

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry M. Walewskiej:

***„Badanie układu produkcji metanolu i jego energetycznego wykorzystania”***

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „Badanie układu produkcji metanolu i jego energetycznego wykorzystania” została opracowana przez Panią mgr. Inż. Aleksandrę Walewską w Katedrze Maszyn i Urządzeń Energetycznych Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Promotorem rozprawy jest Prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz, a Promotorem pomocniczym Dr inż. Mateusz Brzęczek.

**A. OCENA TEMATYKI PODJĘTYCH BADAŃ**

Problem obniżenia emisji CO<sub>2</sub> związanej z produkcją energii jest jednym z głównych wyzwań rozwoju energetyki na świecie. Wydaje się, że obiecującym kierunkiem, mogącym znaleźć powszechne zastosowanie w przewidywalnej perspektywie czasowej, jest wykorzystanie wodoru jako paliwa przyszłości. Efektywne zmniejszenie emisji przez zastosowanie technologii wodorowych wymaga dodatkowo stosowania wydajnych i niskoemisyjnych technologii jego produkcji, wykorzystujących np. odnawialne źródła energii (OZE). Zastosowanie OZE pomimo wielu zalet stwarza również wyzwania związane m.in. z brakiem stabilności generowanej mocy. Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu jest rozwój wydajnych magazynów energii. Rozwijanym na świecie kierunkiem są tzw. magazyny chemiczne służące do magazynowania energii i wodoru w formie różnych związków chemicznych, w tym łatwego w składowaniu i transporcie oraz znajdującego zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu metanolu.

W tym kontekście uważam za celowe podjęcie przez Doktorantki badań w przedmiotowej tematyce. Podjęta tematyka badań jest interesująca zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak również praktycznego.

**B. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRACY**

Recenzowana praca doktorska liczy 179 stron (wraz z załącznikami) i jest podzielona na 9 głównych rozdziałów, spis literatury, spis rysunków i tabel, oraz streszczenie.

**Rozdział pierwszy** stanowi wprowadzenie, w którym Autorka odnosi się ogólnie do zagadnień związanych z koniecznością ograniczenia zmian klimatycznych wynikających z emisji gazów cieplarnianych. Autorka powołuje się na wybrane akty prawne w tym zakresie, zwraca uwagę na konieczność zwiększania wykorzystania OZE oraz przedstawia rozwój OZE w Polsce. W rozdziale przedstawiony jest również cel pracy, teza i jej zakres.

Celem pracy jest: „Zbadanie procesu produkcji odnawialnego metanolu zaczynając od wykorzystania odnawialnej energii elektrycznej do produkcji metanolu w zmodernizowanej instalacji celem osiągnięcia najwyższej sprawności”. Cel pracy przedstawiono w sposób ogólny (choć zrozumiały) i wydaje się, że zwłaszcza wobec wielowątkowości pracy powinien być

bardziej uszczegółowiony lub uzupełniony o cele pośrednie. Ponadto w rozdziale tym Autorka wymienia zagadnienia/pytania badawcze, na które realizacja pracy oraz uzyskane jej wyniki pozwolą odpowiedzieć.

W **Rozdziale 2** przedstawiono zmiany historyczne w zakresie emisji gazów cieplarnianych w Polsce i Unii Europejskiej (UE) oraz unikniętą emisję CO<sub>2</sub> w związku z rozwojem w Polsce energetyki odnawialnej. W rozdziale wymieniono również aktualne dokumenty regulujące emisję zanieczyszczeń do atmosfery w Unii Europejskiej. Tytuł rozdziału sugerował bardziej kompleksowe podejście do zagadnienia, nie ma to jednak istotnego znaczenia z punktu widzenia realizacji głównego celu pracy.

