



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Katedra Techniki Ciepłej i Ochrony Środowiska
Dr hab. inż. Małgorzata Wilk, prof. AGH
Al. Mickiewicza 30, bud. B4, p 4B; 30-059 Kraków
Tel.: +48 12 617 46 09; e-mail: mwilk@agh.edu.pl

Kraków, 02 września 2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Pauliny Popielak

pt.: „Zastosowanie analizy LCA do oceny łańcucha wychwytu i utylizacji CO₂”

„Analysis application of LCA to an evaluation in the full value chain in capture and utilization of CO₂”

wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Izabeli Majchrzak-Kucęby

i promotora pomocniczego dr inż. Dariusza Wawrzyńczaka

1. Podstawa opracowania

Recenzję rozprawy doktorskiej opracowano na prośbę Pani dr hab. inż. Iwony Zawieji, prof. PCz, Kierownik dyscypliny naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Politechniki Częstochowskiej wyrażoną w piśmie nr RWIiS.BOD.511.1.2024.1 z dnia 01.07.2024 r. Podstawą formalną wykonania recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej w sprawie powołania recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora Uchwała nr 76/ 2023/2024 z dnia 1.07.2024 r. oraz umowa o dzieło zawarta pomiędzy Politechniką Częstochowską a powołaną Recenzent. Zgodnie z umową wykonanie recenzji dotyczy oceny spełnienia warunków przez rozprawę doktorską określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2020 r. poz. 85, z późniejszymi zmianami).

2. Przedstawienie podstawowych danych o Kandydatce

Pani Paulina Popielak uzyskała tytuł magistra 11 czerwca 2019 r. na Wydziale Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej na kierunku: *Energetyka* z wynikiem bardzo dobrym. Studia doktoranckie realizowała w latach 2020-2024 w dyscyplinie naukowej: *Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* na Politechnice Częstochowskiej, w trakcie których uzyskała efekty kształcenia w zakresie wiedzy, umiejętności oraz kompetencji społecznych na poziomie ósmym Polskiej Ramy Kwalifikacyjnej (dyplom doktorski) zgodnie z zaświadczeniem RN-SD.5028.3.8.2024 z dnia 27.06.2024r.. Na podstawie przedstawionego oświadczenia stwierdzam, że Kandydatka nie ubiegała się wcześniej o tytuł doktora. W trakcie realizacji pracy doktorskiej Pani mgr inż. Paulina Popielak brała udział w projekcie międzynarodowym finansowanych przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej pt. „*Redukcja śladu węglowego w technologii CCS-CCU*”

z wykorzystaniem bioadsorbentów (akronim: BIOC02)”. Jest główną autorką artykułu o punktacji 140 pkt. wg MEN i współczynniku IF=4,6 oraz współautorką 2 publikacji naukowych o punktacji 140 pkt. wg MEN i IF=3,2 znajdujących się na *Web of Science Master Journal List*. Kandydatka jest również współautorką anglojęzycznego recenzowanego rozdziału w monografii naukowej. W trakcie kształcenia w szkole doktorskiej brała udział w 3 międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych oraz odbyła 3-tygodniowy staż zagraniczny na Uniwersytecie Campus Bio-Medico w Rzymie. Od 2023 mgr inż. Popielak pracuje na stanowisku Analityka Danych w korporacji Sphera, globalnego dostawcy oprogramowania, danych i usług konsultingowych w zakresie zarządzania ryzykiem i zarządzania środowiskowego, społecznego i ładu korporacyjnego. W pracy zawodowej Kandydatka zajmuje się przygotowaniem zestawów danych do największej światowej bazy danych LCA – Managed Life Cycle Assessment Content Database i jako pierwsza wdrożyła zestaw danych obejmujący łańcuch dostaw wychwytu, utylizacji i składowania CO₂ bezpośrednio związany z tematyką recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Podsumowując, uważam, że dorobek naukowy Doktorantki jest dobry i wystarczający na tym etapie kariery, a doświadczenie zawodowe niewątpliwie wspomogło realizację pracy doktorskiej.

