



## The LCA as a method to support waste management system

Marlena DEBICKA, Maria ŻYGADŁO

Politechnika Śląska Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska,  
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego, 25-314 Kielce 7, tel.: 66-92-31-987, e-mail: marlena.bialek@interia.eu

### Abstract

LCA jako metoda wspomagająca zarządzanie odpadami

W artykule zdefiniowano pojęcie oceny cyklu życiowego i scharakteryzowano jego znaczenie w systemach zarządzania odpadami wybranych wysoko rozwiniętych krajów Europy. Ponadto pokazano sposób wykorzystania LCA do rozważenia wariantów/scenariuszy przetwarzania odpadów dla danego regionu północnych Niemiec. Efektem tej analizy jest powstanie hierarchii najkorzystniejszych sposobów przeróbki odpadów, która wskazuje najlepszą opcję postępowania z odpadami. Rozważanie scenariuszy odbywa się przez oszacowanie zagrożeń środowiskowych, jakie mogą zaistnieć podczas zastosowania poszczególnych metod przeróbki odpadów. Obecnie porównywanie różnych wariantów postępowania z odpadami może odbywać się za pomocą programów komputerowych (np. SIMA PRO) oraz symulatorów ułatwiających wykonanie badań składu morfologicznego odpadów i przeprowadzanie analiz frakcyjnych (np. MODECOM™). Oszacowano poziom zaawansowania techniki LCA do zarządzania gospodarką odpadami w warunkach krajowych.

**Keywords:** LCA, waste management

### Streszczenie

The methodology of the life-cycle assessment and characteristics of its role in waste management systems in selected developed countries in Europe is presented. The paper shows how to use LCA to consider the options / scenarios for waste treatment for a region in Northern Germany. The result of different scenarios comparison creates a hierarchy of the most advantageous waste treatment, which indicates the best option for waste disposal. Consideration of scenarios is done by estimating the environmental aspects relevance in waste management systems. Nowadays we can compare the different waste treatment options by using software tools (i.e. SIMA PRO) and simulators which help analyze morphological composition of waste and waste fraction (i.e. MODECOM™). The estimation of the development the LCA methodology in waste management system in the national context was done.

**Słowa kluczowe:** LCA, zarządzanie odpadami.

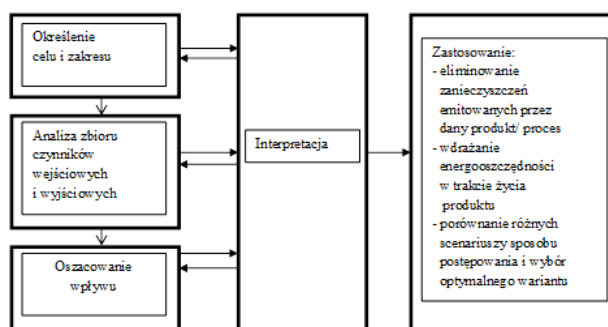
### 1. Wstęp

Zrównoważone wykorzystywanie zasobów naturalnych i gospodarka odpadami to jeden z priorytetów obowiązującego do 21 lipca 2012 roku Szóstego Programu Działań na Rzecz Środowiska w Unii Europejskiej (Environmental Action Programme – 6 EAP). Aktualnie trwają prace nad programem 7 EAP [5], w którym zostaną nakreślone cele polityki środowiskowej Unii Europejskiej realizowane do 2020 roku. W Siódmym Programie na Rzecz Środowiska w Unii Europejskiej obok celów środowiskowych zostanie przedstawiona wizja zrównoważonego rozwoju Unii do 2050 r. polegająca na dostosowaniu planów działania do koncepcji zasobo-oszczędnej Europy i ochrony bioróżnorodności [6]. Niezależnie od działań wynikających z wdrażania we Wspólnocie Europejskiej prawa ochrony środowiska w rozwiniętych państwach członkowskich prowadzi się politykę ekologiczną, dążącą do zabezpieczenia środowiska przed dewastacją poprzez zachowanie równowagi przyrodniczej i poszanowanie zasobów naturalnych. Zrównoważony rozwój państwa wiąże się z uważną analizą wykorzystywanych w poszczególnych gałęziach przemysłu surowców, co wiąże się z użytkowaniem surowców wtórnych i paliw zastępczych. Wśród alternatywnych źródeł energii znajdują się

odpady, z których po obróbce można odzyskać energię, przyczyniając się do racjonalizacji zużycia zasobów naturalnych.

Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna wprowadziła normę zarządzania środowiskowego ISO 14001 regulującą procedury w zakresie ochrony środowiska. Dokument ten pozwala zdefiniować czynniki oddziałujące na środowisko, które spowodowane są działalnością danej organizacji, przedsiębiorstwa, itp. W serii ISO 14000 znajduje się norma obejmująca ocenę cyklu życia (LCA) ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Norma definiuje metodę istotnie ułatwiającą analizę zagrożeń środowiskowych w poszczególnych etapach życia produktu/procesu. Ocena cyklu życiowego to zestawienie i oszacowanie istotności czynników oddziałujących na środowisko, występujących w trakcie poszczególnych etapów cyklu życiowego produktu. Podczas badania LCA dokonuje się analizy zbioru czynników (LCI-Life Cycle Inventory) oraz oszacowania ich wpływu (LCIA- Life Cycle Impact Assessment).