**Rozdział 3** stanowi przegląd literaturowy w zakresie substancji wykorzystywanych w procesie produkcji metanolu tj. wodoru i dwutlenku węgla. W przypadku wodoru Autorka porusza zagadnienia obejmujące m.in. procesy produkcji wodoru, w tym przy wykorzystaniu energii odnawialnej (elektroliza), techniki magazynowania wodoru, rozwijane kierunki wykorzystania odnawialnej energii elektrycznej (m.in. procesy P2P), analizę zastosowania wodoru w mieszance paliwowej turbiny gazowej, w tym wpływ na emisję CO<sub>2</sub> oraz zagrożenia związane z produkcją i magazynowaniem wodoru. W przypadku CO<sub>2</sub> omówiona została jego charakterystyka oraz ogólnie główne kierunki/metody ograniczenia jego emisji do atmosfery i możliwości składowania. Nie do końca mogę się zgodzić ze stwierdzeniem, że produkcja wodoru jest łatwa i z tego powodu znajduje on zastosowanie w procesach przemysłowych. Dodatkowo w rozdziale nie wspomniano o tzw. gospodarce wodorowej jako podstawy dużego i stale rosnącego zainteresowania wodorem jako paliwem przyszłości. Ponadto w rozdziale Autorka porusza wątek spalania wodoru w turbinie gazowej, w tym wyniki badań/symulacji tego procesu które realizowała w ramach stażu na TU Dresden w Thermische Energiemaschinen und-Anlagen.

**Rozdział 4** jest pierwszym rozdziałem części badawczej pracy. W ramach rozdziału Autorka dokonuje analizy i charakterystyki potencjalnych źródeł odnawialnej energii elektrycznej (opcjonalnie farma wiatrowa i fotowoltaiczna o mocy 50 MWe) dla produkcji zielonego wodoru przeznaczonego do syntezy metanolu. Dla przeprowadzenia niezbędnych obliczeń (symulacja pełnego ciągu wytwórczego metanolu) Doktorantka wykorzystuje i adaptuje dane dotyczące:

- Projektu Marszewo (TAURON Ekoenergia, 100 MW) – farmy wiatrowa (100 MW)
- Instalacji fotowoltaicznej umieszczonej na dachu budynku Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki i Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej (100 kW) – farma fotowoltaiczna

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń (według zaproponowanej i opisanej metodyki) wyznaczono średnioroczne moce analizowanych układów produkcji energii elektrycznej oraz wskaźniki znamionowej mocy generatorów wodoru, potencjał magazynowania energii elektrycznej (wskaźniki magazynowania) i możliwe do uzyskania strumienie wodoru dla różnych stosunków mocy elektrolizera i rozpatrywanej farmy. Niestety w treści nie przedstawiano uzasadnienia wyboru przyjętej mocy nominalnej dla farm wiatrowej i słonecznej. Nie określono również potencjalnej lokalizacji instalacji produkcji energii, co może mieć wpływ na wyniki uzyskanych obliczeń.

W **rozdziale 5** przedstawiono wyniki badań prowadzonych przez Doktorantkę w zakresie magazynowania wodoru w technologii wodorków metali. Autorka pracy przedstawia wyniki badań przeprowadzonych przy wykorzystaniu autorskiej instalacji badawczej. Wyniki prac są interesujące i wskazują na umiejętności Doktorantki w zakresie realizacji badań empirycznych choć nie do końca zdaniem recenzenta wpisują się w główny nurt tematyczny pracy.

**W Rozdziale 6** przedstawiono wyniki analizy układu produkcji metanolu przy wykorzystaniu odnawialnego wodoru i dwutlenku węgla. Zakres analizy objął badanie wpływu parametrów realizacji procesu syntezy metanolu na uzysk metanolu, sprawność konwersji chemicznej i sprawność całego układu wytwórczego oraz na obciążenie emisją CO<sub>2</sub> produktu (metanolu). Dokonano również analizy możliwości poprawy efektywności procesu poprzez zastosowanie obiegu ORC i silnika Stirlinga (w miejsce wybranych wymienników ciepła). W kolejnym etapie przeanalizowano układ uzupełniony o instalację produkcji odnawialnej energii elektrycznej (zasilającej generator wodoru) oraz węzeł energetycznego wykorzystania metanolu w wariantach: ogniwo paliwowe, silnik tłokowy, turbina gazowa, układ gazowo-parowy). Przed przystąpieniem do obliczeń Doktorantka przedstawia przyjęte parametry pracy poszczególnych elementów układu (co jest właściwe) nie podając jednak źródła przyjętych wartości. Nie został również opisany przyjęty model – metodyka obliczeń kluczowego węzła układu tj. reaktora syntezy metanolu (pojawia się jedynie informacja, że został on zamodelowany w symulatorze Aspen Plus). Jest to ważna informacja z pkt. widzenia analizy otrzymanych rezultatów. Ponadto w opisie uzyskanych wyników symulacji brakuje przedstawienia bilansów masowych i energetycznych dla rozpatrywanych wariantów, które z jednej strony stanowią ważną informację na temat funkcjonowania analizowanego systemu z drugiej stanowią formę weryfikacji poprawności przeprowadzonych obliczeń.