3. Przedstawienie informacji o ocenianej rozprawie

Tytuł recenzowanej rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora pt. *„Zastosowanie analizy LCA do oceny łańcucha wychwytu i utylizacji CO₂”* („*Analysis application of LCA to an evaluation in the full value chain in capture and utilization of CO₂*”) jest trafnie sformułowany i oddaje treść dysertacji. Praca przedstawia i ocenia różne scenariusze zastosowania nowoczesnej technologii wychwytu, utylizacji (do produkcji paliw syntetycznych oraz materiałów budowlanych) lub składowania emitowanego dwutlenku węgla (ang. Carbon Capture Utilisation and Storage - CCUS) z przemysłu cementowego i energetyki. Proponowana technologia wychodzi naprzeciw potrzebom dekarbonizacji krajowej gospodarki, a wykorzystanie oceny cyklu życia (ang. Life Cycle Assessment - LCA) daje możliwość określenia korzyści środowiskowych podczas jej zastosowania. Zdaniem Recenzenta, w pracy poruszane są aktualne trendy badawcze, a podjęta tematyka wpisuje się w dyscyplinę *Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*.

Dysertacja jest napisana w języku angielskim, poprawnym językiem technicznym, na którą składają się: spis treści, spis cyklu powiązanych artykułów, streszczenia w języku angielskim i polskim dziewięciu głównych rozdziałów (obejmujących kolejno: wprowadzenie do tematu (rozdział 1 – nawiązanie do technologii CCUS, w tym podrozdział 1.1 w postaci opublikowanego artykułu; rozdział 2 – dotyczy zastosowania LCA w CCUS; rozdział 3 – podsumowuje bieżącą literaturę), motywację z tezami badawczymi, celami i zakresem pracy (rozdział 4), metodykę LCA zastosowaną w 3 analizowanych przypadkach (rozdział 5), prezentację tych przypadków (rozdział 6 – przypadek 1 w postaci niepublikowanego artykułu; rozdziały 7 i 8 - jako opublikowane artykuły prezentujące przypadki 2 i 3), podsumowania (rozdział 9); spisu skrótów, spisu rysunków (8) i tabel (8), aneksu obejmującego opublikowany artykuł pomocniczy oraz bibliografii (229 pozycji, w tym 9 aktów prawnych, 25 raportów i 15 monografii). Na końcu pracy dołączone są dwie deklaracje Kandydatki o jej udziale merytorycznym w opublikowanych artykułach naukowych potwierdzone przez współautorów. Sumarycznie praca liczy 240 strony,

148 strony dysertacji i 92 strony zamieszczonych artykułów jako podrozdział (1.1), rozdziały (6, 7, 8) i aneks.

Rozdział pierwszy to wprowadzenie do aktualnej polityki klimatycznej i energetycznej Unii Europejskiej (UE) ze wskazaniem nowych technologii, takich jak CCUS, prowadzących do dekarbonizacji przemysłu i zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w celu osiągnięcia neutralności klimatycznej. Kandydatka zaproponowała jako podrozdział 1.1 opublikowany artykuł naukowy, w którym wykorzystana została metoda benchmarkingu do przeprowadzenia analizy porównawczej polityki środowiskowej i rozwoju technologii CCUS w ponad 27 państwach członkowskich UE i Wielkiej Brytanii. Dodatkowo, przedstawiła przegląd technologii wychwytywania, składowania i utylizacji CO₂ m.in. do produkcji dimetylu eterowego, metanolu i wodoru jako komponentu do produkcji ww. paliw oraz karbonatyzowanego betonu. Podsumowaniem tego rozdziału jest opis prowadzonej polityki i stan wdrażania technologii CCUS na świecie.

