



Agata FUGIEL\*, Dorota BURCHART-KOROL\*\*

## Identyfikacja problemów środowiskowych z wykorzystaniem metody oceny cyklu życia na przykładzie technologii zgazowania węgla

**STRESZCZENIE:** Produkcja energii w Polsce w głównej mierze oparta jest na węglu kamiennym i brunatnym, co powoduje znaczne obciążenia dla środowiska. Dlatego istotne jest poszukiwanie alternatywnych sposobów jej wytwarzania. W artykule dokonano identyfikacji i oceny problemów środowiskowych związanych z technologią naziemnego zgazowania węgla brunatnego z wykorzystaniem techniki oceny cyklu życia. Przedstawiono metodę analizy cyklu życia ILCD Midpoint (*The International Reference Life Cycle Data System*) rekomendowaną przez Komisję Europejską do stosowania jako reprezentatywną dla warunków europejskich. Metoda ILCD została wykorzystana zarówno do oceny problemów środowiskowych technologii zgazowania węgla brunatnego, jak i analizy porównawczej produkcji energii elektrycznej opartej na technologii zgazowania węgla oraz technologii spalania węgla. Wykazano, iż technologia zgazowania węgla w największym stopniu wpływa na emisję gazów cieplarnianych oraz powoduje działanie toksyczne dla ludzi. Określono również determinanty wpływu na środowisko, do których zaliczono emisję ditlenku węgla oraz wydobycie węgla brunatnego. Wykazano, że technologia zgazowania powoduje mniejsze obciążenia dla środowiska w porównaniu do technologii spalania węgla, szczególnie w kategorii wpływu – *działanie toksyczne dla ludzi, działanie inne niż rakotwórcze*.

**SŁOWA KLUCZOWE:** Life Cycle Assessment, produkcja energii, zgazowanie węgla, metoda ILCD

---

\* Mgr – Zakład Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza, Główny Instytut Górnictwa, Katowice; e-mail: [afugiel@gig.eu](mailto:afugiel@gig.eu)

\*\* Dr hab. inż., prof. GIG – Zakład Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza, Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

## Wprowadzenie

Wyzwania zrównoważonego rozwoju obejmują integrację wzrostu gospodarczego z dbałością o środowisko. Jednym z istotnych źródeł oddziaływania na środowisko jest wytwarzanie i konsumpcja energii we wszystkich sektorach gospodarki. (Kulczycka i Pietrzyk-Sokólska, red. 2012). W Polsce przyczynę stanowi źródło pozyskiwania energii w Polsce, która przede wszystkim jest oparta na technologii spalania węgla kamiennego i brunatnego. Wymusza to zatem podjęcie działań związanych z poszukiwaniem alternatywnych, czystszych technologii węglowych. Dlatego w Głównym Instytucie Górnictwa od wielu lat prowadzone są prace naukowo-badawcze nad rozwojem technologii pozyskiwania energii z węgla, w tym technologii podziemnego i naziemnego zgazowania. Zgazowanie węgla zarówno kamiennego jak i brunatnego stanowi wielką szansę dla rozwoju czystych technologii użytkowania węgla w gospodarce krajowej. W literaturze podkreśla się wiele korzyści z zastosowania technologii zgazowania w odniesieniu do elektrowni konwencjonalnych (Karcz i in. 2009; Chmielniak i in. 2009), w tym przede wszystkim korzyści wynikające z większej sprawności technologii zgazowania, co wpływa na mniejsze zużycie paliw kopalnych i niższe emisje zanieczyszczeń pyłowo-gazowych. Powstały również prace dotyczące zastosowania środowiskowej oceny cyklu życia do technologii energetycznych. Bariery i korzyści wynikające z obliczania, raportowania oraz zarządzania śladem węglowym w przedsiębiorstwach sektora energetycznego w Polsce przedstawiono w pracy (Kulczycka i Wernicka 2015). Ocenę cyklu życia z zastosowaniem metody IMPACT 2002+ produkcji energii elektrycznej w Polsce do roku 2030 przedstawiono w pracy (Lelek i in. 2014).

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie problemów środowiskowych technologii naziemnego zgazowania węgla brunatnego z zastosowaniem metody analizy cyklu życia ILCD Midpoint (*The International Reference Life Cycle Data System*) rekomendowanej przez Komisję Europejską do stosowania jako reprezentatywnej dla warunków europejskich. Wykonano również analizę porównawczą oceny cyklu życia technologii naziemnego zgazowania węgla brunatnego oraz konwencjonalnej technologii spalania węgla w elektrowni.

### 1. Charakterystyka środowiskowej oceny cyklu życia

Technika oceny cyklu życia LCA (*Life Cycle Assessment*) polega na ocenie potencjalnego wpływu na środowisko w całym cyklu życia produktu lub technologii, czyli od pozyskania surowców, poprzez okres eksploatacji, aż po ostateczną likwidację. Technika LCA przedstawiona jest w normach PN EN ISO 14040:2009 oraz PN EN ISO 14044:2009, zgodnie z którymi analiza LCA powinna składać się z czterech faz:

1. Faza określenia celu i zakresu.
2. Faza analizy zbioru wejść i wyjść (LCI – *Life Cycle Inventory*).
3. Faza oceny wpływu (LCIA – *Life Cycle Impact Assessment*).
4. Faza interpretacji.

