

Bogusław Bieda*

EKOLOGICZNA OCENA CYKLU INWESTYCJI (LCI) JAKO SYSTEM WSPOMAGANIA DECYZJI W ZARZĄDZANIU ŚRODOWISKIEM W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI

Ekologiczna Ocena Cyklu Inwestycji (LCI) stanowiąca element techniki LCA jest traktowana jako Systemy Wspomagania Decyzji, zaś metodologia prowadzenia badań techniką LCA jest ciągle w fazie wczesnego rozwoju. Artykuł zawiera opis techniki LCI zastosowanej do analizy opłacalności inwestycji proekologicznej, jaką jest projekt Zakładu Utylizacji Odpadów, opartej na porównaniu dwóch technologii gazyfikacji odpadów z odzyskiem energii za pomocą metody zdyskontowanych przepływów pieniężnych NPV. Analiza ta odbywa się w warunkach niepewności.

Słowa kluczowe: Ekologiczna Ocena Cyklu Życia (LCA), Ekologiczna Ocena Cyklu Inwestycji (LCI), symulacja Monte Carlo (MC), wartość bieżącą netto (NPV)

DECISION SUPPORT SYSTEMS BASED ON THE LIFE CYCLE INVENTORY (LCI) – PART OF A ECOLOGICAL LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT UNDER UNCERTAINTY

This paper is dealing with the ecological Life Cycle Assessment – a relative new method of environmental impact assessment. In the second chapter is described the International Standards ISO 14 000-ISO 14001. The third chapter concerns the development the LCA methods and its main stages – ISO 14040 (1997), ISO 14041 (1998), ISO 14042 (2000), ISO 14043 (2000). and is given the car life cycle case study. LCI method was used for scenarios for the waste pyrolysis process. Paper uses stochastic modeling based on the IRR and NPV values for investment assessment. The Monte Carlo simulation with the Excel spreadsheet and Crystal Ball software was used to develop scenarios under uncertainty inputs.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Inventory (LCI), Monte Carlo Simulation (MCS), Net Present Value (NPV)

1. WPROWADZENIE

Problemy techniki LCA zostały po raz pierwszy poruszone przez Harolda Smitha, który zaprezentował w 1969 r. wynik swoich badań na Światowej Konferencji Energetycznej (*World Energy Conference*). Pełne teoretyczne podstawy techniki LCA ustalono podczas konferencji w Vermont. Wtedy też nastąpiło wprowadzenie nazwy „Ocena Cyklu Życia” (LCA) [8, 11]. Po konferencji w Vermont wzrosło zainteresowanie zagadnieniami LCA. W wyniku starań o ujednolicenie techniki Ekologicznej Oceny Cyklu Życia (LCA) do norm ISO 14000 wprowadzono grupę norm ISO 14040-14044, dotyczących zagadnień i problematyki LCA.

* Katedra Informatyki Stosowanej, Wydział Zarządzania, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Ekologiczna Ocena Cyklu Inwestycji (LCI) stanowiąca element techniki LCA jest traktowana jako System Wspomagania Decyzji pozwalający na skupienie i wizualizację wszystkich dostępnych istotnych informacji mających związek z daną problematyką. Artykuł będzie dotyczył wspomagania zarządzania środowiskiem w warunkach niepewności.

2. OCENA CYKLU ŻYCIA (LCA)

W krajach członkowskich Unii Europejskiej coraz więcej firm, stosuje lub wprowadza zintegrowany system zarządzania zwany Systemem Zarządzania Środowiskiem (SZŚ) – *Environmental Management System* (EMS). Norma ta ma na celu zapewnienie ogólnej skuteczności systemu – niekoniecznie we wszystkich obszarach działalności środowiskowej, lecz zgodnie z polityką ekologiczną przedsiębiorstwa, a zajmuje się tym Podkomitet 1 [6, 8]. Natomiast standaryzacją w dziedzinie Ekologicznej Oceny Cyklu Życia zajmuje się Podkomitet 5 *Life Cycle Assessment* (LCA). Zasady techniki LCA zostały szczegółowo opisane w czterech następujących normach: ISO 14040 (1997), ISO 14041 (1998), ISO 14042 (2000), ISO 14043 (2000).

Stosowanie techniki Ekologicznej Oceny Cyklu Życia obejmuje cztery etapy [5].

