

Katowice, 3 września 2020 roku

Dr hab. inż. Dorota Burchart-Korol, prof. PŚ
Politechnika Śląska,
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
ul. Krasińskiego 8, Katowice
email: dorota.burchart-korol@polsl.pl

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Macieja Weissa

**pt. „Analiza śladu węglowego produkcji energii elektrycznej z węgla kamiennego
z uwzględnieniem technologii usuwania CO₂”**

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Marcin Lutyński, prof. PŚ, natomiast promotorem pomocniczym jest dr inż. Aleksandra Koterak

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Pismo Pana prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska, Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa z dnia 22 czerwca 2020 roku, dotyczące wykonania recenzji przedmiotowej rozprawy.

2. Celowość podjęcia tematu

Przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Macieja Weissa dotyczy zagadnień związanych z oceną śladu węglowego procesu produkcji energii elektrycznej z zastosowaniem technologii ograniczenia emisji CO₂, zarówno technologii wychwytu i składowania CO₂ (Carbon Capture and Storage, CCS) oraz technologii wychwytu i wykorzystania CO₂ (Carbon Capture and Utilisation, CCU). W ostatnich latach opracowywane są nowe technologie mające na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Technologie usuwania CO₂ zwracają w ostatnim czasie coraz większą uwagę naukowców ze względu na konieczność ograniczenia szkodliwego oddziaływania węgla na środowisko w procesach wytwarzania paliw. Opracowywane są nowe metody oceny emisji gazów cieplarnianych, które obejmują cykl życia technologii, a nie tylko etap produkcji energii. Właśnie tym zagadnieniom Doktorant poświęcił swoją rozprawę doktorską.

W pracy zwrócono uwagę na konsekwencje środowiskowe technologii CCS i CCU uwzględniając cykl życia tych technologii. Podjęcie przez Doktoranta tematu analiz śladu węglowego należy uznać za celowe i potrzebne z punktu widzenia dalszych badań związanych z rozwojem technologii usuwania CO₂.

Wybór tematu rozprawy uważam za w pełni uzasadniony z naukowego punktu widzenia a także ze względu na perspektywy użytkowe.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona mi do recenzji praca obejmuje 124 strony. Zawiera 33 rysunki oraz 4 tabele umieszczone w tekście. Wykaz literatury zamieszczony w rozprawie obejmuje 162 zacytowane pozycje literaturowe, w tym 85 pozycji anglojęzycznych (publikacje i strony internetowe).

Zakres prac badawczych wykonanych przez Doktoranta jest obszerny i obejmuje:

- przegląd przedmiotowej literatury, gdzie przedstawiono stan wiedzy w zakresie metod analizy śladu węglowego, następnie śladu węglowego w odniesieniu do produkcji energii elektrycznej oraz omówienie sposobów ograniczenia emisji CO₂,
- charakterystykę obiektów badań, w tym technologie: produkcji energii elektrycznej w konwencjonalnej pyłowej elektrowni węglowej, technologii zgazowania węgla, technologii wychwytu i składowania CO₂ oraz technologii wychwytu i wykorzystania CO₂,
- podstawowe założenia technologiczne oraz określenie granic dla poszczególnych technologii,
- analizę pełnego cyklu życia technologii produkcji energii elektrycznej z uwzględnieniem technologii usuwania CO₂,
- identyfikację i inwentaryzację danych dla poszczególnych procesów produkcji energii elektrycznej,
- analizę śladu węglowego dla cyklu życia technologii produkcji energii elektrycznej z różnymi wariantami technologii CCS i CCU,
- uwzględnienie w analizach śladu węglowego pełnego cyklu technologii CCS i CCU,
- identyfikację głównych źródeł emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia analizowanych technologii.