Rozdział ten zawiera również przegląd literatury w zakresie konfiguracji i parametrów pracy układów produkcji metanolu przy wykorzystaniu CO<sub>2</sub>. Niestety przy omawianiu poszczególnych rozwiązań nie zamieszczono ich schematów (nawet najprostszych), co utrudnia zrozumienie, analizę i ich ocenę, również w kontekście konfiguracji układu zaproponowanego w pracy. Co więcej przy niektórych opisach Doktorantka odwołuje się do tych niezamieszczonych schematów („...jest następnie oddzielony od wody w wieży destylacyjnej T101.”). W ramach przeglądu analizowany jest (obszernie) wariant produkcji metanolu zintegrowany z zgazowaniem odpadów komunalnych. Jest to inny przypadek (w stosunku do analizowanych w pracy), gdzie gaz syntezowy do produkcji metanolu generowany jest w procesie zgazowania i występuje emisja CO<sub>2</sub>. Teoretycznie integracja takiego układu z produkcją zielonego wodoru może również pozwolić na uzyskanie niskoemisyjnego metanolu, ale nie dotyczył tego omawiany przypadek. Jak sugeruje to tytuł podrozdziału dotyczącego przeglądu (6.1.2 Przegląd technologii produkcji metanolu) brakuje również w opinii recenzenta krótkiego omówienia samych rozwiązań technologicznych reaktorów syntezy metanolu. Ze względu na dużą ilość informacji dotyczącej przebiegu procesów produkcyjnych jak również ekonomiki produkcji wydaje się że dla lepszego odbioru pracy korzystnym byłoby zebranie kluczowych informacji np. w formie zestawienia tabelarycznego. Przegląd literaturowy porusza również zagadnienia związane z wykorzystaniem metanolu (głównie jako paliwa) oraz wykorzystywanymi katalizatorami w procesie jego syntezy. Wydaje się, że ta część rozdziału 6 (o charakterze przeglądu literatury) mogłaby zostać przeniesiona na początek pracy (np. uzupełniając rozdz. 3). Pozwoliłoby to zachować strukturę pracy z podziałem na część teoretyczną (literaturową) i praktyczną (w tym przypadku eksperymentalną i obliczeniową).

Pewne kontrowersje budzi również ta część pracy w której Autorka dokonuje doboru katalizatora na podstawie dość ogólnego przeglądu literaturowego, tym bardziej, że z punktu widzenia zakresu pracy nie jest on potrzebny (recenzent nie znalazł informacji w pracy na temat uwzględnienia wpływu dobranego katalizatora na realizację obliczeń procesowych).

**Rozdział 7** stanowi analizę możliwości integracji układu syntezy metanolu z turbiną gazową, jako alternatywnego rozwiązania do układów przedstawionych w rozdziale 6. Analiza pracy

układu obejmuje m.in. wpływ parametrów realizacji procesu syntezy na moce turbiny i sprzężarek oraz uzyski metanolu i sprawności jego produkcji. Choć uzyskane wyniki są cenne i interesujące to podobnie jak w przypadku rozdziału 6 również korzystnym było by przedstawienie bilansu masowego i energetycznego układu oraz nieco bardziej precyzyjny opis poszczególnych jego elementów, w tym szczególnie takich elementów jak separatory, czy membrany (przyjęte parametry ich działania lub sposób obliczeń). Brakuje również analizy porównawczej analizowanych układów w rozdz. 6 i 7.

