

16

IMPLEMENTACJA OCENY CYKLU ŻYCIA W WYZNACZANIU KOSZTÓW ZEWNĘTRZNYCH FUNKCJONOWANIA ELEKTROCIEPŁOWNI KONWENCJONALNYCH W POLSCE – STUDIUM PRZYPADKU

16.1 WPROWADZENIE

Pomimo przyjętych wielu strategii minimalizacji antropopresji na środowisko, jego eksploatacja, a co z tym się wiąże również degradacja, są nieuniknione. Pierwszeństwo w tej kwestii wiedzy przemysł energetyczny, którego obecne metody produkcji energii elektrycznej i ciepłej oraz metody zaspokajania potrzeb energetycznych świata, nie zapewniają możliwości zrównoważonego rozwoju (sustainable development). Zapotrzebowanie na energię na świecie ciągle rośnie, chociaż energochłonność na jednostkę dochodu narodowego brutto (DNB – Gross National Product) zmalała. Według badań Eurostatu „energochłonność w UE stale zmniejszała się w latach 2003-2009, po czym wzrosła w 2010 i szybko obniżyła się w 2011 roku. Ta pozytywna tendencja została odnotowana w kontekście zupełnego oddzielenia krajowego zużycia energii brutto od wzrostu gospodarczego” [34]. Tak więc, nie ulega wątpliwości, że zarówno kraje rozwijające się jak i rozwinięte będą dążyć do wzrostu bezpieczeństwa i nowoczesności swojego przemysłu energetycznego oraz budować nowe elektrownie bądź elektrociepłownie.

Polska jako kraj członkowski UE ma wyznaczone w tym zakresie cele, które zawiera dokument „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” (PEP), i są nimi [22]:

- poprawa efektywności energetycznej;
- wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii;
- dywersyfikacja struktury wytwarzania energii elektrycznej poprzez wprowadzenie energetyki jądrowej (EJ);
- rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE), w tym biopaliw;
- rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii;
- ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko.

„Polityka energetyczna Polski” odwołuje się również do poprawy efektywności energetycznej, czyli do [22]:

- osiągnięcia zero energetycznego wzrostu gospodarczego, tj. rozwoju gospodarki następującego bez wzrostu zapotrzebowania na energię pierwotną,
- obniżenia do 2030 roku energochłonności gospodarki w Polsce do poziomu UE-15 z roku 2005.

Polska, jako kraj pozyskujący energię elektryczną głównie z paliw pierwotnych, którymi są węgiel kamienny i brunatny, nie może z dnia na dzień odejść od obecnej struktury wytwarzania energii elektrycznej. Będzie to proces długotrwały, wymagający znacznych nakładów finansowych, rozłożony na dekady. Dlatego też należy w sposób profesjonalny monitorować sposób wytwarzania energii elektrycznej w polskich elektrowniach, zwłaszcza tych opalanych węglem. Pozwoli to właściwie ocenić sposób i efektywność wykorzystania surowców nieodnawialnych, porównać nowoczesność technologii, ilości szkodliwych emisji do atmosfery, a jednocześnie wskazać na elementy środowiska, na które ten wpływ jest największy i najbardziej szkodliwy (czyli koszty zewnętrzne działalności elektrowni).

Monitorowanie i ocena działalności przemysłu energetycznego jest tym istotniejsza, gdyż PEP wprowadza ograniczenia w zakresie oddziaływania energetyki na środowisko, a mianowicie [22]:

- emisji CO₂ do wielkości możliwej technicznie do osiągnięcia bez naruszania bezpieczeństwa energetycznego, a w szczególności zrównoważenia zapotrzebowania na energię z podażą, jednak bez konieczności takiej zmiany technologii produkcji, która powodowałaby zmniejszenie bezpieczeństwa poprzez zbytne uzależnienie się od importu paliw i energii,
- emisji SO₂ do poziomu ustalonego w Traktacie Akcesyjnym,
- emisji NO_x poczynając od 2016 r. zgodnie ze zobowiązaniami przyjętymi przy akcesji do UE,
- oraz zmianę struktury wytwarzania energii w kierunku technologii niskoemisyjnych, jak również źródeł skojarzonych i rozproszonych.

Zarówno, w określaniu wpływu na środowisko wytwarzania energii elektrycznej w różnych elektrowniach, jak i określaniu efektów zewnętrznych działalności elektrowni, dobrą techniką oceny jest metoda ekologicznej oceny cyklu życia – LCA (ang. Life Cycle Assessment) Z literatury przedmiotu wynika, iż technika ta ma wiele zastosowań na świecie i w kraju, jednak ciągle jest doskonała i wyszukiwane są kolejne [2], [3], [4], [5], [7], [14], [15], [16], [21], [31], [35].

W publikacji zaprezentowano ocenę porównawczą wytwarzania energii elektrycznej (w kogeneracji) wykorzystującą technikę LCA przy zastosowaniu programu SimaPro, w którym można powiązać kategorie oddziaływania z kosztami zewnętrznymi. Korelacja obu kategorii wykaże słuszność zastosowania tej techniki w ekologicznej ocenie elektrociepłowni oraz zastosowania jako uzupełnienie projektu Komisji Europejskiej pod nazwą ExterneE (External Costs of Energy).

16.2 METODOLOGIA LCA, ZAKRES BADANIA

Ocena cyklu życia (LCA) jest uznaną techniką badawczą, opartą na normach ISO 14044, która ma na celu określenie zagrożeń środowiskowych wynikających przykładowo z: funkcjonowania przedsiębiorstwa (elektrociepłowni, huty, kopalni), wytworzenia towaru lub porównania do siebie kilku towarów (proekologiczności procesów wytwórczych). Według definicji zawartej w normie ISO 14050 LCA to „technika mająca na celu ocenę zagrożeń środowiskowych związanych z systemem wyrobu lub działaniem, zarówno przez identyfikowanie oraz ocenę ilościową zużytych materiałów i energii, odpadów wprowadzanych do środowiska, jak i ocenę wpływu tych materiałów, energii i odpadów na środowisko. Ocena dotyczy całego okresu życia wyrobu lub działania – począwszy od wydobycia i przetwórstwa surowców mineralnych, proces produkcji wyrobu, dystrybucji, stosowania, wtórnego wykorzystania, utrzymania, recyklingu i końcowego zagospodarowania oraz transportu”.

Ocena cyklu życia zgodnie z metodyką przedstawioną w normach ISO 14040:2006 i ISO 14044:2006 obejmuje następujące fazy [20]:

1. określenie celu i zakresu (Goal and scope definition);
2. analizę zbioru wejść i wyjść (LCI – Life Cycle Inventory);
3. ocenę wpływu cyklu życia (LCIA – Life Cycle Impact Assessment);
4. interpretację wyników (Interpretation).

Ponadto w zależności od potrzeb przedsiębiorstwa/organizacji i podejmowanych decyzji, LCA można wykonywać na różnym poziomie szczegółowości, co prezentuje tabela 16.1.

Tabela 16.1 Zastosowanie LCA a poziom szczegółowości

Lp.	Podejmowane decyzje	Poziom LCA		
		konceptyjny	uproszczony	szczegółowy
1.	Projektowanie	+	+	-
2.	Udoskonalanie produktu	-	+	+
3.	Analizy porównawcze	-	+	+
4.	Ekoetykietowanie	-	+	-
5.	Ustanawianie norm	-	+	-
6.	Planowanie strategii rozwoju	+	+	-
7.	Działania marketingowe	-	+	+
8.	Kształtowanie polityki produktowej	+	-	+

Źródło: [14].

