

dr hab. inż. Andrzej Białowiec, prof. UPWr.

Wrocław, 25.06.2018 r.

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wydział Przyrodniczo-Technologiczny

Zakład Niskoemisyjnych Źródeł Energii i Gospodarki Odpadami

ul. Chełmońskiego 37a, 51-630 Wrocław

e-mail: [andrzej.bialowiec@upwr.edu.pl](mailto:andrzej.bialowiec@upwr.edu.pl)

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Anny Marii Sieczki**

**pt. „Migracja związków azotu pochodzenia nawozowego w środowisku  
gruntowo-wodnym”**

przygotowanej pod kierunkiem naukowym promotora

dr. hab. inż. Eugeniusza Koda, prof. SGGW oraz

promotora pomocniczego dr. Filipa Bujakowskiego

### **1. Podstawa opracowania recenzji**

Podstawą formalną przygotowania recenzji jest pismo Pana Prodziekana ds. nauki Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie dr hab. Jarosława Chormańskiego, prof. SGGW, z dnia 11 czerwca 2018 roku.

Recenzję sporządzono zgodnie z wymaganiami ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.), która w art. 13.1 wskazuje, że prace doktorskie powinny: „...stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne, lub oryginalne dokonanie artystyczne, oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.”

## 2. Znaczenie podjętego tematu badań dla rozwoju dyscypliny ochrona i kształtowanie środowiska

W mojej ocenie podjęty, w recenzowanej pracy pt. „**Migracja związków azotu pochodzenia nawozowego w środowisku gruntowo-wodnym**”, problem badawczy jest istotnym i aktualnym zagadnieniem, wpisującym się w obszar dyscypliny ochrona i kształtowanie środowiska. Jednym z identyfikowanych problemów rolnictwa, w tym rolnictwa precyzyjnego jest rosnąca eutrofizacja wód powierzchniowych jak i gruntowych spowodowana przenawożeniem upraw. Aplikacja związków azotu do gleby korzystnie wpływa na wzrost roślin i plonowanie, jednakże wprowadzając nadmierny ładunek związków azotu włącza ten pierwiastek w złożone cykle bio-geo-chemiczne zachodzące w środowisku gruntowo-wodnym. Wprowadzony azot do gleby ulega licznym transformacjom biochemicznym, w tym amonifikacji, nityfikacji, denityfikacji. Równocześnie zachodzące zjawiska dyfuzji, dyspersji, sorpcji, pobierania azotu przez rośliny, uwalniania gazowych form azotu do atmosfery wpływają na szybkość migracji poszczególnych rozpuszczonych form azotu w wodach gruntowych. Transport zanieczyszczeń dodatkowo uwarunkowany jest właściwościami fizyczno-chemicznymi stref aeracji i saturacji, warunkami atmosferycznymi (opad atmosferyczny, temperatura, ewapotranspiracja), zasięgiem strefy korzeniowej roślin, uwarunkowaniami hydrologicznymi i hydrogeologicznymi oraz czynnikami antropogenicznymi. W tej skomplikowanej macierzy czynników i uwarunkowań wpływających na zachowanie azotu dostarczanego wraz z nawozami w środowisku, niezwykle istotnym zagadnieniem jest możliwość predykcji szybkości migracji poszczególnych form azotu oraz ich stężeń w wodach gruntowych w dowolnej lokalizacji od źródła aplikacji. Z tego względu podjęty temat pracy „**Migracja związków azotu pochodzenia nawozowego w środowisku gruntowo-wodnym**” jest niezwykle istotny. Autorka dysertacji porusza istotne zagadnienia z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju, predykcji migracji związków azotu w środowisku gruntowo-wodnym, a co za tym idzie szacowania możliwych skutków krótko i długoterminowych zanieczyszczenia wód gruntowych azotem. Proponuje tu wykorzystanie modelowania numerycznego transportu oraz poziomów stężeń związków azotu w lokalizacjach w otoczeniu obszarów aplikacji nawozów. Na tej podstawie proponuje wykorzystanie narzędzia matematycznego do doboru dawek nawozowych oraz monitoringu wpływu nawożenia, wskazania punktów krytycznych dla dowolnej lokalizacji analizowanego przypadku. Takie ujęcie tematu jest niezwykle ciekawe i ważne, gdyż zagadnienia związane z problematyką nawożenia Autorka omawia jako zagadnienia korzystnie wpływające na rolnictwo i rozwój gospodarstw, jednakże przy rosnącej świadomości konsekwencji przenawożenia i migracji



