

Prof. dr hab. inż. Radosław Juszcak

Poznań, 5 października 2022 r.

Pracownia Bioklimatologii

Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska

Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

RECENZJA

Pracy doktorskiej pt.: *„Zależność strumieni dwutlenku węgla i pary wodnej od refleksyjności ekosystemów mokradłowych na przykładzie doliny Biebrzy”* wykonanej przez mgr inż. Wojciecha Ciężkowskiego pod kierunkiem promotora dr hab. Jarosława Chormańskiego, prof. SGGW i promotora pomocniczego dr inż. Małgorzaty Kleniewskiej z Katedry Teledetekcji i Badań Środowiska, Instytutu Inżynierii Środowiska, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Recenzję wykonano na wniosek (pismo z dn. 2.08.2022) dr hab. inż. Beaty Gawryszewskiej, zastępcy dyrektora ds. kształcenia Instytutu Inżynierii Środowiska SGGW na podstawie decyzji Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki SGGW z dnia 6 lipca 2022 r. na podstawie dostarczonej wydrukowanej wersji monografii (wersja elektroniczna dokumentu nie została udostępniona).

Ogólna charakterystyka i uwagi do pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Ciężkowskiego jest liczącą 146 stron maszynopisu monografią naukową o typowym dla tego typu prac układzie. Zaczynając od wstępu, w którym zawarto cel i hipotezę badawczą, poprzez przegląd literatury, opis badań własnych i metodyki pozyskania i analizy danych, autor dzieła dochodzi do opisu uzyskanych wyników i dokonuje krótkiej dyskusji nad wynikami, aby w końcowej części pracy dokonać podsumowania i wyciągnąć wnioski. Monografia kończy się spisem literatury zajmującym aż 9 stron dokumentu. Niestety w pracy zabrakło zestawienia używanych oznaczeń i akronimów, spisu rysunków i tabel, a spis literatury nie jest ponumerowany (co nie ułatwia oceny pracy). Brakuje też tak klasycznie i zwyczajowo wymienianych w pracach promocyjnych podziękowań z informacją o projekcie i źródle finansowania badań, stąd trudno wnioskować o rzeczywistym zaangażowaniu doktoranta w pozyskanie danych wykorzystanych w rozprawie doktorskiej. Dobór źródeł literaturowych oceniam jako bardzo dobry. Zdecydowaną większość cytowanej w pracy literatury stanowią publikacje opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym. Proporcje pomiędzy poszczególnymi rozdziałami pracy są w większości prawidłowe, choć długość najważniejszego rozdziału w którym dokonuje się krytycznej dyskusji wyników, jest moim zdaniem zbyt krótka (zaledwie 8 stron), a rozdział ten jest merytorycznie słabo przygotowany. Praca jest w moim przekonaniu słabo przygotowana od strony stylistycznej i edycyjnej. Tekst monografii zawiera ponadprzeciętnie wiele błędów gramatycznych, stylistycznych i językowych (łatwych do znalezienia już na pierwszych stronach rozprawy), a numeracja rozdziałów pracy jest zaburzona i niezgodna z numeracją spisu treści począwszy od rozdziału 4.2. Wszystko to sprawia, że czytając dysertację ma się wrażenie jakby powstała ona w pośpiechu i bez należytej uwagi i przy lekceważącym stosunku do wagi przedkładanej do oceny rozprawy doktorskiej oraz pracy recenzenta.

Rozprawa doktorska ma na celu ocenę zależności strumieni dwutlenku węgla (CO₂) i pary wodnej (H₂O) mierzonych system kowariancji wirów, od współczynników odbicia (refleksyjności) promieniowania krótkofalowego w zakresie długości fal 400-1000 nm mierzonych za pomocą

hiperspektralnych spektrometrów na torfowisku zlokalizowanym w Dolinie Biebrzy. Problematyka badawcza podjęta przez doktoranta jest bardzo aktualna i wpisuje się w globalny nurt badań nad oceną wpływu ekosystemów naturalnych na właściwości chemiczne atmosfery, w tym na intensywność efektu szklarniowego w atmosferze oraz zastosowanie teledetekcji do badań środowiska, w tym do oceny stanu powierzchni ekosystemu, stanu zdrowotnego szaty roślinnej i wpływu czynników zewnętrznych na procesy fizjologiczne roślinności i towarzyszące im procesy wymiany gazowej CO₂ i H₂O. Zrealizowane badania są ważne ze względu na: 1) rolę torfowisk w globalnym obiegu węgla, 2) szczególną rolę Biebrzy – jako największego skupiska niezdegradowanych torfowisk w Europie i największego rezeruaru węgla organicznego zgromadzonego w pokładach torfu, 3) historycznie i klimatycznie uwarunkowaną degradację dużej części torfowisk w Polsce i w Europie i towarzyszące im wzmożone emisje gazów szklarniowych do atmosfery; a także ze względów metodycznych: 4) zastosowanie ustandaryzowanych systemów pomiarowych i procedur analizy danych, oraz 5) ocenę zależności wielkości strumieni gazów szklarniowych od sygnałów spektralnych.

Podkreślić należy, że każdy zbiór danych zawierający ciągłe i wieloletnie serie pomiarowe strumieni gazów szklarniowych wymienianych pomiędzy powierzchnią ekosystemu (zwłaszcza takiego jak torfowiska Biebrzańskie) a atmosferą jest niezmiernie cenny od strony naukowej. Dostarcza unikalnych informacji nt. naturalnej wrażliwości tych ekosystemów na zmienne warunki klimatyczne, wahania poziomów wód gruntowych, sposobu ich gospodarczego użytkowania i wpływu tych procesów na procesy wymiany gazowej, w tym emisji gazów szklarniowych do atmosfery. Unikalność prezentowanego w rozprawie doktorskiej zbioru danych jest tym większa, że w okresie pozyskiwania tych danych (2014-2017) na terenie torfowisk w Polsce funkcjonowały tylko trzy stacje pomiarowe z zainstalowanymi systemami kowariancji wirów, dwie w Dolinie Biebrzy (Uniwersytet Łódzki i SGGW), i jedna na torfowisku Rzezińskim w Wielkopolsce (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu). Tym bardziej szkoda, że w przeciwieństwie do dwóch pozostałych stacji, pomiary na stacji „Zośka” wykonywano tak krótko (zaledwie 4 lata) i nie kontynuowano ich po 2017 roku, a dane prezentowane w pracy opierają się jedynie na średnich wartościach strumieni, bez informacji o sezonowych/rocznych bilansach wymiany CO₂, tak istotnych dla podkreślenia roli tych ekosystemów w wymianie CO₂ pomiędzy ekosystemem a atmosferą. Prezentowany zbiór danych nabiera jednak szczególnego znaczenia, dlatego że równoległe do pomiarów kowariancyjnych strumieni gazów szklarniowych wykonywane były (w okresie 2015-2016) pomiary refleksyjności z wykorzystaniem hiperspektralnych spektrometrów Ocean Optics (USA) zainstalowanych na tej samej wieży pomiarowej. Pomiary teledetekcyjne stanu powierzchni ekosystemu w powiązaniu z mierzonymi strumieniami gazów szklarniowych dostarczają cennych naukowo i użytkowo informacji, na podstawie których możliwe staje się szacowanie wielkości strumieni gazów szklarniowych na podstawie mierzonych sygnałów spektralnych i liczonych na ich podstawie spektralnych wskaźników roślinnych. Dane te mogą służyć również do celów walidacyjnych, bowiem to na podstawie wyników pomiarów naziemnych możliwe staje się weryfikowanie produktów modelowania wykonywanego na podstawie danych lotniczych, lub satelitarnych. W tym zakresie prezentowane dane mają potencjalnie duży, aczkolwiek niewyeksplorowany potencjał, którego doktorant nie wykorzystał należycie w prezentowanej pracy. Oczywiście celem pracy była ocena zależności między strumieniami CO₂ i H₂O a refleksyjnością, i cel ten w pewnym zakresie zrealizowano, jednak ocena ta nie skutkuje jakimkolwiek modelem, wzorem, lub co byłoby naprawdę dużym osiągnięciem doktoranta – nowym spektralnym indeksem roślinnym dedykowanym szczególnie dla powierzchni użytków zielonych i/lub torfowisk. Z tego też względu, mam wrażenie, że doktorant zaprezentował niedokończoną pracę, pewien półprodukt, wskazując jedynie długości fal promieniowania, na podstawie których z dużą dokładnością można szacować wielkości

średnich strumieni CO₂ i H₂O stosując równania regresyjne, których w pracy nie podał. W jaki sposób można zatem skorzystać z wyników tych analiz i w jakiej formie dane te dostarczają nam nowej wiedzy albo poszerzają zakres wiedzy już posiadanej? Brak tych informacji - równań w formie końcowego produktu, które podkreślałyby oryginalność pracy, powoduje, że jako recenzent odczuwam spory niedosyt i mam poczucie zmarnowanego potencjału, który znajdował się w analizowanym zbiorze danych.