Z uwagi na ogromną czasochłonność przeprowadzania LCA i utrudnienia w zbieraniu danych, technika ta znalazła swoje zastosowanie w różnorodnych programach komputerowych, których zadaniem jest uproszczenie i przyspieszenie przeprowadzenia badania. W artykule wykorzystano szerokie możliwości programu SimaPro, którego metodologia oparta jest właśnie na norma ISO serii 14040 dotyczących LCA. Program ten w obliczeniach wykorzystuje metodę oceny zwaną Eco-indicator 99 (j. pol. – ekowskażnik 99), dzięki czemu wyniki końcowej analizy możemy uzyskać w postaci 3 kategorii szkód (zdrowie ludzkie, jakość ekosystemu i zasoby) lub

11 kategorii oddziaływania (związki rakotwórcze, wpływ na układ oddechowy - związki organiczne, wpływ na układ oddechowy - związki nieorganiczne, zmiany klimatu, promieniowanie, warstwa ozonowa, ekotoksyczność, zakwaszenie/eutrofizacja, zagospodarowanie terenu, minerały, paliwa kopalne), których zależność prezentuje tabela 16.2.

Tabela 16.2 Zależność kategorii szkód do kategorii oddziaływań w metodzie Eco-indicator 99

L.p.	Kategorie szkód	Kategorie oddziaływań
1.	Zdrowie ludzkie	Związki kancerogenne Zw. organiczne- wpływ na układ oddechowy Zw. nieorganiczne- wpływ na układ oddechowy Zmiany klimatu Radiacja Dziura ozonowa
2.	Jakość ekosystemu	Ekotoksyczność Zakwaszenie/eutrofizacja Użytkowanie ziemi
3.	Surowce	Minerały Paliwa kopalne

Źródło: [14], [32].

Wyniki analizy LCA (zaprezentowane w punkcie 4 artykułu) wyrażone są w punktach ekowskaźnika (Pt), gdzie 1 Pt ekowskaźnika to wartość reprezentująca jedną tysięczną rocznego obciążenia środowiska przypadającą na jednego mieszkańca Europy. Wartość tę oblicza się poprzez podzielenie całego obciążenia środowiska w Europie przez liczbę mieszkańców i pomnożenie przez 1000 (czynnik skali) [1], [15], [35].

Badania autorów artykułu swoim zakresem obejmują ekologiczną ocenę cyklu życia kilku wybranych polskich elektrociepłowni opalanych surowcami konwencjonalnymi oraz porównanie wpływu ich produkcji na środowisko. Badania te mogą stanowić uzupełnienie badania kosztowego (prowadzanego dla energetyki w programie Komisji Europejskiej) pod nazwą ExterneE (External Costs of Energy). Kategoriami oceny kosztów zewnętrznych w tym programie są najczęściej: zdrowie ludzkie (śmiertelność i zachorowalność), materiały budowlane, rośliny, globalne ocieplenie, straty rekreacyjne, jakość ekosystemów. Jeden z najnowszych programów projektu ExterneE, realizowany był w latach 2009-2012 pod nazwą LC-Impact – Life Cycle Impact Assessment. Program ten metodologicznie powiązany jest z LCA, lecz zastosowanie go w energetyce ciągle podlega dyskusji i jest ulepszany ze względu na: brak niektórych danych ilościowych, różne źródła niepewności danych oraz metody oceny oddziaływania cyklu życia, duże zróżnicowanie czynników przestrzennych, brak ujęcia niektórych wpływów oddziaływania (np. zużycia wody) – więcej na stronie [9].

16.3 KOSZTY ZEWNĘTRZNE FUNKCJONOWANIA ELEKTROCIĘPŁOWNI

Pojęcie efektów zewnętrznych wprowadził brytyjski ekonomista Arthur Pigou w 1920 roku, jako jedno z centralnych zagadnień ekonomii dobrobytu. Odgrywa ono także kluczową rolę w problematyce szeroko pojętej ochrony środowiska (environmental) i rozwoju zrównoważonego (sustainable development). Jest również jedną

z podstawowych kategoriami ekonomii ekologicznej, do których zaliczamy:

- 1) kapitał naturalny (przyrodniczy),
- 2) sprawiedliwość wewnątrzpokoleniową, międzypokoleniową i międzygatunkową,
- 3) trwałość (samopodtrzymywanie się, ang. sustainability),
- 4) efekty zewnętrzne.

Efekty zewnętrzne definiowane są jako „zjawisko w ekonomii polegające na przeniesieniu części kosztów lub korzyści wynikających z działalności jednego podmiotu na podmioty trzecie bez odpowiedniej rekompensaty. Zazwyczaj jest to uboczny skutek działalności danego podmiotu gospodarczego, którego konsekwencje (pozytywne bądź negatywne) ponosi szersze grono odbiorców (np. społeczeństwo) niezależnie od swojej woli” [6]. Typowym przykładem efektów zewnętrznych w problematyce ochrony środowiska i rozwoju zrównoważonego są zanieczyszczenia środowiska spowodowane produkcją dóbr przemysłowych lub usługami. Efekty zewnętrzne zachodzą w tym przypadku poza rynkiem co jest główną przyczyną trudności przy określaniu wartości i egzekwowaniu rekompensaty dla społeczeństwa i środowiska.

Antropogeniczne wykorzystanie środowiska spowodowane produkcją dóbr przemysłowych lub usługami, które jesteśmy z łatwością w stanie wycenić i wyegzekwować za nie odpowiednią opłatę (opłatę ekologiczną) to [12], [13]:

- pobór wody na cele gospodarcze – są to opłaty ponoszone przez podmioty pobierające wody podziemne i powierzchniowe w zł/m³; [26], [29].
- gospodarowanie zasobami mineralnymi – są to opłaty za udostępnianie złoża do eksploatacji, bieżące opłaty za eksploatację gruntów, opłaty za koncesje geologiczne; opłaty regulują przepisy zgodne z ustawami [17], [25], [28], [29];
- wyłączenie gruntów z produkcji rolnej lub leśnej – mogą mieć charakter należności jednorazowej, opłaty okresowej lub jednorazowego odszkodowania w zł/ha [24], [29];
- wycinanie drzew i krzewów – ponosi je właściciel gruntu, na którym drzewa i krzewy się znajdują, przy czym istnieją wyjątki od pobierania tych opłat, np. gdy usuwane drzewo zagraża bezpieczeństwu ludzi [29];
- emisję do powietrza zanieczyszczeń gazowych i pyłowych – są to opłaty pobierane za 63 substancje [zł/kg]; [11], [13], [27], [29];
- odprowadzanie ścieków do wód powierzchniowych lub do gleby – opłaty zróżnicowane dla ścieków bytowych, komunalnych, przemysłowych oraz wód chłodniczych, opadowych i roztopowych [zł/m³]; [29];
- umieszczanie odpadów na wysypisku – opłaty zależące od rodzaju odpadów oraz procentowej zawartości w nich wody; w energetyce są to najczęściej: popioły lotne, żużel i odpady z wapniowych metod odsiarczania spalin [zł/Mg]; [29];
- emisję hałasu; [29];
- promieniowanie elektromagnetyczne [29].

