

Gdańsk, 24 sierpnia 2022 r.

Prof. dr hab. inż. Jacek Mąkinia
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Sanitarnej

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Duber
pt. „Biological caproic acid production
in microbiome-based processes”**

przygotowanej pod opieką **prof. dr hab. inż. Piotra Oleśkowicza-Popiela**.

1. Podstawa opracowania recenzji

Formalną podstawą recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej, która została przekazana mi w piśmie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego, z dn. 26.05.2022 r.

2. Ocena formalna rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska, napisana w całości w jęz. angielskim (z polskim streszczeniem), jest opracowaniem obejmującym łącznie 141 stron. Zasadniczą część stanowi zbiór trzech spójnych tematycznie artykułów, w których Kandydatka jest pierwszym współautorem. Artykuły zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych: Green Chemistry (2018, IF = 9,405), Science of the Total Environment (2020, IF = 7,963), ACS Sustainable Chemistry & Engineering (2022, IF = 8,198).

Załączone oświadczenia określają indywidualny wkład poszczególnych współautorów w powstanie tych prac. Wkład Kandydatki, oszacowany na 60-75%, polegał głównie na przeglądzie literatury, zaplanowaniu i wykonaniu badań eksperymentalnych (w tym analiz chromatograficznych i mikrobiologicznych), opisie uzyskanych wyników oraz współudziale w przygotowaniu dyskusji.

Opracowanie uzupełnia część wstępna (62 strony), która zawiera wprowadzenie do tematyki badawczej, cel ogólny i cele szczegółowe pracy, opis metodyki badań, syntetyczny opis procesu fermentacji za pomocą otwartych kultur, charakterystykę mikrobiomu w reaktorze, wnioski oraz końcowe uwagi i kierunki przyszłych badań. Ta część rozprawy została bardzo starannie przygotowana pod względem językowym i edytorskim.

3. Ocena aktualności i celowości podjęcia wybranej tematyki badawczej

Niewątpliwą zaletą rozprawy jest podjęcie tematyki badawczej zgodnej z koncepcją gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), z mocnym akcentem praktycznego zastosowania procesu fermentacji, a także nawiązującej do najślabiej poznanych obszarów badań w zakresie produkcji kwasu kapronowego.

Odpady spożywcze są problemem globalnym, co znalazło potwierdzenie w celach zrównoważonego rozwoju ONZ (cel 12 - odpowiedzialna konsumpcja i produkcja) oraz planach działania Komisji Europejskiej w zakresie GOZ. Odpady te powstają w całym łańcuchu dostaw żywności, a ich szacunkowa ilość na całym świecie wynosi rocznie ponad 1 miliard ton. W rozprawie Kandydatka zaproponowała metodę zagospodarowania serwatki kwaśniej, która jest produktem ubocznym w przemyśle mleczarskim. Rocha-Mendoza i wsp. (2021) podkreślili, że „*branża mleczarska od dawna walczy o znalezienie zrównoważonego („sustainable”) zastosowania serwatki*”. Tematyka recenzowanej rozprawy dobrze wpisuje się w ten trend.

Powszechnie stosowaną technologią przetwarzania odpadów spożywczych jest fermentacja beztlenowa, ukierunkowana na produkcję biogazu. Jednak uwzględniając korzyści ekonomiczne, zasady zrównoważonego rozwoju oraz koncepcję GOZ, bardziej pożądanym rozwiązaniem jest waloryzacja odpadów spożywczych poprzez odzyskiwanie związków o wyższej wartości dodanej. Przykładem takiego działania jest produkcja kwasów karboksylowych, w tym kwasu kapronowego, w procesie fermentacji kwaśnej z wykorzystaniem kultur otwartych. Kwas kapronowy jest ważnym produktem komercyjnym, o czym wspomina Kandydatka w rozprawie, który znalazł szerokie zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym oraz chemicznym, a także rolnictwie. Proces fermentacji może być alternatywą dla stosowanych obecnie metod ekstrakcji z olejów roślinnych.

