

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamili Harendy

pt. „OCENA WPŁYWU PARAMETRÓW OPTYCZNYCH ATMOSFERY NA ZDOLNOŚĆ
POCHŁANIAJĄCĄ DITLENKU WĘGLA PRZEZ TORFOWISKO”

1. Informacje wstępne

Recenzję pracy doktorskiej wykonano na podstawie uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu z dnia 13 października 2022 r. oraz pisma Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej Pani prof. dr hab. inż. Klaudii Borowiak z dnia 18 października 2022 r. Oceniana rozprawa została przygotowana pod kierunkiem dwóch promotorów w osobach prof. UPP dr. hab. inż. Bogdana Chojnickiego oraz prof. UW dr. hab. Krzysztofa Markowicza.

2. Zasadność podjęcia tematu

Torfowiska stanowią unikatowe i złożone ekosystemy pełniące cenne funkcje środowiskowe, do których - w kontekście aktualnie obserwowanej zmiany klimatu - z pewnością należy asymilacja węgla atmosferycznego i jego unieruchamianie w pokładach torfu. Z drugiej strony skutki tej zmiany tj. m.in. wzrost temperatury, czy też zaburzenia w obiegu wody, mogą przyczynić się do zmian bilansu węgla tych ekosystemów z pochłaniaczy na źródła. Wielkość produktywności roślin determinowana jest promieniowaniem słonecznym, niezbędnym w procesie fotosyntezy. Jego rozpraszanie w atmosferze uważane jest za sprzyjające w tym kontekście, poprzez relatywnie większy dopływ energii do tych partii roślin, do których nie dociera strumień promieniowania bezpośredniego. Intensywność rozpraszania promieni słonecznych w atmosferze wynika z jej właściwości optycznych, spośród których to aerozole odgrywają znaczącą rolę w procesach fizycznych i chemicznych w niej zachodzących. Poprzez wpływ na transfer promieniowania, wynikający zarówno z ich ilości oraz właściwości, pośrednio modyfikują wielkość pochłaniania CO₂ z atmosfery przez rośliny. W tym kontekście nasuwa się pytanie w jakim stopniu globalna tendencja, dążąca do ograniczenia antropogenicznej emisji aerozoli jako jedna z form przeciwdziałania zmianie klimatu, może przyczynić się do zmniejszenia rozpraszania promieniowania słonecznego w atmosferze, a tym samym do obniżania potencjalnych zdolności wiązania CO₂ przez ekosystemy roślinne.

W świetle powyższego tematyka badań podjętych przez mgr inż. Kamilę Harendę jest bardzo istotna i wpisuje się w obecne trendy badawcze na świecie. Dotyczy ona ilościowego oszacowania wpływu właściwości optycznych atmosfery na wielkość pochłaniania CO₂ przez torfowisko. Recenzowana rozprawa doktorska powstała na bazie wyników pomiarów prowadzonych na torfowisku w Rzecinie i ma charakter pracy twórczej. O trafności i ważności podjętych badań i analiz świadczy fakt, że były one prowadzone w ramach projektów badawczych m.in. „*Technical assistance for Polish radar and Lidar Mobile Observation System—POLIMOS*” finansowanego przez Europejską Agencję Kosmiczną, „*Potencjał akumulacyjny dwutlenku węgla torfowisk mszarnych w kontekście zmian właściwości optycznych atmosfery i klimatu*” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki

oraz w ramach programu Regionalna Inicjatywa Doskonałości na lata 2019-2022 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

3. Struktura i zawartość pracy – ogólna charakterystyka

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska pt. „Ocena wpływu parametrów optycznych atmosfery na zdolność pochłaniania ditlenku węgla przez torfowisko” obejmuje cykl powiązanych tematycznie trzech anglojęzycznych publikacji o zasięgu międzynarodowym. Pierwsza z nich stanowi rozdział w monografii wydawnictwa Springer, dwie pozostałe opublikowane zostały w czasopiśmie posiadającym współczynnik wpływu IF i znajdują się na liście czasopism Ministerstwa Edukacji i Nauki: *Remote Sensing* wydawnictwa MDPI oraz *Agricultural and Forest Meteorology* wydawnictwa Elsevier:

1. **Harenda K.M.**, Lamentowicz M., Samson M., Chojnicki B.H., *The role of peatlands and their carbon storage function in the context of climate change*, w: T. Zielinski i in. (red.), *Interdisciplinary Approaches for Sustainable Development Goals*, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, Wyd. Springer, 2018, s. 169-188, DOI: 10.1007/978-3-319-71788-3_12 (20 pkt, IF-, udział Doktorantki - 60%);
2. **Harenda K.M.**, Samson M., Juszczak R., Markowicz K.M., Stachlewska I.S., Kleniewska M., MacArthur A., Schüttemeyer D., Chojnicki B.H., *Impact of Atmospheric Optical Properties on Net Ecosystem Productivity of Peatland in Poland*, *Remote Sensing*, 2021, 13, 2124, DOI: 10.3390/rs13112124 (100 pkt, IF – 5,349, udział Doktorantki - 65%);
3. **Harenda K.M.**, Markowicz K.M., Poczta P., Stachlewska I.S., Bojanowski J.S., Czernecki B., MacArthur A., Schüttemeyer D., Chojnicki B.H., *Estimation of the effects of aerosol optical properties on peatland production in Rzecin, Poland*, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2022, 316, 108861, DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.108861 (200 pkt, IF - 6,424, udział Doktorantki - 60%).

Powyzsze prace opublikowane zostały w latach 2018, 2021 i 2022 jako oryginalne prace naukowe, o łącznej liczbie punktów - 320 i sumarycznej wartości współczynnika wpływu IF za rok publikacji 11,773. Wszystkie przedłożone artykuły są współautorskie, a liczba autorów waha się od 4 do 9. Należy jednak podkreślić, że każdorazowo mgr inż. Kamila Harenda jest pierwszym i jednocześnie korespondencyjnym autorem. Jej wkład w powstawanie prac jest wyraźnie dominujący i wynosi po 60% (praca 1 i 3) i 65% (praca 2). Jak wynika z przedstawionej dokumentacji w każdym przypadku obejmował on opracowanie koncepcji artykułu, zebranie literatury tematycznej, przeprowadzenie analiz i interpretacji danych, pisanie manuskryptu, jego redakcję i edycję. Udział pozostałych autorów polegał głównie na wsparciu Pani mgr inż. Kamili Harendy w specjalistycznych pomiarach i analizach, co jest uzasadnione z uwagi na interdyscyplinarność prowadzonych badań.

Rozprawę doktorską rozpoczyna krótkie wprowadzenie do podjętej w pracy tematyki wraz ze sprecyzowaniem jednego celu głównego i jednej hipotezy badawczej (rozdział 1). Doktorantka wskazuje na znaczenie torfowisk w obiegu węgla w środowisku, z omówieniem procesów determinujących bilans węgla tych cennych ekosystemów i czynników wpływających na ich produktywność, ze szczególnym uwzględnieniem pozytywnej roli promieniowania słonecznego rozproszonego, co stanowi uzasadnienie podjętych w pracy badań. W dalszej części (rozdział 2) zamieszczone zostały wyniki badań w formie oryginalnie wydanych artykułów naukowych. Ten rozdział stanowi najobszerniejszą część rozprawy (łącznie 52 strony). Każda praca poprzedzona jest krótkim wprowadzeniem do jej tematyki, syntetycznym omówieniem zastosowanej metodyki i podsumowaniem uzyskanych wyników. Ostatni rozdział (3) stanowi podsumowanie wraz z podaniem szczegółowych informacji i wartości mierników wpływu naukowego prac wchodzących w skład monotematycznego cyklu publikacji, będących podstawą rozprawy doktorskiej. Zamieszczono także wykaz 57 źródeł literatury, wykorzystanych na potrzeby przygotowania syntetycznego tekstu rozprawy oraz komplet

oświadczeń o udziale procentowym współautorów publikacji naukowych w formie załącznika. Praca zawiera także streszczenie w języku polskim i angielskim.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że struktura przedstawionej do recenzji rozprawy spełnia formalne wymogi stawiane rozprawom doktorskim, jej układ jest poprawny a kolejność rozdziałów logiczna.

