

WYDZIAŁ INFRASTRUKTURY I ŚRODOWISKA

Częstochowa, 14.11.2025r.

Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych

dr hab. inż. Iwona Zawieja, prof. PCz

ul. J. H. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, tel. 34 32 50 457

e-mail: iwona.zawieja@pcz.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Hameda Ghiasirada

pod tytułem

„Optimization of polygeneration systems using hydrogen as an energy
carrier”

przygotowanej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w
Gliwicach,

wykonanej pod kierunkiem Promotor Pani prof. Anny Skorek-Osikowskiej

Recenzja opracowana została na zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny
Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej w
Gliwicach

prof. dr hab. Krzysztofa Labusa, z dnia 25.09.2025 r.

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzja została wykonana na podstawie umowy o dzieło nr UMC/3174/2025 z dnia 8. października 2025 roku zawartej pomiędzy Politechniką Śląską w Gliwicach, a jej autorem.

2. Informacje dotyczące wykształcenia oraz przebiegu pracy naukowo-zawodowej mgr inż. Hameda Ghiasirada

Doktorant stopień inżyniera uzyskał w 2016 roku na Qazvin Azad University w Qazvin, (Iran), a tytuł magistra w 2019 roku na Sahand University of Technology w Tabriz (Iran). Według mojej wiedzy, Pan mgr inż. Hamed Ghiasirad nie ubiegał się wcześniej o nadanie stopnia doktora. W latach 2022-2025 był uczestnikiem Szkoły Doktorskiej Politechniki Śląskiej w dyscyplinie Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Dorobek naukowo-zawodowy Doktoranta w latach poprzednich kształtował się w następujący sposób:

- Asystent naukowy w Instytucie Badawczym Niroo w Teheranie, Iran (2019-2020)
- Inżynier ds. badań i rozwoju w Ashja Battery Company w Ardabil, Iran (3 miesiące w 2020 r.)
- Asystent dydaktyczny w Aspen Plus, Politechnika Śląska (4 miesiące w 2022 r.)
- Asystent dydaktyczny, Magazynowanie Energii, Politechnika Śląska (2023)
- Asystent dydaktyczny, Alternatywne Źródła Energii, Politechnika Śląska (2024)
- 2-miesięczny staż naukowy w 2023 r. na Uniwersytecie w Karlstad, Ocena cyklu życia instalacji do produkcji biogazu do metanolu, Karlstad, Szwecja
- 3-miesięczny staż naukowy w 2024 r. w Centrum Badawczym w Jülich, Ocena cyklu życia reaktora Fischera-Tropscha do produkcji zrównoważonych paliw lotniczych, Jülich, Niemcy

- wykonawca grantu na rozpoczęcie działalności naukowej w nowym obszarze badawczym, Politechnika Śląska, Jednostka energetyczna/odsalania zasilana biomasą i energią słoneczną, z eksperymentalnym dodatkiem nanopłynu do głównego przepływu kolektora: Modelowanie termodynamiczne, (32/014/SDU/10-22-37)
- wykonawca grantu BKM, Politechnika Śląska, Techno-ekonomiczna ocena cyklu życia instalacji do produkcji biopaliw (RIE5/2024 08/050/BKM_24/0)
- udział w Szkole Letniej 2024, Akcja COST. Analiza technologiczna (TEA) dla CCUS/NET i modelowanie procesów, Politechnika Czeska w Pradze, Czechy.
- udział w Szkole Letniej 2023, Akcja COST. Zrozumienie synergii i różnic w analizie technologicznej (TEA) CCUS i NET. NTNU, Norwegia.
- udział w Warsztatach Inteligentnych Systemów Energetycznych, Uniwersytet w Teheranie, 2020.
- 3-krotnie - najlepszy doktorant na Politechnice Śląskiej (2022-2024)
- nagroda za wysoko oceniane publikacje i projekty na Politechnice Śląskiej (2024)
- wybitny naukowiec, ocena śródkresowa doktorantów Szkoły Doktorskiej Politechniki Śląskiej (2023).

3. Tematyka rozprawy doktorskiej

Tematyka rozprawy doktorskiej **mgr inż. Hamed Ghiasirada** dotyczy problemu optymalizacji systemów poligeneracyjnych wykorzystujących wodór, jako nośnik energii z uwzględnieniem parametrów sprawnościowych, kosztowych i środowiskowych. W pracy założono, że wodór, będący wartościowym źródłem energii i jednocześnie produktem pośrednim przemian o charakterze termochemicznym jest kluczowym elementem wspólnym badanych technologii opartych na elektrolizerze stałotlenkowym (SOEC), prowadzących do pozyskania różnych biopaliw. W pracy poruszono problem dotyczący poprawy sprawności konwersji, obniżenia poziomego kosztu paliwa oraz zmniejszenia potencjalnego oddziaływania typu „cradle to gate” poprzez zastosowanie

rozwiązania procesowego wykorzystującego wodór z ukierunkowanymi separacjami, z uwzględnieniem sprzężenia ciepłno-elektrycznego. Podjęcie tego typu tematyki wpisuje się w aktualne kierunki badawcze, których nadrzędnym celem jest ochrona środowiska i troska o jakość życia przyszłych pokoleń. Dążenie do optymalizacji procesów energetycznych, unieszkodliwiania odpadów i ich energetycznego przetworzenia jest zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju. Należy podkreślić, że przekształcenie odnawialnej energii elektrycznej i biogenicznego węgla w oparciu o systemy poligeneracyjne, prowadzące do syntezy różnych paliw, wymaga skojarzenia procesu elektrolizy, odzysku ciepła przy jednoczesnym zarządzaniu tlenem oraz węglem. Problemy badawcze poruszone w pracy dotyczące możliwości pozyskiwania nośników energii typu "drop-in" w formie paliw ciekłych i gazowych, chemicznie identycznych z ich odpowiednikami pozyskiwanymi z paliw kopalnych, nawiązują ściśle do procesu dekarbonizacji, a ostatecznym efektem proponowanych rozwiązań jest uzyskanie niezależności energetycznej. Zgodnie z koncepcją „zero waste” tj. dążeniem do optymalizacji procesów energetycznych w aspekcie ograniczenia produktów ubocznych, Doktorant dokonał oceny strategicznych wskaźników optymalizacji procesu poligeneracji, opartej na wykorzystaniu wodoru, określając całkowitą sprawność energetyczną, poziomowy koszt paliwa (LCOF), potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) oraz wskaźnik wyczerpywania zasobów kopalnych (FDP).

