowania odpadami tak, aby obejmowały w sposób kompleksowy gospodarkę odpadami w zakładzie sektora metalurgicznego (hucie stali), a jednocześnie były spójne z wymogami prawnymi
- oceniono rozwiązania zagospodarowania odpadów w aspekcie zgodności z wymogami Najlepszej Dostępnej Techniki (BAT),

- wskazano metody ograniczenia uciążliwości gospodarki odpadowej.

Uzyskiwanie pozwolenia zintegrowanego dla instalacji funkcjonujących od kilkudziesięciu lat jest procesem bardzo trudnym. Stare instalacje nie spełniały współcześnie stawianych wymogów. Ich unowocześnienie i dostosowanie do obowiązujących standardów pociąga za sobą ogromny wysiłek organizacyjny i inwestycyjny. Szczególnie trudne jest to w odniesieniu do składowisk odpadów, gdzie deponowano odpady na niezabezpieczonym, nieuszczelnionym podłożu, nie wydzielono oddzielnych kwater na poszczególne rodzaje odpadów, odpady były deponowane w sposób nieuporządkowany i nieselektywny. W procesie uzyskiwania pozwolenia zintegrowanego dla Składowiska w Pleszowie wprowadzono wiele zmian w jego funkcjonowaniu.

Wyniki pracy badawczej zostały przedstawione w publikacjach:

- Grzesik K., 2007. Zakres regulacji w dziedzinie gospodarowania odpadami w pozwoleniach zintegrowanych dla branży hutniczej. *Geomatics and Environmental Engineering* Vol.1, No 1
- Grzesik K., 2007. Gospodarka odpadami w pozwoleniu zintegrowanym dla huty stali. VII Międzynarodowe Forum Gospodarki Odpadami „Efektywne zarządzanie gospodarką odpadami” Kalisz - Poznań, 2007
- Grzesik K., 2010. Improvements in industrial waste landfilling at the solid waste landfill site in Krakow-Pleszow, Poland, implemented in order to obtain an integrated permit. *Environmental Engineering III*, Taylor & Francis Group, pp. 381–384

Badałam także skutki środowiskowe działalności górniczej kopalni węgla kamiennego, w tym gospodarkę odpadami górnictwem oraz zagadnienie lokalizacji instalacji gospodarki odpadami na terenie zamkniętego i rekultywowanego zwałowiska odpadów górniczych, byłej kopalni węgla kamiennego. Wyniki pracy badawczej przedstawiono w publikacjach:

- Grzesik K., Kozakiewicz R., Mikołajczak J., 2008. Środowiskowe uwarunkowania wznowienia eksploatacji górniczej złoża węgla kamiennego "Dębieńsko I" w Czerwionce Leszczyny. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*. Tom 24, zeszyt 2/4
- Grzesik K., Mikołajczak J., 2008. The possibility of utilisation the old heaps to locate the new waste facilities, on the example of the Debiensko I coal mine. *Mineral resources management*. Volume 24, Issue 3/1
- Grzesik K., Mikołajczak J., 2010. The extractive waste management from hard coal mines in Poland. *Conference Proceedings: The Second International Conference on Hazardous and Industrial Waste Management*. 5-8 October, 2010 Chania, Crete, Greece. pp. 549-551

Analiza cyklu życia produktów i procesów technologicznych

Od 2006 roku zainteresowałam się nową techniką zarządzania środowiskowego - analizą cyklu życia (LCA). Zasady przeprowadzania badania cyklu życia wyrobów przedstawiono w artykule:

- Grzesik K., 2006. Wprowadzenie do oceny cyklu życia (LCA)-nowej techniki w ochronie środowiska. *Inżynieria Środowiska*. Vol 11, No 1 s. 101-113.

