

Kraków, 15.04.2019 r.

dr hab. Patrycja Bąk – prof. AGH

Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH

Al. Mickiewicza 30

30-059 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Lelka

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

Promotor pracy: dr hab. Joanna Kulczycka,

Pracownia Badań Strategicznych IGSMiE PAN

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Łukasza Lelka została opracowana na zlecenie Dyrektora Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, dr. hab. inż. Krzysztofa Galosa – profesora IGSMiE PAN, zawarte w piśmie znak: A0-520-1/13, z dnia 04.03.2019 r.

1. Wprowadzenie

Krajowy sektor energetyczny stoi przed szeregiem istotnych wyzwań. Polityka klimatyczna i środowiskowa Unii Europejskiej, a także inne międzynarodowe zobowiązania w zakresie ochrony klimatu, wymagają szeregu różnych działań zapobiegających pogarszaniu jakości środowiska przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego państwa w warunkach rosnącego zapotrzebowania na energię finalną. Na to jednocześnie nakłada się potrzeba modernizacji infrastruktury wytwórczo-przesyłowej energii elektrycznej i ciepłej, często mocno już wyeksploatowanej i odbiegającej od najnowszych światowych rozwiązań stosowanych w tym zakresie.

W celu sprostania powyższym wymogom, niezbędne będzie wdrożenie zmian strategii funkcjonowania i rozwoju poszczególnych podmiotów sektora energetycznego oraz polityki energetycznej państwa. Konieczna jest poprawa ich stanu technologicznego, przy jednoczesnym podjęciu odpowiednich działań zapobiegających pogarszaniu jakości środowiska. Aby przyniosły one oczekiwane efekty, muszą być planowane i realizowane w oparciu o jednoznaczne dane, możliwe

do uzyskania i weryfikacji, na podstawie których będzie możliwe wykonywanie różnorodnych analiz.

W swojej pracy Doktorant opracował propozycję wykorzystania metody LCA do oceny wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej w całym cyklu życia, rzadko jeszcze stosowanej w Polsce do tego celu.

Recenzowana rozprawa doktorska mieści się w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie naukowej górnictwo i geologia inżynierska, ale także dotyka zagadnień inżynierii środowiska i energetyki. Zatem można stwierdzić, że mieści się w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, zgodnie z załącznikiem do Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych.

2. Problem badawczy postawiony w pracy

Prezentowana rozprawa doktorska ma na celu **dokonanie identyfikacji i hierarchizacji wpływu poszczególnych procesów jednostkowych cyklu życia produkcji energii elektrycznej na wybrane komponenty środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem fazy wydobywania i przeróbki węgla**. Za najlepszą metodę oceny środowiskowej Autor w swojej pracy uznał, powszechnie stosowaną w świecie jako technikę zarządzania środowiskowego, ocenę cyklu życia LCA (*Life Cycle Assessment*). Umożliwia ona kompleksową ocenę obciążeń i korzyści ekologicznych, wynikających z zastosowania określonych technologii od momentu wydobywania surowców, przez ich przetwarzanie, wytworzenie produktu, dystrybucję i użytkowanie, aż do utylizacji odpadów. Jest możliwa także analiza skutków długoterminowych, przez określenie wpływów na środowisko nawet w ciągu wielu lat po zakończeniu danego procesu. Pozwala ona zarówno na skwantyfikowanie wielkości wpływu poszczególnych procesów produkcji energii elektrycznej w całym łańcuchu wartości, jak i na modelowanie jakości produkowanego paliwa i związanego z tym wpływu na środowisko.

W swojej pracy Autor wyodrębnił cele:

- poznawczy – zidentyfikowanie i określenie zależności pomiędzy wielkością potencjalnego wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej, a jakością pozyskiwanego węgla kamiennego i brunatnego w pełnym cyklu życia,

- aplikacyjny – dokonanie hierarchizacji potencjalnych wpływów oraz przeprowadzenie analizy porównawczej w cyklu życia i zaproponowanie optymalnego wariantu jakościowego paliwa dla wybranych czterech zakładów górniczych.