Wybór tematyki rozprawy doktorskiej jest bardzo ciekawy i aktualny. Autor w oparciu o oprogramowanie Aspen Plus^{12.1} opracował zunifikowane ramy analityczne z uwzględnieniem modeli termodynamicznych wraz z oceną techno-ekonomiczną, służącą między innymi do analizy właściwości fizycznych i chemicznych badanych układów. Ponadto z wykorzystaniem oprogramowania SimaPro 10.2 Doktorant dokonał atrybucyjnej i konsekwencyjnej analizy cyklu życia dla ośmiu, różnych konfiguracji. Takie wielokierunkowe podejście do zagadnienia optymalizacji systemów poligeneracyjnych opartych na wykorzystaniu wodoru, jako nośniku energii stanowi istotne poszerzenie obecnego stanu wiedzy dotyczącego tego zagadnienia. Na

[KSiIS >]**Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych - Wydział Infrastruktury i Środowiska****Politechnika Częstochowska**

ul. Brzeźnicka 60A, 42-201 Częstochowa

tel. +48 34 325 09 17, e-mail: bok.ksiis.wiis@pcz.pl

www.is.pcz.pl

podkreślenie zasługuje nie tylko naukowy charakter pracy, ale również jej przyszły aplikacyjny charakter. Problematyka pracy dotyczy niezmiennie aktualnych obszarów badawczych, tj. energetyki wodorowej oraz w przypadku przewagi kryteriów środowiskowych nad ekonomicznymi priorytetowego traktowania biopaliw, stanowiących w konsekwencji wartościowy nośnik energii. Podkreślono, że wykorzystanie w układach poligeneracyjnych wodoru może przynieść, dla zakładu produkcyjnego wdrażającego proponowane rozwiązanie technologiczne, w zależności od badanej konfiguracji, dodatkowe korzyści zarówno ekologiczne, jak i ekonomiczne.

4. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska **mgr inż. Hamed Ghiasirada** obejmuje 135 stron maszynopisu, zawiera w sobie odwołania do 64 rysunków oraz 37 tabel (w tym do 14 umieszczonych w Załączniku). Rozprawa składa się ze streszczenia (w języku angielskim oraz polskim), spisu treści, wykazu stosowanych skrótów i oznaczeń, części teoretycznej z wyodrębnionymi 8 podrozdziałami, rozdziału poświęconego celom, zakresowi i hipotezom pracy, części doświadczalnej podzielonej na 7 rozdziałów, posumowania w formie porównania wyników i wniosków, załącznika oraz spisu literatury.

Rozdział 1 „Introduction” jest podzielony na osiem podrozdziałów i stanowi tło naukowe pracy. We wstępie tego rozdziału Doktorant nakreślił w sposób ogólny problem dotyczący konieczności redukcji emisji gazów cieplarnianych, które stanowią zagrożenie dla zrównoważonego rozwoju, nawiązując jednocześnie do możliwych strategii łagodzenia zmian klimatu UE, zwłaszcza w odniesieniu do wdrożenia energetyki wodorowej. Doktorant zaznaczył, że produkcja i wykorzystanie zielonego wodoru są najważniejszymi, systemowymi dźwigniami realizacji celów klimatycznych UE na rok 2030. Należy stwierdzić, że w rozdziale tym, na podstawie dokonanego rozpoznania literaturowego, Doktorant sprecyzował istotne problemy naukowe i wskazał tym samym

główne kierunki badawcze rozprawy, co zostało potwierdzone w kolejnych rozdziałach pracy.

W pierwszym z podrozdziałów 1.1 części teoretycznej pracy pt. „Renewable energy” Doktorant dokonał charakterystyki źródeł pozyskiwania energii odnawialnej, z uwzględnieniem korzyści płynących z jej wykorzystania zarówno dla Unii Europejskiej, jak i Polski.

W podrozdziale 1.2. pt. „Biomass Conversion” Doktorant opisał główne technologie konwersji biomasy tj. fermentację beztlenową i zgazowanie biomasy, z uwzględnieniem korzyści środowiskowych i energetycznych płynących z ich wdrożenia. W odniesieniu do procesu fermentacji beztlenowej Doktorant wskazał na możliwość pozyskiwania energii i surowców z biomasy, co nawiązywałoby do idei gospodarki o obiegu zamkniętym. Doktorant zaznaczył, że technologia zgazowania biomasy jest uznawana za korzystną metodę przekształcania odpadów w wodór o wysokiej wartości energetycznej. Nawiązując do idei globalnej gospodarki wodorowej podkreślił rolę wodoru w dekarbonizacji sektora energetycznego, transportowego i chemicznego.

Na podstawie dokonanego przeglądu danych literaturowych zawartych w podrozdziale 1.3. Hydrogen production i 1.4. Hydrogen production using electrolysis cells Doktorant wskazał pośrednio na lukę badawczą, podkreślając, że uzyskanie zerowej emisji netto jest osiągalne poprzez zastosowanie elektrolizera wykorzystującego wodór i zasilanego energią odnawialną i bioenergią z Carbon Capture and Storage (CCS). Doktorant uznał ponadto proces elektrolizy bazujący na odnawialnych źródłach energii za dojrzały technologicznie, podkreślając, że tego typu rozwiązanie charakteryzuje się stabilną produkcją paliw i elastyczną eksploatacją w aspekcie absorpcji zmiennej energii wiatrowej i słonecznej, co zależne jest jednak od skali pozyskiwania wodoru uwarunkowanego rozwojem odnawialnych źródeł energii. Doktorant szczegółowo opisał technologie elektrolizy z pozyskaniem wodoru stanowiącego podstawę ścieżek poligeneracji, zaznaczając, że elektroliza tlenków stałych jest nadal w fazie przedkomercyjnej (wczesnej pilotażowej), ale działając w wysokiej temperaturze z parą,

osiąga najwyższą sprawność, w odniesieniu do elektrolizy alkalicznej, czy też elektrolizy membranowej.

W podrozdziale 1.4. pt. „Hydrogen storage challenges” Doktorant odniósł się do ograniczeń związanych z magazynowaniem wodoru, bezpieczeństwem dotyczącym logistyki wodoru, wskazując, że optymalizacja tego procesu koncentruje się na ścieżkach poligeneracji typu „power-to-X” i „biomass-to-X”, w których wodór jest natychmiast wykorzystywany do produkcji paliw/substancji chemicznych, co zmniejsza ryzyko systemowe, umożliwiając jednocześnie głęboką dekarbonizację. Doktorant podkreślił, że powyższe rozwiązanie jest bardziej praktyczne i bezpieczniejsze z punktu widzenia magazynowania/logistyki paliw. Zaznaczył, że konwersja wodoru (z odnawialnej energii elektrycznej lub gazu syntezowego/biogazu pochodzącego z biomasy) na bioprodukty pozwala uzyskać nośniki energii, które są gęstsze, można je przechowywać w łagodniejszych warunkach i są kompatybilne z istniejącą infrastrukturą. W podrozdziale 1.6. „Hydrogen applications” Doktorant poddał analizie możliwe sposoby wykorzystania wodoru podkreślając, że wodór pozyskiwany na ścieżce „power-to-X” i „biomass-to-X” można zastosować: w procesie rafinacji i uwodornienia, w produkcji nawozów/amoniaku, wytwarzaniu metanolu będącego kluczowym półproduktem w chemikaliach i nowym paliwem transportowym. Ponadto podkreślił jego zastosowanie w transporcie i lotnictwie, produkcji surowców chemicznych, produkcji stali surowej, magazynowaniu energii oraz w procesie wzbogacania biogazu. Następnie w podpunktach dotyczących podrozdziału 1.6. tj. 1.6.1. „Power and biomass to methane”; 1.6.2. „Power and biomass to methanol”; 1.6.3. „Power and biomass to ammonia”; 1.6.4. „Power and biomass to jet fuel” Doktorant odniósł się do technologii, które bezpośrednio dotyczą tematyki rozprawy, poddając je szczegółowej charakterystyce z uwzględnieniem wymaganych warunków procesowych.