Praca składa się z następujących rozdziałów merytorycznych:

Rozdział 1. "Wstęp" zawiera uzasadnienie tematu pracy

W Rozdziale 2 przedstawiono tezę, cele, zakres pracy, postawiono pytania problemowe. Kolejna część pracy stanowi część teoretyczną pracy, w tym: charakterystykę śladu węglowego, metodologię obliczania śladu węglowego, oraz ślad węglowy produkcji energii elektrycznej oraz sposoby ograniczenia emisji. W odniesieniu do wykonanego przeglądu literatury Doktorant stwierdza potrzebę wykonania oceny śladów węglowych w cyklu życia analizowanych technologii, ze szczególnym uwzględnieniem technologii usuwania CO₂.

Kolejna część pracy obejmuje część badawczą. Ta część pracy stanowi zasadniczą część rozprawy, gdzie przedstawione są analizy własne Doktoranta. Ta część pracy (Część badawcza) składa się z 5 rozdziałów (Rozdział 3 - Rozdział 7). W części badawczej dla każdej analizowanej technologii Doktorant scharakteryzował wskaźniki technologiczne, określił granice analizowanych technologii, co pozwoliło mu na określenie które elementy powinny być włączone do analizy śladu węglowego. Doktorant dokonał identyfikacji oraz inwentaryzacji danych do analizy śladu węglowego. Do analizy zostały wykorzystane dane przemysłowe, co stanowi dużą wartość pracy.

W pracy dokonano analizy śladu węglowego wybranych technologii produkcji energii elektrycznej z zastosowaniem technologii CCS i CCU. Oszacowanie wartości śladu tych technologii pozwoliło na dokonanie oceny wpływu na emisje gazów cieplarnianych. Przedmiotem analizy były następujące technologie:

- produkcja energii elektrycznej w konwencjonalnej pyłowej elektrowni węglowej bez i z CCS,
- produkcja energii elektrycznej w konwencjonalnej pyłowej elektrowni węglowej z CCU – w tym produkcja wodoru, proces metanizacji CO₂, proces produkcji energii elektrycznej i energii cieplnej,
- zgazowanie węgla kamiennego bez i z CCS,
- zgazowanie węgla kamiennego z CCU

Analiza śladu węglowego technologii produkcji energii elektrycznej była już przedmiotem analiz przedstawionych w literaturze, jednakże uwzględnienie tak szerokiego zakresu analiz uwzględniając różne warianty ograniczania emisji CO₂, w tym przede wszystkim analiza cyklu życia technologii wychwytu i wykorzystania CO₂ jest podejściem nowym.

Wyniki analiz pozwalają na realną ocenę oddziaływania technologii produkcji energii elektrycznej z zastosowaniem technologii CCA oraz CCU na emisje gazów cieplarnianych. Dokonana analiza śladu węglowego pełnego cyklu życia produkcji energii wraz z różnymi wariantami technologii CCS oraz CCU jest oryginalnym osiągnięciem pracy.

Rozdział 5 stanowi analizę niepewności. W następnym rozdziale przedstawiono omówienie wyników. Dodatkowo w rozdziale 7 przedstawiono wyniki badań ankietowych odnośnie świadomości społecznej na temat technologii CCS oraz akceptowalności wprowadzenia tej technologii. Rozdział kolejny „Wnioski” zawiera opis najważniejszych dokonań, wnioski wynikające z przeprowadzonych prac oraz stwierdzenie Doktoranta o pozytywnej weryfikacji postawionej tezy naukowej. Na końcu pracy przedstawione zostały: spis tabel, spis rysunków oraz wykaz literatury oraz 9 załączników.

Treść rozprawy jest zgodna z jej tematem. Tytuły rozdziałów i podrozdziałów dają syntetyczny pogląd na zawarte w nich treści. Kolejne rozdziały tworzą układ właściwy dla rozprawy naukowej. Przyjęte cele rozprawy zostały osiągnięte, a teza rozprawy została dowiedziona. Przedłożona praca spełnia wymagania przyjęte dla prac doktorskich. Ogólnie oceniam rozprawę doktorską Pana mgr inż. Macieja Weissa pozytywnie.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

W oparciu o krytyczny przegląd literatury Doktorant sformułował następującą **tezę** pracy: Zastosowanie technologii CCS i CCU, pomimo zmniejszenia bezpośrednich emisji CO₂, zwiększa istotnie emisje pośrednie gazów cieplarnianych z procesu produkcji energii. Nie można zatem twierdzić, że technologie usuwania CO₂ są technologiami bezemisyjnymi.

