



Joanna STUDENCKA

# OCENA EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ ŹRÓDEŁ CIEPŁA PRZY UŻYCIU ANALIZY KOSZTU ŻYCIA (LCC) NA PRZYKŁADZIE CIEPŁOWNI GEOTERMALNEJ

**Joanna Studencka**, dr inż. – Politechnika Krakowska

adres korespondencyjny:  
Wydział Inżynierii Środowiska  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków  
e-mail: [jstudencka@wp.pl](mailto:jstudencka@wp.pl)

## ECONOMIC ANALYSIS OF A HEAT SOURCE USING LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LCC): GEOTHERMAL HEATING PLANT CASE STUDY

**SUMMARY:** Economic analysis of renewable energy heating systems which focus only on investment and operational costs is unreliable. To address the problem the Life Cycle Cost (LCC) analysis is applied. The comparative calculations are carried out for a hard coal-fired heating plant and for a heating plant which uses geothermal energy. The calculation led to obtaining a unit cost indicator.

**KEYWORDS:** Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC), geothermal heating plant

---

## Wstęp

Oceniając całościowo oddziaływanie źródła wytwarzającego ciepło dla systemu ciepłowniczego, na środowisko naturalne, na zdrowie człowieka oraz skutki ekonomiczne związane z jego budową i eksploatacją, należy kierować się wieloma ocenami ujmującymi różne kategorie wpływu, w tym także oceną opisującą zużycie zasobów naturalnych.

Celem niniejszego opracowania jest pokazanie metody oceny ułatwiającej podjęcie decyzji i wskazanie kompromisowego, w sensie wielokryterialnym, rozwiązania systemu ciepłowniczego, który będzie spełniał jednocześnie oczekiwania w zakresie efektywności ekonomicznej oraz zapewniał ograniczony zakres wpływu na środowisko naturalne i zdrowie ludzkie.

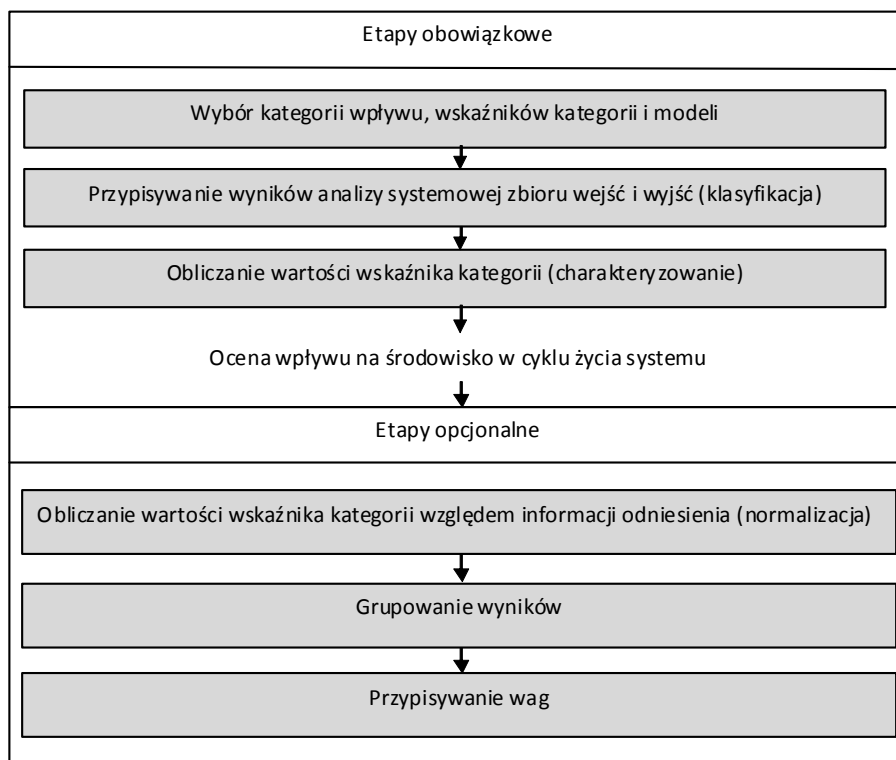
Zadaniem w realizacji założonego celu jest przedstawienie analizy efektywności kosztowej wzorowanej na metodzie Analizy Cyklu Życia (LCA), która polega na ocenie kosztów w całym cyklu życia projektu. Przedmiotem badań jest wyznaczenie wskaźnika kosztu całkowitego, który był kluczowy w analizie, jaką przeprowadzono dla różnych źródeł ciepła, w tym dla ciepłowni geotermalnej oraz ciepłowni konwencjonalnej opalanej węglem kamiennym, wskazując rozwiązanie korzystniejsze.

