

emerytowany profesor

Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie

## Recenzja

**Pracy doktorskiej pt. „Dynamika wymiany CO<sub>2</sub> między torfowiskiem w Rzecinie a atmosferą z uwzględnieniem właściwości optycznych powietrza” wykonanej przez mgr inż. Mateusza Samsona w Pracowni Bioklimatologii Wydziału Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (UPP) pod kierunkiem dr hab. Bogdana H. Chojnickiego, profesora UPP oraz dr hab. Iwony S. Stachlewskiej, prof. Uniwersytetu Warszawskiego**

### Uwagi ogólne

Praca doktorska mgr inż. Mateusza Samsona dotyczy bardzo ważnego zagadnienia określania dynamiki wymiany ditlenku węgla pomiędzy obszarem torfowiskowym a atmosferą. Istniejące modele tej wymiany są ciągle niedostatecznie dokładne i brakuje danych eksperymentalnych uwzględniających heterogeniczność warunków wilgotnościowych i temperaturowych siedlisk oraz zróżnicowanie ich pokrywy roślinnej. Tymczasem, torfowiska mogą odegrać istotną rolę w walce ze zmianami klimatu jako znaczące magazyny węgla, zdolne do utrzymywania lub uwalniania go w zależności od warunków. Szacuje się, że w torfowiskach całego świata znajduje się od 500 do 1000 miliardów ton węgla, co czyni je bardziej skoncentrowanymi magazynami węgla organicznego niż lasy czy atmosfera. Proces torfotwórczy przez ostatnie 11 tysięcy lat skutecznie redukowało stężenie CO<sub>2</sub> w atmosferze. W przeszłości torfowiska miały znaczący wpływ na globalne zmiany klimatyczne, a ich przyszłość w dużej mierze zależy od działań człowieka. Obecnie, bez ochrony, torfowiska mogą przekształcić się z pochłaniaczy w źródła emisji węgla, co przyczynia się do efektu cieplarnianego. W tym kontekście wydaje się, że tematyka pracy jest niezwykle aktualna.

Na wielki szacunek zasługuje szeroki zakres badań eksperymentalnych zaplanowanych i przeprowadzonych w ramach pracy obejmujący dziesięcioletnie pomiary wymiany CO<sub>2</sub> metodą kowariancji wirów, uzupełnione standardowymi pomiarami meteorologicznymi, w tym bilansu promieniowania słonecznego i fotosyntetycznej gęstości strumienia fotonów. Metoda kowariancji wirów jest jedną z najczulszych i najdokładniejszych metod szacowania wymiany gazowej, ale wymaga olbrzymiej wiedzy teoretycznej i bieżącej kontroli stanu urządzeń pomiarowych jak również umiejętności posługiwania się wysublimowanymi metodami analitycznymi interpretacji uzyskanych danych. Sposób zaplanowania i przeprowadzenia badań jak również analiza wyników nie budzą zasadniczo zastrzeżeń i świadczą o umiejętności Doktoranta samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W pracy zaproponowano nowe podejście do analizy strumieni CO<sub>2</sub> między torfowiskiem a atmosferą uwzględniające zmienność przestrzenną roślinności oraz optyczne właściwości atmosfery wpływające na pochłanianie CO<sub>2</sub>. Wyniki pracy poszerzają wiedzę o wymianie CO<sub>2</sub> między

kompleksami roślinnymi torfowisk a atmosferą, co może przyczynić się do lepszego zrozumienia ich funkcjonowania i roli w bilansie wymiany gazowej. Dlatego uważam, że recenzowana praca doktorska mgr inż. Mateusza Samsona stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczo-społecznej.

### Szczegółowa analiza pracy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska liczy 112 stron, w tym jeden załącznik (6 stron) z tabelą uzyskanych danych dla poszczególnych lat. Zawiera 3 tabele, 27 (czarno-białych i kolorowych) rysunków oraz 220 pozycji literaturowych, w większości obcojęzycznych. Na wstępie pracy znajdują się oświadczenia: promotorów rozprawy doktorskiej i jej autora o oryginalności pracy, samodzielności jej przygotowania i nienaruszaniu praw autorskich oraz o zgodności elektronicznej wersji pracy z jej formą wydrukowaną. Autor zawarł również długą listę podziękowań i dedykację.