**W rozdziale 8** dokonano szacunku kosztów wytworzenia metanolu, w układzie o konfiguracji zgodnie z rozdziałem 6. Autorka szczegółowo przedstawiła metodę szacowania kosztów produkcji, opisała założenia przyjęte do obliczeń i dokonała stosownych kalkulacji. Przeprowadzono również analizę wrażliwości wpływu zmiany kosztów pozyskania wodoru, dwutlenku węgla oraz nakładów inwestycyjnych na koszt wytworzenia metanolu. Rozdział zakończono analizą ryzyka inwestycji poprzez obliczenia prawdopodobieństwa zmiany kosztów jego produkcji przy wykorzystaniu metody Monte Carlo. We wprowadzeniu do rozdziału brakuje wyraźnego wskazania, która instalacja z opisywanych wcześniej poddana została analizie. Brakuje również uzasadnienia przyjętej skali układu. Korzystnym byłoby również zamieszczenie bardziej szczegółowych informacji na temat sposobu wyznaczenia nakładów inwestycyjnych – podana jest jedynie wartość końcowa z odnośnikiem literaturowym. Uzyskany koszt metanolu jest dość wysoki zapewne również za sprawą małej skali układu. Brakuje trochę głębszej analizy przyczyn, a także odniesienia do aktualnych danych dotyczących innych technologii czy cen rynkowych metanolu (np. Methanex).

Prace kończy podsumowanie i wnioski, które odnoszą się do wszystkich poruszanych w pracy zagadnień (**rozd. 9**)

W bibliografii zawierającej 172 pozycje literaturowych znajdują się 9 prac współautorstwa Doktoranta. Praca zawiera również załączniki w których przedstawiono parametry strumieni procesowych analizowanych układów.

## **C. OCENA ROZPRAWY**

### **Uwagi ogólne**

*(Część uwag ogólnych zostało zasygnalizowanych w części B recenzji. Najistotniejsze z nich zostały powtórzone w części recenzji dotyczącej uwag szczegółowych)*

Recenzowana praca zawiera zadania o charakterze naukowym i praktycznym, w zakresie energetyki i inżynierii środowiska, których rozwiązanie dostarcza wielu interesujących informacji o możliwości produkcji niskoemisyjnego metanolu, również w kontekście magazynowania wytwarzanej energii odnawialnej. Poruszone zagadnienia dotyczą wielu aspektów związanych z możliwością efektywnego wykorzystania energii odnawialnej, od metod jej wytworzenia, poprzez jej magazynowanie, aż do końcowego jej wykorzystania.

Autor wykazał się wiedzą i umiejętnościami w zakresie zarówno realizacji badań eksperymentalnych jak i modelowania i symulacji procesów technologicznych, w tym analizy uzyskanych wyników. Wyniki analiza literatury światowej i krajowej oraz realizowane badania w pełni świadczą o wadze podjętej tematyki i celowości podjętych badań, m.in. w kontekście rozwoju szeroko rozumianej gospodarki wodorowej.

Układ pracy jest poprawny choć wydaje się, że przegląd literatur mogłyby zostać skupiony w jednym rozdziale. W zakresie strony edycyjnej zdarzają się pewne niedociągnięcia: używanie nazw w języku angielskim, usterki stylistyczne, odwołania w tekście do nieistniejących równań (przykłady przedstawiono w uwagach szczegółowych) – nie budzi to jednak większych zastrzeżeń i nie wpływa na ostateczną percepcję i ocenę pracy.

Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do dalszych prac badawczych i koncepcyjnych w rozpatrywanej tematyce, a sama praca może stanowić bogate i użyteczne źródło wiedzy dla pracowników naukowych i inżynierów zainteresowanych poruszaną tematyką.

#### **Do najważniejszych wyników o charakterze poznawczym rozprawy zaliczam:**

1. Opracowanie koncepcji i modeli procesowych układów produkcji metanolu przy wykorzystaniu niskoemisyjnego wodoru i dwutlenku węgla.
2. Przeprowadzenie symulacji procesowych analizowanych układów wraz z wyznaczeniem ich kluczowych parametrów procesowych, w tym obciążenia emisją CO<sub>2</sub>.
3. Wskazaniem możliwych kierunków optymalizacji działania analizowanych układów produkcyjnych poprzez integrację z układami ORC i silnikiem Stirlinga.
4. Wyniki analizy ekonomicznej wybranego układu, wraz z określeniem kosztów wytworzenia metanolu.