azotu w środowisku gruntowo-wodnym, proponuje wdrażanie metod predykcji transportu związków azotu i narażenia środowiska i ludzi na zanieczyszczenie związkami azotu. Podjęty temat pracy stanowi ciekawe spojrzenie na zagadnienia związane z powszechną akceptacją społeczną stosowania nawozów, które powodują poprawę plonowania, jednakże wpływać mogą na zanieczyszczenie środowiska, co powoduje dezaprobatę życia w środowisku zdegradowanym. Co jest interesujące, przedstawione narzędzie matematyczne w ujęciu generalnym, może być zaimplementowane na etapie planowania upraw, dawek nawozów, ale także do monitoringu predykcyjnego, na podstawie którego jeszcze przed wystąpieniem nadmiernego poziomu zanieczyszczenia, możliwe jest wskazanie punktów na nie narażonych i podjęcie działań zapobiegawczych. Uwzględniając powyższe uwagi stwierdzam, iż podjęta przez Autorkę dysertacji problematyka jest aktualna, uzasadniona, jest to nowy, potrzebny kierunek badań, a dalszy rozwój tych zagadnień stanowić może istotny wkład w rozwój dyscypliny ochrona i kształtowanie środowiska.

### **3. Ogólna charakterystyka pracy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera: dziewięć rozdziałów (w tym wnioski i rekomendacje), a także bibliografię, spis załączników, spis tabel, spis rysunków oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Praca zawiera się łącznie na 305 stronach, przy czym załączniki stanowią 93 strony. Bibliografia pracy, przedstawiona w rozdziale dziewiątym podzielona została na: książki, artykuły i opracowania o charakterze naukowym (354 pozycji, z czego większość, bo 277 stanowiły pozycje o zasięgu międzynarodowym), akty prawne (12 pozycji) normy (14 pozycji). Zebrana literatura jest bogata, co świadczy o dokładnym i pogłębionym przeanalizowaniu tematu przez Autorkę. Wyniki badań, a także dane obrazujące stan wiedzy w zakresie tematu pracy, przedstawiono na 105 rysunkach, 42 tabelach oraz 11 załącznikach, zawierających również rysunki.

Dysertacja została podzielona w sposób klasyczny na przegląd literatury - stanowiący wprowadzenie do podjętego problemu badawczego, cel pracy, opis przedmiotu badań, materiałów oraz zastosowanych metod badawczych, opis wyników, dyskusję wyników, podsumowanie i wnioski. Zaproponowany układ pracy oraz styl prezentacji poszczególnych zagadnień, pozwala na płynne przejście przez logicznie ułożone zagadnienia, stanowiące łącznie integralną całość, w pełni pokrywającą się z podjętym tematem pracy. Dysertacja rozpoczyna się wprowadzeniem do podjętego tematu, stanowiącym identyfikację obszaru badawczego, w którym to Autorka wyjaśnia problematykę migracji form azotu w środowisku gruntowo-wodnym. W kolejnych rozdziałach mgr inż. Anna Sieczka prezentuje zagadnienia



związane z obecnością i procesami transformacji związków azotu w środowisku gruntowo wodnym, by następnie przejść do omówienia zjawisk transportu azotu. Prezentuje następie i uzasadnia kolejno cele dysertacji, którymi są:

- określenie zawartości związków azotu i rozpoznanie czynników wpływających na ich stężenie w środowisku gruntowo-wodnym oraz ocenę wpływu nawożenia precyzyjnego na zanieczyszczenie przypowierzchniowej warstwy gruntu i wód podziemnych,
- rozpoznanie oraz szczegółową analizę procesów migracji zanieczyszczeń pochodzenia nawozowego w środowisku gruntowo-wodnym, tj. w szczególności: parametrów przenoszenia adwekcyjnego, dyspersji hydrodynamicznej oraz sorpcji,
- wypracowanie metody umożliwiającej efektywne wyznaczanie parametrów do prognozowania migracji związków azotu wraz z wodą podziemną,
- charakterystyka hydrodynamicznej migracji chmury zanieczyszczeń azotowych (azotanów) w strumieniu wód podziemnych z wykorzystaniem modelowania hydrogeologicznego.

