



Prof. dr hab. inż. Waldemar Kuczyński  
Politechnika Koszalińska  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Energetyki  
Katedra Energetyki  
75 – 620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17  
Tel. 94 3478-420, 437  
email: waldemar.kuczynski@tu.koszalin.pl



Koszalin 10.04.2026

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Mateusza Proniewicza pt.:  
„Economic and environmental analysis of applying ammonia as carbon  
free fuel in internal combustion engine driven agricultural vehicle  
performed in whole life cycle approach”

Recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. Krzysztofa Labusa, w oparciu o pismo nr RIE-BD.512.12.2026 z dnia 19.02.2026 r.

Rozprawa doktorska powstała i została zredagowana pod kierunkiem  
**prof. dr hab. inż. Andrzeja Szłęka**

Funkcje promotora pomocniczego pełniła **dr inż. Karolina Petela**

Recenzję wykonano zgodnie z wytycznymi Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny IŚGiE Politechniki Śląskiej

### 1. Tytuł i przedmiot rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy doktorskiej brzmi: *Economic and environmental analysis of applying ammonia as carbon free fuel in internal combustion engine driven agricultural vehicle performed in whole life cycle approach*, a jej przedmiotem jest analiza wykorzystania amoniaku, jako nośnika wodoru będącego substytutem dla oleju napędowego. Motywacja zastosowania tego rodzaju paliwa wpisuje się w ogólne działania środowiskowe mające na celu dekarbonizację układów wykorzystujących paliwa kopalne w konwersji na energię użytkową. W rozpatrywanym przypadku podjęto działania mające dać odpowiedź, o wpływie środowiskowym i ekonomicznym zastosowania wodoru w amoniaku jako alternatywnego paliwa do zasilania mini traktora wykorzystywanego w pracach sadowniczych. Jednostką napędową w tego typu konstrukcjach są zazwyczaj wysoko-  
prężne silniki zasilane olejem napędowym lub mieszankami z biopaliwami ciekłymi. Ocenę oddziaływania na otoczenie oraz identyfikację kosztów zaproponowanego rozwiązania wykonano wykorzystując oprogramowanie LCA for Experts, stosowane do identyfikacji tzw. cyklu życia

produktu. Ze względu bazę tego oprogramowania wynoszącą 20 tys. zestawów danych procesowych (Managed LCA Content), obejmujących m.in. chemię, energię, elektronikę i opakowania możliwe było przeanalizowanie kilku strumieni procesu produkcji amoniaku. Uwzględniono tutaj następujące źródła produkcji: amoniak szary (powstający na bazie wodoru w procesie reformingu parowego, amoniak niebieski (reforming parowy metanu z wychwytywaniem i składowaniem CO<sub>2</sub>), amoniak uzyskiwany na drodze elektrolizy zielony, jeśli energię elektryczną generuje się z OZE i różowy dla elektrowni jądrowych.

W rozpatrywanym zagadnieniu, wykorzystania wodoru w amoniaku, do zasilania silnika wysokoprężnego, wymagane było zastosowanie paliwa pilotażowego, inicjującego zapłon samoczynny. W rozwiązaniu technicznym, użyto biodiesla wytworzonego na bazie rzepaku, natomiast amoniak doprowadzany za pośrednictwem wtrysku do kolektora dolotowego silnika. Analizę pracy takiego układu oparto o dane eksperymentalne emisji produktów spalania (spalin) paliwa w badanym silniku.

Rozważono specyficzny cykl pracy mini traktora sadowniczego obejmujący jednostkę funkcjonalną, jaką jest hektar/rok pracy takiego pojazdu. W ocenie wpływu uwzględniono trzy tzw. pośrednie kategorie ReCiPe, będących jedną z najpopularniejszych metod oceny wpływu w cyklu życia (LCA), która przetwarza szeroką listę wyników inwentaryzacji (LCI) na ograniczoną liczbę wskaźników. W metodzie tej wyróżnia się dwa główne poziomy oceny: kategorie pośrednie (ang. midpoint) oraz kategorie szkód (ang. endpoint). W odniesieniu do badanego silnika uwzględniono zmiany klimatu, wyczerpanie w najbliższej perspektywie czasowej zasobów paliw kopalnych oraz zużycie wody słodkiej. Przyjęto też dwie kategorie końcowe tj. wpływ na kondycję fizyczną (zdrowie) ludzi i oddziaływanie na ekosystem.