W praktyce analiza cyklu życiowego składa się z kilku etapów, przedstawionych na rysunku 1.1. [8]. Pierwszym krokiem jest określenie celu, zakresu i szczegółowości badania LCA. Drugi krok to analiza zbioru (LCI), która polega na zidentyfikowaniu czynników wchodzących do procesu i wychodzących. Elementami na wejściu i wyjściu są strumienie materiałowe i energetyczne, produkty uboczne, takie jak odpady, ścieki i zanieczyszczenia kierowane do środowiska. Kolejnym krokiem jest oszacowanie wpływu (LCIA) na środowisko czynników wchodzących i wychodzących z procesu. Poszczególnym czynnikom przypisuje się wskaźniki odzwierciedlające stopień uciążliwości dla środowiska. Ostatnim etapem jest interpretacja, którą kreuje się w oparciu o cele zakładane w pierwszym etapie. Efektem są wnioski, na podstawie których można sformułować wskazówki służące do udoskonalenia procesu życia produktu, zapobiegania zanieczyszczeniom i szkodliwym oddziaływaniom względem ludzi i środowiska.



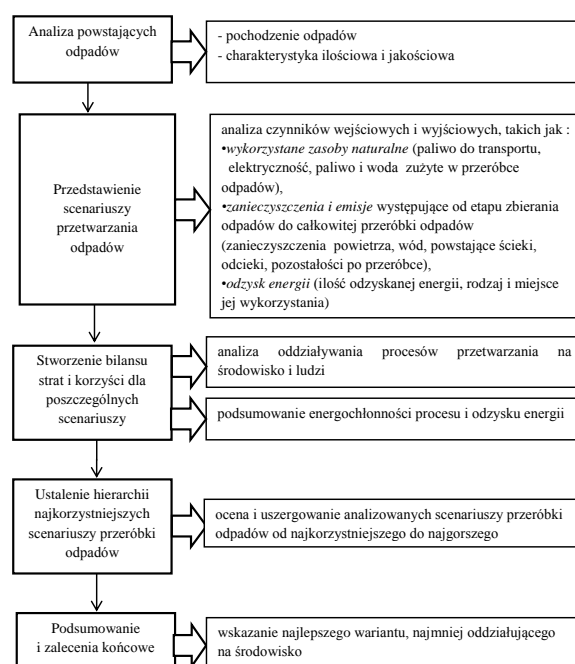
Rys.1.1. Fazy oceny cyklu życia wg [8]

## 2. Modelowanie procesu przeróbki odpadów i wybór optymalnego wariantu

Dzięki ocenie cyklu życia (LCA) możliwe jest rozpoznanie zagrożeń i strat środowiskowych, jakie powodują odpady. Efektem skrupulatnej analizy badanego wariantu przetwarzania odpadów są dane ilościowe, umożliwiające obiektywny wybór najefektywniejszej metody postępowania z odpadami.

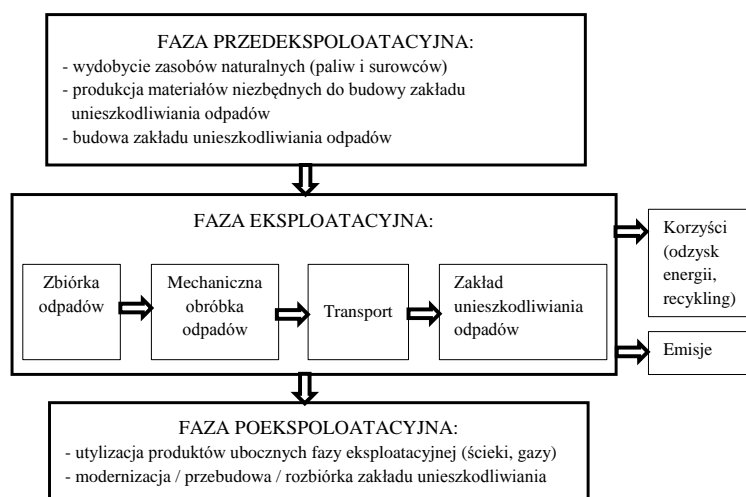
Dane zebrane w analizie LCA mogą posłużyć do porównania funkcjonowania istniejących zakładów przeróbki odpadów lub do zaproponowania najefektywniejszego wariantu przetwarzania odpadów w danych warunkach. Na początku szacuje się ilości wytwarzanych odpadów, czemu z reguły towarzyszy identyfikacja ich rodzaju według katalogu odpadów [11]. Rodzaj, pochodzenie i ilość wytwarzanych odpadów przesądza o skierowaniu odpadów do określonej metody przetwarzania. Efektem przeprowadzonej analizy jest stworzenie hierarchii najkorzystniejszych metod przetwarzania odpadów. Obliczenie bilansu energii obejmuje energochłonność procesu i energię wytwarzaną dzięki procesowi. Energia wprowadzana do procesu, to np.: elektryczność i paliwo, natomiast energia powstająca dzięki przetworzeniu odpadu, to np.: metan konwertowany w elektryczność bądź odzysk energii z paliwa alternatywnego. Dzięki porównaniu zapotrzebowania na energię (wejście) i wytwarzanej ilości (wyjście) określa się samowystarczalność zakładu pod względem nakładów energetycznych. Analiza emisyjności procesu obejmuje swym zasięgiem różne aspekty negatywnego oddziaływania zakładu przeróbki odpadów na środowisko, takie jak ubytek zasobów naturalnych,

zanieczyszczenia powietrza, zagospodarowanie terenu. Schemat na rysunku 2.1. prezentuje etapy występujące podczas wyboru optymalnego wariantu/scenariusza przeróbki odpadów.