Tytuł pracy, pomimo, że jest krótki, w pełni uwzględnia zawarte w niej treści. Praca składa się z 9 podstawowych rozdziałów obejmujących: wstęp, hipotezy, cele i zakres rozprawy, przegląd literatury, opis i charakterystykę obszaru badań, metodykę, wyniki, dyskusję, podsumowanie i wnioski oraz spis literatury. Dodatkowo na końcu pracy znajduje się spis rycin, spis tabel i wykaz skrótów i symboli, który pomimo iż praca nie zawiera zbyt wiele wzorów pomaga zapamiętać używane przez autora symbole i jednostki używanych wielkości.

W krótkim wstępie (2 strony) Autor przedstawia przesłanki podjęcia badań dynamiki wymiany CO<sub>2</sub> między torfowiskiem a atmosferą z uwzględnieniem właściwości optycznych powietrza. Już w tej pierwszej części pracy widać z jak złożoną tematyką Doktorant ma do czynienia i jak naglące są potrzeby rozwiązania metodycznych problemów związanych z zaplanowanymi badaniami. Wstęp podkreśla znaczenie torfowisk jako kluczowych ekosystemów lądowych, bogatych w bioróżnorodność i wpływających na globalny cykl węgla. Autor podkreśla rolę tych obszarów w regulacji emisji gazów cieplarnianych, takich jak CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub>, oraz ich wrażliwość na zmiany warunków klimatycznych. Dodatkowo w Wstępie podkreślono istotny wpływ zmiennego w czasie i przestrzeni promieniowania bezpośredniego i rozproszonego na fotosyntezę i produktywność roślinności. Na podstawie wstępu można stwierdzić, że tematyka pracy jest dobrze uzasadniona, aktualna i może przyczynić się do rozwinięcia wiedzy na temat torfowisk oraz ich roli w globalnym systemie klimatycznym.

W rozdziale „Hipotezy, cele i zakres rozprawy” określono jeden cel główny, którym jest „oszacowanie dynamiki wymiany CO<sub>2</sub> dla poszczególnych kompleksów (zbiorowisk) roślinnych z uwzględnieniem właściwości optycznych powietrza.” oraz 3 cele szczegółowe związane z oceną sezonowej dynamiki produktywności poszczególnych kompleksów roślinności, rocznej sumy pochłaniania netto CO<sub>2</sub> dla poszczególnych kompleksów roślinności oraz oceną reakcji wydzielonych kompleksów roślinnych na rozpraszanie promieniowania docierającego do powierzchni. Wydaje się, że cele badań zostały sprecyzowane wystarczająco jasno i precyzyjnie i świadczą one o ambitnym podejściu Doktoranta do rozpatrywanego problemu. Doktorant w tym rozdziale sformułował również 2 hipotezy badawcze. Wydaje mi się, że o ile pierwsza z nich została w pracy pozytywnie zweryfikowana to druga tylko w sposób jakościowy a nie ilościowy. Do analizy zmienności czasowo-przestrzennej potrzebne byłoby wykorzystanie metod geostatystycznych i dodatkowych pomiarów czego autor nie wykonał. Autor w skondensowany sposób przedstawił na końcu tego rozdziału zakres przeprowadzonych prac opisując zawartość poszczególnych rozdziałów.

Rozdział przeglądu literatury dobrze wprowadza w metodologię prowadzonych badań. Jest on dobrze skomponowany i obejmuje aktualny stan wiedzy na temat znaczenia i metodyki określania

bilansu ditlenku węgla dla ekosystemów (głównie obszarów torfowiskowych) z uwzględnieniem zmienności właściwości optycznych atmosfery. Autor podzielił ten rozdział na pięć podrozdziałów, a podrozdział trzeci dodatkowo na dwa podrozdziały. W kolejnych podrozdziałach zajmuje się omówieniem globalnych zmian parametrów optycznych atmosfery, wpływem właściwości optycznych atmosfery na produktywność ekosystemów, omawia koncepcję wymiany netto CO<sub>2</sub> z punktu widzenia ekosystemu i metody pomiaru, w tym metodę kowariancji wirów i metody komorowe. Przedstawiono również informacje na temat badań obszarów podmokłych, głównie w Polsce i związku globalnego ocieplenie z funkcjonowaniem torfowisk. W mojej ocenie, fakty przedstawione w tym rozdziale świadczą o bardzo dobrym rozeznaniu w klasycznej i najnowszej literaturze dotyczącej tematyki badań i o tym, że Doktorant podejmując temat był dobrze przygotowany do części doświadczalnej. Jedyną uwagę jaką mam po przeczytaniu tego rozdziału jest to, że większość podrozdziałów zawiera wiedzę zbyt ogólną i powszechnie znaną oraz że brakuje odniesienia się w nim do kwestii tak fundamentalnych z punktu widzenia tematyki doktoratu jak procesy biochemiczne (tlenowe i beztlenowe) w poszczególnych warstwach torfowisk determinujące emisje gazowe, wpływ czynników środowiskowych i budowy torfowiska na przebieg emisji, zróżnicowania zdolności retencyjnej różnych rodzajów torfu i procesów biochemicznych w torfowisku towarzyszących ich osuszaniu.