Oprócz tego, w nawiązaniu do celu i zakresu pracy sformułował następującą hipotezę badawczą: „**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**”. W celu jej weryfikacji wyszczególnił również trzy hipotezy pomocnicze:

1. Coraz bardziej rygorystyczne przepisy i normy prawne wymagają poszukiwania rozwiązań technologicznych i organizacyjnych przyjaznych dla środowiska, których wybór powinien uwzględniać bezpośrednio i pośrednio aspekty środowiskowe w całym cyklu życia energii elektrycznej.
2. Procesy produkcji energii elektrycznej z różnych nośników charakteryzują się zróżnicowanym wpływem na poszczególne komponenty środowiska, dlatego przy ich porównywaniu powinno się stosować kompleksową ocenę środowiskową. Ocena taka dokonywana dla wszystkich etapów wytwarzania energii, a zwłaszcza fazy wydobywania surowców energetycznych, może być podstawą ekologicznego podejścia do projektowania i ewaluacji rozwiązań technologicznych.
3. 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.

3. Charakterystyka rozprawy

Licząca 195 stron rozprawa doktorska składa się ze wstępu, sześciu rozdziałów, a także streszczenia, aneksu (13 obszernych tabelarycznych zestawień wyników uzyskanych w trakcie badań), bibliografii (101 pozycji drukowanych i 12 źródeł internetowych) oraz wykazów tabel (69 pozycji) i rysunków (61 pozycji).

We **wstępie** zostały zaprezentowane cel i zakres pracy, sformułowano hipotezę badawczą wraz z trzema hipotezami pomocniczymi, a także scharakteryzowano metodykę zastosowaną w pracy.

W **rozdziale pierwszym** Autor dokonał analizy uwarunkowań, w których funkcjonują krajowe sektory wydobywczy i energetyczny. W oparciu o dane za 2017 rok, w odniesieniu do produkcji energii elektrycznej krótko scharakteryzował strukturę jej wytwarzania, wraz z podaniem uzyskanych wielkości produkcji z poszczególnych źródeł. Stwierdził, że w nadchodzących latach prognozuje się umiarkowany wzrost finalnego zapotrzebowania na energię elektryczną, który w 2030 roku może osiągnąć poziom do 195 TWh. Przedstawił również zestawienie planowanych do 2030 roku wyłączeń wyeksploatowanych bloków energetycznych oraz uruchomienia nowych, obecnie budowanych.

W odniesieniu do produkcji węgla kamiennego zostały przytoczone wielkości dotyczące wielkości wydobywania, liczby kopalń oraz wielkości i struktury jego sprzedaży w ostatnich latach. Przedstawione dane odnośnie węgla brunatnego dotyczą wielkości jego wydobywania – ogółem i w poszczególnych kopalniach.

Na zakończenie rozdziału zestawiono krajowe oraz unijne akty prawne dotyczące funkcjonowania szeroko pojętego sektora energetycznego.

W pierwszych dwóch częściach **rozdziału drugiego** zostały przedstawione charakterystyki działalności oraz wpływu na środowisko jednej wybranej kopalni węgla brunatnego i trzech kopalń węgla kamiennego.

W trzeciej części rozdziału Doktorant przedstawił wyniki studiów literaturowych dotyczących stosowania metody LCA w zakresie oceny procesów wydobywczych oraz produkcji energii elektrycznej. Dokonanie przeglądu dostępnych pozycji literatury wykazało, że szczególnie w odniesieniu do fazy górniczej i analizujący specyficznych warunków wydobywania oraz związanych z nią oddziaływań na środowisko, można znaleźć tylko niewiele pozycji. W ogóle, w Polsce metoda LCA nie jest tak powszechnie stosowana do oceny oddziaływania na środowisko, jak w innych państwach (np. w UE, Stanach Zjednoczonych, Australii). Nieliczne prace w zakresie analizy LCA górnictwa węglowego dotyczą głównie węgla kamiennego i odnoszą się jedynie do takich kategorii wpływu jak „zubożenie zasobów” czy „użytkowanie gruntów”. Ponadto, w literaturze brak jest prac dotyczących modelowania oddziaływania procesów górniczych na bazie metodyki LCA, z uwzględnieniem jakości pozyskiwanego paliwa. Jest to bez wątpienia luka, która stała się przedmiotem analiz recenzowanej rozprawy.

