

Zastosowanie LCA do oceny wariantów zagospodarowania odpadów komunalnych

Karol Koneczny
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi
i Energią PAN, Kraków

1. Wstęp

Zarządzanie istniejącymi lub wytwarzanymi odpadami, zarówno przemysłowymi jak i komunalnymi, wymaga kompleksowych i planowanych działań. Prawidłowa gospodarka może bowiem przynieść korzyści nie tylko ekologiczne, ale również ekonomiczne. Większość podmiotów zarządzających odpadami w krajach Unii Europejskiej zobowiązana jest do pozbywania się ich w sposób zgodny z wymogami ochrony środowiska oraz planami lokalnymi. W pierwszej kolejności zaleca się odzysk, ale nie zawsze jest on możliwy ze względów ekologicznych, technologicznych lub ekonomicznych. Wkrótce – zgodnie z wprowadzanymi dyrektywami – składowanie będzie mogło być stosowane jedynie do tych odpadów, których wykorzystanie lub unieszkodliwienie w inny sposób było niemożliwe. Zatem każdy podejmujący działania powodujące lub mogące powodować powstawanie odpadów powinien tak planować, projektować i prowadzić obecne prace, aby temu powstawaniu zapobiegać. Niemniej jednak całkowita eliminacja odpadów komunalnych, przy obecnym poziomie technologicznym, nie jest jeszcze osiągalna. Poszukuje się więc innowacyjnych strategii, w których jednym z narzędzi wspomagających jest opracowanie i wdrażanie modeli gospodarki odpadami komunalnymi. Właściwe podejście naukowe bazuje na zintegrowanym systemie zarządzania, który uwzględnia następujące zadania:

- odzyskiwanie surowców wtórnych,
- biologiczną obróbkę związków organicznych,
- spalanie wraz z odzyskiwaniem energii,
- składowanie odpadów obojętnych dla środowiska.

Technikę Ekologicznej Oceny Cyklu Życia (LCA) wybrano w celu zdefiniowania przepływów energetycznych i środowiskowych trzech różnych wariantów gospodarowania w odniesieniu do strumienia odpadów komunalnych wytwarzanych we włoskim mieście Palermo. Jest to stosunkowo nowa technika zarządzania środowiskowego (pozostałe to, m.in.: ocena ryzyka, ocena efektów działalności środowiskowej, auditowanie środowiska, ocena wpływu na środowisko). Głównym założeniem i niewątpliwą zaletą techniki LCA jest dążenie do uwzględniania wszystkich czynników, które mogą potencjalnie mieć wpływ na środowisko, a są związane z danym produktem. Należy jednak zaznaczyć, że produktem w LCA może być zarówno konkretny przedmiot, cały proces produkcji czy użytkowania jakiegoś wyrobu (tak jak omówiony poniżej proces zagospodarowania odpadów komunalnych). Zgodnie z założeniami LCA badania prowadzi się w czterech następujących etapach:

1. Definicja celu, jednostki funkcjonalnej (tj. najmniejszej jednostki przyjętej do badań) i jakości danych.
2. Analiza bilansowa systemu.
3. Ocena kategorii wpływu.

W modelowych rozwiązaniach gospodarki odpadami komunalnymi w Palermo uwzględniono następujące warianty:

Wariant A: Metoda stosowana obecnie. Charakteryzuje się składowaniem bez znaczącego udziału segregacji czy odzysku.

Wariant B: Zakłada segregowanie do 35% całkowitej masy składowanych odpadów. Ponadto przewiduje:

- odzyskiwanie niektórych surowców (MRF – Facilities of Material Recovery),
- produkcję paliwa alternatywnego (RDF – Refuse-Derived Fuel)
- spalanie wraz z odzyskiwaniem energii,
- biologiczną obróbkę związków organicznych pochodzących z segregowania oraz selekcji paliwa alternatywnego,
- składowanie odpadów obojętnych dla środowiska.

Wariant C: Zakłada zwiększenie udziału sortowanych odpadów do 50% całości masy oraz obróbkę biologiczną dla produkcji wysokiej jakości kompostu, natomiast obróbka cieplna nie jest przewidziana.

