

Prof. dr hab. inż. Wojciech Stanek
Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Instytut Techniki Ciepłej
ul. Konarskiego 22, 44-100 Gliwice
wojciech.stanek@polsl.pl

Gliwice, 23 kwietnia 2019

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Łukasza Lelka

pt. „*Analiza porównawcza wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej z wybranych nośników w warunkach polskich*”

Podstawą niniejszej recenzji było zlecenie dr hab. inż. Krzysztofa Galosa, prof. IGSMiE PAN, Dyrektora Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. Promotorem pracy jest dr hab. Joanna Kulczycka.

1. Tematyka pracy doktorskiej i trafność jej doboru

Praca poświęcona jest systemowej analizie ekologicznej łańcucha przemian energii od pozyskania energii pierwotnej (węgiel kamienny i węgiel brunatny) do produktu końcowego jakim jest energia elektryczna. Stosując narzędzia oceny w pełnym cyklu istnienia (LCA) Autor dokonuje analizy ekologicznej wpływu poszczególnych procesów jednostkowych cyklu życia produkcji energii elektrycznej na wybrane komponenty środowiska. W ramach zaproponowanej analizy szczególny nacisk położono na procesy wydobywania oraz przeróbki węgla. Główne cele zaplanowane w ramach realizacji pracy obejmują: zidentyfikowanie i określenie zależności pomiędzy wielkością potencjalnego wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej, a jakością pozyskiwanego węgla, dokonanie hierarchizacji tych wpływów oraz przeprowadzenie analizy porównawczej w cyklu życia i zaproponowanie optymalnego wariantu jakościowego paliwa dla wybranych czterech działających w kraju zakładów górniczych. Warto podkreślić, że w ramach zaplanowanych celów oraz zadań badawczych Autor wykorzystuje rzeczywiste dane opisujące procesy wydobywania węgla oraz parametry jakościowe branych pod uwagę w analizie węgla. Biorąc pod uwagę fakt, iż większość analiz porównawczych dotyczących efektywności energetycznej oraz efektów ekologicznych ma charakter lokalny co w wielu przypadkach jest błędnym podejściem, w szczególności gdy wyniki tych analiz mają być wykorzystywane do porównywania różnych technologii, uważam że zaproponowany temat i zakres pracy wpisuje się w obszar ważnych i aktualnych problemów dotyczących tak zwanego zrównoważonego rozwoju oraz racjonalnego gospodarowania zasobami nieodnawialnej energii pierwotnej. Podjęcie tematu należy uznać za w pełni uzasadnione.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Na podstawie szczegółowej analizy istniejącego stanu wiedzy Autor jednoznacznie i szczegółowo formułuje plan badań, które mają pozwolić na szczegółową systemową analizę ekologiczną pełnego cyklu od pozyskania energii pierwotnej do produktu końcowego – elektryczności wytwarzanej w elektrowni węglowej. W ramach zaplanowanej analizy LCA dotyczącej produkcji energii elektrycznej w krajowych elektrowniach opalanych węglem zaplanowano w szczególności następujące działania szczegółowe:

- a) opracowanie modelu umożliwiającego połączenie analizy LCA procesów wydobycia z parametrami jakościowymi węgla kamiennego lub brunatnego oraz emisjami obciążającymi działanie elektrowni węglowej,
- b) zebranie rzeczywistych danych dotyczących działalności wydobywczej wybranych zakładów górniczych (w tym węgla kamiennego i brunatnego),
- c) przeprowadzenie oceny oddziaływania na środowisko wybranych zakładów górniczych z wykorzystaniem metody LCA,
- d) identyfikacja i klasyfikacja głównych źródeł potencjalnego oddziaływania na środowisko kopalń węgla kamiennego i brunatnego,
- e) analiza wrażliwości uzyskanych wyników na zmiany wybranych parametrów eksploatacyjnych kopalń,
- f) wyznaczenie wskaźników emisji wybranych substancji szkodliwych obciążających spalanie paliwa oraz całkowitych emisji w pełnym cyklu życia obciążających produkcję energii elektrycznej w elektrowniach węglowych,
- g) ocena oddziaływania generacji elektryczności na środowisko w pełnym cyklu życia ze szczególnym uwzględnieniem fazy wydobycia węgla oraz jego jakości,
- h) określenie optymalnego wariantu doboru rodzaju paliwa oraz przeprowadzenie analizy wrażliwości zmian parametrów jakościowych paliw na emisje i oddziaływanie środowiskowe w całym cyklu życia produkcji energii elektrycznej.