W następnej części pracy (**rozdział trzeci**) Autor zawarł propozycje zastosowania metody LCA do identyfikacji, hierarchizacji i kwantyfikowania wpływu na środowisko

procesów produkcji energii elektrycznej w całym cyklu życia. W kolejnych podrozdziałach zostały przedstawione założenia przyjęte do badań, dotyczące:

- wpływu jakości węgla produkowanego w kopalniach, a zużywanego następnie jako paliwo w elektrowniach, na efektywność środowiskową procesów produkcji energii elektrycznej,
- konstrukcji modelu oceny potencjalnego wpływu produkcji energii elektrycznej na środowisko w pełnym cyklu życia, odrębnie dla modułu górniczego oraz energetycznego.

Najobszerniejszy, **czwarty rozdział** rozprawy zawiera szczegółowy opis przeprowadzonych badań wraz z uzyskanymi wynikami. Ocena potencjalnego wpływu na środowisko metodą LCA została wykonana odrębnie dla zakładów górniczych (dla danych produkcyjnych uzyskanych w 2015 roku) oraz modelowego zakładu energetycznego.

W odniesieniu do kopalń w pierwszej kolejności została przeprowadzona inwentaryzacja danych wejściowych i wyjściowych, z ich podziałem na przepływy podstawowe i złożone. Następnie, w oparciu o reprezentatywność technologiczną, geograficzną i czasową oraz kompletność zebrania, niepewność parametrów, a także ocenę odpowiedniości i spójności technologicznej, została wykonana analiza jakości zebranych danych. Kolejnym krokiem było podanie, odrębnie dla każdej kopalni, wyliczonych skumulowanych potencjalnych wpływów na środowisko oraz przeliczenie ich wielkości w odniesieniu do wielkości rocznej produkcji, jednej tony wyprodukowanego węgla oraz jednego gigadżuła energii wyprodukowanej z węgla wydobytego w każdej z nich. Uzyskane wyniki były następnie przeliczane w różnych układach, w celu pokazania różnorodnych sposobów określania wpływów środowiskowych.

W odniesieniu do modelowego zakładu energetycznego analiza została wykonana w oparciu o strumienie paliwowe kierowane do niego, różniące się parametrami jakościowymi. Dla każdego z nich określono wskaźniki emisji dwutlenku węgla, tlenków siarki oraz pyłów, a następnie, z wykorzystaniem metody LCA, przeanalizowano je pod względem potencjalnego oddziaływania na środowisko w odniesieniu do jednostki funkcjonalnej w postaci jednej MWh wyprodukowanej energii elektrycznej. Jako kategorie wpływu zostały przyjęte zmiana klimatu, zakwaszenie gleby oraz emisja cząstek trwałych (pyły PM10 i PM2,5). Umożliwiło to porównanie potencjalnego oddziaływania poszczególnych strumieni paliwowych,

a uzyskane oceny były z kolei podstawą analizy wrażliwości potencjalnego oddziaływania produkcji energii elektrycznej w odniesieniu do zmian parametrów jakościowych spalane go węgla.

W przedostatnim, **piątym rozdziale** została zawarta dyskusja wyników przeprowadzonych badań. Przedstawiono ją w odniesieniu do zastosowanej metody LCIA (ILCD 2011 oraz IMPACT 2002+), analizy wskaźnikowej przeprowadzonej na poziomie danych inwentarzowych (w odniesieniu do kopalń – wskaźniki zużycia wybranych materiałów, energii i paliw w przeliczeniu na tonę wyprodukowanego paliwa oraz na gigadzul energii), analizy wrażliwości na zmianę kluczowych parametrów inwentarzowych (zużycie energii elektrycznej oraz w przypadku kopalni węgla brunatnego zmniejszenie ilości nadkładu). Na koniec przeanalizowano zmiany skumulowanego wskaźnika wpływów na środowisko na poziomie zakładu energetycznego w odniesieniu do rodzaju i jakości stosowanego paliwa.

