



Olsztyn, dn. 14 września 2024 r.

Prof. dr hab. Katarzyna Glińska-Lewczuk

Katedra Gospodarki Wodnej i Klimatologii
Wydział Rolnictwa i Leśnictwa
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Beaty Kozickiej

pt. Modelowanie emisji metanu ze źródeł rolniczych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych o średniej rozdzielczości w różnej skali przestrzennej

1. Przedmiot i podstawa prawna recenzji

Niniejsza recenzja została wykonana w odpowiedzi na pismo z dnia 22.07.2024 roku (nr pisma: 100/1R/202) sporządzone przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Pana dr hab. Dariusza Wrone, prof. SGGW, o powołaniu mnie na recenzentkę rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Beaty Kozickiej zatytułowanej „Modelowanie emisji metanu ze źródeł rolniczych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych o średniej rozdzielczości w różnej skali przestrzennej”. Promotorką rozprawy jest dr hab. Elżbieta Wójcik-Gront, prof. SGGW z Katedry Biometrii Instytutu Rolnictwa SGGW.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedłożona do recenzji praca doktorska dotyczy analizy przestrzennych i czasowych zmian poziomów stężenia metanu w atmosferze jako efektu działalności rolniczej: upraw ryżu i hodowli zwierząt, głównie bydła. Istotnym elementem dysertacji jest analiza globalnych i regionalnych trendów wpływu populacji bydła na emisję CH₄ wykorzystująca dane pochodzące z nowoczesnych i zaawansowanych technologii satelitarnych, tj. ze spektrometru TROPOMI z misji Sentinel-5P, międzynarodowych baz danych, a także zastosowanie statystycznych metod ordynacyjnych.

Podstawą ubiegania się o stopień naukowy doktora są cztery spójne tematycznie publikacje naukowe Pani mgr inż. Katarzyny Beaty Kozickiej z lat 2021-2023, zamieszczone w następującej kolejności:

- I. **Kozicka K.**, Gozdowski D., Wójcik-Gront E. 2021. *Spatial-temporal changes of methane content in the atmosphere for selected countries and regions with high methane emission from rice cultivation. Atmosphere* 12(11):1382. DOI: 10.3390/atmos12111382.
Impact Factor – 3,1; MNiSW – 70 pkt.
- II. **Kozicka, K.**, Orazalina, Z., Gozdowski, D., Wójcik-Gront, E. 2023. *Evaluation of temporal changes in methane content in the atmosphere for areas with a very high rice concentration based on Sentinel-5P data. Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 30, 100972. DOI: 10.1016/j.rsase.2023.100972.
Impact Factor – 4,7; MNiSW – 100 pkt.



- III. **Kozicka, K.**, Žukovskis, J., Wójcik-Gront, E. 2023. *Explaining global trends in cattle population changes between 1961 and 2020 directly affecting methane emissions. Sustainability* 15(13): 10533. DOI: 10.3390/su151310533.
Impact Factor – 3,9; MNiSW – 100 pkt.
- IV. **Kozicka, K.**, Ollik, M., Wójcik-Gront, E. 2024. *Spatial distribution of CH₄ emissions from livestock farming in Poland: A comparison of 2010 and 2020. Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 1–12. DOI: 10.1080/00167223.2024.2350040.
Impact Factor – 2,3; MNiSW – 40 pkt.