## Analiza Cyklu Życia dla źródła grzewczego

Opracowując metodę oceny efektywności ekonomicznej proponowanych źródeł ciepła posłużono się ideą Analizy Cyklu Życia projektu. Koncepcja „czystej produkcji”, według metody *Life Cycle Assesment*, czyli takiej, która zapobiega i ogranicza powstawanie odpadów, w tym niechcianych emisji, ogranicza zużycie materiałów wsadowych i energii we wszystkich fazach cyklu życia produktu, od pozyskania surowców, aż do końcowej likwidacji, opisana jest w wielu publikacjach, a metody obliczeń zawarte są w normach<sup>1</sup>.

Ocena wpływu systemu na środowisko posiada etapy obowiązkowe oraz opcjonalne, co ilustruje rysunek 1.

<sup>1</sup> PN-EN ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura. PN-EN ISO 14044:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne.



Rysunek 1. Etapy oceny wpływu cyklu życia na środowisko

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura.

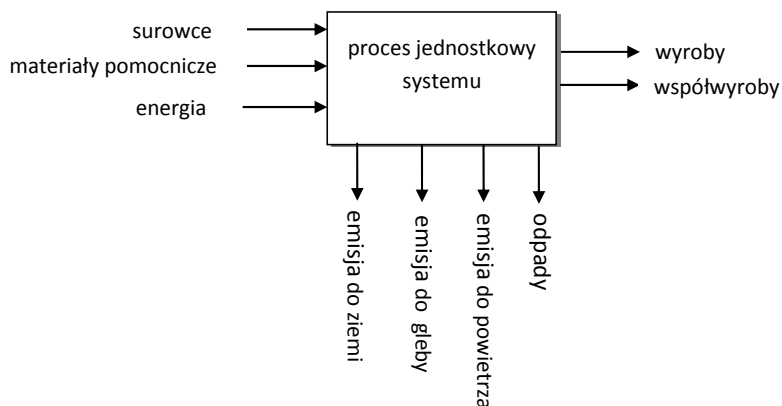
W opracowanej metodzie analizy ekonomicznej, oceniając systemy ciepłownicze wykorzystano jedynie etapy obowiązkowe. Technika obliczeń według metody Analizy Cyklu Życia, którą się wzorowano obejmuje cztery fazy:

- 1) określenie celu i zakresu badań,
- 2) analizę zbioru istotnych wejść i wyjść systemu,
- 3) ocenę wpływów na środowisko związanych z wejściami i wyjściami systemu,
- 4) interpretację wyników analizy zbioru oraz faz oceny wpływu w odniesieniu do celów badań.

Kierując się powyższymi zasadami, najpierw zdefiniowano granice badanego systemu. Przy ustalaniu granic systemu ciepłowniczego należy rozpaźrzeć kilka istotnych procesów jednostkowych, wchodzących w skład wytwarzania i przesyłania ciepła, czyli:

- zbiór wejść i wyjść w podstawowym cyklu wytwarzania lub przetwarzania,
- dystrybucję, czyli transport ciepła zawartego w nośniku,
- produkcję i wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła,
- użytkowanie i obsługiwane wyrobów,
- usuwanie powstających w procesie odpadów i produktów ubocznych,
- odzyskiwanie wykorzystanych wyrobów (odzysk energii),
- wytwarzanie, obsługiwane wyposażenia podstawowego,
- działań dodatkowych np. oświetlenie i ogrzewanie obiektów.