W rozdziale 1.7. Summary Doktorant zaznaczył aspekt nowości rozprawy doktorskiej, wskazując, jak obiecującym rozwiązaniem technologicznym jest zastosowanie procesu przetwarzania energii elektrycznej i biomasy na ciec (PBtL) w

celu pozyskiwania biopaliw ciekłych takich jak biometanol, amoniak, czy też paliwo samolotowe, zwłaszcza w aspekcie wykorzystania istniejącej globalnej logistyki chemikaliów/paliw płynnych.

W ostatnim punkcie dokonanego przeglądu danych literaturowych dotyczących tematyki rozprawy doktorskiej tj. w punkcie 1.8 „State of the Art.” i odpowiednio w podpunktach 1.8.1 -1.8.4 Doktorant dokonał szczegółowej charakterystyki wybranych technologii wodorowych, wykazując podejście holistyczne do opisywanego problemu naukowego z uwzględnieniem wydajności instalacji, kosztów uśrednionych, wpływu na cykl życia oraz analizy techniczno-ekonomicznej i środowiskowej badanych rozwiązań.

W podrozdziale 1.8.1. „Stan wiedzy w zakresie produkcji biometanolu” dokonał krytycznego przeglądu danych literaturowych dotyczących pozyskiwania biometanolu z wykorzystaniem wodoru, wskazując, jak integracja H_2 wpływa na wydajność, koszty i efektywność środowiskową systemów biopaliwowych. Na tej podstawie określił postępy i zidentyfikował luki badawcze dotyczące rozważanej technologii. Doktorant zaznaczył, że uprzednie badania prowadzone przez naukowców koncentrowały się na zastosowaniu instalacji typu power-to-methanol z wykorzystaniem ogniwa elektrolizy. Nieliczni badacze rozważali system produkcji metanolu, integrujący wodór uzyskany w procesie elektrolizy wody z CO_2 wydzielonym z instalacji gazowej, czy też aspekty technologiczne, środowiskowe i ekonomiczne produkcji metanolu poprzez uwodornienie CO_2 , wykorzystując wodór uzyskany z elektrolizy z membraną wymiany protonów oraz CO_2 pochodzący ze złóż gazu ziemnego. Następnie Doktorant przeprowadził rozważania dotyczące produkcji metanolu z biogazu, podkreślając opłacalność i przyjazność środowiskową tej technologii, analizując możliwość wykorzystania do jego pozyskiwania elektrolizera wysokotemperaturowego wraz z licznymi możliwościami zastosowania zintegrowanego system wytwarzania metanolu. Doktorant przeanalizował szczegółowo dane dotyczące całkowitej wydajności rozważanych systemów poligeneracji.

W podrozdziale 1.8.2. „State of the Art in energy storage integrated hydrogen utilization” opisano hybrydowe systemy magazynowania wodoru i energii z integracją elektrolizy wysokotemperaturowej. Doktorant, jako wydajne w odniesieniu do zwiększenia efektywności, ekonomiki procesu i emisyjności gazów cieplarnianych wskazał rozwiązania łączące wykorzystanie ciepła odpadowego i magazynowania tj. instalacje wykorzystujące wodór jako nośnik energii oraz instalacje magazynowania energii na sprężone powietrze (CAES).

Doktorant zaznaczył, że istnieje możliwość wytwarzania wodoru w systemie produkcji biometanolu zintegrowanego z magazynowaniem energii za pomocą elektrolizera wysokotemperaturowego. Możliwe jest zintegrowanie procesów wysokotemperaturowych, takich jak gazyfikacja lub synteza paliwa, z tego typu elektrolizem, ponieważ ciepło generowane podczas tych procesów może być wykorzystane do zmniejszenia zapotrzebowania elektrolizera na energię. Doktorant wskazał, że elektrolizery wysokotemperaturowe mają większy potencjał rozwoju i możliwość współpracy z wieloma instalacjami energetycznymi różnego typu. Na podstawie dokonanego krytycznego przeglądu danych literaturowych Doktorant zaznaczył, że hybrydyzacja systemów magazynowania energii jest rozwiązaniem zgodnym z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym, stając się coraz powszechniejszym rozwiązaniem w aspekcie maksymalizacji potencjału energetycznego wykorzystywanych nośników energii.

W podrozdziale 1.8.3. „State of the Art in ammonia production” Doktorat dokonał krytycznego przeglądu danych literaturowych dotyczących stanu techniczno-ekonomicznego i środowiskowego technologii pozyskiwania zielonego i wytwarzanego na bazie biomasy amoniaku w celu dokonania optymalizacji systemów poligeneracji wykorzystujących jako nośnik energii wodór. Na tym tle Doktorant wskazał cele dotyczące rozwoju rozważanych technologii pozyskiwania amoniaku i zaznaczył istniejące ograniczenia projektowe badanych rozwiązań. Podkreślił, że wzrost globalnego zapotrzebowania na amoniak ze względu na jego zastosowanie w magazynowaniu

i dekarbonizacji energetyki wodorowej wskazuje na potrzebę przejścia z tradycyjnych procesów produkcyjnych na bardziej zrównoważone i ekologiczne rozwiązania. W tym aspekcie Doktorant wskazał na metody oparte na odnawialnych źródłach energii do produkcji zielonego wodoru dla jednostek syntezy amoniaku tj. elektrolizę wody i zgazowanie biomasy z wykorzystaniem energii odnawialnej, dostarczanej głównie przez energię słoneczną i wiatrową. Bazując na analizie techniczno-ekonomicznej i ocenie cyklu życia wodorowych systemów energetycznych Doktorant wskazał, że obiecującym rozwiązaniem i potencjalną alternatywą dla zielonego amoniaku są jednostki syntezy amoniaku wyposażone w ogniwo elektrolizera z membraną protonowo-elektrolitową, zaznaczając, że koszt produkcji amoniaku pozyskiwanego za pomocą technologii elektrolizy w dużym stopniu zależy od kosztu energii odnawialnej.

W podrozdziale 1.8.4. „State of the Art in biojet fuel production” dokonano przeglądu technologii pozyskiwania biopaliwa lotniczego, uwzględniając integrację podsystemów, sprawność konwersji, koszty oraz cykl życia. Doktorant podkreślił istotne aspekty projektowe i wskazał na istniejące luki w rozwoju rozważanych rozwiązań technologicznych, co stanowi podstawę dokonania optymalizacji przebiegu procesu poligeneracji z wykorzystaniem wodoru w celu uzyskania zrównoważonego paliwa lotniczego (SAF). Analizie poddano rozwiązania bazujące między innymi na technologii power-and-biomass-to-liquid (PBtL) który łączy zgazowanie biomasy, syntezę Fischera-Tropscha i elektrolizę.