Zbiór ww. publikacji naukowych poprzedza opracowanie liczące 48 stron (bez kopii publikacji i oświadczeń współautorów), na które składa się 7 głównych rozdziałów: Spis treści, Streszczenie i Abstract w języku angielskim, Wykaz publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej, Wstęp i uzasadnienie podjęcia tematu, Cel, zakres pracy i hipotezy badawcze, Materiały i metody badań. Publikacje będące przedmiotem dysertacji zaprezentowano w rozdziale 5 pt. „Najważniejsze wyniki badań i dyskusja”. Natomiast „Odpowiedź na postawione w rozprawie problemy badawcze oraz wnioski” zaprezentowano w kolejnym rozdziale (6), oddzielając wyniki nt. wykorzystania danych satelitarnych Sentinel-5P i spektrometru TROPOMI do analizy zmian poziomów stężenia CH₄ w atmosferze w regionach o wysokiej koncentracji upraw ryżu (6.1), od wyników nt. przestrzennego rozkładu emisji CH₄ do atmosfery pochodzącego z hodowli zwierząt oraz analizy globalnych trendów w populacji bydła i ich wpływu na emisje CH₄ (6.2). Podsumowanie rozprawy doktorskiej i perspektywy dalszych badań sformułowano w rozdziale 7. Opracowanie kończy Bibliografia składająca się z 46 pozycji literatury i 11 odwołań do stron internetowych oraz spis tabel i rysunków. Załączone kopie publikacji składających się na rozprawę doktorską wraz z oświadczeniami współautorów zostały poprzedzone informacjami o pozostałym dorobku naukowym Doktorantki.

Pani mgr inż. Katarzyna Kozicka jest pierwszą autorką we wszystkich artykułach, a jej udział stanowi odpowiednio 55%, 70%, 65% i 75% i został potwierdzony zestawem oświadczeń współautorów artykułów składających się na rozprawę wraz z określeniem indywidualnego wkładu w ich powstanie. Z treści oświadczeń wynika, że udział Doktorantki polegał na opracowaniu założeń metodycznych, przetwarzaniu danych i opracowaniu tekstów każdej pracy.

Publikacje ukazały się w międzynarodowych czasopismach naukowych: *Atmosphere* (praca I), *Remote Sensing Applications: Society and Environment* (praca II), *Sustainability* (praca III), *Geografisk Tidsskrift - Danish Journal of Geography* (praca IV) o łącznym współczynniku Impact Factor wynoszącym 14 i sumarycznej liczbie punktów MNiSW 310.

Przegląd piśmiennictwa we wszystkich publikacjach jest obszerny, wieloaspektowy. Cytowana literatura w całej dysertacji obejmuje łącznie 155 pozycji bibliograficznych. Większość cytowanych prac została opublikowana po roku 2000.

Układ prac, sposób przedstawienia tematu należy uznać za poprawny, zgodny ze standardami pisania prac naukowych. Praca napisana jest poprawnie stylistycznie, czytelnie, w sposób bardzo jasny i zwięzły. Przedstawione w niej zagadnienia zostały omówione w sposób interesujący, poparte materiałem graficznym w postaci 3 rysunków i 1 tabeli. W przedstawionym do oceny cyklu publikacji, należy wyróżnić staranne przygotowanie wszystkich artykułów, wzbogaconych o starannie przygotowaną szatę graficzną.



Zaprezentowany cykl publikacji stanowiący podstawę rozprawy doktorskiej **spełnia wymogi formalne** stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk rolniczych, w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo.

3. Merytoryczna ocena pracy doktorskiej

3.1. Tematyka, cel i hipotezy badawcze

Jednym z najważniejszych elementów w podejmowanych badaniach naukowych jest umiejętność trafnego i aktualnego wyboru problemu badawczego. Wobec obserwowanego wzrostu stężeń gazów cieplarnianych odpowiedzialnych za zmiany klimatu, obserwuje się w ostatnich latach dynamiczny rozwój technologii naziemnych i satelitarnych służących ocenie wielkości stężeń m.in. związków węgla w atmosferze, a także rozwija się metody identyfikacji źródeł odpowiedzialnych za ich emisje.

Wg IPCC, sektor rolniczy jest odpowiedzialny za około 10-12% emisji GHG do atmosfery ze źródeł antropogenicznych. Biorąc pod uwagę potencjalny wzrost zapotrzebowania na surowce żywnościowe, rozwój areału niektórych upraw (w szczególności ryżu) i hodowli zwierząt (zwłaszcza przeżuwaczy) stanowi wyraźny i niepokojący sygnał na temat dalszego wzrostu poziomu CH₄ w atmosferze.