Co więcej, jako osoba od wielu lat realizująca badania wymiany gazów szklarniowych z zastosowaniem różnych technik mikrometeorologicznych oraz pomiary charakterystyk spektralnych i biofizycznych roślinności torfowisk nie mogę zrozumieć dlaczego doktorant z tak dużym uporem i najczęściej niepoprawnie używa w pracy terminu „mokradła” w odniesieniu do torfowisk Doliny Biebrzy. Pojęcie „mokradeł” zostaje co prawda poprawnie zdefiniowane przez doktoranta na str. 9 pracy, ale konsekwentnie aż do strony 45 pracy używa terminu „mokradła” pisząc min. o roli terenów podmokłych w obiegu węgla (opierając się praktycznie całkowicie na literaturze dotyczącej torfowisk). Słowo „torfowisko” użyte zostało jako słowo kluczowe wskazujące na ekosystem objęty badaniami (co ciekawe wśród słów kluczowych nie pojawia słowo „mokradła”), a następnie dopiero na stronie 45 pracy przy charakterystyce obszaru badań i niestety nie jest używane w dalszej części rozprawy. Tymczasem, choć każde torfowisko jest zaliczane do terenów podmokłych nazywanych mokradłami (z ang. *wetlands*), to nie każde mokradło jest torfowiskiem i nie każde mokradło pełni rolę taką jaką odgrywają w środowisku torfowiska, zwłaszcza te niezdegradowane. Mam wrażenie, że doktorant całkowicie pomylił te pojęcia i zlekceważył nawet to, że zdecydowana większość cytowanych przez niego prac (zwłaszcza w rozdziale dotyczącym opisu znaczenia mokradeł) dotyczy właśnie torfowisk (z ang. *peatlands*). Z uwagi na powyższe proszę aby podczas publicznej obrony doktorant przedstawił podział terenów podmokłych zgodny z międzynarodową klasyfikacją i krytycznie przeanalizował rolę mokradeł w obiegu węgla.

Z kwestii ogólnych, muszę zwrócić również uwagę na błędnie używaną przez doktoranta odmianę przez przypadki rzeczownika fala. W całej pracy rzeczownik „fala” w znaczeniu „fala promieniowania elektromagnetycznego”, używany jest w dopełniaczu w liczby pojedynczej – kogo? czego? – „fali” (np. „w zakresie badanych długości fali”, „dla dłuższych/krótszych fali” etc.). Tymczasem analizie poddawana jest refleksyjność (czyli współczynniki odbicia) dla całego widma promieniowania elektromagnetycznego w zakresie długości fal od 400 do 1000 nm, zatem dla fal o różnej długości w przedziale ograniczonym zakresem spektralnym stosowanego spektrometri. Zatem rzeczownik „fala”, poza przypadkami gdy jest wskazywana konkretna długość fali promieniowania, powinien być używany w dopełniaczu liczby mnogiej (np. w zakresie fal, fal krótszych/dłuższych etc.). Powielanie w całej pracy rzeczownika „fala” w dopełniaczu liczby pojedynczej („fali”) w sytuacjach gdy wskazywany jest pewien zakres długości fal promieniowania elektromagnetycznego niestety ale wskazuje, że być może zrozumienie pojęcia widma promieniowania i fal o różnej długości w tym widmie jest niewłaściwie rozumiane przez doktoranta.

Szczegółowa charakterystyka i uwagi do pracy

Rozprawa doktorska rozpoczyna się od streszczeń w wersji polsko- i angielskojęzycznej, po których znajduje się spis treści. Streszczenia są poprawnie napisane, choć oczekiwałbym w nich więcej informacji wskazujących na osiągnięcie doktoranta będące efektem pracy nad rozprawą doktorską oraz krótką wzmiankę o najważniejszych wynikach. Nade wszystko oczekiwałbym również, że na pierwszych stronach monografii nie będzie błędów gramatycznych i edycyjnych, których nie ustrzegł się doktorant pisząc np. „mierzonąej” zamiast „mierzonej”, bądź nie używając indeksów dolnych przy CO₂ i H₂O

(w spisie treści). W pierwszym rozdziale monografii pt. „*Wstęp i cel*” doktorant wprowadza czytelnika w tematykę rozprawy doktorskiej oraz określa cel, przyjęte założenie oraz wskazuje na szczegółowe problemy badawcze, które rozwiązuje w swej pracy. Wprowadzając w tematykę rozprawy doktorskiej doktorant przytacza jednak nieaktualne już wartości stosunków mieszania gazów szklarniowych (400 ppm dla CO₂, 1800 ppb dla CH₄ i 330 ppb dla N₂O) powołując się na Raport IPCC z 2014 roku, błędnie używając przy okazji pojęcia „stężenie”. Choć termin ten jest powszechnie błędnie i potocznie używany w odniesieniu do określania zawartości gazów szklarniowych w atmosferze, to jednak ppm i ppb określają stosunek mieszania, a nie stężenie. Podanie błędnych wartości stosunków mieszania w pracy doktorskiej jest tym bardziej niezrozumiałe, że już na str. 6 autor rozprawy powołuje się na aktualną opublikowaną wersję raportu IPCC z 2022 roku, a dane dotyczące zmian ilości gazów szklarniowych w atmosferze są regularnie aktualizowane min. na stronie NOAA <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/> (stosunek mieszania CO₂ w kwietniu/maju 2022 przekroczył poziom 420 ppm, obecnie jest nieco ponad 417 ppm; stosunek mieszania CH₄ przekroczył 1908 ppb; a zawartość N₂O jest już na poziomie przekraczającym 335 ppb). Co więcej, trudno zgodzić się ze stwierdzeniami, że technika kowariancji wirów pozwala na monitorowanie atmosfery poprzez pomiar strumieni gazów cieplarnianych w skali globalnej (str. 7) – jest to po prostu niemożliwe, oraz w świetle moich uwag dotyczących mokradła, że „*w skali globalnej mokradła mają ogromne znaczenie jako rezerwuary węgla*”. Co ważniejsze jednak, cel pracy nie jest wprost wskazany w tekście, a czytelnik musi domyślać się co jest celem rozprawy doktorskiej. Niestety nie użyto zdania zaczynającego się od „*celem pracy jest...*”, a zamiast tego napisano „*w pracy zbadano zależność...*”, co w istocie wskazuje na zakres pracy, ale nie na cel badawczy. Również jeśli chodzi o hipotezę badawczą odczuwam spory niedosyt. Podobnie jak wyżej, w tekście pracy nie ma ani jednego zdania zaczynającego się od np. „*przyjęto następujące hipotezy badawcze*” i choć znajdziemy zdanie zaczynające się od „*w niniejszej pracy założono, że...*” to jednak przyjęta hipoteza nie odzwierciedla w pełni ani zakresu pracy, ani problemu badawczego, który w niej rozwiązano. Według przyjętej hipotezy „*wielkość strumieni CO₂ i H₂O jest związana ze stanem siedliska, który można opisać z wykorzystaniem pomiarów refleksyjności w zakresie światła widzialnego (VIS) i bliskiej podczerwieni (NIR)*”, i choć hipoteza zapisana w tej formie ma nader ogólny charakter, to jednak mam wrażenie całkowicie nie została zweryfikowana i w żadnym z wniosków będących efektem pracy nie zawarto informacji wskazujących na weryfikację przyjętych założeń. Rozdział pt. „*Wstęp i cel*” Niestety jest słabo przygotowany edycyjnie. Na czterech stronach tekstu czytelnik znajdzie aż 8 błędów gramatycznych i językowych, które występują już w pierwszym zdaniu: „*podlega ciągłym zmianom...*” (str. 5) zamiast „*zmianom*”. W dalszych częściach tego rozdziału znajdują się następujące błędy: „*wypromieniowuje energie*” (str. 5); „*gazy cieplarnie*” (str. 5); „*konsensu naukowy*” (str. 5); „*zajmu*” (str. 7); „*Ponad to dotyczą on*” (str. 7); „*w Doliny Biebrzy*” (str. 7).