Natomiast wyniki badań przeprowadzonej analizy cyklu życia dla produktów przedstawiono w artykułach:

- Grzesik K., Guca K., 2011. Screening study of Life Cycle Assessment (LCA) of the electric kettle with SimaPro software. *Geomatics and Environmental Engineering*; vol. 5 no. 3 pp. 57–68.
- Grzesik K., Terefeńko T., 2012. Life Cycle Assessment of an Inkjet Printer. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 21, No. 5A, pp. 95-105

- Grzesik-Wojtysiak K., Kukliński G., 2013. Screening life cycle assessment of a laptop used in Poland. *Environment Protection Engineering*, Vol. 39, No. 3, pp. 43-55

Badania analizy cyklu życia przeprowadzałam też dla procesów technologicznych - metalurgicznych. Na podstawie danych opracowanego wniosku o wydanie pozwolenia zintegrowanego dla instalacji produkcyjnych ArcelorMittal opublikowano prace:

- Bieda B., Sala D., Grzesik-Wojtysiak K., 2013. Stochastic approach for Life Cycle Inventory (LCI) modeling used to energy production by integrated steel plant in Poland – power plant energy production: a case study. *HKICEAS EECS Hong Kong International Conference on Engineering and Applied Science; International Conference on Electrical Engineering and Computer Science: Hong Kong, December 2013*
- Bieda B., Grzesik K., Sala D., Gawel B., 2015. Life cycle inventory processes of the integrated steel plant (ISP) in Krakow, Poland – coke production, a case study. *International Journal of Life Cycle Assessment*; vol. 20 iss. 8, pp. 1089–1101.

A w terminie późniejszym dokonano także analizy zbioru (jednej z faz LCA) dla instalacji ciągłego odlewania stali:

- Bieda B., Skalna I, Gawel B., Grzesik K., Henclik A., Sala D., 2017. Life cycle inventory processes of the integrated steel plant (ISP) in Krakow, Poland-continuous casting of steel (CCS): a case study. *International Journal of Life Cycle Assessment* DOI: 10.1007/s11367-017-1365-0. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1365-0>

Analiza cyklu życia procesów odzysku metali ziem rzadkich (REE) ze źródeł wtórnych

Od 2015 roku uczestniczę w międzynarodowym projekcie ENVIREE (Przyjazne dla środowiska i efektywne metody pozyskiwania metali ziem rzadkich ze źródeł wtórnych). Projekt jest finansowany z programu ERA-NET ERA-MIN “Sustainable Supply of Raw Materials in Europe 2014”. W projekcie pełnię obowiązki kierownika ze strony AGH i równocześnie kierownika zadania WP4 (Evaluation of environmental impact and economic feasibility). Projekt jeszcze nie jest zakończony.

Celem głównym projektu ENVIREE jest opracowanie kompleksowego procesu odzysku metali ziem rzadkich (REE), ze szczególnym uwzględnieniem skandu (Sc), ze źródeł wtórnych, tj. z odpadów wydobywczych i przeróbczych (poflotacyjnych). W celu zapewnienia holistycznych metod odzysku metali ziem rzadkich z odpadów wydobywczych są prowadzone badania Analizy Cyklu Życia - LCA (zadanie AGH), wykonywana jest Strategiczna Ocena Oddziaływania na Środowisko SEA (zadanie AGH), ocena efektywności energetycznej i wykonalności ekonomicznej procesów opracowanych w projekcie, a także opracowywane są wytyczne nowych technik rekultywacji hałd odpadów wydobywczych (zadanie AGH). Do tej pory, w wyniku realizacji projektu opublikowano następujące prace:

- Bieda B., Grzesik K., 2017. Application of stochastic approach based on Monte Carlo (MC) simulation for life cycle inventory (LCI) of the rare earth elements (REEs) in beneficiation rare earth waste from the gold processing: case study. *ASEE17 International conference on Advances in energy Systems and Environmental Engineering*, 2–5 July, 2017, Wrocław, Poland. Book of abstracts pp. 30
- Kossakowska K., Grzesik K., 2017 A review of Life Cycle Assessment studies of Rare Earth Elements industry *SGEM 2017 - 17th international multidisciplinary scientific Geoconference*, 29 June–5 July, 2017, Albena, Bulgaria conference proceedings. Vol. 17 iss. 52, Ecology and environmental protection pp. 19–25
- Kozakiewicz R., Grzesik K., 2017. Environmental impact of extraction of REE from mining waste and tailings - screening stage. *SGEM 2017 - 17th international multidisciplinary scientific Geoconference*, 29 June–5 July, 2017, Albena, Bulgaria

conference proceedings. Vol. 17 iss. 41, Nuclear technologies recycling air pollution and climate change. pp. 91–98