Rozdział 4 zatytułowany „Opis i charakterystyka obszaru badań” podzielony został na 3 części opisujące kolejno: położenie geograficzne obszaru badań, florę i faunę torfowiska w Rzecinie oraz warunki klimatyczne na badanym obszarze. Moje uwagi do tej części są następujące:

- Z informacji o położeniu geograficznym torfowiska wynika, że ma ono charakter przejściowy i że jest zasilane przez wody atmosferyczne, a odwadniane przez rów Rzeckiński. Dodatkowo z informacji zawartych w cytowanej pracy Barabach, J., & Milecka, K. (2013) wynika, że na części torfowiska obserwowane są przekształcenia antropogeniczne struktury torfowiska (związane np. z wypasem zwierząt), a w innej cytowanej pracy (Wojterska, M., Stachnowicz, W., & Melosik, I., 2001) napisano, że teren torfowiska jest zróżnicowany zarówno pod względem trofii jak i wilgotności. W związku z tym wydaje się, że warunki hydrologiczne w badanym obszarze są niejednorodne. W związku z tym należałoby podać w pracy informacje dotyczące zróżnicowania poziomu wód gruntowych w obszarze torfowiska w okresie prowadzenia badań, odczynu torfu i wód zasilających torfowisko, które mogły mieć istotny wpływ na wartości R<sub>eco</sub>. Czy badania takie były prowadzone w analizowanym okresie?
- W opisie obszaru badań brakuje informacji nt. zróżnicowania struktury wewnętrznej torfowiska (rodzaj podłoża skalnego podścielającego teren torfowiska, charakterystyki glebowe torfu na badanym obszarze). Czy dane takie są były zbierane i są dostępne?

W rozdziale 5 Doktorant opisuje w sposób usystematyzowany metodykę badań. Rozdział ten podzielony jest na części dotyczące systemu pomiarowego i metod analizy danych. W bardzo elegancki i precyzyjny sposób opisany jest system kowariancji wirów wraz z metodą jego kalibracji i pomiarami uzupełniającymi pomiary wymiany gazowej (temperatura i wilgotność względna powietrza, prędkość i kierunek wiatru, bilans promieniowania, fotosyntetyczna gęstość strumienia fotonów, temperatura gleby w profilu i strumień ciepła glebowego, wskaźnik stopnia ulistnienia (LAI) wzdłuż 4 transektów) oraz system rejestracji danych. Z przedstawionego opisu wynika, że w badaniach zastosowano najnowocześniejsze istniejące systemy pomiarowe, a metodyka pomiaru i analizy danych nie budzi żadnych wątpliwości. Jedyną moją uwagę do części pomiarowej dotyczy braku kontroli warunków wilgotnościowych gleby przynajmniej w warstwie powierzchniowej i poziomu wody gruntowej. Jest to szczególnie trudne do zrozumienia w kontekście tego co pisze Doktorant we wstępie, że wartości emisji CO<sub>2</sub> z torfowiska zależą głównie od temperatury i wilgotności gleby. Do dyskusji jest również to czy

dla poprawy i weryfikacji modelu partycjonowania CO<sub>2</sub> z pomiarów kowariancyjnych nie byłoby wskazane przeprowadzenie dodatkowych badań komorowych w wybranych terminach w celu określenia aktualnych wartości strumieni autotroficznego i heterotroficznego. Ale zdaję sobie sprawę, że istotnie wpłynęło by to na pracochłonność badań.