W dobie szybko postępującego rozwoju technologicznego, zastosowanie satelitarnych narzędzi w badaniach stanu środowiska stanowi obecnie ważne wyzwanie związane z określeniem aktualnych i potencjalnych jego zagrożeń. Dlatego też, tematyka dysertacji, w szczególności publikacje I i II, wpisuje się w ważny nurt badawczy w zakresie nowoczesnych, zaawansowanych technologii satelitarnych do monitorowania poziomów stężenia CH₄ w atmosferze, którego źródłem jest działalność rolnicza. Autorka dokonała wnikliwej oceny aktualnego stanu wiedzy, dotyczącej emisji metanu pochodzenia rolniczego. Zidentyfikowała dwa główne źródła tego gazu, tj. koncentracja upraw ryżu, która odpowiada za około 8% całkowitej antropogenicznej emisji CH₄ oraz chów zwierząt gospodarskich, gdzie CH₄ jest wytwarzany głównie podczas fermentacji jelitowej u przeżuwaczy. Zatem, wybór tematu należy uznać za uzasadniony i właściwy. Tytuł dysertacji sformułowano poprawnie, adekwatnie do struktury i badań empirycznych. Opracowanie wpisuje się w nurt badań rolniczych i posiada walory aplikacyjne.

Przedłożona rozprawa doktorska **prezentuje ogólną wiedzę osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora** w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo. Doktorantka przedstawiła w niej kompendium wiedzy dotyczącej szacowania źródeł i poziomów stężenia CH₄ w atmosferze, w szczególności w odniesieniu do wyników badań własnych nt. emisji ze źródeł rolniczych: w regionach o wysokiej koncentracji upraw ryżu i z hodowli zwierząt gospodarskich na świecie i w Polsce stwierdzonych na podstawie danych z misji Sentinel-5P.

Doktorantka umiejętnie i logicznie rozdzieliła obszary badawcze w przedstawionej dysertacji na dwie części. Pierwsza, obejmuje publikacje I i II, na temat analizy przestrzennych oraz sezonowych zmian poziomów stężenia CH₄ w atmosferze nad regionami o wysokiej koncentracji upraw ryżu. Sformułowała przy tym hipotezę badawczą, że dane satelitarne Sentinel-5P ze spektrometru TROPOMI są w stanie wykrywać zmiany poziomów stężenia CH₄ w regionach o wysokiej koncentracji upraw ryżu.

W drugiej części, obejmującej publikacje III i IV, Doktorantka przedstawiła analizy globalnych trendów wpływu populacji bydła na emisje CH₄ (publikacja III) oraz porównania przestrzennego rozkładu emisji CH₄ do atmosfery pochodzącego z hodowli zwierząt w Polsce między 2010 i 2020 r. (publikacja IV). Zastosowała tu inne podejście metodyczne niż w części pierwszej: międzynarodowe i krajowe zasoby danych (FAOSTAT, World Bank, IPCC, GUS - Bank Danych Lokalnych, Krajowy Raport Inwentaryzacyjny (NIR



2022), poddała analizie za pomocą zaawansowanych metod statystycznych, w tym metod ordynacyjnych. Ponieważ przyjęła hipotezę badawczą, że TROPOMI nie jest wystarczający do monitorowania poziomów stężenia CH₄ z rozproszonych źródeł, stosuje w tym celu modelowanie matematyczne oparte na populacji zwierząt i wskaźnikach emisji CH₄.