- Grzesik K., Bieda B., Kozakiewicz R., Kossakowska K. 2017. Goal and scope and its evolution for Life Cycle Assessment of Rare Earth Elements recovery from secondary sources. SGEM 2017 SGEM 2017 - 17th international multidisciplinary scientific geoconference, 29 June–5 July, 2017, Albena, Bulgaria conference proceedings. Vol. 17 iss. 41, Nuclear technologies recycling air pollution and climate change. pp. 107–114
- Grzesik K., Bieda B., Kozakiewicz R., Kossakowska K., 2017. Możliwości pozyskiwania metali ziem rzadkich z odpadów poflotacyjnych i górniczych. Międzynarodowa konferencja "Surowce i energia, a gospodarka o obiegu zamkniętym i niskoemisyjna", 14–15 IX 2017 r. Kraków.
- Bieda B., Grzesik K., 2017. Uncertainty analysis of the life cycle inventory of rare earth elements from secondary flotation of rare earth elements in beneficiation rare earth waste from the gold processing: case study. SGEM 2017 - 17th international multidisciplinary scientific Geoconference, 29 June–5 July, 2017, Albena, Bulgaria conference proceedings. Vol. 17 iss. 41, Nuclear technologies recycling air pollution and climate change. pp. 269–275
- Chodak M., Pudelko A., Sroka K., Grzesik K., 2017. Ocena przydatności odpadów z produkcji metali ziem rzadkich do rekultywacji. Aktualne wyzwania w rekultywacji leśnej : międzynarodowa konferencja naukowa :: 5–6 czerwca 2017, Kraków–Bełchatów / pod red. Marka Pajaka ; Zakład Ekologii Lasu i Rekultywacji. Wydział Leśny. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie. — Kraków : Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, pp. 45–46
- Pudelko A., Chodak M., Grzesik K., 2017. Usefulness of mineral wastes after extraction of rare elements for reclamation purposes. SGEM 2017 - 17th international multidisciplinary scientific Geoconference, 29 June–5 July, 2017, Albena, Bulgaria conference proceedings. Vol. 17 iss. 52, Ecology and environmental protection. pp. 1115–1121

Kolejne publikacje z realizacji badań w ramach projektu ENVIREE są przygotowywane.

6. Syntetyczne zestawienie dorobku naukowego

Tabela 6. Syntetyczne zestawienie dorobku naukowego dr inż. Katarzyny Grzesik (stan na 14.11.2017)

Wykaz osiągnięć	Przed doktoratem	Po doktoracie
Sumaryczna liczba publikacji po doktoracie	8	44 (54*)
Suma punktów za publikację wg wykazów MNiSW	-	154 (250*)
Sumaryczny Impact Factor	-	8,86 (11,32*)
Liczba cytowań wg bazy Web of Science	-	7
Indeks Hirscha wg bazy Web of Science	-	2 (4**)
Artykuły w czasopismach z bazy JCR (Lista Filadelfijska i Impact Factor)	-	8 (11*)
Artykuły w czasopismach spoza bazy JCR, rozdziały w monografiach, inne publikacje	4	14 (20*)
Referaty na konferencjach międzynarodowych, w tym indeksowane w bazie Web of Science	1	17 (18*)
Referaty na konferencjach krajowych	3	5
Autorstwo lub współautorstwo opracowań i ekspertyz	-	24
Autorstwo planów gospodarki odpadami	-	19
Nagrody za działalność naukową	-	4
Recenzowanie publikacji do czasopism z bazy JCR	-	3
Kierowanie międzynarodowymi projektami badawczymi	-	1
Uczestnictwo w projektach międzynarodowych	-	3
Ekspert Komisji Europejskiej, ocena wniosków o finansowanie badań w konkursach FP7 i H2020, ERA-NET	-	126
Uczestnictwo w krajowych Komitetach Sterujących, Radach Programowych	-	3

* Wartości podane w nawiasach uwzględniają również publikacje wchodzące w skład cyklu zgłaszanego jako osiągnięcie naukowe.