2. Określenie celu, jednostki funkcjonalnej oraz jakości informacji

Ekobilans odpadów komunalnych jest wykonywany dla oceny przepływu energetycznego i środowiskowego analizowanych wariantów. Jako jednostkę funkcjonalną zdefiniowano ilość odpadów pochodzących z gospodarstw domowych, wygenerowanych na określonym geograficznie obszarze. W każ-

dym wariacie zasięg cyklu życia odpadów obejmuje analizę odpadów od źródła ich powstawania do odzysku/recyklingu/składowania emisji do środowiska. Analizowane dane pochodzą z badań, eksperymentów oraz literatury i bazy naukowej. Pod uwagę wzięto uwarunkowania lokalne, a dane ogólnoeuropejskie dotyczą obliczenia energii elektrycznej wyprodukowanej w jednostkach poddanych odzyskowi. Wartość energii użytecznej stanowi różnicę pomiędzy energią zużytą a odzyskaną.

3. Analiza bilansowa systemu

Model został zastosowany do oceny materii i energii, które stanowią zbiór wejść i wyjść systemu gospodarowania. Składa się on z następujących etapów.

a) Generowanie odpadów

Odpady komunalne reprezentują najbardziej reprezentatywny strumień systemu, dlatego przede wszystkim wymagane jest określenie udziału i składu odpadów generowanych na danym obszarze. Ocena składu odpadów jest niezbędna dla opracowania technik gospodarowania różnymi ich gatunkami oraz do planowania strategii innowacyjnych technicznie. Ponadto charakteryzują się one niejednorodnością występujących w nich związków, co wynika m.in. z różnych źródeł ich gromadzenia (gospodarstwa domowe, zakłady przemysłowe i in.).

b) Segregacja gatunkowa

Przyjęta metoda segregacji odpadów determinuje wybór wariantu zarządzania, szczególnie w kwestii recyklingu surowców, obróbki biologicznej czy spalania w postaci paliwa alternatywnego. Charakterystyki i efektywność strategii gromadzenia będzie wpływać na jakość waloryzacji odpadów (recykling, odzyskiwanie energii, produkcja kompostu).

c) Odzysk niektórych surowców i produkcja paliwa alternatywnego

Określenie ilości surowców, które mogą być odzyskane, zależy od składu odpadów oraz od technicznego poziomu procesu spalania, a czynnikiem wywierającym znaczny wpływ jest zużycie energii.

Ilość materiałów, które nie nadają się do odzysku i produkcji paliwa alternatywnego oszacowano na 30%. Jako metodę stosowaną do tych pozostałości wybrano składowanie przypisując im jednocześnie średnią odległość transportową, albowiem wylicza się zużycie paliwa w transporcie, które jest dodawane do całkowitego zużycia paliwa.

Paliwo alternatywne może być produkowane przez mechanicznie wydzielenie substancji palnych ze strumienia odpadów.

d) Recykling

Ponowna obróbka odzyskanych surowców na materiały podlegające recyklingowi może zaowocować oszczędnością surowców pierwotnych i zużycia energii, a także uniknięciem przeniknięcia ich do środowiska. W rzeczywistości ilość zużytej energii oraz wielkość emisji są obliczone w odniesieniu do procesu recyklingu każdego surowca. Całkowite oszczędności mogą zostać oszacowane, ponieważ „wyjścia” systemu są porównywane ze zużyciem energii i emisją powiązaną z produkcją ekwiwalentnych ilości materiałów pierwotnych. Zużycie energii i przenikanie do środowiska powiązane z transportem z sortowni do zakładu ponownej obróbki zależne są od odległości, dlatego lokalizacja takiego zakładu jest zagadnieniem o znaczeniu strategicznym ze środowiskowego punktu widzenia.

e) Obróbka cieplna

Obróbka cieplna może być rozważana dla celów redukcji wielkości odpadów do ostatecznego składowania, a także jako metoda ich waloryzacji przy odzyskiwaniu energii. Obejmuje zarówno spalanie zmieszanych odpadów komunalnych, jak i grup odpadów segregowanych, a także wydzielonych surowców z gospodarstw domowych, jak papier i plastik, które zostały odzyskane, ale nie poddane recyklingowi. Na tym etapie założono, że jedynym „wejściem” jest paliwo alternatywne o wartości składnika energetycznego na poziomie 16 GJ/tonę. Masa i bilans energii prowadzą do oszacowania zużycia energii, jej odzysku, a także wartości emisji do wody i powietrza oraz trwałych pozostałości.