W ramach pierwszej fazy należy określić funkcje systemu, jednostkę funkcjonalną, granice systemu, procedury alokacji oraz podstawowe założenia analizy. Natomiast faza analizy zbioru wejść i wyjść obejmuje inwentaryzację wszystkich niezbędnych danych do wykonania analizy LCA. Kolejna, trzecia faza oceny cyklu życia (LCIA) polega na obliczaniu wartości kategorii wpływu i szkód z zastosowaniem wybranych metod. Faza LCIA może składać się z czterech etapów: klasyfikacji, charakteryzowania, normalizacji i ważenia. Etapy klasyfikacji i charakteryzowania są obligatoryjne, a normalizacji i ważenia są etapami opcjonalnymi (PN EN ISO 14044:2009).

Klasyfikowanie polega na przypisaniu poszczególnych elementów wejścia i wyjścia technologii zgazowania węgla do odpowiednich kategorii wpływu na środowisko. Elementami wejścia są np.: zużycie energii, węgla, wody, a elementami wyjścia np. emisje CO<sub>2</sub>, odpady. Każdy wykorzystany zasób lub emisję można przyporządkować do pewnej kategorii wpływu, których zestaw określa wybrana metoda LCA. Klasyfikacja polega zatem na określeniu, jaki problem środowiskowy jest spowodowany wykorzystaniem danego zasobu lub uwolnieniem określonej emisji. Kategoria wpływu jest to „klasa reprezentująca rozpatrywane kwestie środowiskowe, do których mogą być przypisane wyniki analizy zbioru wejść i wyjść cyklu życia” (PN-EN ISO 14040:2009). Kolejnym obligatoryjnym etapem LCIA jest charakteryzowanie. Do każdej kategorii wpływu przypisany jest tzw. parametr charakteryzowania i wskaźnik kategorii wpływu. Parametr charakteryzowania „stosowany jest w celu przekształcenia ustalonych wyników analizy zbioru wejść i wyjść cyklu życia na ogólną jednostkę wskaźnika kategorii” (PN EN ISO 14044:2009). Natomiast wszystkie elementy wejścia i wyjścia przyporządkowane kategorii wpływu w danym modelu środowiskowym, przyczyniają się do powstawania tego samego wpływu na środowisko, co umożliwi uzyskanie jednej wartości parametru charakteryzowania, którą nazywa się wskaźnikiem kategorii wpływu. Kolejnymi krokami w analizie LCIA są normalizacja i ważenie. Kroki te nie są obowiązkowe w analizie LCA. Normalizacja zakłada odniesienie wyników z etapu charakteryzacji do określonego punktu referencyjnego. Odniesienie wartości kategorii wpływu badanego obiektu do wartości obrazujących potencjalne oddziaływanie na środowisko w Europie (EU 27) w roku, pozwala na dokonanie oceny skali problemu jaki stanowi wpływ na środowisko badanego obiektu i ułatwia interpretację wyników. Po wykonaniu normalizacji wyniki LCIA przyjmują wartości niemianowane. Ważenie natomiast umożliwi agregację wszystkich kategorii wpływu w wartość jednego wskaźnika. Współczynniki wagowe określa się na podstawie opinii ekspertów z różnych dziedzin, uwzględniając różne punkty widzenia. Wyniki analizy LCA po ważeniu wyrażone są w ekopunktach (Pt). Jeden ekopunkt reprezentuje tysięczną część rocznych szkód w środowisku, które powoduje jeden mieszkaniec Europy.