Elektrownie, elektrociepłownie oraz przedsiębiorstwa przetwarzające energię elektryczną oraz ciepłą wpływają na środowisko, a bezpośrednio lub pośrednio

również na zdrowie i życie ludzi.

Działanie bezpośrednie na zdrowie ludzi to na przykład szkodliwy długotrwały wpływ pola magnetycznego i elektrycznego w otoczeniu stacji i linii energetycznych.

Działanie pośrednie to wpływ na środowisko (czyli tzw. efekty zewnętrzne), które z kolei w efekcie długotrwałego oddziaływania, ma ogromny wpływ na zdrowie i życie ludzi oraz prawidłowe funkcjonowanie ekosystemów. Do działania pośredniego można wliczyć kilka zjawisk, określanych często mianem katastrof ekologicznych i są to między innymi:

- efekt cieplarniany,
- dziura ozonowa,
- zakwaszenie wód powierzchniowych i gleby,
- eutrofizacja,
- smog,
- toksyczność dla Ziemi i wody,
- zmniejszenie ilości zasobów naturalnych,
- zanik bioróżnorodności.

Efekty zewnętrzne mogą mieć różny zasięg wpływu. Niektóre zjawiska atmosferyczne (wymienione w tabeli 16.3) osiągają często wymiar transgraniczny (regionalny, ogólnosiwiatowy), a tworzą się głównie w czasie procesów produkcyjnych poprzez spalanie węgla kamiennego i brunatnego. Z badań europejskich wynika, iż największe źródło zanieczyszczeń zlokalizowane jest w gospodarce paliwowo-energetycznej, elektroenergetycznej, ciepłowniczej i przemyśle metalurgicznym. Na Szczyście Rady Europejskiej ustanowiono ramy polityki wiążące politykę klimatyczną i energetyczną do roku 2030, która zakłada zmniejszenie zużycia energii o 20% do roku 2020, ograniczenie emisji substancji zanieczyszczających do powietrza oraz inne działania mające na celu zmniejszenie negatywnych efektów zewnętrznych czyli kosztów związanych z niekorzystnym oddziaływaniem podmiotów na środowisko [30].

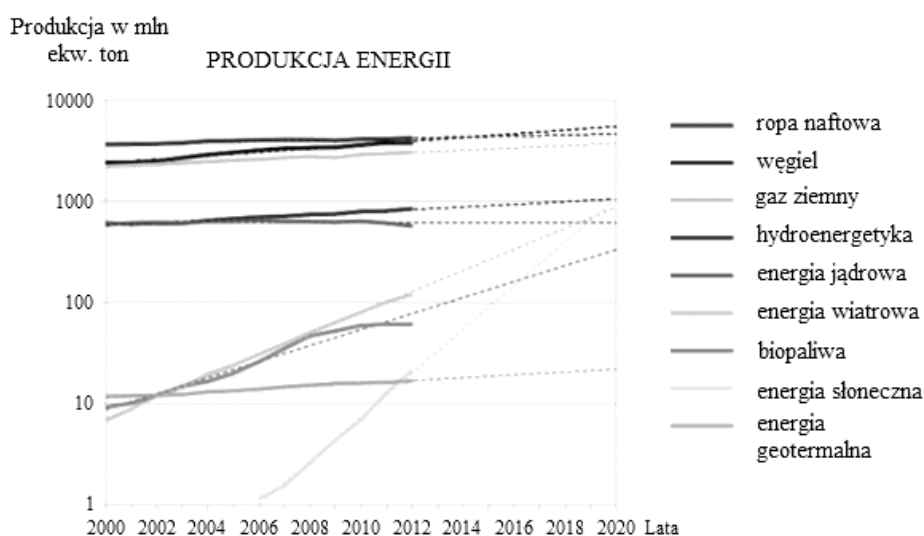
Udział Polski w produkowaniu energii elektrycznej z węgla kamiennego do 2020 roku ma zmniejszyć się o 41% (w 2010 roku zużycie to wynosiło około 90% w produkcji ogólnej). Powyższe plany pokrywają się z prognozami światowymi koncernu BP z 2013 roku, które prezentuje rys. 16.1. Przedstawia on wykorzystanie różnych źródeł energii przez ludzkość w latach 2000-2012 i prognozę do roku 2020. Jak widać, największą zmianę w czasie przypisuje się wykorzystaniu do celów energetycznych energii słonecznej, a następnie: biopaliw, energii wiatrowej i geotermalnej. Można przypuszczać, że źródła odnawialne (OZE), jak wskazują prognozy, będą rozpowszechnione na większą skalę, co przyniesie światu dużo korzyści w postaci czystszej środowiska i mniejszego zużycia nieodnawialnych surowców energetycznych.

Istotnym powodem wykorzystywania innych źródeł energii (OZE), są emitowane podczas spalania paliw kopalnych (węgla i ropy naftowej) duże ilości zanieczyszczeń powietrza w postaci: tlenków siarki, węgla, tlenków azotu i pyłów.

Tabela 16.3 Wybrane zjawiska zanieczyszczenia środowiska i ich klasyfikacja oraz dane charakteryzujące

L.p.	Wybrane zjawiska zanieczyszczenia środowiska	Skala zjawiska	Dane charakteryzujące
1.	ocieplenie klimatu	ogólnoświatowa	dwutlenek węgla (CO ₂) dwutlenek azotu (NO ₂) metan (CH ₄) chlorofluorokarbon (CFC) hydrochlorofluorokarbon (HCFC) bromek metylu (CH ₃ Br)
2.	niszczenie warstwy ozonowej	ogólnoświatowa	chlorofluorokarbon (CFC) hydrochlorofluorokarbon (HCFC) halony bromek metylu (CH ₃ Br)
3.	zakwaszenie	regionalna lokalne	tlenki siarki (SO _x) tlenki azotu (NO _x) chlorowodór (HCl) kwas fluorowodorowy (HF) amoniak (NH ₄)
4.	eutrofizacja	lokalna	fosforan (PO ₄) tlenek azotu (NO) dwutlenek azotu (NO ₂) azotany amoniak (NH ₄)
5.	smóg fotochemiczny	lokalna	węglowodory niemetanowe (NMHC)
6.	toksyczność dla Ziemi	lokalna	toksyczne związki chemiczne w stężeniu, które jest śmiertelne dla gryzoni
7.	toksyczność dla wody	lokalna	toksyczne związki chemiczne w stężeniu, które jest śmiertelne dla ryb
8.	zdrowie człowieka	ogólnoświatowa regionalna lokalna	całkowite zrzuty do powietrza, wody i gleby
9.	zmniejszenie ilości zasobów naturalnych	ogólnoświatowa regionalna lokalna	ilość wykorzystanych minerałów, ilość użytych paliw kopalnych

Źródło: [3].