** Według Cited Reference Search w bazie Web of Science

7. Osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne

Szczegółowe zestawienie osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych znajduje się w Załączniku 5 do Wniosku. Poniżej przedstawiono jedynie syntetyczny opis najważniejszych osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych.

W ramach obowiązków dydaktycznych na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, opracowałam i realizuję szereg przedmiotów z zakresu gospodarki odpadami oraz analizy cyklu życia, w tym także przedmioty prowadzone w języku angielskim. Brałam również udział w opracowaniu nowych specjalności oraz w prowadzeniu zajęć studiów podyplomowych.

Do chwili obecnej byłam promotorem 66 prac dyplomowych magisterskich i 47 projektów inżynierskich. Trzech moich dyplomantów zostało wyróżnionych w ogólnopolskich konkursach Fundacji Nowickiego lub Ambasadora Zrównoważonego Rozwoju, w postaci ufundowanych nagród - pobyty na stażu w Niemczech.

Przez wiele lat byłam kierownikiem i głównym organizatorem zajęć terenowych z eksploatacji obiektów inżynierii środowiska, dla studentów zarówno studiów stacjonarnych, jak i niestacjonarnych. W ramach zajęć terenowych studenci zapoznawali się z obiektami gospodarki odpadami, ochrony powietrza, gospodarki wodnej i oczyszczania ścieków, funkcjonującymi w południowej Polsce. Do moich obowiązków należało opracowanie harmonogramu wizyt oraz uzgodnienie tych wizyt w zakładach przemysłowych i obiektach inżynierii środowiska, a także zaplanowanie środków transportu. Przy grupach studentów liczących około 140 osób, organizacja zajęć terenowych stanowiła ogromne wyzwanie.

W 2016 roku na zaproszenie Regionalnego Punktu Kontaktowego Programów Badawczych Unii Europejskiej na Politechnice Krakowskiej przygotowałam i wygłosiłam prezentację dotyczącą przekazania moich doświadczeń jako eksperta Komisji Europejskiej w ocenie wniosków o finansowanie badań.

Poza opisaną powyżej działalnością dydaktyczną, podejmuję również wiele wysiłków organizacyjnych na rzecz Katedry, Wydziału i Uczelni,

W 2002 roku byłam głównym organizatorem i kierownikiem szkolenia w zakresie gospodarki odpadami dla kierowników składowisk odpadów. Szkolenie odbyło się na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH.

W 2003 i 2005 roku uczestniczyłam w pracach komitetów organizacyjnych Ogólnopolskich Konferencji z cyklu Instrumenty Zarządzania Ochroną Środowiska.

W 2005 roku w ramach współpracy z Fundacją "Progress & Business" kierowałam organizacją seminarium "ETIV – Wdrażanie Europejskiego Systemu Eko-Zarządzania i Audytu (EMAS) w polskich przedsiębiorstwach i instytucjach".

Od 2016 roku na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH, pełnię obowiązki koordynatora sieci CEEPUS (Central European Exchange Program for University Studies) RAMSIS (Raw Materials Smart Innovation Strategies in the ESEE Region).

W 2017 roku zorganizowałam dwa międzynarodowe wydarzenia na szczeblu uczelni:

- Szkolę Letnią projektu ENVIREE, w której wzięło udział około 100 uczestników, głównie doktorantów i młodych naukowców z całej Europy, pełniłam obowiązki koordynatora szkoły letniej;
- PROMETIA Techno - Tour, organizacja naukowego seminarium międzywydziałowego pt: "PROMETIA seminar on Raw Materials" oraz spotkań młodych naukowców PROMETII z młodymi naukowcami AGH, połączonymi ze zwiedzaniem laboratoriów na czterech wydziałach AGH. (Prometia - Mineral Processing and Extractive Metallurgy for Mining and Recycling Innovation Association).

Katarzyna Grzesik