4. Ocena merytoryczna

Celem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest ilościowa ocena oddziaływania wybranych parametrów optycznych atmosfery, modyfikujących stopień rozproszenia promieniowania krótkofalowego, na wielkość pochłaniania CO₂ z atmosfery przez torfowisko. Doktorantka postawiła jedną hipotezę badawczą: *„Zdolność do pochłaniania CO₂ przez torfowisko zależy nie tylko od warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza, ale także od parametrów optycznych chmur i aerozoli znajdujących się w atmosferze”*.

Na potrzeby realizacji założonego w pracy celu głównego Doktorantka przeprowadziła symulacje wielkości pochłaniania CO₂ przez torfowisko w odniesieniu do modyfikowanych wartości parametrów optycznych atmosfery tj. aerozolowa grubość optyczna i albedo pojedynczego rozpraszania, jak również współczynnika rozpraszania promieniowania słonecznego. Analizy prowadzono w odniesieniu do warunków bezchmurnego nieba jak i występowania chmur. Uwzględniały one także czynniki meteorologiczne tj. temperatura powietrza oraz niedosyt ciśnienia pary wodnej, jak również wskaźnik roślinności. Obiektem badawczym było torfowisko przejściowe w Rzecinie, a zaprezentowane w pracy analizy oparto głównie na wynikach bezpośrednich pomiarów prowadzonych w latach: 2016 (publikacja nr 2) oraz 2018 (publikacja nr 3). Obejmowały one pomiary strumieni CO₂ metodą kowariancji wirów (*Eddy Covariance*), właściwości optycznych atmosfery, temperatury i wilgotności powietrza, gęstości strumieni promieniowania fotosyntetycznie aktywnego, natężenie promieniowania krótkofalowego oraz długofalowego, prowadzone za pomocą specjalistycznej aparatury na torfowisku. Do określenia m.in. właściwości optycznych chmur, jak również wyznaczenia wskaźnika wegetacyjnego wykorzystano także dane satelitarne. Stanowiły one dane wejściowe do zastosowanych modeli transferu radiacji i produktywności ekosystemu torfowiska w Rzecinie oraz umożliwiły ich parametryzację i walidację.

Pierwsza publikacja w cyklu stanowi wprowadzenie do globalnej problematyki torfowisk i ich zdolności do gromadzenia CO₂ w kontekście zmiany klimatu. Praca ta ma charakter przeglądowy w odniesieniu do najważniejszych aspektów funkcjonowania tych unikatowych ekosystemów. Doktorantka na podstawie bogatego zbioru literatury, głównie anglojęzycznej, odnosi się do istoty zagadnienia wymiany węgla pomiędzy ekosystemem a atmosferą i bilansu wodnego tych obszarów, z uwagi na fakt, że czynnik hydrologiczny jest jednym z najważniejszych dla ich funkcjonowania. Słusznie wskazuje zmianę klimatu jako jedno z głównych zagrożeń dla torfowisk i ich roli w bilansie węgla. Zmiana ta przejawia się wzrostem temperatury, co prowadzi do zwiększonej respiracji heterotroficznej i uwalniania CO₂ oraz produkcji metanu. Zaburzony zostaje także rozkład sum opadów, skutkujący naprzemiennym występowaniem intensywnych opadów i okresów suszy. Powoduje to zmiany w bilansie wodnym torfowisk, a dodatkowo okresy suszy przyczyniają się do powstawania pożarów tych ekosystemów, powodujących uwalnianie znacznych ilości CO₂ do atmosfery. Doktorantka wskazuje także na działalność człowieka, która podobnie jak zmiana klimatu i aktywność pożarowa, bezsprzecznie powoduje zanikanie tych cennych ekosystemów. Zwraca także uwagę na konieczność ich ochrony oraz możliwości odtwarzania, co jest szczególnie ważne w kontekście wpływu torfowisk na globalny obieg CO₂, który wciąż pozostaje niedoszacowany. Przeprowadzone przez Doktorantkę analizy i dyskusje wskazują na konieczność prowadzenia badań nad wymianą węgla pomiędzy przedmiotowymi ekosystemami a atmosferą, co stanowi wprowadzenie do zasadniczej problematyki prowadzonych badań nad oceną wpływu parametrów optycznych atmosfery na zdolność pochłaniania CO₂ przez torfowisko w Rzecinie, których wyniki wraz ze szczegółowym opisem metodyki omówiono w dwóch kolejnych pracach cyklu.