Przegląd procesów wewnątrz systemu umożliwił opracowanie drugiej fazy metody LCA, czyli określenia i analizy zbioru wejść i wyjść systemu. Przykład definiowania granic analizowanego systemu ogrzewczego, pokazujący poziom wnikliwości modelowania systemu przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Model gromadzenia danych dla procesu jednostkowego w systemie

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-EN ISO 14040:2009, op. cit.

Tak przygotowany ogólny model gromadzenia danych o systemie ciepłowniczym posłużył do opracowania szczegółowego przedstawionego w kolejnym rozdziale niniejszego opracowania, a pokazanego na rysunku 3.

W ramach oceny wpływu systemu ciepłowniczego na środowisko należało wyznaczyć wskaźniki obciążenia go czynnikami powodującymi zmiany klimatyczne. W modelu przyjęto odpowiednie współczynniki równoważności potencjału cieplarnianego dla specyficznych emisji, przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Przeliczenie gazów cieplarniany na ekwiwalent CO<sub>2</sub>

Substancje wpływające na efekt cieplarniany	eq. CO <sub>2</sub> (GWP100)
Dwutlenek węgla (CO <sub>2</sub> )	1,0
Metan (CH <sub>4</sub> )	21,0
Podtlenek azotu (N <sub>2</sub> O)	310,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Intergovernmental Panel on Climate Change, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) [01-03-2015].

Przedstawione współczynniki przeliczeniowe obrazują zakres zmian klimatycznych spowodowanych jednostkową ilością danej substancji w odniesieniu do 1 kg dwutlenku węgla, stanowiącego wzorcową substancję do opisu potencjału wywołującego globalne ocieplenie w odniesieniu do długiego okresu, czyli 100 lat (GWP100).

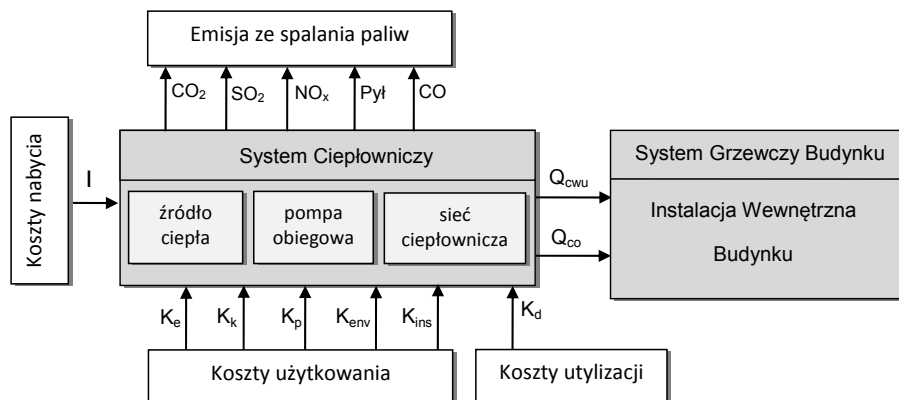
## Analiza Kosztu Życia dla źródła grzewczego

Wzorując się na Analizie Cyklu Życia, do oceny źródeł grzewczych proponuje się przyjąć Analizę Kosztu Życia (LCC), która ujmuje ocenę ekonomiczną oraz techniczną ocenianego obiektu w całym jego cyklu życia. Analizowanie systemów ciepłowniczych opierające się wyłącznie na kosztach zakupu urządzeń, a nawet biorące pod uwagę fazę eksploatacji jest bardzo zawodne, zwłaszcza w sytuacji gdy inwestycja zakłada użytkowanie energii odnawialnej. W takiej sytuacji dla pełnej oceny rozwiązania konieczne jest przeprowadzenie analizy w całym cyklu życia projektu.