W kolejnym rozdziale monografii pt. „*Przegląd literatury*” na 35 stronach pracy doktorant opisuje znaczenie mokradła w obiegu węgla i wody, charakteryzuje strumienie masy i energii wymieniane pomiędzy powierzchnią czynną ekosystemu a atmosferą, szczegółowo charakteryzuje założenia metodyczne metody kowariancji wirów oraz teledetekcyjne metody szacowania strumieni CO₂ i H₂O. W tej części pracy nieproporcjonalnie dużo uwagi (aż na 19 stronach) poświęcono opisowi założeń metody kowariancji wirów, stosowanych poprawek niezbędnych do obliczenia wartości strumieni gazów i sposobom uzupełniania braków w ciągach danych pomiarowych. Gdyby rozprawa doktorska powstawała kilkanaście lat temu i dotyczyła oceny działania samego systemu i weryfikacji stosowanych poprawek, lub gdyby miała stricte metodyczny charakter i dotyczyłaby wyłącznie pomiarów kowariancyjnych, wówczas być może tak szeroki opis zagadnień związanych z techniką pomiarową byłby uzasadniony. Oceniana praca doktorska dotyczy jednak innych aspektów – oceny

zależności strumieni CO₂ i H₂O od refleksyjności powierzchni torfowiska. Tymczasem, opisowi roli mokradeł w środowisku poświęcono zaledwie 3.5 strony, a charakterystyce wyników prac przedstawiających zależności gazów szklarniowych od innych danych pozyskanych metodami teledetekcyjnymi i sposobom szacowania strumieni gazów szklarniowych z wykorzystaniem tych metod poświęcono zaledwie 10 stron. Jak wskazano powyżej, jako niewłaściwe uważam opisywanie roli mokradeł w obiegu węgla, bez wskazania, że podawane przykłady dotyczą konkretnie torfowisk. O ile każde torfowisko może być opisane jako mokradło (*wetland*), o tyle nie każde mokradło akumuluje węgiel organiczny w procesach torfotwórczych. Ta funkcja ekosystemowa jest zarezerwowana wyłącznie dla torfowisk, i to tych niezdegradowanych. Kolejna uwaga dotyczy sposobu opisu strumieni netto CO₂. Z całą pewnością wzór na NEE (na str. 15) matematycznie jest poprawny, ale zazwyczaj przyjęło się, że NEE jest to różnica pomiędzy ilością CO₂ zasymilowaną przez ekosystem (określaną jako produkcja pierwotna brutto, GPP), a ilością CO₂ wyemitowaną przez powierzchnię czynną w procesach oddychania ekosystemu (Reco). Zatem poprawniej jest zapisać wzór na NEE w formie: $NEE = GPP - Reco$. W praktyce jednak NEE liczy się jako sumę GPP i Reco (z uwzględnieniem tego, że strumienie te mają przeciwny znak), co jest zgodne ze wzorami 3.1. i 3.2 na str. 52 i wskazane byłoby przyjąć w całej pracy tą samą, a na pewno jednolitą notację. Jako niefortunny uważam również zapis na str. 32 „w nocy przez zahamowanie procesu fotosyntezy wartości GPP dążą do zera”, bowiem fotosynteza jest procesem zależnym od promieniowania fotosyntetycznie aktywnego, a strumień tego promieniowania nocą jest równy 0, zatem również i GPP musi być równe 0. Podobnie też, przy opisie sztucznych sieci neuronowych za niefortunne i nadmiernie upraszczające uważam napisanie „sieć neuronowa składa się z neuronów połączonych synapsami” (str. 30). Opisany rozdział pracy jest niestety wysycony wieloma błędami gramatycznymi, stylistycznymi i edycyjnymi, które wymieniam poniżej: „dla różnych strumień” (str. 8), „nie wyodrębniają mokradeł jak oddzielnej klasy” (str. 9), „soligeniczne (zasilana przez...)” (str. 9), „niewielkiej zlewni własnej” (str. 9), „obszar ich oddziaływania jest znacznie większych niż” (str. 11), „składają się z dwa strumienie” (str. 14), „ilość danej substancji przepływającą przez” (str. 16), „strumień turbulencyjny w takie sytuacji” (str. 18), „fluktuacja gęstość wody” (str. 20), „charakteryzują się małą częstotliwości” (str. 23), „w praktycy” (str. 23), „szereg testów pozwalający wykryć” (str. 23), „wielkość spoza zakresu” (str. 24) -> wielkości, „na podstawie całe analizowanej” (str. 24), „zmiany prowadzących do” (str. 24), „normalizowana przez odchylenie standardowych” (str. 24), „oznaczany jak niepoprawny” (str. 24), „starty spektralne” (str. 26), „możne je” (str. 29), „nie będzie homogeniczność” (str. 34) -> homogeniczności, „stochastycznych metodami” (str. 34), „mogą wykonywane” (str. 35), „jest bezpośredniego refleksyjności” (str. 36), „stacji kowariancyjnej (str. 36), „wież kowariancyjnych” (str. 36), „do wyznaczania GPP wykorzystaniem” (str. 36), „wykorzystuje on na danych z sensora” (str. 37), „podejście zostało zaproponowali” (str. 38), „Eddy covairance” (str. 38), „dokładność modelu został sprawdzona” (str. 38), „oddzielnego typu pokrycia (str. 39), „za wyznaczanie GPP wyznaczone m.in.” (str. 40), „jedną z najprostszyc metody” (str. 40), „od lat 80 ubiegłego wieku” (str. 40), „potrzebna jeszcze wyznaczyć” (str. 42), „w modelach dwuźródłowe” (str. 43), „skrajnych piksel” (str. 44), „modele dwuźródłowe mają wymagają małej ilości pomiarów terenowych” (str. 44).

