



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
Wydział Energetyki i Paliw
Katedra Technologii Paliw

dr hab. inż. Marek Inger, prof. AGH
al. A. Mickiewicza 30,
30-059 Kraków
e-mail: inger@agh.edu.pl

Kraków, 17.12.2025

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Grzegorza Byzdry zatytułowanej:

„Nawozy azotowe granulowane z inhibitorem nitryfikacji”

promotor pracy: prof. dr hab. inż. Katarzyna Chojnacka

opiekun pomocniczy ze strony przedsiębiorstwa: dr inż. Krzysztof Dziuba

Recenzowana praca została zrealizowana na Politechnice Wrocławskiej i w Grupie Azoty Zakłady Azotowe „Puławy” S.A. w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”. Podstawą formalną opracowania recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna 174/14/RDND05/2024-2028 z dnia 15 października 2025 r. Pracę realizowano w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna.

Wybór tematyki pracy

Tematyka pracy doktorskiej realizowanej przez **mgr Grzegorza Byzdre** dotyczy zbadania możliwości ograniczenia emisji gazu cieplarnianego N_2O oraz strat azotu podczas nawożenia granulowanymi nawozami azotowymi będącymi w ofercie rynkowej Grupy Azoty „Puławy” S.A. Część eksperymentalna pracy koncentruje się na weryfikacji wpływu dodatku komercyjnego dostępnego inhibitora nitryfikacji na ograniczenie emisji N_2O i NH_3 oraz na efektywność agronomiczną zmodyfikowanego w ten sposób nawozu. Tak zdefiniowany problem badawczy posiada duży potencjał aplikacyjny w zakładzie pracy Doktoranta, a zastosowanie go w praktyce przemysłowej może poszerzyć portfolio produktowe

przedsiębiorstwa. Praca została objęta klauzulą poufności, co moim zdaniem potwierdza istotność dla przedsiębiorstwa podejmowanego tematu. Tematyka pracy uwzględnia aktualne trendy w przemyśle nawozowym.

Struktura i strona edytorska pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 187 stron i ma klasyczny podział na Część Teoretyczną oraz Część Eksperymentalną. Właściwe proporcje pomiędzy tymi dwiema częściami zostały zachowane. W pracy umieszczono ponadto spis wykresów, tabel i rysunków oraz cytowaną bibliografię, która zawiera ponad 160 pozycji literaturowych. Strona edytorska pracy nie budzi większych zastrzeżeń. Zdarzają się błędy stylistyczne, literówki, określenia żargonowe, ale nie widzę potrzeby szczegółowego przywoływania ich w recenzji. Dla przejrzystości pracy wskazane byłoby rozpoczynanie kolejnych rozdziałów od nowej strony. Jedynym mankamentem, o którym szerzej w dalszej części recenzji, są liczne powtórzenia w opisie wyników badań. Podsumowując, zaprezentowana struktura pracy oraz strona edytorska pracy odpowiadają wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim.

Ocena merytoryczna pracy

W krótkim **Wprowadzeniu** (Rozdział 1) Doktorant nakreśla motywację podjęcia badań. W części teoretycznej zatytułowanej **Stan wiedzy i techniki** (Rozdział 2) przybliży podstawy teoretyczne niezbędne do zrozumienia przez czytelnika przesłanek prowadzących do sformułowania hipotezy badawczej oraz wyznaczenia celu pracy. Rozdział ten przybliży czytelnikowi cykl azotu, charakteryzuje proces nitryfikacji zachodzący w glebie oraz systematyzuje czynniki wpływające na jej intensywność. Wskazuje jakie potencjalne negatywne skutki środowiskowe i ekonomiczne może powodować nadmierna nitryfikacja, wskazując na konieczność ograniczenia strat azotu poprzez optymalizację nawożenia. Jako jeden ze skutecznych środków zaradczych ograniczających straty azotu Doktorant wskazuje stosowanie inhibitorów nitryfikacji. W dalszej części tego rozdziału Doktorant dokonuje przeglądu stosowanych biologicznych i syntetycznych inhibitorów nitryfikacji oraz przedstawia wyselekcjonowane z literatury wyniki badań wpływu stosowania inhibitorów nitryfikacji na efektywność wykorzystania azotu, wielkość plonu i emisję N_2O . W podrozdziale *Ograniczenie skuteczności działania inhibitorów* Doktorant wskazuje na szereg czynników, które ograniczają skuteczność stosowania inhibitorów nitryfikacji, spośród których wymienia m.in.:

warunki klimatyczne i glebowe, rodzaj nawozu, interakcja w stosowaniu kombinacji inhibitorów, dawka inhibitora, rodzaj nawozu. Jednak przy opisie wpływu tych czynników Doktorant nie podparł się odpowiednimi odnośnikami literaturowymi, a ograniczył się do ogólnych stwierdzeń: „*badania meta-analityczne*”, „*w meta-analizie brazylijskiej*”, „*w badaniach nowozelandzkich*”.