Schemat pomocny w ocenie kosztowej systemu ciepłowniczego wraz z nakładami związanymi z zakupem urządzeń oraz ich montażem, kosztami eksploatacji źródła ciepła, konserwacji oraz utylizacji pozostałości po okresie użytkowania źródła przedstawiono na rysunku 3.

Analiza Kosztu Życia dla ocenianych rozwiązań systemów ciepłowniczych, uwzględnia zmienne w czasie parametry, przedstawiając całkowite przepływy środków finansowych, konieczne dla dokonania ekonomicznej oceny projektu w skali całego okresu jego życia.

Uwzględniając nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacyjne ponoszone w założonym czasie życia systemu, koszty związane z potrzebami własnymi źródła, jak również zmieniające się w czasie jednostkowe ceny nośników energii i kosztów gospodarczego wykorzystania środowiska, można zdefiniować całkowity koszt projektu, obliczony w całym cyklu życia projektu oraz średni koszt jednostkowy, w postaci współczynnika kosztu  $W_{LCC}$ , odnie-



Oznaczenia:  $I$  – nakłady inwestycyjne (zł),  $K_e$  – zmienny koszt eksploatacyjny (zł),  $K_k$  – koszt konserwacji (zł/rok),  $K_p$  – koszty przerwy w eksploatacji (zł/rok),  $K_{env}$  – podatek za korzystanie ze środowiska naturalnego (zł/rok),  $K_{ins}$  – koszt montażu i uruchomienia (zł),  $K_d$  – koszt utylizacji (zł),  $Q_{cwu}$  – moc cieplna na potrzeby ciepłej wody użytkowej (GJ),  $Q_{co}$  – moc cieplna na potrzeby centralnego ogrzewania (GJ).

Rysunek 3. Ogólny schemat modelowania dla oceny efektywności kosztowej z wykorzystaniem metody analizy cyklu życia systemu ciepłowniczego

sionego do jednostki ciepła wytworzonej w całym okresie eksploatacji projektu:

$$W_{LCC} = \frac{\sum_{n=1}^N \left[ \frac{(1+a_n)^n}{(1+r_n)^n} \cdot K_e + K_k + K_p + K_{env} \right] + I + K_{ins} + K_d}{(Q_{CO} + Q_{CWU}) \cdot n} \quad (1)$$

Optymalne, w sensie efektywności kosztowej, rozwiązanie systemu ciepłowniczego charakteryzuje się najmniejszą wartością jednostkowego kosztu projektu  $W_{LCC}$ .

Ilość zużytego paliwa  $F$  dla analizowanej jednostki ciepłowniczej wyznacza zależność:

$$F = \frac{Q_F}{W_d \cdot 10^{-3}} \quad [\text{kg}] \quad (2)$$

gdzie:

$Q_F$  – moc cieplna uzyskana ze spalania paliwa [GJ],

$W_d$  – wartość opałowa dla paliw stałych i ciekłych równa:

$$W_d = 34,8 \cdot C + 93,9 \cdot H + 10,5 \cdot S + 6,3 \cdot N - 10,8 \cdot O - 2,5 \quad [\text{MJ/kg}], \quad (3)$$

dla paliw gazowych równa:

$$W_d = 10,78 \cdot H_2 + 12,62 \cdot CO + 35,87 \cdot CH_4 + 59,48 \cdot C_2H_4 + 56,51 \cdot C_2H_2 \text{ [MJ/m}^3\text{]} \quad (4)$$

gdzie:

$C$  – zawartość węgla w paliwie [kg/kg],

$H$  – zawartość wodoru w paliwie [kg/kg],

$N$  – zawartość azotu w paliwie [kg/kg],

$O$  – zawartość tlenu w paliwie [kg/kg],

$S$  – zawartość siarki w paliwie [kg/kg].