Rozdział „Badania własne” rozpoczyna się od charakterystyki obszaru badań oraz opisu systemu pomiarowego. W dalszych częściach tego rozdziału doktorant dokonuje opisu metod analizy danych pomiarowych z systemu kowariancji wirów, uzupełniania braków w ciągach danych pomierzonych oraz sposobu obliczania refleksyjności i analizy regresyjnej zależności strumieni CO₂ i H₂O od refleksyjności. Rozdział ten ma poprawną i logiczną strukturę, choć informacje w nim zawarte są w części nieścisłe, lub zawierają błędy. Na przykład, 1) na str. 45 napisano, że badania realizowano od maja 2014 do sierpnia 2017 roku, podczas gdy z tabeli 3.1 (str. 46) wynika, że był to czerwiec 2014-

wrzesień 2017. W tym wypadku wskazane byłoby jednak wspomnieć, że autor ma na myśli wyłącznie pomiary kowariancyjne wymiany gazowej, bowiem pomiary spektralne wykonywano tylko w krótkich kilkumiesięcznych okresach sezonu wegetacyjnego 2015 i 2016 roku; **2)** opisując otoczenie stacji wskazano, że zarośla wiązówki błotnej znajdują się od zachodu, podczas gdy z rys. 3.1 wynika, że są od wschodu; **3)** nie podano informacji na jakiej wysokości zainstalowany był system kowariancji wirów (EC) oraz czy zmieniano wysokość instalacji systemu EC np. po koszeniu; **4)** wymieniając czujniki pomiarowe wskazane byłoby podać również typ czujnika, a nie tylko producenta (dotyczy termohigrometru Visala); **5)** w przypadku opisu rodzajów promieniowania, zamiast słowa „natężenie” bardziej poprawnie jest napisać „gęstość strumienia” promieniowania; **6)** nie jest jasne co doktorant rozumie poprzez „klimatologiczny obszar źródłowy” na rys. 3.1, domyślam się że chodzi o tzw. „footprint”, czyli obszar oddziaływania, ale jeśli tak, to dotyczy on wyłącznie systemu kowariancji wirów, a nie wszystkich czujników znajdujących się na maszcie na co może wskazywać opis pod rys. 3.1; **7)** z przedstawionego opisu analiz zależności regresyjnych (str. 55) nie jest jasne jakie dane spektralne i dla jakiego przedziału czasowego były analizowane; czy były to wartości średnie z przedziału czasowego +/- 3h od południa słonecznego (jak napisano na str. 54), czy średnie dla całego dnia jak napisano na str. 55 („wyznaczono średnią refleksyjność ze wszystkich poprawnych wartości z całego dnia”) oraz w opisie zmiennych objaśniających („uśredniona dla całego dnia”). Czy wartości te były liczone dla wszystkich pomiarów refleksyjności z przedziału czasowego +/- 3h (na co wskazywałby opis na str. 54), czy może jednak z całego dnia na co wskazuje opis na str. 55? W tym kontekście doprecyzowania wymagałby zapis zmiennych objaśniających (str. 55), gdyż informacja, że refleksyjność liczona była dla każdego kanału jako średnia dla całego dnia może wprowadzać czytelnika w błąd. Zakładam, że długość „dziennych” serii pomiarowych danych z których liczono tą średnią jest inna dla strumieni CO₂ i inna dla refleksyjności; zakładam też, że wartości średnie 30-minutowe oraz dzienne refleksyjności policzono dla wartości refleksyjności z przedziału +/- 3h od południa słonecznego (zgodnie z informacją str. 54), a średnie dzienne wartości strumieni liczono dla wartości promieniowania $R_g < 20 \text{ Wm}^{-2}$, ale recenzent nie może się tego domyślać czytając pracę. Z uwagi na powyższe, doprecyzowania wymagałby również zapis wskazujący na sposób obliczenia wartości średnich dziennych strumieni CO₂ i H₂O, bowiem napisanie, że strumienie określone były „na podstawie ilości promieniowania całkowitego” jest niewystarczające. Fakt, że na str. 52 znajduje się informacja, że jako nocne traktowano pomiary z $R_g < 20 \text{ Wm}^{-2}$ jest niewystarczające – tym bardziej, że zapis ten dotyczył wyłącznie modelowania Reco. **8)** na str. 52 napisano „na podstawie pomiarów o najlepszej jakości estymowane są stałe wartości T_o i T_{ref} ” - jak to rozumieć, skoro wartości T_o i T_{ref} przyjęto za stałe (tak wynika również ze wzoru 3.2 oraz wprost z równania Lloyda i Taylora (1994)), to w jaki sposób i po co są estymowane?; **9)** zła referencja: wzór 3.1 na str. 52 raczej nie jest zaczerpnięty wprost z pracy Falge i in. 2001, a w opisie tej pozycji literaturowej w spisie treści doktorant wymienił tylko 10 z 34 autorów; **10)** nieścisłość terminologiczna - GPP (*Gross Primary Productivity*) poprawnie zdefiniowano na str. 14 pracy, w części metodycznej pracy (str. 55) użyto jednak pojęcia „produkcja pierwotna ekosystemu” -> zabrakło słowo brutto; **11)** nieścisłe opisy systemu pomiarowego: w rozdziale 3.2 napisano, że spektrometry Ocean Optics wchodzące w skład systemu pomiarowego umieszczone były „w skrzynce izolującej je od wpływu warunków meteorologicznych” (str. 47). Jak rozumiem, skrzynka ta zapewniała osłonę przed wpływem opadów i promieniowania bezpośredniego, ale czy skrzynka była stabilizowana termicznie, po to aby zminimalizować wpływ fluktuacji temperatury wewnątrz spektrometru na wartość mierzonego sygnału? W wypadku pomiarów promieniowania z wykorzystaniem spektrometrów hyperspektralnych, fluktuacje temperatury mają istotny wpływ na wskazania tego urządzenia i powinny być brane pod uwagę

podczas analizy danych. Czy uwzględniono ten czynnik w pracy? Co więcej, w opisie systemu pomiarowego zabrakło jakichkolwiek informacji nt. kalibracji spektrometrów. Czy i jak oraz jak często kalibrowano spektrometry wykorzystane w badaniach? Proszę też o wyjaśnienie jak konstrukcyjnie rozwiązano kwestie pomiarów promieniowania docierającego i odbitego: **a)** czy zapewniono pełną synchronizację pracy obu spektrometrów, tzn. czy pomiary obu strumieni promieniowania wykonano w tym samym momencie, jeśli nie, jakie były przesunięcia czasowe obu pomiarów – o ile w stabilnych warunkach przy bezchmurnym niebie czynnik ten nie ma tak dużego znaczenia, o tyle podczas pomiarów w warunkach z występującym zachmurzeniem czynnik ten istotnie wpływa na wartość obliczonej refleksyjności; **b)** jak technicznie spektrometry były zainstalowane i w jaki sposób transmitowany był strumień fotonów do spektrometrów (domyślam się że za pośrednictwem światłowodów, ale w pracy nie ma żadnej wzmianki na ten temat). W pracy dotyczącej pomiarów spektrometrycznych, w których wykorzystuje się rozwiązania prototypowe konieczne jest zawarcie dokładnych opisów systemów pomiarowych i analizy danych, a same opisy najlepiej jeśli są poparte dokumentacją np. fotograficzną. **12)** celem uniknięcia wątpliwości konieczne byłoby wyjaśnienie dlaczego liczba pomiarów ET30 jest większa niż dla pozostałych strumieni (Tab. 3.2)? **13)** w opisie wykorzystanych statystyk należałoby uzasadnić dlaczego wykorzystano poszczególne miary statystyk i wskazać różnice pomiędzy współczynnikiem korelacji Pearsona, a współczynnikiem rang Spearmana (w całej pracy stosuje się określenie współczynnik Spearmana, choć jest to nieściśle: prawidłowa nazwa to współczynnik rang Spearmana) oraz informacje dotyczącą interpretacji tych wartości (w części wynikowej pisze się min. że przy współczynniku rang Spearmana 0.3 korelacje są „stosunkowo wysokie” (str. 72); Współczynnik korelacji rang Spearmana opisuje dowolną zależność monotoniczną, w tym także nieliniową. W całej pracy używa się jednak tego współczynnika jako opisującego zależności nieliniowe. Wymagałoby to wyjaśnienia w części metodycznej pracy. Należałoby również wyjaśnić znaczenie i interpretację wartości zastosowanych statystyk będących miarą dopasowania modelu (R^2 , RMSE, a w szczególności współczynnik efektywności modelu Nasha–Sutcliffe'a). W podsumowaniu tej części pracy z przykrością stwierdzam, że powyższe uwagi wskazują, iż opis systemu pomiarowego i sposobu analizy danych nie jest wystarczająco jasny dla czytelnika, co może wpływać negatywnie na zrozumienie i interpretację wyników zawartych w pracy. Niestety i w tej części dysertacji doktorant nie ustrzegł się od błędów gramatycznych i edycyjnych, które niniejszym wymieniam: „cenniejszych przyrodniczych obszarów” (str. 45); „konwencji ramsarskiej (str. 45) -> z dużych liter; „Były one wykonywane” (str. 48) na początku zdania -> powinno być: *Pomiary były wykonywane*; brak indeksów dolnych CO₂ i CH₄ (str. 10, 49); „W mniejszej pracy” (str. 50); „Moncrieff” (str. 50) -> Moncrieff; „reflektanci” (str. 54, 56); w tytule rysunku 3.3 napisano „służącej do uzupełniania braków” (ale czego?) -> wskazane byłoby dopisać „danych pomiarowych”; „przeanalizowana istotność” (str. 57) -> powinno być „przeanalizowano”.