Praca podzielona jest na sześć głównych rozdziałów. Rozdziały te, dotyczą odpowiednio:

- 1) Rozdział 1 – Analiza funkcjonowania oraz kierunki rozwoju sektora wydobywczego i energetycznego w Polsce,
- 2) Rozdział 2 – Ocena działalności i wpływu na środowiskowo wybranych zakładów górniczych oraz możliwości zastosowania LCA w sektorze wydobywczym i energetycznym,
- 3) Rozdział 3 – Propozycja zastosowania metody LCA do identyfikacji, hierarchizacji i kwantyfikowania wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej w całym cyklu życia,
- 4) Rozdział 4 – Ocena potencjalnego wpływu na środowisko przy wykorzystaniu metody LCA. Przy czym rozdział podzielony jest na dwie główne części dotyczące: 1) analizy LCA na poziomie zakładów górniczych oraz 2) analizy LCA na poziomie zakładów energetycznych,
- 5) Rozdział 5 – Dyskusja wyników,
- 6) Rozdział 6 – Zawiera podsumowanie i wnioski końcowe z przeprowadzonych badań.

Uważam, że zaplanowana struktura pracy jest ogólnie poprawna. Jedyna uwaga w tym zakresie dotyczy opisu metodyki LCA. W ramach pracy zabrakło rozdziału zawierającego prezentację podstaw analizy w pełnym cyklu istnienia. Rozdział taki powinien znaleźć się w początkowej części pracy.

W rozdziale „Hipoteza badawcza” Autor pracy stawia tezę: *Przeprowadzenie szczegółowej analizy z wykorzystaniem metody oceny cyklu życia (LCA) umożliwi identyfikację i hierarchizację aspektów środowiskowych w całym cyklu życia produkcji energii elektrycznej w Polsce, co może być podstawą dla wprowadzania działań ograniczających oddziaływanie na środowisko.* Autor pracy definiuje ponadto trzy „tezy pomocnicze”:

- a) coraz bardziej rygorystyczne przepisy i normy prawne wymagają poszukiwania przyjaznych dla środowiska rozwiązań technologicznych i organizacyjnych, których wybór powinien uwzględniać bezpośrednie i pośrednie aspekty środowiskowe w całym cyklu życia energii elektrycznej,
- b) procesy produkcji energii elektrycznej z różnych nośników charakteryzują się zróżnicowanym wpływem na poszczególne komponenty środowiska, dlatego przy ich porównywaniu powinno stosować się kompleksową ocenę środowiskową. Ocena taka dokonywana dla wszystkich etapów wytwarzania energii, a zwłaszcza fazy wydobywania surowców energetycznych, może być podstawą eko-projektowania i ewaluacji rozwiązań technologicznych,
- c) ocena cyklu życia procesu produkcji energii elektrycznej, pozwala porównywać różne scenariusze technologiczne i na tej bazie proponować rozwiązania ograniczające wpływ na środowisko w całym cyklu życia.