3.2 Omówienie publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej

Rozprawę doktorską rozpoczyna **publikacja I**, w której dokonano analizy zmian poziomów stężenia CH₄ na podstawie danych z Sentinel-5P w okresie 2019-2021 obejmujących obszary położone w pasie między 60°S a 60°N szerokości geograficznej, w tym: Hubei i Hunan w Chinach, Pendżab w Indiach, Kambodża, Filipiny i Nepal, Region Mississipi (USA), oraz obszary referencyjne USA i Indii. Doktorantka wykazała niepokojący przyrost poziomu CH₄ w badanych regionach średnio o 15 ppb na rok, czyli ponad dwukrotnie więcej w porównaniu do rocznych zmian w okresie 2007-2017. Wykazała, że zmiany w praktykach uprawy ryżu mają wpływ na sezonową zmienność poziomów stężenia CH₄ w atmosferze. Doktorantka stwierdziła, że monitorowanie stężeń CH₄ za pomocą wysokiej rozdzielczości spektrometru TROPOMI na pokładzie satelity Sentinel-5P umożliwia śledzenie tych zmian w różnych skalach przestrzennych, takich jak regiony i państwa.

Publikacja II dotyczy oceny czasowych zmian zawartości metanu w atmosferze dla obszarów o wysokim udziale upraw ryżu, na podstawie danych o wielkości zbiorów i plonów z Earth Stat oraz średnich poziomów stężeń CH₄ w powietrzu w latach 2019-2022 z Sentinel 5P pozyskanych z Google Earth Engine. W tym celu Pani mgr Katarzyna Kozicka zastosowała metody statystyczne adekwatne do analizy trendów danych czasowych wykonując nieparametryczny test Mann-Kendalla. W wyniku analizy Doktorantka stwierdziła globalny wzrost poziomów stężenia CH₄ od lutego 2019 do stycznia 2022 roku o 15,6 ppb rocznie, co jest zgodne z pomiarami NOAA Global Monitoring Laboratory. Wartościowym elementem tej części rozprawy jest analiza sezonowa poziomów stężeń CH₄, z najniższymi wartościami w lipcu i najwyższymi w październiku skorelowane z technologią upraw ryżu, choć wątpliwości budzi duża zmienność wyników.

Doktorantka dostarczyła przekonujących argumentów, że uzyskane dane przestrzenne i czasowe, uzyskane dzięki zaawansowanym narzędziom satelitarnym, pomagają zrozumieć sezonowe wzorce i długoterminowe trendy emisji CH₄ z pól ryżowych.

Po zapoznaniu się treścią pierwszej części rozprawy doktorskiej tj. na temat emisji CH₄ z obszarów o dużej koncentracji upraw ryżu i wykorzystania w tym celu narzędzia TROPOMI, nasunęły mi się następujące pytania i wątpliwości, o których wyjaśnienie proszę Doktorantkę:

1. W optymalnie wyznaczonych obszarach referencyjnych należałoby spodziewać się obniżonych poziomów emisji CH₄ z powodu braku potencjalnych źródeł tego gazu, nie tylko ze źródeł rolniczych. Jak pokazały uzyskane wyniki, jest to niezmiernie trudne: w publikacji II poziomy CH₄ były na poziomie zbliżonym do terenów upraw ryżu, z powodu m.in. licznych mokradł w Gudżaracie, lokalnego wydobycia węgla brunatnego Radżastanie (Indie) lub w Junnan w południowych Chinach, gdzie zróżnicowane naturalne warunki klimatyczne i biologiczne sprzyjają wyższym emisjom CH₄. W jaki sposób i za pomocą jakich kryteriów wyznaczono obszary referencyjne?