#### **Uwagi szczegółowe (wybrane):**

##### **Str. 12**

**„...analizy sprawności całkowitego układu produkcji metanolu i jego energ. wyk.”**

Wydaje się, że w opisie zakresu pracy zastosowanie tego skrótu jest niepotrzebne, tym bardziej, że nie jest to skrót powszechnie używany

**„...Jaką tendencję utrzymuje uzysk przy zmiennych parametrach pracy reaktora?”**

Jakkolwiek rozumiemy intuicyjnie zadane pytanie to w przyszłych pracach proponuję w stosować bardziej precyzyjne sformułowania np.: „W jaki sposób zmienia się wydajność produkcji metanolu w zależności od zmieniających się parametrów pracy reaktora?”

##### **Str. 17**

**„Ze względu na łatwy sposób jego produkcji (pozyskiwania) wykorzystywany jest w wielu procesach przemysłowych”** Wykorzystywanie wodoru w procesach przemysłowych wynika raczej z potrzeb technologicznych/procesowych oraz jego właściwości (np. w przypadku zastosowań energetycznych zerowa emisja CO<sub>2</sub>). Sformułowanie: „łatwy sposób jego produkcji” też może budzić kontrowersje. Obecne metody jego produkcji przy wykorzystaniu paliw kopalnych to rozbudowane i kompleksowe układy wytwórcze o wysokim stopniu integracji.

##### **Str. 21 (tabela 3.2)**

**„proces gazyfikacji,”**

Proponuję używać proces zgazowania. Gazyfikacja może kojarzyć się z budową infrastruktury i zaopatrzeniem terenu/miasta itp. w dostęp do gazu ziemnego.

**„Jedynie proces elektrolizy zasilany energią elektryczną nie generuje zanieczyszczeń węglem i dlatego został on opisany w kolejnym punkcie”.**



W pracy Autor posługuje się często skrótami myślowymi, czego lepiej unikać przy publikacjach zwłaszcza naukowych bo może prowadzić to do nieporozumień i negatywnego odbioru pracy. Powyżej jeden z przykładów (precyzyjniej byłoby „... zasilany odnawialną energią elektryczną...”; „nie generuje bezpośredniej emisji CO<sub>2</sub>”).

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

**Str. 25**

**„Dodatkowo ten sposób określany jest jako znacznie (bo aż 1,5 razy) bardziej efektywny niż skroplony wodór.”**

Uwaga j.w. (sposób bardziej efektywny niż wodór ?)

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

**Str. 33**

**„Dwutlenek węgla znajduje zastosowanie zawodowe i przemysłowe, ale tak jak w przypadku wielu innych czynników zaleca się przeprowadzić ocenę ryzyka”**

Proszę o wyjaśnienie co to znaczy „zawodowe”. Czy nie wystarczyło by przemysłowe. Czy chodzi o „ocenę ryzyka” jego stosowania?.

Wymaga wyjaśnienia.

**Str. 34;**

**„Proces wychwytywania dwutlenku węgla będzie bardziej opłacalny w miejscu, gdzie jest go dużo (wysoka koncentracja), czyli w pobliżu emiterów elektrowni konwencjonalnych spalających stałe paliwa kopalne”.**

Nie do końca jest to zrozumiałe. Wydaje mi się, że zastosowano tu również skrót myślowy. Oczywiście proces separacji CO<sub>2</sub> z gazów przemysłowych charakteryzujących się wysokimi koncentracjami i ciśnieniami parcjalnymi CO<sub>2</sub> jest relatywnie bardziej efektywny zarówno z punktu widzenia procesowego jak i ekonomicznego, ale nie wiem czy o to tu chodzi.

Wymaga wyjaśnienia.

**Str. 34 (tabela 3.8);**

**„Najlepiej rozwinięta”**

Stwierdzenie może budzić kontrowersje. Metody opisane w tabeli jako „pierwotne” czyli separacji CO<sub>2</sub> z gazów procesowych charakteryzujących się wysokim ciśnieniem (podobnie jak w układach IGCC) stosowane są od wielu lat w przemyśle chemicznym. Są to technologie dojrzałe i oferowane komercyjnie. Przykładem może tu być technologia Selexol.

Proszę o komentarz.