1. Cele i zakres badań (ISO 14040):
 - określenie celów badań,
 - wybór jednostki funkcjonalnej¹,
 - określenie granic systemu,
 - skonstruowanie bazy danych wymagań jakościowych.
2. Analiza bilansowa systemu (ISO 14041):
 - tworzenie drzewa cyklu życia,
 - baza danych – dane wejściowe oraz dane wyjściowe,
 - tworzenie katalogu, czyli sumy poszczególnych jednostek funkcjonalnych,
 - analiza danych wejściowych oraz danych wyjściowych.
3. Ocena wpływu na środowisko (ISO 14042):
 - wybór kategorii wpływu,
 - określenie elementów katalogu mających wpływ na środowisko – klasyfikacja,
 - określenie ich udziału we wpływie na środowisko – charakterystyka,
 - przyporządkowanie wagi każdej kategorii wpływu – ważenie.
4. Interpretacja rezultatów (ISO 14043):
 - określenie mocnych i słabych punktów analizowanych przypadków,
 - systematyczna analiza celów badań,
 - ocena wyników na zgodność z celem i zakresem badań poprzez:
 - tworzenie dodatkowej bazy danych,

¹ W literaturze polskiej spotyka się też termin „jednostka funkcyjna”, Cieślak A.: *Ekologiczna ocena cyklu życia produktu. Zapobieganie stratom w przemyśle*. Białystok, 1999.

- analizę wrażliwości, scenariusze,
- szczegółową analizę granic systemu,
- wskazanie innych, możliwych rozwiązań (np. ekoetykiewanie-etykietowanie środowiskowe).

2.1. ANALIZA BILANSOWA SYSTEMU – INWENTARYZACJA DANYCH – EKOLOGICZNA OCENA CYKLU INWESTYCJI – (LCI)

LCI (*Life Cycle Inventory*) dotyczy inwentaryzacji materiałów, energii, emisji gazów, itp. związanych z produktem lub procesem, począwszy od użytych surowców do uzyskania produktu końcowego [10]. Ekologiczna Ocena Cyklu Inwestycji jest częścią Ekologicznej Oceny Cyklu Życia. LCA może pomóc w przygotowaniu proekologicznej strategii inwestycyjnej i zawiera następujące elementy wspomagania decyzji: porównywanie alternatywnych materiałów, produktów, procesów technologicznych porównywanie użytych surowców oraz danych dotyczących emisji zanieczyszczeń w danym procesie technologicznym.

3. FINANSOWE ASPEKTY TECHNIKI LCI W OCHRONIE ŚRODOWISKA

Technika LCA, a pośrednio technika LCI, przynosi wymierne korzyści przedsiębiorstwom (m.in. finansowe) działającym w dziedzinie gospodarki odpadami. Technika ta, jako narzędzie wspomagające producentów i decydentów przy podejmowaniu decyzji o charakterze środowiskowym, nie uwzględnia bezpośrednio aspektów dotyczących kwestii finansowych. W artykule przedstawiono przykład wyboru pomiędzy dwoma termicznymi technologiami utylizacji odpadów metodą pirolizy, zawartymi w projekcie Zakładu Utylizacji Odpadów dla miasta Konina. Pierwszy scenariusz dotyczy technologii australijskiej (tab. 1), natomiast drugi opisuje amerykański proces zastosowany do termicznego przekształcenia odpadów metodą pirolizy (tab. 2). W celu analizy opłacalności tej proekologicznej inwestycji zastosowano metodę zdyskontowanych przepływów pieniężnych – zaktualizowaną wartość netto NPV (*Net Present Value*) oraz wewnętrzną stopę zwrotu IRR (*Internal Rate of Return*). Analiza każdej z dwóch technologii obejmuje tylko wpływ kosztów inwestycji tych technologii, natomiast reszta elementów zdyskontowanych przepływów pieniężnych, tj. przychody oraz koszty działalności operacyjnej, pozostają bez zmian.

4. WYKORZYSTANIE TECHNIKI LCI W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI

Zarządzanie środowiskowe zwykle jest zarządzaniem w warunkach niepewności. Dlatego też wykorzystanie techniki LCA, a pośrednio również LCI, w projektach inwestycyjnych związanych z ochroną środowiska jest działaniem w warunkach niepewności.

Tabela 1
Pierwszy scenariusz – technologia australijska

Przychody ze sprzedaży	1 rok	2 rok	3 rok	15 rok
Opłata za odpady (120 zł/Mg)	10 050 000	10 050 000	10 050 000	10 050 000
Przychód ze sprzedaży energii (0,16 zł/kWh)	8 928 000	8 928 000	8 928 000	8 928 000
Inne przychody ze sprzedaży	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000
Całkowity przychód	20 978 000	20 978 000	20 978 000	20 978 000
Koszty całkowite	12 800 900	12 302 900	11 804 900	5 828 900
Dochód netto	7 441 161	7 894 341	8 347 521	12 270 771
Amortyzacja	423 200	423 200	423 200	423 200
Dotacja	25 000 000			
Zysk całkowity	32 864 361	8 317 541	8 770 721	12 693 971
Koszt inwestycji				
Zarządzanie projektem	4 081 278			
Komora gazyfikacji	29 836 275			
Reaktor termiczny	7 460 535			
Kocioł parowy	8 071 260			
Dmuchawy & automatyka		792 500		
Ciągły monitoring emisji gazów			932 000	
Układ turbina – generator			7 268 300	
Automatyka			15 000 000	
Instalacja – nadzór inwestorski			855 800	
Zysk całkowity – koszt inwestycji	-16 584 987	7 525 041	-15 285 379	9 223 901