Podsumowując informacje zawarte w części literaturowej rozprawy doktorskiej Doktorant wskazał na lukę badawczą stwierdzając, że z punktu widzenia termodynamiki, integracja zgazowania, elektrolizy wysokotemperaturowej i pętli syntezy wymaga poszerzenia stanu wiedzy, z uwagą skierowaną na poprawę efektywności poprzez kogenerację paliw ciekłych i gazowych. Jak podkreślił nowe systemy powinny koncentrować się na wykorzystaniu ciepła, tlenu i CO₂. Dotychczasowe badania techniczno-ekonomiczne zakładają stabilną pracę i pomijają wycenę elastyczności, kumulację przychodów. Natomiast oceny cyklu życia są niejednorodne pod względem

granic systemów i podejścia do zrównoważonego rozwoju biomasy. Dlatego zagadnienia te są istotnym aspektem badań poddanej recenzji pracy doktorskiej autorstwa **mgr inż. Hamed Ghiasirada** stanowiąc *novum* rozprawy.

W mojej opinii, część teoretyczna rozprawy stanowi zwięzłe i przemyślane, opracowanie zagadnień ściśle powiązane z celem pracy oraz postawionymi hipotezami, jak i zaproponowanym zakresem badań. Doktorant poprzez dokonanie krytycznego przeglądu danych literaturowych wskazał na problemy badawcze, które nie zostały jeszcze rozpoznane, a stan wiedzy, który ich dotyczy wymaga poszerzenia. Część teoretyczna rozprawy poparta jest 82 pozycjami literaturowymi, co wskazuje na dobre rozpoznanie przez Doktoranta tematu rozprawy.

W rozdziale 2 rozprawy pt. „Motivation and scope of the thesis” Doktorant przedstawił motywację dotyczącą podjęcia się realizacji założonego tematu pracy, ponadto sprecyzował zakres pracy i hipotezy badawcze. Jako motywację przyjęto założenie, że „at plant scale, coordinated use of hydrogen, oxygen, heat, and power, together with surplus energy storage and waste heat-recovery options, can unlock system-level advantageous unreachable by analysis of single components alone”. Podsumowując powyższe założenie stwierdzono, że „it is possible to increase efficiency, reduce costs, and avoid environmental footprints by design optimization of hydrogen utilization, biomass conversion, oxygen management, fuel synthesis, and utility subsystems”. Ponadto Doktorant sformułował zakres pracy pokazujący chronologię etapów badawczych, wskazując na wzajemne powiązania i wynikające z nich zależności, który obejmuje:

- “Building steady-state models for biomass digestion/gasification, alkaline and solid-oxide electrolysis, water–gas shift, CO₂ capture/recycle, methanol and ammonia synthesis, jetfuel upgrading, and distillations”.
- “Representation of oxy-fuel gas turbines for power generation, LNG regasification for heat recovery, and energy recovery from compressed-air/thermal energy storage (CAES/TES)”.

- “Thermodynamic analysis, heat integration, and energy efficiency calculations”.
- “Levelized cost metrics and cradle-to-gate life-cycle indicators for wind-powered systems and benchmarking with Poland electricity mix”.
- “Design optimization and sensitivity analysis according to efficiency, cost, and emissions. robustness to electricity price and performance variability”.

Doktorant wskazał, że celem pracy spośród pięciu nowych proponowanych systemów poligeneracyjnych, jest znalezienie najlepszego rozwiązania pod kątem wykorzystania wodoru.

W dysertacji podano sześć hipotez badawczych, dla których potwierdzenia przeprowadzono adekwatne badania tj.:

- “It is possible to increase overall energy efficiency of plants by adopting high-temperature electrolysis”.
- “It is possible to improve plant performance by coupling oxy-fuel gas turbine and LNG cold-energy recovery”.
- “It is possible to manage oxygen utilization among subsystems”.
- “It is possible to raise production capacity by integrating CAES/TES energy storage systems”.
- “It is possible to improve techno-economic indicators through co-production of biofuels and natural gas”.
- “It is possible to decrease environmental footprints by powering the plant with wind Energy instead of Poland electricity mix”.

Opisane przez Doktoranta w rozdziale 3 pt. „Process modeling of subsystems for hydrogen utilization” metody badawcze pozwoliły na zweryfikowanie postawionych w pracy hipotez badawczych i są adekwatne do założonego celu rozprawy doktorskiej. Autor przedstawił ogólną charakterystykę rozważanych procesów oraz właściwych dla nich jednostek takich jak: elektroliza wody, jednostka fermentacji beztlenowej, jednostka wzbogacania biogazu, zgazowanie biomasy, podsystem syntezy amoniaku, jednostka

syntezy metanolu, podsystem produkcji energii elektrycznej i gazu ziemnego, jednostka separacji powietrza, systemy magazynowania sprężonego powietrza i energii cieplnej, system produkcji biopaliwa lotniczego. W rozdziale Doktorant zawarł modele wszystkich podsystemów wykorzystania wodoru, które stanowią podstawę optymalizacji systemów poligeneracyjnych. Z kolei na podkreślenie zasługuje fakt, że zweryfikowane modele i przedstawione założenia stanowią ilościową podstawę do oceny hipotez dysertacji dotyczących wpływu integracji na sprawność, koszty i efektywność środowiskową rozważanych rozwiązań technologicznych. Ponadto omówiono wyczerpująco metodologię właściwą dla analizy energetycznej badanych procesów poligeneracji oraz badań analitycznych tj.: istotne równania, techniki modelowania i procedury obliczeniowe wraz z precyzyjnym podaniem założeń niezbędnych do przeprowadzenia tej analizy w sposób dokładny i przejrzysty. Informacje zawarte w rozdziale zostały uzupełnione danymi zawartymi w Załączniku.

W rozdziale 4. „Techno-economic and life cycle assessment methodology” Doktorant zdefiniował ramy oceny techniczno-ekonomicznej i cyklu życia, które rygorystycznie testują hipotezy dotyczące optymalizacji systemów poligeneracyjnych zasilanych wodorem. Ustalenie granic systemu, zestawów danych, skalowania kosztów i wskaźników wydajności oraz określenie projektu scenariusza, determinuje modele procesów jako przejrzyste, czyniąc wskaźniki decyzyjne powtarzalnymi, łącząc aspekty integracji z ilościowo określonymi wartościami efektywności, kosztami i analizami środowiskowymi.

W podrozdziale 4.1. „Techno-economic analysis” Doktorant zaznaczył, że dla dokonania analizy techniczno-ekonomicznej przeprowadzone zostanie porównanie ośmiu konfiguracji z dwóch punktów widzenia tj.: czasu zwrotu nakładów i uśrednionego kosztu paliwa, jako dwóch użytecznych funkcji niezbędnych do określenia optymalnych punktów operacyjnych i ułatwienia projektowania zakładów biopaliwowych. Koszty produkcji skorygowano za pomocą Wskaźnika Kosztów Zakładów Inżynierii Chemicznej (CEPCI), odwołującego się do danych z 2023 r. Prognozy oparto na technikach

dyskontowych, zgodnych ze standardami Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Rozwoju Przemysłowego (UNIDO) i opierają się na obliczeniu wartości bieżącej netto (NPV). To podejście, jak zaznaczył Doktorant oferuje kompleksowe i wiarygodne ramy do oceny efektywności ekonomicznej projektu w czasie. Doktorant podkreślił, że podczas gdy NPV ujawnia, czy inwestycja jest opłacalna finansowo w szerszej skali, LCOP pokazuje, jak opłacalny jest system na poziomie jednostkowym i może pomóc w określeniu progu rentowności. Łącznie NPV i LCOP oferują zarówno wgląd w inwestycje na wysokim poziomie, jak i szczegółową konkurencyjność kosztową, umożliwiając podejmowanie trafnych decyzji ekonomicznych.