Zmienny koszt eksploatacyjny  $K_e$  [zł/rok] określony został według zależności<sup>2</sup>:

$$K_e = \frac{Q_c \cdot 10^6}{W_d \cdot \eta} \cdot K_F \text{ [zł/rok]}, \quad (5)$$

gdzie:

$K_F$  – koszt jednostkowy paliwa [zł/m<sup>3</sup> lub zł/kg]<sup>3</sup>.

Koszty związane z gospodarczym wykorzystaniem środowiska dla odprowadzania do niego emisji zanieczyszczeń, mogą być ustalone na podstawie ich wielkości oraz wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska:

$$K_{env} = \sum Em_x \cdot k_x \quad (6)$$

więc:

$$K_{env} = (Em_{CO_2} \cdot k_{CO_2}) + (Em_{NO_2} \cdot k_{NO_2}) + (Em_{SO_2} \cdot k_{SO_2}) + (Em_{pył} \cdot k_{pył}) + (Em_{CO} \cdot k_{CO}) \quad (7)$$

gdzie:

$Em_x$  – emisja zanieczyszczenia  $x$  [kg],

$k_x$  – opłata środowiskowa za jednostkową emisję zanieczyszczenia  $x$  [zł/kg].

## Założenia do obliczeń symulacyjnych porównywanych wariantów systemów ciepłowniczych

W celu przeprowadzenia oceny efektywności kosztowej według proponowanego modelu, z wykorzystaniem metody Analizy Cyklu Życia, dla przykładowego systemu ciepłowniczego przyjęto następujące założenia i dane:

<sup>2</sup> H. Recknagel, E. Sprenger, E.R. Schramek, *Kompendium ogrzewnictwa i klimatyzacji*, Wrocław 2008.

<sup>3</sup> Katowickiego Holdingu Węglowego S.A., www.khw.pl [01-03-2015]. PGNiG S.A., www.pgnig.pl [01-03-2015].

- niskoparametrową sieć ciepłą o przepustowości do 21 MW, pracującą przy parametrach obliczeniowych 90/70°C, w III strefie klimatycznej<sup>4</sup>,
- system ciepłowniczy zasila dwufunkcyjne węzły ciepłownicze c.o.+c.w.u., wyposażone w wymienniki typu JAD; do obliczeń przyjęto węzły „pierwszostopniowe”, równoległe, zasobnikowe,
- całkowite zapotrzebowanie na ciepło założono na poziomie  $Q_c = 80\,000$  (MWh/rok), w tym uwzględniono całkowite zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania, całkowitą ilość energii cieplnej potrzebnej do podgrzewania c.w.u., straty ciepła w sieci, straty związane z podgrzewaniem wody uzupełniającej ubytki sieciowe oraz straty związane z przekształceniem parametrów sieciowych na instalacyjne,
- sieć ciepłownicza o długości 21 km wykonana jest z rur preizolowanych występujących w udziale 35% oraz układanych kanałowo w części wynoszącej 65%), spełniających normatywne wymagania w zakresie standardu izolacji cieplnej,
- sezonowe zużycie energii elektrycznej do napędu pomp obiegowych określono na poziomie 760 [MWh<sub>el</sub>/rok], zakładając sprawność pompy obiegowej równą 90%, sprawność elektromechaniczną zespołu pompa – silnik równą 94%, oraz sprawność energetyczną klasycznej elektrowni kondensacyjnej równą 38%<sup>5</sup>,
- wartość koniecznych, początkowych nakładów inwestycyjnych  $I$  [mln zł] przewidywała koszt wierceń otworów geotermalnych oraz ich uzbrojenie, opłaty za koncesje i budowę sieci ciepłowniczej<sup>6</sup>,
- stałe koszty eksploatacji układu  $K_{st}$  [mln zł/rok]<sup>7</sup>, uwzględniają 7-dniową przerwę w eksploatacji,
- wielkość emisji zanieczyszczeń (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, pyłu oraz CO) ze spalania paliw, wyznaczono wykorzystując równania stechiometryczne zakładając spalanie całkowite i zupełne węgla kamiennego oraz gazu ziemnego<sup>8</sup>, do obliczeń przyjęto następujący skład węgla kamiennego: węgiel – 72%, wodór – 5,3%, tlen – 1,8%, siarka – 0,8%, azot – 0,1% oraz 5% popiołu;

<sup>4</sup> PN-82/B-02403 *Ogrzewnictwo – Temperatury obliczeniowe zewnętrzne*.