W pracy przyjęto powszechnie stosowane metody analizy danych ze stacji kowariancyjnej. Obejmowały one wstępne przetwarzanie danych (obliczanie gęstości strumieni netto ciepła jawnego, ciepła utajonego parowania, i ditlenku węgla, korekcja strumieni ze względu na fluktuacje gęstości powietrza w związku ze zmianami temperatury i stężenia pary wodnej, korekcje dla anemometru ultradźwiękowego, maksymalizacja kowariancji, uśrednianie przedziałowe). W opisie tych metod powołano się na odpowiednią literaturę. Jedyna uwaga do tej części to brak wyjaśnienia skrótu WPL w tekście (str. 37 linia 709) i w spisie skrótów. Kolejnymi etapami analizy danych było określenie flag jakości, określenie prędkości tarciowej i analiza pola oddziaływania (footprint). Na podstawie przedstawionych danych można stwierdzić, że analizy te zostały wykonane prawidłowo a ich efektem jest mapka na Ryc. 7 oraz podział danych według sektorów kierunku wiatru (podrozdział 5.2.4). Kolejną istotną częścią obróbki danych było uzupełnianie nieciągłości w seriach pomiarowych, które zostało przeprowadzone przy wykorzystaniu oprogramowania REddyProc i dokładnie opisane w podrozdziale 5.2.5. Nie rozumiem tylko dlaczego do tego rozdziału włączono podpunkt, pt. „Szacowanie wartości strumieni GEP i Reco”, który stanowić powinien oddzielny podrozdział. Są w nim opisane podstawowe równanie wykorzystywane w metodzie wg Lassopa i in. (2010) użyte do partycjonowania strumieni (na bazie zmierzonych strumieni NEP i Reco (nocne wartości) określono wartości GEP i Reco). W przedstawionych wzorach Doktorant nie uniknął pewnych nieścisłości. We wzorze A6 występuje symbol R<sub>g</sub>, którego brakuje w objaśnieniu symboli i w Wykazie skrótów i symboli. Natomiast w objaśnieniach do tego równania występuje symbol R<sub>sin</sub>, którego nie ma we wzorze. Również ani w objaśnieniu tego równania, ani w Wykazie skrótów i symboli nie podano jednostki wielkości  $\beta$  (maksymalnej szybkości wychwytywania CO<sub>2</sub>). To samo dotyczy wielkości  $\beta_0$  występującej w równaniu A8. Podobnie niedbale przedstawiono równania A10-A12. W ich opisie brakuje objaśnienia symboli  $\rho$  i  $R_sIR$ . Brak również symbolu  $R_sIR$  w Wykazie skrótów i symboli. Ogólna uwaga dotyczy braku uświadomienia czytelnikowi pracy istotnych ograniczeń wybranego przez Doktoranta modelu partycjonowania wg Lassopa i in. (2010), co może mieć istotny wpływ na przeprowadzone analizy w rozdziale Wyniki. Chodzi tu głównie o to, że wybrany model jest dużym uproszczeniem rzeczywistych procesów związanych z wymianą strumieni między atmosferą i powierzchnią roślin. Nie uwzględnia on na przykład wpływu wilgotności gleby na respirację ani też rytmów dobowych przewodnictwa aparatów szparkowych, które również zależą od dostępności wody dla systemu korzeniowego roślin. Z tego punktu widzenia wydaje się, że metoda partycjonowania oparta głównie o temperaturę powietrza i niedosyt prężności pary wodnej jest dużym uproszczeniem i wskazana byłaby jej weryfikacja np. przy pomocy komór ciemnych. W podrozdziale 5.2.8 przedstawiono sposób wyznaczenia okresów stacjonarnej produktywności, czyli okresów, w których potencjał szaty roślinnej do pochłaniania CO<sub>2</sub> był stały w czasie. Do wyznaczenia progowej wartości NDVI<sub>b</sub> posłużono się analizą regresji liniowej pomiędzy uzyskanymi wartościami LUE a NDVI<sub>b</sub>, co przedstawiono na Ryc. 8. Nie podano jaki test istotności zastosowano aby sprawdzić istotność tej zależności. Na Ryc. 8 powinna, oprócz współczynnika determinacji i poziomu ufności znajdować się wartość statystyki F. Niepokojącym jest na obu wykresach bardzo niska wartość współczynnika determinacji (0,005). Na wykresie 8b linia przerywana znajduje się w niewłaściwym miejscu. W podsumowaniu rozdziału Materiał i metody warto podkreślić, że tak szerokie potraktowanie badań wymagało niezwykle precyzyjnej organizacji i

przyswojenia sobie przez autora wielu zaawansowanych metod pomiaru i analizy danych, a ich dokładna obróbka wymagała długiego czasu (aż dziesięć lat od zakończenia doświadczenia).