Biorąc pod uwagę zakres prac zrealizowanych w ramach doktoratu obejmujący: budowę modelu do oceny LCA, ocenę procesów wytwarzania energii elektrycznej w warunkach polskich w pełnym cyklu życia ze szczególnym uwzględnieniem fazy wydobywania paliw kopalnych (węgiel kamienny i brunatny) oraz uzyskane wyniki dla procesów wydobywania węgla (moduł górniczy) oraz procesów produkcji energii elektrycznej (moduł energetyczny) uważam, że w ramach realizacji pracy Autor konsekwentnie dąży do potwierdzenia i uzasadnienia postawionych tez. Ponadto uważam, że zastosowana metodyka w zakresie opracowanych modeli matematycznych oraz doboru metod oceny wpływu wydobywania węgla oraz wywarzania elektryczności na środowisko jest w pełni uzasadniona z punktu widzenia założonych celów pracy. Opracowane narzędzia oraz wyniki uzyskane w ramach przeprowadzonych badań z całą pewnością stanowią istotny wkład w zakresie rozwoju metod systemowej oceny ekologicznej technologii energetycznych. Warto podkreślić również fakt, że istotnym elementem pracy było pozyskanie rzeczywistych danych opisujących procesy wydobywania węgla kamiennego oraz brunatnego w kraju. Należy również dodać, że prezentowana praca stanowi zwartą prezentację podjętego tematu i generalnie jest napisana dobrym językiem technicznym. Zauważone w pracy usterki (zarówno o charakterze

merytoryczny jak i redakcyjnym) oraz elementy dyskusyjne omówiono w kolejnym punkcie niniejszej recenzji.

3. Uwagi do pracy

3.1 Uwagi merytoryczne o charakterze krytycznym i dyskusyjnym

1. (Str. 64) Autor stwierdza: *„Wyniki dla tej fazy cyklu życia przedstawiono wyłącznie w zakresie emisji CO₂, SO_x oraz pyłów do atmosfery. Tak obliczone oddziaływanie dla poszczególnych faz skumulowano otrzymując ocenę oddziaływania na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej w pełnym cyklu życia, uwzględniającą jakość wydobywanego paliwa.”*. Po pierwsze autor nie objaśnia co rozumie pod pojęciem „skumulowano”. Po drugie niejasne jest dlaczego w pracy dotyczącej oceny cyklu, którego końcowym elementem jest produkcja elektryczności nie uwzględniono dodatkowych emisji, szczególnie NO_x – jednego z podstawowych szkodliwych produktów odpadowych obciążających technologie energetyczne.
2. (Str. 64) Autor w Rozdziale 3 przechodzi do szczegółów dotyczących zastosowania metodyki LCA dla analizowanego w pracy systemu wytwórczego. Uważam, że w pracy zabrakło wprowadzenia do podstaw metodyki LCA, które to powinny być zamieszczone na początku rozdziału 3 przed wprowadzeniem czytelnika do szczegółów analizy prezentowanej w pracy.
3. (Str. 67) Sformułowanie zawarte w pracy: *„Węgla gorszej jakości powodują, iż uzyskanie tych samych ilości produkowanego ciepła lub pary technologicznej wymaga dostarczenia większej ilości paliw, co związane jest z mniejszą sprawnością przemiany energetycznej”* sformułowanie jest co najmniej nieprecyzyjne. Po pierwsze nie jest jasne czy ilość paliwa oznacza masę spalanej paliwa czy ilość energii chemicznej? Ponadto należy mieć na uwadze, że spalanie węgla gorszej jakości przy wyższym obciążeniu kotła może towarzyszyć większa sprawność niż spalaniu lepszej jakości węgla przy mniejszym obciążeniu. Przy analizowaniu zmian sprawności energetycznej kotła należy jednocześnie brać pod uwagę szereg parametrów eksploatacyjnych, a nie jedynie jakość paliwa.
4. (Str. 67) Rodzi się pytanie co Autor rozumie pod pojęciem „energetyka” – czy technologie generacji elektryczności tak jak to ujmuje tytuł pracy? Przy takim podejściu wymieniane w pracy kotły rusztowe nie są elementami systemu energetycznego, a raczej ciepłowniczego.
5. (Str. 70) Autor stwierdza: *„Dla określenia wskaźnika emisji węgla i wskaźnika potencjalnej emisji CO₂ można wykorzystać bilans masy, zakładając całkowite spalanie”*. Po pierwsze co oznacza *wskaźnik emisji węgla*? Ponadto przy prezentacji metodyki w zakresie emisji CO₂ warto było podkreślić, że zaprezentowany wskaźnik

dotyczy emisji lokalnej obejmującej tylko proces spalania i to przy założeniu spalania zupełnego i całkowitego.