<sup>5</sup> J. Marecki, *Podstawy przemian energetycznych*, Warszawa 2014.

<sup>6</sup> A. Gregorczyk, *Wstępna koncepcja zaopatrzenia w ciepło miasta Olsztyna z wykorzystaniem centralnej ciepłowni Kortowo oraz mniejszych kotłowni*, Olsztyn 2012, [www.pzits.olsztyn.pl](http://www.pzits.olsztyn.pl) [01-03-2015]. Niepublikowane materiały PEC Geotermia Podhalańska S.A. oraz Geotermii Mazowieckiej S.A.

<sup>7</sup> N. Maliszewski, *Ocena ekonomiczna inwestycji geotermalnych*, Seminarium pt.: *Metody oceny zasobów i zasady projektowania zakładów geotermalnych*, pod red. Sokołowskiego, Kraków 1996. Niepublikowane materiały PEC Geotermia Podhalańska S.A. oraz Geotermii Mazowieckiej S.A.

<sup>8</sup> T. Styrylska, *Termodynamika: podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych*, Kraków 2004, s. 281.



skład gazu ziemnego: metan – 98%, azot – 1%, dwutlenek węgla – 1%;  
współczynnik nadmiaru powietrza  $\lambda = 1,2$ ,

- wartość stopy procentowej  $r = 3,5\%$  oraz stopy wzrostu cen energii  $a_n = 7\%$ .

Przyjęto również aktualne stawki opłat za korzystanie ze środowiska<sup>9</sup>.

## Proponowane scenariusze rozwiązań

W ślad za przyjętymi w poprzednim rozdziale założeniami systemu ciepłowniczego, określono dla niego dwa warianty źródła ciepła.

**Rozwiązanie I** – ciepłownia węglowa, potrzeby cieplne pokrywane przez cztery kotły wodne wysokoparametrowe o mocy cieplnej równej 5,8 MW każda, opalane węglem kamiennym podgrupy P – 31, o sprawności wytwarzania ciepła równej 75%. Dobór kotłów i ustalenie czasu ich pracy przy danym obciążeniu umożliwił:

- obliczenie rocznego zużycia paliwa przez każdą działającą jednostkę,
- obliczenie rocznego, zmiennego kosztu eksploatacyjnego,
- obliczenie rocznej emisji dwutlenku węgla oraz pozostałych zanieczyszczeń chemicznych takich jak: dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, tlenek węgla jak również emisji pyłów unoszonych do atmosfery, podczas spalania paliwa całkowitego i zupełnego, bez uwzględnienia w obliczeniach obecności urządzeń oczyszczających spaliny,
- oszacowanie koniecznych do poniesienia nakładów inwestycyjnych,
- oszacowanie kosztów konserwacji, montażu i uruchomienia, oraz kosztów utylizacji wyeksploatowanych jednostek,
- obliczenie rocznych kosztów związanych z opłatami za gospodarcze wykorzystanie środowiska naturalnego.

**Rozwiązanie II** – ciepłownia gazowa, współpracująca ze źródłem geotermalnym w układzie biwalentnym, do obliczeń przyjęto dodatkowe założenia:

- wydobyta z głębokości ok. 3 000 m woda geotermalna o początkowej temperaturze złoża ma na głowicy otworu wydobywczego temperaturę wynoszącą 65°C oraz może być pobierana w ilości 300 [m<sup>3</sup>/h], aby następnie być skierowana do płytowego wymiennika ciepła, w którym przekazuje ciepło wodzie sieciowej, schłodzona woda geotermalna jest zwracana odwiertem chłodnym,

<sup>9</sup> Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 11 sierpnia 2014 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2015 (Monitor Polski 2014 r. poz. 790), [www.dokumenty.rcl.gov.pl/MP/rok/2014/pozycja/790](http://www.dokumenty.rcl.gov.pl/MP/rok/2014/pozycja/790) [01-03-2015].