## 2. Metodyka oceny problemów środowiskowych technologii zgazowania

Komisja Europejska (EC-JRC-IES, 2012) na podstawie analiz różnych metod oceny wpływu w cyklu życia opublikowała wykaz zalecanych modeli dla każdej kategorii oddziaływania środowiskowego, które tworzą metodę ILCD. Wykorzystana w niniejszej pracy metoda ILCD 2011 Midpoint+ V1.06 obejmuje 16 kategorii wpływu na środowisko, które w niniejszym artykule określane są jako problemy środowiskowe, do których będą zaklasyfikowane elementy wejścia i wyjścia analizowanego systemu (EC-JRC-IES, 2012). Przedstawiono charakterystykę wszystkich kategorii wpływu zgodnie z metodą ILCD 2011 Midpoint+ (EC-JRC-IES 2012; PRÉ 2016; Kulczycka i in. 2015; Kulczycka i in. 2016; Śliwińska i Burchart-Korol 2014; Lewandowska i Witczak 2011). Kategoria wpływu *Zmiana klimatu*, odnosi się do emisji gazów cieplarnianych i reprezentuje wymuszanie radiacyjne emitowanych gazów cieplarnianych w horyzoncie czasowym 100 lat, w przeliczeniu na kilogramy ekwiwalentu CO<sub>2</sub>. Kategoria *Zubożenie warstwy ozonowej* pokazuje negatywny wpływ na warstwę ozonową w horyzoncie 100 lat. Warstwa ozonowa pochłania wysokoenergetyczne promieniowanie słoneczne z zakresu ultrafioletu, które zagraża zdrowiu ludzi. *Działanie toksyczne dla ludzi, działanie rakotwórcze* wyraża oszacowany wzrost zachorowalności w całej populacji na jednostkę masy wyemitowanych chemikaliów, natomiast *Działanie toksyczne dla ludzi, działanie inne niż rakotwórcze* wyraża oszacowany wzrost zachorowalności na inne choroby niż nowotworowe w całej populacji na jednostkę masy wyemitowanych chemikaliów. Kategoria *Cząstki stałe* oznacza wpływ emisji pyłu na przedwczesną śmierć lub kalectwo. Jest wyrażana w ekwiwalencie emisji PM2.5. Kategoria ta uwzględnia PM2.5, PM10 oraz CO. *Promieniowanie jonizujące – skutki dla zdrowia człowieka* obejmuje ocenę ilościową wpływu promieniowania jonizującego na ludność w porównaniu do Uranu 235, natomiast *Promieniowanie jonizujące – skutki dla ekosystemu* wyraża oszacowanie frakcji potencjalnie zagrożonych (PAF – *Potentially Affected Fraction*) gatunków, zintegrowanej z czasem i objętością w odniesieniu do jednostki masy emitowanych radionukleidów (PAF m<sup>3</sup> rok/kg). *Fotochemiczne powstanie ozonu* wyraża potencjalny wpływ na fotochemiczne powstanie ozonu po wpływie NMVOC (*Non-Methane Volatile Organic Compounds*). *Zakwaszenie* charakteryzuje zmianę w obciążeniu wrażliwych obszarów lądowych i głównych ekosystemów słodkowodnych, w których gromadzą się zakwaszające substancje. Kategoria związana z eutrofizacją obejmuje trzy rodzaje wpływu. *Eutrofizacja lądowa* charakteryzuje zmianę w obciążeniu wrażliwych obszarów, w których gromadzą się eutrofizujące substancje. *Eutrofizacja wodna – woda słodka* oraz *Eutrofizacja wodna – woda morska* pokazuje stopień zarastania zbiorników wodnych roślinnością pod wpływem emisji do wody m.in. ścieków i nawozów. Kategoria *Ekotoksyczność – woda słodka* wyraża oszacowanie frakcji potencjalnie zagrożonych (PAF) gatunków, zintegrowanej z czasem i objętością w odniesieniu do jednostki masy emitowanych chemikaliów (PAF m<sup>3</sup> rok/kg). *Zagospodarowanie terenu* odnosi się do zmiany w materii organicznej w glebie mierzonej w kg C/m<sup>2</sup>/rok. Kategoria wpływu *Wyczerpywanie zasobów* obejmuje dwa

TABELA 2. Charakterystyka kategorii wpływu w metodzie ILCD 2011 Midpoint+

TABLE 2. Characteristics of impact category in the ILCD 2011 Midpoint+ method

| Kategoria wpływu  | Parametr charakteryzowania                                | Jednostka               | Model/Źródło  |
|---|---|-------------------------|---|
| Zmiana klimatu  | GWP 100<br>Global warming potential                       | kg CO <sub>2</sub> eq   | Baseline model of 100 years of the IPCC<br>(Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu 2007)    |
| Zubożenie warstwy ozonowej                                    | ODP<br>Ozon depletion potential                           | kg CFC-11* eq           | Steady-state ODPs 1999 as in WMO assessment (WMO 1999)                                      |
| Działanie toksyczne dla ludzi, działanie rakotwórcze          | CTUh**<br>Comparative Toxic Unit for humans               | CTUh**                  | USEtox model<br>(Rosenbaum et al. 2008)   |
| Działanie toksyczne dla ludzi, działanie inne niż rakotwórcze | CTUh**<br>Comparative Toxic Unit for humans               | CTUh**                  | USEtox model<br>(Rosenbaum et al. 2008)   |
| Cząstki stałe/Substancje nieorganiczne w układzie oddechowym  | Intake fraction for fine particles                        | kg PM <sub>2.5</sub> eq | RiskPoll model<br>(Rabl and Spadaro 2004; Greco et al. 2007)                                |
| Promieniowanie jonizujące – skutki dla zdrowia człowieka      | Human exposure efficiency relative to U235                | kBq U235 eq             | Human health effect model as developed by Dreicer et al. 1995<br>(Frischknecht et al. 2000) |
| Promieniowanie jonizujące – skutki dla ekosystemu             | CTUe***<br>Comparative Toxic Unit for ecosystems          | CTUe***                 | Human health effect model as developed by Dreicer et al. 1995<br>(Frischknecht et al. 2000) |
| Fotochemiczne powstanie ozonu                                 | Tropospheric ozone concentration increase                 | kg NMVOC eq             | LOTOS-EUROS (Van Zelm et al. 2008) as applied in ReCiPe                                     |
| Zakwaszenie   | AE<br>Accumulated Exceedance                              | molc H <sup>+</sup> eq  | Accumulated Exceedance<br>(Seppälä et al. 2006; Posch et al. 2008)                          |
| Eutrofizacja lądowa   | AE<br>Accumulated Exceedance                              | molc N eq               | Accumulated Exceedance<br>(Seppälä et al. 2006; Posch et al. 2008)                          |
| Eutrofizacja wodna – woda słodka                              | Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment | kg P eq                 | EUTREND model (Struijs et al. 2009) as implemented in ReCiPe                                |
| Eutrofizacja wodna – woda morska                              | Fraction of nutrients reaching marine end compartment     | kg N eq                 | EUTREND model (Struijs et al. 2009) as implemented in ReCiPe                                |
| Ekotoksyczność – woda słodka                                  | CTUe***<br>Comparative Toxic Unit for ecosystems          | CTUe***                 | USEtox model (Rosenbaum et al. 2008)  |
| Użytkowanie gruntów   | SOM<br>Soil Organic Matter                                | kg C (niedobór)         | Model based on Soil Organic Matter (SOM) (Milà i Canals et al. 2007)                        |
| Wyczerpywanie zasobów – zasoby wodne                          | Water use related to local scarcity of water              | m <sup>3</sup> water eq | Model for water consumption as in Swiss Ecoscarcity<br>(Frischknecht et al. 2008)           |
| Wyczerpywanie zasobów – surowce mineralne, surowce kopalne    | Scarcity  | kg Sb eq                | CML 2002 (Guinée et al. 2002)   |