W drugiej publikacji przedstawione zostały wyniki badań i analiz dotyczące oszacowania wielkości wpływu właściwości optycznych atmosfery determinujących stopień rozpraszania promieniowania słonecznego w atmosferze na produktywność netto torfowiska (NEP) w Rzecinie w warunkach bezchmurnego nieba. Podstawę analiz stanowiły bezpośrednie wyniki pomiarów wspomnianych powyżej parametrów prowadzonych na obiekcie badawczym. Doktorantka zastosowała prosty model transferu radiacji (ART) wg Justusa i Parisa, który pozwolił na uzyskanie wartości strumieni promieniowania fotosyntetycznie aktywnego, stanowiących dane wejściowe do modelu produktywności ekosystemu (EP). Takie podejście umożliwiło oszacowanie wielkości produktywności netto torfowiska w powiązaniu z wielkością rozpraszania i absorpcji promieniowania słonecznego w atmosferze. Model uwzględniał wielkość respiracji ekosystemu opisaną w funkcji temperatury. Do analiz przyjęto okres, w którym zdolność pobierania CO₂ przez roślinność torfowiska była stała. Wyznaczono go w oparciu o wartości wskaźnika roślinności NDVIb, obliczone na podstawie gęstości strumieni promieniowania krótkofalowego i fotosyntetycznie aktywnego, pomierzonych bezpośrednio na obiekcie. Taki zabieg pozwolił na wyeliminowanie wpływu fazy rozwojowej roślinności torfowiska na wielkość wymiany CO₂. Drugim kryterium selekcji danych były wartości niedosytu ciśnienia pary wodnej (VPD), powyżej których wymiana gazowa roślin ulegała znaczącej redukcji lub ustawała (przyjęto próg 20 hPa). Kryterium doboru warunków bezchmurnych stanowiły dane dotyczące aerozolowej grubości optycznej (AOT), skalibrowane zgodnie z procedurami AERONET. Na tej podstawie do parametryzacji modeli ART i EP przyjęto okres od 13 czerwca do 18 września 2016 r. Natomiast symulację wpływu parametrów optycznych atmosfery tj. aerozolowa grubość optyczna (AOT500 dla 1 kwartyla, mediany i 3 kwartyla) i współczynnik rozpraszania promieniowania słonecznego ($DI \pm 0,1$ w stosunku do wartości obserwowanych) przeprowadzono tylko dla dnia 23 czerwca 2016 r., co umotywowane zostało dostępnością wszystkich niezbędnych danych i spełnieniem przez nie przyjętych kryteriów. Uważam, że Doktorantka zastosowała właściwe metody pomiarowe, obliczeniowe, statystyczne i analityczne. Należy podkreślić, że parametryzacja modeli ART oraz EP w oparciu o wyniki bezpośrednich pomiarów na torfowisku umożliwiła ocenę wielkości zmian produktywności netto tego ekosystemu, wynikających z wprowadzonych uzasadnionych modyfikacji rozpraszania promieniowania w atmosferze. Uzyskane wyniki obliczeń pozwoliły na uzyskanie dobowych rozkładów parametrów meteorologicznych i wskazały wyższe wartości temperatury powietrza, niedosytu ciśnienia pary wodnej i współczynnika rozpraszania w godzinach popołudniowych, podczas których obserwowano także wyższe wartości NEP, co wskazuje na większą efektywność pochłaniania CO₂ przez torfowisko w porównaniu do godzin porannych. Na podstawie przyjętych założeń i modyfikacji wykazano, że roślinność torfowiska reaguje na zmiany w stopniu rozpraszania światła. Wzrost wartości współczynnika rozpraszania o 0,1 powodował wzrost NEP w zakresie od 6,1% do 42,3%, jego zmniejszenie o 0,1 skutkowało redukcją wielkości NEP od 10,5% do 49,2% w stosunku do wartości obserwowanej. Wzrost wartości AOT z 0,09 do 0,17 powodował pochłanianie CO₂ (wzrost NEP w zakresie od 3,4% do 5,7%), co jednoznacznie wskazuje że zaproponowana metoda analiz pozwala na ocenę potencjału pochłaniania ditlenku węgla przez torfowisko. Doktorantka wykazała się także krytycznym podejściem do uzyskanych wyników parametryzacji zastosowanego modelu ART i jednocześnie wskazała możliwe przyczyny niedoszacowania wartości strumieni promieniowania rozproszonego oraz ograniczenia modelu EP, wynikające z przyjętej metodyki selekcji danych.

