



Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. **Weroniki Kubicy**

pt. „Metody wprowadzania makroelementów do kompozycji nawozowych zawierających azotan amonu”

Podstawą formalną przygotowania niniejszej recenzji jest pismo RDND05/175/2024-2028 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 23 marca 2026 r. kierowanej przez Przewodniczącą RDN prof. dr hab. Izabelę Michalak.

Uzasadnienie podjęcia tematu badawczego

Tematyka pracy pt. „*Metody wprowadzania makroelementów do kompozycji nawozowych zawierających azotan amonu*” wynika z rosnącego zapotrzebowania na nowoczesne, wieloskładnikowe nawozy mineralne o wysokiej efektywności agronomicznej oraz stabilności chemicznej i fizycznej.

Azotan amonu stanowi jeden z podstawowych składników nawozów azotowych, jednak jego ograniczeniem jest relatywnie wąski zakres działania odżywczego. W praktyce rolniczej coraz częściej obserwuje się potrzebę jednoczesnego dostarczania roślinom nie tylko azotu, ale również kluczowych makroelementów, takich jak fosfor (P), potas (K), magnez (Mg) oraz wapń (Ca), które warunkują prawidłowy wzrost, rozwój systemu korzeniowego, gospodarkę wodną oraz jakość plonów.

Włączenie tych składników do kompozycji zawierających azotan amonu wiąże się jednak z szeregiem wyzwań technologicznych i chemicznych, w tym z ryzykiem niepożądanych reakcji, zmian stabilności produktu, higroskopijności oraz pogorszenia właściwości fizycznych nawozu (np. zbrylania). Dlatego konieczne jest opracowanie oraz analiza różnych metod wprowadzania makroelementów (P, K, Mg, Ca) do tego typu układów nawozowych, z uwzględnieniem ich kompatybilności chemicznej oraz wpływu na jakość finalnego produktu.

Realizacja tematu ma istotne znaczenie zarówno naukowe, jak i praktyczne. Pozwoli na pogłębienie wiedzy w zakresie technologii produkcji nawozów wieloskładnikowych oraz może przyczynić się do opracowania nowych formułacji o zwiększonej efektywności nawożenia i lepszej dostępności składników pokarmowych dla roślin. W konsekwencji może to prowadzić

do poprawy efektywności produkcji rolniczej oraz ograniczenia strat składników mineralnych w środowisku.

Formalna ocena pracy

Przedłożona praca doktorska pt. „*Metody wprowadzania makroelementów do kompozycji nawozowych zawierających azotan amonu*” została przygotowana zgodnie z wymaganiami stawianymi rozprawom doktorskim pod względem formalnym oraz edytorskim. Układ pracy jest logiczny i przejrzysty. Poszczególne rozdziały zostały właściwie uporządkowane, a ich zawartość odpowiada przyjętym celom badawczym. Praca to monografia obejmująca 308 stron maszynopisu podzielonego na rozdziały i podrozdziały w tym wstęp, część literaturową, cel rozprawy, część doświadczalną oraz - co nietypowe dla standardowych dysertacji - część wdrożeniową.

W mojej ocenie rozprawa spełnia formalne wymagania stawiane pracom doktorskim określone w obowiązujących przepisach, w tym opracowaniom przygotowywanym w ramach programu „doktorat wdrożeniowy”.

Merytoryczna ocena pracy

Merytoryczna część rozprawy doktorskiej poświęconej metodom wprowadzania makroelementów do kompozycji nawozowych zawierających azotan amonu została opracowana w sposób kompleksowy i konsekwentny, a jej zakres odpowiada aktualnym potrzebom nauki oraz przemysłu nawozowego. Autorka podjęła problem badawczy i wdrożeniowy o wysokim znaczeniu aplikacyjnym, związany z możliwością opracowania nowoczesnych nawozów wieloskładnikowych charakteryzujących się wysoką zawartością składników pokarmowych przy jednoczesnym zachowaniu odpowiednich parametrów użytkowych i bezpieczeństwa procesowego.

Praca obejmuje szeroki zakres badań dotyczących zarówno doboru odpowiednich surowców nawozowych, jak również opracowania technologicznych metod ich łączenia w stabilne kompozycje zawierające azotan amonu. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż Autorka nie ograniczyła się wyłącznie do aspektów formulacyjnych, lecz przeprowadziła również szczegółową ocenę właściwości fizykochemicznych otrzymanych układów nawozowych, co znacząco podnosi wartość naukową i aplikacyjną opracowania.