\* CFC-11 – trichlorofluorometan, zwany również freonem-11 lub R-11.

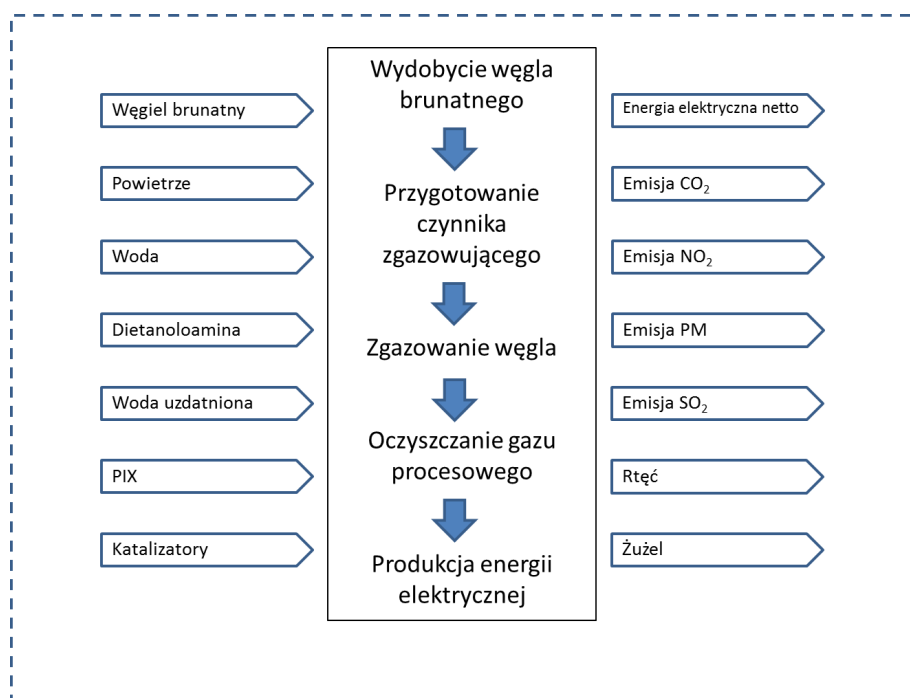
\*\* CTUh Comparative Toxic Unit for humans jednostka porównawcza toksyczności w odniesieniu do ludzi, wyraża oszacowaną liczbę przypadków śmiertelnych w całej populacji na 1 kg emitowanej substancji.

\*\*\* CTUe Comparative Toxic Unit for ecosystems jednostka porównawcza toksyczności w odniesieniu do ekosystemów, wyraża oszacowaną frakcję gatunków potencjalnie dotkniętych stresem środowiskowym (PAF – *potentially affected fraction of species*) (Kulczycka i in. 2016).

rodzaje zasobów: *Wyczerpywanie zasobów – zasoby wodne* (niedobór wód słodkich) oraz *Wyczerpywanie zasobów – surowce mineralne, surowce kopalne*.

W celu identyfikacji problemów środowiskowych, które powoduje technologia zgazowania węgla brunatnego zintegrowana z produkcją energii elektrycznej, przeprowadzono analizę środowiskową metodą ILCD.