Zakończeniem dysertacji doktorskiej Pana mgr. inż. Łukasza Lelka jest zestawienie dwunastu wniosków końcowych zawartych w jej **szóstym rozdziale**. Potwierdzono w nich, że wyniki uzyskane w pracy pozwoliły na identyfikację i hierarchizację procesów jednostkowych w cyklu życia procesów produkcji energii elektrycznej, przyczyniających się do największego udziału w ogólnym wskaźniku oddziaływania na środowisko.

4. Ocena naukowej wartości pracy

Celem zrealizowanej pracy było zidentyfikowanie oraz ustalenie hierarchii wpływu poszczególnych procesów jednostkowych cyklu życia produkcji energii elektrycznej na wybrane komponenty środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem fazy wydobywania i przeróbki paliw kopalnych wykorzystywanych w zakładach energetycznych.

Zastosowana do tego celu metodyka LCA uwzględnia bezpośredni wpływ procesu produkcji energii na środowisko, a także pośrednie aspekty, związane przede wszystkim z wydobywaniem i przeróbką węgla kamiennego i brunatnego. W celu uzyskania możliwości modelowania jakości wykorzystywanego paliwa z obciążeniami środowiskowymi energetyki, opracowany model działania pozwala łączyć parametry jakościowe węgla z wielkością emisji powstałych na etapie produkcji energii. Umożliwia identyfikację najłabszych środowiskowo etapów łańcucha dostaw dla różnych jakościowo strumieni paliwowych. To z kolei, może stanowić podstawę opracowania

zaleceń lub nowych rozwiązań technologicznych obniżających wpływ na środowisko produkcji energii elektrycznej w pełnym cyklu życia.

Jak to stwierdzono w części pracy odnoszącej się do badań literaturowych, tylko minimalna liczba z nich odnosiła się w jakimkolwiek zakresie do specyfiki oceny wpływu na środowisko całościowo rozpatrywanego procesu produkcji energii elektrycznej. Najczęściej dotyczyło to problematyki odrębnie rozpatrywanych kopalń i zakładów energetycznych. Wykazał tym samym istnienie luki badawczej w tym zakresie. Opracowany przez Autora dysertacji model obliczania środowiskowej oceny cyklu życia dla zidentyfikowanych procesów produkcji, w pełni pozwala na dokonywanie oceny całościowej. Istotny przy tym jest także fakt empirycznego potwierdzenia jego przydatności do prowadzenia niezbędnych wyliczeń.

Wysoko oceniam merytoryczną stronę recenzowanej rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Łukasza Lelka. Oryginalne rozwiązanie podjętego problemu badawczego potwierdza posiadanie odpowiedniej wiedzy teoretycznej oraz zdolności aplikacyjnych, a także umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy badawczej.