Następnie, Autorka, przedstawia prawidłowo sformułowaną w kontekście stawianych celów, hipotezę badawczą: „Intensywności migracji związków azotu nie można oszacować bez uwzględnienia formy ich występowania, wpływu procesów odpowiedzialnych za transport oraz właściwości środowiska gruntowo-wodnego”.

Uwzględniając sformułowane cele i hipotezę badawczą, Autorka przybliży strukturę pracy oraz w sposób ogólny przedstawia kryteria wyboru analizowanych studiów przypadku oraz stosowane metody analiz i wnioskowania.

W rozdziale 4 charakteryzuje obszary badań, a w rozdziale 5 szczegółowo omawia zastosowaną metodykę z podziałem na badania terenowe, laboratoryjne oraz modelowanie numeryczne.

W rozdziale 6 przedstawiono uzyskane wyniki, które częściowo zostały przedyskutowane w rozdziale wyniki, a szczegółowiej w rozdziale kolejnym. W tym miejscu Autorka przedstawia własne zalecenia wynikające z uzyskanych badań i rozważań dedukcyjnych.

Ostatecznie, uzyskane wyniki zostały podsumowane w rozdziale ósmym.

Na uwagę zasługuje bardzo obszerna część pracy stanowiąca załączniki, w których Autorka zestawiała wszystkie wyniki badań terenowych, laboratoryjnych oraz numerycznych.

Zaznaczyć trzeba, iż opisane badania były zrealizowane w ramach projektu współfinansowanego z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, a osiągnięcia Doktorantki zostały docenione przez Narodowe Centrum Nauki, które przyznało Doktorantce

grant w ramach programu Preludium 13. Dzięki temu Doktorantka ma możliwości kontynuacji rozpoczętych badań. Część uzyskanych wyników Doktorantka opublikowała w sześciu publikacjach, w tym czterech w czasopismach indeksowanych w JCR.

#### 4. Uwagi o charakterze szczegółowym

Pomimo, istotności podjętego tematu i nowatorskiego podejścia, w pracy pojawiają się zagadnienia, sformułowania, które rodzą pytania i wątpliwości. Uwagi te ułożono w porządku chronologicznym czytania pracy.

Str. 27. Autorka napisała „Jony amonowe dostarczane w nawozach mineralnych (np. saletra amonowa), mimo tego, że nie są wymywane, tak jak jony azotanowe, to przyczyniają się bezpośrednio do zakwaszenia gleby (Kennedy, 1992).” Proszę o wyjaśnienie bezpośredniego mechanizmu zakwaszenia gleb przez jony amonowe.

Str. 28. Autorka napisała „W przypadku zmiany warunków środowiskowych na utleniające, następuje nitryfikacja jonów amonowych do postaci jonów azotynowych, a następnie azotanowych.” Niejasne jest sformułowanie „utleniające”. Czy nie lepiej byłoby podać zakresy potencjału redoks charakterystyczne dla procesów nitryfikacji?

Str. 31. Autorka napisała „Naturalne tło hydrogeochemiczne występowania jonów azotynowych w wodzie podziemnej określa się w przedziale 0-0,01 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup> L<sup>-1</sup>.” Czy można zmierzyć stężenie 0? Czy metodologicznie nie jesteśmy ograniczeni granicą detekcji metody pomiarowej?

Str. 34. Autorka napisała „Unieruchomione w profilu gruntowym jony amonowe nie są wymywane do wód gruntowych i nie mogą ulegać denitryfikacji z udziałem mikroorganizmów glebowych (Yoon, 2005).” Czy jony amonowe mogą ulegać denitryfikacji?