Funkcją badanego systemu było wytwarzanie energii elektrycznej oparte na technologii naziemnego zgazowania węgla brunatnego, dlatego jako jednostkę funkcjonalną przyjęto 1 MWh wytworzonej energii elektrycznej netto. Granica systemu obejmuje wydobywanie węgla, jego obróbkę mechaniczną, przygotowanie czynników zgazowujących, zgazowanie węgla, oczyszczanie i konwersję gazu procesowego oraz produkcję energii elektrycznej (rys. 1). Analizę LCA



Rys. 1. Granica systemu produkcji energii opartej na technologii zgazowania węgla wraz z elementami wejść i wyjść

Fig. 1. Boundary of the energy generation system based on the coal gasification technology with input and output elements

wykonano dla instalacji przemysłowej zgazowania węgla brunatnego technologii Shell o prze-robie węgla około 8300 Mg/dobę i instalacji produkcji energii elektrycznej o mocy 753 MWe. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w instalacji było pokrywane z produkcji własnej, a moc wyjściowa została pomniejszona o zużycie własne. Moc instalacji produkcji energii elektrycznej brutto wynosiła 752,6 MWe, co dało (po uwzględnieniu 135,9 MWe zapotrzebowania mocy na potrzeby własne) moc netto 616,7 MWe. Dyspozycyjność instalacji wynosiła 80% (NETL

2011). Założenia do wykonania oceny środowiskowej oraz inwentaryzacja danych zostały opracowane na podstawie technologii Shell. Dokładny opis analizowanej technologii znajduje się w (Burchart-Korol i in. 2015). LCA wykonano z zastosowaniem oprogramowania Simapro v.8.0.4.26, wraz z bazą danych Ecoinvent 3. Inwentaryzację danych wejściowych i wyjściowych dla technologii zgazowania węgla przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3. Inwentaryzacja danych do analizy LCA (Burchart-Korol i in. 2015)

TABLE 3. Data inventory for the LCA analysis (Burchart-Korol et al. 2015)

| Dane wejściowe                 |             |
|--------------------------------|-------------|
| Węgiel brunatny                | 344,77 Mg/h |
| Powietrze                      | 3691,4 Mg/h |
| Woda                           | 154,80 Mg/h |
| Węgiel aktywny                 | 1,85 kg/h   |
| Dietanoloamina                 | 0,003 kg/h  |
| Woda uzdatniona                | 154,80 Mg/h |
| Pix                            | 180,00 kg/h |
| Katalizator dla procesu Clausa | 8,00 kg/h   |
| Katalizator dla hydrolizy COS  | 1,00 kg/h   |
| Dane wyjściowe                 |             |
| Moc energii elektrycznej netto | 616,70 MWe  |
| Emisja CO <sub>2</sub>         | 498,65 Mg/h |
| Emisja NO <sub>2</sub>         | 142,84 kg/h |
| Emisja PM                      | 16,27 kg/h  |
| Emisja SO <sub>2</sub>         | 5,28 kg/h   |
| Rtęć                           | 0,0013 kg/h |
| Żużel                          | 34,70 Mg/h  |

### 3. Rezultaty i dyskusja wyników

Wyniki oceny problemów środowiskowych technologii zgazowania węgla brunatnego z zastosowaniem metody ILCD 2011 Midpoint + przedstawiono w tabeli 4. Uzyskane wyniki pokazano w trzech krokach – charakteryzowanie, normalizacja i ważenie. Etap obligatoryjny jakim jest charakteryzowanie nie pozwolił na analizy porównawcze poszczególnych kategorii, dlatego przedstawiono również pozostałe kroki, czyli normalizację i ważenie. Wykazano, że do najważ-

TABELA 4. Wyniki analizy LCIA

TABLE 4. Results of the LCIA analysis

| Produkt:  | 1 MWh Zgazowanie węgla brunatnego                 |          |              |          |           |         |
|---|---|----------|--------------|----------|-----------|---------|
| Metoda:   | ILCD 2011 Midpoint+ V1.06 / EU27 2010, równe wagi |          |              |          |           |         |
|   | charakteryzacja                                   |          | normalizacja |          | ważenie   |         |
| Kategoria wpływu:   | jednostka   | wartość  | jednostka    | wartość  | jednostka | wartość |
| Suma:   |   |          |              |          | mPt       | 14,491  |
| Zmiana klimatu  | kg CO2 eq   | 819,33   | –            | 0,09     | mPt       | 6,01    |
| Zubożenie warstwy ozonowej                                    | kg CFC-11 eq                                      | 6,30E-07 | –            | 2,92E-05 | mPt       | 0,002   |
| Działanie toksyczne dla ludzi, działanie inne niż rakotwórcze | CTUh  | 2,77E-06 | –            | 0,08     | mPt       | 5,002   |
| Działanie toksyczne dla ludzi, działanie rakotwórcze          | CTUh  | 7,18E-07 | –            | 0,001    | mPt       | 0,09    |
| Cząstki stałe/Substancje nieorganiczne w układzie oddechowym  | kg PM2.5 eq                                       | 6,63E-03 | –            | 0,002    | mPt       | 0,12    |
| Promieniowanie jonizujące – skutki dla zdrowia człowieka      | kBq U235 eq                                       | 4,87     | –            | 0,004    | mPt       | 0,29    |
| Promieniowanie jonizujące – skutki dla ekosystemu             | CTUe  | 1,52E-05 | –            | 0,00     | mPt       | 0       |
| Fotochemiczne powstanie ozonu                                 | kg NMVOC eq                                       | 0,26     | –            | 0,01     | mPt       | 0,55    |
| Zakwaszenie   | molc H+ eq  | 0,23     | –            | 0,005    | mPt       | 0,32    |
| Eutrofizacja lądowa   | molc N eq   | 1,08     | –            | 0,01     | mPt       | 0,41    |
| Eutrofizacja wodna – woda słodka                              | kg P eq   | 0,01     | –            | 0,01     | mPt       | 0,3     |
| Eutrofizacja wodna – woda morska                              | kg N eq   | 0,10     | –            | 0,01     | mPt       | 0,4     |
| Ekotoksyczność – woda słodka                                  | CTUe  | 73,88    | –            | 0,01     | mPt       | 0,56    |
| Użytkowanie gruntów   | kg C (niedobór)                                   | –8,79    | –            | –0,0001  | mPt       | –0,01   |
| Wyczerpywanie zasobów – zasoby wodne                          | m <sup>3</sup> wody eq                            | 0,44     | –            | 0,01     | mPt       | 0,36    |
| Wyczerpywanie zasobów – surowce mineralne, surowce kopalne    | kg Sb eq  | 0,0001   | –            | 0,002    | mPt       | 0,1     |