Po lekturze tego rozdziału stwierdzam, że stopień szczegółowości opisu, w przeważającej części podparty właściwym cytowaniem pozycji literaturowymi, jest wystarczającym wprowadzeniem do dalszej części pracy.

W kolejnym rozdziale **Problem badawczy** (Rozdział 3) Doktorant stawia hipotezę badawczą odnoszącą się do możliwości obniżenia emisji gazu cieplarnianego N_2O o co najmniej 10% po zastosowaniu modyfikacji granulowanych nawozów polegającej na dodatku komercyjnie dostępnego inhibitora nitryfikacji.

Postawiany cel badawczy: cyt.: „*opracowanie nowej formulacji granulowego nawozu azotowego (...) z dodatkiem inhibitora nitryfikacji, charakteryzującej się lepszą dostępnością azotu dla roślin oraz mniejszą emisją N_2O w porównaniu z nawozem niemodyfikowanym*” jest precyzyjny, oddaje aplikacyjny charakter pracy i dobrze koresponduje z tytułem dysertacji.

Chociaż w uzasadnieniu doboru założeń Doktorant stawia na pierwszym miejscu cel środowiskowy – redukcję emisji N_2O – to uwzględnia również inne aspekty związane z zastosowaniem inhibitora nitryfikacji, takie jak: co najmniej utrzymanie efektywności agronomicznej, bezpieczeństwo procesowe przy produkcji nawozu, możliwość implementacji technologii oraz aspekt ekonomiczny dla rolnictwa. Poza głównym celem pracy Doktorant sformułował założenia badawcze i cele szczegółowe, które poddane zostały weryfikacji w części eksperymentalnej pracy.

Część eksperymentalną pracy otwiera rozdział **Metodyka badań** (Rozdział 4). W rozdziale tym scharakteryzowano zastosowane do badań materiały: gleba – 2 rodzaje, komercyjne inhibitory nitryfikacji – 3 rodzaje oraz nawozy azotowe – 2 rodzaje nawozu granulowanego produkowanego w GA ZA „Puławy” S.A., a także opisano metodologię i aparaturę stosowaną w badaniach inkubacyjnych i wazonowych. Przy wyborze materiału do badań Doktorant podał kryteria doboru i w sposób przekonujący sposób uzasadnił taki wybór.

Celem badań inkubacyjnych było zbadanie wpływu inhibitora nitryfikacji na wielkość emisji N_2O i NH_3 . Badania wazonowe, w odniesieniu do celu pracy stanowiące uzupełnienie badań inkubacyjnych, polegały na pomiarze zawartości

chlorofilu metodą SPAD oraz przyrostu masy zielonej i masy suchej roślin w odniesieniu do próbki kontrolnej (bez nawozu) dla dwóch nawozów azotowych z dodatkiem lub bez inhibitora nitryfikacji. Wielkości dawki badanych inhibitorów nitryfikacji Doktorant dobrał na podstawie danych zaczerpniętych z literatury i przeliczył wielkość dawki na warunki eksperymentu własnego. W efekcie do badań inkubacyjnych zastosował różne dawki każdego z inhibitorów nitryfikacji. Moim zdaniem rozszerzenie badań o wpływ dawki inhibitora na wielkość emisji N_2O i NH_3 mogłoby dać pełniejszy obraz eksperymentu. Zasadnym byłoby wykonanie takich badań inkubacyjnych dla najbardziej rokującego inhibitora nitryfikacji. Taką metodologię zastosowano dla badań wazonowych do których wybrano jeden rodzaj gleby i jeden inhibitor nitryfikacji.

Uzyskane wyniki badań poddane zostały szczegółowej analizie statystycznej, która była istotna dla minimalizacji ewentualnych zakłóceń pomiarów, błędów wynikających z niedoskonałości aparatury. Zastosowaną metodologię analizy statystycznej wyników badań przedstawiono w Rozdziale 5 pracy.

Najważniejsza część zrealizowanej pracy została opisana w Rozdziałach 6 i 7. Moim zdaniem niefortunnie zostały one nazwane: **Wyniki badań i dyskusja** (Rozdział 6) oraz **Dyskusja wyników** (Rozdział 7). Taki podział nie jest klarowny bowiem oba te rozdziały zawierają element dyskusji wyników badań. Należałoby opisać wszystko w jednym rozdziale lub zastosować podział na: Wyniki badań i Dyskusja wyników.

W pierwszej części rozdziału Doktorant przedstawił analizę twardości granul. Według mnie parametr ten jest kluczowym kryterium przy ocenie możliwości sposobu modyfikacji granulowanego nawozu poprzez dodanie inhibitora nitryfikacji. W analizie tej Doktorant ograniczył się do stwierdzenia cyt.: *... do dalszych badań zakwalifikowano te [formulacje], które spełniały kryterium twardości granul. Formulacje, które nie osiągnęły wymaganego poziomu wytrzymałości, nie zostały uwzględnione w dalszej analizie*".