Przy tak sformułowanej tezie przyjęto jako **cel pracy**: analiza ilości wyemitowanych do środowiska gazów cieplarnianych wytworzonych podczas pozyskiwania paliwa i produkcji energii elektrycznej z uwzględnieniem całego łańcucha operacji technologicznych procesów CCS i CCU.

Cel pracy sformułowano prawidłowo. Postawiony w pracy cel jest ważny przede wszystkim z uwagi na jego znaczenie dla ograniczenia emisji gazów cieplarnianych zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej. Doktorant przedstawił zakres pracy jaki zrealizował, aby osiągnąć postawiony cel. Zakres ten można uznać za wystarczający. Realizacja

zakresu pracy umożliwiła osiągnięcie wytyczonych celów oraz dostarczyła oryginalną wiedzę w analizowanym obszarze badawczym. Uzyskane wyniki badań są istotne z poznawczego punktu widzenia, szczególnie w obszarze analiz technologii usuwania CO₂

Biorąc pod uwagę następujące elementy pracy: dobór tematu, cel pracy jak również zastosowane metody i uzyskane wyniki, wyrażam przekonanie, że rozpatrywany problem naukowy został rozwiązany poprawnie i samodzielnie. Praca zawiera nowe elementy, poprawnie dobrano i zastosowano metody badawcze, poprawna jest również interpretacja uzyskanych wyników.

5. Zagadnienia naukowe rozwiązane samodzielnie przez Doktoranta oraz prawidłowość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków

Rozdziały 3 – 7 to najważniejsze części rozprawy. Stanowią one wynik samodzielnej pracy Doktoranta. Doktorant zrealizował szeroki zakres analiz śladu węglowego cyklu życia technologii produkcji energii elektrycznej.

W pracy Doktorant przedstawił 7 wniosków, które w większości wynikają z dokonanych analiz i obliczeń.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta o charakterze poznawczym i metodycznym można zaliczyć:

- ocenę śladu węglowego procesów produkcji energii elektrycznej w polskich warunkach uwzględniając rzeczywiste dane,
- analizę emisji gazów cieplarnianych dla cyklu życia technologii energetycznych uwzględniając pełen cykl życia technologii usuwania CO₂,
- identyfikację i inwentaryzację danych dla procesów produkcji energii elektrycznej,
- analizę porównawczą śladów węglowych technologii usuwania CO₂,
- określenie bezpośrednich i pośrednich emisji gazów cieplarnianych rozpatrywanych w pracy technologii,
- analizę śladów węglowych dla cyklu życia technologii uwzględniając cały łańcuch technologii w zakresie od wydobycia surowca, przez transport do zasadniczych procesów produkcji energii elektrycznej,
- analiza śladu węglowego oraz wykazanie czynników determinujących ślad węglowy poszczególnych procesów.

Zakres zrealizowanych prac stanowi oryginalny dorobek Doktoranta a uzyskane wyniki analiz dostarczają ważnych wniosków, które mogą być przydatne przede wszystkim do podjęcia decyzji odnośnie wyboru technologii o najniższym śladzie węglowym. Na podkreślenie zasługuje również identyfikacja oraz inwentaryzacja szczegółowych danych dla analizowanych w pracy technologii, w oparciu o rzeczywiste dane.

Treść rozprawy dowodzi, że Doktorant dobrze znajduje się w przedmiotowej problematyce. Stwierdzam brak istotnych uchybień w tym zakresie i oceniam znajomość przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta, w tym jej przygotowanie zawodowe i naukowe - pozytywnie.

Uzyskane wyniki mają znaczenie zarówno naukowe, jak również są one cennym materiałem z punktu widzenia utylitarnego, szczególnie w pracach związanych z rozwojem technologii usuwania ditlenku węgla.