Rozdział drugi skupiony jest na podstawach i zastosowaniu środowiskowej oceny cyklu życia (LCA) do łańcucha dostaw technologii CCUS. LCA to podejście kompleksowe do oceny wpływu na środowisko na wszystkich etapach wdrażanej technologii, produktu lub systemu w całym cyklu życia stosowane jako narzędzie rekomendowane przez UE do wsparcia procesu decyzyjnego.

Rozdział trzeci to krótkie podsumowanie diskutowanych tematów w rozdziałach 1 i 2, w wyniku których postawiono problem badawczy rozwiązywany w pracy, a mianowicie: *jaki może być wpływ na środowisko zastosowanie łańcucha dostaw technologii CCUS w energetyce i przemyśle w porównaniu do konwencjonalnie realizowanego procesu produkcyjnego?*

Rozdział czwarty obejmuje motywację, określenie innowacyjnego charakteru pracy oraz dwie tezy badawcze w odpowiedzi na postawiony we wcześniejszym rozdziale problem, a mianowicie, że możliwe jest:

1. *zmniejszenie wpływu środowiskowego przez obiekty przemysłowe emitujące CO₂, a także obiekty wykorzystujące CO₂ jako surowiec w swoich procesach produkcyjnych, poprzez zastosowanie technologii CCUS oraz*
2. *dekarbonizacja energetyki i przemysłu cementowego poprzez zastosowanie łańcucha dostaw technologii CCUS.*

W celu udowodnienia postawionych tez badawczych Kandydatka zdefiniowała następujące cele:

1. *wykonanie obliczeń numerycznych z zastosowaniem narzędzia LCA do określenia wpływu środowiskowego dla elektrowni i cementowni z łańcuchem dostaw CCUS i bez oraz*
2. *ocenę możliwości dekarbonizacji poprzez ilościowe określenie potencjału tworzenia efektu cieplarnianego (ang. global warning potential - GWP) za pomocą analizy LCA dla łańcucha dostaw CCUS w tych sektorach.*

Doktorantka określiła zakres dysertacji obejmujący m.in. wyznaczenie jednostki funkcjonalnej i zdefiniowanie warunków brzegowych dla zastosowanej analizy LCA, definicje studiowanych przypadków z zastosowaniem łańcucha dostaw CCUS kolejno dla: elektrowni węglowej w Polsce, porównania elektrowni i cementowni oraz porównania elektrowni na gaz ziemny we Włoszech i Polsce, zebranie literatury i danych eksperymentalnych do przeprowadzenia analizy oraz identyfikacji zachodzących procesów, ocenę zbioru danych za pomocą metodyki *ocena wpływu cyklu życia* (ang. Life Cycle Impact Assessment – LCIA) do określenia korzyści i zagrożeń oddziaływania na środowisko w oparciu o wskaźniki, a także

analizę uzyskanych wyników. Moim zdaniem postawione cele i zakres pracy są prawidłowe, a szczegółowe zaplanowanie prac analitycznych i obliczeniowych umożliwia zrealizowanie postawionych celów.

Rozdział piąty opisuje zastosowaną metodykę do przeprowadzenia analizy LCA z wyznaczeniem kategorii wpływu, celów i zakresu, jednostki funkcjonalnej i zdefiniowanych warunków brzegowych dla każdego analizowanego przypadku.