Moim zdaniem opis technologicznych uwarunkowań metody trwałego włączenia inhibitora w strukturę granuli nawozu oraz sposób dojścia do zaproponowanego rozwiązania technologicznego z uwzględnieniem prób formulacji o negatywnym wyniku wzbogaciłby tę pracę.

W dalszej części rozdziału Doktorant przedstawia wyniki badań inkubacyjnych i wazonowych. Mój największy niedosyt wzbudza sposób przedstawienia wyników tych badań. Doktorant w każdym z wyodrębnionych

podrozdziałów przedstawił oddzielnie wyniki pomiarów emisji N_2O i emisji NH_3 w badanych rodzajach gleby. Podobnie rozdzielił wyniki pomiarów dla dwóch rodzajów badanych nawozów. W efekcie otrzymał 8 podrozdziałów o bardzo zbliżonej, właściwie bliźniaczej strukturze, w których zmieniają się jedynie uzyskane wartości liczbowe. Dodatkowo Doktorant pokusił się na dodanie 4 podrozdziałów, w których porównuje uzyskane wyniki emisji N_2O i NH_3 pomiędzy dwoma rodzajami nawozów azotowych. Taki sposób opisu wyników doświadczeń spowodował wystąpienie dużej liczby powtórzeń. Przykładowo wyniki emisji skumulowanych i emisji maksymalnych N_2O i NH_3 zawarte w tabelach są powtórzone na wykresach i to każdy z nich dwukrotnie. Podobnie w przypadku badań wazonowych wyniki zamieszczone w tabelach i na wykresach dublują się. Jest to zbędne.

W Rozdziale 7 Doktorant przeprowadził dyskusję wyników w której, co istotne, swoje obserwacje wyników poparł cytowaniami literatury naukowej. W przeprowadzonej dyskusji wyników wykazał prawdziwość postawionej hipotezy badawczej

Doktorant zrealizował również główny cel badawczy opracowując koncepcję modyfikacji w przemysłowej instalacji granulacji mechanicznej azotanu amonu pozwalającą na aplikację tam inhibitora nitryfikacji.

Recenzowana praca jest w dyscyplinie inżynieria chemiczna, a więc schemat technologiczny oraz bilans masowy dla zmodyfikowanej technologii byłby, moim zdaniem, idealnym zwieńczeniem pracy.

Pracę podsumowuje rozdział **Wnioski** (Rozdział 8), w którym celnie zostały zebrane najważniejsze informacje wynikające z wykonanych w ramach doktoratu wdrożeniowych badań.

Lektura pracy nasunęła mi kilka pytań, na które chciałbym poznać odpowiedź podczas obrony:

1. Jakie inne metody formulacji nawozów z dodatkiem inhibitorów, które nie spełniły kryterium wytrzymałości były badane?
2. Czy dodatek inhibitora nitryfikacji w warunkach przemysłowych może mieć negatywny wpływ na bezpieczeństwo wytwarzania i przechowywania azotanu amonu?

3. Czy Doktorant jest w stanie podać szacunkowo jak modyfikacja wytwarzania azotanu amonu wpłynie na jego techniczny koszt wytwarzania?

I najważniejsze pytanie w kontekście doktoratu wdrożeniowego:

4. Czy zostały wykonane lub planowane są próby technologiczne wytworzenia nawozu z dodatkiem inhibitora nitryfikacji na instalacji przemysłowej?

Wniosek końcowy

W swojej pracy Doktorant podjął się opracowania koncepcji włączenia inhibitora nitryfikacji do struktury nawozów stałych, które umożliwi stopniowe i kontrolowane uwalniania substancji aktywnych poprawiając efektywność agronomiczną i zmniejszając emisję N_2O . Wykazał celowość zastosowania takiego rozwiązania.

Praca zawiera elementy nowości, do których zaliczam opracowanie metody nanoszenia inhibitora nitryfikacji, stworzenie stanowiska badawczego do badań inkubacyjnych wraz z opracowaniem metodologii poboru próbek gazowych do analizy, szczególnie w zakresie niskiego stężenia.

Z lektury rozprawy wnioskuję, że Pan mgr Grzegorz Byzdra posiada kompetencje w zakresie rozwiązywania problemów i wyzwań technologicznych z jakim niewątpliwie będzie się napotykał w swoim życiu zawodowym pracując jako technolog w zakładzie chemicznym.

Przedstawiona do recenzji praca spełnia ustawowe kryteria stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (D.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna. Wobec powyższego wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna o dopuszczenie Pana mgr Grzegorza Byzdry do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Marcel Jurek