W przeglądowej pracy Cavalcante i wsp. (2017) zdefiniowano potrzeby badań nad produkcją kwasu kapronowego w procesie fermentacji, m.in. w zakresie wyznaczenia parametrów technologicznych procesu produkcji kwasu kapronowego, wykorzystania różnych rodzajów biomasy do produkcji tego kwasu oraz opracowania modeli matematycznych procesów wydłużania łańcucha kwasów karboksylowych. Podjęta przez Kandydatkę tematyka badawcza wpisuje się w te obszary, w szczególności w obszar badań technologicznych.

Rocha-Mendoza i wsp. (2021). Invited review: Acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*, 104, 1262-1275.

Cavalcante i wsp. (2017). Anaerobic fermentation for n-caproic acid production: A review, *Process Biochemistry*, 54, 106-119.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

CEL BADAŃ, HIPOTEZA BADAWCZA. Główny cel rozprawy, będący odzwierciedleniem tytułu, został sformułowany następująco: „*opracowanie procesu biologicznego wytwarzania kwasu kapronowego za pomocą mikrobiomu z odpadów organicznych, tj. serwatki kwaśnej*”. We wstępie nie została jasno sformułowana hipoteza badawcza, chociaż taka hipoteza pojawia się w Publikacji 2 (obecność mlecza i etanolu może przyspieszyć proces wydłużania łańcucha kwasów karboksylowych).

Wyznaczony cel główny pracy Kandydatka zamierzała osiągnąć poprzez realizację następujących sześciu zadań badawczych (nazwanych w pracy celami szczegółowymi), które stanowiły cel badań opisanych w poszczególnych publikacjach:

- Możliwość długookresowej produkcji kwasu kapronowego w jednofazowym reaktorze zasilanym rzeczywistym produktem ubocznym w postaci serwatki kwaśnej,
- Wpływ parametrów technologicznych (pH, temperatura, czas hydraulicznego zatrzymania (HRT), toksyczność produktu) na przebieg procesu produkcji kwasu kapronowego,
- Wpływ składu substratu i poszczególnych związków substratu na produkcję kwasu kapronowego, w tym różnych stężeń laktozy w obecności różnych donorów elektronów,
- Identyfikacja możliwych szlaków metabolicznych procesu fermentacji,
- Charakterystyka struktury, dynamiki i aktywności kultur mikroorganizmów w procesie ciągłym i testach porcjowych w odpowiedzi na zmianę składu pożywki,
- Identyfikacja kluczowych grup mikroorganizmów odpowiedzialnych za produkcję kwasu kapronowego.

Powyższe zadania badawcze można więc podzielić na dwie grupy – badania o charakterze technologicznym (1-4) oraz badania mikrobiologiczne (5-6).

METODYKA BADAŃ. Część technologiczna badań była przeprowadzona w warunkach laboratoryjnych i obejmowała długookresową eksploatację reaktora przepływowego typu UASB oraz serię testów porcjowych. W obu przypadkach wykonywano cyklicznie pomiary stężeń substratów i produktów w oparciu o wyniki analiz chromatografii gazowej i cieczowej. Na podstawie tych pomiarów wyznaczano szybkości zużywania substratów i formowania produktów.

Badania mikrobiologiczne obejmowały charakterystykę mikrobiomu pod względem struktury i dynamiki zmian zbiorowisk bakteryjnych, a także identyfikację kluczowych grup mikroorganizmów w reaktorze. Kandydatka wykorzystwała w tym celu narzędzia biologii molekularnej (technologia sekwencjonowania NGS i późniejszej analizy fragmentu genu 16S rRNA).

Plan badań został logicznie skonstruowany – od uzyskania stabilnej produkcji kwasu kapronowego, poprzez badanie odpowiedniego składu pożywki, kończąc na identyfikacji mikroorganizmów odpowiedzialnych za wybrane szlaki metaboliczne.

Badania początkowe, opisane w Publikacji 1, prowadzono w reaktorze UASB zasilanym kwaśną serwatką przez okres ponad jednego roku. Cały okres eksploatacji podzielono na trzy



fazy – rozruch (około 0,5 roku), ocena toksyczności kwasu kapronowego (produktu) przy skracanym HRT z 10 d do 5 d, oraz regeneracja zdolności metabolicznych mikrobiomu po okresie inhibicji spowodowanej wysokimi stężeniami produktu.