Rozdział Wyniki stanowi główną część pracy. Na 16 stronach opatrzonych rysunkami i tabelami Autor analizuje uzyskane dane doświadczalne. Na wstępie opisuje szczegółowo warunki klimatyczne w okresie prowadzenia badań, w tym wieloletnie przebiegi temperatury powietrza, fotosyntetyczną gęstość strumienia fotonów oraz prędkość i kierunek wiatru. Do tej części mam kilka uwag i wątpliwości:

- Na str 48 linia 3 od góry Autor podaje średnią wartość sum rocznych PPFd oraz odchylenie standardowe SD. O ile pierwsza z tych wartości jest zgodna z tabelą w Załączniku 1, o tyle druga wartość (SD) jest niezgodna z wartościami w tej tabeli. Wartości SD w tej tabeli dla wszystkich lat są powyżej 100 mmoli/m<sup>2</sup> podczas gdy wartość SD w tekście to tylko 14,6 mmoli/m<sup>2</sup> jako średnia z 10 lat. Skąd ta dysproporcja wartości?

- W podrozdziale 6.1.2 Autor przedstawił przebiegi wartości fotosyntetycznej gęstości strumienia fotonów jako średnie 30-minutowe i sumy roczne (Ryc. 10 a i b). Po pierwsze jest błąd w opisie tego rysunku gdyż Ryc. 10a dotyczy sum rocznych, a Ryc. 10b średnich 30-minutowych, a nie odwrotnie. W tekście Autor omawia dodatkowo największe i najmniejsze sumy miesięczne PPFd. Wartości tych sum dla poszczególnych lat powinny być przedstawione w tabelce (w tekście rozprawy lub w załączniku).

- Jakość Ryc. 11 pozostawia wiele do życzenia. Brak podziału na część a, b i c w opisie i brak w podpisie rysunku odniesienia do histogramu. Szare okręgi i wartości procentowe (szczególnie na górnym rysunku z prawej strony) są niewidoczne.

- Jednostki PPFd na osi rzędnych Ryc. 10 oraz NEP na Ryc. 14 są niewidoczne.

- Dlaczego prezentując warunki meteorologiczne podczas prowadzonych badań autor pomija warunki wilgotnościowe, które mają duży wpływ na wzrost roślin i wartości oddychania z gleby i roślin. Oczekiwałbym w tym podrozdziale przynajmniej przedstawienia wartości opadu dla poszczególnych lat/okresów OSP lub wartości niedosytu prężności pary wodnej dla tych okresów. W rozdziale dotyczącym metodyki badań autor pisze o tym, że prowadzono pomiary bilansu promieniowania, temperatury gleby w profilu i strumienia ciepła glebowego. Dlaczego w tym podrozdziale nie przedstawiono wyników tych badań? Jeżeli nie były wykorzystane to po co je prowadzono?

W podrozdziałach 6.2 oraz 6.3 Autor analizuje wieloletnie wartości wskaźnika NDVI<sub>b</sub>, na ich podstawie wyznacza okresy stacjonarnej produktywności (OSP) oraz analizuje kierunkowy rozkład stopnia ulistnienia torfowiska na podstawie danych z 2018 roku. W dyskusji wyników z Tab. 1 Doktorant podaje że najkrótszy OSP (98 dni) jest ponad dwukrotnie krótszy od najdłuższego OSP (207 dni). Brak jest jednak w pracy dyskusji z czego wynikała tak duża różnica długości tych okresów między poszczególnymi latami. Czy wynikało to z różnic warunków temperaturowych pomiędzy latami czy też z powodu innych czynników? Odnośnie wyników przedstawionych w podrozdziale 6.3 to szkoda, że kierunkowe wartości LAI zmierzono tylko w 2018 roku. Czy są one reprezentatywne całego dziesięcioletniego okresu badań?