Część eksperymentalna została zaplanowana w sposób logiczny i uporządkowany. W pierwszym etapie badań dokonano charakterystyki stosowanych surowców zawierających związki azotu, fosforu, potasu, magnezu oraz wapnia. Takie podejście należy uznać za w pełni uzasadnione, ponieważ właściwości surowców wyjściowych mają bezpośredni wpływ na przebieg procesów technologicznych oraz jakość końcowego produktu nawozowego. Kandydatka wykazała się znajomością zagadnień związanych z kompatybilnością chemiczną poszczególnych składników nawozowych oraz ich wpływem na stabilność układu. Istotnym jest, że w badaniach zastosowano nowoczesne i odpowiednio dobrane techniki analityczne umożliwiające kompleksową ocenę otrzymanych kompozycji nawozowych. Oznaczenia zawartości pierwiastków takich jak P, K, Mg, Ca, S, Na oraz metali śladowych wykonano metodą ICP-OES z wykorzystaniem indukcyjnie sprzężonej plazmy i optycznej spektroskopii emisyjnej. Zastosowanie tej metody należy ocenić bardzo wysoko, gdyż umożliwia ona uzyskanie wiarygodnych i precyzyjnych wyników analitycznych nawet przy niewielkich stężeniach oznaczanych składników. Jednocześnie pozwoliło to na pełną kontrolę składu chemicznego badanych materiałów oraz ocenę obecności potencjalnych zanieczyszczeń.

W pracy wykonano również oznaczenia zawartości węgla całkowitego metodą katalitycznego utleniania w wysokiej temperaturze z detekcją NDIR, co świadczy o dążeniu do kompleksowej oceny charakterystyki badanych materiałów z wymaganiami stawianymi dla komponentów nawozowych. Równie istotnym elementem było oznaczanie azotu metodą destylacyjną z wykorzystaniem aparatury Kjeldahl, powszechnie uznawanej za jedną z podstawowych metod oznaczania zawartości azotu w materiałach nawozowych. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do dalszej oceny jakości i wartości użytkowej opracowanych kompozycji nawozowych. Na uwagę zasługuje także przeprowadzenie oznaczeń zawartości chlorków metodą chromatografii jonowej. Badania te miały istotne znaczenie z punktu widzenia oceny jakości nawozów, ponieważ nadmierna zawartość chlorków może negatywnie wpływać zarówno na właściwości fizykochemiczne produktu, jak i na możliwość jego stosowania w uprawach wrażliwych na zasolenie. Istotnym elementem rozprawy była analiza stabilności termicznej badanych kompozycji nawozowych. Autorka zastosowała analizę termogravimetryczną TGA oraz skaningową kalorymetrię różnicową DSC. Wybór tych metod należy uznać za bardzo trafny, ponieważ nawozy zawierające azotan amonu wymagają szczególnej kontroli pod względem bezpieczeństwa termicznego i procesowego. Przeprowadzone badania umożliwiły określenie zmian masy próbek w funkcji temperatury,

identyfikację przemian fazowych oraz ocenę stabilności termicznej otrzymanych układów. Uzyskane wyniki dostarczyły cennych informacji dotyczących możliwości bezpiecznego magazynowania i użytkowania opracowanych nawozów. Ważnym aspektem badań była również ocena właściwości fizycznych otrzymanych granul nawozowych. Autorka przeprowadziła oznaczenia rozkładu wielkości granul metodą analizy sitowej, co umożliwiło ocenę jednorodności produktu oraz jego przydatności technologicznej. Badania higroskopijności wykonane przy użyciu komory klimatycznej miały szczególne znaczenie praktyczne, ponieważ nawozy zawierające azotan amonu wykazują zwiększoną skłonność do pochłaniania wilgoci z otoczenia. Przeprowadzone analizy wykazały, że odpowiedni dobór dodatków zawierających fosfor, potas, magnez i wapń może wpływać na ograniczenie niekorzystnych zjawisk związanych z higroskopijnością i zbrylaniem nawozów.