Rozdział szósty to studium pierwszego przypadku, którym jest przedstawiona analiza porównawcza wpływu środowiskowego wykonana dla elektrowni węglowej zlokalizowanej w Polsce z i bez technologii wychwytywania CO₂ (CCS), bez możliwości jego utylizacji. Analizę środowiskową od „bramy-do-bramy” wykonano dla kotła z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym na parametry nadkrytyczne zlokalizowanego w Elektrowni "Łagisza" - TAURON Wytwarzanie S. A. w Będzinie. Jako technologię wychwytywania CO₂ wybrano Dual-Reflux Vacuum-Pressure Swing Adsorption (DR-VPASA) na węglu aktywnym (z układem do oczyszczania gazów odlotowych przed wychwytem CO₂, z układem do wychwytu CO₂ oraz z gazociągiem do transportowania CO₂ w celu zdeponowania go pod ziemią), a jako miejsce deponowania CO₂ zaproponowano Górnośląskie Zagłębie oddalone ok. 100 km od elektrowni. Analiza środowiskowa wykazała, że zastosowanie technologii CCS pozwala na obniżenie potencjału tworzenia efektu cieplarnianego, ale pozostałe badane wskaźniki środowiskowe tj. potencjał zanikania warstwy ozonowej czy wyczerpywanie zasobów wzrosły. Rozdział zawiera nieopublikowany materiał, który jest przygotowany w formie artykułu. W związku z tym jest wyodrębniona strona tytułowa, streszczenie, słowa kluczowe, wprowadzenie, metodyka, wyniki i dyskusja, podsumowanie, podziękowania, oświadczenie o wkładzie merytorycznym współautorów w powstanie publikacji, spis oznaczeń i bibliografia.

Rozdział siódmy to studium drugiego przypadku zaproponowane w postaci opublikowanego artykułu z analizą porównawczą wpływu środowiskowego elektrowni i cementowni z wdrożoną technologią CCUS. Jako metodę utylizacji wychwyconego CO₂ z elektrowni zaproponowano produkcję paliwa syntetycznego dimetyloeteru (DME), a dla cementowni produkcję DME i karbonatyzowanego betonu. Ze względu na fakt, że metoda LCA wymaga zastosowania tego samego układu funkcjonalnego do wykonania analizy porównawczej, w tym przypadku zastosowano podejście nietypowe, a mianowicie zaproponowano, że obie jednostki, elektrownia i cementownia, pracują przez 1 godzinę z założeniem pełnej sprawności operacyjnej obu bloków. W obu przypadkach założono warunki brzegowe, które obejmują następujące jednostki: elektrownia i cementownia jako źródło strumieni spalin, oczyszczanie gazów odlotowych przed wychwytem, instalacja wychwytu CO₂ (absorpcja), system energetyczny oparty o odnawialne źródła do zasilania instalacji wychwytu CO₂ ze spalin, instalacja do produkcji DME w elektrowni oraz instalacja do produkcji DME wraz z produkcją karbonatyzowanego betonu w cementowni. Obliczono wpływ środowiskowy w oparciu o 16 wskaźników, z których 6 porównano - są to wskaźniki dot. zmiany klimatu, toksyczności na człowieka – rakotwórczość, toksyczności na człowieka – nie rakotwórczość, zanikanie warstwy ozonowej czy wyczerpywanie się zasobów minerałów, stałych i odnawialnych czy wody. Na ich podstawie oceniono, że wpływ produkcji DME na środowisko jest większy w przypadku cementowni niż dla elektrowni nie tylko z powodu większej ilości strumieni pochodzących z produkcji DME, ale również z powodu większych strumieni gazów odlotowych z jednostki wychwytu CO₂.