Rys. 16.1 Wykorzystanie różnych źródeł energii przez ludzkość w Mtoe (przedstawione w skali logarytmicznej) w latach 2000-2012 i prognoza do roku 2020

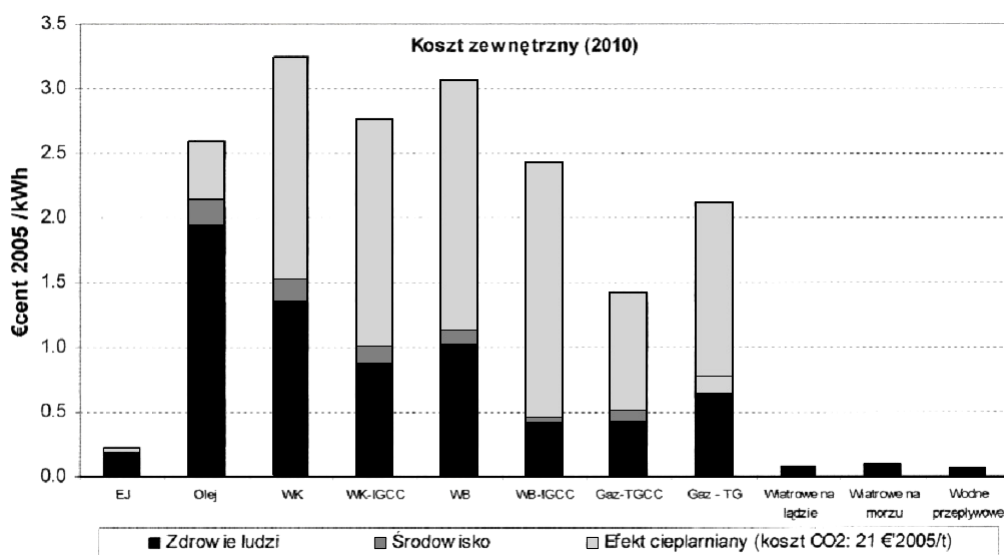
Źródło: [10].

Dane Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) podają, iż w przeciągu roku polskie elektrownie i elektrociepłownie spalają około 170 mln Mg węgla, które tworzą emisję 3 mln Mg pyłu, 4 mln Mg dwutlenku siarki (SO₂) i 400 mln Mg dwutlenku węgla (CO₂). Ponadto powstaje około 60 mln Mg popiołów, które trafiają na składowiska. [18].

Koszty zewnętrzne systemów energetycznych odnoszą się do wszystkich negatywnych efektów związanych z technologią wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, na wszystkich jego etapach czyli na etapie:

- 1) budowy i zamknięcia elektrowni,
- 2) wydobywania i transportu surowców energetycznych,
- 3) emisji zanieczyszczeń w trakcie produkcji energii końcowej.

W programie ExternE i kolejnych projektach/wersjach wzbogacających jego metodologię (np. ExternE-Pol 2005 – Externalities of Energy: Extension of accounting framework and Policy Applications, NEEDS 2004-2009 – New Energy Externalities Developments for Sustainability, CASES 2006-2008 – Cost Assessment of Sustainable Energy Systems, LC-Impact 2009-2012 – Life Cycle Impact Assessment) zakres szkód wywołany produkcją energii i ciepła we wszystkich etapach, obejmuje takie obszary jak: zdrowie ludzkie (choroby zawodowe, śmierć), szkody w budynkach, materiałach, plonach rolnych, rybołówstwie, lasach, naturalnych ekosystemach, zmniejszonym komforcie życia. Ostatni z projektów LC-Impact jest bardzo zbliżony do LCA ponieważ jego ocena wpływu opiera się na 3 obszarach: zdrowiu ludzkim, jakości ekosystemów i zasobach [9]. Koszty zewnętrzne dla różnych technologii wytwarzania energii według rodzaju oddziaływania prezentuje rys. 16.2.



Rys. 16.2 Koszty zewnętrzne dla różnych technologii wytwarzania energii w 2010 roku według rodzaju oddziaływania

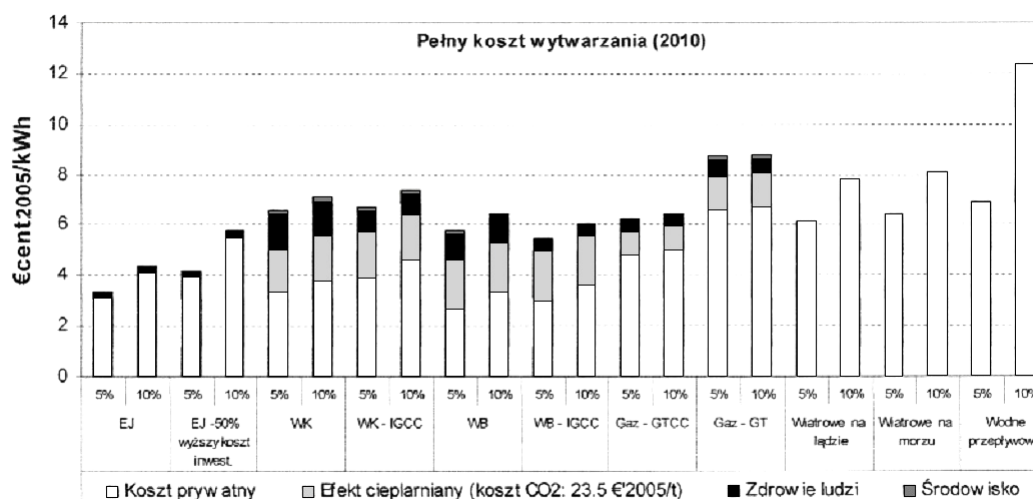
Źródło: [9], [23], [33]

Pierwszym podstawowym wnioskiem z analizy rys. 16.2 jest to, iż uwzględnienie kosztów zewnętrznych w kosztach ogólnych sektora energetycznego, powoduje zmianę spojrzenia na ten przemysł, a w szczególności na konkurencyjność poszczególnych

technologii produkcji energii. Ponadto, koszty zewnętrzne dla energetyki konwencjonalnej (z wyjątkiem en. jądrowej) są znacznie większe niż dla OZE, a wynika to z powodu większych emisji gazów cieplarnianych, NO_x i SO₂ do powietrza. Widać również, że zainstalowanie drogiego urządzeń do redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza (-IGCC) skutecznie przyczyniło się do obniżenia części kosztów zewnętrznych.

Uroš Radović podaje, iż uśredniony koszt zewnętrzny (bez uwzględnienia kosztu CO₂) obliczony na 1 kWh energii elektrycznej wytworzonej w Polsce w 2008 roku wynosił około 35 €/kWh, czyli wartość porównywalna z ceną energii na rynku hurtowym. Uwzględniając koszty emisji CO₂ koszt ten wzrośnie do 57,5 €/kWh [23].

Pełny koszt wytworzenia energii (rys. 16.3) składa się z kosztów przedsiębiorstwa (prywatnych) dotyczących wytworzenia kWh energii (słupki szary) oraz kosztów zewnętrznych.



Rys. 16.3 Porównanie pełnego kosztu wytworzenia energii dla wybranych technologii w 2010 roku w warunkach polskich przy 5% i 10% stopie dyskonta

Źródło: [9], [23]

Jak podaje Uroš Radović „obliczony jednostkowy koszt prywatny wytworzenia energii elektrycznej w €₂₀₀₅/kWh jest uśrednionym dyskontowanym kosztem wytworzenia w zakładanym okresie życia technicznego elektrowni. Przyjęto, iż elektrownie jądrowe i ciepłe pracują jako podstawowe (czas pracy 7500 godzin/rok). Ponieważ dla technologii charakteryzujących się wysokimi nakładami inwestycyjnymi jednym z krytycznych parametrów jest zakładana wysokość stopy dyskonta, obliczenia przeprowadzono przy 5% i 10% stopie”.