e) Obróbka biologiczna

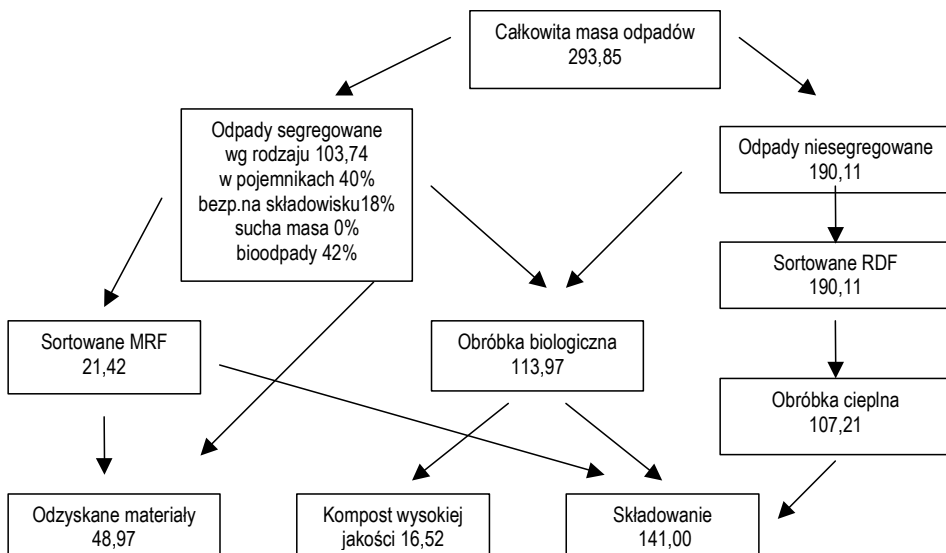
Obróbka biologiczna związków organicznych oraz papieru zaowocuje biogazyfikacją, z produkcją gazów (głównie CO₂, CH₄ oraz pary wodnej) i pozostałości mineralizowanych (proces beztlenowy), lub kompostowaniem, z produkcją kompostu (proces tlenowy). Obydwa warianty mogą być uwzględnione jako przedobróbkowe celem obniżenia wymaganej powierzchni składowej i stabilizacji odpadów przeznaczonych na składowanie, a także waloryzacji w kontekście produkcji biogazu i kompostu. W tym studium rozpatrzono trzy źródła „wejść”:

- niesegregowane odpady komunalne,
- segregowane bioodpady,
- pozostałości wyodrębnione mechanicznie w procesie produkcji paliwa alternatywnego.

Bilanse masy i energii zostały wykonane przy założeniu zużycia energii 30kWh/t odpadów na „wejściu” do kompostowni (produkcja kompostu na poziomie 50%, pozostałe 50% utracono przy odparowaniu i emisjach.).

f) składowanie odpadów

Zgodnie z regulacjami europejskimi, jedynie odpady obojętne dla środowiska mogą być przeznaczone do ostatecznego, długoterminowego składowania. Skutkuje to jednak niekontrolowanym rozkładem odpadów podlegających biodegradacji. Efekty środowiskowe obejmują produkcję biogazu i odcieków, w ilości zależnej od składu odpadów znajdujących się „na wejściu”. Ponadto dla potrzeb modelu do danych wejściowych zaliczono energię i surowce naturalne.



Rys. 1. „Wejścia” i „wyjścia” dla bilansu masy odpadów komunalnych w zintegrowanym systemie gospodarki odpadami komunalnymi w tys. ton (wariant B)

Fig. 1. „Inputs” and „outputs” for the balance of municipal wastes in the integrated system of municipal wastes management in thousands of tons (strategy B)

Opracowany model dokonuje obliczeń następujących danych:

- Zużycie energii netto (energia zużyta przy gospodarowaniu – energia produkowana/odzyskiwana – energia zaoszczędzona dzięki recyklingowi),
- Emisje do wody i powietrza (tylko najistotniejsze zanieczyszczenia przenikające do środowiska z systemu),
- Stopień odzysku materiałów (przeływ odpadów odzyskanych jako surowce wtórne) oraz całkowity stopień odzysku (zawiera m.in. suche związki podlegające recyklingowi czy kompost z obróbki biologicznej).

Na rys. 1 zaprezentowano zbiór „wejść” i „wyjść” dla bilansu masy odpadów komunalnych w zintegrowanym systemie gospodarki. Przedstawione wartości dotyczą analizy cyklu życia przeprowadzonej dla wariantu B.

4. Ocena kategorii wpływu

Wyniki analizy danych prowadzą do zdefiniowanego energetycznego i środowiskowego profilu każdego wariantu gospodarki, jednak nie są to dane zagregowane i w konsekwencji trudno wytłumaczalne. Z tego powodu winny być one przetworzone, zagregowane i sklasyfikowane według kategorii wpływu oznaczających bardziej adekwatne odniesienie do zagadnień środowiskowych.