W rozdziale 2.3. Autorka szczegółowo opisuje procesy i czynniki wpływające na zjawiska transportu związków azotu w środowisku gruntowo-wodnym, przedstawiając ich interpretację matematyczną. Zasadniczo wszystkie mechanizmy zostały opisane i przedstawione w formie równań z jednym wyjątkiem. Nie przedstawiono opisu matematycznego procesów biologicznej transformacji związków azotu, wspominając jedynie, iż mają one charakter reakcji I-rzędu z podaniem przykładowych czasów połowicznej transformacji związków. W mojej ocenie należało te zagadnienia tak samo szeroko omówić jak czynniki związane ze zjawiskami dyfuzji, dyspersji, adwekcji, sorpcji. Przemiany biologiczne związków azotu są niezwykle istotne, a ich przebieg, ze względu na biologiczny charakter, nie jest tak jednoznaczny jak procesów fizycznych czy chemicznych. Zabrakło w tym miejscu omówienia wpływu czynników środowiskowych na stałe szybkości reakcji. Literatura w tym zakresie jest bogata i pozwala na

wprowadzenie do modeli numerycznych równań korygujących wartość stałej szybkości reakcji w zależności np. od temperatury, pH, potencjału redoks, stężenia tlenu. W tym rozdziale stosunkowo niewiele miejsca poświęcono także wpływowi zjawiska ewapotranspiracji na przepływ wody w strefie aeracji i saturacji oraz głębokości strefy korzeniowej. Czynniki te są na tyle istotne, iż w przypadku modelowania efektywności oczyszczania ścieków w systemach hydrofitowych (constructed wetlands) brane są pod uwagę. Zasadniczo, skoro słusznie do modelowania numerycznego zastosowano model HELP (stosowany do predykcji bilansu składowisk odpadów) w celu określenia wielkości infiltracji, to można było uzupełnić model numeryczny o równania opisujące transformację związków azotu w systemach hydrofitowych o przepływie poziomym, podpowierzchniowym.

Str. 61. Autorka podała daty dokonywanych nawożeń, jednakże nie określiła czasu, po którym pobrane zostały próbki do badań. Ta informacja jest istotna.

Str. 62. Autorka napisała „Pobrane próbki gruntów umieszczano w woreczkach foliowych i opisywano, uwzględniając datę, lokalizację i głębokość poboru próbki, a następnie przechowywano w komorze stałej temperatury (około 10°C) i wilgotności (około 90%) do czasu wykonania analiz laboratoryjnych.” Nie określono jak długo próbki te przechowywano w tych warunkach. Czy takie warunki nie wpłynęły na zawartość poszczególnych form azotu w pobranych próbkach?

Str. 100. Wskazano wartości stałej szybkości denitryfikacji podane przez różnych autorów. Która wartość została zastosowana w modelu oraz czy do jej modyfikacji zastosowano współczynniki korygujące ze względu na temperaturę, pH i inne?

W rozdziałach 6.1.1-3 Autorka omawia właściwości gruntów pobranych z 3 badanych stanowisk terenowych. Wyniki omówiono oddzielnie. W mojej ocenie bardziej zasadna byłaby analiza porównawcza pomiędzy stanowiskami, wspólne wykresy, zestawienia tabelaryczne, z wykorzystaniem statystycznej analizy wariancji. Wskazałoby to na różnice pomiędzy stanowiskami.

Po lekturze rozdziału 6.2. nasunęło mi się pytanie jakie było tło zanieczyszczeń wody gruntowej na badanych stanowiskach? Autorka opisuje wyniki badań wód gruntowych po stosowaniu nawożenia. Zasadnym byłoby przedstawienie danych uzyskanych przed nawożeniem. W rozdziale tym, brakuje danych z niektórych piezometrów. Co było tego przyczyną?