NPV = 12 839 521,65 zł
IRR = 26%

Tabela 2
Drugi scenariusz – technologia amerykańska

Przychody ze sprzedaży	1 rok	2 rok	3 rok	15 rok
Oплата za odpady (120 zł/Mg)	10 050 000	10 050 000	10 050 000	10 050 000
Przychód ze sprzedaży energii (0,16 zł/kWh)	8 928 000	8 928 000	8 928 000	8 928 000
Inne przychody ze sprzedaży	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000
Całkowity przychód	20 978 000	20 978 000	20 978 000	20 978 000
Koszty całkowite	12 800 900	12 302 900	11 804 900	5 828 900
Dochód netto	7 441 161	7 894 341	8 347 521	12 270 771
Amortyzacja	423 200	423 200	423 200	423 200
Dotacja	25 000 000			
Zysk całkowity	32 864 361	8 317 541	8 770 721	12 693 971
Koszt inwestycji				
Zarządzanie projektem	2 012 500			
Prace projektowe	670 000			
Komora gazyfikacji	5 270 000			
System generacji gazu		64 800 000		
Ciągły monitoring emisji gazów			3 336 600	
System automatycznego załadunku			424 000	
Opracowanie projektu			3 636 000	
Koszty wdrożenia projektu			1 600 000	
Wypożyczenie biura & komputery			167 500	
Wypożyczenie dodatkowe (podnośniki, itp.)			1 256 000	
Rezerwa (<i>contingency</i>)			4 000 000	
Wydatki razem	7 952 500	64 800 000	14 420 100	
Zysk całkowity – koszt inwestycji	24 911 861	-56 482 459	-5 649 379	12 290 591

NPV= 5 300 678,90 zł
IRR = 20%

Działanie w warunkach niepewności dotyczy:

- danych wejściowych potrzebnych do analiz ekonomiczno-projektowych (są one często niekompletne, lub niedokładne); często też mamy do czynienia z dezaktualizacją danych przy prognozach długoterminowych [7];
- szacunku kosztów inwestycyjnych;
- ceny energii elektrycznej, gazu, itp.

Często informacja odnośnie niepewności w LCI nie może być wcześniej wychwycona i umieszczona w bazie danych LCI, ponieważ znaczna część tej informacji powstaje w praktyce, bazując na relacji między danymi. Kiedy jest możliwość określenia głównych parametrów niepewności, wówczas jest możliwość ich wyeliminowania lub przynajmniej zredukowania poprzez modelowanie [7]. Do rozwiązania problemu podejmowania decyzji w warunkach niepewności służą różne modele zarządzania. Stąd można powiedzieć, że elementy niepewności w technice LCI obejmują:

- niepewność lub niepełną informację dotyczącą parametrów modelu;
- niepewność związaną z interpretacją wyników symulacji.

4.1. SYMULACJA MONTE CARLO (MC)

W artykule opisano symulację Monte Carlo (MC) z użyciem programu Cristal Ball, opracowanego przez amerykańską firmę Decisioneering Inc. z Denver, w oparciu o model zbudowany z wykorzystaniem funkcji arkusza kalkulacyjnego [3]. Podstawą użycia programu Cristal Ball jest stworzenie modelu symulacyjnego, który jest modelem probabilistycznym.

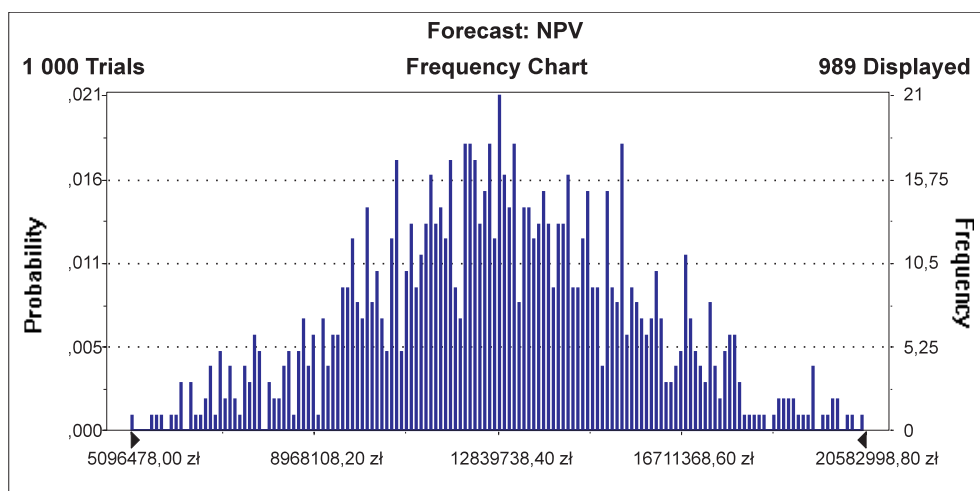
Aby zastosować program Cristal Ball, wykonano następujące czynności:

1. Opracowano model symulacyjny z wykorzystaniem funkcji arkusza kalkulacyjnego (tab. 1 i 2).
2. Określono zmienne, które mają być zmiennymi probabilistycznymi. W tym celu zdefiniowano dla poszczególnych zmiennych odpowiedni rozkład prawdopodobieństwa, hipotezy (*Assumptions*). Program Cristal Ball w wersji profesjonalnej oferuje 16 typów rozkładów prawdopodobieństwa (na przykład: równomierny, trójkątny, normalny Gaussa, itp.). Tymi zmiennymi są komórki arkusza kalkulacyjnego, zawierające odpowiednie koszty inwestycji: dla scenariusza pierwszego jest to technologia australijska, natomiast w przypadku scenariusza drugiego chodzi o technologię amerykańską. W pracy zastosowano rozkład normalny Gaussa.
3. Określono komórkę(-i) arkusza, w której(-ych) umieszczono prognozę (*Forecasts*). W obu scenariuszach chodzi o komórkę zawierającą wartość bieżącą netto – NPV.
4. Wykonano symulację.

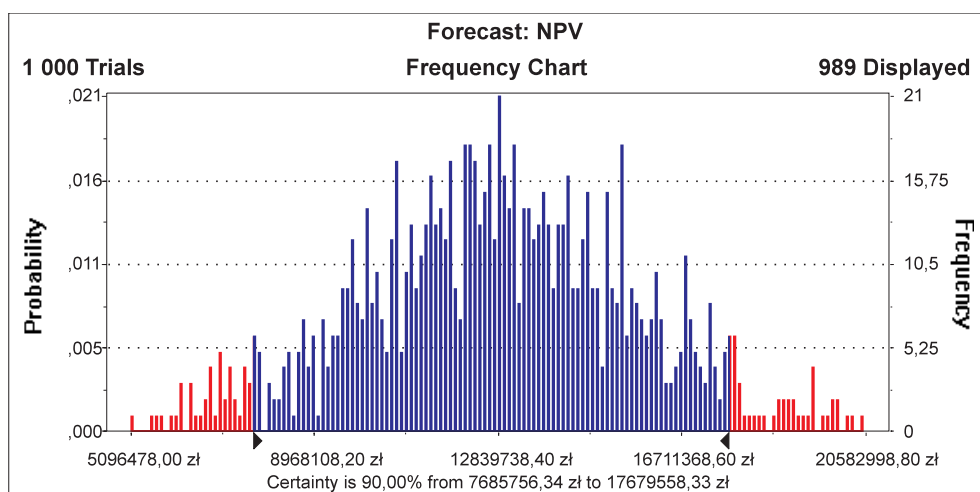
Ogólne graficzne przedstawienie wyników symulacji otrzymuje się między innymi w postaci: histogramu (*Frequency Charts*), dystrybucyj (Cumulative Charts), raportu statystycznego (*Statistic Reports*) oraz analizy wrażliwości (*Sensitivity Analysis*), która wskazuje, jaki jest wpływ poszczególnych parametrów wejściowych na wynik końcowy prognozy.

Zaletami symulacji jest to, że dostarcza ona wiedzy lub proponuje system bez ingerowania, budowania lub modyfikowania istniejącego systemu. Ponadto modele symulacyjne w programie Cristal Ball integrują narzędzie statystyczne, optymalizacyjne i prognostyczne, eliminując element niepewności i nieufności w deterministycznych wartościach NPV, zastępując każdą niepewną wartości poprzez znany rozkład prawdopodobieństwa [1].