Rozdział ósmy opisuje trzecie studium przypadku, w którym zanalizowano scenariusze dotyczące analizy porównawczej elektrowni na gaz ziemny z systemem NGCC (ang. Natural Gas Combined Cycle - NGCC) we Włoszech i w Polsce jako krajów mających największy udział w całkowitej emisji CO₂ w UE. Scenariusz pierwszy dotyczy elektrowni NGCC z i bez technologii CCS, a scenariusz drugi elektrowni NGCC z i bez zastosowana technologii CCUS. Również ten rozdział jest zaprezentowany w formie opublikowanego artykułu. Dla scenariusza 1 zaproponowano jednostkę funkcyjną jako 1 kWh energii elektrycznej wytwarzanej przez elektrownię NGCC, a dla scenariusza 2 wybrano wielofunkcyjny system 1 kWh energii elektrycznej wytworzonej przez elektrownię NGCC i produkcję 0,55 kg DME. Jako metodę do wychwytu CO₂ z gazów spalinowych zastosowano absorpcję w metylo dietanoloaminie (MDEA). Zastosowane warunki brzegowe obejmują następujące jednostki: elektrownię NGCC, rynek gazu ziemnego dla badanych krajów, czyli Włoch i Polski, instalację wychwytu CO₂ (absorpcja) z oczyszczaniem, kompresor do wychwyconego CO₂, jednostkę produkującą wodór oraz jednostkę produkującą DME. Ocena wskaźników środowiskowych wykazała, podobnie jak w studium pierwszego przypadku, że zastosowanie technologii CCS i CCUS czy to we Włoszech czy w Polsce pozytywnie wpływa na obniżenie potencjału tworzenia efektu cieplarnianego, ale powoduje wzrost pozostałych wskaźników. Wykazano również, że obniżenie potencjału tworzenia efektu cieplarnianego jest niższe dla technologii CCUS w stosunku do CCS.

Rozdział dziewiąty to podsumowanie wykonanych obliczeń i analiz dla wszystkich przypadków. Autorka formułuje wnioski, na podstawie których jednoznacznie potwierdza, że zastosowanie technologii CCUS prowadzi do dekarbonizacji energetyki i przemysłu cementowego.

Autorka zamieściła również aneks, w którym znajduje się publikacja pomocnicza. Tematem artykułu jest analiza egzergetyczna syntezy dimetyloeteru z dwutlenku węgla i wodoru. Dwutlenek węgla był wychwycony w elektrowni gazowej NGCC, a zielony wodór był produkowany ze źródeł odnawialnych w procesie elektrolizy. Jest to praca, która jest wstępem do trzeciego studium przypadku i niewątpliwie wspiera merytorycznie dysertację.

W załączonej na końcu pracy bibliografii 75% cytowanych pozycji zostało opublikowanych w ostatnich dziesięciu latach wskazując na dobrą znajomość Kandydatki światowego i krajowego merytorycznego dorobku w tematyce rozprawy doktorskiej. Cytowane raporty i akty prawne wskazują na dogłębną analizę aktualnego stanu prawnego i wiedzy prezentowanej w krajowej i światowej fachowej literaturze w obszarze zagadnień badawczych dotyczących badań nad metodami dążącymi do dekarbonizacji przemysłu i energetyki. Dodam, że Autorka nie uwzględniła w bibliografii spisów publikacji zawartych w artykułach tworzących podrozdział 1.1, rozdziały 6, 7, 8 i aneks.

3. Ocena rozprawy

Oceniam, że rozprawa jest oryginalna, a tematyka interesująca i wpisuje się w aktualne trendy badawcze i rozwojowe. Zastosowanie uzyskanych wyników obliczeń za pomocą narzędzia LCA do oceny środowiskowej wdrożenia technologii CCUS w energetyce i przemyśle cementowym ma praktyczne zastosowanie. Wyniki tych badań wzbogacą wiedzę na ten stosowania technologii CCUS i mogą być pomocne przy podejmowaniu decyzji dot. wdrażania tej technologii dla decydentów czy organów regulacyjnych oraz osób zainteresowanych rozwojem tej technologii.