W analizie cyklu życia (LCA) w pierwszej kolejności rozważono metody produkcji amoniaku w odniesieniu do wytwarzania oleju napędowego. Stwierdzono, że produkcja NH<sub>3</sub>, na drodze elektrolizy z wykorzystaniem energii elektrycznej z jednostek jądrowych i turbin wiatrowych, minimalizuje emisje gazów cieplarnianych. Natomiast wykorzystanie tego procesu i źródeł generacji energii elektrycznej związane jest z wyczerpywaniem zasobów wody słodkiej i chłodzącej oraz zasobów kopalnych (uran).

Kolejnym istotnym elementem jest uwzględnienie znacznie niższej sprawności konwersji energii chemicznej paliwa na moc mechaniczną w układach silników dwupaliwowych w odniesieniu do silników Diesla. Różnica w sprawności tych urządzeń minimalizuje się pod wysokimi obciążeniami, ale zmiana obciążenia wiąże się ze znaczną emisją NO<sub>x</sub>, podtlenku azotu N<sub>2</sub>O i nieprzereagowanego amoniaku NH<sub>3</sub> w spalinach.

Przeprowadzona analiza LCA dla miniciągnika zasilanego amoniakiem wykazała, że podczas jego eksploatacji, miało miejsce zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 18% w stosunku do zasilanego olejem napędowym. W wartościach ekwiwalentnych jest to stosunek 72 kg CO<sub>2</sub> do 88 kg CO<sub>2</sub>, co uznaje się za dość umiarkowaną redukcję. Spowodowane jest to obecnością podtlenku amoniaku N<sub>2</sub>O i CO<sub>2</sub> w produktach spalania w układzie pilotażowym. Natomiast, redukcję emisji gazów cieplarnianych osiągnięta na poziomie 42-44%, zaobserwowano w pełnym cyklu LCA, dla układów wykorzystujących energię elektryczną generowaną przez turbiny wiatrowe oraz energetykę jądrową. Odnosi się te wyniki do identyfikacji śladu węglowego, jaki pojawia się dla produkcji i wykorzystania biodiesla.

W odniesieniu do wykorzystania energii paliw kopalnych, odnotowuje się w analizie LCA redukcję o 43% do 45% emisji związków szkodliwych do otoczenia przy wytwarzaniu amoniaku zielonego w oparciu o odnawialne źródła energii (fotowoltaiki/energia wiatru). Natomiast w przypadku amoniaku różowego (energetyka jądrowa) mamy wzrost wpływu o 78% w porównaniu do silnika zasilanego olejem napędowym. Odnotowuje się jednocześnie wzrost zużycia

o 40–50 % wody słodkiej wykorzystywanej w procesie elektrolizy w oparciu o źródła OZE, natomiast w przypadku energetyki jądrowej wzrost ten odpowiada około dwukrotności poziomu dla oleju napędowego.

Analizując kryteria końcowe związane z wpływem procesu produkcyjnego oraz użytkowania amoniaku jako paliwo (pełen cykl życia), odnotowuje się wzrost oddziaływania o około 47% na zdrowie ludzkie oraz prawie dwukrotnie wyższe na jakość tzw. ekosystemu. Wynik ten jest niezależny od sposobu wytworzenia amoniaku. Wykorzystanie układu SCR (Selective Catalytic Reduction) w celu eliminacji NO<sub>x</sub> i spowadzenia produktów spalania do nieszkodliwego azotu i pary wodnej obniża wskazane powyżej skutki, niemniej wpływ na zdrowie ludzkie pozostaje około 19% wyższy a jakość ekosystemu jest zakłócona o około 1,6–2 razy więcej niż w przypadku oleju napędowego.

Kolejnym rozpatrywanym w opracowaniu zagadnieniem jest rachunek kosztów cyklu życia, w którym uwzględnia się poniesione nakłady na pozyskanie, eksploatację oraz utylizację danego produktu. W tym przypadku, analizę oparto o dane literaturowe oraz wyniki wykonanych badań, z uwzględnieniem wskazanych powyżej metod pozyskania amoniaku. Uwzględniono również kwestie środowiskowe tego procesu.