W podrozdziale 4.2. „Life cycle assessment” i odpowiednio podpunktach 4.2.1. „Consequential LCA using Impact 2002+” i 4.2.2. „Attributional LCA using ReCipE 2016” Doktorant przedstawił warunki wykonania kompleksowej oceny środowiskowej cyklu życia badanych systemów wykorzystania wodoru do produkcji biopaliw, ze szczególnym uwzględnieniem optymalizacji strukturalnej systemów w celu osiągnięcia niemal zerowej emisji gazów cieplarnianych (GHG) związanych ze zmianą klimatu lub kategoriami wpływu na potencjał globalnego ocieplenia (GWP). Jako jednostkę funkcjonalną Doktorant zdefiniował 1 kg biopaliwa lub 1 kg biomasy wejściowej, co zapewniało spójną podstawę do porównywania wpływu na środowisko rozważanych rozwiązań. Podkreślił, że praca koncentruje się na badaniu cyklu życia (LCA) od kołyski do bramy (Cradle-to-Gate), biorąc pod uwagę głównie sam proces. Natomiast dane z inwentaryzacji cyklu życia (LCI) są gromadzone ze zweryfikowanych źródeł, tj.: modeli symulacyjnych procesu Aspen Plus i bazy danych Ecoinvent 3.11. Jak podaje Doktorant praca modeluje badanie z wykorzystaniem długoterminowej analizy cyklu życia (CLCA) w SimaPro v10.2. W praktyce procesy są sparowane z systemem ecoinvent „substytucja, konsekwencja, długoterminowość”, tak aby powiązania marginalne i substytucje były stosowane zgodnie z wytycznymi ISO dotyczącymi celów i zakresu oraz zaleceniami ILCD dotyczącymi decyzji ukierunkowanych na unikanie szkodliwych produktów i wykorzystywanie produktów o wartości dodanej.

[KSiIS]

**Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych - Wydział Infrastruktury i Środowiska
Politechnika Częstochowska**

ul. Brzeźnicka 60A, 42-201 Częstochowa

tel. +48 34 325 09 17, e-mail: bok.ksiis.wiis@pcz.pl

www.is.pcz.pl



SimaPro zapewnia bezpośredni dostęp do tego modelu konsekwencji i aktualnej wersji Ecoinvent v3.11. Do oceny wpływu Doktorant wybrał IMPACT 2002+ jako dojrzałą metodę hybrydową, która łączy punkty środkowe z czterema obszarami szkód/punktów końcowych: zdrowiem człowieka, jakością ekosystemu, zmianami klimatu i wykorzystaniem zasobów, i jest wdrożona natywnie w SimaPro, wspierając syntezę zorientowaną na decyzje. Doktorant w celu przejrzystego porównania metod alokacji LCA, najpierw zastosował konsekwencyjną analizę LCA (CLCA) z IMPACT 2002+, która uwzględnienia długoterminowe, pośredniczone przez rynek konsekwencje kontekstu decyzyjnego. W związku z tym IMPACT 2002+ uznano za odpowiednią, szeroko stosowaną analizę LCIA, łączącą 14 kategorii punktów środkowych z czterema punktami końcowymi szkód. Niniejsza sekcja uzupełnia obecnie CLCA, przedstawiając atrybucyjną analizę LCA (ALCA), która charakteryzuje średnią alokację produktów w ramach obecnej technologii i struktury dostaw, wykorzystując najnowocześniejszą metodę ReCiPe 2016 Midpoint (H) do oceny wpływu w SimaPro. ReCiPe 2016 oferuje zaktualizowane, zharmonizowane czynniki charakterystyki w ramach kompleksowego zestawu kategorii wpływu punktów środkowych oraz zapewnia ulepszone modelowanie.

W podrozdziale 4.3. „Overall key performance indicators” Doktorant określił kluczowe dla realizacji założonego zakresu badań wskaźniki takie jak: efektywność energetyczna (η_{en}), uśredniony koszt paliwa (LCOF), potencjał globalnego ocieplenia (GWP), potencjał wyczerpywania się zasobów kopalnych (FDP). Doktorant zaznaczył, że zdolność produkcyjna paliwa określa bilans masy/energii w skali zakładu oraz dobór jego wielkości. Umożliwia porównywanie konfiguracji na wspólnej podstawie funkcjonalnej i sprawdzanie, czy optymalne projekty nadal spełniają docelowe poziomy produkcji paliwa. Jest to podstawowy wskaźnik wydajności w proponowanych systemach wykorzystania wodoru. Określa on ilościowo stałe tempo produkcji paliwa nadającego się do sprzedaży w określonych warunkach eksploatacyjnych i decyduje, czy zakład jest uważany za mały, średni czy duży w kontekście konkretnej branży. Poza prostą

przepustowością, zdolność produkcyjna kształtuje wybory projektowe, strukturę kosztów i efektywność środowiskową.

Należy podkreślić, że przedstawiony opis metodyki badawczej jest wyczerpujący, wskazuje na właściwą etapowość prowadzonych badań, ma odniesienie do przyjętego zakresu pracy i naświetla omawiane w części wynikowej zagadnienia badawcze.

W kolejnych pięciu rozdziałach dysertacji Doktorant poddał analizie systemy poligeneracji oparte na wodorze, wybrane w celu priorytetowego traktowania ciekłych nośników energii w sektorach trudnych do elektryfikacji, przy jednoczesnym wykorzystaniu głębokiej integracji procesów, którą umożliwia wodór elektrolityczny i tlen. Jak stwierdza Doktorant podczas gdy technologia przetwarzania energii elektrycznej na gaz (PtG) jest technologicznie dopracowana pod kątem długoterminowego magazynowania, ale w dużej mierze ograniczona do usług energetycznych w postaci gazu, technologie przetwarzania energii elektrycznej i biomasy/biogazu na paliwa płynne zapewniają gotowe produkty kompatybilne z istniejącą infrastrukturą logistyczną i spalania.

Wszystkie rozdziały 5÷9 są skonstruowane w ten sam sposób, tj. zawierają wprowadzenie nakreślające istotę funkcjonowania badanego systemu, część dotyczącą uzyskanych wyników termodynamicznych, wyników techniczno-ekonomicznych, konsekwencji środowiskowych i atrybucyjnych wyników środowiskowych oraz podsumowanie przeprowadzonych badań.

W rozdziale 5 pt. „Power and biogas to methanol” Doktorant poddał analizie dwie instalacje biogazu do produkcji metanolu, które integrują fermentację beztlenową i biogeniczny CO₂ z zielonym H₂ w celu produkcji biometanolu. Ulepszony przypadek integruje produkcję energii i gazu ziemnego z przypadkiem bazowym.

W rozdziale 6 pt. „Biomass-to-methanol system using gasification” Doktorant poddał analizie system biomasy do produkcji metanolu z produkcją energii i gazu

ziemnego, który łączy zgazowanie tlenowe z elektrolizerem tlenków stałych w celu zwiększenia wydajności biometanolu i gazu ziemnego.