Swoistą kontynuację powyższych analiz stanowią zawarte w trzeciej publikacji wyniki badań nad oceną wielkości pochłaniania CO₂ przez torfowisko w Rzecinie w odniesieniu nie tylko do zmian zawartości aerozoli w atmosferze, ale także ich właściwości (absorbujące, nieabsorbujące). Należy podkreślić, że wraz z kolejną pracą Doktorantka zastosowała odmienne podejście, polegające na wykorzystaniu bardziej złożonego modelu transferu radiacji oraz uwzględnieniu wielkości produktywności ekosystemu brutto (GEP). Analizami objęto okres od maja do września 2018 r. Wielkości strumieni promieniowania krótkofalowego docierającego do powierzchni torfowiska, modyfikowane

obecnością aerozoli i chmur w atmosferze, a więc procesem jego absorbowania i rozpraszania, oszacowano za pomocą modelu transferu radiacji Fu-Liou (RTM). Jego wykorzystanie wymagało pozyskania danych satelitarnych oraz baz danych dotyczących m.in. masy chmur i ich optycznych właściwości. Natomiast informacje o właściwościach optycznych aerozoli pochodziły, podobnie jak w poprzedniej pracy, z pomiarów z wykorzystaniem fotometru słonecznego, prowadzonych bezpośrednio na torfowisku w Rzecinie. W celu powiązania wielkości produktywności ekosystemu brutto GEP z gęstością strumienia promieniowania fotosyntetycznie aktywnego PPFd wykorzystano zmodyfikowane równanie Michaelisa-Mentena, co jest metodycznie uzasadnione. Parametryzację modelu przeprowadzono dla zróżnicowanych warunków rozpraszania promieniowania słonecznego, wyrażonych wartościami współczynnika rozpraszania DI (bezchmurne niebo, średnio i całkowicie zachmurzone) dla poszczególnych miesięcy przyjętego na potrzeby prowadzonych analiz okresu badawczego. Uwzględniała ona także dynamikę rozwoju roślinności na torfowisku wyrażoną zmiennością wskaźnika roślinności NDVI, tym razem pozyskanego z wykorzystaniem danych satelitarnych. Kryterium selekcji danych stanowiły, podobnie jak w drugiej pracy cyklu, wartości niedosytu ciśnienia pary wodnej (<20 hPa). Oba modele zostały poprawnie zwalidowane. Do oceny wpływu właściwości optycznych aerozoli na wielkość rozpraszania promieniowania słonecznego, a w konsekwencji na wielkość pochłaniania CO_2 przez torfowisko przeprowadzono symulację ilości i właściwości aerozoli. Polegała ona na stopniowym zwiększaniu wartości aerozolowej grubości optycznej (AOD500) o wartości od 0,05 do 0,2 z zachowaniem rzeczywistych wartości albedo pojedynczego rozpraszania (SSA) oraz założeniu występowania silnie absorbujących i nieabsorbujących aerozoli, wyrażanych wielkością SSA wynoszącym odpowiednio 0,8 i 1,0 z zachowaniem rzeczywistych wartości AOD500. Na tym etapie założono niezmiennie właściwości chmur. Uważam przyjętą przez Doktorantkę metodykę za poprawną, a przeprowadzone analizy za spójne. Na podstawie przyjętych założeń i modyfikacji wykazano, że wzrost aerozolowej grubości optycznej przyczynił się do wzrostu zarówno wielkości współczynnika rozpraszania światła oraz produktywności ekosystemu brutto w okresie przyjętym do analizy średnio o odpowiednio 21,8 i 8,2%. Skutkowało to jednak spadkiem wartości PPFd o 4,6%. Przeprowadzona manipulacja wielkością albedo pojedynczego rozpraszania wykazała, że wzrost zawartości aerozoli absorbujących (SSA=0,8) spowodował spadek wielkości produktywności ekosystemu brutto GEP, promieniowania fotosyntetycznie aktywnego PPFd oraz wartości współczynnika rozpraszania światła DI, średnio odpowiednio o 6,0, 4,0 i 9,5%. Wprowadzona modyfikacja wzrostu zawartości aerozoli nieabsorbujących (SSA=1) nie wykazała jednak widocznego wzrostu produktywności GEP, PPFd oraz DI w analizowanych miesiącach od maja do października. Wartości SSA pomierzone w okresie przyjętym do analizy przyjmowały zbliżone wielkości do symulowanych.