W podrozdziale 6.4, który Autor zatytułował „Dynamika produktywności na torfowisku w Rzecinie” omówiono chwilowe i roczne skumulowane wartości NEP, GEP i Reco, rozkład produktywności i wartości LUE dla 4 wybranych kierunków, oraz zależność wartości LUE ze względu na wartość PPFd z podziałem na ilość promieniowania rozproszonego docierającego do poszczególnych sektorów. Materiał przedstawiony w tym podrozdziale jest interesujący jednak sposób

jego prezentacji pozostawia niedosyt. Na przykład, na Ryc. 14 przedstawiono wartości NEP w poszczególnych latach. Dlaczego nie przedstawiono takich wykresów dla GEP i Reco, skoro wartości tych wielkości są wymienione w tekście? Średnie roczne NEP na Ryc. 14 wyrażone są w  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dlaczego w tekście najwyższa i najniższa wartość średnia roczna GEP wyrażona jest w  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Wydaje się, że podane w tekście tego podrozdziału, a nie dostępne w postaci załączników, wartości najwyższej średniej miesięcznej GEP (nie wiadomo dlaczego nie podano najniższej wartości), najniższej i najwyższej średniej rocznej Reco lub też 30 minutowej średniej wartości Fc jest przypadkowe. Nie ma żadnego komentarza dlaczego podanie właśnie tych wartości jest istotne. Ryc. 15 pokazuje dokładnie te same dane co Tab. 2. Po co? Trudne do zrozumienia jest to, że nie ma opisu ani odniesienia w tekście do Tabeli 2 z wartościami skumulowanymi NEP, GEP i Reco, która wydaje się być najważniejsza w tym rozdziale. Brak również opisu i interpretacji interesujących wyników przedstawionych na Ryc.16. W podrozdziale 6.4.2 Autor dokonuje próby interpretacji wyników z Ryc. 17 przedstawiającej wartości GEP dla każdego roku dla poszczególnych kierunków. Ta szczegółowa analiza jest nieprecyzyjna, np. według mnie nie widać, że jak pisze Autor w sektorze IV odnotowano najwyższe średnie wartości GEP w każdym roku pomiarowym (z wyjątkiem 2013 i 2014). Wydaje mi się, że ta szczegółowa analiza powinna kończyć się ogólną konkluzją, że nie ma ogólnej dla wszystkich lat pomiarowych tendencji w rozkładzie produktywności dla 4 wybranych kierunków. Tak więc nie odwzorowuje ona jednoznacznie zróżnicowania gatunkowego w sektorach. Być może to zróżnicowanie w obrębie badanego obszaru jest zbyt małe aby takie jednoznaczne tendencje mogły być obserwowane. Nie umniejsza to wartości metody, która umożliwiła śledzenia różnic GEP w różnych kierunkach, a te dla poszczególnych lat występowały.

W rozdziale Dyskusja Autor podejmuje próbę interpretacji uzyskanych wyników na tle dostępnych doniesień literaturowych oraz wykonuje analizę dodatkowych danych, aby potwierdzić niektóre hipotezy. Rozdział ten podzielony jest na podrozdziały dotyczące metodyki prowadzonych pomiarów strumieni netto  $\text{CO}_2$ , warunków meteorologicznych na torfowisku, zdolności ekosystemu do pochłaniania  $\text{CO}_2$ , rocznej i sezonowej zmienności wymiany netto  $\text{CO}_2$  na torfowisku oraz produktywności ekosystemu w kontekście promieniowania rozproszonego. Moje uwagi i pytania do tego rozdziału są następujące:

- W podrozdziale 7.2 Autor pisze, że obliczony wzrost temperatury w oparciu o regresję liniową na sto lat w Rzecinie wynosi 2,1 °C. Na podstawie ilu lat ta krzywa regresji została utworzona. Jeżeli z okresu 2004-20014, to okres jest zbyt krótki aby taką prognozę na sto lat przeprowadzać.
- Skoro Ryc. 21 miała służyć do pokazania trendu wzrostowego w danych temperatury w 4 lokalizacjach, to dlaczego linie trendu nie są pokazane na tym wykresie?
- Ryc. 22 z danymi róży wiatrów dla Szamotuł nie jest potrzebna. Wystarczy nawiązanie do tych danych w tekście, co Autor wykonał.
- Pod koniec podrozdziału 7.2 Autor pisze, że płaski monotonny obszar torfowiska sprawia, że często spełnione są warunki niezbędne do wykonywania pomiarów metodą EC. Kiedy więc nie są spełnione te warunki, i w związku z tym jaka część danych nie nadawała się do analizy?
- W podrozdziale 7.3 Autor pisze w oparciu o wiedzę literaturową od czego zależą zmiany NDVIb, które posłużyły do oszacowania okresów stacjonarnej produktywności (OSP). Brakuje jednak nawiązania do własnych wyników, a szczególnie próby wytłumaczenia zróżnicowania OSP dla poszczególnych lat doświadczenia w kontekście zmiennych warunków termicznych.