Rys. 2.1. Kolejne kroki przy wyborze optymalnego wariantu przetwarzania odpadów, wg [2,3]

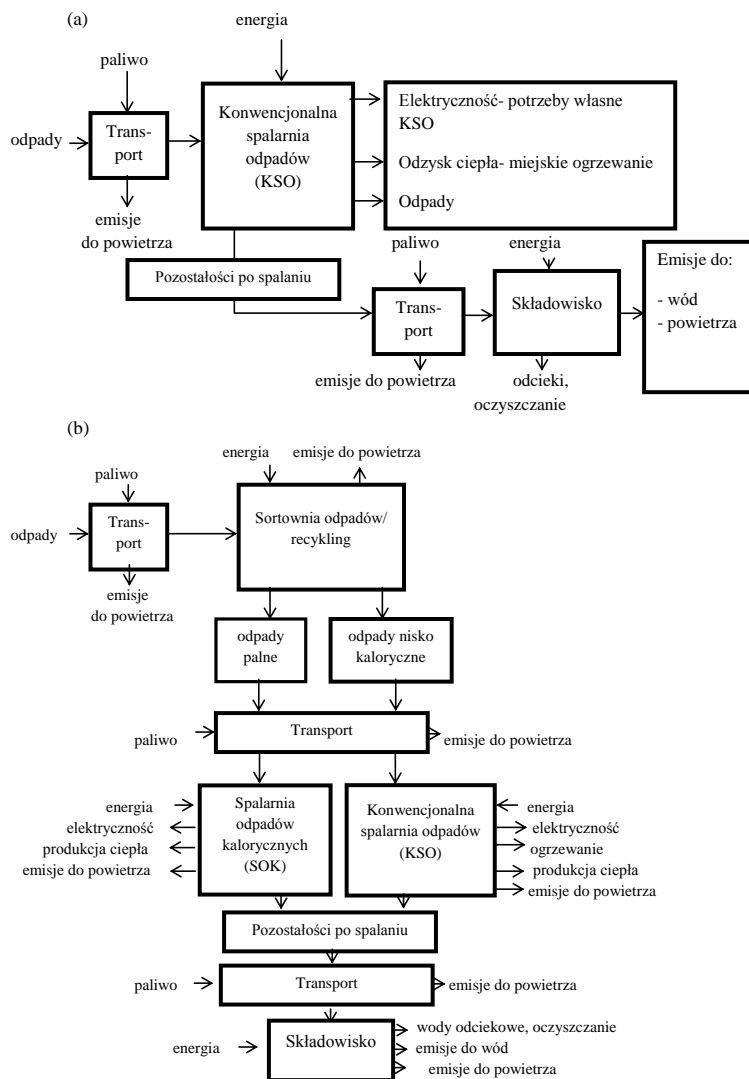
Sposób podejścia w ocenie systemu zarządzania odpadami z wykorzystaniem analizy LCA może być realizowany na różnym poziomie szczegółowości. Na schemacie poniżej (rys. 2.2.) zilustrowano czynniki możliwe do rozważenia w strumieniu zdarzeń począwszy od źródła odpadów do efektów końcowych (produkcja energii, surowce wtórne, emisje).



Rysunek 2.2. Obszary wykorzystania LCA w systemie zarządzania odpadami, [3]

Wybór systemu do oceny LCA istotnie zależy od poziomu oczekiwań. Jeśli oczekuje się włączenia do rozważań nie tylko etapu eksploatacji, a także fazy przed- i poeksploatacyjnej należy wziąć pod uwagę również takie elementy jak wytwarzanie surowców, etap budowy, rozbiórki oraz unieszkodliwiania instalacji i wyposażenia, a także transport. Taki sposób podejścia wymaga oczywiście odpowiednich danych, które można pozyskać w drodze dodatkowych zabiegów. Częstokroć te dane wymagają weryfikacji poprzez przyjęcie dodatkowych

założeń, co znacznie ogranicza możliwość wykorzystania uzyskanych wyników, a także wpływa istotnie na koszty samej analizy. Dzięki wieloletnim doświadczeniom udało się ustalić, że w analizie LCA koszty środowiskowe etapu przed- i poeksploatacyjnego są nieporównywalnie niskie w stosunku do kosztów eksploatacji instalacji (Fritsche i in, 2007; Marheineke i in. 2000). W omawianym przykładzie [3] emisja gazów cieplarnianych w fazie przedeksploatacyjnej instalacji stanowi 1 do 5 % w całkowitej emisji gazów cieplarnianych analizowanego układu (IkrW, 2006).



Rysunek 2.3. Analiza czynników na wejściu i wyjściu konwencjonalnej spalarni odpadów (a) i spalarni odpadów kalorycznych (b), wg [3].