Podsumowując, łączna liczba zacytowanych pozycji literatury w trzech publikacjach wchodzących w skład monotematycznego cyklu wynosi 385, z czego w znakomitej większości zostały one opublikowane w okresie ostatnich 20 lat i są anglojęzyczne. Pozwoliło to na wnikliwe rozeznanie stanu wiedzy przez mgr inż. Kamilę Harendę w zakresie podjętej w pracy tematyki, głównie w świetle badań zagranicznych. Potwierdza to również oryginalność podjętej problematyki badań dotyczącej wpływu właściwości optycznych atmosfery na produktywność torfowisk. O dobrym rozeznaniu przez Panią mgr inż. Kamilę Harendę analizowanego zagadnienia świadczą także wnikliwe dyskusje i konfrontacje uzyskanych wyników badań wraz z próbą ich wyjaśniania. Wysoko oceniam poziom merytoryczny recenzowanej rozprawy oraz dobre udokumentowanie pozyskanych wyników w postaci zamieszczonych w artykułach tabel i rysunków. Uważam, że Doktorantka właściwie dobrała metody badawcze, obliczeniowe oraz statystyczne, które pozwoliły jej na potwierdzenie postawionej hipotezy oraz osiągnięcie założonego głównego celu pracy. Autorka wykazała się umiejętnościami analitycznymi, o czym świadczy logiczne łączenie faktów i wnioskowanie. Pozytywnie oceniam także krytyczne podejście Pani mgr inż. Kamili Harendy do uzyskanych wyników w kontekście przyjętej metodyki i wskazanie ograniczeń jej stosowania. Doktorantka konsekwentnie realizowała zało-

żony cel pracy, publikując wyniki badań w wysoko punktowanych, przypisanych do dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka czasopismach (publikacja 2 i 3). Co ważne, w przedstawionym do oceny cyklu publikacji daje się zauważyć rozwój naukowy Doktorantki, o czym świadczy zakres wykorzystanych danych, stosowanych rozwiązań, czy zakres prowadzonych analiz, co z kolei przełożyło się na jakość czasopism, w jakich te wyniki zostały opublikowane, mierzoną współczynnikiem wpływu IF czy też liczbą punktów wg. listy MEiN. Należy także podkreślić kompleksowe podejście Doktorantki do postawionego celu pracy.

5. Wartość naukowa rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Kamili Harendy porusza aktualną i ważną tematykę oraz wnosi nowe wartości zarówno poznawcze jak i aplikacyjne do problematyki torfowisk, jako ekosystemów prowadzących efektywną sekwestrację CO₂ z obiegu. Prezentuje aktualny stan wiedzy na temat czynników determinujących prawidłowości i zaburzenia w ich funkcjonowaniu w kontekście obiegu wody i węgla, z finalnym przesłaniem o konieczności ich ochrony i odtwarzania jako elementów zrównoważonego rozwoju, co jest istotne dla łagodzenia efektu globalnego ocieplenia. Przeprowadzone analizy, obejmujące symulację pochłaniania CO₂ przez torfowisko w Rzecinie w odniesieniu do zastosowanych modyfikacji parametrów optycznych atmosfery, powodujących zmianę ilości i stopnia rozpraszania promieniowania słonecznego, oceniam bardzo wysoko. W tym miejscu należy podkreślić, że oparte są one na wynikach bezpośrednich pomiarów elementów meteorologicznych i parametrów optycznych atmosfery, jak i wciąż bardzo rzadko spotykanych w skali kraju pomiarów z wykorzystaniem technik badawczych, pozwalających na oszacowanie strumieni masy i energii wymienianej pomiędzy powierzchnią ekosystemu a atmosferą. Ponadto dotyczą ekosystemu torfowiska, który w naszym regionie geograficznym wciąż pozostaje słabo rozpoznany z punktu widzenia ilościowej oceny wpływu parametrów optycznych atmosfery na pochłanianie CO₂, co niewątpliwie stanowi duży atut podjętych badań.