**Str. 41**

**„Przedstawiona poniżej metodologia obliczeniowa (zgodnie z metodologią zaprezentowaną w [68]) została zaprojektowana dla farmy słonecznej”**

Proponuję stosować określenie: metodologia została opracowana.

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

**Str. 48 (rozdział 5) – uwaga generalna**

**Tytuł: lapsus językowy – Wodorki metalu vs. Metalki wodoru**

**Pozostałe:**

- W rozdziale przedstawiono wyniki badań prowadzonych przez Doktorantkę w zakresie magazynowania wodoru w technologii wodorków metali. Autorka pracy przedstawia wyniki badań przeprowadzonych przy wykorzystaniu autorskiej instalacji badawczej. Wyniki prac są interesujące i wskazują na umiejętności Doktorantki w zakresie realizacji badań empirycznych choć nie do końca zdaniem recenzenta wpisują się w główny nurt tematyczny pracy.

Uwaga zamieszczona również w części B recenzji. Wymaga komentarza.

#### Str. 58

**„Metanol może stanowić magazyn wodoru, ponieważ jest znacznie łatwiejszy w przechowywaniu. Ma to związek z bardzo niską masą atomową wodoru równą 1,00784 u.”**

Wydaje się, że jednym z głównych powodów jest również stan skupienia.

Proszę o komentarz.

#### Str. 59, uwagi ogólne do rozdziału 6.1.2 (patrz również część B recenzji)

- Przy omawianiu poszczególnych rozwiązań układów produkcji metanolu nie zamieszczono ich schematów (nawet najprostszych), co bardzo utrudnia zrozumienie, analizę i ich ocenę również w kontekście konfiguracji układu zaproponowanego w pracy.
- Przedstawiany (obszernie) wariant produkcji metanolu zintegrowany z zgazowaniem odpadów komunalnych jest innym rozwiązaniem niż analizowane w pracy układy. W procesie wytwarzany jest gaz syntezowy zawierający głównie CO i H<sub>2</sub>. Uzyskanie odpowiedniego składu gazu do syntezy wymaga przeprowadzenia konwersji CO (do CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>) i usunięcia pewnej ilości CO<sub>2</sub> (występuje emisja CO<sub>2</sub>). Teoretycznie integracja takiego układu z produkcją zielonego wodoru może również pozwolić na uzyskanie niskoemisyjnego metanolu, ale nie dotyczył tego omawiany przypadek.
- Jak sugeruje to tytuł podrozdziału dotyczącego przeglądu (6.1.2 Przegląd technologii produkcji metanolu) brakuje również w opinii recenzenta krótkiego omówienia samych rozwiązań technologicznych reaktorów syntezy metanolu.
- Ze względu na dużą ilość informacji dotyczącej przebiegu procesów produkcyjnych jak również ekonomiki produkcji wydaje się że dla lepszego odbioru pracy korzystnym byłoby zebranie kluczowych informacji np. w formie zestawienia tabelarycznego.

Proszę o komentarz

#### Str. 61.

**„Instalacja według [88] przedstawia proces uwodornienia dwutlenku węgla, a także proces przygotowania składników. Wodór ma temperaturę  $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  i ciśnienie  $p = 33$  bary, a dwutlenek węgla jest w fazie ciekłej o temperaturze  $t = -25,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  i ciśnieniu 16,422 bar. Oba czynniki są sprężane w wielostopniowej sprężarce do ciśnienia  $p = 50$  bar..”**

Jeśli chcemy sprężyć CO<sub>2</sub> w postaci ciekłej to powinna to być pompa. Schemat układu i jego opis mógłby ułatwić zrozumienie przekazywanych informacji (patrz również uwaga ogólna do rozdziału 6.1.2)

#### Str. 63

**„Proces produkcji metanolu z Municipal Solid Waste (MSW) jest podobny do procesu zgazowania węgla (obróbka wstępna – posortowanie i rozdrobnienie, zgazowanie, oczyszczanie metanolu) [92,93]”**

Powinno się stosować polskie nazwy. Proces produkcji metanolu z stałych odpadów komunalnych. Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach

**Str. 63**

W pracy zdarzają się tzw. literówki (przykład poniżej). Proszę zwrócić na to uwagę przy przyszłych publikacjach.