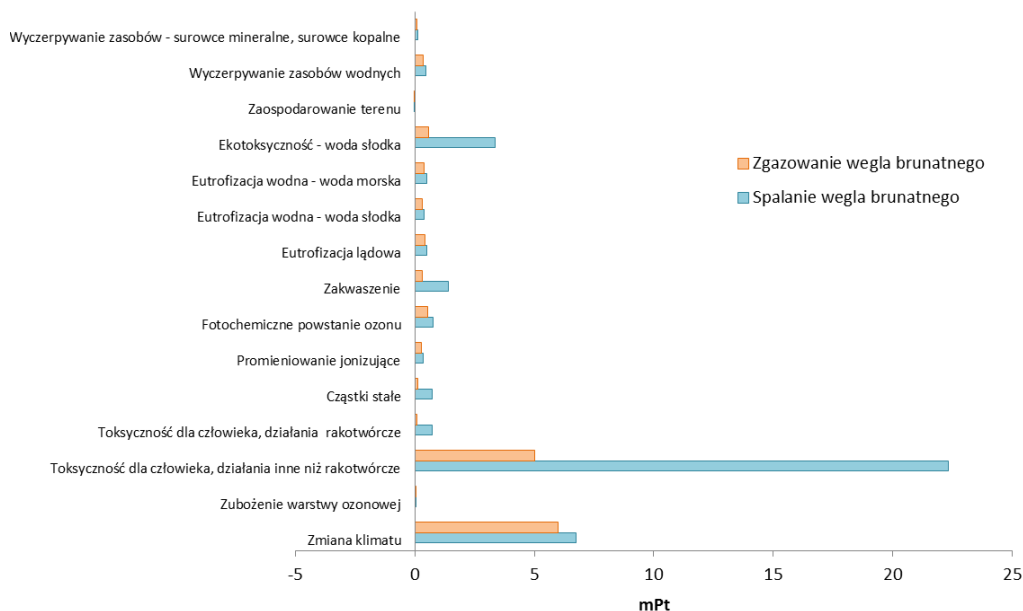
Źródło: Obliczenia własne przy użyciu oprogramowania SimaPro.

niejszych kategorii wpływu należy emisja gazów cieplarnianych oraz działanie toksyczne dla ludzi, działanie inne niż rakotwórcze. Stwierdzono, że głównym determinantem emisji gazów cieplarnianych jest emisja bezpośrednia emisji ditlenku węgla w procesie spalania gazu procesowego w celu uzyskania energii elektrycznej. Wykazano, że największy wpływ na kategorie działanie toksyczne dla ludzi, działanie inne niż rakotwórcze mają zużycie węgla brunatnego 88%, molibdenit 5% oraz woda oczyszczona 5%.

Wykonano również analizę porównawczą problemów środowiskowych produkcji energii elektrycznej z zastosowaniem technologii zgazowania węgla brunatnego oraz technologii spa-



lania tego samego węgla w elektrowni (Raport Cz.T.B. nr 8.2.2). Na rysunku 3 przedstawiono wyniki analizy porównawczej oceny cyklu życia analizowanych technologii.



Rys. 3. Wyniki LCA dla technologii zgazowania oraz spalania węgla brunatnego, metoda ILCD 2011 Midpoint +  
 Źródło: Obliczenia własne przy użyciu oprogramowania SimaPro

Fig. 3. LCA results for gasification and lignite power plant, ILCD 2011 Midpoint + method

Na podstawie analizy porównawczej oceny cyklu życia produkcji energii elektrycznej wykazano, że technologia zgazowania węgla brunatnego powoduje mniejsze obciążenia środowiskowe w porównaniu z technologią spalania węgla. Jest to związane przede wszystkim z niższymi wskaźnikami w następujących kategoriach wpływu: działanie toksyczne dla ludzi, działanie inne niż rakotwórcze, eutrofizacja lądowa, zmiana klimatu oraz zakwaszenie. Głównymi determinantami oceny cyklu życia technologii spalania węgla są: popioły ze spalania węgla brunatnego (które wpływają na kategorię wpływu – toksyczność dla ludzi) oraz emisja ditlenku węgla (powodująca emisję gazów cieplarnianych).