Kolejną serię długookresowych badań ciągłych (ponad 4 miesiące), opisanych w Publikacji 2, wykonano w tym samym reaktorze UASB. Okres eksploatacji podzielono na 4 fazy w zależności od stężenia etanolu w pożywce oraz proporcji molowej laktozy do etanolu. Jako pożywkę wykorzystywano dwie próbki serwatki kwaśnej (o różnym składzie) pobrane z mleczarni, przy czym pierwszą próbkę wykorzystywano w stanie surowym (faza I) oraz po przefermentowaniu (fazy II i III). W fazie III dodawano też zewnętrzny etanol. Okres rozruchu wynosił tym razem jedynie 27 dób. Skracano jednocześnie HRT z 20 d do 1,25 d (za każdym razem o 50%), aby przyspieszyć produkcję średniołańcuchowych kwasów karboksylowych. Pomimo stosunkowo krótkiej długości faz (I-III) o stałej wartości HRT, uzyskiwano w poszczególnych fazach stabilną produkcję kwasów karboksylowych (głównie octowego, masłowego oraz kapronowego).

W obu seriach badań regularnie badano skład biomasy na poziomie rodzin. W serii I wykonano 11 pomiarów pomiędzy 36 i 336 dobą eksperymentu, natomiast w serii II – 8 pomiarów pomiędzy 7 i 125 dobą. Dzięki wysokiej częstotliwości badań możliwa była obserwacja dynamiki zmian mikrobiomu w trakcie eksploatacji reaktora UASB.

Odnosnie do metodyki zastosowanej w testach długookresowych mam kilka uwag:

- W obu seriach zmiany HRT były ukierunkowane wyłącznie na jego skracanie. Z kolei wydłużanie HRT, zgodnie z tokiem rozumowania Kandydatki, powinno wywołać skutek odwrotny i prowadzić do zahamowania produkcji kwasu kapronowego. Mogłoby to uwiarygodnić hipotezę o toksycznym wpływie kwasu kapronowego.
- W treści rozprawy zauważalny jest brak przyjęcia miary toksyczności/inhibicji (patrz również uwaga dot. wniosku 9). Nie przewidziano dedykowanego testu toksyczności kwasu kapronowego (pomiar szybkości produkcji przy różnych poziomach stężeń) i wyznaczenia stałej inhibicji dla tego kwasu, kapronowego, K_i .
- Bilanse masy są uważane za jedno z podstawowych narzędzi analitycznych stosowanych w technologii oczyszczania ścieków. Kandydatka zastosowała je w ograniczonym zakresie do wyznaczenia specyficzności poszczególnych produktów oraz współczynnika efektywności (wydajności) przemiany substratu w produkt. Wyniki tych analiz okazały się bardzo przydatne w poszukiwaniu konkurencyjnych ścieżek przemian biochemicznych w badanym układzie (rozdział 5 w części wstępnej).
- Na schematach układu, przedstawionych na Rys. 3a (w części wstępnej), Rys. 1 (Publikacja 1) oraz Rys. S1 (Publikacja 2), nie zaznaczono przewodu do odprowadzania osadu nadmiernego. W jaki więc sposób odbywała się kontrola stężenia biomasy w reaktorze UASB? Brak pomiaru stężenia osadu uniemożliwiłby wyznaczenie wieku osadu oraz szybkości procesów w przeliczeniu na jednostkę masy osadu, a także znalezienia zależności pomiędzy konsumpcją substratu i przyrostem biomasy.

Badania nad doбором składu pożywki, opisane w Publikacji 3, stanowią kontynuację badań z wcześniejszej publikacji. W serii testów porcjowych badano wpływ różnych proporcji laktozy/mleczanu/etanolu na proces wydłużania łańcucha kwasów karboksylowych. Tę część

badan cechuje również dobrze przemyślana koncepcja oraz duża staranność ich wykonania, czego dowodem jest trzykrotna powtarzalność analiz oraz bilanse masy węgla i ładunku elektronów. Zastanawia jednak brak informacji o objętości pobieranych do badań próbek cieczy (co mogło mieć istotne znaczenie z uwagi na dużą liczbę pobranych próbek przy niewielkiej objętości butelek).