Na drodze porównania cen poszczególnych paliw w odniesieniu do ich energetyczności, stwierdzono, że amoniak pod względem ekonomicznym może być konkurencyjny w stosunku do oleju napędowego. Warunkiem koniecznym jest tutaj relatywnie niska cena gazu ziemnego, którą wg Henry Hub (USD/MMBtu) określono na poziomie 6 USD. Dotyczy to gazu z wychwytywanym i składowanym CO<sub>2</sub>. W porównaniu z kosztem energii elektrycznej, stosowanej w procesie elektrolizy, przy jej cenie poniżej 38 USD/MWh, korzystnym jest stan, gdy cena oleju napędowego wynosi 1 USD/l.

Studium przypadku dotyczące całkowitych kosztów cyklu życia pojazdu napędzanego alternatywnym paliwem, jakim jest amoniak wykazuje, że podstawowym czynnikiem hamującym stosowalność tych rozwiązań jest ponad trzykrotnie większy koszt inwestycyjny (zakupu) takiego pojazdu w stosunku do zasilanego np. olejem napędowym.

W przeprowadzonej analizie dotyczącej przyjętego konkretnego pojazdu w postaci miniciągnika ogrodniczego zasilanego amoniakiem, stwierdzono konieczność poniesienia 2–4 razy wyższych kosztów całkowitych niż mini ciągnik zasilany dieslem. Wynika to z niepewności w szacowaniu nakładów kapitałowych i szczególnie w obecnych czasach niestabilności rynków paliw.

Rozwiązaniem wspierającym wejście w posiadanie miniciągnika ogrodniczego, zasilanego amoniakiem, mogą być rozwiązania systemowe, w postaci ulg lub dopłat na zakup tego typu bezemisyjnych pojazdów. Wiąże się to przede wszystkim z polityką klimatyczną prowadzoną w danym regionie świata. W rozpatrywanym przypadku określono ewentualną cenę zakupu takiego pojazdu na poziomie 6000 USD, co jest znaczną kwotą. Niemniej proponowana technologia wiąże się przede wszystkim z uwzględnieniem kosztu emisji dwutlenku węgla w cenie oleju napędowego, co może zwiększyć opłacalność technologii o niskim śladzie węglowym. Kolejnym ważnym aspektem jest zastosowanie technicznych rozwiązań, mogących prowadzić do efektywnego zastąpienia wyczerpujących się kopalnych nośników energii, przez tzw. paliwa przyszłości, do których zalicza się m.in. wodór zawarty w amoniaku.

**Należy ocenić, że podany tytuł rozprawy doktorskiej, tematycznie odpowiada przyjętym założeniom przedstawionym w jej skróconym powyżej opisie.**

## 2. Struktura redakcyjna (układu) pracy

Rozprawę doktorską stanowi cykl połączonych tematycznie 4 publikacji, zamieszczonych w tym opracowaniu, jako załączniki i będące w zasadzie jego odrębną częścią. Opis syntetyczny treści zawartych w tych pozycjach i zredagowany w języku angielskim, został umieszczony w pierwszej części tej pracy. Całość wraz ze wstępem w języku polskim, spisem treści, nomenklaturą, wykazem współautorskich publikacji w czasopismach i materiałach konferencyjnych, wykazem literatury, listą tabel i rysunków zawarta została na 149 stronach.

Oprócz wymienionych powyżej 4 pozycji, Doktorant wskazuje jeszcze 2, tematycznie powiązane z treścią opracowania.

Istotnym elementem w przedstawionych do oceny materiałach jest informacja podana w części zatytułowanej **Author contribution statement** o roli Doktoranta, jakie pełnił we wskazanych do dorobku publikacjach. Pojawia się tutaj stwierdzenie o tym, że wkład jest identyczny we wszystkich czterech artykułach, ponieważ zostały one przygotowane przez pierwszego autora (obliczenia, tabele, rysunki, tekst) czyli Doktoranta. Rola współautorów polegała głównie na recenzji materiału i propozycji jego ulepszeń. Udziały procentowe zostały natomiast określone zgodnie z wymogami redakcji czasopism, w których opublikowano te materiały.

Zakres ten należy uznać za odpowiedni w odniesieniu do wymogów związanych z uznaniem przedstawionego materiału, jako podstawę zgłoszenia go przez Autora jako pracy doktorskiej.