W pracy oceniono również podstawowe właściwości fizyczne produktów, w tym gęstość nasypową oraz wytrzymałość mechaniczną granul. Parametry te mają istotne znaczenie z punktu widzenia transportu, magazynowania i aplikacji nawozów. Wysoka wytrzymałość mechaniczna granul ogranicza ich degradację podczas procesów logistycznych, natomiast odpowiednia gęstość nasypowa wpływa na równomierność wysiewu nawozu. Autorka wykazała, że skład opracowanych kompozycji nawozowych istotnie wpływa na uzyskiwane parametry użytkowe. Bardzo interesującym elementem rozprawy było opracowanie nowych formułacji nawozów wieloskładnikowych. Kandydatka uwzględniła zarówno aktualne potrzeby rynku nawozowego, jak i istniejące ograniczenia związane z dostępnością krajowych wysokoazotowych nawozów NPK. W efekcie zaproponowano szeroką grupę nowych kompozycji nawozowych obejmujących nawozy dwuskładnikowe typu NK i NP oraz nawozy wieloskładnikowe NPK. Jako podstawowe źródło azotu wykorzystano azotan amonu, natomiast źródłem fosforu były fosforany amonu MAP i DAP. Źródło potasu stanowił siarczan potasu, a magnez i wapń wprowadzano między innymi w postaci dolomitu. Tak dobrany zestaw surowców należy uznać za racjonalny zarówno z punktu widzenia technologicznego, jak i ekonomicznego. Uwzględniono również praktyczne aspekty dostępności przemysłowej stosowanych komponentów. W pracy wykazano, że wprowadzanie makroelementów do układów zawierających azotan amonu wymaga uwzględnienia szeregu zależności fizykochemicznych. Szczególnie istotne okazały się oddziaływania pomiędzy składnikami fosforowymi i wapniowymi, które mogą prowadzić do zmian stabilności układu lub



pogorszenia właściwości granulacyjnych. Autorka trafnie identyfikuje te problemy i proponuje rozwiązania umożliwiające ograniczenie niekorzystnych efektów technologicznych.

Dużą wartość poznawczą mają wyniki dotyczące wpływu poszczególnych dodatków na stabilność termiczną kompozycji nawozowych. Autorka wykazała, że odpowiedni dobór proporcji składników może wpływać na poprawę bezpieczeństwa procesowego oraz ograniczenie ryzyka niekontrolowanych przemian termicznych. Zagadnienie to ma szczególne znaczenie w przypadku nawozów zawierających azotan amonu, które ze względu na swoje właściwości wymagają szczególnej kontroli podczas produkcji i magazynowania. Przeprowadzone badania dowodzą, że możliwe jest opracowanie kompozycji nawozowych o wysokiej zawartości azotu przy jednoczesnym wzbogaceniu ich w fosfor, potas, magnez i wapń bez istotnego pogorszenia parametrów użytkowych.

Na podkreślenie zasługuje przede wszystkim aplikacyjny charakter rozprawy. Uzyskane wyniki mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w przemyśle nawozowym, szczególnie w zakresie opracowywania nowych nawozów wieloskładnikowych dostosowanych do wymagań współczesnego rolnictwa. Wprowadzenie do nawozów azotowych dodatkowych makroelementów może przyczynić się do poprawy efektywności nawożenia oraz bardziej zrównoważonego wykorzystania składników pokarmowych przez rośliny.

Przygotowująca dysertację mgr inż. Weronika Kubica wykazała się dobrą znajomością technologii nawozów mineralnych, metod analitycznych oraz zagadnień związanych z właściwościami fizykochemicznymi materiałów nawozowych. Umiejętnie połączyła aspekt badawczy z praktycznym znaczeniem uzyskanych wyników, co świadczy o dojrzałości naukowej oraz właściwym przygotowaniu do prowadzenia samodzielnej działalności badawczej.

Całość przeprowadzonych badań stanowi spójne i wartościowe opracowanie naukowe. Rozprawa wnosi istotny wkład do wiedzy dotyczącej możliwości modyfikacji nawozów zawierających azotan amonu poprzez wprowadzanie dodatkowych makroelementów. Uzyskane rezultaty stanowią solidną podstawę do dalszych prac wdrożeniowych związanych z rozwojem nowoczesnych nawozów wieloskładnikowych o poprawionych właściwościach użytkowych i zwiększonym bezpieczeństwie stosowania oraz wprowadzenia ich do produkcji.

Recenzowane osiągnięcie jest niezwykle rozległe i Autorka nie ustrzegła się od pewnych niewielkich błędów i nieścisłości, które z obowiązku recenzenta podaję.