W rozdziale „Wyniki” scharakteryzowano najpierw wyniki pomiarów meteorologicznych dla całego okresu pomiarowego 2014-2017, a następnie wyniki pomiarów wykonanych systemem kowariancji wirów oraz wyniki pomiarów spektralnych dla sezonu wegetacyjnego 2015 i 2016 roku. W kolejnych podrozdziałach tej części pracy scharakteryzowano wyniki analiz regresyjnych zależności strumieni CO₂ i H₂O od refleksyjności. W odniesieniu do informacji zawartych w podrozdziale 4.1 zawierającym opis warunków meteorologicznych sugerowałbym, aby doktorant z większą uwagą podchodził do opisu rysunków. W tytule rysunku 4.1 napisano, że rysunek prezentuje „przebiegi średniej dobowej temperatury”. Informacja ta jest jednak nieprecyzyjna, ponieważ czytelnik musi wiedzieć jakiej temperatury: powietrza, powierzchni czynnej, czy gleby. Oczywiście informacja ta znajduje się w legendzie rysunku, ale rozwiązanie takie jest niewystarczające. Co więcej, w tytule

rysunku 4.3. znajduje się tytuł kolejnego podrozdziału 4.2 „wyniki pomiarów kowariancyjnych” ze str. 64, co skutkuje tym, że: 1) opis wyników pomiarów kowariancyjnych nie ma nagłówka informującego o zawartości rozdziału oraz, że 2) cała numeracja dalszej części pracy jest zaburzona i niezgodna z numeracją znajdującą się w spisie treści. W rozdziale tym niestety znajdują się również niewłaściwie użyte określenia np. „elementów metrologicznych” (str. 59) zamiast meteorologicznych; „panuje stosunków niskie” (str. 60); „wilgotności względnych powietrza” (str. 61, rys. 4.1).

Rozdział 4.2. „Wyniki pomiarów kowariancyjnych” jest niestety stosunkowo słabo przygotowany. Moje uwagi lub wątpliwości wymieniam poniżej: **1)** w odniesieniu do jednostek, w których wyrażone są strumienie CO₂ – zamiast $\mu\text{molC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ powinno być $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (błąd ten powiela się niestety w wielu częściach pracy); **2)** w odniesieniu do samych wartości strumieni CO₂ – zgodnie z przyjętą na str. 14 notacją, NEE i GPP powinny być wyrażane ze znakiem ujemnym, a nie jak jest w tekście jako wartości dodatnie (ujemne wartości NEE oznaczają przewagę procesu asymilacji CO₂ (GPP) nad Reco), tymczasem w całym rozdziale NEE podawane jest w wartościach dodatnich, co wprost sugeruje, że badany ekosystem był netto emitentem, a nie pochłaniaczem CO₂ (co jest niezgodne z rys. 4.6); **3)** błędnie określono okresy, w których nie działał system EC: zamiast październik-lipiec 2014, powinno być październik-listopad 2014; zamiast listopad-grudzień 2015 powinno być luty, maj-wrzesień i listopad-grudzień 2015 (zgodnie z rysunkiem 4.5 str. 67); **4)** na str. 64 napisano, że stacja była niesprawna w lutym oraz na przełomie listopada i grudnia 2015 roku, a pozostały okres charakteryzował się „niską jakością danych” - na podstawie rys. 4.4 mogę wnioskować jednak, że choć system EC działał w tym okresie, to jednak funkcjonował wadliwie, a dane pomiarowe z tego okresu wegetacyjnego są w większości bezwartościowe, lub nie ma ich wcale; **5)** z uwagi na powyższe wnioskowanie o jakichkolwiek dobowych, czy sezonowych wartościach strumieni w tym okresie jest obciążone bardzo dużą niepewnością. Dlatego nie odważyłbym się na podstawie serii danych z 2015 roku wnioskować nt. średnich rocznych wartości strumieni GPP, NEE, Reco – co zrobił doktorant wskazując, że średnie strumienie GPP roku 2015 były niższe niż Reco, ze względu na jak pisze „intensyfikację procesów związanych z oddychaniem ekosystemu” oraz że „zmiana kierunku wymiany CO₂ w roku 2015 jest spowodowana niskimi opadami w okresie wegetacyjnym”, nawet jeśli obserwacje te są zbieżne z wynikami zespołu Prof. Fortuniaka. **6)** na jakiej podstawie wskazuje się na „znaczny udział procesu transpiracji w strumieniu pary wodnej”? **7)** niezbędna jest większa precyzja w opisie/interpretacji uzyskanych wyników: nie można pisać np. „przez większość okresu wegetacyjnego dominującym procesem jest fotosynteza przez co strumień GPP jest większy od Reco i skutkuje pochłanianiem CO₂ z atmosfery”. Stwierdzenie to jest po części prawdziwe, ale błędnie wyrażone. Należałoby napisać np. „przez większość okresu wegetacyjnego procesy asymilacji CO₂ przeważają nad oddychaniem ekosystemu, dlatego strumień GPP jest większy od Reco, co skutkuje, że torfowisko było netto pochłaniaczem CO₂”; **8)** rys 4.4. nie może być w odcieniach szarości – flagi jakie przypisano poszczególnym strumieniom są całkowicie nierozróżnialne. **9)** nie jest jasne, czy przebiegi dobowych wielkości ewapotranspiracji z rys 4.7. pokazują dane pomierzone, czy będące efektem modelowania? Nie jest jasne w jaki sposób uzupełniano braki w ciągach danych pomiarowych strumieni H₂O (nie opisano tej procedury w metodyce)? **10)** błędnie wskazano termin koszenia użytku zielonego - czy aby na pewno proces ten miał miejsce na początku lipca jak wskazano na str. 64? Z rys. 4.4 wynika bowiem, że był to raczej przełom lipca/sierpnia, lub najpóźniej początek sierpnia 2016 r. Pokos z początku lipca raczej dotyczył 2017 roku (rys. 4.4); **11)** błędy gramatyczne i językowe min.: „pochłaniane wynosiło” (str. 64); „danych wstępujących” (str. 64); „poza okresem wegetacyjny” (str 65); „intensyfikacja procesów ... powodują” (str. 65).