Przedstawiony do oceny materiał został podzielony na 4 części, stanowiące odrębne rozdziały, w których przedstawiono syntetycznie informacje zawarte w poszczególnych pozycjach publikacyjnych. Całość rozpoczyna się natomiast od rozdziału zatytułowanego **Wprowadzenie**, gdzie podano motywację podjęcia rozpatrywanego tematu. Opisano tutaj w syntetyczny sposób obecny stan wykorzystania kopalnych nośników energii w szczególności w zakresie ich przetwarzania na paliwa ciekłe/napędowe. Przedstawiono historyczny aspekt działań mających na celu nie tylko zmniejszenie wykorzystania tych źródeł, ale również emisji związków szkodliwych do otoczenia, powodujących m.in. efekt cieplarniany. Wskazano na możliwość zastosowania biopaliw, jako alternatywy z uwzględnieniem ich klasyfikacji. Wyszczególniono tutaj w oparciu o surowiec, z którego powstają i ścieżkę ich konwersji, biopaliwa 4 generacji. Obecnie wiedza dotycząca technologii wytwarzania tego paliwa z odpadów zarówno roślinnych, zwierzęcych i komunalnych jest dość powszechna. Nowymi rozwiązaniami zaliczanymi do 4 generacji, są technologie wykorzystujące np. mikroorganizmy lub sekwestrację CO<sub>2</sub> w uprawach i produkcji wysokoenergetycznych roślin lub samożywnych organizmów wodnych jakimi są np. algi.

W poszukiwaniu alternatywnych rozwiązań, ponownie zaczęto rozważać znane już i udoskonalane technologie pozyskiwania wodoru. Znane są właściwości energetyczne tego powszechnie występującego na naszej planecie pierwiastka chemicznego. Występuje on oczywiście przede wszystkim w połączeniu z tlenem, tworząc związek chemiczny będący fundamentem życia biologicznego, czyli H<sub>2</sub>O. Natomiast, jako nośnik energetyczny występuje np. w gazie ziemnym, w postaci CH<sub>4</sub> (metan) lub jako NH<sub>3</sub> (amoniak). W związku z bardzo dużą energetycznością trudno jest wykorzystać cząsteczki wodoru, jako typowe paliwo, dlatego też zazwyczaj wykorzystuje się właśnie amoniak, jako alternatywę w odniesieniu do paliw pędnych. Oczywiście powoduje to, że w zasadzie musimy prowadzić proces współspalania tego związku chemicznego, zazwyczaj z olejem napędowym. Obecnie coraz częściej, prowadzi się ten proces z wykorzystaniem biopaliw ciekłych. Procesy te są realizowane mimo znacznie niższych osiągnięć w stosunku do klasycznych rozwiązań (ok. 44% niższa wartość opałowa niż olej napędowy), jednak bilans stechiometryczny i uzyskiwane parametry MJ/kg mieszanki dają zadowalające wyniki. Natomiast emisja do otoczenia NO<sub>x</sub> oraz konieczność stosowania katalitycznej metody oczyszczania spalin

(SCR). Wskazuje to na konieczność dostosowania konstrukcji silnika, w którym będzie prowadzić się proces spalania lub współspalania wodoru zawartego w amoniaku. Analiza literatury pozwala stwierdzić, że paliwo to nadaje się do silników pracujących przy niskich prędkościach obrotowych stosowanych np. w przemyśle morskim, kolejowym lub rolniczym. Stwierdzenie to jest podstawą podjęcia tematu badań, co przedstawiono w kolejnej części pracy **1.2. Objectives and research gap**. Wskazano tutaj, że skoro istnieje technologiczna możliwość wykorzystania amoniaku jako paliwa pędnego, to pojawia się kwestia wpływu na środowisko jego wykorzystania oraz jakie są efekty ekonomiczne tego procesu. Aspekty te rozważono w ujęciu tzw. całego cyklu życia, czyli począwszy od metod pozyskiwania wodoru po jego występowanie w produktach procesu utleniania. Przypomniano metody wytwarzania wodoru od reformingu gazu ziemnego, wykorzystania odnawialnych źródeł energii po energetykę jądrową, gdzie energia elektryczna jest wykorzystywana w procesie elektrolizy. Istotnym elementem jest fakt, że utlenianie amoniaku powoduje m.in. emisje podtlenku azotu  $N_2O$  o bardzo dużym potencjale GWP. W kwestii analizy ekonomicznej, należy uwzględnić następujące aspekty:

- a) nakłady wymagane do zakupu pojazdu napędzanego olejem napędowym lub amoniakiem, biorąc pod uwagę, że technologicznie pojazd napędzany amoniakiem wymaga pewnych modyfikacji (adaptacja do zasilania dwupaliwowego, SCR).
- b) nakłady wymagane do eksploatacji pojazdu napędzanego olejem napędowym lub amoniakiem, biorąc pod uwagę różne ilości paliwa zużywanego w tych samych warunkach eksploatacji i ich odpowiednie koszty, z uwzględnieniem faktu, że koszt amoniaku zależy od źródła wodoru.

Powyższe stwierdzenia posłużyły do postawienia następujących pytań o charakterze badawczym:

1. Określenie różnic między wpływem na środowisko miniciągników napędzanych amoniakiem i olejem napędowym na podstawie oceny cyklu życia LCA (*Life Cycle Assessment*).
2. Ocena efektywności ekonomicznej miniciągników napędzanych amoniakiem i olejem napędowym na podstawie analizy kosztów cyklu życia LCC (*Life Cycle Costing*).

W procesie badawczym założono porównanie funkcjonowanie mini traktora ogrodniczego zasilanego amoniakiem z typowym napędzanym olejem napędowym. Analizę efektywności energetycznej poszerzono o aspekty środowiskowe i ekonomiczne w ujęciu dwóch określonych powyżej pytań badawczych.

Odrębnym powodem podjęcia tematu wykorzystania amoniaku, jako paliwa napędowego w maszynach rolniczych jest fakt, że według Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA), produkcja amoniaku – stosowanego zarówno bezpośrednio, jak i jako baza do nawozów azotowych – odpowiada za 2% globalnego zużycia energii i 1,3% emisji  $CO_2$ . Świadczy to o szerokim zastosowaniu tego związku chemicznego i możliwości wykorzystania również w innych obszarach w tym sektorze gospodarki.

Następnie w **1.3. LCA and LCC approach**, umieszczono opis wykorzystanych w analizie cyklu życia produktu metody *Life Cycle Assessment* oraz *Life Cycle Costing*. Analizy wykonano w odniesieniu do rozpatrywanego mini traktora jak i metod pozyskiwania wodoru. W kolejnej części **1.4. Thesis outline**, umieszczono syntetyczny opis poszczególnych części opracowania. Wykonano to w sposób przybliżający podstawowe założenia i uzyskane wyniki w poszczególnych artykułach naukowych będących podstawą tego opracowania. Klasyfikacja ta ma następującą postać:

**Rozdział 1** przekrojowo opisany powyżej, stanowi wprowadzenie do tematu, tło, motywację, cele oraz brak informacji o badaniach w rozpatrywanym zakresie. Umieszczono tutaj również opis wykorzystanych metod LCA i LCC oraz strukturę redakcyjną opracowania.

**Rozdział 2** to analiza wpływu na środowisko metod pozyskiwania wodoru, stosowanego do produkcji amoniaku. Uwzględniono w tym opisie zastosowaną metodę *Life Cycle Assessment* (LCA), która jako naukowa daje możliwość oceny wpływu na środowisko wytworzonego produktu, procesu albo usługi. Analizę tę prowadzi się na każdym etapie tzw. *życia*, od wydobycia surowców, przez produkcję, transport, użytkowanie aż po utylizację lub recykling. Rozdział ten jest syntetycznym opisem informacji przedstawionych w pierwszym artykule pt. *Life Cycle Assessment of Selected Ammonia Production Technologies From the Perspective of Ammonia as a Fuel for Heavy-Duty Vehicle*, w którym opisano powyższe zagadnienia.

**Rozdział 3** opisuje uzyskane wyniki porównania pracy i uzyskiwanych osiągnięć i emisji spalin silników, zasilanego amoniakiem lub olejem napędowym. Analizę wykonano dla całego zakresu pracy silnika, z uwzględnieniem zmiennych prędkości obrotowych wału i obciążeń. Opis ten zawiera przegląd zastosowanych metod badawczych metod i uzyskanych głównych wyników badań opublikowanych w drugim artykule o tytule *Energy and Exergy Assessments of a Diesel-, Biodiesel and Ammonia-Fueled Compression Ignition Engine*.