Bardzo interesującą częścią pracy są badania izoterm sorpcji, w których Autorka uzyskane wyniki analizuje różnymi modelami sorpcji, badając ich stopień dopasowania z wykorzystaniem współczynnika determinacji. Na jego podstawie rekomenduje modele



o najwyższym stopniu dopasowania. W mojej ocenie rozdział ten powinien być uzupełniony o dodatkowe analizy, które pozwoliłyby na eliminację modeli o zbyt dużej liczbie predyktorów. (dotyczy to sformułowania Autorki str. 165 „Na podstawie uzyskanych współczynników determinacji  $R^2$ , opisujących dopasowanie danych eksperymentalnych do modelowanych, można stwierdzić, że izotermy trójparametrowe dokładniej odwzorowują proces sorpcji zanieczyszczeń na badanych materiałach niż izotermy dwuparametrowe”). Nie zawsze modele o wyższej liczbie predyktorów są częściej stosowane w praktyce, nawet jeżeli ich dopasowanie do danych jest wyższe. Przykładowo, do oceny i eliminacji modeli nazbyt „przeuczonych” można zastosować kryterium Akaike, czy też walidacji krzyżowej. Rekomenduję zastosowanie tej procedury przed publikacją uzyskanych wyników.

## 5. Wnioski końcowe

Tematyka rozprawy jest aktualna, ważna zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Uzyskane wyniki przyczyniają się do rozwoju dyscypliny ochrona i kształtowanie środowiska w zakresie modelowania numerycznego migracji związków azotu w środowisku gruntowo-wodnym i ograniczenia wpływu nawożenia na zanieczyszczenie wód gruntowych związkami azotu. Treść pracy jest zgodna z tytułem, określony cel pracy został zrealizowany, a hipoteza została zweryfikowana. Rozprawa została zredagowana poprawnie i bardzo starannie od strony formalnej.

Dysertacja potwierdza bardzo dobrą znajomość ogólnej wiedzy teoretycznej Autorki w dyscyplinie ochrona i kształtowanie środowiska, przedstawia także interdyscyplinarny charakter. Dysertacja potwierdziła także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, stosowania nowatorskich, własnych rozwiązań eksperymentalnych (co zasługuje na duże uznanie) oraz formułowania rekomendacji na podstawie uzyskanych wyników badań, co wskazuje na przesłanki do rozwoju użytecznego charakteru pracy naukowej.

Przedstawione analizy były wielowątkowe i obszernie, co nie wpłynęło jednak na odejście od głównego celu pracy.

Stwierdzam, iż podjęta przez Autorkę dysertacji problematyka jest uzasadniona, jest to nowy i aktualny kierunek badań, a dalszy rozwój tych zagadnień stanowić może istotny wkład w rozwój metod ochrony środowiska gruntowo-wodnego

Przy ocenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Sieczki, uwzględniono, iż zgodnie z wymaganiami ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.), praca doktorska powinna: „...stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne

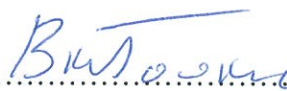
 7

rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne [...] oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej [...] oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.” Zgodnie z tym wzięto pod uwagę: znaczenie i oryginalność podjętej tematyki, poprawność w sformułowaniu celów i hipotez badawczych, projekt metodyki badań, opis i interpretację uzyskanych wyników, strukturę rozprawy oraz jej stronę warsztatową.

Biorąc pod uwagę powyższe kryteria oraz uwagi zawarte w recenzji stwierdzam, iż pomimo wymienionych drobnych niedociągnięć i wątpliwości, które nie wpływają na ogólny bardzo dobry poziom naukowy, oceniana przeze mnie wysoko praca doktorska „pt. **„Migracja związków azotu pochodzenia nawozowego w środowisku gruntowo-wodnym”** spełnia wymagania ustawy o stopniach i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ze względu na dużą wagę uzyskanych wyników, zastosowane zaawansowane metody badawcze, modelowanie numeryczne oraz dogłębną analizę izoterm sorpcji wnioskuję o **wyróżnienie** pracy doktorskiej mgr inż. Anny Sieczki.

Wrocław 25.06.2018 r.

  
.....  
dr hab. inż. Andrzej Białowiec, prof. UPWr.