Kolejny Rozdział 4.3 zawierający opis wyników pomiarów spektralnych zaczyna się niestety od złej numeracji (jest 4.2, a powinno być 4.3) będącej efektem błędu wskazanego powyżej. Moje wątpliwości i uwagi merytoryczne do rozdziału: **1)** nie jest całkowicie jasne jakie kryteria jakościowe decydowały o wyodrębnieniu danych spektralnych „dobrej jakości”? Czy był to wyłącznie wskaźnik przejrzystości atmosfery (CI), i w związku z tym, wszystkie dane dla $CI > 0.6$ (zgodnie z informacją na str. 54.) uznano za dane dobrej jakości? **2)** nie jest jasne co doktorant rozumie przez „chwilowe wartości refleksyj” (rys. 4.8) i co przedstawiają dane na rys. 4.8? Czy są to średnie spektra z przedziału czasu +/- 3h, lub +/- 1h od południa słonecznego? - należałoby to wskazać w opisie danych celem uniknięcia wątpliwości; **3)** trudno zgodzić się ze stwierdzeniem, że „głównym powodem zmian w otrzymanych wartościach refleksyj jest dobowa i sezonowa zmiana kąta padania promieni słonecznych” oraz „siła i kierunek wiatru, które wpływają na położenie liści względem słońca”. Jeśli prezentowane zakresy zmienności refleksyj są ograniczone dla danych z przedziału +/- 3h, a tym bardziej +/- 1h od południa słonecznego, to efekt wpływu wysokości słońca/kąta padania promieniowania słonecznego na współczynniki odbicia promieniowania został zminimalizowany (oczywiście znacznie lepiej byłoby tu pokazać spektra z przedziału +/- 1h od południa słonecznego). Interpretując te wyniki całkowicie pominięto kwestię tego, że na wartości refleksyj z powierzchni pokrytej roślinami wpływa stan fizjologiczny roślin, który zmienia się podczas całego sezonu wegetacyjnego, zależy od występujących warunków siedliskowych i meteorologicznych (np. podczas suszy), czy od użytkowania powierzchni terenu (np. na początku sierpnia 2016 skoszono łąkę zieloną, co diametralnie zmieniło stan powierzchni i strumień odbitego promieniowania, a tym samym i same spektra promieniowania).

W rozdziałach 4.4 i 4.5 na 57 stronach pracy przedstawiono opis kluczowych dla rozprawy doktorskiej wyników analiz regresyjnych zależności strumieni CO_2 i H_2O od refleksyj. Podobnie jak rozdział 4.3, również i te rozdziały zaczynają się od złej numeracji (jest 4.3, a powinno być 4.4, zamiast 4.4. powinno być 4.5), a dodatkowo w samym tytule rozdziału 4.4 jest niepotrzebny błąd, napisane jest bowiem „od refleksyj we przy wszystkich”. Ponadto, mam szereg uwag merytorycznych: **1)** w całym rozdziale nie jest jasne jakie wartości współczynników odbicia (refleksyj) promieniowania korelowano ze strumieniami CO_2 . O ile dość oczywiste jest, że wartość 30 minutowe strumieni CO_2 korelowano z uśrednionymi do okresów 30 minutowych wartościami refleksyj dla każdej długości fal w zakresie 400-1000 nm, o tyle niejasne jest, czy zrobiono to dla danych z całego dnia, czy tylko z godzin +/- 3 h od południa słonecznego. Nie jasne jest również, które wartości refleksyj (liczone dla +/- 3h, czy +/- 1h od południa słonecznego) korelowano z dziennymi i dobowymi wartościami strumieni CO_2 . Informacja ta nie jest zawarta w metodyce, ani w części wynikowej pracy, a istotnie wpływa na interpretację wyników i analizę poprawności zawartych opisów; **2)** Rysunki 4.10-4.12 i kolejne w następujących rozdziałach części wynikowej prezentujące wartości współczynników: determinacji, Nasha-Sutcliffea i RMSE, wszystkie rysunki mają moim zdaniem ten sam błąd (zakładając, że właściwie zinterpretowałem przyjętą metodykę) – odnoszą się bowiem do wyników uzyskanych na podstawie próby treningowej, a powinno być napisane raczej próby walidacyjnej. Choć nie jest to takie oczywiste z opisu na str. 56, to jednak wnioskuję, że współczynniki korelacji Pearsona i rang Spearmana wyliczono na podstawie próby treningowej (wartości tych współczynników prezentuje min. rys. 4.9), a następnie uzyskane równania regresji liniowej i nieliniowej wykorzystano do wyliczenia szacowanych wartości strumieni. Z kolei, dokładność dopasowania modelu wyrażono natomiast poprzez analizę współczynnika determinacji R^2 , RMSE i współczynnika efektywności modelu NSE wyliczonych dla próby walidacyjnej (a wartości tych wskaźników prezentują min. rys. 4.10-4.12). **3)** Błąd średni kwadratowy RMSE powinien być raczej wyrażony w wartościach bezwzględnych ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), a nie w % jak na str. 72 i rys. 4.12, str. 74 (oraz na kolejnych stronach rozdziału 4.4 - wg. poprawnej numeracji). Pytanie

jaką miarę statystyk wykorzystano - RMSE, czy znormalizowany średni błąd kwadratowy (NRMSE) wyrażony w %. 4) Wyjaśnić należy również czym różnią się analizy zależności dla dobowych i dziennych wartości GPP? Jeśli strumienie GPP są liczone prawidłowo, to dla okresów zdefiniowanych jako noc (zakładam dla $R_g < 20 \text{ Wm}^{-2}$) $GPP=0$, a zatemienne i dobowe wartości GPP powinny mieć tę samą wartość; również analizy zależności GPP od refleksyjności powinny dać ten sam wynik. Tak jednak nie jest, pytanie dlaczego? 5) jako mało poprawną formę opisu wyników uznaję przyjęcie sztywnego ramowo wzorca tekstu, w którym zmieniają się tylko niektóre zdania i wartości wyników (dotyczy całego rozdziału 4.4 i 4.5). Układ każdego podrozdziału w tych rozdziałach, schemat opisu danych i prezentacji wyników jest taki sam, a tekst często identyczny (przy zmienionych wartościach przedstawiających wyniki), lub nieznacznie zmodyfikowany (zwłaszcza w rozdziale 4.5). Skutkuje to często niestety tym, że te same błędy stylistyczne, gramatyczne i językowe są powielane w kolejnych podrozdziałach, co jest niestety irytujące. Efektem tego działania jest również i to, że na str. 119 (ostatni akapit) brakuje części dwóch zdań (końcówki jednego i początku kolejnego), przez co cały akapit nie ma sensu. Na plus takiego rozwiązania jednak działa to, że w powyższej sytuacji przy stałym schemacie tekstu można odtworzyć brakujące części zdań; 6) z opisu metodyki analiz na str. 57 wynika, że do zestawu 1 danych poddanych analizie wyselekcjonowano 10 długości fal o największej częstości i istotności, osobno dla każdego strumienia CO_2 (GPP, Reco, NEE) i przedziału czasowego (nadal nie rozumiem jednak jakie dane spektralne/z jakiego przedziału czasowego zaliczone są do zbioru danych 30-minutowych, a jakie do tzw. „dziennych” i „dobowych”). Z kolei, do zestawu 2 wykorzystano 10 długości fal wspólnych dla wszystkich strumieni wyselekcjonowanych na podstawie analiz statystycznych wyników regresji wielorakiej wykonanych na podstawie analizy danych zestawu 1. Jak to się jednak ma do opisu wyników i danych prezentowanych na rysunkach 4.66, 4.68 i 4.70? W wypadku danych 30-minutowych CO_2 napisane jest, że do zestawu 2 wyselekcjonowano sześć długości fal (a nie 10); dla sum dobowych CO_2 wyselekcjonowano do zestawu 2 dwie fale (a nie 10); a dla średnich okołopołudniowych i średnich dziennych nie wyselekcjonowano ani jednej wspólnej długości fali dla wszystkich strumieni, która zaliczona byłaby do zestawu 2 (tak interpretuję zapis „ze wszystkich badanych długości fali ani jedna nie występowała w zestawie 1 dla wszystkich strumieni”). Opisy te nie są jednak zbieżne z ww. rysunkami, na których pionowe linie czarne i czerwone wyznaczają wartości graniczne częstości występowania danej fali (których liczba wydaje się być inna niż podana w tekście) jako zmiennej objaśniającej wyselekcjonowanej odpowiednio do zestawu 1 i 2 oraz z rysunkami 4.65, 4.67 i 4.69, na których przedstawiono wartości współczynników determinacji dla zależności regresyjnych dla trzech zbiorów danych (dla wszystkich długości fal, dla zestawu 1 oraz dla zestawu 2). Dodatkowym utrudnieniem jest to, że na rys. 4.70 i 4.72 widoczne są cztery a nie dwie linie. 7) Rozdziały te są niestety wysycone błędami gramatycznymi, językowymi i stylistycznymi, które wymieniam poniżej: „Błędy średniokwadratowe (...) oscyluje” (str. 75, 84); „analizowanych fali, pozostałych długości fali” (str. 71, 75); „dla tego zakresu długości fail” (str. 78); „dla większość długości fali” (str. 78); „zależności NEE_{12} zawiera się” (str. 78); „współczynniki nie przekraczają” (str. 81); „dla dłuższych fali” (str. 84); „pomierzonych wartości GPP” (str. 84) -> GPP jest wyliczone na podstawie pomierzonego NEE i wymodelowanego Reco; nie jest pomierzone; „świadczą o słabsze zależności” (str. 87); „nie przekraczają wartość” (str. 87); „najsilniej korelują z wartości” (str. 90); „średni wartość błędów przyjmują” (str. 90); „obserwowane są dał” (str. 93); „średnia wartość oscyluje” (str. 93); „współczynnik korelacji liniowej i nieliniowej” (str. 96, 99, 102); „wartości współczynniki korelacji” (str. 96); „są obserwowano dla” (str. 99); „najsilniej z Reco koreluje z refleksyjnością” (str. 99, 105); „dla pojedynczych losować zbioru” (str. 102); „zwierają się między” (str. 108); „związany z losowanie próby” (str. 114); „zaznaczono na ich progową częstość od której kanały zostały przypisane” (str. 114); „zauważyć