„...instalacji rozdziału powietrz ASU...” (powietrza).

**Str. 66**

**„Proces produkcji odnawialnego metanolu może odbywać się dzięki wykorzystaniu biomasy DENDRO i AGRO, odpadów komunalnych i rolnych, ale najbardziej ekologicznym sposobem jest uwodornienie dwutlenku węgla”**

Stwierdzenie powinno być poparte przynajmniej krótkim komentarzem/wyjaśnieniem bo może budzić zastrzeżenia. Każda z tych technologii może być wykorzystana do produkcji niskoemisyjnego metanolu (co więcej przy odpowiedniej konfiguracji również źródłem ujemnej emisji CO<sub>2</sub>). Używanie określeń typu „najbardziej ekologiczny sposób” czy „spotęguje efekt ekologiczny” (str. 63 i 36), czy „podwójnie ekologiczny efekt” (str. 66) również jest nie precyzyjne i w opracowaniach naukowych powinno być doprecyzowane.

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

**Str. 69**

**„W chwili obecnej najczęściej stosowaną metodą jest synteza gazu syntezowego, czyli mieszaniny CO i H<sub>2</sub> z dodatkiem CO<sub>2</sub>.”**

Korzystniejszym byłoby (bardziej zrozumiałym) użycie stwierdzenia „... najczęściej stosowaną metodą jest produkcja metanolu przy wykorzystaniu gazu syntezowego...”

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

**Str. 73**

**„Z tego względu proponowanym rozwiązaniem jest stosowanie katalizatora Cu/Zn/ZrO<sub>4</sub>.”**

Jak się wydaje wyboru katalizatora dokonano na podstawie tabeli 6.8 w jej części nt.: „Wpływ parametrów pracy reaktora”. W tabeli zamieszczono błędne nazwy katalizatorów (niezgodne ze źródłem literaturowym – powinno być w każdej pozycji Cu/Zn/ZrO<sub>2</sub>). Jest to niedopatrzenie, które nie ma wpływu na wyniki realizacji pracy (zagadnienia związane z doбором i wpływem katalizatora na analizowane procesy nie były przedmiotem pracy)

**Str. 74**

**„Do instalacji dostarczany jest strumień H<sub>2</sub>, który wynosi 1 kg/h.”**

Nie znalazłem w pracy wyjaśnienia/uzasadnienia dotyczącego skali analizowanych procesów (1 kg H<sub>2</sub>/h), tym bardziej, że analiza ekonomiczna dotyczy układu o wyższej wydajności.

Proszę o wyjaśnienie.

**Str. 76, tabela 6.9**

Przy przyjmowaniu założeń dla przeprowadzenia obliczeń/symulacji procesowych dobrze podawać źródło na podstawie którego je przyjęto (może to być odnośnik literaturowy, czy wynik własnych obliczeń, wiedzy).

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

**Str. 77 rozdział 6.3 Metodologia obliczeniowa**



W opinii recenzenta brakuje opisu metody obliczeń samego procesu syntezy metanolu, który stanowi centralną część analizowanych obliczeń. Wystarczyłaby informacja na temat zastosowanego modelu: np. stechiometryczny, równowagowy (z uwzględnieniem stałych równowagi dla przyjętych reakcji) czy równowagowy przy wykorzystaniu metody Gibbsa. W pracy znalazłem tylko informacje, że obliczenia wykonano przy wykorzystaniu oprogramowania Aspen Plus.

Wymaga wyjaśnienia

**Str. 80, uwagi ogólne do rozdziału 6.5 (patrz również część B recenzji)**

Wyniki obliczeń dotyczące układów technologicznych warto uzupełnić o bilanse masowe i energetyczne, które z jednej strony stanowią ważną informację na temat funkcjonowania analizowanego systemu z drugiej stanowią formę weryfikacji poprawności przeprowadzonych obliczeń

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

**Str. 88**

**„Z termodynamicznego punktu widzenia, niepotrzebne ciepło w analizowanej instalacji, należy wykorzystać do podgrzania jakiegoś czynnika, w celu zwiększenia sprawności instalacji. To przyczyni się bezpośrednio do znacznego rozwoju energetyki odnawialnej na świecie.”**

Wydaje się, że Autorka zastosowała tu skrót myślowy. Z punktu widzenia poprawy efektywności każdego układu technologicznego powinno się stosować odzysk ciepła wytwarzanego w układzie (jeżeli się da). Stwierdzenie, że przyczyni się to do znacznego rozwoju energetyki odnawialnej na świecie wydaje się nieco nieuzasadnione (trudne do obrony).