2. Czy Doktorantka podjęła próbę kalibracji lub walidacji danych satelitarnych CH₄ metodami naziemnymi (oczywiście w mniejszej skali przestrzennej) ? Czy znane są takie badania np. z literatury lub z informacji ustnej od innych badaczy?
3. W obrębie określonej jednostki obszarowej, w szczególności odpowiadającej rozdzielczości TROPOMI-5P 7*7 km, nie można wykluczyć różnych źródeł emisji metanu. W jaki sposób można ustalić, że dane na temat poziomu metanu dostarczane z TROPOMI, pochodzą jedynie ze źródeł rolniczych? Czy i w jaki sposób można wykluczyć udział innych źródeł metanu?
4. Nawiązując do publikacji I, proszę o uzupełnienie wypowiedzi czy różnice sezonowe koncentracji CH₄ z obszarów upraw ryżu były istotne statystycznie? Odpowiedź może przyczynić się do potwierdzenia (lub nie) przydatności narzędzia TROPOMI-5P jako źródła danych, ponieważ wyznaczony przez Doktorantkę dodatni trend z przyrostem rocznym koncentracji CH₄ w powietrzu nad polami ryżowymi kształtował się na poziomie +15 ppb, czyli dokładnie tyle ile wynosi odchylenie standardowe pomiarów poziomu CH₄ za pomocą narzędzia TROPOMI wg ESA.
5. Wątpliwość budzi sformułowanie „*Długoterminowy wzrost poziomów stężenia CH₄ zaobserwowano we wszystkich analizowanych regionach*”. Pojęcie „długoterminowy” w badań naukowych zjawisk i procesów w skali globalnej, a przynajmniej międzyregionalnej, w odniesieniu do 3 lat (2019-22) wydaje się nieadekwatne.

Publikacja III dotyczy relacji pomiędzy globalnymi trendami w populacji bydła w okresie 1961-2020 i ich bezpośrednim wpływem na emisje metanu. Pani mgr Katarzyna Kozicka, na podstawie wyników wielowymiarowych analiz statystycznych dla danych zebranych z okresu 1961-2020 dla trzydziestu krajów o populacjach bydła powyżej 10 mln szt., zidentyfikowała grupy krajów o podobnych wzorcach i oceniła trendy zmian czasowych. Ważny wniosek płynący z tej pracy potwierdza jednoznacznie, że poziomem CH₄ w atmosferze jest silnie skorelowany z poziomem światowej populacji bydła ($r=0,96$). Pogłowie bydła wykazało silną korelację ($r=0,57$) z wielkością populacji ludzi. Trend czasowy zmian w pogłowie bydła i emisji CH₄ w skali globalnej wykazywał podobną tendencję. Największy wzrost pogłowia bydła cechował przede wszystkim kraje rozwijające się położone w Ameryce Południowej, Afryce i Azji Południowo-Wschodniej. Z kolei kraje wysoko rozwinięte cechowały się stabilnymi poziomami pogłowia bydła w badanym okresie.

Doktorantka skorelowała dane nt. pogłowia bydła także z innymi zmiennymi z lat 2011-2020: powierzchnią użytków rolnych ($r=0,50$), wielkością gruntów pod trwałymi łąkami i pastwiskami ($r=0,33$), spożyciem wołowiny na mieszkańca ($r=0,21$), całkowitym spożyciem mięsa na mieszkańca wraz z rybami i owocami morza ($r=0,11$), spożyciem mleka na mieszkańca ($r=0,16$), wydajnością mleczną ($r=0,05$), ilością maszyn rolniczych ($r=0,14$), PKB na mieszkańca ($r=0,00$), odsetkiem ludności wiejskiej ($r=-0,09$). W toku przeprowadzonych badań Doktorantka wykazała, że w okresie od 1961 do 2020 r. głównym motorem wzrostu pogłowia bydła w krajach słabiej rozwiniętych, położonych głównie w Afryce i Ameryce Południowej był wzrost zaludnienia. Dowiodła też, że w krajach rozwiniętych populacje bydła były stosunkowo stabilne, ale zaobserwowano zauważalną poprawę wydajności produkcji bydła, taką jak wyższa wydajność mleczna. Jest to o tyle istotne, że raporty UNFCCC (Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu) wskazują, że Stany Zjednoczone zwiększyły współczynnik emisji CH₄ z fermentacji jelitowej dla krów mlecznych ze 121 kg CH₄ szt⁻¹ w 1990 r. na 149 kg CH₄ szt⁻¹ w 2020 r. (FAOSTAT przyjmuje wartość 128 dla krów mlecznych w USA).