możne" (str. 115,118,119,123,124,126); „*spółczynnika*" (str. 115,116,118); „*istotnie statystyczny*" (str. 115,118,119,121,123); „*średni współczynniki*" (str. 116); „*Wartości współczynnika*" (str. 115, 116, 118, 121, 123); „*średni współczynniki*" (str. 116); „*współczynniki (...) wykorzystujący*" (str. 116); „*Dwa zestawów*" (str. 116,11.8,121,123); „*była dodawany*" (str. 117,120,122, 125); „*Nie jest aż istotna*" (str. 118); „*anijedna*" (str. 121); „*Dizennyh*" (str. 125); „*ani jedna nie powtarzała się*" (str. 126).

Rozdział „*Dyskusja*” jest w istocie częścią rozprawy, w której na 8 stronach pracy doktorant dokonał podsumowania uzyskanych wyników. Rozdział ten zawiera elementy dyskusji naukowej, ale jest ona niestety bardzo pobieżna. Przykładem jest chociażby pierwszy podrozdział, w którym zaledwie na jednej stronie tekstu odnosząc się zaledwie do czterech publikacji innych autorów dokonano dyskusji nad wynikami uzyskanych strumieni dwutlenku węgla. Przedstawiony opis trudno nazwać dyskusją wyników, zawiera błędy te same, które pojawiały się we wcześniejszych rozdziałach (np. złe jednostki: $\mu\text{molCm}^{-2}\text{s}^{-2}$; brak indeksów dolnych przy CO_2 , dodatnie wartości GPP, odnoszenie się do mokradła, a nie torfowiska) i najdalej idące uproszczenia sposobu interpretacji i prezentacji wyników, np. napisano: „*widać przewagę Reco ($7.3 \mu\text{molCm}^{-2}\text{s}^{-2}$) nad GPP ($6.1 \mu\text{molCm}^{-2}\text{s}^{-2}$) w znacznej części sezonu wegetacyjnego*”. Co przedstawiają wartości tych strumieni? Wartości średnie sezonowe/roczne? Jak je wyliczono – na podstawie danych pomierzonych, czy wymodelowanych (nie wynika to z metodyki)? W zdecydowanej większości znanych mi prac poświęconym badaniom wymiany gazów szklarniowych pomiędzy powierzchnią czynną ekosystemu a atmosferą nie porównuje się średnich wartości strumieni, a bilanse sezonowe/roczne. Dlaczego dysponując wymodelowanymi wartościami strumieni w części wynikowej nie policzono bilansów rocznych CO_2 i nie odniesiono się w dyskusji do wartości strumieni wyrażonych np. w $\text{gCO}_2\text{-Cm}^{-2}\text{rok}^{-1}$ celem oceny, czy dane stanowisko badawcze, przy ekstensywnym systemie użytkowania i w konkretnych warunkach meteorologicznych jest netto emitentem, czy pochłaniaczem CO_2 ? Rozumiem, że ocena bilansu wymiany CO_2 nie była celem pracy, ale w trakcie opisu wyników doktorant jednak kilkakrotnie odnosił się do tego czy stanowisko badawcze w danym roku więcej pochłania, czy emituje CO_2 , z tym że ocena ta dokonana była na podstawie średnich rocznych wartości strumieni. Pomijam już fakt, że po uwzględnieniu powyższej uwagi znacznie łatwiej byłoby dyskutować nad uzyskanymi wynikami i porównywać strumienie gazów szklarniowych z innymi stanowiskami badawczymi na torfowiskach, lub dla innych ekosystemów. Cóż wnosi do dyskusji zdanie kończące ten podrozdział: „*Wyniki metaanalizy, w której porównano wyników pomiarów kowariancyjnych z 43 stacji zlokalizowanych na różnego typu mokradłach [Lu i in. 2017], szczegółowo opisują duże zróżnicowanie strumieni CO_2 na różnego typu mokradłach*”?

W kolejnych podrozdziałach tego rozdziału doktorant odnosi się do uzyskanych wyników zależności badanych strumieni CO_2 i H_2O od „*zdalnych pomiarów spektralnych*”. Trochę szkoda, że reprezentując Katedrę Teledetekcji i Badań Środowiska kilkakrotnie używa określeń „*zdalnych pomiarów*” zamiast teledetekcyjnych, a pisząc o zależnościach strumieni CO_2 od charakterystyk spektralnych pisze ogólnie o „*gazach*” (np. „*strumieni gazów*”) – pytanie jakich gazów? Podobnie jak poprzednio dyskusja nad wynikami jest w mojej ocenie nadmiernie pobieżna, a doktorant nie dokonuje w niej krytycznej oceny uzyskanych wyników w odniesieniu do opracowań innych autorów, i choć próbuje, to jednak interpretacja uzyskanych wyników jest nadmiernie uproszczona, lub nieściśła. Na przykład, jak rozumieć stwierdzenia: „*Badania nad zależnością wartości Reco od pomiarów spektralnych są rzadziej wykonywane (...) co wiąże się z faktem zależności od procesów odbywających się w glebie związanych z oddychaniem autotroficznym i heterotroficznym, która nie jest bezpośrednio obserwowalna za pomocą technik zdalnych na obszarach porośniętych gęsto roślinnością*”. Lub kolejne „*Wybranie kanałów spektralnych spowodowało największy spadek dokładności modeli dla danych dziennych (...)*”, i kolejne: „*Ma to miejsce dlatego, że strumienie GPP i Reco są związane bezpośrednio*