Czynniki klasyfikacyjne prowadzą do oceny rozszerzenia wkładu, jaki dane wejściowe i wyjściowe przynoszą dla potencjalnych oddziaływań środowiskowych. W szczególności pierwotne przepływy substancji zanieczyszczających są obliczane dla każdej jednostki identyfikując ich przeznaczenie środowiskowe: powietrze, wodę czy glebę.

a) Kategorie wpływu

Ocena wpływu jest wykonywana w odniesieniu do surowców mineralnych, zużycia energii i przenikania do środowiska. Zostały zdefiniowane następujące kategorie wpływu:

- Zasoby

▪ Zużycie energii netto:

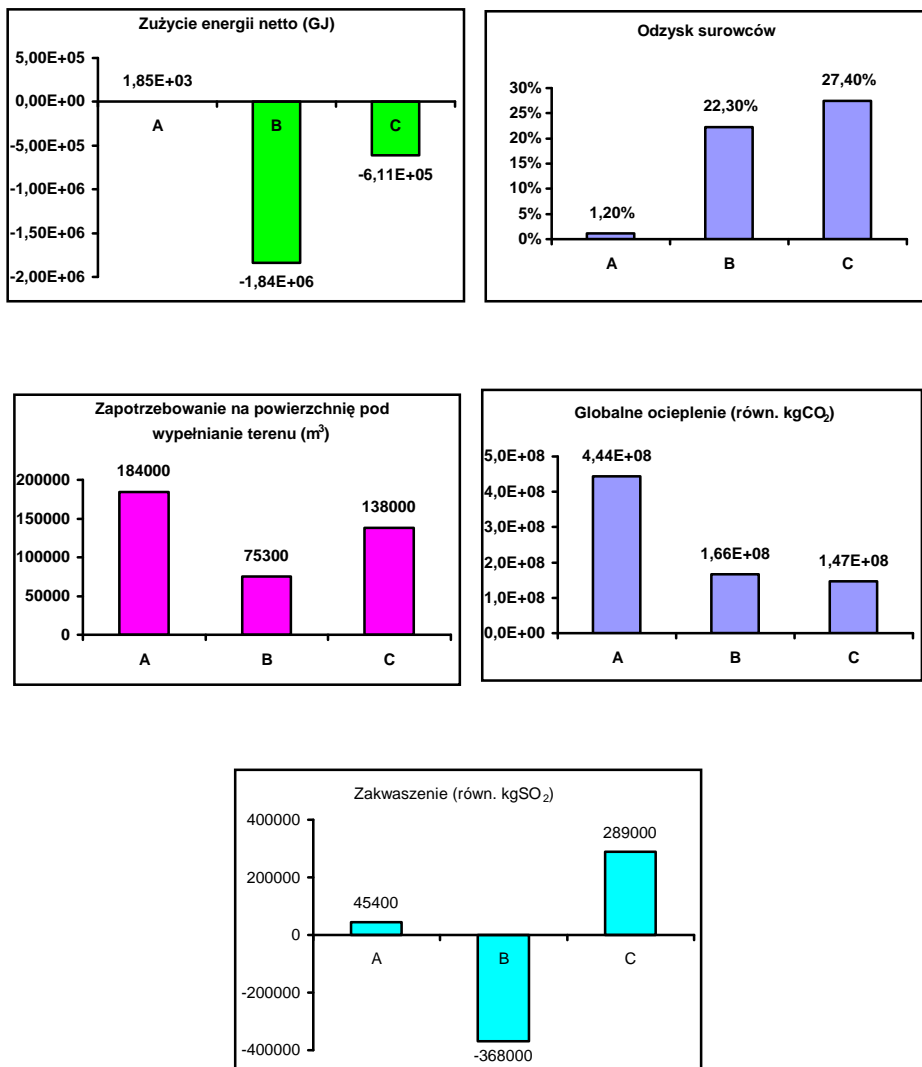
Zużycie energii jest uzależnione od transportu pomiędzy zakładem przeróbki a innym zakładem. Uwzględnione zostały także: produkcja energii z odzysku (wariant B) oraz oszczędność energii dzięki recyklingowi.