Doktorantka wnioskuje, że ponieważ emisja metanu jest silnie skorelowana z pogłowiem bydła, istnieje znaczny potencjał w zakresie łagodzenia emisji CH₄ z produkcji bydła, szczególnie w krajach



rozwijających się. Regiony te oferują dogodne warunki do wprowadzenia bardziej efektywnej gospodarki bydłowej, co może prowadzić do wyższej produkcji wołowiny i mleka przy utrzymaniu podobnego pogłowia bydła.

Celem **publikacji IV** było określenie rozkładu przestrzennego emisji metanu z hodowli zwierząt gospodarskich w Polsce na poziomie gmin oraz tych zmian w odniesieniu do pogłowia zwierząt gospodarskich w latach 2010 i 2020. Do analizy Doktorantka wykorzystała dane z Narodowego Spisu Rolnego oraz raportu Krajowego Spisu Inwentaryzacyjnego UNFCCC (NIR) za lata 2010 i 2020. Przedstawiła nieznaczący ogólny wzrost całkowitej emisji CH₄ z hodowli zwierząt gospodarskich w Polsce w ciągu badanej dekady, tj. z poziomu 528 Gg w 2010 roku do 557 Gg w 2020 roku. Przeprowadzona analiza porównawcza między 2010 i 2020 r. wykazała, że wzrost emisji CH₄ związany z produkcją bydła mlecznego nie był znaczący tj. ok. 1,6%, co było wynikiem zmniejszającego się pogłowia. Natomiast był najwyższy w przypadku bydła nie-mlecznego tj. o 24%. Emisje z hodowli trzody chlewnej zmniejszyły się o 34,0% , z hodowli drobiu - poniżej 1,1%.

Doktorantka powiązała wzrost emisji metanu w badanym okresie z obszarami województw, w których dominowała hodowla zwierząt, (mazowieckim, podlaskim i wielkopolskim). Z kolei najniższe emisje zidentyfikowała przede wszystkim w południowej i południowo-zachodniej Polsce, gdzie odnotowano wyraźny spadek pogłowia zwierząt gospodarskich. Jej zdaniem, na zmiany w pogłowiu zwierząt gospodarskich w Polsce w ciągu ostatniej dekady wpłynęły głównie normy UE i wspólna polityka rolna, w tym takie czynniki jak: limity mleczne, wahania cen mleka, nieoptymalność hodowli prosiąt i tuczników oraz wybuch ASF. W opinii Doktorantki zrozumienie przestrzennego rozkładu emisji CH₄ z hodowli zwierząt gospodarskich na poziomie gminy ma zasadnicze znaczenie dla skutecznych działań na rzecz łagodzenia zmian klimatu.

Moim zdaniem, praca ta stanowi ważny głos w dyskusji nad potrzebą ciągłego monitorowania wielkości hodowli zwierząt gospodarskich w Polsce w celu oceny jej wpływu na emisje gazów cieplarnianych i ułatwienia świadomego kształtowania polityki na rzecz zrównoważonych praktyk rolniczych.

Po zapoznaniu się treścią publikacji III i IV sformułowałam następujące pytania, wymagające komentarza Doktorantki:

1. Doktorantka, przyjęła tezę że monitorowanie emisji CH₄ z fermentacji jelitowej i gospodarowania odchodami zwierząt za pomocą narzędzi satelitarnych stanowi wyzwanie badawcze ponieważ emisje te pochodzą od zwierząt hodowanych w sposób rozproszony. Niemniej jednak w publikacji II i IV zabrakło dowodów naukowych, które pozwoliłyby potwierdzić (lub zaprzeczyć), że instrument TROPOMI nie jest wystarczający do monitorowania poziomów stężenia CH₄ z rozproszonych źródeł. Proszę o uzasadnienie.
2. Biorąc pod uwagę, że wzrost globalnej populacji bydła jest silnie skorelowany ze wzrostem emisji CH₄, a zależność ta jest modyfikowana przez strukturę zwierząt i metody hodowli, to jakie zaproponowałyby Pani praktyki rolnicze służące ograniczeniu emisji CH₄ ze źródeł rolniczych?