W rozprawie warto również docenić sprawne posługiwanie się przez Kandydatkę metodami statystycznymi, w tym centralnym planem kompozycyjnym (PCA), do analizy zmienności mikrobiomu.

WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA. We wszystkich publikacjach opis wyników badań i części dyskusyjna są połączone w jednym rozdziale. W każdej publikacji, najważniejsze wyniki badań są wnikliwie zinterpretowane, szczególnie w odniesieniu do szybkości i efektywności produkcji kwasu kapronowego, a następnie omówione na tle najnowszych doniesień literaturowych (co jest regułą w renomowanych czasopismach).

W pierwszej części badań, opisanych w Publikacji 1, po około 230 dobach uzyskano i utrzymano stabilną produkcję kwasu kapronowego w dłuższym okresie czasu (fazy II-III) przy wysokiej specyficzności (w granicach ~40-80%). Kandydatka powiązała uzyskany efekt z utrzymywaniem stabilnego pH na poziomie 5,5 oraz stopniowemu skracaniu HRT z 20 d do poziomu 2,5 d.

W kolejnej części badań (Publikacja 2), zaobserwowano, że skład pożywki miał istotny wpływ na proces wydłużania łańcucha kwasów karboksylowych. Zmiana składu była ukierunkowana na zwiększenie stężenia mleczanu do około 20 g/L przy jednoczesnym ograniczeniu stężenia etanolu (<2 g/L) i utrzymaniu wysokiego stężenia laktozy (>25 g/L). W efekcie stopniowo zanikała produkcja krótkołańcuchowych kwasów karboksylowych, a przyspieszyła produkcja kwasów średniołańcuchowych. Zbiegło się to w czasie ze skróceniem HRT do 1,25 d, ale nie wyjaśniono tym razem, w jakim stopniu taka zmiana kluczowego parametru technologicznego mogła przyczynić się do zwiększenia produkcji kwasu kapronowego. Niewielką produkcję etanolu w reaktorze Kandydatka uznała za istotny czynnik mający pozytywny wpływ na proces wydłużania łańcucha kwasów karboksylowych.

W końcowym etapie badań (Publikacja 3), testy porcjowe potwierdziły w dużym stopniu wyniki badań ciągłych w serii II. Widoczny wpływ laktozy na produkcję kwasu kapronowego uzyskano przy najwyższym badanym stężeniu mleczanu przy braku dozowania etanolu. Wraz ze zwiększaniem dawki laktozy wzrastało stężenie kwasu kapronowego. Kandydatka wnioskuje, że obecność tego substratu może zmienić kierunek przemian biochemicznych i wpłynąć na końcowy skład produktów. W rzeczywistości podobny wniosek można byłoby odnieść do pozostałych dwóch substratów (mleczanu i etanolu), co jest widoczne w Tabeli 2 i na Rys. 3 w Publikacji 3. Podkreślić jednak należy, że zmienność stężeń tych substratów nie miała tak istotnego wpływu na produkcję kwasu kapronowego jak laktoza.

W obu seriach długookresowych badań ciągłych widoczne są zarówno pewne podobieństwa w końcowym składzie wyhodowanej biomasy (dominujący udział *Coriobacteriaceae*), jak też różnice w odniesieniu do wzajemnych proporcji dwóch innych rodzin *Ruminococcaceae* i *Prevotellaceae*, których udział był istotny w obu seriach badań. Większy udział *Ruminococcaceae* zaobserwowano w pierwszej serii, natomiast

Prevotellaceae - w drugiej serii. Czy mogło to wynikać jedynie z różnicy w długości okresu eksploatacji reaktora UASB (336 d w pierwszej serii i 125 d w drugiej serii)? Kandydatka wysunęła wniosek, że w/w rodziny prawdopodobnie brały udział w przemianach prowadzących do produkcji kwasu kapronowego. Co ciekawe, wyniki testów porcjowych nie potwierdziły tej hipotezy. Najwyższe końcowe stężenie kwasu kapronowego było skorelowane z największym udziałem mikroorganizmów z rodziny *Bacillaceae*, podczas gdy w/w rodziny występowały w znikomych ilościach (o czym wspomniano w Publikacji 3).