▪ Odzysk surowców

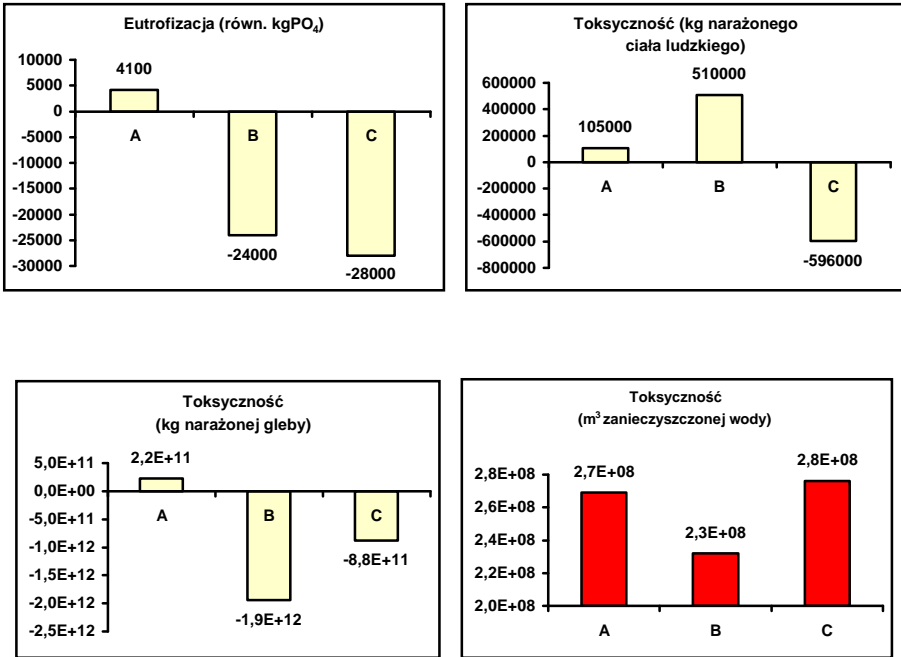
Stopień odzysku surowców i przeznaczenia do kompostowania został określony jako odsetek całościowej masy odpadów.

▪ Zapotrzebowanie na powierzchnię składową dla wyrównywania wgłębień terenu. Zależne od ostatecznej ilości odpadów stałych przeznaczonych do składowania oraz stopnia ich skompresowania.

Na rys. 2 przedstawiono powiązanie kategorii wpływu z całym systemem gospodarki odpadami, we wszystkich trzech wariantach.



Rys. 2. Oddziaływanie na środowisko wg różnych kategorii wpływu
Fig. 2. Impact on the environment according to different categories of influence



Rys. 2. cd. Oddziaływanie na środowisko wg różnych kategorii wpływu

Fig. 2. cont. Impact on the environment according to different categories of influence

5. Rezultaty

Bilanse energetyczne są sporządzane dla trzech rozważanych wariantów. Estymacji poddano zapotrzebowanie na energię w zakładach przerobczych i w transporcie, oszczędności dzięki recyklingowi oraz generowanie energii w trakcie obróbki cieplnej (wariant B). Dane wejściowe i wyjściowe są zaprezentowane w tabeli 1. Wyniki badań prowadzą do następujących wniosków:

- Przy obecnym systemie zarządzania odpadami (w. A) bilans energii jest ujemny. Całkowity przepływ odpadów jest przeznaczony do składowania, bez znaczącego udziału segregacji czy innych form obróbki (wyjątek stanowi segregacja papieru, plastiku oraz szkła, nie przekracza jednak 1,5% całości).
- Zintegrowany system gospodarowania odpadami (w. B i C) skutkuje dodatnim bilansem energii, w zależności od odzysku surowców i energii. W szczególności wprowadzenie obróbki cieplnej i recyklingu powoduje znaczne oszczędności energii.

Tabela 1. Bilans energii dla różnych wariantów gospodarki odpadami
Table 1. Balance of energy for different strategies of wastes management

	Działanie	j.m.	Zbiórka	Segregowanie	Obróbka biologiczna	Obróbka termalna	Składowanie	System gospodarki	Oszczędności z recyklingu	Razem
A	Zużycie	GJ	26968	1182	0	0	7684	35834		35834
	Odzysk	GJ	0	0	0	0	0	0		0
	Zużycie netto	GJ	26968	1182	0	0	7684	35834	33987	1847
B	Zużycie	GJ	29435	49068	32684	20674	2362	134187		
	Odzysk	MWh			0	142952	0	142952		
		GJ			0	1358049	0	1358049		
Zużycie netto	GJ	29435	49068	32648	-1337375	2362	-1223862	618038	-1841900	
C	Zużycie	GJ	36624	19832	63994	0	3921	124371		
	Odzysk	MWh			0	0	0	0		
		GJ			0	0	0	0		
Zużycie netto	GJ	36624	19832	63994	0	3921	124371	735374	-611003	