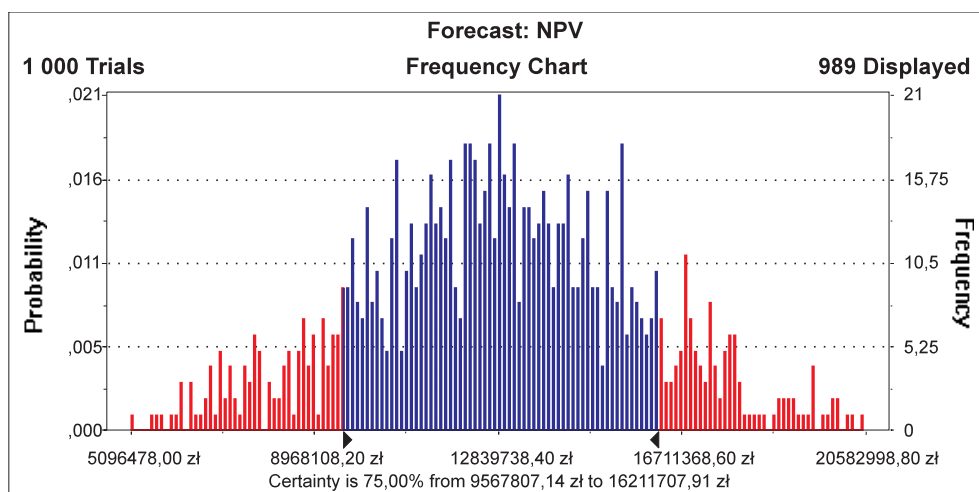
Wyniki symulacji zastosowania technologii australijskiej zostały przedstawione na rysunkach 1–5.



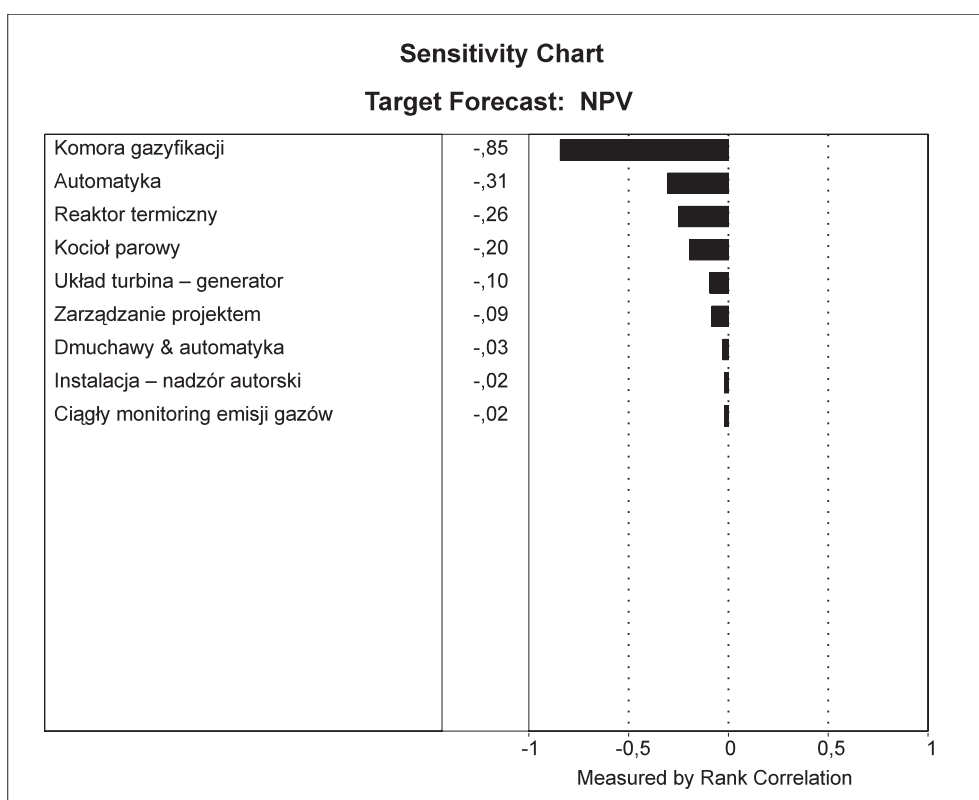
Rys. 1. Histogram dla poziomu ufności = 100%