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

**Str. 94**

Wydaje się, że podpisy pod Rys. 6.11 i 6.12 są zamienione

**Str. 94**

**„...ale w module ORC<sub>CO2</sub> wartości temperatur są zauważalnie niższe niż w przypadku ORC<sub>WYM2</sub>.”**

Wydaje mi się, że odwrotnie.

**Str. 116**

**„Obniżenie temperatury o 10°C skutkowało nieco większym podwyższeniem osiągnięć niż zmiana ciśnienia o 0,5 MPa. Obniżenie temperatury wpływa korzystnie na sprawność instalacji, ale ma to wpływ na stopień przereagowania, który zgodnie z [133] osiąga najniższe wartości dla najniższych temperatur”.**

Proszę o rozwinięcie. Z jednej strony zwiększa się sprawność instalacji z drugiej maleje stopień przereagowania.

**Str. 117, uwagi ogólne do rozdziału 7 (patrz również część B recenzji, oraz uwaga str. 80)**

Wyniki obliczeń dotyczące układów technologicznych warto uzupełnić o bilanse masowe i energetyczne, które z jednej strony stanowią ważną informację na temat funkcjonowania analizowanego systemu z drugiej stanowią formę weryfikacji poprawności przeprowadzonych obliczeń.

Korzystnym byłoby przeprowadzenie analizy porównawczej rozpatrywanych układów w rozdz. 6 i 7.

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

Str. 131, uwagi ogólne do rozdziału 8 (patrz również część B recenzji)

- We wprowadzeniu do rozdziału brakuje wyraźnego wskazania, która instalacja z opisywanych wcześniej poddana została analizie oraz uzasadnienia przyjętej skali układu.
- Korzystnym byłoby również zamieszczenie bardziej szczegółowych informacji na temat sposobu wyznaczenia nakładów inwestycyjnych – podana jest jedynie wartość końcowa z odnośnikiem literaturowym.
- Uzyskany koszt metanolu jest dość wysoki zapewne również za sprawą małej skali układu. Brakuje trochę głębszej analizy przyczyn, w tym odniesienia do aktualnych danych dotyczących innych technologii czy cen rynkowych metanolu (np. Methanex).

Uwaga do rozważenia w przy przyszłych publikacjach.

#### **D. WNIOSKI KOŃCOWE**

1. Mgr inż. Aleksandra M. Walewska zrealizowała w swej rozprawie zadania badawcze mające na celu analizę pracy układu produkcji metanolu przy wykorzystaniu niskoemisyjnego (zielonego) wodoru, wraz z wskazaniem możliwych kierunków poprawy efektywności jego działania. Doktorantka zaproponowała szereg wariantów technologicznych produkcji metanolu i przeanalizowała je z punktu widzenia ich efektywności procesowej (sprawność produkcji, zużycie mediów i czynników energetycznych) ekologicznej (emisja CO<sub>2</sub>) oraz ekonomicznej (dla wybranego wariantu). Świadczy to o rozległej wiedzy w zakresie tematyki pracy. Praca Pani mgr inż. Aleksandry M. Walewskiej zawiera wiele interesujących rozwiązań zarówno w zakresie metodologicznym jak i poznawczym oraz aplikacyjnym. Stanowi ona interesujące kompendium wiedzy w rozpatrywanym zakresie merytorycznym. Doktorantka zrealizowała w całości zakres planowanych badań i osiągnęła założone w recenzowanej rozprawie cele oraz dowiódł postawionej tezy.
2. Pewne niedostatki rozprawy podkreślone w recenzji nie zmniejszają osiągnięć metodologicznych, poznawczych i wagi głównych rezultatów.

**Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona przez Panią mgr. inż. Aleksandrę M. Walewska praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku i wnoszę o dopuszczenie Pani mgr. inż. Aleksandry M. Walewskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Podpisał Tomasz Chmielniak