Analiza rys. 16.3 dla 2010 roku pozwala stwierdzić, iż pomiędzy kosztami wytworzenia (prywatnymi) a kosztami zewnętrznymi istnieje duża rozbieżność. Ponadto, z analizowanych technologii wytworzenia energii, technologie węglowe WB (pomijając koszty zewnętrzne) są najtańsze, a kolejne są elektrownie oparte na węglu kamiennym (WK) i jądrowe (EJ).

Chcąc jednak zaprezentować pełny koszt wytworzenia energii należy uwzględnić

w zestawieniach koszty zewnętrzne. Ich obliczenie, jak już wcześniej wspomniano, jest obarczone dużą niepewnością wyników, lecz pomimo to jest pomocne w wielu wymiarach życia gospodarczego, społecznego i politycznego.

16.4 PORÓWNAWCZA OCENA CYKLU ŻYCIA POLSKICH ELEKTROCIĘPŁOWNI – STUDIUM PRZYPADKU

W rozdziale zaprezentowano ocenę porównawczą wytwarzania energii elektrycznej (w kogeneracji), która została wykonana przez autorów na bazie techniki LCA metodologicznie opartej na normach ISO 14040x przy zastosowaniu programu SimaPro (holenderskiej firmy PRe Consultans B.V.), metoda Ekowskażnika 99. Zaletą Ekowskażnika 99 jest fakt, iż ujmuje on problem zmniejszenia zasobów surowcowych, co jest bardzo istotne w przypadku badania wpływu na środowisko wytwarzania energii cieplnej na bazie nieodnawialnych surowców energetycznych. Ponadto można go rozpatrywać z uwagi na trzy „archetypy”: H (Hierarchist), I (Individualist) oraz E (Egalitarain). W tym przypadku Ekowskażnik 99 (I) jest optymalny, gdyż ocenie porównawczej poddano wybrane EC z zachodniej części Polski. [8], [32], [15].

Ważnym elementem jest fakt, iż kategorie oddziaływania w Sima Pro (wymienione w rozdziale 2 – metodologia LCA) można z łatwością powiązać z kategoriami, które uwzględnione są przy obliczaniu kosztów zewnętrznych wytworzenia energii (opisane szerzej w rozdziale 16.3 powyżej – koszty zewnętrzne funkcjonowania elektrociepłowni). Za jednostkę funkcjonalną w tej ocenie, przyjęto 1 GJ wytworzonej energii cieplnej. Jednostka funkcjonalna powinna być jasno zdefiniowana i mierzalna, ponieważ dostarcza ona płaszczyznę odniesienia dla normalizowania danych wejściowych i wyjściowych systemu odniesienia. W ocenie LCA granice systemu ograniczono ze względu na brak szczegółowych danych do systemu procesu produkcji energii w wybranych elektrociepłowniach oraz transport surowca do EC. Do oceny wybrano rok bazowy 2010 ze względu na dostępne dane porównawcze kosztów zewnętrznych wytwarzania energii w Polsce. Porównanie oddziaływania na środowisko wybranych czterech elektrociepłowni oparte jest na danych uzyskanych z "Energetyka" sp. z o.o. oraz z Elektrociepłowni Zielona Góra, dla której autorzy sporządzili Raport LCA (materiał niepublikowany).

Elektrociepłownie Legnica, Lubin, Polkowice wchodzą w skład przedsiębiorstwa "Energetyka" sp. z o.o., które zajmuje się wytwarzaniem ciepła oraz energii elektrycznej. Właścicielem "Energetyka" sp. z o.o. 100% udziałów jest KGHM Polska Miedź S.A. Według danych o produkcji uzyskanych z "Energetyka" sp. z o.o.:

- EC Legnica wytworzyła w 2010 roku 1025460 GJ energii cieplnej brutto,
- EC Lubin – 1095171 GJ energii cieplnej i 45246 MWh energii elektrycznej,
- EC Polkowice – 1271528 GJ energii cieplnej i 45818 MWh energii elektrycznej.

Omawiane elektrociepłownie są zasilane węglem kamiennym.

Elektrociepłownia "Zielona Góra" jest przedsiębiorstwem energetyki zawodowej prowadzącym działalność gospodarczą w zakresie skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej. W 2010 roku EC "Zielona Góra" wytworzyła w skojarzeniu

2013580 GJ energii cieplnej i 1223435 MWh energii elektrycznej brutto. Obecnie zainstalowana moc elektryczna wynosi 198 MWe (blok gazowo-parowy; BGP), a zainstalowana moc cieplna: 135 MWt (blok gazowo-parowy) oraz 167 MWt (kotły olejowo-gazowe).

EC "Zielona Góra" w 2002 roku rozpoczęła modernizację części węglowej budową bloku gazowo-parowego, a w 2010 roku budową 5 kotłów gazowo-olejowych o mocy 32 MWt, którą częściowo zakończono w 2012 roku oddaniem do eksploatacji układ kotłów gazowo-olejowych. Trwałe wyłączenie z użytkowania urządzeń wytwórczych wraz z urządzeniami towarzyszącymi bloku węglowego (BW) nastąpiło w EC "Zielona Góra" 31 maja 2013 roku. Podstawowe dane dotyczące realizacji inwestycji bloku GP w latach 2002-2004 (24 miesiące), którego koszt inwestycji wynosił ok. 120 mln EUR, to [19]:

- zasilanie gazem z kopalni Kościan-Brońsko,
- moc elektryczna 188 MWe, a moc cieplna 135 MWt,
- układ wyprowadzenia mocy własną 20 km linią o napięciu 220 kV,
- roczne zużycie gazu ok. 360 mln m³,
- roczna produkcja energii elektrycznej ok. 1 300 000 MWh.

Podstawowe dane dotyczące realizacji bloku gazowo-olejowego w latach 03.2010-06.2012r (27 miesięcy), którego koszt inwestycji wynosił ok. 56 milionów PLN, to:

- moc cieplna kotłów wodnych olejowo-gazowych – 160 MWt (5x 32 MWt),
- wydajność rozruchowego kotła parowego – 9t pary/h,
- pojemność zbiorników oleju rezerwowego – 3000m³ (2x 1500 m³),
- jednolity system sterowania dla BGP i nowych kotłów (Metso DNA),
- sprawność kotłów wodnych – min. 95%, czas uruchomienia kotła wodnego – ok. 20 minut.

Zestawienie porównawcze skumulowanych wyników LCA dla wybranych EC według trzech kategorii szkód i jedenastu kategorii oddziaływania zestawione zostało w tabelach 16.4 i 16.5 oraz zobrazowane na rys. 16.4 i 16.5.

Tabela 16.4 Zestawienie porównawcze wyników LCA dla wybranych EC w 2010 roku według trzech kategorii szkód w (Pt)

Kategorie szkód	Jednostka	EC Legnica	EC Lubin	EC Polkowice	EC „Zielona Góra”	
					BW	BGP
Zdrowie ludzkie	Pt	1,04	0,92	0,49	1,40	0,17
Jakość ekosystemu	Pt	0,07	-0,11	-0,13	0,13	0,01
Surowce	Pt	3,43	3,43	2,30	2,91	2,07
Razem	Pt	4,54	4,24	2,66	4,44	2,25

gdzie: BW- blok węglowy, BGP – blok gazowo-parowy.

Źródło: Opracowanie własne na bazie SimaPro.