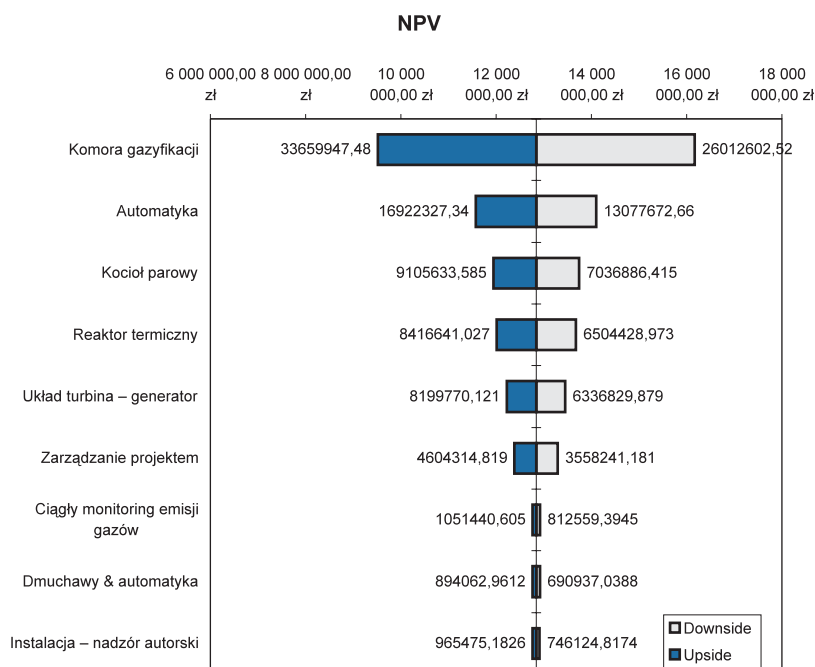
Rys. 2. Histogram dla poziomu ufności = 90%



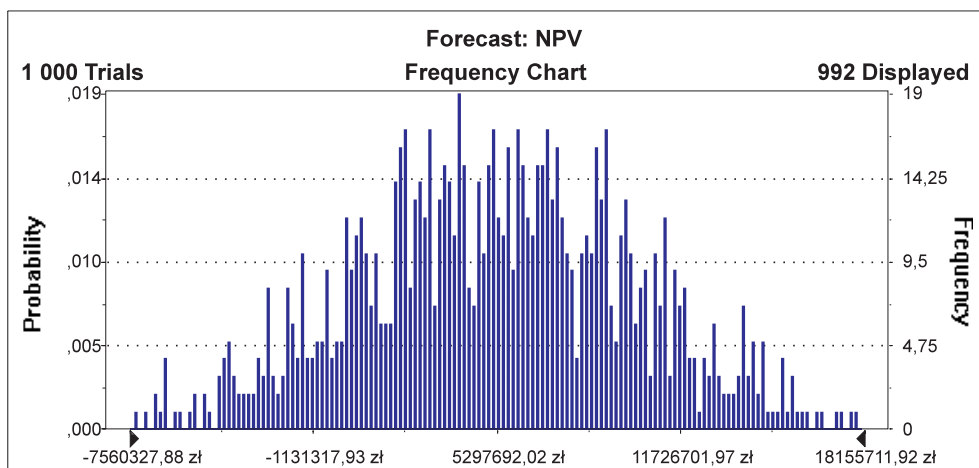
Rys. 3. Histogram dla poziomu ufności = 75%