- pozyskane będzie ciepło geotermalne w ilości 33 500 [MWh] rocznie, przy wykorzystaniu wymiennika geotermalnego, co stanowi 42% całkowitej ilości ciepła wytworzonego w ciepłowni z członem geotermalnym. Obliczenia przy danych określających warunki pracy wymiennika i sieci ciepłowniczej wskazują, że maksymalna moc cieplna dostarczana przez wymiennik geotermalny wynosić będzie 7 MW.

Dwa kotły szczytowe opalane gazem ziemnym GZ – 50, pracujące ze sprawnością 90%, wytworzą łącznie 46 500 (MWh/rok) – co stanowi 58% całkowitej produkcji ciepła. Łączna moc cieplna kotłów szczytowych wynosi 22 MW.

## Analiza oceny prezentowanych systemów ciepłowniczych

Wynikiem eksploatacji zaproponowanych dwóch systemów ciepłowniczych była roczna emisja zanieczyszczeń, której wartości przedstawiono w tabeli 2. Uzyskane emisje posłużyły do określenia podatku za korzystanie ze środowiska  $K_{env}$  (tabela 3).

Tabela 2. Emisje zanieczyszczeń analizowanych rozwiązań

Wyznaczone parametry	I – ciepłownia węglowa	II – ciepłownia geotermalna
Roczne zużycie paliwa F	14 000 Mg	5 290 000 m <sup>3</sup>
Roczna emisja CO <sub>2</sub> [Mg]	36 960	12 500
Roczna emisja SO <sub>2</sub> [kg]	224 000	0
Roczna emisja NO <sub>2</sub> [kg]	15 000	49 890
Roczna emisja pyłu [kg]	700 000	0
Roczna emisja CO [Mg]	23 520	7 990

Roczna emisja zanieczyszczeń CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO oraz pyłu, dla ciepłowni opalanej węglem kamiennym – rozwiązanie I, jest znacznie większa niż w przypadku rozwiązania II, tj. ciepłowni gazowej współdziałającej ze źródłem geotermalnym. Powodem jest rodzaj stosowanego paliwa, a zwłaszcza zastosowanie w drugim rozwiązaniu odnawialnej energii geotermalnej w produkcji ciepła.

Do realizacji Analizy Cyklu Życia, w odniesieniu do proponowanych systemów ciepłowniczych, wybrano wskaźnik  $W_{LCC}$ . Wyniki zawarte w tabeli 3 dotyczą 40-letniego cyklu pracy proponowanych rozwiązań. Wskaźnik określający jednostkowy koszt całkowity w całym cyklu życia projektu, obejmuje

nakłady dla zrealizowania inwestycji, koszty funkcjonowania oraz utylizacji po zakończeniu jej działania.

Tabela 3. Wyniki analizy jednostkowego kosztu rozpatrywanych rozwiązań

Wyznaczone parametry	I – ciepłownia węglowa	II – ciepłownia geotermalna
Nakłady inwestycyjne I [mln zł]	52,5	81,5
Roczne koszty konserwacji $K_k$ [mln zł]	5,2	3,2
Roczne koszty przerwy w eksploatacji $K_p$ [mln zł]	0,25	0,25
Podatek za korzystanie ze środowiska $K_{env}$ [mln zł/rok]	3,0	1,08
Roczne koszty eksploatacyjne $K_e$ [mln zł/rok]	8,4	6,4
Koszty montażu i uruchomienia $K_{ins}$ [mln]	5,3	8,2
Koszty utylizacji $K_u$ [mln]	5,3	8,2
Współczynnik całkowitego kosztu $W_{LCC}$ [zł/kWh]	0,35	0,26