6. (Str. 76) Autor stwierdza „*W ramach opracowanego modelu oceny wpływu produkcji energii elektrycznej na środowisko zintegrowano ze sobą aspekty technologiczne procesów (przedstawiając je w postaci bilansów materiałowych, paliwowych i energetycznych), z aspektami środowiskowymi uwzględnionymi w postaci bezpośrednich emisji i wielkości odpadów oraz pośrednich wynikających z łańcucha dostaw tj. zużywanych materiałów i energii.*”. Uważam, że opis tak istotnego elementu jakim jest opracowany model jest zdecydowanie zbyt ubogi. Autor powinien w tym miejscu przedstawić dodatkowe szczegóły charakteryzujące opracowany model.
7. (Str. 82, 83) Opis modułu (modelu) energetycznego jest zbyt ubogi. W zasadzie model energetyczny wykorzystujący sprawność generacji elektryczności jako powiązanie między ilością produktu (elektryczność) a energią chemiczną paliwa powinien brać pod uwagę wpływ parametrów eksploatacyjnych bloku energetycznego na jego sprawność, np. obciążenie które nie jest stałe. Przyjmowanie stałej wartości energetycznej („*Założona sprawność produkcji energii elektrycznej to 38%.*”) trudno uznać za model energetyczny. Podejście zaprezentowane w pracy w zakresie modułu energetycznego należy uznać za mocno uproszczone.
8. (Str. 83) Autor stwierdza: „*Typowa sprawność nowych kotłów pracujących przy podkrytycznych parametrach pary wynosi 38-40%, a dla starszych spada często do 25%.*”. Założenie to jest nieakceptowalne. Sprawność kotłów energetycznych to rząd wielkości na poziomie 90% ! Jeżeli założono sprawność kotła na poziomie 38-40%, to jak można wcześniej zakładać, że sprawność produkcji energii elektrycznej kształtuje się na poziomie 38% ?
9. (Str. 103) Autor prezentuje wyniki otrzymane w zakresie skumulowanego potencjalnego wpływu na środowisko wyrażone w kPt. W tym miejscu ponownie nasuwa się uwaga, że we wcześniejszych częściach pracy zabrakło podstaw nalaizy LCA, w tym odnoszenia poszczególnych Impact Categories do wspólnego miernika wyrażanego za pomocą kPt.
10. (Str. 105) W odniesieniu do wyników zawartych w Tablicy 36 zabrakło komentarza jak należy interpretować ujemne wartości w zakresie kategorii użytkowanie gruntów.
11. (Str. 140) Autor stwierdza: „*Na bazie przyjętej technologii spalania dla wszystkich analizowanych przypadków (tzw. black box147) tj. kotła parowego zasilanego pyłem węglowym, pracującym w warunkach podkrytycznych o sprawności produkcji energii elektrycznej 38% ...*” rodzi się pytanie czy produktem kotła jest energia elektryczna ? Prawdopodobnie stwierdzenie należy traktować w kategorii błędu redakcyjnego. Nawiązując do uwagi nr 8 dotyczącej założenia dla modelu energetycznego również tam należy traktować to jako błąd redakcyjny. Prawdopodobnie założone sprawności Autor odnosi do elektrowni stosując błędnie pojęcie kocioł.

12. (Str. 142) Autor stwierdza: „*Interpretacja wyników na poziomie modułu energetycznego ograniczała się do trzech kategorii związanych głównie z analizowaną wielkością emisji gazów do powietrza*” – w pracy zabrakło wyjaśnienia na jakiej podstawie takie założenie można zaakceptować.
13. (str. 155) Praca poświęcona jest analizie LCA. Rodzi się zatem pytanie dotyczące stwierdzenia „*Zużycie oleju napędowego ma bezpośredni wpływ na ilość emisji CO₂ (tabela 56), jako emisji bezpośredniej ze spalania oleju.*” Czy emisje dotyczące spalania oleju nie powinny być uwzględnione w ujęciu skumulowanym?