Praca jest zredagowana poprawnie i starannie, aczkolwiek układ jest niestandardowy ze względu na włączenie opublikowanych artykułów i nieopublikowanego manuskryptu w treść pracy jako podrozdział i rozdziały. Takie podejście jest bardzo wymagające dla recenzenta. Zaproponowanie całych artykułów jako fragmenty dysertacji powoduje powtórzenia we wstępach, wiadomościach teoretycznych i analitycznych, zastosowanej metodyce i spisach literatury. Poza tym, zakres cytowanych artykułów jest szerszy niż fragmenty zaproponowane jako elementy podlegające recenzji w pracy doktorskiej co powoduje, że recenzent musi poszukiwać i decydować o wyborze danych fragmentów pracy samodzielnie. Biorąc jednak pod uwagę deklarację Autorki o jej udziale merytorycznym w opublikowanych artykułach naukowych, obejmujący m.in. przegląd literatury, opis metodyki LCA, umiejętności wykonania obliczeń w oprogramowaniu służącym do przeprowadzenia analizy oceny cyklu życia m.in. dla studium przypadku elektrowni i cementowni oraz elektrowni węglowej z CCS, analizy wyników i aktywny udział w powstaniu oryginalnych wersji manuskryptów oceniam pozytywnie jej zaangażowanie w opublikowanych pracach. Powyższe uwagi nie wpływają jednak na wartość merytoryczną recenzowanej pracy.

Za główne osiągnięcia Doktorantki uważam:

- krytyczną ocenę krajowego i światowego stanu wiedzy na temat możliwości zastosowania nowoczesnych technologii wychwytu i utylizacji czy składowania CO₂ prowadzące do ograniczania emisji w różnych sektorach przemysłu i energetyki
- szczegółowe rozpoznanie potrzeb sektora energetycznego i przemysłowego wynikające z globalnych wyzwań klimatycznych i aktualnego stanu prawnego
- zaproponowanie różnych scenariuszy łańcucha wychwytu, utylizacji oraz składowania CO₂ dla sektora energetycznego oraz przemysłu cementowego
- opanowanie i wykorzystanie narzędzi analitycznych w celu możliwości wykonania oceny środowiskowej, co świadczy o zdolności Kandydatki do prowadzenia badań analitycznych
- krytyczne podejście i dobór źródła do pobrania rzetelnych danych wejściowych niezbędnych do wykonania obliczeń
- zaplanowanie i wykonanie następujących zadań badawczych:
 - wyznaczenie jednostki funkcjonalnej, zdefiniowanie warunków brzegowych do oceny środowiskowej łańcucha CCS dla elektrowni węglowej w Polsce
 - wyznaczenie jednostki funkcjonalnej i zdefiniowanie warunków brzegowych do oceny środowiskowej łańcucha CCU elektrowni i cementowni dla innowacyjnej metody utylizacji CO₂ tj. produkcja DME oraz produkcja karbonatyzowanego betonu
 - wyznaczenie jednostki funkcjonalnej i zdefiniowanie warunków brzegowych do oceny środowiskowej łańcucha CCS i CCUS elektrowni na gaz ziemny we Włoszech i Polsce
 - określenia korzyści i zagrożeń oddziaływania na środowisko w oparciu o obliczone wskaźniki dla wszystkich analizowanych przypadków
 - wskazanie, które elementy łańcucha CCUC wymagają największego rozwoju.

Podczas lektury rozprawy doktorskiej nasunęły mi się następujące uwagi:

- Czy w swoich rozważaniach Doktorantka brała pod uwagę inne scenariusze implementacji technologii CCUS? Jeżeli tak to jakie?
- Czy brane były pod uwagę inne sektory przemysłu do wdrożenia technologii CCUS? Proszę o uzasadnienie wyboru przemysłu cementowego jako sektora dedykowanego do implementacji tej technologii.
- W rozdziale 2.2. na stronie 40 Kandydatka zwraca uwagę na istotność korzystania z tej samej bazy danych do wykonywania oceny środowiskowej LCA, a szczególnie przy wykonywaniu analizy porównawczej i tym uzasadnia wybór bazy ecoinvent, z której korzystała do opisu ilościowego i jakościowego procesów i modeli. W pierwszym studium przypadku Autorka oraz ecoinvent version 3.9.1, w drugim 3.7, a w trzecim 3.8. Proszę zatem skomentować czy zastosowanie danych z kolejnych wersji baz danych wpływają na ocenę analizowanych przypadków?
- Proszę o wyjaśnienie czy zastosowanie różnych wersji oprogramowania OpenLCA™ firmy GreenDelta (wersja 1.10.3 dla przypadku 1 i wersja 1.10.1 dla przypadku 2) mogło wpłynąć na otrzymane wyniki i w konsekwencji na interpretację wyników?
- Dlaczego z 16 wskaźników środowiskowych Kandydatka wybrała 5 lub mniej i dlaczego te właśnie do analizy porównawczej oprócz potencjału tworzenia efektu cieplarnianego (GWP)?
- W opinii promotora znajduje się informacja, że Kandydatka zastosowała interdyscyplinarne podejście do kompleksowej oceny środowiskowej łańcucha CCUS poprzez połączenie aspektów środowiskowych (analiza LCA), technicznych (wyniki badań z rzeczywistego obiektu) oraz modelowania numerycznego (wykorzystanie danych otrzymanych z obliczeń w oprogramowaniu Aspen Plus), jednakże ta informacja nie została jednoznacznie podkreślona przez Kandydatkę, zatem proszę o wskazanie tych elementów.
- Czy w swoich rozważaniach Doktorantka brała pod uwagę zastosowanie analizy wrażliwości do wykonania pełnej oceny środowiskowej omawianych przypadków?
- Jakie dalsze badania planuje Kandydatka w tej tematyce z wykorzystaniem narzędzia LCA?
- W rozdziale 9, będącym podsumowaniem z ostatecznymi wnioskami, Kandydatka twierdzi, że zastosowana metodologia potwierdza korzyści środowiskowe technologii CCUS do wdrażania w energetyce i przemyśle cementowym. Czy zatem uznaje, że postawione tezy badawcze zostały udowodnione?

Pozostałe uwagi mają charakter edytorski:

- W rozdziale 1.1., rys. 2 brak wyjaśnienia skrótów dotyczących kolumny 2, co jest niekonsekwentne w stosunku do wyjaśnień zaproponowanych dla kolumny 4
- Str. 23, brak wyjaśnienia skrótu EOR w spisie oznaczeń
- Str. 27 brak wprowadzenia skrótu MeOH przy akapicie dotyczącym metanolu, którym Kandydatka operuje w dalszych częściach pracy
- Brak konsekwencji w zastosowaniu skrótów, najpierw powinna pojawić się pełna nazwa, a następnie skrót

- Str. 39 rys. 4 jest nieczytelny i niespójny z opisem, z którego wynika, że kolejne kroki następują po sobie, błąd edytorski dotyczy braku słowa Impact w nazwie Life Cycle Assessment
- W rozdziale 3 i dalszych Kandydatka powołuje się na publikacje oznaczone P1-P4, natomiast na stronie 9, gdzie lista publikacji jest przedstawiona, brak takich oznaczeń. Publikacje są tylko kolejno ponumerowane.

Pragnę podkreślić, że powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny, w większości są to błędy edytorskie i nie umniejszają one wartości naukowej recenzowanej pracy Autorki, a jedynie są wskazówkami do dalszej pracy naukowej.

5. Podsumowanie

W odniesieniu do wcześniejszych uwag pozytywnie opiniuję rozprawę doktorską Pani mgr inż. Pauliny Popielak i potwierdzam, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Kandydatka wykazała się dojrzałością naukową, sformułowała umiejętnie tezy, wytyczyła cele, zaplanowała i zrealizowała obliczenia dla zaproponowanych scenariuszy. Następnie wnikliwie przeanalizowała wyniki i poprawnie sformułowała wnioski końcowe potwierdzając postawione tezy. Potwierdzam, że mgr inż. Paulina Popielak wykazała, że posiada ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie naukowej *Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższym potwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2020 r. poz. 85, z późniejszymi zmianami).

Podsumowując, zwracam się z prośbą do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Politechniki Częstochowskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Pauliny Popielak do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.