5. Uwagi i pytania do treści pracy

1. W podrozdziale 1.1, w części dotyczącej wydobywania węgla brunatnego nagle pojawiają się zapisy dotyczące węgla kamiennego (str. 33). Na ich końcu jest mowa o jakichś „środowiskowych skutkach działalności węgla kamiennego”, a następnie umieszczono całkowicie niezrozumiały Rysunek 16 – nie wiadomo do czego mają odnosić się przytoczone wielkości nakładów i udziały procentowe. A dalej znowu znajdują się zapisy dotyczące węgla brunatnego.
2. Obowiązujących ustaw nie wprowadzają organy rządowe (str. 34), lecz ustawodawcze (Sejm i Senat).
3. Ustawa przywołana w podrozdziale 1.3 (str. 34) nie ma tytułu „Ustawa o Prawie energetycznym”, lecz „Ustawa Prawo energetyczne”.
4. W kopalni „Janina” jest wydobywany węgiel kamienny, a nie brunatny, jak to zapisano w tytule Tabeli 13 (str. 47).
5. W przypadku kopalni „Bogdanka” portfolio wyrobów podano w rozbiciu na produkowane sortymenty (Tabela 18, str. 52 i Tabela 43, str. 133), a dla kopalń „Janina” i „Sobieski” podano jedynie pozycję „węgiel kamienny” (Tabela 12, str. 47, Tabela 41, str. 132, Tabela 15, str. 41, Tabela 42, str. 132) – te kopalnie również produkują sortymenty grube i średnie. Wskazane byłoby ujenoliczenie zapisów, tym

bardziej, że w tekście na stronach 132-133 pisze się o różnicach w spalaniu różnych sortymentów węgla.

6. Pominięcie w module górnictwa procesów dotyczących udostępniania złoża i robót przygotowawczych zniekształca analizy wpływów środowiskowych. W tych procesach jest zużywana największa część materiałów wykorzystywanych w kopalniach (obudowa chodnikowa drążonych wyrobisk) oraz wytwarza się największe ilości składowanych odpadów, jakimi jest skała płonna.

Poza tym, zapis ten jest niezrozumiały w świetle danych zebranych w Tabelach 30-32, zawierających dane wejściowe i wyjściowe niezbędne do analizy LCA poszczególnych kopalń. W każdej z nich są zawarte pozycje „odpady przeróbcze” oraz „odpady wydobywcze” – w zdecydowanej większości pochodzą one z robót udostępniających i przygotowawczych. Dodatkowo, w przypadku kopalni „Bogdanka” jako element wejścia jest podana „obudowa chodnikowa” w ilości ponad 19,5 tony (w skali całej branży są dziesiątki tysięcy ton produkowanej rocznie stali!). Oprócz tego w tabeli dotyczącej każdej kopalni, w pozycji „Wejścia” znajduje się „energia elektryczna”, która przecież również jest zużywana w robotach chodnikowych.

7. Czy model kotła parowego zasilanego pyłem węglowym, przyjętego w module energetycznym, jest adekwatny zarówno dla węgla kamiennego, jak i brunatnego?
8. Tablice 40-43 na str. 132-133 nie powinny być powtórzeniem Tablic 9, 12, 15 i 18, lecz podawać tylko wielkości produkcji kierowanej do zakładów energetycznych.
9. Zwracam uwagę na to, że kopalnie „Janina”, „Sobieski” i „Bogdanka” wybrane przez Autora do badań są niemietanowymi zakładami górnictwa. W związku z tym, w elementach wyjściowych nie jest ujęty metan, który w innych kopalniach występuje czasem w ogromnych ilościach. Uwolniony w czasie eksploatacji i emitowany do atmosfery ma znaczący wpływ środowiskowy na zmiany klimatyczne. Zakładam, że w opracowanej metodzie, przy zastosowaniu odpowiednich formuł obliczeniowych, również jest możliwe jego uwzględnienie w przypadku jego występowania w złożu.
10. Odbiór pracy zakłóca duża liczba tzw. literówek, błędów gramatycznych i interpunkcyjnych oraz niesformatowanych zapisów w tabelach – znacząco utrudnia to jej czytanie.

6. Wniosek końcowy

Na podstawie przeprowadzonej analizy formalnej i merytorycznej analizowanej rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę uzyskane rezultaty, oceniam ją pozytywnie. Zakres prac zrealizowanych w ramach przeprowadzonych badań jest bardzo obszerny, teza postawiona w pracy została dowiedziona, sformułowane wnioski są prawdziwe i jednoznaczne.

W związku z tym stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Łukasza Lełka pt. „Analiza porównawcza wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej z wybranych nośników w warunkach polskich” w pełni wyczerpuje wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) i wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony swojej pracy.

Patrycja Bok