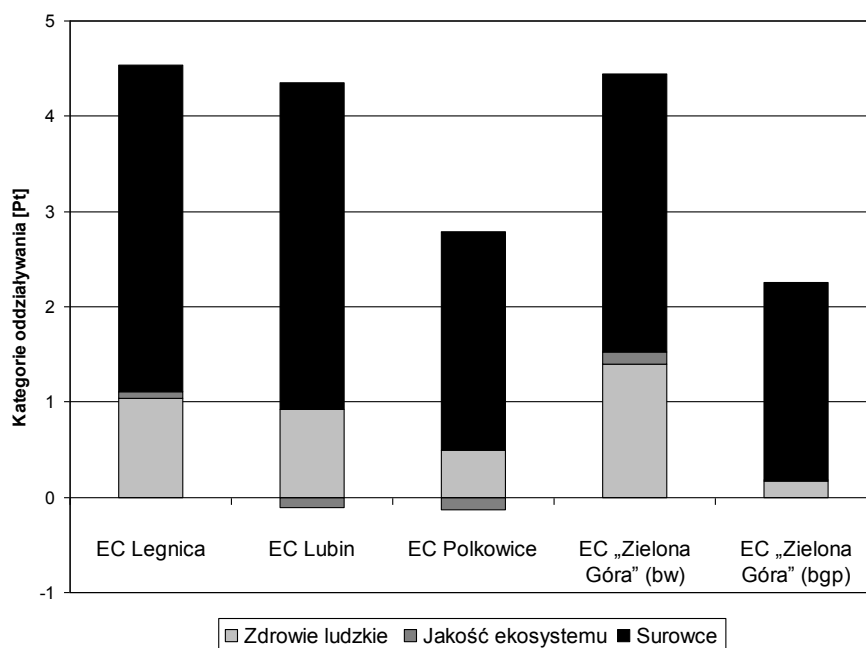
Najwyższe wartości oddziaływania na środowisko, zobrazowane na wykresach (rys. 16.4, 16.5) i zestawione w tabelach 16.4 i 16.5, przyjmuje kategoria paliwa kopalne z racji wykorzystywania nieodnawialnych źródeł energii (węgla lub gazu). Maksymalne wartości w tej kategorii oddziaływania osiąga produkcja energii cieplnej w EC Lubin (3,54 Pt), EC Legnica (3,43 Pt), następnie EC Zielona Góra blok węglowy (BW – 2,91 Pt),

EC Polkowice (2,30 Pt) a najmniej EC Zielona Góra blok gazowo-parowy (BGP – 2,07 Pt). Różnica oddziaływania na środowisko procesu produkcji energii w tej kategorii oddziaływania, między BGP a BW kształtuje się na poziomie około 0,84 Pt.

Tabela 16.5 Zestawienie porównawcze wyników LCA dla wybranych EC w 2010 roku według jedenastu kategorii oddziaływania w (Pt)

Kategorie oddziaływania	Jednostka	EC Legnica	EC Lubin	EC Polkowice	EC „Zielona Góra”	
					BW	BGP
Związki kancerogenne	Pt	0,03	-0,15	-0,15	0,00	0,00
Związki organiczne mające wpływ na układ oddechowy	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Związki nieorganiczne mające wpływ na układ oddechowy	Pt	0,54	0,79	0,27	0,99	0,04
Zmiany klimatu	Pt	0,47	0,48	0,37	0,41	0,13
Radiacja	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dziura ozonowa	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ekotoksyczność	Pt	0,02	-0,11	-0,11	0,00	0,00
Zakwaszenie/ Eutrofizacja	Pt	0,05	-0,01	-0,02	0,13	0,01
Użytkowanie ziemi	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Minerały	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Paliwa kopalne	Pt	3,43	3,54	2,30	2,91	2,07
Razem	Pt	4,54	4,51	2,66	4,44	2,25

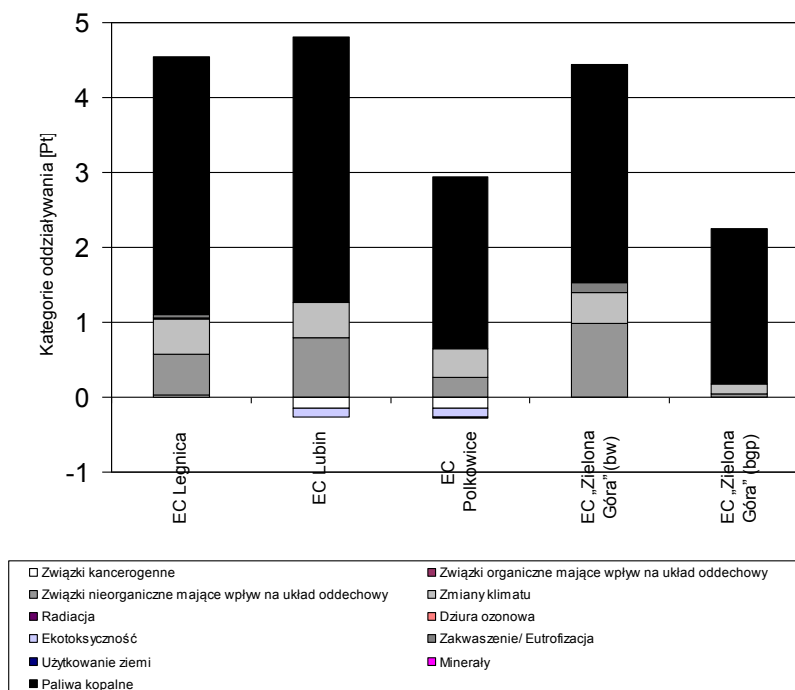
Źródło: Opracowanie własne na bazie SimaPro.



Rys. 16.4 Zestawienie porównawcze wyników LCA według trzech kategorii szkód (Pt) dla wybranych EC w 2010 roku

Źródło: Opracowanie własne na bazie SimaPro.

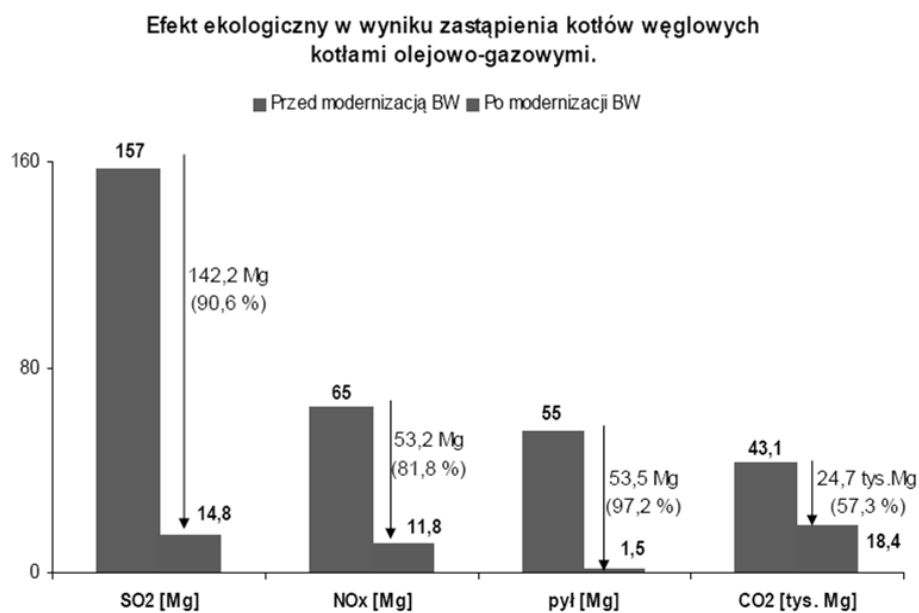
Kolejną kategorią oddziaływania o wysokiej wartości jest kategoria substancje nieorganiczne mające wpływ na układ oddechowy. Wartości tej kategorii górują tylko i wyłącznie w wypadku wytwarzania energii w bloku węglowym. Wysokie emisje tych gazów są głównie związane ze spalaniem paliwa stałego – węgla kamiennego.