3.3. Podsumowanie

W przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny B. Kozickiej pt. *"Modelowanie emisji metanu ze źródeł rolniczych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych o średniej rozdzielczości w różnej*



skali przestrzennej” podjęto aktualny i ważny temat badawczy. Badania Doktorantki miały na celu rozpoznanie czasowo-przestrzenne emisji metanu do atmosfery ze źródeł rolniczych: obszarowych koncentracji upraw ryżu i hodowli zwierząt, głównie bydła.

Przedłożona rozprawa doktorska stanowi **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego** zarówno w sferze analitycznej, jak i metodycznej. Za szczególnie ważne traktuję publikacje I i II ponieważ to jedne z pierwszych opracowań wykorzystujących dane TROPOMI do analizy poziomów stężenia CH₄ w atmosferze. Chcę podkreślić, że przyjęta metodyka wymagała od Doktorantki interdyscyplinarnej wiedzy, opanowania przez nią specjalistycznych umiejętności wyboru danych, ich właściwej analizy i krytycznej oceny, co budzi uznanie. Wykorzystanie danych z TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument) czyli instrumentu satelitarnego znajdującego się na pokładzie satelity Copernicus Sentinel-5 Precursor (misja finansowana przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA)) świadczy o znajomości najnowszych metod pomiarowych gazów w atmosferze ziemskiej. Warto wspomnieć, że Sentinel-5 Precursor (S5P) to pierwszy z satelitów Sentinel dostarczający dane od 2019 r., którego misja ma trwać co najmniej siedem lat. Instrument satelitarny TROPOMI nieustannie krąży wokół Ziemi i wykonuje pomiary, które pozwalają tworzyć codzienne globalne mapy gazów atmosferycznych istotnych dla jakości powietrza i monitorowania cech klimatu o wysokiej rozdzielczości spektralnej i przestrzennej. TROPOMI wykorzystuje informacje absorpcyjne z pasma tlenu-A (760 nm) i zakresu spektralnego podczerwieni krótkofalowej SWIR (ang. Short Wave InfraRed) (900 nm do 2500 nm) do uzyskania stężeń CH₄. Oferuje obrazy stężeń metanu w trybie offline o rozdzielczości przestrzennej 7x7 km. Dzięki tym cechom TROPOMI jest w stanie dostarczać bardzo dokładne dane dotyczące składu atmosfery, co czyni go jednym z najnowocześniejszych narzędzi do monitorowania jakości powietrza i zmian klimatycznych.

Ponadto, za walor rozprawy uznaję umiejętność wykorzystania danych satelitarnych w modelowaniu matematycznym (metody ordynacyjne, w tym PCA (Principal Component Analysis), co umożliwiło jej bardziej precyzyjne rozróżnienie źródeł emisji CH₄.

Do głównych walorów recenzowanej dysertacji zaliczam:

- interdyscyplinarne podejście do rozwiązania problemu badawczego, polegające na integracji kilku różnych dziedzin wiedzy i metodologii: rolnictwa (wiedzy z zakresu hodowli zwierząt), nauk o środowisku (wpływu emisji metanu na zmiany klimatyczne i lokalne warunki środowiskowe) z technologiami satelitarnymi wykorzystującymi technologie satelitarne do monitorowania i analizowania CH₄ w atmosferze;
- wykorzystanie danych satelitarnych Sentinel-5P i spektrometru TROPOMI i ocena przydatności tych danych w identyfikacji poziomów stężenia CH₄ w regionach o intensywnej uprawie ryżu (publikacja I i II) w różnych skalach czasowo-przestrzennych, co pozwala na śledzenie trendów emisji metanu i ocenę wpływu działań zaradczych w czasie rzeczywistym;
- umiejętność interpretacji danych satelitarnych i analizy danych;
- znajomość technik matematycznych i statystycznych i ich zastosowanie w modelowaniu emisji metanu ze źródeł rolniczych (publikacja III);
- globalne lub ponadregionalne podejście do rozwiązania problemu naukowego (publikacje I-IV);
- logiczna i spójna argumentacja i dyskusja uzyskanych wyników badań;
- prawidłowe wnioskowanie;
- wspieranie polityki środowiskowej; wyniki pracy mogą pomóc w opracowywaniu i wdrażaniu polityki zarządzania emisjami metanu w rolnictwie, co jest istotne dla walki ze zmianami klimatycznymi.