Do najważniejszych osiągnięć recenzowanej rozprawy doktorskiej należy:

- poszerzenie stanu wiedzy w zakresie wpływu zmian właściwości optycznych atmosfery na produktywność torfowisk występujących w Europie Środkowej na przykładzie torfowiska przejściowego w Rzecinie;
- parametryzacja zastosowanych modeli transferu radiacji dla warunków lokalnych;
- parametryzacja modelu produktywności ekosystemu netto uwzględniającego wielkości strumieni promieniowania uzyskane za pomocą modelu transferu radiacji, co pozwoliło na powiązanie wielkości produktywności netto torfowiska z grubością optyczną aerozolu w warunkach bezchmurnego nieba;
- wskazanie progu dla niedosytu ciśnienia pary wodnej, powyżej którego produktywność netto torfowiska ulega redukcji;
- wykazanie, że wyższe wartości współczynnika rozpraszania promieniowania słonecznego mogą rekompensować spadek produktywności netto ekosystemu determinowany wyższymi wartościami temperatury i niedosytu ciśnienia pary wodnej w warunkach bezchmurnego nieba;
- wykazanie, na podstawie przeprowadzonych symulacji aerozolowej grubości optycznej i współczynnika rozpraszania promieniowania słonecznego, że roślinność torfowiska reaguje na zmiany w stopniu rozpraszania promieniowania słonecznego. Poprzez ilościowe oszacowanie wpływu parametrów optycznych atmosfery, determinowanych obecnością aerozoli, na produktywność netto ekosystemu w warunkach bezchmurnego nieba i na podstawie przyjętych kryteriów selekcji danych wykazano jednoznacznie, że zawartość aerozoli w atmosferze wpływa na intensyfikację wiązania CO₂ przez ten typ torfowiska;
- parametryzacja modelu produktywności brutto ekosystemu w oparciu o wskaźnik wegetacji roślin NDVI oraz wielkości współczynnika rozpraszania światła dla różnych zakresów stopnia rozpraszania;

- wykazanie, że w zależności od ilości i właściwości aerozoli w atmosferze torfowisko może reagować zarówno wzrostem, jak i spadkiem produktywności brutto ekosystemu;
- wykazanie, że zwiększanie aerozolowej grubości optycznej powoduje wzrost współczynnika rozpraszania promieniowania słonecznego, spadek wielkości promieniowania fotosyntetycznie aktywnego oraz wzrost produktywności brutto torfowiska;
- wykazanie, poprzez manipulację wartością albedo pojedynczego rozpraszania, że wzrost zawartości aerozoli absorbujących w atmosferze przyczynia się do spadku wielkości produktywności brutto torfowiska.

Uważam, że uzyskane wyniki, choć ograniczone skalą lokalną jak i zastosowanymi kryteriami ostatecznego wyboru bazy danych oraz warunkami badań w kontekście przebiegu pogody i aktualnej zawartości aerozoli w atmosferze, mają dużą wartość użyteczną i z pewnością stanowią zachętę dla Doktorantki do prowadzenia dalszych badań w zakresie podjętej w pracy problematyki. Opracowana i wykorzystana na potrzeby prowadzonych analiz metodyka powiązania wielkości produktywności torfowiska w odniesieniu do stopnia rozpraszania promieniowania słonecznego, poprzez modyfikację zarówno zawartości jak i właściwości aerozoli, może zostać zaadaptowana dla innych tego typu ekosystemów. Uzyskane wyniki mogą znaleźć zastosowanie w uzupełnieniu modeli zmiany klimatu w odniesieniu do możliwości pochłaniania CO₂ w skali globalnej. Mogą być przydatne w zagadnieniu modelowania zachowania chmur (ich zanikania) i modyfikacji rozpraszania promieniowania krótkofalowego w atmosferze co, jak wynika z analiz Pani mgr inż. Kamili Harendy, nie pozostanie bez wpływu na wiązanie CO₂ przez roślinność torfowiska. Otrzymane rezultaty mogą być także wskazówką, jakiej odpowiedzi ekosystemu można się spodziewać dla scenariuszy ograniczania emisji aerozoli do atmosfery w kontekście przeciwdziałania zmianie klimatu.