**Rozdział 4** przedstawia kompleksową analizę cyklu życia (LCA) miniciągnika zasilanego amoniakiem w porównaniu z pojazdem referencyjnym, jakim był pojazd rolniczy zasilany olejem napędowym. Rozważania próbnawcze przeprowadzono w oparciu o informacje dotyczące metod produkcji amoniaku przedstawionych w artykule I oraz informacjach dotyczących emisji spalin z badanych silników, co umieszczono w artykule II. Rozdział ten zawiera informacje bezpośrednio odnoszące się do części pierwszej opracowania, gdzie umieszczono opis celu pracy i przedstawia metodologię oraz wyniki opublikowane w trzecim artykule pt.: *Life cycle assessment of ammonia as carbon-free fuel in internal combustion engine-driven orchard vehicle*.

**Rozdział 5** omawia analizę cyklu życia *Life Cycle Costing* (LCC) miniciągnika zasilanego amoniakiem w odniesieniu do pojazdu zasilanego olejem napędowym. Metoda ta obejmuje analizę ekonomiczną obejmującą całkowity koszt produktu, usługi lub obiektu od koncepcji po utylizację. Według definicji obejmuje cztery główne fazy, takie jak: przygotowanie/projektowanie, budowę/produkcję, eksploatację/utrzymanie oraz likwidację. LCC pozwala optymalizować koszty, uwzględniając ukryte wydatki, a nie tylko cenę zakupu. Zastosowanie tej zasady w tym przypadku odpowiada spełnieniu osiągnięcia zdefiniowanego drugiego celu pracy i zawiera podsumowanie metod badawczych umieszczonych w czwartym artykule o tytule *Life cycle costing of an ammonia-fueled internal combustion engine-driven orchard vehicle*.

**Rozdział 6** to zbiorcze podsumowanie uzyskanych i opublikowanych wyników badań. Zredagowano je w czytelny sposób odnosząc się do poszczególnych zagadnień umieszczonych w kolejnych częściach i artykułach tego opracowania.

Następnie umieszczono wykaz literatury zawierający 66 pozycji, które są częścią takich zestawień z poszczególnych artykułów. Opracowanie kończy się załącznikami, w których umieszczono artykuły stanowiące podstawę przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej.

**Oceniając strukturę przedstawionego do oceny opracowania w tej formie nie budzi ono zastrzeżeń i można ją ocenić pozytywnie.**

### **3. Cel i zastosowane metody**

Cel pracy został podany w Rozdziale 1.2. **Objectives and research gap**, gdzie wskazano 2 powody podjęcia rozpatrywanej tematyki i 2 działania badawcze mające doprowadzić do realizacji postawionych założeń. W przypadku tzw. typowych prac doktorskich wymaga się, co prawda postawienia tezy lub hipotezy, ale w przypadku prac opartych o realizację projektów badaw-

czych, jak ma to miejsce w tym przypadku, nie musi to być bezwzględnym wymogiem. Niemniej byłby zainteresowany tym, aby Doktorant w duchu akademickiej dyskusji pokusił się w o zdefiniowanie którejs z powyższych.

**Oceniając należy stwierdzić poprawność zastosowanych metod mających doprowadzić do osiągnięcia postawionych celów pracy.**

#### **4. Omówienie wyników badań**

Wyniki przeprowadzonych badań zostały opublikowane we wskazanych, jako podstawa rozprawy doktorskiej 4 współautorskich publikacjach. Wykaz ten uzupełniono o jeszcze dwa kolejne, które tematycznie są zbliżone do rozpatrywanego zakresu. W części pierwszej opracowania umieszczono opis tego co znajduje się w poszczególnych artykułach, w załącznikach same publikacje. Należy zauważyć, że taka forma skutkuje tym, że Recenzent otrzymuje już oceniony materiał, przez poszczególne redakcje, które je opublikowały. Rodzaj i jakość czasopism (*Energy, Journal of Energy Resources Technology-Transactions of the Asme, International Journal of Energy Research, Fuel*), w których ukazały się te materiały, wskazuje już na odpowiednio wysokiego poziomu merytorycznego przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej.