Rys. 16.5 Zestawienie porównawcze wyników LCA według jedenastu kategorii oddziaływania (Pt) dla wybranych EC w 2010 roku

Źródło: Opracowanie własne na bazie SimaPro.

Wskaźnik kategorii zmiany klimatu osiąga wysoką wartość dla obu technologii wytwarzania energii (opartej na węglu i gazie). Jednak należy podkreślić, że wartości tego wskaźnika są około 3 razy wyższe dla technologii produkcji tej energii z wykorzystaniem spalania węgla niż gazu i wynoszą od 0,48-0,37 Pt.



Rys. 16.6 Efekt ekologiczny w wyniku zastąpienia kotłów węglowych, kotłami olejowo-gazowymi

Źródło: [19].

Podobnie jak dla wyników LCA w 11 kategoriach wpływu, tak również dla 3 kategorii szkód najwyższą wartością charakteryzuje się wskaźnik – surowce. Najwyższe wartości wskaźnik ten osiąga przy wykorzystaniu do produkcji energii węgla kamiennego. Zastanawiający jest jednak fakt, który należałoby zapewne bardziej szczegółowo zbadać, iż produkcja energii w EC Polkowice ma tylko nieznacznie większe wskaźniki oceny LCA w porównaniu do produkcji w EC Zielona Góra w bloku GP (różnica ogółem w oddziaływaniu na środowisko wynosi 0,41 Pt).

Na rys. 16.6 zaprezentowano efekt ekologiczny (efekt zewnętrzny), który nastąpił w wyniku zastąpienia w EC Zielona Góra kotłów węglowych kotłami olejowo-gazowymi. W ponad 90% nastąpiła redukcja emisji SO₂ i pyłu, zmniejszenie o 81,8% emisji NO_x oraz o 57,3% emisji CO₂.

PODSUMOWANIE

Przemysł energetyczny oparty na nieodnawialnych nośnikach energii (np. węgla kamiennym i gazie) ma bezsprzecznie negatywnie wpływa na środowisko czyli jest głównym twórcą kosztów zewnętrznych. Należy więc poszukiwać rozwiązań, które mogłyby pomóc ograniczyć negatywne oddziaływanie na środowisko związane z wytwarzaniem energii. Alternatywą dla konwencjonalnych źródeł energii może być zastosowanie odnawialnych źródeł energii lub przynajmniej zwiększenie rozproszenia energetycznego. Taki efekt ma przynieść nowo uchwalona ustawa z dnia 20 lutego 2015 roku – Ustawa o odnawialnych źródłach energii [27]. Optymiści twierdzą, iż w całości przemysł energetyczny w Polsce można by było oprzeć na OZE. Są też pesymiści, którzy widzą w rozwoju OZE wiele przeszkód, w tym między innymi: brak ekonomicznego uzasadnienia rozwoju OZE, kryzys gospodarczy i ogólny brak środków finansowych na rozwój OZE, niejasno sprecyzowane przepisy prawne, zła infrastruktura techniczna sieci energetycznych wymagająca modernizacji.

Prowadzenie racjonalnej polityki energetycznej, uwzględniającej uwarunkowania środowiskowe, musi być oparte na pełnym rachunku kosztów i korzyści działalności oraz zasadach zrównoważonego rozwoju. Jednym z obszarów badawczych wymagających szczególnej troski i rzetelności badawczej jest rachunek kosztów zewnętrznych przemysłu energetycznego [9], [16]. Metodologia szacowania kosztów zewnętrznych jest wciąż nie do końca dopracowana, margines błędu jest duży, i dlatego też wyniki badań (w tym również LCA) są wykorzystywane w ograniczonym stopniu.

Pomimo, iż rachunek kosztów zewnętrznych stanowi nieznaczny procent (w zależności od technologii – rys. 16.3) w pełnym wyznaczeniu kosztów wytworzenia energii, to jednak implementacja LCA w badaniach przemysłu energetycznego pozwala na określenie jasnych wniosków wpływu produkcji na środowisko. Przykładem są wyniki LCA produkcji energii elektrycznej, które wykazują znaczną poprawę relacji środowiskowych EC Zielona Góra w wyniku przeprowadzonych inwestycji. Powzięte inwestycje miały na celu zastąpienie paliwa stałego – węgla kamiennego paliwem gazowym, które uchodzi za bardziej przyjazne środowisku. Wyniki analizy LCA potwierdzają tę tezę i pokazują w punktach ekologicznych (Pt) jak znaczna jest to

zmiana z korzyścią, szczególnie dla środowiska lokalnego miasta Zielona Góra (zmniejszenie o 2,19 Pt wpływu w przeliczeniu na każdy wyprodukowany 1 GJ energii). Po-nadto Elektrociepłownia uzyskała: optymalne wykorzystanie paliwa ze źródeł lokalnych, obniżenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery, pełną rezerwę mocy cieplnej dla Miejskiego Systemu Ciepłowniczego oraz dodatkowe przychody ze sprzedaży praw majątkowych do świadectw pochodzenia energii elektrycznej.

LITERATURA

1. W. Adamczyk. *Ekologia wyrobów*. PWE, Warszawa 2004.
2. J. Adamczyk. „Analiza LCA modernizacji źródeł ciepła z kotłami grzewczymi małej mocy = LCA analysis of modernization of heat sources with low-power boilers”. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 2010, nr 12, s. 448-450.
3. J. Baran. „Ocena cyklu życia LCA”. szkolenie w ramach projektu pt. Propagowanie wzorców produkcji i konsumpcji sprzyjających promocji zasad trwałego i zrównoważonego rozwoju.
online: <http://www.programcp.org.pl/polpcp/JBaran01.pdf> (15. 10. 2014).
4. D. Burchart-Korol. „Life cycle assessment of steel production in Poland: a case study”. *Journal of Cleaner Production*, 54, s. 235-243.
5. E. Den Boer, J. Den Boer, J. Jager. „Waste Management planning and optimization”. *Handbook for municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems*. LCA-IWM. Ibidem Verlag 2007, s. 306.
6. A. Drobniak. Zastosowanie analizy kosztów i korzyści w ocenie projektów publicznych. Wyd. AE w Katowicach, Katowice 2002.
7. M. Dzikuć. „Applying the life cycle assessment method to an analysis of the environmental impact of heat generation”. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 2013, vol. 18, nr 4, s. 1275-1281.
8. M. Dzikuć, J. Zarębska. „Analiza porównawcza produkcji energii w Elektrociepłowni Le-gnica i Elektrociepłowni Lubin z wykorzystaniem metody LCA”. *Energy Policy Journal*, 2014, T. 17, z. 1, s. 41-52.
9. ExternE, strona główna programu
online: http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/56 (15.03.2015)
10. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Energy-trends.png> (15.03.2015).
11. J. Juda, S. Chróściel. *Ochrona powietrza atmosferycznego*. WNT, Warszawa 1974.
12. E. Kowal, A. Kucińska-Landwójtowicz, A. Misiołek. *Zarządzanie środowiskowe*. PWE, Warszawa 2013, s. 142.
13. J. Kucowski, D. Laudyn, M. Przekwas. *Energetyka a ochrona środowiska*. WNT, Warszawa 1997.
14. J. Kulczycka. *Ocena cyklu życia LCA - metodyka i zastosowanie*. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2007, <http://www.min-pan.krakow.pl/pbs> (12.02.2015)
15. J. Kulczycka, Ł. Lelek, A. Lewandowska, J. Zarebska. „Life cycle assessment of municipal solid waste management - comparison of results using different LCA