6. Uwagi dyskusyjne, krytyczne i redakcyjne

Po zapoznaniu się z treścią recenzowanej rozprawy doktorskiej nasuwają się drobne uwagi oraz pytania:

- w mojej ocenie w rozdziale 2 rozprawy pt. *Prezentacja badań* zabrakło syntetycznego omówienia metodyki prowadzonych badań, która była podstawą analiz zaprezentowanych w publikacjach 2 i 3 (okres badań, aparatura pomiarowa, koncepcja badań i analiz). Te informacje można odnaleźć w każdej z osobna z załączonych prac, do których odwołuje się Doktorantka w treści rozprawy, nie mniej ich syntetyczne ujęcie uczyniło by niniejszy rozdział bardziej czytelnym w odbiorze. W tym kontekście nasuwają się pytania:

- czy badania każdorazowo prowadzono w tej samej lokalizacji na torfowisku?
- dlaczego w analizach pominięto rok 2017? Jak wynika z opisu metodyki prezentowanej w poszczególnych pracach cyklu wynika, że prowadzone badania miały charakter ciągły;
- w drugiej publikacji cyklu wyniki zaprezentowanych analiz dotyczące ilościowego oszacowania wpływu zawartości aerozoli na wielkość produktywności netto torfowiska w warunkach bezchmurnego nieba oparto jedynie na pomiarach i symulacjach dla jednego dnia, co budzi pewne wątpliwości w kontekście ich reprezentatywności i powtarzalności;
- z jakimi trudnościami należy się liczyć przy adaptacji zastosowanej metodyki na n-torfowisko?
- w rozprawie doktorskiej na stronie 22 w. 4-6 od dołu oraz w pierwszej pracy cyklu str. 35 w. 22-26 od góry stwierdzono m. in., że „*Edukacja ma fundamentalne znaczenie dla osiągnięcia sukcesu w ochronie torfowisk, zwłaszcza w skali lokalnej*”. Jakie przykłady takich działań i ich mierzalne rezultaty są Pani znane?
- pomimo bardzo starannego opracowania treści rozprawy doktorskiej, należało zamiast „zestaw 3 artykułów naukowych” (str. 18, w. 3 od dołu) posługiwać się poprawnym pojęciem np. „monotematyczny cykl 3 publikacji” lub „cykl 3 tematycznie powiązanych publikacji”;
- na str. 44 w. 7-8 od dołu posłużono się pojęciem „optymalna faza rozwoju roślin” – jak należy je rozumieć w kontekście torfowiska oraz prowadzonych analiz;

- na str. 71 w. 7 od góry oraz str. 87 w. 5 od góry zamieszczono błędną nazwę czasopisma „*Agriculture and Forest Meteorology*” - poprawna nazwa „*Agricultural and Forest Meteorology*”;
- na str. 87 w. 10 od góry błędnie podano udział Doktorantki w opracowaniu trzeciej publikacji - 65%, podczas gdy z zamieszczonych oświadczeń wynika, że wynosił on 60%.

7. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Kamili Harendy pt. "*Ocena wpływu parametrów optycznych atmosfery na zdolność pochłaniania ditlenku węgla przez torfowisko*" stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego, jest interesująca i wnosi nowe wartości zarówno poznawcze jak i aplikacyjne do problematyki mieszczącej się w zakresie szeroko pojętej dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Uważam, że wskazane trzy artykuły stanowią spójną całość pozwalającą zrealizować założony cel główny pracy. Biorąc pod uwagę duże znaczenie podjętych badań, ich kompleksowość, bogaty przegląd literatury problemowej, uzyskane wyniki, poziom analiz i dyskusji stwierdzam, że rozprawa w pełni spełnia wymogi zawarte w art. 14 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. 2003 nr 65 poz. 595) oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 poz. 1789) z późniejszymi zmianami. W związku z powyższym, na podstawie art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. - przepisy wprowadzające Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz.1669 ze zm.), wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie wnioskuję do Rady o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Kamili Harendy.

Małgorzata Biniak-Pieróg

dr hab. inż. Małgorzata Biniak-Pieróg