Na rysunku 2.3. zilustrowano przykładowe alternatywne warianty/scenariusze a i b termicznej przeróbki odpadów ze wskazaniem mierzalnych parametrów na wejściu i wyjściu [3]. Przedstawione schematy (rys. 2.3.) mają charakter ogólny. W każdym przypadku analizy mogą zmieniać się dane na wejściu i wyjściu. Poziom szczegółowości rozważań i danych zgromadzonych z badań, które zostaną wprowadzone do „banku danych” będzie rzutowała na wynikowe wartości emisji. Metodą krocząca możliwe będzie rozpoznanie wpływu na emisję np. etapu sortowania. Rozważania przedstawione w pracy mogą być rozszerzone na inne klasy uciążliwości, jednak w rozważanym modelu nie poddano ich analizie, aby nie komplikować nadto modelu.

Do analiz ilościowych (tabela 2.3. i rysunek 2.4.) przyjęto przepustowość instalacji na poziomie 198 000 Mg/rok, co stanowi jednostkę funkcjonalną w przyjętym modelu [3]. Pierwszy scenariusz a prezentuje konwencjonalną spalarnię odpadów, gdzie przetwarzanie termiczne odbywa się w piecu rusztowym, a oczyszczanie gazów w systemie wielostopniowym. W procesie ma miejsce produkcja pary o temp. 215° C

i ciśnieniu 22 Ba. Tryb pracy zakładu zorientowany jest głównie na odzysk energii w postaci ciepła w ilości 653,6 kWh/t odpadów. Niewielką część odzysku stanowi energia konwertowana w elektryczność, która jest eksportowana w ilości 215,3 kWh/t odpadów.

Tabela 2.1. Skład morfologiczny odpadów, dla których opracowano scenariusze a) i b), [3]

Pochodzenie odpadów	Masa, Mg/a	Udział w masie całkowitej, %	Wartość opałowa, MJ/kg
Odpady domowe	105 000	52	9
Odpady handlowe*	17 500	9	15
Odpady wielkogabarytowe	20 000	10	11
Odpady opakowaniowe	9 000	5	20
Odpady budowlane	15 000	8	15
Odpady handlowe	31 500	16	16
SUMA	198 000	100	11,8

\*- odpady handlowe o właściwościach zbliżonych do odpadów domowych

Drugi scenariusz b przedstawia przetwarzanie odpadów w zakładzie spalania odpadów kalorycznych. Ich specyfika polega na wstępnej mechanicznej odpadów ze względu na ich wartość kaloryczną. Podział na odpady kaloryczne i nisko kaloryczne zakładał rozdział na dwa strumienie, przy czym w strumieniu odpadów kalorycznych znajduje się 91 685 Mg/rok, a w nisko kalorycznych 106 315 Mg/rok. Wartości opałowe dla poszczególnych frakcji przedstawia tabela 2.2. Frakcja nisko kaloryczna trafi do konwencjonalnej spalarni odpadów (KSO). Frakcja o podwyższonej wartości opałowej, zostaje przetworzona w spalarni odpadów kalorycznych (SOK). Odpady o podwyższonej wartości opałowej spalane są w piecu rusztowym, gdzie powstaje para o temp. 400°C i ciśnieniu 40 Ba. Zakład skupia się na produkcji i dostarczaniu czystej energii elektrycznej w ilości 468,5 kWh/t odpadów. W scenariuszu b przewiduje się niewielką ilość paliwa gazowego (gaz ziemny) w celu zainicjowania procesu spalania.

Tabela 2.2. Charakterystyka kaloryczności frakcji w analizowanych scenariuszach, [3]

Parametr	Jednostka	Odpady zmieszane	Frakcja kaloryczna	Frakcja nisko kaloryczna
Wartość opałowa	MJ/kg	11,8	15,39	8,55
Emisja CO <sub>2</sub>	Mg CO <sub>2</sub> / T	45	42,5	45,5
Ilość odpadów	Mg	198 000	91 685	106 315
Rodzaj scenariusza	-	Scenariusz a)	Scenariusz b)	

Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych ( $m_{CO_2, kopalny}$ ) należy rozpocząć od wyliczenia masy węgla kopalnego ( $m_{C, kopalny}$ ) wg wzoru 2.1[3].

$$m_{C, kopalny} = \sum m_i \cdot C_{kopalny, i} \quad (2.1)$$

$m_{C, kopalny}$  – masa węgla kopalnego w paliwie,

$m_i$  – udział frakcji odpadu w paliwie,

$C_{kopalny, i}$  – ilość węgla kopalnego we frakcji i;

$$m_{CO_2, kopalny} = m_{C, kopalny} \cdot \frac{44}{12} [\text{kg CO}_2, \text{ kopalny}/\text{Mg}] \quad (2.2)$$

Do prognozowania wskaźnika emisji gazów cieplarnianych użyto wzoru 2.3.

$$\text{Wskaźnik emisji} = \frac{m_{CO_2, \text{kopalny}}}{\text{wart.op.}} \text{ [ kg CO}_2, \text{kopalny/MJ]} \quad (2.3)$$

Aby bezpośrednio porównać wyniki scenariuszy ze spalarni konwencjonalnej i spalarni paliwa wysokokalorycznego przyjęto lokalny mix energetyczny, energię do instalacji spalania w postaci oleju napędowego i oleju opałowego, wykorzystywanego do oczyszczania odcieków ze składowiska. Ogrzewanie miejskie na obszarze omawianych scenariuszy jest realizowane systemem zdecentralizowanym mieszanym (mix energetyczny) przy udziale 85 % ogrzewania olejowego, 15% gazowego i 5 % energii elektrycznej. We wszystkich scenariuszach ze spalarnią przewidziano kierowanie pozostałości po spalaniu na składowisko odpadów.