Z powyższych powodów odzyskiwanie energii w skojarzeniu może być wartościowym alternatywnym rozwiązaniem dla wykorzystywania surowców naturalnych. W tabeli 2 wyszczególniono stopień odzysku materiałów dla rozważanych wariantów. Wyniki pokazują, że zintegrowane strategie gospodarowania mogą przynieść stały wkład przy oszczędzaniu surowców. Ponadto składowanie wywiera najbardziej negatywny wpływ w kwestii wymaganej powierzchni składowej.

Tabela 2. Stopień odzysku związków zawartych w odpadach oraz stopień całkowitego odzysku surowców dla różnych wariantów gospodarki odpadami (%)

Table 2. Level of compounds contained in wastes recovery and level of complete recovery of raw materials for different strategies of wastes management (%)

	Papier	Szkló	Me-Fe	Me-nFe	Folia z tw. sztucznego	Twardy plastik	Tekstylia	Stopień odzysku surowców	Stopień kompostowania	Całkowity stopień odzysku
A	1,4	7,5	0,04	0,04	1,04	1,04	2,5	1,2	0,0	1,2
B	39,2	61,0	81,00	59,00	11,30	11,00	10,0	16,7	5,6	22,3
C	43,0	69,0	82,50	82,50	0,30	0,10	0,30	19,6	7,8	27,4

5. Porównanie systemów gospodarowania

Zintegrowane systemy gospodarowania składowiskami odpadów mogą stać się efektywnymi strategiami dla uniknięcia przenikania zanieczyszczeń do środowiska, jak również użytkowania odpadów komunalnych jako dodatkowego źródła surowców wtórnych. Natomiast obecny system jest nieelastyczny, dlatego w kontekście urbanistycznym nie może podołać rosnącym presjom środowiskowym. Porównanie do systemów zintegrowanych pokazuje, że segregacja i odzysk surowców determinuje mniejsze zapotrzebowanie na powierzchnię niezbędną do ostatecznego składowania odpadów, zwłaszcza w wariantcie B, przewidującym obróbkę termiczną. Z kolei wariant C, przewidujący zwiększony stopień odzysku, wiąże się z wyższymi kosztami związanymi z obróbką biologiczną oraz segregacją.

Analizując ocenę wpływu na środowisko przez pryzmat kategorii wpływu, znamionnym jest podwyższenie poziomu emisji tlenu węgla, tlenu azotu, metali ciężkich czy dioksyn. Niemniej wdrożenie najlepszych dostępnych technologii gwarantuje emisję na poziomie ustalonym w ustawach.

6. Wnioski

Dzięki porównaniu wyników badanych wariantów można wyciągnąć następujące wnioski:

- obróbkę cieplną pozwala na 70% wzrost odzyskanej energii w stosunku do wariantu przewidującego obróbkę biologiczną odpadów

niesegregowanych. Ponadto wyższa wydajność recyklingu i segregacji pozwala na oszczędność energii w związku z uniknięciem zużycia surowców, jednak jednocześnie wzrasta zużycie energii na segregację i obróbkę biologiczną. Powyższe zależności powinny oznaczać, że główny udział w oszczędzaniu energii ma spalanie odpadów.

- wprowadzenie udogodnień związanych z segregacją i odzyskiem czy recyklingiem surowców, zaowocowało następującymi poprawami:
 - całkowity stopień odzysku materiałów oraz przeznaczenia do kompostowania wyniósł 22,3% w wariantcie B, 27,4% w wariantcie C, przy zaledwie 1,2% w wariantcie A.
 - Obniżenie, w stosunku do wariantu bieżącego, zapotrzebowania na powierzchnię składową dla odpadów obojętnych o 60% i 25%, odpowiednio dla wariantów B i C.

Wyniki LCA prowadzą do zdefiniowania osiągnięć środowiskowych oraz energetycznych dla każdego z wariantów, ale oczywiste jest, że o wyborze stosowania jednej z alternatyw będzie decydować zastosowanie właściwych kryteriów pochodzących z multieczynniskowych procedur decyzyjnych, uwzględniających dodatkowo zagadnienia ekonomiczne.