Niemniej w zakresie dyskusji pojawia się pytanie dotyczące propozycji modelu matematycznego jaki powstał wyniku tych prac. W artykule 1 pt.: *Life Cycle Assessment of Selected Ammonia Production Technologies From the Perspective of Ammonia as a Fuel for Heavy-Duty Vehicle*, opisano metody pozyskiwania wodoru. Wskazano tutaj metody: Haber-Bosch, Steam Methane Reforming (SMR), czyli parowy reforming metanu, Steam Methane Reforming (SMR) z wychwytem i składowaniem dwutlenku węgla oraz elektrolizę. Rodzi się pytanie czy analizowano energochłonność tych procesów. Pośrednio taką analizę przedstawiono w artykule 2 *Energy and Exergy Assessments of a Diesel-, Biodiesel-, and Ammonia-Fueled Compression Ignition Engine*, niemniej w drodze dyskusji będę zainteresowany poruszeniem tego tematu.

Kolejne pytanie, jakie się pojawia, to takie czy rzeczywiście jedynie kwestie ekonomiczne są obecnie największą przeszkodą powodującą braku powszechnego wykorzystania paliw m.in. napędowych wykorzystujących wodór w swoim składzie chemicznym.

**Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i Recenzent liczy na ich rozwinięcie podczas publicznej obrony.**

#### **5. Podsumowanie**

Podsumowując, należy stwierdzić, że przedstawiona do recenzji praca doktorska spełnia warunki określone, o których jest mowa w wytycznych Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej. Analiza przedstawionego do oceny materiału wskazuje również na jego aplikacyjny charakter. Prowadzenie badań mających na celu wskazanie nowych źródeł produkcji paliw jest szczególnie istotne w dobie dekarbonizacji. Wyczerpywanie się kopalin oraz negatywny wpływ na środowisko procesów ich pozyskiwania, przetwarzania oraz wykorzystania jest istotnym problemem nie tylko społecznym, ale również ekonomicznym. Analiza zastosowania wodoru traktowanego jeszcze, jako alternatywne paliwo i występującego zazwyczaj w związku chemicznym, jakim jest amoniak jest jednym z fundamentalnych zagadnień współczesnych metod jego pozyskiwania i wykorzystania. Należy również zaznaczyć, że przedstawiony materiał, który posłużył do zredagowania pracy doktorskiej

były częścią projektu „*Ammonia as carbon free fuel for internal combustion engine driven agricultural vehicle*” (ACTIVATE) i otrzymały dofinansowanie z funduszy norweskich na lata 2014–2021 w ramach konkursu POLNOR2019, prowadzonego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, oraz z budżetu państwa (nr grantu NOR/POLNOR/ACTIVATE/0046/2019-00). Fakt ten również potwierdza aplikacyjny charakter tej rozprawy doktorskiej.

## 6. Ocena pracy i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawionego do oceny opracowania jego treść i cechy merytoryczne, stwierdzam, że spełnia ono wymogi dysertacji doktorskiej. Określony zakres tematyczny, sposób realizacji założonych przez Autora celów wskazuje na osiągnięcie odpowiednich kompetencji wymaganych zapisami ustawy dla osób ubiegających się o stopień naukowy doktora.

Należy podkreślić, że rozpatrywana tematyka ma charakter aplikacyjny i wpisuje się w zakres technologii i maszyn energetycznych oraz inżynierię środowiska.

**Podsumowując** stwierdzam, że przedłożona mi do oceny praca zawiera oryginalne ujęcie problemu naukowego i świadczy o opanowaniu przez jej Autor **mgra inż. Mateusza Proniewicza** naukowych metod doświadczalnych i obliczeniowych, stosowanych w **dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka**, a tym samym wyczerpuje warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r., poz. 1571, z późn. zm.) co uzasadnia **dopuszczenie** jej do publicznej obrony o co wnioskuję. Jednocześnie stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska zasługuje na **wyróżnienie** ze względu na rozpatrywaną tematykę oraz cytowalność artykułów, w których ją umieszczono i które są podstawą tego opracowania.

Podpisał Waldemar Kuczyński