Przyjmuje się założenie, że redukcję gazów cieplarnianych osiąga się głównie poprzez ograniczenie ilości składowanych odpadów nieprzetworzonych. Ograniczenie to jest wynikiem wprowadzenia mechaniczno-biologicznej przeróbki odpadów lub przeróbki termicznej (spalarnie z odzyskiem energii) odpadów przed ich zdeponowaniem na składowisko. Uwzględniono emisję unikniętą związaną z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła. W obliczeniach emisji unikniętej, tj. emisji związanej z produkcją tej samej ilości energii w systemie odniesienia przyjęto specyficzny wskaźnik emisji dla rozważanego obszaru północnych Niemiec [3]. Posługując się modelem GEMIS 4.14 dobrano odpowiedni wskaźnik emisji dla mixu energetycznego [17]. GEMIS 4.14 jest modelem do obliczania globalnej emisji w systemach zintegrowanych, opracowanych przez Instytut Ekologii Stosowanej w Darmstadt.

Analiza ilościowa wpływu scenariuszy na środowisko głównie obejmuje zestawienie odzysku energetycznego i wielkości emisji gazów cieplarnianych (tabela 2.3.). Wyniki analizy posłużyły do sporządzenia rysunku 2.4., który przedstawia ilość oszacowanego CO<sub>2</sub> dla poszczególnych wariantów przeróbki odpadów. Założenia do omawianych wariantów przedstawiono w tabeli 2.4.

Tabela 2.3. Produkcja energii i gazów cieplarnianych prognozowana dla wariantów a i b\* przeróbki odpadów [3]

System przeróbki	Produkcja energii elektrycznej	Produkcja ciepła	Produkcja gazów cieplarnianych	
	kWh/ Mg odpadów	kWh/ Mg odpadów	kg CO <sub>2</sub> / Mg odpadów	g CO <sub>2</sub> / kWh
Składowisko	105,7	-	398,51	2411,56
Konwencjonalna spalarnia odpadów Scenariusz a	215,3	653,6	219,32	252,47
Spalarnia odpadów kalorycznych Scenariusz b*	468,5	-	-20,95	-21,72

Scenariusz a – konwencjonalna spalarnia odpadów  
Scenariusz b\* – spalarnia odpadów kalorycznych z uwzględnieniem w bilansie oszczędności paliw kopalnych z tytułu zamiany transportu kołowego na transport wodny lub kolejowy

Odzysk energetyczny jest czynnikiem pożądanym w ciągu technologicznym i pozytywnie wpływa na ogólny bilans korzyści i strat środowiskowych wytwarzanych przez dany zakład. Dzięki eksportowi energii produkowanej przez spalanie odpadów, zakład przyczynia się do zmniejszenia zużycia zasobów naturalnych. Przeróbka odpadów z odzyskiem energii redukuje wpływ gazów cieplarnianych w ogólnym bilansie oddziaływania zakładu na środowisko. Z wykresu wynika, że konwencjonalna spalarnia odpadów (scenariusz a) pozwala zmniejszyć ilość powstających gazów cieplarnianych prawie o połowę w stosunku do gazów wytwarzanych na składowiskach odpadów. Ponadto pozwala zaoszczędzić naturalne surowce energetyczne, co jest istotne w aspekcie gospodarki surowcami. Oszacowanie scenariusza a\* polega na analizie porównawczej wykreowanego scenariusza b i b\*. Przyjawszy, że tonażowo dowóz surowców do spalarni w scenariuszach a i b jest na tym samym poziomie, można założyć, że redukcja emisji z tytułu wyeliminowania transportu kołowego na rzecz kolejowego lub wodnego będzie na tym samym poziomie w scenariuszach a\* i b\*. Można założyć:

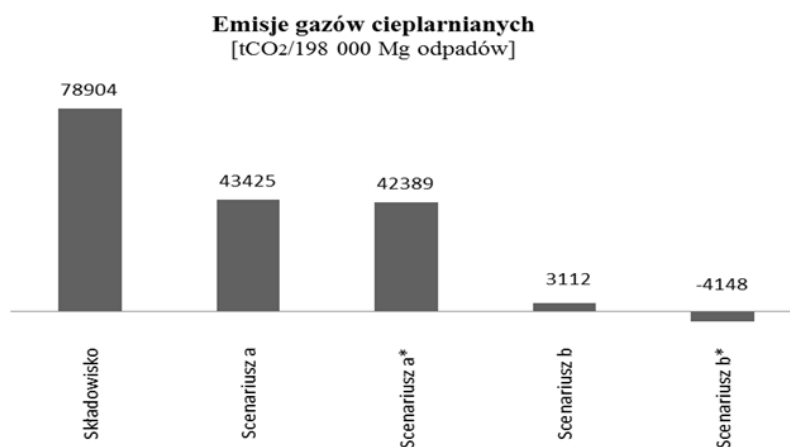
$$a-a^* = b-b^*$$

$$a^* = - (b-b^*) + a$$

$$a^* = - (3112 - 4148) + 43425 = 42389$$

Tabela 2.4. Założenia do omawianych wariantów dla instalacji o przepustowości 198 000 Mg/a, [wg 3]