W opracowaniach o charakterze aplikacyjnym należy stosować układ wielkości SI, nie zawsze to ma miejsce. Np. na stronie 20 oraz w tabeli 4 str. 23 entalpia reakcji podana jest w kcal/mol. Proszę o wyjaśnienie co Autorka miała na myśli w zdaniu rozpoczętym w linii 1 strona 52. Proszę wyjaśnić co Autorka rozumie przez stwierdzenie: W wyniku pomiaru (DSC) otrzymujemy widmo badanej substancji.... Należy również zauważyć, że Autorka w całym tekście stosuje formę pierwszej osoby liczby mnogiej, np. „otrzymujemy”, podczas gdy dysertacja ma jednego autora. Zazwyczaj opracowania naukowe przygotowuje się w formie bezosobowej lub z użyciem strony biernej. W dysertacji występują również sformułowania kolokwialne, których jednak należy unikać w pracy naukowej, zwłaszcza wyrażenia „udało się”. Tego typu stwierdzenia pojawiają się często w podsumowaniach przygotowanych przez Autorkę, np. na stronie 239: „W wyniku przeprowadzonych badań udało się otrzymać nowe kompozycje...” czy „Dla pozostałych układów udało się uzyskać granulaty...”. Sformułowania tego rodzaju mogą sugerować przypadkowość lub probabilistyczny charakter uzyskanych wyników, czego w inżynierii chemicznej należy unikać.

W trakcie obrony proszę się odnieść do następujących zagadnień:

1. Jaki był klucz doboru mieszanek analizowanych w rozdziale 4.4 ?
2. Jaki był klucz doboru nawozowych produktów handlowych, które zostały wytypowane jako produkty odniesienia (SALMAG®) ?
3. W jaki sposób Autorka oszacowała reaktywność, o której mówi w podsumowaniu rozdziału 4.4.11
4. Proszę wyjaśnić dlaczego w rozdziale 4.5.3 jako materiał odniesienia użyto innych produktów handlowych i jak je dobrano
5. Proszę wyjaśnić jakie kryterium zastosowano, aby wyznaczyć mieszanki do dalszych badań (rozdział 4.6) i dlaczego tym razem porównywano je z SALMAG®

W zamiarze recenzenta odpowiedź na te pytania oraz uwagi zawarte w recenzji, pozwolą w sposób bardziej usystematyzowany zrozumieć wyniki eksperymentów i nie umniejszą wysokiej oceny całego opracowania oraz recenzowanego osiągnięcia. Jednak bardzo proszę, aby Doktorantka ustosunkowała się do tych uwag w trakcie obrony pracy doktorskiej.



Wniosek końcowy

Pani mgr inż. Weronika Kubica dogłębnie zapoznała się z literaturą przedmiotu badań i na tej podstawie poprawnie sformułowała jej cel oraz hipotezy badawcze. W sposób usystematyzowany przeprowadziła zaproponowane eksperymenty i prace wdrożeniowe oraz logicznie przedstawiła i zinterpretowała ich wyniki. Przygotowując oceniane osiągnięcie wykazała wysokie predyspozycje do pracy naukowej, ale również niezwykłą dojrzałość technologiczną. Wskazać należy również, że wyniki zawarte w dysertacji mają nie tylko wysoką wartość poznawczą, ale przede wszystkim utylitarną co powinno skutkować ich wdrożeniem do praktyki przemysłowej.

W mojej opinii przedstawiona do oceny praca pt. „Metody wprowadzania makroelementów do kompozycji nawozowych zawierających azotan amonu” spełnia wymagania formalne i merytoryczne stawiane rozprawom będącym postawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna.

Na podstawie 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) wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Weroniki Kubicy do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Biorąc pod uwagę ponadprzeciętny nakład pracy Doktorantki włożony w przygotowanie recenzowanego osiągnięcia oraz wysoką wartość utylitarną uzyskanych wyników, wnoszę o rozważenie wyróżnienia dysertacji. Jej poufny charakter uniemożliwia przygotowanie wysoko punktowanych publikacji wymaganych uchwałą nr 36/08/RDND05/2021–2024, jednak prezentowane wyniki mają potencjał publikacyjny i mogłyby znaleźć miejsce w renomowanych czasopismach naukowych.

Maciej Balzwejster