Rys. 4. Analiza wrażliwości

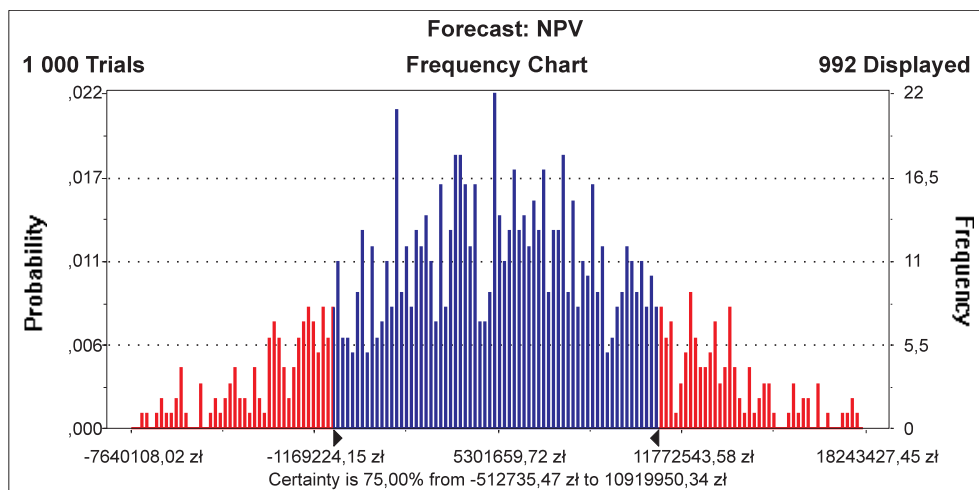


Rys. 5. Wykres typu Tornado

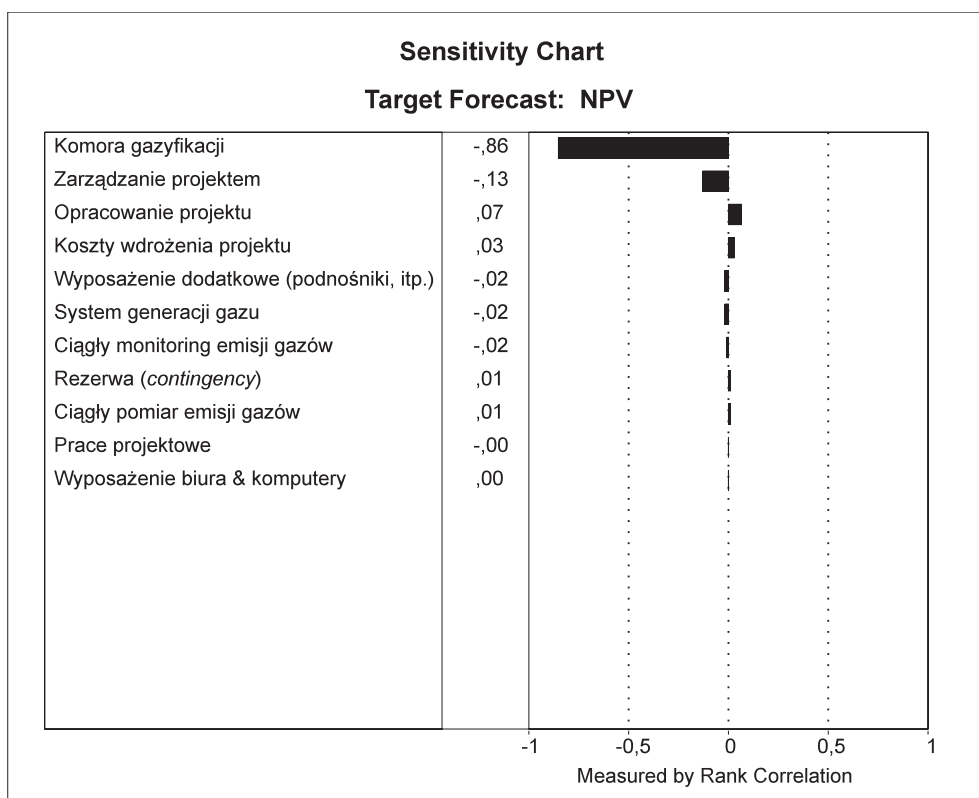


Rys. 6. Histogram dla poziomu ufności = 100%

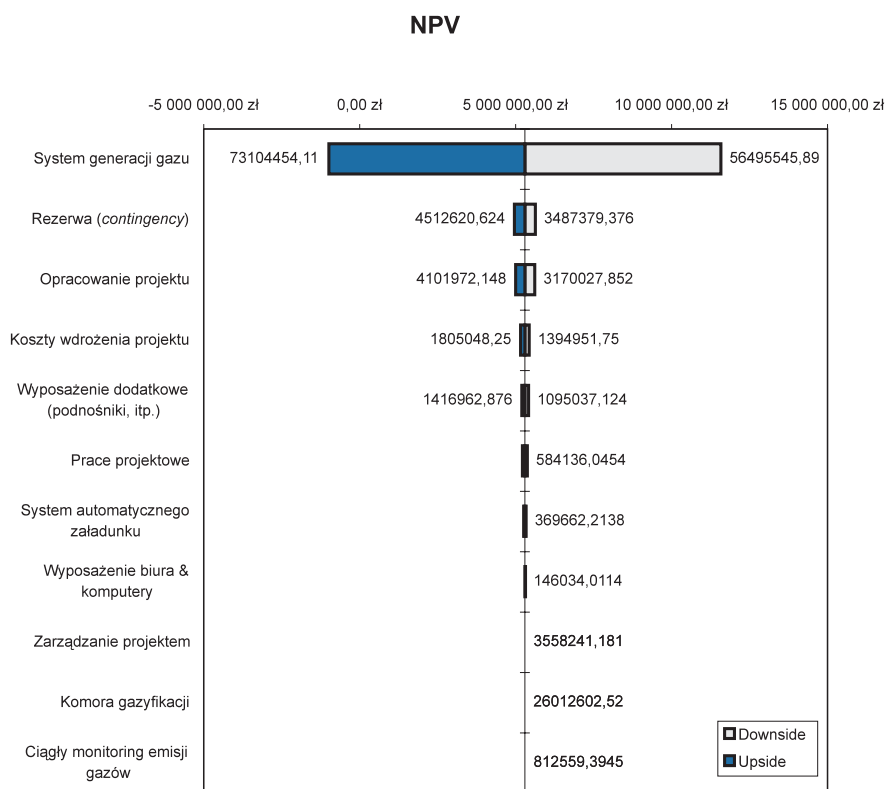
Efekty wykorzystane w technologii amerykańskiej odpowiednio na rysunkach 6–9.