Wariant/scenariusz	Substraty- wprowadzone odpady	Rodzaj transportu odpadów	Warunki odzysku energii	Uwagi
Składowisko Scenariusz „0”	Odpady zmieszane o składzie wg tabeli 2.1.	kołowy	Silniki gazowe; Odzysk energii elektrycznej z biogazu	Wariant odniesienia
Konwencjonalna spalarnia odpadów Scenariusz a	Odpady zmieszane o składzie wg tabeli 2.1.	kołowy	Spalarnia z piecem rusztowym; Odzysk energii cieplnej i elektrycznej	Scenariusze a oraz a* różnią się rodzajem transportu
Konwencjonalna spalarnia odpadów Scenariusz a*	Odpady zmieszane o składzie wg tabeli 2.1.	wodny lub kolejowy	Spalarnia z piecem rusztowym; Odzysk energii cieplnej i elektrycznej	
Spalarnia odpadów kalorycznych Scenariusz b	Odpady wysegregowane: frakcja kaloryczna i nisko- kaloryczna (tabela 2.2.)	kołowy	Spalarnia z piecem rusztowym; Odzysk energii z pieca rusztowego po segregacji strumieni wysoko i nisko-kalorycznych	Scenariusze b oraz b* różnią się rodzajem transportu
Spalarnia odpadów kalorycznych Scenariusz b*	Odpady wysegregowane: frakcja kaloryczna i nisko- kaloryczna (tabela 2.2.)	wodny lub kolejowy	Spalarnia z piecem rusztowym; Odzysk energii z pieca rusztowego po segregacji strumieni wysoko i nisko-kalorycznych	



Rysunek 2.4. Emisja gazów cieplarnianych dla wariantów a, a\*, b i b\*, [3]

Scenariusz a – konwencjonalna spalarnia odpadów

Scenariusz a\* - konwencjonalna spalarnia odpadów z uwzględnieniem w bilansie oszczędności paliw kopalnych z tytułu zamiany transportu kołowego na transport wodny lub kolejowy

Scenariusz b - spalarnia odpadów kalorycznych

Scenariusz b\* – spalarnia odpadów kalorycznych z uwzględnieniem w bilansie oszczędności paliw kopalnych z tytułu zamiany transportu kołowego na transport wodny lub kolejowy

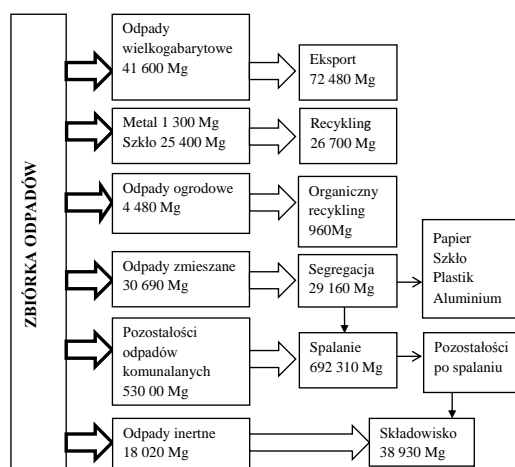
Korzystniejszym scenariuszem jest spalanie odpadów po wstępnej obróbce mechanicznej (scenariusz b), gdzie zastosowano sortowanie i odzysk frakcji kalorycznej. W scenariuszu b\* bilans emisji wytworzonych gazów

cieplarnianych kształtuje się na poziomie poniżej zera, ponieważ w bilansie uwzględniono zarówno odzysk energii z odpadów (co wiąże się z ograniczeniem wykorzystania paliw kopalnych - wg scenariusza b), jak i obniżkę emisji gazów cieplarnianych - zastępując transport kołowy odpadów do spalarni transportem wodnym lub kolejowym.

Na rys. 2.4. zilustrowano emisję gazów cieplarnianych w omawianych scenariuszach ze spalarnią w odniesieniu do scenariusza ze składowiskiem, przy założeniu unieszkodliwiania 198 000 ton odpadów. Wartość ujemna stanowi bezwzględną wartość unikniętej emisji tych gazów. Wyniki oszacowania emisji gazów cieplarnianych prezentowane na rys. 2.4. upoważniają do wyboru scenariusza b\* jako najbardziej korzystnego w grupie analizowanych wariantów. Odzysk energetyczny i mniejsze zużycie paliw decydują o tym, że zakład spalania odpadów kalorycznych (scenariusz b\*) najmniej oddziałuje na środowisko.

### 3. Symulatory i programy komputerowe wspomagające zarządzanie odpadami

Niezbędnym warunkiem na wstępnym etapie w zarządzaniu odpadami jest przeprowadzenie badania składu morfologicznego i ilościowego odpadów. Metodyka badań powinna być dobrana do spodziewanej charakterystyki odpadów i strategii postępowania z odpadami [9]. W tym celu można posłużyć się sprawdzonymi metodami, przykładowo MODECOM<sup>TM</sup>, dzięki której można łatwo przeprowadzić analizę morfologiczną odpadów komunalnych zmieszanych pochodzących z gospodarstw domowych, w tym odpadów biodegradowalnych, opakowaniowych, odpadów nadających się do recyklingu (szkło, plastik, papier). Badania za pomocą tej metody przeprowadza się w skali regionalnej lub lokalnej. Wg wytycznych opracowanych dla warunków krajowych [7], próbki o masie ok. 500 kg pobierane są losowo, bezpośrednio z samochodów przewożących odpady. Następnie odbywa się segregacja odpadów, rozdział na frakcje przez przesiewanie (frakcje > 100 mm, 20÷100 mm i < 20 mm) oraz ważenie poszczególnych frakcji. Metoda pozwala określić poszczególne ilości odpadów i ułatwia dalsze zarządzanie ich zagospodarowaniem.