W rozdziale 7 pt. „Biomass-to-methanol with energy storage” Doktorant poddał ocenie integrację systemu biomasy do produkcji metanolu z systemami magazynowania energii, które odzyskują ciepło odpadowe z systemów CAES/TES do instalacji biometanolu w celu zwiększenia efektywności energetycznej.

W rozdziale 8 pt. „Ammonia production plants” Doktorant poddał ocenie trzy przypadki instalacji biomasy do produkcji amoniaku i biomasy do produkcji amoniaku, w których zastosowano reaktor Habera-Boscha, jednocześnie pozyskując zielony wodór i wykorzystując O_2 z elektrolizera z wychwytem CO_2 w celu produkcji łatwo skraplanego nośnika wodoru, nadającego się do sezonowego magazynowania.

W rozdziale 9 pt. „Biojet fuel production system” Doktorant poddał analizie system od biomasy do paliwa lotniczego, który przetwarza biogeniczny gaz syntezowy na paliwo lotniczo-energetyczne (SAF) przeznaczone do transportu dalekobieżnego, wymagającego dużej gęstości energii objętościowej, z jednoczesnym wytwarzaniem gazu ziemnego.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że zarówno metodyka badań, jak i etapy badań są spójne i zostały zdefiniowane przez Doktoranta w sposób prawidłowy, zgodny z założonym celem rozprawy. Wyniki badań zostały opisane w sposób logiczny, a tabele, rysunki i wzory matematyczne, które są integralną częścią dysertacji, również przedstawione w formie załącznika, umożliwiły ich właściwą interpretację i ocenę.

W rozdziale 10 pt. „Comparison of results” Doktorant skonsolidował i porównał w formie spójnej oceny, w celu zidentyfikowania najlepszej konfiguracji wykorzystującej wodór, wyniki ośmiu rozważanych ścieżek opartych na energii odnawialnej tj.: biogazu do metanolu (podstawowego i ulepszonego), biomasy do metanolu (z systemami LNG/magazynowania energii i bez nich), energii elektrycznej do amoniaku, biomasy do amoniaku (CO/CC WGS) oraz biopaliwa odrzutowego poprzez syntezę FT. Doktorant wykazał, że rezultatem dokonanej oceny porównawczej jest uzasadniony wybór

najlepszego systemu wykorzystania wodoru i produkcji biopaliw/substancji chemicznych, a także dobór uogólnionych warunków projektowania w celu optymalizacji procesu.

Rozdział 11 pt. „Conclusions” zawiera dwie strony tekstu. Doktorant, na podstawie uzyskanych wyników badań dowiódł prawdziwości postawionych hipotez badawczych, formułując dwadzieścia wniosków o dużym stopniu szczegółowości. Ponadto na wstępie rozdziału Doktorant wykazał aspekty nowości prowadzonych badań stwierdzając, że rozprawa integruje modelowanie termodynamiczne z oceną techniczno-ekonomiczną i analizą cyklu życia w ramach ośmiu nowatorskich rozwiązań tj.: przetwarzanie biogazu na metanol, dwie konfiguracje przetwarzania biomasy na metanol, w tym systemy odzysku ciepła i magazynowania energii z LNG, trzy scenariusze dotyczące amoniaku oraz produkcja biopaliwa odrzutowego.

Pod względem edycyjnym dysertacja nie budzi zastrzeżeń. Oceniając styl pracy można stwierdzić, że językowo jest on właściwy i spójny, natomiast ewentualne błędy i nieścisłości uważam za niewielkie i nie rzutujące na jej ogólną ocenę.

5. Ogólna ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Istnieje ścisła korelacja pomiędzy przeprowadzonymi analizami wnikającymi w istotę procesu poligeneracji opartego na rozważanych systemach wykorzystujących energię odnawialną, a ich praktycznym wykorzystaniem, co w mojej opinii jest znaczącym i istotnym wkładem Doktoranta w rozwój nauki. Pan **mgr inż. Hamed Ghiasirad** jest badaczem, który potrafi planować eksperyment, realizować założone badania oraz poprawnie analizować wyniki badań, prezentując je w sposób wysoce akademicki. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorant zrealizował postawiony cel pracy potwierdzając założone hipotezy badawcze.

Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki przyczyniły się do lepszego poznania mechanizmu procesu poligeneracji opartego na wykorzystaniu wodoru, jako nośnika

energii. Doktorant opracował i poddał ocenie konfiguracje poligeneracji oparte na wodorze do produkcji biopaliw ciekłych, ze szczególnym uwzględnieniem biometanolu, amoniaku i biopaliwa lotniczego. Zrealizował założony cel rozprawy, którym było znalezienie integracji, która skutecznie zwiększa wydajność, obniża koszty i ogranicza wpływ na środowisko w systemach poligeneracyjnych zasilanych wodorem.

Ponadto należy podkreślić, że istnieje niewiele badań porównujących wyniki LCA ze zmieniającymi się strategiami alokacji i źródłami energii elektrycznej. Doktorant wskazał na konieczność określenia specyficznych potrzeb danej ścieżki obejmujących odzysk ciepła z jednostek syntezy paliw, produkcję nadwyżek biopaliw oraz recykling gazów resztkowych w systemach PBtL, a także potrzebę ujednoliconego porównania wyników energetycznych, techniczno-ekonomicznych i LCA z podobnymi pracami. W związku z tym zaprezentowany przez Doktoranta spójny program badawczy miał na celu integrację systemów magazynowania energii CAES/TES, odzysku ciepła odpadowego i jednostek syntezy; oraz raportowanie zharmonizowanych wskaźników KPI dotyczących wydajności paliw, efektywności energetycznej, LCOF i wpływu na cykl życia w celu optymalizacji systemów poligeneracji opartych na wodorze.

Systemy „Power and biogas to methanol”, „Biomass-to-methanol system using gasification”, „Biomass-to-methanol with energy storage”, „Ammonia production plants”, „Biojet fuel production system” uwzględniają wykorzystanie biomasy drzewnej lub osadów ściekowych, a także funkcjonalność bazową i operacyjną wspomaganą magazynowaniem. Zostały one wybrane przez Doktoranta, aby zademonstrować, w scenariuszach porównawczych, jak jednostki poligeneracyjne oparte na wodorze mogą zwiększyć wydajność, zmniejszyć całkowity koszt produkcji (LCOF) i zredukować wpływ na LCA. Wykazano, że chemiczne przechowywanie ciekłych biopaliw jest łatwiejsze i bezpieczniejsze niż sprężone/kriogeniczne przechowywanie gazu H_2 , wysokotemperaturowe ogniwo elektrolizy (SOEC) umożliwia synergistyczną integrację ciepła i energii, dostarcza O_2 w celu wyeliminowania separacji powietrza i dostarcza H_2

do produkcji biometanolu, amoniaku i biopaliwa lotniczego, co łącznie podnosi wydajność systemu. Ponadto Doktorant wykazał, że:

- ✓ “The ammonia cases highlight that the least-cost PtA with alkaline electrolyzer is not the most energy-efficient, while biomass-to-ammonia with membrane WGS maximizes efficiency”.
- ✓ “Counter-current WGS membrane reactors consistently outperform co-current designs on H₂ recovery and overall efficiency. LNG cold-energy recovery and oxy-fuel gas turbines lower net power demand”.
- ✓ “Cogeneration of biomethanol and natural gas with O₂/CO₂ management shortens payback time and increases robustness to electricity-price volatility compared with single-product plants”.
- ✓ “Electrolyzer and fuel-synthesis units dominate CAPEX. Therefore, electricity price, sourcing, and electrolyzer temperature/current density are first-order determinants of levelized cost across all pathways”.
- ✓ “Raising WGSR conversion, methanol reactor temperature, or SOEC size increases conversion efficiency but can lift power demand or CO₂ emissions”.
- ✓ “Wind energy significantly reduces cradle-to-gate GHG emissions and fossil resource depletion relative to the Poland electricity mix. process intensification (oxy-gas turbine with CO₂ injection, LNG cold-energy recovery) further improves footprints and can reduce site water use”.
- ✓ “SOEC is preferred when high-temperature integration is feasible”.
- ✓ “A counter-current WGS membrane reactor is selected for ammonia production”.
- ✓ “LNG cold-energy recovery and oxy-combustion are included when grid relief and flue-gas recycling are priorities”.
- ✓ “Cogeneration of natural gas and biofuels is advantageous under high or volatile electricity prices”.
- ✓ “Renewable energy is chosen when environmental sustainability is prioritized.

- ✓ “Compressed air and thermal energy storage modules convert transient waste heat into steady biomethanol product, reducing grid variability and efficiency enhancement”.
- ✓ “Design optimization workflow yields decision-ready trade-off maps for efficiency, cost, and emissions based on heat-power integration, electrolyzer placement/sizing, and subsystems coupling with TEA-LCA feedback”.
- ✓ “The improved BtM with CAES/TES is the overall optimum for hydrogen utilization, highest efficiency (95%), competitive cost (602 \$/tonne), and the lowest GWP (0.135 kgCO₂eq/kgFuel), validating the thesis on high-temperature, deeply integrated heat recovery around SOEC, gasification, and LNG”.
- ✓ “For ammonia, the BtA route with counter-current membrane WGS is preferred, acceptable efficiency (54.6%), the lowest cost among all plants (513 \$/tonne), and near-zero GHG intensity (0.175 kgCO₂eq/kgFuel) due to superior H₂/O₂ and N₂ management”.
- ✓ “The biojet pathway remains strategically important for hard-to-electrify aviation (efficiency 56%, cost 1893 \$/tonne, GWP 0.464 kgCO₂eq/kgFuel)”.
- ✓ “Optimal hydrogen utilization emphasizes O₂/steam gasification, high-temperature SOEC (with ALE as a cost lever), counter-current WGS membranes, integrated heat recovery between LNG–GT and CAES/TES and coordinated O₂/CO₂ utilization across subsystems”.
- ✓ “The Polish energy mix is the more economically viable option than wind turbines. However, wind energy outperforms Poland's electricity mix in most of the environmental indicators. The reductions are substantial, particularly concerning climate change and fossil resource scarcity, demonstrating the critical role of renewable energy in achieving carbon neutrality and mitigating environmental degradation”.

Należy stwierdzić, że porównanie ośmiu rozważanych ścieżek opartych na energii odnawialnej bezpośrednio weryfikuje założone hipotezy badawcze, a skoordynowane

wykorzystanie H₂, O₂, ciepła i energii elektrycznej, wraz z magazynowaniem i odzyskiem ciepła odpadowego, może okazać się korzystniejsze pod względem efektywności procesu, ekonomiki i aspektów środowiskowych, niż jednostki funkcjonujące w izolacji.

Ponadto Doktorant w oparciu o uzyskane wyniki badań i dane literaturowe zaznaczył, że wraz z przenikaniem zmiennej energii odnawialnej do systemów energetycznych, przemysł przetwórczy potrzebuje rozwiązań, które umożliwiają przekształcanie energii o nieregularnym charakterze w produkty o wartości dodanej, możliwe do magazynowania, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów i śladu środowiskowego. Energia wodorowa odgrywa kluczową rolę w tej transformacji, ponieważ umożliwia głęboką integrację procesową obejmującą elektrolizę, konwersję biomasy, syntezę i media. Jednak większość wcześniejszych ocen traktuje te jednostki w izolacji, a nie jako zintegrowane systemy poligeneracji. Doktorant podkreślił, że w odniesieniu do technologii power-to-gas (PtG), która jest technologicznie dopracowana pod kątem długotrwałego magazynowania, ale w dużej mierze ograniczona do gazowych usług energetycznych, technologia power-and-biomass-to-liquid (PBtL) zapewnia gotowe produkty kompatybilne z istniejącą infrastrukturą logistyczną i spalania.

Reasumując rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorant pozyskał wiedzę teoretyczną niezbędną do zrealizowania zaplanowanego zadania badawczego, o istotnym znaczeniu poznawczym i utylitarnym. Na podkreślenie zasługuje fakt, przeprowadzenia przez **mgr inż. Hamedę Ghiasirada** szerokiego zakresu badań wymagającego wdrożenia różnych narzędzi modelowych i analitycznych, co wskazuje na dużą aktywność badawczą Doktoranta i jego samodzielność naukową.

6. Uwagi krytyczne

Główne uwagi krytyczne skierowane są w odniesieniu do rozdziału 2, pt.: „Motivation and scope of the thesis”. W mojej opinii wskazane byłoby rozważenie przez Doktoranta sformułowania celu naukowego, jak i celu utylitarnego, co nasuwa się w



Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych - Wydział Infrastruktury i Środowiska
Politechnika Częstochowska

ul. Brzeźnicka 60A, 42-201 Częstochowa

tel. +48 34 325 09 17, e-mail: bok.ksiis.wiis@pcz.pl

www.is.pcz.pl



sposób oczywisty po zapoznaniu się z treścią rozprawy. Sformułowanie celu naukowego i utylitarne pozwoliłoby na postawienie adekwatnych do nich hipotez badawczych. Uważam, że wskazane byłoby jednoznaczne sprecyzowanie w pracy *novum* prowadzonych badań, zarówno w streszczeniu, czy też w punkcie dotyczącym przesłanek podjęcia się tematu i celu badań tj. „Motivation and scope of the thesis”.

W mojej opinii w przypadku części literaturowej wskazane jest dokonanie krytycznego przeglądu danych literaturowych dotyczących poruszanej tematyki, w tym aspekcie szczególnie pewnego dopracowania wymagają podrozdziały: 1.6.1. „Power and biomass to methane”; 1.6.2. „Power and biomass to methanol”; 1.6.3. „Power and biomass to ammonia”; 1.6.4. „Power and biomass to jet fuel”, w przypadku których ten przegląd źródeł literaturowych nie jest szeroki, np. odniesienie się do jednej pozycji literaturowej dla całego akapitu podrozdziału.

Ponadto Doktorant powinien rozważyć skonsolidowanie tekstu i połączenie podpunktów 1.6.1-1.6.4, 1.7 Summary i 1.8 State of the Art. w jeden punkt o nazwie „State of the Art.”. dotyczący technologii wodorowych wykorzystywanych do produkcji biometanolu, amoniaku i paliw odrzutowych”, a następnie przejść do szczegółowej charakterystyki proponowanych rozwiązań technologicznych, w sposób w jaki to przedstawiono w dalszej części dysertacji.