Rys. 7. Histogram dla poziomu ufności = 75%



Rys. 8. Analiza wrażliwości



Rys. 9. Wykres typu Tornado

5. WNIOSKI

Wartości bieżące netto obliczone w oparciu o funkcję finansową NPV arkusza kalkulacyjnego Excel wynoszą 12 839 521,65 zł dla scenariusza 1 i 5 300 678,90 zł dla scenariusza 2 i są mniejsze aniżeli średnie wartości NPV obliczone za pomocą programu Cristal Ball, wynoszące odpowiednio 5 301 659,72 zł i 12 839 738,40 zł. Analiza wrażliwości danych wejściowych symulacji jest uważana przez niektórych autorów za najważniejszy wynik symulacji Monte Carlo z użyciem programu Cristal Ball [2–4]. Metoda wskazuje, który parametr wejściowy modelu ma największy wpływ na wynik końcowy symulacji. Tym samym określony jest wynik ostateczny prognozy (*Forecast Parameter*). Analiza wrażliwości oparta jest na porównywaniu współczynników korelacji posortowanych w sposób malejący. Dodatnie współczynniki korelacji wskazują, że przyjęcie ostrzejszych założeń jest związane z uzyskaniem większego prawdopodobieństwa w prognozie. Natomiast ujemne współczynniki korelacji wskazują na tendencję odwrotną. Współczynniki korelacji wiążą hipotezę z prognozą [6].

Program Cristal Ball integruje w sobie narzędzie statystyczne, optymalizacyjne i prognostyczne, eliminując element niepewności i nieufności, przez co stanowi on bardzo istotne narzędzie i pomoc w podejmowaniu optymalnej decyzji.

Analiza wrażliwości (rys. 4 i 7) przedstawionego modelu wskazuje, że zarówno w przypadku scenariusza pierwszego, jak i drugiego koszt komory gazyfikacji ma największy wpływ na całkowity koszt inwestycji. Współczynniki korelacji są ujemne, to można to zinterpretować, że wzrost kosztów związanych z zakupem komór gazyfikacyjnych ma odwrotnie proporcjonalny wpływ na całkowity koszt inwestycji.

Zaletą symulacji Monte Carlo z użyciem programu Cristal Ball jest możliwość określenia poziomu ufności (*Certainty Level*) poprzez zadanie zakresu wartości NPV. Można również przeprowadzić operację odwrotną. Ustalając wartość poziomu ufności, określić można odpowiadający mu przedział wartości NPV. Z histogramów pokazanych na rysunkach 2, 3 i 6 dla ustalonej wartości poziomów ufności 90% i 75% można odczytać odpowiadające im przedziały wartości NPV.

Metodologia prowadzenia badań techniką LCA jest ciągle w fazie wczesnego rozwoju i dlatego należy wykonać jeszcze wiele prac i zebrać doświadczenia z praktycznego stosowania tej techniki [8].

Literatura

- [1] Bieda B.: *Zastosowanie systemu sterowania rozproszonego LONWORKS jako standardu BAT w zagadnieniach zrównoważonego zarządzania glebami i obszarami przemysłowymi na przykładzie składowiska odpadów komunalnych i przemysłowych*. Zrównoważone zarządzanie obszarami przemysłowymi, Kraków, Wydawnictwo IGSMiE PAN 2005
- [2] Bradley M.: *Improving Negotiation through Monte Carlo Simulation*. <http://www.decisionengineering.com/support/whitepaper/brady.htm> 1
- [3] Evans J.R., Olson D.L.: *Introduction in Simulation and Risk Analysis*. New Jersey, Prentice Hall 1998
- [4] Gaudet N.: *Design of in-situ biofilters*. Master thesis, Civil Engineering Department, University of Ottawa, ON, 1997
- [5] http://www.ecobalance.com/uk_lca04.php
- [6] Lemański J.F.: *System Zarządzania Środowiskiem zgodnie z normą ISO 14000*. Przegląd Komunalny, 1(64), 1997
- [7] Norris G.: *The Many Dimensions of Uncertainty Analysis in LCA*. http://www.athenasmi.ca/papers/down_papers/UncertaintyAnalysis_in_LCA.pdf
- [8] Kulczycka J (red.): *Ekologiczna ocena cyklu życia (LCA) nową techniką zarządzania środowiskowego*. Kraków, Wydawnictwo IGSMiE PAN 2001, 17
- [9] Raport SETAC: *Ewolucja i rozwój ramy pojęciowej i metodologii oceny wpływu cyklu życia*. Styczeń 1998
- [10] Vigon B.: *Life-cycle assessment: Inventory guidelines and principles*. EPA/600/R-92/245, US Environmental Protection Agency, Cincinnati
- [11] Van Nieuwenhuijzen i in.: *Identification and Evaluation of Wastewater Treatment scenarios, based on Physical/Chemical Pretreatment*, <http://www.ct.tudelft.nl/wmg/sanitary/stowares.htm>