Rysunek 3.1. Przykładowa analiza przepływu strumieni odpadów uzyskana dzięki symulatorowi AWAST, wg [1]

SIMA PRO to program komputerowy wspomagający metodę LCA [2]. Analizę cyklu życia produktu/zakładu rozważa się w aspekcie jego oddziaływania na trzy kategorie, to jest: zdrowie ludzkie (zmiany klimatyczne, choroby układu oddechowego, rakotwórczość), jakość ekosystemów (ekotoksyczność, zakwaszenie) i ubytek surowców naturalnych (surowce mineralne, paliwa kopalne). Są to standardowe wskaźniki przyjęte w programie Eco-indicator 99, które obliczono „od kołyski, aż po grób”. Przykładowo w stosunku do transportu uwzględniono wpływy środowiskowe występujące w ciągu całego cyklu życia paliw, czyli: na etapie wydobycia, produkcji i wreszcie wykorzystania w środkach transportu [14]. Po wprowadzeniu danych program tworzy schemat procesów wchodzących w skład analizy. Następnie odbywa się normalizacja, czyli nadanie wskaźnikom wspólnej jednostki odniesienia, np. roczna wielkość wpływu czynnika przypadająca na jednego mieszkańca Europy. Kolejnym etapem jest „ważenie”, czyli nadanie wskaźnikom odpowiednich wag liczbowych poprzez przypisanie im punktów dla każdej z trzech kategorii. Punkt to jednostka, która określa oddziaływanie na



środowisko jednego Europejczyka w ciągu 1 roku. Im większa liczba punktów, tym produkt/zakład bardziej oddziałuje na środowisko. Sima Pro jest w warunkach polskich najczęściej stosowanym programem do badania cyklu życia konkretnego produktu [15]. Na rynku dostępne są coraz nowsze wersje z rozszerzoną bazą danych, co czyni program bardziej wszechstronnym.

EASEWASTE (Environmental Assessment of Solid Waste System and Technologies) to jeden z najnowszych programów wykorzystujących metodę LCA przeznaczony wyłącznie do zarządzania odpadami. EASEWASTE służy do projektowania strategii postępowania z odpadami i podejmowania decyzji o wyborze sposobu przetwarzania odpadów [14]. Bogata baza danych pozwala analizować odpady komunalne, wielkogabarytowe i ogrodowe [12]. Do poszczególnych rodzajów odpadów przyporządkowane są charakterystyczne wskaźniki dotyczące składu, sposobu zbierania, przeróbki i odzysku energetycznego. Program pomaga zdefiniować skład morfologiczny odpadów korzystając ze szczegółowego podziału frakcyjnego na 48 składników. Wśród analizowanych sposobów przeróbki odpadów znajdują się: recykling, kompostowanie, fermentacja metanowa, spalanie, składowanie. EASEWASTE umożliwia analizowanie nie tylko aspektów środowiskowych, ale także uwzględnia profil ekonomiczny. Używany jest do zarządzania gospodarką odpadami w rozwiniętych krajach Europy [13].

W warunkach krajowych metoda LCA jest jeszcze słabo spopularyzowana. W Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka 2007-2013 zaleca się wprowadzanie nowych technik zarządzania, w tym oceny cyklu życia [14]. Stosowanie LCA w Polsce stopniowo wzrasta dzięki zainteresowaniu ośrodków naukowych wykorzystujących LCA do analizowania wariantów technologicznych. Wśród nich są m.in.: Politechnika Rzeszowska, Politechnika Poznańska, Pracownia Badań Strategicznych przy Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie. W przedsiębiorstwach wykorzystuje się ocenę cyklu życia do analizy życia konkretnego produktu. Analiza systemu gospodarki odpadami w województwie świętokrzyskim metodą LCA, jest pozytywnym przykładem dla innych regionów Polski [16]. Badania przeprowadzono za pomocą programu Sima Pro, (wykorzystującego wskaźnik Eco-indicator 99), a także IWM-2, który oszacował emisje gazów cieplarnianych.

### 3. Podsumowanie

Ocena cyklu życiowego odpadów pozwala stworzyć bilans korzyści i strat wynikających z zastosowania danego sposobu utylizowania odpadów. LCA identyfikuje problemy środowiskowe, określa korzyści ekonomiczne i energetyczne wybranego wariantu technologicznego. Jednakże metoda oceny cyklu życiowego odpadów w zarządzaniu odpadami spotyka się z krytyką, argumentowaną często zbyt szerokim zakresem dobieranych wskaźników do rozpatrywanego procesu przeróbki [1]. Dużym problemem jest wykorzystywanie parametrów zaczerpniętych z nieaktualnych statystyk lub też zbyt ogólnych średnich wskaźników obliczonych na skalę kraju, a nie badanego regionu. Dlatego też, wykorzystując ocenę cyklu życiowego odpadów do szczegółowej oceny instalacji należy zakładać ryzyko występowania różnic między teoretycznymi obliczeniami według metody LCA, a wynikami rzeczywistymi – tym większe, im gorsza jest jakość danych wejściowych. Zasadniczy wpływ na wystąpienie odchyłeń mają nienależycie wykonane badania morfologiczne odpadów, które skutkują wyborem nieodpowiedniego scenariusza przetwarzania odpadów i wadliwie dobranym sposobem postępowania z odpadami.