## Wnioski

Ocena cyklu życia metodą ILCD pozwoliła na identyfikację i ocenę kilkunastu problemów środowiskowych związanych z produkcją energii elektrycznej z zastosowaniem technologii naziemnego zgazowania węgla brunatnego. Wykazano, że do najistotniejszych kategorii wpływu

należy emisja gazów cieplarnianych oraz działanie toksyczne dla ludzi, działanie inne niż rakotwórcze. Problemy środowiskowe analizowanej technologii związane są przede wszystkim z emisją bezpośrednią ditlenku węgla oraz zużyciem węgla brunatnego. Stwierdzono, że w celu poprawy efektywności środowiskowej technologii zgazowania węgla należy ograniczyć emisję ditlenku węgla oraz zwiększyć sprawność energetyczną technologii.

Na podstawie analizy porównawczej środowiskowej oceny cyklu życia technologii naziemnego zgazowania węgla brunatnego zintegrowanej z produkcją energii elektrycznej oraz konwencjonalnej elektrowni węglowej stwierdzono, że technologia zgazowania węgla powoduje mniejsze obciążenia dla środowiska we wszystkich kategoriach wpływu, w porównaniu z technologią spalania tego samego węgla w elektrowni.

Zastosowana do analiz metoda ILCD Midpoint rekomendowana przez Komisję Europejską do stosowania jako reprezentatywna dla warunków europejskich, może służyć do wspomaganie decyzji odnośnie oceny problemów środowiskowych technologii energetycznych.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych prowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach, nr 11311146-324 o tytule: „Analiza determinantów środowiskowej oceny cyklu życia technologii podziemnego zgazowania węgla”.

## Literatura

- BURCHART-KOROL i in. 2015 – BURCHART-KOROL, D., CZAPLICKA-KOLARZ, K., FUGIEL, A. i REJMAN-BURZYŃSKA, A. 2015. Środowiskowa ocena cyklu życia technologii zgazowania węgla brunatnego zintegrowanej z produkcją energii elektrycznej. *Przemysł Chemiczny* 94/9.
- CHMIELNIAK i in. 2009 – CHMIELNIAK, T., POPOWICZ, J. i SARNECKI, W. 2009. Koncepcja układu produkcji metanolu zintegrowanego ze zgazowaniem węgla brunatnego. *Górnictwo i Geoinżynieria* 33, nr 2.
- Cost and performance baseline for fossil energy plants, 2011. Vol. 3a: Low rank coal to electricity. IGCC cases, Final report, U.S. Department of Energy, NETL (DOE/NETL-2010/1399).
- DREICER i in. 1995 – DREICER, M., TORT, V. i MANEN, P. 1995. ExternE, Externalities of Energy, tom 5, Energia jądrowa, Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine nucléaire (CEPN), red. Komisja Europejska, DG XII, Nauka, Badania i Rozwój, JOULE, Luksemburg.
- European Commission – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability, 2012. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context.. EUR 24571 EN. Luxemburg.
- FRISCHKNECHT i in. 2008 – FRISCHKNECHT, R., STEINER, R. i JUNGBLUTH, N., 2008. *The Ecological Scarcity Method – Eco-Factors 2006. A method for impact assessment in LCA.* Federalne Biuro ds. Środowiska (FOEN), Berno.
- HUMBERT, S., 2009. Geographically Differentiated Life-cycle Impact Assessment of Human Health. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Kalifornijski, Berkeley, Kalifornia, Stany Zjednoczone.
- KARCZ i in. 2009 – KARCZ, A., CHMIELNIAK, T., ŚCIAŻKO, M. i STRUGAŁA, A., 2009. Porównanie emisji CO<sub>2</sub> związanej z wytwarzaniem wodoru na drodze zgazowania i pirolizy węgla. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 12, z. 2.
- KULCZYCKA i in. 2015 – KULCZYCKA, J., KOWALSKI, Z., LEWANDOWSKA, A., LELEK, Ł., SMOL, M. i CHOLEWA, M. 2015. *Analiza krytycznych elementów projektowanej europejskiej metodyki pomiaru efektyw-*