Rozwiązanie źródła ciepłowniczego, które posiada najniższą wartość wskaźnika efektywności kosztowej jest rozwiązaniem najbardziej korzystnym. Współczynnik całkowitego kosztu dla ciepłowni wykorzystującej źródło geotermalne wyniósł 0,26 zł/kWh, a dla ciepłowni węglowej osiągnął wartość 0,35 zł/kWh. Wyniki pokazują, że pomimo wyższych o 55% nakładów inwestycyjnych rozwiązania II, czyli ciepłowni gazowej z członem geotermalnym, której całkowita ilość ciepła wytworzonego w wymienniku geotermalnym stanowi 42%, dzięki relatywnie niskim kosztom jego eksploatacji, możliwe było uzyskanie lepszego wyniku całkowitego kosztu pracy  $W_{LCC}$  dla tego systemu.

## Podsumowanie

Konwencjonalna analiza efektywności kosztowej systemów ciepłowniczych, oparta na uproszczonej ocenie wielkości kosztów eksploatacji źródeł i sieci, w przypadku systemów wykorzystujących energię odnawialną nie jest wystarczająca.

Dla kapitałochłonnych inwestycji typu ciepłownia geotermalna konieczna jest ocena projektu w całym cyklu jego funkcjonowania, dostosowana do planowanego okresu użytkowania złoża geotermalnego.

W przypadku systemów ciepłowniczych do prawidłowej oceny efektywności ekonomicznej w cyklu życia korzystne jest posługiwanie się wskaźnikiem określającym całkowity jednostkowy koszt obliczony w całym cyklu życia, który obejmuje zarówno pełne nakłady dla zrealizowania inwestycji, jak i koszty funkcjonowania oraz utylizacji po zakończeniu działania. Zgodnie z obowiązującymi wymogami środowiskowymi w analizie uwzględnione zostały opłaty za gospodarcze wykorzystanie środowiska oraz dodatkowo dokonano oceny porównywanych scenariuszy pod względem wielkości rocznej emisji dwutlenku węgla, co stanowi miarę niekorzystnego oddziaływania na środowisko w aspekcie powodowania globalnych zmian klimatu.

Niższy koszt życia systemu ciepłowniczego II, opierającego się w 42% na energii geotermalnej, jest wynikiem stosunkowo niskich, wieloletnich, zdyskontowanych kosztów funkcjonowania projektu, w skład których wchodzi m.in. koszty eksploatacyjne, w tym koszty środowiskowe. Koszty te dla scenariusza II stanowią ok. 87% całkowitych kosztów życia projektu.

Ocena systemów ciepłowniczych według proponowanej metody Analizy Kosztu Życia daje możliwość wiarygodnej i pełnej oceny ich opłacalności.

## Literatura

- Gregorczyk A., *Wstępna koncepcja zaopatrzenia w ciepło miasta Olsztyna z wykorzystaniem centralnej ciepłowni Kortowo oraz mniejszych kotłowni*, Olsztyn 2012, [www.pzits.olsztyn.pl](http://www.pzits.olsztyn.pl)
- Intergovernmental Panel on Climate Change, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- Katowicki Holding Węglowy S.A., [www.khw.pl](http://www.khw.pl)
- Maliszewski N., *Ocena ekonomiczna inwestycji geotermalnych*, Seminarium *Metody oceny zasobów i zasady projektowania zakładów geotermalnych*, Kraków 1996
- Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 11 sierpnia 2014 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2015 (Monitor Polski 2014 r. poz. 790) [www.dokumenty.rcl.gov.pl/MP/rok/2014/pozycja/790](http://www.dokumenty.rcl.gov.pl/MP/rok/2014/pozycja/790)
- Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, Warszawa 2012
- PGNiG S.A., [www.pgnig.pl](http://www.pgnig.pl)
- PN-EN ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura
- PN-EN ISO 14044:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne
- Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R., *Kompedium ogrzewnictwa i klimatyzacji*, Wrocław 2008
- Styrylska T., *Termodynamika: podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych*, Kraków 2004