3.2. Wybrane uwagi o charakterze redakcyjnym

1. (Str 6 i dalsze) Autor niepotrzebnie zamieszcza cytowane pozycje literatury w stopce strony skoro w pracy jest zamieszczony kompletny spis literatury w sekcji „Bibliografia” (str. 183 – 189).
2. Praca zawiera szereg błędów o charakterze redakcyjnym np.: (str. 8) „*Ostatni trend utrzymuję się również*”; (str. 24) JEST: „*Ustawę o Prawie energetycznym*” POWINNO BYĆ: „*Ustawę Prawo energetyczne*”; (str. 40) „*Ocena działalność i wpływ*”; (Str. 76) „*Na określonych strumieni paliwowych*”; (str. 108) „*Przedstawione w tej części pracy pokazują możliwość*”; (str. 133) „*Do energetyce zawodowej trafiają głównie*”.
3. (str. 11) Szczegóły zaprezentowane w punkcie sekcji „*Metodyka badań*” powinny być zamieszczone w dalszej części pracy (Rozdział 3), w której Autor opisuje zastosowane w badaniach LCA metody i założenia.
4. (Str. 46,47) Rysunek 23, Tabela 13 są nieodpowiedniej jakości.
5. (Str. 55) „*Otrzymany na bazie modelu wynik został zaproponowany przez autorów*” – brak wyjaśnienia jakiej publikacji dotyczy odwołanie.
6. (Str. 70 i dalsze) Brak numeracji wzorów ...
7. (Str. 70) Przykład niekonsekwencji oznaczeń. Autor stosuje oznaczenie W_0 dla wartości opałowej paliwa, podczas gdy na stronie 68/69 ta sama wielkość jest oznaczana jako Q_i^r .
8. (Str. 71) Tablica 24 – Jaka jest praktyczna interpretacja pojęcia „*wskaźnik emisji węgla*”?
9. (Str. 71,72, 75 i inne) Przy prezentowanych zależnościach obliczeniowych brak jest odwołań do źródeł.
10. (Str. 75) – brak szczegółowego komentarza co Autor pracy rozumie pod pojęciem „*dyspozycyjność instalacji odsiarczania*”.
11. (Str. 86) Zacytowana informacja „*LCA jest metodą mającą na celu ocenę potencjalnego oddziaływania wyrobu na środowisko w całym cyklu życia*” zdecydowanie powinna

znaleźć się we wcześniejszych częściach pracy skoro wiele razy już się do LCA odwoływano.

12. (Str. 87) Autor stwierdza „*Tylko dla wykorzystywanej energii elektrycznej do analizy przyjęto dane zgodnie z krajowym mix-em energetycznym.*” Przydałyby się szczegóły tak istotnych z punktu widzenia tytułu pracy danych.
13. (str. 140) Autor stwierdza: „*Natomiast wyniki w przeliczeniu na 1 Mg produkowanego paliwa lub 1 GJ uzyskany z jego spalania przedstawiono w tabeli 35*” – czego dotyczy wymieniony w powyższym stwierdzeniu 1GJ ?

4. Wniosek końcowy

Podsumowując, należy stwierdzić, że recenzowana praca stanowi zwartą i szczegółową prezentację systemowych badań ekologicznych poświęconych analizie LCA łańcucha przetwarzania energii od pozyskania energii pierwotnej do produktu końcowego - elektryczności. Opracowane narzędzia, ich weryfikacja oraz możliwe do uzyskania za ich pomocą wyniki i wnioski są z całą pewnością cenne z punktu widzenia oceny ekologicznej krajowego systemu energetycznego opartego w głównej mierze na spalaniu węgla kamiennego i brunatnego. Z całą pewnością stwierdzam również, że Autor osiągnął zamierzony cel. Mimo wypunktowanych uchybień o charakterze merytorycznym i redakcyjnym pracę oceniam pozytywnie. Jestem przekonany, że oceniona praca dotycząca zagadnień wpisujących się w obszar dyscypliny górnictwo i geologia inżynierska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie o stopniach i tytułach naukowych. Wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Łukasza Lelka do publicznej obrony pracy doktorskiej.



Prof. dr hab. inż. Wojciech Stanek
Instytut Techniki Ciepłej
Politechnika Śląska