- ności środowiskowej w kontekście jej potencjalnego wpływu na konkurencyjność produktów i przedsiębiorstw. Kraków.
- KULCZYCKA i in. 2016 – KULCZYCKA, J., LELEK, Ł. i LEWANDOWSKA, A. 2016. Wpływ pochodzenia energii na efekt środowiskowy produkcji miedzi w Polsce. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk* nr 92.
- KULCZYCKA, J. i PIETRZYK-SOKULSKA, E. red. 2012. Ewaluacja sektora energetycznego w Polsce. Kraków: Wyd. Instytutu GSMiE PAN.
- KULCZYCKA, J. i WERNICKA, M. 2015. Zarządzanie śladem węglowym w przedsiębiorstwach sektora energetycznego w Polsce – bariery i korzyści. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 18, z. 2.
- LELEK i in. 2014 – LELEK, Ł., KULCZYCKA, J. i LEWANDOWSKA, A. 2014. Środowiskowa ocena prognozowanej struktury wytwarzania energii elektrycznej w Polsce do 2030 r. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 17., z. 3.
- LEWANDOWSKA, A. i WITCZAK, J. 2011. Zasoby naturalne jako kategoria wpływu w badaniach LCA. *Przełęcz Górnicy* t. 67, nr 10.
- Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) 2007. IPCC Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. [www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm](http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm).
- MILÀ i CANALS i in. 2007 – MILÀ i CANALS, L., ROMANYÀ, J. i COWELL, S.J. 2007. Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of 'fertile land' in Life Cycle Assessment (LCA) *Journal of Cleaner Production* 15.
- 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
- POSCH i in. 2008 – POSCH, M., SEPPÄLÄ, J., HETTELINGH, J.P., JOHANSSON, M., MARGNI, M. i JOLLIET, O. 2008. The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13.
- PRé, various authors, 2016. SimaPro Database Manual Methods Library.
- Raport Cz.T.B. nr 8.2.2, 2014. Ocena efektywności technicznej, ekologicznej oraz kosztów technologii naziemnego zgazowania węgla, w ramach projektu pt.: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej”, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowany)
- ROSENBAUM i in. 2008 – ROSENBAUM, R.K., BACHMANN, T.M., GOLD, L.S., HUIJBREGTS, M.A.J., JOLLIET, O., JURASKE, R., KÖHLER, A., LARSEN, H.F., MACLEOD, M., MARGNI, M., MCKONE, T.E., PAYET, J., SCHUHMACHER, M., VAN DE MEENT, D. i HAUSCHILD, M.Z., 2008. USEtox – The UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (7),
- SEPPÄLÄ i in. 2006 – SEPPÄLÄ, J., POSCH, M., JOHANSSON, M. i HETTELINGH, J.P. 2006. Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator. *International Journal of Life Cycle Assessment* 11(6).
- ŚLIWIŃSKA, A. i BURCHART-KOROL, D. 2014. Korzyści z zastosowania metody oceny cyklu życia (LCA) do oceny środowiskowej kopalni węgla kamiennego. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* t. 6.
- STRIJLS i in. 2009 – STRIJLS, J., BEUSEN, A., VAN JAARVELD, H. i HUIJBREGTS, M.A.J. 2009. Aquatic Eutrophication [Eutrofizacja wodna]. Rozdział 6 w: Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M.A.J., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R., 2009. ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation factors, wydanie I.

- VAN OERS i in. 2002 – VAN OERS, L., DE KONING, A., GUINEE, J.B. i HUPPES, G., 2002. *Abiotic Resource Depletion in LCA*. Instytut Dróg i Budownictwa Wodnego, Ministerstwo Transportu i Gospodarki Wodnej, Amsterdam.
- VAN ZELM i in. 2008 – VAN ZELM, R., HUIJBREGTS, M.A.J., DEN HOLLANDER, H.A., VAN JAARVELD, H.A., SAUTER, F.J., STRULIS, J., VAN WIJNEN, H.J. i VAN DE MEENT, D., 2008. European characterisation factors for human health damage of PM10 and ozone in life cycle impact assessment. *Atmospheric Environment* 42.
- WMO, 1999. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998. Global Ozone Research and Monitoring Project – sprawozdanie nr 44, ISBN 92-807-1722-7, Genewa.
- Komisja Europejska, 2013. Zalecenie Komisji z dnia 9 kwietnia 2013 r. w sprawie stosowania wspólnych metod pomiaru efektywności środowiskowej w cyklu życia produktów i organizacji oraz informowania o niej, 2013/179/UE.

Agata FUGIEL, Dorota BURCHART-KOROL

## Identification of environmental problems using Life Cycle Assessment approach on the coal gasification example

### Abstract

Energy production in Poland is based primarily on hard coal and lignite, which creates a considerable environmental burden. It is therefore important to look for alternative methods of energy generation. The article contains the identification and evaluation of environmental problems related to the technology of ground coal gasification using the life cycle assessment technique. The ILCD Midpoint method (The International Reference Life Cycle Data System) of life-cycle analysis, recommended by the European Commission as representative for European conditions, is presented. The ILCD method has been used both to evaluate environmental problems of the technology of lignite gasification and to make a comparative analysis of electricity production based on the technology of coal gasification and coal combustion. It has been shown that the technology of coal gasification has the most significant impact on the emission of greenhouse gases and produces toxic effects for humans. Determinants of the impact on the environment, including emissions of carbon dioxide and lignite mining, have been identified. It has been demonstrated that the gasification technology causes less environmental burden compared to the coal combustion technology, particularly in the impact category – human toxicity, non-cancer effects.

KEYWORDS: Life Cycle Assessment, Energy generation, Coal gasification, ILCD Midpoint Method