- models". *Polish Journal of Environmental Studies*, 2015, 24 (1): 125-14; DOI: 10.15244/pjoes/26960
16. D. Laudyn. *Rachunek ekonomiczny w elektroenergetyce*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
 17. Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 8 sierpnia 2014 r. w sprawie stawek opłat na rok 2015 z zakresu przepisów Prawa geologicznego i górniczego, (M.P. 2014 poz. 705).
 18. Ochrona środowiska 2014, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2014.
 19. P. Olejniczak. „Duże układy kogeneracyjne, praktyka i przyszłość na przykładzie EC „Zielona Góra” S.A. [w:] *Energetyka przygraniczna Polski i Niemiec*. Sulechów 2013; online:
<http://emo.kylos.pl/lubuskaenergetyka.pl/images/lubuskaenergetyka/konferencja2013/prezentacje/16.piotr.olejniczak-prezentacja-pl.pdf> (12.02.2015)
 20. PN-EN ISO 14044:2009, Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Wymagania i wytyczne, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009.
 21. A. Lewandowska, A. Noskowiak, G. Pajchrowski, J. Zarebska. „Between full LCA and energy certification methodology – a comparison of six methodological variants of buildings environmental assessment”. *Int J Life Cycle Assessment*, 2015; 20 (1): 9-22.
 22. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2009.
 23. R. Uroš. „Porównanie wpływu na zdrowie człowieka i środowisko naturalne różnych źródeł energii – wyniki badań w programie ExternE”. Agencja Rynku Energii, Warszawa 2011, online:
http://www.iea.cyf.gov.pl/nowa/images/stories/iea/ej/szkola_ej/referaty/cykl_paliwowy/1_U_Radovic_porownanie_wplywu.pdf
 24. Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (t. j. Dz. U. 2013, poz. 1205 ze zm.).
 25. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. 2015, poz. 196).
 26. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (t. j. Dz. U. 2015, poz. 469).
 27. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2015 poz. 478).
 28. Ustawa z dnia 25 lipca 2014 r. o specjalnym podatku węglowodorowym (Dz. U. 2014 poz. 1215).
 29. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t. j. Dz. U. 2013, poz. 1232).
 30. Ramy polityki klimatyczno-energetycznej do roku 2030, Nota SN 79/14 Bruksela 2014 r., online:
http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/PL/ec/145369.pdf (12. 01. 2015).
 31. M. Rybaczewska-Błażejowska. „Ocena cyklu życia (LCA) a efektywne

- gospodarowanie odpadami w regionie” [w:] *Współczesne uwarunkowania zarządzania środowiskiem*; Oficyna Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 2014.
32. SimaPro, World’s Leading LCA Software, online: <http://www.pre-sustainability.com/simapro> (22.04.2015)
 33. A. Strupczewski, R. Uroš. „Koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej w Polsce”. *Biuletyn Miesięczny Polskie Sieci Elektroenergetyczne*, styczeń 2006, s. 14-29, online: http://www.pptn.pl/multimedia/as/Koszty_zewn_w_Polsce.pdf (22.04.2015)
 34. Zrównoważony rozwój w Unii - Streszczenie; online: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5760009/237PL-PL.PDF> (22.04.2015)
 35. J. Zarębska. Ekologiczne i ekonomiczne aspekty gospodarki odpadami opakowaniowymi w województwie lubuskim. Oficyna Wyd. Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2013.

IMPLEMENTACJA OCENY CYKLU ŻYCIA W WYZNACZANIU KOSZTÓW ZEWNĘTRZNYCH FUNKCJONOWANIA ELEKTROCIĘPŁOWNI KONWENCJONALNYCH W POLSCE – STUDIUM PRZYPADKU

Streszczenie: Ocena cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment) jest techniką stosowaną w wielu dziedzinach gospodarki. Metodologia LCA oparta o normy ISO serii 14040 wykorzystana jest w programie SimaPro 7.3. W artykule przedstawiono kolejną możliwość zastosowania SimaPro, a mianowicie jako wyznacznik ekologicznych kosztów zewnętrznych funkcjonowania elektrociepłowni w Polsce (stanowiącego uzupełnienie programu ExternE - External Electricity Costs). Przemysł energetyczny jest odpowiedzialny w dużej mierze za globalne zanieczyszczenie powietrza, ale również wpływa na inne ekosystemy. W artykule zaprezentowano ocenę porównawczą (wykorzystując metodę Eco-indicator 99 programu SimaPro) wytwarzania energii ze spalania konwencjonalnych paliw stałych (węgla kamiennego i gazu). Ponadto wskazano na różnice w oddziaływaniu na środowisko wybranych polskich elektrociepłowni oraz omówiono przyczyny występowania różnic oddziaływania i ich wpływ na koszty zewnętrzne.

Słowa kluczowe: surowce nieodnawialne, koszty zewnętrzne, ocena cyklu życia, kogeneracja, spalanie współbieżne

IMPLEMENTATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT IN CASE OF DETERMINING THE EXTERNAL COSTS IN CONVENTIONAL COMBINED HEAT AND POWER PLANT FUNCTIONING IN POLAND - CASE STUDY

Abstract: Life Cycle Assessment (LCA) is a technique used in many areas of the economy. LCA methodology is based on the ISO 14040 series and is used in the SimaPro 7.3 software. The article presents another possibility of use SimaPro, as an indicator of external and environmental costs in case of the functioning plant in Poland (which complements the program Ex-ternE - External Electricity Costs). The energy industry is largely responsible for global air pollution, but also affects other ecosystems. The article presents a comparative assessment of (using the Eco-indicator method 99 of SimaPro program) production of energy from conventional combustion of solid fuels (coal and gas). More over the differences in the environmental impact of selected Polish power plants are noted and the causes of differences and their impact on external costs are also discussed.

Key words: non-renewable resources, external costs, life cycle assessment, cogeneration, concurrent combustion.

dr inż. Joanna ZARĘBSKA,
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Ekonomii i Zarządzania
ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, Polska
tel.: +4868 328 2289,
e-mail: j.zarebska@wez.uz.zgora.pl

dr inż. Maciej DZIKUĆ
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Ekonomii i Zarządzania
ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, Polska
tel.: +4868 328 2815,
e-mail: m.dzikuc@wez.uz.zgora.pl

dr inż. Janusz ADAMCZYK
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Ekonomii i Zarządzania
ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, Polska
tel.: +4868 328 2237,
e-mail: j.adamczyk@wez.uz.zgora.pl

Data przesłania artykułu
do Redakcji: 15.03.2015
Data akceptacji artykułu
przez Redakcję: 28.06.2015