Poza wskazanymi wcześniej uwagami co do merytorycznej strony pracy, wśród ograniczeń przedłożonej dysertacji (niezależnych w dużej mierze od Doktorantki) znajdują się elementy, które mogły mieć wpływ na obniżoną dokładność opracowanych modeli, jak np.

- rozdzielczość zdjęć satelitarnych (7x 7 km) ogranicza precyzyjne monitorowanie lokalnych źródeł emisji metanu. W przypadku szczegółowych badań dotyczących małych obiektów lub obszarów, takich jak indywidualne gospodarstwa, rozdzielczość może być niewystarczająca;
- zakłócenia atmosferyczne mogące mieć wpływ na jakość modeli;
- konieczność kalibracji i walidacji modeli emisji metanu opartych na zdjęciach satelitarnych na podstawie danych terenowych.

Podsumowując, rozprawę doktorską Pani mgr inż. Katarzyny Beaty Kozickiej oceniam wysoko. Doktorantka zaproponowała **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**, które może przynieść znaczące korzyści zarówno na poziomie praktycznym, jak i badawczym. Jej wyniki badań posiadają duży ładunek poznawczy, gdyż przyczyniają się do lepszego zrozumienia roli rolnictwa w zmianach klimatycznych. Zaprezentowany sposób modelowania emisji metanu ze źródeł rolniczych, umożliwi identyfikację obszarów o najwyższym poziomie emisji, co jest argumentem do wprowadzenia skuteczniejszych strategii redukcji emisji gazów cieplarnianych i dostosowania optymalnych praktyk rolniczych w odpowiedzi na zmieniające się warunki klimatyczne i walkę z globalnym ociepleniem.

Sposób prezentacji rozprawy i dobór publikacji wskazują na **umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej** przez Kandydatkę do stopnia doktora. Wykonana przez Doktorantkę rozprawa doktorska jest wieloaspektowa i badania o charakterze interdyscyplinarnym. Pozytywnie oceniam przygotowaną metodykę badawczą, dotyczącą zarówno założeń i hipotez badawczych, jak i modelowania badanych zjawisk, sposobu ich prezentacji, jak i wnioskowania. Wyłania się z tego obraz przemyślanego procesu badawczego przez osobę aspirującą do stopnia naukowego doktora. Zamieszczone w recenzji uwagi są dyskusyjne nie wpływają na wartość rozprawy.

4. Wniosek końcowy

Po analizie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Beaty Kozickiej pt. „Modelowanie emisji metanu ze źródeł rolniczych z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych o średniej rozdzielczości w różnej skali przestrzennej”, pozytywnie oceniam podjęcie badań nad problematyką oceny zmian czasowo-przestrzennych stężenia metanu w atmosferze wskutek emisji tego gazu ze źródeł rolniczych: pod wpływem upraw ryżu i z hodowli zwierząt gospodarskich. Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska spełnia wymagania dotyczące rozpraw doktorskich, tj. stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo oraz przygotowanie do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, co zgodne jest z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. z dnia 10 marca 2023 r., Dz.U. z 2023 r. poz. 742 ze zm.). W związku z powyższym wnioskuję o przyjęcie recenzowanej rozprawy przez Radę Naukową Dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

Prof. dr hab. Katarzyna Glińska-Lewczuk