6. Ocena znajomości przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta i uwagi krytyczne

Doktorant, na podstawie literatury, dokonał krytycznej oceny stanu wiedzy odnośnie analiz śladu węglowego. Doktorant dobrze orientuje się w problematyce dokonywania ocen środowiskowych z wykorzystaniem metody oceny śladu węglowego, należy tutaj podkreślić, że jest to obszar złożony. Prezentowana część teoretyczna i krytyczny przegląd literatury stanowią cenny materiał naukowy do dalszych prac związanych z analizą emisji gazów cieplarnianych technologii usuwania CO₂.

Na podstawie przeprowadzonej oceny treści rozprawy doktorskiej stwierdzam, że sformułowane przez Doktoranta cele zostały zrealizowane, potwierdzając słuszność przyjętych założeń.

Uwagi dyskusyjne i wątpliwości

Użyte w rozprawie terminy i wyrażenia są w większości poprawne i zgodne z aktualnie obowiązującym słownictwem w dziedzinie nauk technicznych.

Poniżej przedstawiam uwagi, które uznaję za drobne lub mają charakter porządkowy. Uwagi te stanowią przyczynek do podjęcia pogłębionej dyskusji naukowej dotyczącej rozwoju metodologii oceny emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia technologii.

Podczas lektury ocenianej rozprawy doktorskiej nasunęły mi się następujące uwagi:

1. W przeglądzie literatury niewystarczająco przedstawiono dotychczasowe prace z zakresu analizy śladu węglowego zastosowania CCS i CCU. Proszę Doktoranta o komentarz dotyczący tej kwestii w trakcie obrony.
2. Proszę Doktoranta o komentarz, dlaczego w zastosowanej metodyce nie brano pod uwagę emisji związanej ze składowaniem/utyлизacją odpadów powstających przy produkcji węgla kamiennego?
3. Proszę Doktoranta o wyjaśnienie czy hipoteza w badaniach ankietowych, która zakłada, że w rejonach, gdzie górnictwo (zarówno głębinowe, jak i otworowe) nadal jest aktywne wystąpi większa przychylność wobec technologii składowania CO₂ została udowodniona?
4. W pracy pojawiło się stwierdzenie, że występują różnice między analizą śladu węglowego oraz oceną cyklu życia, ale nie zostało przedstawione jakie? Proszę Doktoranta o komentarz dotyczący tej kwestii w trakcie obrony.
5. Niedosyt pozostawia brak porównania uzyskanych wyników z dotychczasowymi pracami w tym obszarze, szczególnie w odniesieniu do prac Głównego Instytutu Górnictwa. Proszę Doktoranta o komentarz w trakcie obrony - w jakim zakresie uzyskane wyniki pracy odnoszą się do dotychczasowych wyników prac w ramach zadania badawczego pt "Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej", realizowanego w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych NCBiR pt.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, którego liderem była Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie. Również został opracowany w GIG model oceny emisji gazów cieplarnianych z kopalń węgla kamiennego (Projekt PBS - GROSSMINE).
6. Żaden wniosek w pracy nie odnosi się do wyników badań ankietowych - dlatego proszę to uzupełnić w trakcie obrony.
7. Cennym elementem pracy byłaby lista proponowanych dalszych prac związanych z tematem pracy.

Uwagi szczegółowe i redakcyjne

Praca została zredagowana dość starannie. Napisana jest zwięzłym językiem, a podawane stwierdzenia są dobrze wyważone. Jednak Doktorant nie uniknął pomyłek i błędów redakcyjnych. Podczas czytania nasunęło mi się stosunkowo niewiele uwag merytorycznych. Zauważyłam także niewiele błędów formalnych i drukarsko-redakcyjnych. Przedstawiam poniżej ważniejsze z nich:

- w recenzowanej rozprawie brak jest streszczenia w języku angielskim,
- wprowadzenie wykazu użytych skrótów i oznaczeń ułatwiłoby czytelnikowi lekturę rozprawy,
- w mojej opinii brakuje zestawienia w tabelach inwentaryzacji wszystkich surowców, materiałów,
- sposób prezentacji wielu wyników badań utrudnia ich czytelność i interpretację,
- sposób zapisu obliczeń jest w wielu miejscach nieczytelny, przykładowo - w pracy pojawiają się stwierdzenia typu: „obliczenia śladu węglowego wydobytego węgla kamiennego składają się z obliczeń ilości uwolnionych do atmosfery gazów cieplarnianych” (str. 27), „obliczenie wielkości emisji gazów cieplarnianych podczas transportu materiałów jest jednym z istotnych elementów śladu węglowego” (str. 30),
- elementy przedstawione na rysunku 1 nie są elementami składowymi śladu węglowego,
- rysunek 2 jest w języku angielskim,
- rysunek 3 jest zbędny, gdyż nic nie wnosi do pracy,
- w pracy należy stosować określenie ditlenek węgla zamiast dwutlenek węgla,
- w pracy niejednokrotnie wskaźnik GWP stosowany jest zamiennie z emisją GHG, co jest nieprawidłowe,
- obowiązuje układ SI, a w wielu przypadkach w rozprawie zamieszczono "tony" a powinno być "Mg",
- odnośnie wykazu literatury pewien niedosyt może budzić niewielka liczba publikacji prezentujących krajowy dorobek w zakresie analizy emisji gazów cieplarnianych technologii produkcji energii elektrycznej z ostatnich lat.

Nieliczne usterki stylistyczne i błędy literowe zaznaczyłam w dostarczonym egzemplarzu pracy i z tego powodu nie będę ich zamieszczać w tym miejscu.

Przytoczone powyżej uwagi mają w większości charakter dyskusyjny lub mówią jedynie o niedociągnięciach i w niczym nie pomniejszają wartości naukowej wyników osiągniętych przez Doktoranta, natomiast mogą być pomocne w trakcie dalszej pracy naukowej oraz uwzględnione przy przygotowaniu publikacji naukowych.

Biorąc pod uwagę ocenę rozprawy doktorskiej stwierdzam, że zasadne jest prowadzenie dalszych badań w tym zakresie, jak również rozwijanie metod oceny śladu węglowego szczególnie uwzględniając technologie usuwania CO₂.

Podsumowując tytuł rozprawy jest adekwatny do treści rozprawy. Geneza tematu i uzasadnienie celowości jego podjęcia wynika z dokonanego przeglądu istniejącego stanu wiedzy. Pomimo przedstawionych powyżej uwag, strukturę merytoryczną i układ recenzowanej pracy uznaję za właściwe.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Macieja Weissa dostarcza istotnej wiedzy w zakresie analizy śladu węglowego technologii produkcji energii elektrycznej z zastosowaniem CCS i CCU.

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podjęcie tematu badawczego rozprawy doktorskiej uważam za celowe i prawidłowo uzasadnione. Doktorant wykazuje dobrą wiedzę w zakresie stosowania metody oceny śladu węglowego do analiz procesów produkcji energii elektrycznej. Posiada odpowiednie przygotowanie dla rozwiązywania postawionych problemów teoretycznych, co w pełni wykazał w przedmiotowej rozprawie.

Za największe osiągnięcie Doktoranta uważam wykonanie analizy śladu węglowego dla technologii usuwania CO₂ w ramach łańcucha technologii produkcji energii elektrycznej, co wymagało interdyscyplinarnego podejścia do problemu i łączenia kilku dyscyplin w dziedzinie nauk technicznych. Doktorant w pracy przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Macieja Weissa pt. „Analiza śladu węglowego produkcji energii elektrycznej z węgla kamiennego z uwzględnieniem technologii usuwania CO₂”, przygotowana pod opieką promotora - dr hab. inż. Marcina Lutyńskiego, prof. PŚ oraz promotora pomocniczego - dr inż. Aleksandrę Koterą, spełnia wszystkie warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.).

W związku z powyższym wnoszę o przyjęcie recenzowanej rozprawy doktorskiej przez Radę Naukową Głównego Instytutu Górnictwa w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, odpowiadającej obecnej dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Dorota Burchart-Korol, prof. PŚ