Przeprowadzona ocena pozwala wyeliminować czynniki szkodliwe dla środowiska, wskazuje miejsca największego zużycia zasobów naturalnych, pozwala doskonalić produkt, może przynieść oszczędności i większe zyski, a przez to motywuje przedsiębiorstwo do wdrażania idei czystszej produkcji. LCA wspomaga podejmowanie decyzji, zmusza do doskonalenia ciągu technologicznego i kreuje pozytywny, ekologiczny wizerunek zakładu.

Doświadczenia i badania zagraniczne pokazują, że warto wspomagać się metodą LCA w zarządzaniu gospodarką odpadami. W warunkach polskich metoda ta jest gorąco polecana, lecz do tej pory rzadko wykorzystywana przez samorządowców do zarządzania odpadami. Wykonane szczegółowe badania przyczyniają się do dokładnego poznania rynku wytwarzania odpadów i ich zagospodarowania. Ponadto badania mogą posłużyć do oceny już wdrożonych rozwiązań i jakości funkcjonowania systemu gospodarki.

**Literatura**

1. Villeneuve J., Michel P, Fourent D., Lafon C., Ménard Y., Wavrer P., Guyonnet D.: Process-based analysis of waste management systems: A case study. „Waste Management”, nr 29/2009, s. 2-11
2. Kulczycka J., Henclik A. [on-line]: Ocena cyklu życia (CLA) w systemie gospodarki odpadami, Kraków 2009. Dostępny w Internecie: [www.spalarnia.krakow.pl/getFile.php?type=file&id=283](http://www.spalarnia.krakow.pl/getFile.php?type=file&id=283)
3. Wittmaier M., Langer S., Sawilla B.: Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development of waste utilization systems – Applied examples for a region in Northern Germany „Waste Management”, nr 29/2009, s. 1732-1738
4. De Boer J., Jager J., Szpadt E., Maków I., Mrowiński P., Sebastian M., Szpadt R.: Zastosowanie analizy cyklu życia do modelowania rozwoju zintegrowanych strategii gospodarki odpadami dla szybko rozwijających się miast i regionów, V Jubileuszowe Międzynarodowe FORUM Gospodarki Odpadami, Poznań-Gniezno 2003.
5. KOMISJA EUROPEJSKA – KOMUNIKAT PRASOWY: IP/12/334.
6. 3173rd ENVIRONMENT Council meeting Luxembourg: Conclusions on setting the framework for a Seventh EU Environment Action Programme, 11 June 2012. Dostępny w Internecie: [http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms\\_data/docs/pressdata/en/envir/130788.pdf](http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/envir/130788.pdf)
7. Jędrzak A., Szpadt R.: Określenie metodyki badań składu sitowego, morfologicznego i chemicznego odpadów komunalnych, Zielona Góra, 2006, s. 34-38. Dostępny w Internecie: [http://www.pigo.org.pl/sites/komunikaty/2006\\_08\\_11/raport\\_metody\\_badan\\_skladu022006.pdf](http://www.pigo.org.pl/sites/komunikaty/2006_08_11/raport_metody_badan_skladu022006.pdf)
8. ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
9. Den Boer E., Szpadt R.: Charakterystyka biodegradowalnych frakcji odpadów komunalnych oraz stopnia ich rozkładu w procesach tlenowych i beztlenowych, Zarządanie Gospodarką Odpadami, Wydawca: Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Wielkopolski, Poznań 2008.
10. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001r. o odpadach (Dz. U. z 2001 r. Nr 62, poz. 628 z póź. zm.)
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r.w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. Nr 112, poz. 1206)
12. Kirkeby J., Birgisdottir H., Hansen T.L., Christensen T., Bhandar G.S., Hauschild M., 2006a, Environmental assessment of solid waste systems and technologies: EASEWASTE. Waste Management and Research 24, s.3-15
13. Kirkeby J., Birgisdottir H., Hansen T.L., Christensen T., Bhandar G.S., Hauschild M., 2006b, Evaluation of environmental impacts from municipal solid waste management in the municipality of Aarhus, Denmark (EASEWASTE). Waste Management and Research 24, s.16-26
14. Kulczycka J., Pietrzyk-Sokulska E., Góralczyk M., Koneczna R., Spielmann M., Merl A.: Opracowanie metodyki LCA dla oceny projektów infrastrukturalnych, Kraków 2008
15. Czaplicka K., Wachowicz J., Bojarska-Kraus M.: Ekoprojektowanie wyrobów z zastosowaniem ekowskaźnika na przykładzie komputera osobistego, I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „EKOLOGIA W ELEKTRONICE”, Warszawa 2000
16. Ewaluacja gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce, Red. Kulczycka J., Pietrzyk-Sokulska E., Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2009, s. 59-71
17. GEMIS 4.14. Global emission model of integrated systems. Darmstadt: Institute for Applied Ecology.