Literatura

1. **Becalli G., Cellura M., Mistretta M.:** Managing Municipal Waste – Energetic and Environmental Comparison Among Different Management Options” *The International Journal of Life Cycle Assessment*” vol.6 no.4 2001.
2. „Ekologiczna Ocena Cyklu Życia LCA nową techniką zarządzania środowiskowego”. Praca zbiorowa pod red. **J. Kulczyckiej**, wyd. IGSMiE PAN Kraków 2001.

Załącznik – techniczna strona badań

Analiza bilansowa systemu

Etap analizy bilansowej systemu został wykonany w odniesieniu do całego cyklu życia, z uwzględnieniem wszystkich wariantów. Wyniki są następujące:

Wejścia do systemu:

- Zużycie energii netto

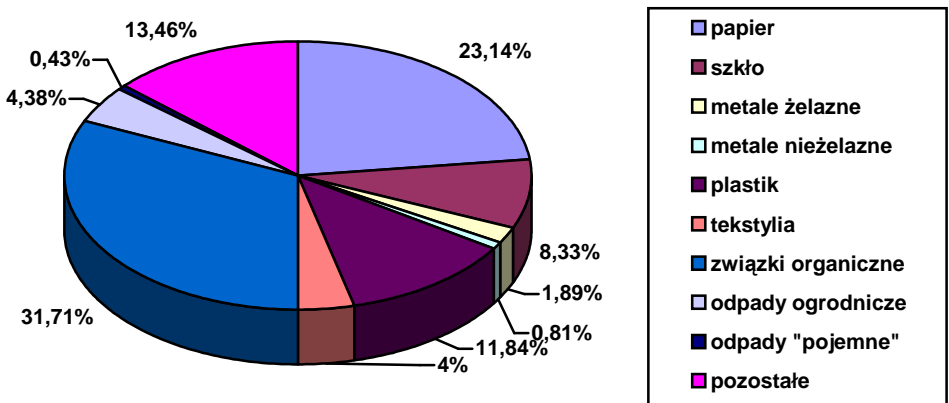
Wyjścia z systemu:

- ujęte ilościowo odpady obojętne przeznaczone na składowanie,
- odzyskane surowce,
- kompost,
- emisje do środowiska.

Surowce w stanie suchym podatne na recykling oraz kompost dają całkowity stopień odzysku w porównaniu do całkowitej ilości odpadów „wchodzących” do systemu. Zbiór danych nt. generowania energii elektrycznej został sporządzony w oparciu o model UCPT90:

Źródło	Udział %
Węgiel	29
Ropa naftowa	10
Gaz	10
Pochodzenia wodnego	15
Pochodzenia nuklearnego	36

Zużycie energii netto obliczono jako różnicę pomiędzy energią zużytą a odzyskaną. Zanieczyszczenia przenikające do środowiska związane ze zużyciem paliwa zostały uzyskane w odniesieniu do sumy średniego zużycia paliwa przez maszyny i urządzenia objęte badaniem. Zużycie paliwa i energii elektrycznej określa wpływ pochodzący również z etapów wydobywania, transportu czy produkcji. Zużycie energii termalnej, emisji do środowiska oraz produkcję odpadów stałych zawsze musi zostać doliczone do całkowitego zbioru danych. Rys. 3 pokazuje charakterystykę komunalnych odpadów stałych w Palermo, a tabela 3 pochodzący z literatury zbiór danych nt. zużycia energii oraz emisji do środowiska przy zużywaniu energii elektrycznej i paliwa.



Rys. 3. Charakterystyka stałych odpadów komunalnych w Palermo
Fig. 3. Characteristics of solid municipal wastes in Palermo

Tabela 3. Dane o wpływie na środowisko wywieranym przy zużyciu paliw i energii elektrycznej

Table 3. Data concerning influence on the environment when using fuels and electric energy

	Benzyna	Ropa naftowa	Energia elektryczna	Gaz ziemny
Energia (GJ)	42	44,1	9,5	42,1
Odpady stałe (t)	0,0053	0,0057	0,0491	0,003
Emisja do powietrza (g):				
Cząstki stałe	2446	2564	197	3220
CO	25323	26548	349	39
CO ₂	2491318	3036258	441657	2061211
CH ₄				
NO _x	32301	33901	1236	29604
N ₂ O		41	70	43
SO _x	9640	10108	2502	660
HCl	36	38		
HF	36	38	0,01	
H ₂ S				
HC	10395	10898	2112	53932
Dioksyny / furany (TEQ)				
NH ₃			0,49	0
As				
Cd				
Cr				
Cu				
Pb	144			
Hg				
Ni				
Zn				
Emisje do wody (g):				
BOD	36	38	0,15	0
COD	36	38	0,44	0
SS	36	38	0,15	0
TOC	396	415	4,70	31
AOX				
Dioksyny / furany (TEQ)				
Fenole	36	38	0	0
NH ₄			0,62	0
As	36	38		
Cd				
Cr				
Cu				
Pb				
Hg				
Ni				