z roślinnością (GPP) lub z glebą (Reco) i odpowiednia kombinacja kanałów spektralnych pozwala na ich prawidłowy opis. Natomiast strumienie NEE zależą w całości od siedliska, w związku z tym opis wartości NEE wymaga zastosowania szerszego zakresu spektralnego promieniowania niż wykorzystany w pracy." Zdania te są dość niefortunnie sformułowane, a niektóre stwierdzenia świadczą być może i o tym, że zrozumienie przez doktoranta tego czym są strumienie GPP, NEE, Reco i od czego zależą, jakie procesy fizjologiczne determinują wielkość tych strumieni jest niewystarczające. **Nade wszystko, w dyskusji nad wynikami nie odniesiono się wprost do celu pracy i postawionej hipotezy badawczej, podczas gdy jej weryfikacja jest jednym z ważniejszych elementów każdej pracy badawczej.** Z błędów gramatycznych, językowych i stylistycznych w tym rozdziale wymienić można następujące przykłady: „*innych obszarów mokradłach*” (str. 128); „*wielkości strumienia (...) jest...*” (str. 128); „*porównano wyników pomiarów*” (str. 128); „*proejct*” (str. 129); „*Kanda*” (str. 129); „*zawierające 62 i 83 artykuł*” (str. 129); „*jak i możliwe najdokładniejszy*” (str. 129); [www] (str. 129) -> co to za cytowanie?; „*aż po wykorzystaniem*” (str. 130); „*stosują model LUE*” (str. 131); „*polaryzacji VV i VH*” (str. 131) -> co to jest?; „*zależności zawsze była istotnie słabsza*” (str. 132); „*metodą PLSR*” -> należy podać pełną nazwę – skrót wcześniej nie wyjaśniony; „*analiza regresyjna wykonana w tej pracy wykonana została dla*” (str. 133); „*pokazują brak zależności zależność*” (str. 133); „*miedzy*” (str. 134); „*parametrami był wskaźniki*” (str. 134); „*co wiążę się*” (str. 134); „*z wartościami ET z dla obu skali*” (str. 135); „*uzyskali model o wartości R²*” (str. 135).

Wnioski będące efektem realizacji prac badawczych zawarto na dwóch stronach pracy. Wymieniono trzy główne wnioski odnoszące się do postawionych we wstępie pytań i uzyskanych wyników. Wnioski te są poprawnie napisane i wynikają z wyników pracy, choć nie odnoszą się wprost do postawionego celu i hipotezy badawczej. Dodatkowe stwierdzenia podsumowujące pracę nie wynikają jednak wprost z analiz przeprowadzonych w pracy. W dysertacji nie porównywano wyników strumieni CO₂ na stacji „Zośka” z wynikami innych pomiarów kowariancyjnych wykonywanych w podobnym okresie na terenie torfowisk Biebrzańskich, lub w innych obszarach, stąd stwierdzenie że „*strumienie CO₂ na stacji „Zośka” mają przebiegi podobne do..*” jest zbyt daleko idące. Kolejne stwierdzenie odnoszące się do wpływu warunków meteorologicznych na strumienie CO₂ raczej też nie jest poparte analizami przeprowadzonymi w pracy. Oczywiście przedstawiono w części wynikowej rysunki prezentujące przebiegi elementów meteorologicznych i strumieni CO₂ (pomierzonych i wymodelowanych), ale analiza dotycząca wpływu warunków meteorologicznych na strumienie CO₂ nie była przeprowadzona. Fakt, że na podstawie wysoce niepewnych, a na pewno obarczonych dużym błędem wyników modelowania strumieni CO₂ z 2015 roku, kiedy to system EC nie działał przez większość czasu, wskazują na mniejsze GPP i większe Reco, nie może być wykorzystany do stawiania powyższego stwierdzenia.

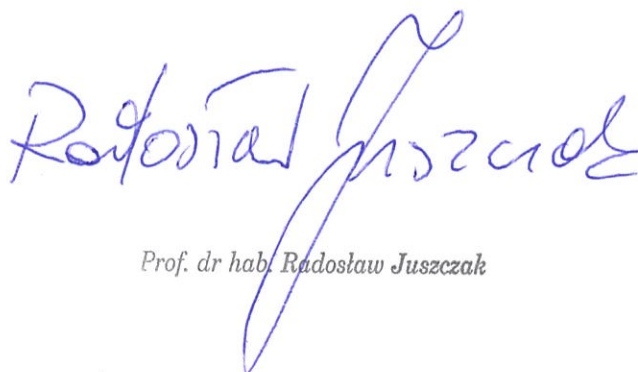
Podsumowanie

Przedstawiona do oceny dysertacja mgr inż. Wojciecha Ciężkowskiego dotyczy ważnych i aktualnych zagadnień oceny wielkości strumieni gazów szklarniowych (CO₂ i H₂O) wymienianych pomiędzy powierzchnią torfowiska a atmosferą oraz zależności tych strumieni od współczynników odbicia promieniowania w zakresie długości fal 400-1000 nm. Doktorant z całą pewnością musiał mierzyć się z nowymi dla niego zagadnieniami i jestem pewien, że w trakcie prac nad rozprawą doktorską zdobył nową wiedzę, umiejętności i kompetencje. Z całą pewnością rozwijał pod opieką promotorów swój warsztat analityczny i badawczy. Mam świadomość, że znajdujące się powyżej w większości krytyczne uwagi o charakterze merytorycznym mogą sprawiać wrażenie, że moja ocena pracy jest negatywna. Faktem jest, że doktorant nie ustrzegł się szeregu szczególnie irytujących błędów

edycyjnych, językowych, stylistycznych, czy gramatycznych, których nagromadzenie wskazuje jedynie na to, że oceniana rozprawa doktorska powstała w pośpiechu i nie została opracowana z należytą starannością przy lekceważącym stosunku do recenzentów i wagi przedkładanej do oceny pracy. Nie powinno tak być! Dzieło to ma przecież otworzyć młodemu badaczowi drzwi do szeroko pojętego świata nauki i udowodnić, że po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych będzie On potrafił funkcjonować samodzielnie realizując swoje pomysły badawcze. Mam nadzieję, że tak się stanie, a krytyczna ocena wielu aspektów Jego pracy sprawi, że w przyszłości będzie podchodził do pracy ze znacznie większą starannością i dokładnością. Bo chociaż nagromadzenie różnych błędów merytorycznych i nieścisłości w ocenianej pracy jest bardzo duże, to jednak potencjał tkwiący w analizowanym zbiorze danych jest całkiem spory i mam nadzieję że wyniki tej pracy, po uwzględnieniu powyższych uwag i sugestii, zostaną opublikowane w renomowanym czasopiśmie.

Do osiągnięć doktoranta będących efektem prac nad rozprawą doktorską zaliczyłbym: **1)** wykazanie, że regresja wieloraka z wykorzystaniem refleksji dla wszystkich długości fal promieniowania w całym spektrum promieniowania od 400 do 1000 nm pozwala na szacownie wielkości strumieni CO₂ (zarówno GPP, Reco i NEE) z dużą dokładnością i stosunkowo niewielkim błędem nieprzekraczającym 25%; **2)** potwierdzenie, że dla danych okołopołudniowych błęd szacowania strumieni CO₂ i ET na podstawie danych spektralnych jest najmniejszy; **3)** wykazanie, że odpowiednio dobrany zestaw długości fal pozwala na szacowanie wielkości strumieni CO₂ i ET z zadowalająco dobrą dokładnością (choć mniejszą, niż przy wykorzystaniu wszystkich długości fal w całym mierzonym spektrum). Z kolei, do największych mankamentów pracy zaliczyłbym to, że: **1)** nie przedstawiono żadnych równań na podstawie których można by wprost skorzystać z wyników pracy, stąd nie ma mowy o żadnej „implementacji wyników”, o której we wnioskach pisze doktorant; **2)** analizując dane spektralne poprzestano jedynie na refleksji i nie brano pod uwagę powszechnie stosowanych w badaniach teledetekcyjnych spektralnych indeksów roślinnych; **3)** zapomniano o tym, że praca badawcza ma określony cel i zdefiniowane hipotezy, które należy zweryfikować; oraz **4)** bardzo duże nagromadzenie różnorodnych błędów gramatycznych, językowych, stylistycznych, edycyjnych, które pozostawiają po sobie niestety nienajlepsze wrażenie.

Niemniej jednak, pomimo wszystkich uwag krytycznych oceniana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, którego podjął się kandydat do stopnia doktora. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że spełnione są ustawowe warunki jakim powinny odpowiadać rozprawy doktorskie określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o dopuszczenie rozprawy do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania mgr inż. Wojciechowi Ciężkowskiemu stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.



Prof. dr hab. Radosław Juszcak