Niejednoznaczne są też obserwacje dotyczące mikroorganizmów metanogennych (metanogenów) w testach ciągłych, szczególnie w kontekście stwierdzenia w Publikacji 2, że krótszy HRT niekorzystnie wpływa na te mikroorganizmy. Czym więc można wyjaśnić nagłe pojawienie się metanogenów w reaktorze w końcowej fazie pierwszego eksperymentu (292 i 336 doba) oraz zwiększenie ich udziału w środkowej fazie drugiego eksperymentu (56 i 78 doba)? Należy docenić, że w obu przypadkach Kandydatka zwróciła uwagę na te wyniki, a w Publikacji 2 powiązała rosnący udział metanogenów z największą produkcją etanolu.

Istotnym zagadnieniem, którym w rozprawie zajęła się Kandydatka, było opracowanie schematu metabolizmu laktozy i produkcji średniołańcuchowych kwasów karboksylowych (Publikacje 1-2). Następnie proces ten powiązano z konkurencyjnymi przemianami biochemicznymi, zachodzącymi w trakcie fermentacji beztlenowej (rys. 5 w części wstępnej). Kandydatka uzyskała w ten sposób model koncepcyjny (jakościowy), który może stać się podstawą do opracowania modelu matematycznego (ilościowego).

WNIOSKI. Przedstawione w publikacjach wnioski są jasno i zwięźle sformułowane. W części wstępnej rozprawy Kandydatka sformułowała aż 19 szczegółowych wniosków z całości przeprowadzonych badań. Potwierdzają one zrealizowanie zaplanowanych sześciu zadań badawczych oraz osiągnięcie głównego celu badań. Jednak nie w pełni są zrozumiałe trzy wnioski:

- (wniosek 5) Kandydatka stwierdza, że skracanie HRT prowadziło do „wypłukiwania” mikroorganizmów metanogennych. Uwaga: Jaki mógł być główny mechanizm zaniku tych mikroorganizmów w układzie (obumieranie czy też usuwanie z układu)?
- (wniosek 7) Kandydatka stwierdza, że HRT na poziomie 1,25 d był zbyt krótki dla wzrostu mikroorganizmów i asymilacji biogenów. Uwaga: W praktyce, wzrost mikroorganizmów w układach jest raczej związany z wiekiem osadu (ang. solids retention time (SRT)). W rozstrzygnięciu tej kwestii przydatne byłyby bilanse masy.
- (wniosek 9) Kandydatka stwierdza, że wysokie stężenie kwasu kapronowego (do 8,5 g/L) powodowało inhibicję procesu. Uwaga: Stężenie nie zostało jednoznacznie określone. Nie wiadomo też, jaki rodzaj inhibicji (całkowitą czy częściową) miała na myśli Kandydatka?

Podsumowując, należy podkreślić, że przedstawione publikacje ukazują, pomimo w/w uwag, szereg mocnych stron rozprawy – od jasno określonego celu badań, poprzez przemyślaną i starannie opracowaną koncepcję badań oraz wykorzystanie nowatorskich narzędzi badawczych, kończąc na analizie wyników badań i ich wnikliwej dyskusji na tle najnowszych danych literaturowych.

5. Osiągnięcia badawcze

Rozprawa stanowi oryginalny i nowatorski wkład Kandydatki w poznanie procesu biologicznego wytwarzania kwasu kapronowego z serwatki kwaśnej (produktu ubocznego w mleczarniach) za pomocą mikrobiomu. Do najważniejszych osiągnięć badawczych, przedstawionych w rozprawie, można zaliczyć:

- Uzyskanie długookresowej, stabilnej produkcji kwasu kapronowego w układzie jednostopniowym (reaktorze UASB), bez konieczności dodawania zewnętrznego etanolu. Osiągnięta max. szybkość produkcji na poziomie około 2,5 g/L/d mieści się w zakresie podawanym w literaturze dla innych układów,
- Wyznaczenie optymalnych warunków prowadzenia procesu - utrzymywanie pH na poziomie 5,5, niskiego stężenia etanolu w reaktorze (1-2 g/L) oraz wysokich stężeń mleczanu (do 20 g/L) i laktozy (do 30 g/L),
- Opracowanie modelu koncepcyjnego procesu fermentacji kwaśnej z uwzględnieniem mechanizmu wydłużania łańcucha kwasów karboksylowych i produkcji kwasu kapronowego,
- Identyfikację dominujących w układzie rodzin mikroorganizmów (*Coriobacteriaceae*, *Ruminococcaceae*, *Prevotellaceae* oraz *Veillonellaceae*), które potencjalnie mogą odpowiadać za produkcję kwasu kapronowego.

O wysokiej wartości naukowej wyników badań świadczą liczne cytowania prac, będących podstawą rozprawy, w bazie Scopus. Publikacja 1 (Green Chem.) posiada 62 cytowania, natomiast Publikacja 2 (Sci. Tot. Environ.) – 16 cytowań. Oprócz trzech zasadniczych artykułów, na wstępie rozprawy są wymienione 4 dalsze publikacje, związane z tematyką rozprawy, których Kandydatka była drugim współautorem. W bazie Scopus znajduje się łącznie 11 prac Kandydatki, głównie nt. fermentacji i odzysku zasobów, które były cytowane już ponad 200 razy.

6. Uwagi i sugestie o charakterze dyskusyjnym odnośnie do przeprowadzonych badań

Po zapoznaniu się z rozprawą, mam kilka ogólnych uwag/sugestii o charakterze dyskusyjnym do rozważenia przy planowaniu kolejnych badań. Proponuję, aby Kandydatka odniosła się do poniższych kwestii w trakcie publicznej obrony rozprawy.

- Czy zaproponowany w rozprawie model koncepcyjny procesu fermentacji kwaśnej można powiązać z ogólnym Modelem Fermentacji Beztlenowej Nr 1 (ang. Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)) (Batstone i wsp., 2002)? ADM1 jest podstawowym modelem opisującym pełny proces fermentacji beztlenowej i uwzględnia te same przemiany jak pokazano w rozprawie na Rys. 5 (część opisana jako „Methanogenesis”) na str. 37.

- Zagadnienie inhibicji produkcji kwasu kapronowego zostało potraktowane w rozprawie raczej ogólnie (patrz: wcześniejsze uwagi dotyczące metodyki badań i wniosków). Czy obecność tego produktu może być jedynym czynnikiem inhibującym? Jakim równaniem można byłoby opisać wpływ inhibitora? W jaki sposób można wyznaczyć parametry w tym równaniu?
- Kandydatka wspomina we wstępie i Publikacji 2, że w trakcie badań w reaktorze nie udało się wyhodować osadu granulowanego. Wymienia też możliwą przyczynę tego niepowodzenia (stosunkowo niską prędkość przepływu w reaktorze). Ta forma biomasy jest uważana za bardzo znaczący krok w rozwoju technologii oczyszczania ścieków. Jakie korzyści mogłoby więc przynieść zastosowanie osadu granulowanego w reaktorze UASB w kontekście możliwości zwiększenia produkcji kwasu kapronowego?

Batstone i wsp. (2002) Anaerobic Digestion Model No. 1. Scientific and Technical Report No. 13. IWA Publishing, London.

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Duber pt. „*Biological caproic acid production in microbiome-based processes*” zawiera wyniki oryginalnych i nowatorskich badań nt. produkcji kwasu kapronowego, które zostały opublikowane w renomowanych czasopismach o zasięgu światowym.

Rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789) oraz Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r., poz. 261).

Dlatego też, wnioskuję o przyjęcie rozprawy przez Radę Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej oraz dopuszczenie Pani mgr inż. Anny Duber do dalszych etapów postępowania kwalifikacyjnego o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych.

Ponadto, z uwagi na wyjątkowo wysoki poziom naukowy rozprawy, wnioskuję też o rozważenie możliwości jej wyróżnienia przez Radę Dyscypliny.