Tabela 3. cd. Dane o wpływie na środowisko wywieranym przy zużyciu paliw i energii elektrycznej

Table 3. cont. Data concerning influence on the environment when using fuels and electric energy

	Benzyna	Ropa naftowa	Energia elektryczna	Gaz ziemny
Zn				
Fe			0,003	
Cl	36	38	0,020	
F	36	38	1,335	
No ₃			1,320	
S				

Analiza wpływu

W odniesieniu do każdego z trzech wariantów zostały oszacowane pierwotne zanieczyszczenia wraz z ich przeznaczeniem środowiskowym zidentyfikowanym dla każdego etapu Ekologicznej Oceny Cyklu Życia:

- Dane z analizy bilansowej systemu - są zagregowane i sklasyfikowane zgodnie z kategoriami wpływu, w zależności od głównych kwestii środowiskowych rozpatrywanych w skali lokalnej czy globalnej,
- Definicje czynników klasyfikacyjnych - zapewniają model standardowy dla klasyfikacji interwencji środowiskowych jako efektów środowiskowych. Są zdefiniowane przez zastosowanie metodologii liniowej. Dla danej substancji każdy czynnik jest zdefiniowany jako rozszerzenie (wzbogacenie) efektu środowiskowego w przeliczeniu na emisję jednostki tej substancji. Tak więc funkcja dana wzorem $f(x) \rightarrow y$, gdzie zmienna niezależna x reprezentuje emisję substancji, a y potencjalny efekt wyarty przez x . Jeśli Δx jest wzrostem x spowodowanym daną zmianą, to Δy jest relatywnym wzrostem efektu środowiskowego na skalę globalną. Przez zastosowanie metody liniowej, jeśli $\Delta x \ll x$, można zapisać następujące wyrażenie:

$$\Delta y = \left[\frac{df}{dx} \right]_x * \Delta x$$

zakładając, że $\left[\frac{df}{dx} \right]_x$ jest stałą:

$$\Delta y = I * \Delta x$$

gdzie I jest czynnikiem klasyfikacyjnym i reprezentuje wzrost efektu środowiskowego w związku z jednostkowym Δx .

- Charakteryzowanie - krok ten polega na ocenie profilu środowiskowego jako listy wszystkich efektów środowiskowych, w których gospodarka odpadami odgrywa rolę.

Usage Of LCA For Evaluation Of Municipal Wastes Management Strategies

Abstract

The article aims to assess the environmental effects of integrated strategies in a municipal waste management system. In particular, the analysis is focused on a waste stream in Palermo, where landfill involves the prompt disposal of the most waste after collection. The current local management system is compared with two integrated waste management alternatives. Both the options predict adopting the available technologies in different ways. In opposition to the current management, which involves energy balance at a loss, the mass and energy balances in hypothetical systems show the capability to obtain energy and material recovery to a substantial extent.

Comparison of results of examined strategies allows to draw following conclusions:

- thermal processing enables 70% increase of recovered energy relating to strategy which includes biological processing of non segregated wastes. Moreover higher efficiency of recycling and segregation allows to save energy in connection with avoidance of raw materials usage, but at the same time increases usage of energy for segregation and biological processing. Mentioned relations should mean, that main part in energy saving takes incineration of wastes.
- introducing of facilities connected with segregation and recovery or recycling of raw material caused following improvements:
 - total level of materials recovery and assignment for composting was 22.3% in strategy B, 27.4% in strategy C, and merely 1.2% in strategy A.
 - decrease of need for landfilling area, in relation to current strategy, for neutral wastes of 60% for strategy B and 25% for strategy C.

Environmental pressure factors of the management system are assessed depending on the relevant consumption of raw materials and energy, and on the emission of pollutants. The resulting figures reflect the two different integrated management options as being sustainable solutions for achieving an improvement in environmental performance, which is based on increasing the value of waste, as an alternative to resources, and the reduction of environmental releases. Life Cycle Assessment of municipal waste management systems can be usefully applied to define synthetic indices of environmental impact. These indices could single out possible alternatives in multi-criteria analysis, together with economic and technical parameters.