Nazwa punktu 1.7. zatytułowanego Summary str. 20 jest bardzo lakoniczna, wymaga doprecyzowania i uzupełnienia w odniesieniu do czego dokonywane jest to podsumowanie.

Podobnie jak w punkcie 1.7 sformułowanie punktu 1.8. State of the Art. wymaga doprecyzowania, w jakim zakresie będzie dokonany przegląd istniejącego stanu wiedzy

Uwagi szczegółowe

- W mojej ocenie spis treści powinien zostać umieszczony po punkcie „Acknowledgements”, natomiast Załącznik, po spisie literatury, jak to jest przyjęte zwyczajowo

- Wskazane byłoby uwypuklenie w spisie treści głównych rozdziałów oraz zaznaczenie podrozdziałów, co wpłynęłoby na jego przejrzystość
- W spisie treści pojawiła się omyłka pisarska tj. w punkcie 5.2. „Improved biogas-to-methanol with power and natural gas productio”.
- Nie wszystkie skróty zostały wyjaśnione w punkcie „Nomenclature” np. CCS
- We wprowadzeniu na stronie 10 dwukrotnie przytoczono te same dane dotyczące redukcji emisji gazów cieplarnianych o przynajmniej 55% do 2030 roku i uzyskania całkowitej neutralności klimatycznej do roku 2050.
- W podrozdziale 1.2. pt. „Biomass Conversion” Doktorant opisał główne produkty konwersji biomasy na drodze fermentacji beztlenowej, jednak w mojej ocenie wskazane byłoby uszczegółowienie danych dotyczących pozyskiwania biogazu z różnego rodzaju biomasy, co stanowi ściśle nawiązanie do tematyki pracy doktorskiej tj. konfiguracji biogaz → metanol.
- Wskazane, ze względu na zbieżną tematykę byłoby połączenie rozdziału 1.3. „Hydrogen production” z podrozdziałem 1.4. „Hydrogen production using electrolysis cells”, wskazując, że jedną z obiecujących możliwości produkcji wodoru jest technologia bazująca na procesie elektrolizy tlenków stałych.
- Sugeruję zamiast zapisu źródeł literaturowych w formie [18], [19], [20] zapis [18-20] oraz zamiast zapisu „... ions as charge carriers [10], [11]” zastosować [10, 11]. Uwaga dotyczy całej pracy.
- W rozdziale 1.3. „Hydrogen production” brak odniesień literaturowych do poszczególnych akapitów.
- Na stronie 16 pracy trzy czwarte tekstu to odniesienie do tej samej literatury poz. [8]
- W mojej opinii zdanie poniższe jest niestylistyczne i wymaga sprecyzowania - str. 19, podrozdział 1.6.1. „Power and biomass to methane”
„Biomass-to-methane (BtM), where H₂ contained in syngas limits conversion and unreacted CO₂ is captured downstream. and power-to-methane (PtM), where surplus renewable electricity produces additional H₂ via electrolysis and the co-produced O₂ is valorized as a steam-oxy gasifying agent, enriching carbon oxides and avoiding N₂ dilution”.
- Zaproponowane stwierdzenie wymaga doprecyzowania – str. 19, podrozdział 1.6.1. „Power and biomass to methane”
„Under 2022 market conditions, PtM becomes cost-competitive against natural gas part or most of the year, while all concepts provide grid-injectable biomethane and a pathway for long-duration Energy storage using existing gas infrastructure [17]”.
- Powołanie na badania prowadzone przez konkretnych naukowców przy poniższej konstrukcji zdania wymaga podania nazwisk naukowców realizujących

- rozważane eksperymenty – str. 24, podrozdział 1.8.3. „State of the Art in ammonia production”
- „A comprehensive economic study on green ammonia production, based on electrolyzer technology and wind and solar energy for 350 locations in 70 countries, was made by [59].
- Jakość rysunków zamieszczonych w pracy nie jest dobra, wymaga ulepszenia w tym aspekcie, a rysunki ujednolicienia np. rys. 3.4.; 3.6.; 3.7.; 3.9.; 3.11., 3.12.; 3.15.
 - Na rysunku 3.2.; 3.8., 3.13. skorygowania wymaga jakość oraz zapis niektórych oznaczeń (brak indeksu dolnego).
 - Wskazane byłoby w przypadku stwierdzenia „Main input data and assumptions of the proposed subsystems in this chapter are reported in Appendix.” powołanie się na konkretne tabele, czy też rysunki - str. 30, Rozdział 3. Process modeling of subsystems for hydrogen utilization.
 - W nazwie tabeli „Table 3.4. Comparison between the theoretical data for CO conversion and H₂ recovery with those of ref. [106].” brak indeksu – str. 41, podrozdział 3.7. “Power and natural gas production subsystem”.
 - Poniższe stwierdzenie i powołanie się na pozycję literaturową [92] wymaga doprecyzowania.
„Additional process cycles were simulated using Aspen Plus, and operational data on the mass and Energy dynamics of the biogas plant were provided in ref. [92]”.
– str 54, podrozdział 4.2.1. „Consequential LCA using Impact 2002+”.

Pozostałe pomyłki edycyjne i stylistyczne, które odnotowałam w pracy, nie umniejszają jej wartości, dlatego nie uwzględniłam ich w recenzji.

7. Wnioski końcowe

Podsumowując, przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską Pana **mgr inż. Hamedy Ghiasirada** oceniam, jako bardzo wartościową. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością narzędzi badawczych oraz innowacyjnością w podejściu do założonego celu badawczego. Praca zawiera elementy nowości i stanowi istotne rozszerzenie badań dotyczących systemu poligeneracji wykorzystującego wodór jako nośnik energii, nawiązując do idei „zero waste”. Przedstawiona do recenzji rozprawa nie jest pozbawiona pewnych błędów i nieścisłości, ale mieszczą się w granicach

akceptowalnych dla warsztatu badacza i nie mają znamion błędów kardynalnych, nie rzutując tym samym na ogólną, bardzo dobrą ocenę pracy.

Podsumowując ocenę przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana **mgr inż. Hamed Ghiasirada** stwierdzam, że stanowi ona oryginalne osiągnięcie o charakterze poznawczym i użytecznym. Praca dostarcza nowych informacji na temat możliwości optymalizacji systemów poligeneracji wykorzystujących wodór jako nośnik energii. Aplikacyjny charakter pracy, dokonany przegląd literatury, jej realizacja wymagająca przeprowadzenia termodynamicznych badań modelowych skojarzonych z analizą cyklu życia, jak również poprawna interpretacja uzyskanych wyników badań, wskazują na bardzo dobre kompetencje naukowe Doktoranta i samodzielność, jako badacza. Dlatego uważam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana **mgr inż. Hamed Ghiasirada** pt. „Optimization of polygeneration systems using hydrogen as an Energy carrier ” w pełni spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2022 poz. 85). Tym samym wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej w Gliwicach o jej dopuszczenie do kolejnych czynności w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka oraz jej wyróżnienie.

Podpisała Iwona Zawieja