- Na początku podrozdziału 7.4.1 autor podkreśla, że wilgotność gleby i poziom zwierciadła wody są ważnymi czynnikami środowiskowymi, które wpływają na wymianę CO<sub>2</sub> między torfowiskiem a atmosferą. Jeszcze raz więc pytam, dlaczego wielkości te nie były mierzone w doświadczeniu Doktoranta? Ich uwzględnienie mogłoby rzucić nowe światło na uzyskane wyniki.

- Dlaczego na Ryc. 23, 24, 25 w części A jest 11 punktów, a w części B 10 punktów. Wygląda na to, że brakuje danych opadu z 2005 roku. Czy nie można ich było uzupełnić danymi ze stacji w sąsiedniej lokalizacji? Czy przedstawione na tych rysunkach wartości opadu pochodzą z lokalizacji w Rzecinie?

- W ostatnim akapicie podrozdziału 7.4.1 Autor pisze o wpływie pokrywy śnieżnej w okresie zimowym na kształtowanie zimowego oddychania ekosystemu. Nie można tego zweryfikować z danych doktoratu, ponieważ badania takie nie były prowadzone.

- Występuje błąd numeracji podrozdziałów. Podrozdział zaczynający się na str. 73 powinien mieć numer 7.4.2.

- W podrozdziale 7.4.2 pokazano tabelę z wartościami LUE dla poszczególnych lat i kierunków próbując wytłumaczyć te wartości rodzajem roślinności dominującej w danym kierunku. Wyniki te są interesujące jednak ich wartość byłaby jeszcze większa gdyby określono procentowy udział powierzchni poszczególnych rodzajów roślinności w każdym z badanych kierunków.

W rozdziale „Podsumowanie i wnioski” Autor opisał na podstawie własnych badań jakie czynniki wpływają na produktywność torfowiska i jak zmieniające się warunki klimatyczne będą w przyszłości wpływać na torfowisko jako reducenta CO<sub>2</sub> w atmosferze. Autor potwierdził jak bardzo stosunki wodne w obrębie torfowiska wpływają na wymianę CO<sub>2</sub>. Doktorant w tej części opisuje nowe aspekty przeprowadzonych badań, tj. zastosowanie metody kowariancji wirów z kierunkową analizą strumieni NEP, GEP i Reco. Słusznie wskazuje na możliwość wykorzystania zastosowanej metody i uzyskanych wyników do lepszego zrozumienia funkcjonowania zbiorowisk roślinnych na obszarach torfowiskowych. Autor słusznie podkreśla unikatowość zgromadzonych danych (jest to słuszne szczególnie dla obszaru Polski). W pierwszym akapicie tego rozdziału autor stwierdza, że „uzyskane wyniki wskazują, że torfowisko, z perspektywy funkcjonowania roślin jest wystarczająco nawodnione, dlatego wartość GEP uzależniona jest w dużej mierze od wysokości temperatury, podczas gdy oddychanie ekosystemu podyktowane jest także dostępnością wody w profilu torfowym.” Na jakiej podstawie taki wniosek wysunięto skoro nie mierzono stopnia nawodnienia torfowiska ani dostępności wody dla systemu korzeniowego roślin”. Doktorant użył w tym rozdziale terminu „wysokość temperatury”. Temperatura nie ma wysokości tylko wartości. Również użyty termin „współczynnik stopnia rozproszenia promieniowania” powinien być zastąpiony „współczynnikiem rozproszenia promieniowania”, a „profil torfowy”, „profilem torfowiska” lub „profilem glebowym”.

Autor sformułował 12 wniosków z przeprowadzonych badań. Uważam, że są one zbyt szczegółowe, a część z nich jest niepotrzebna w kontekście założonego celu badań i postawionych hipotez. Wnioski 1 i 2 dotyczą porównania wartości temperatury w Rzecinie i Poznaniu oraz kierunku dominujących wiatrów w badanym obszarze. Nie mają one bezpośredniego przełożenia na realizację założonego celu i powinny być usunięte. Podobnie wniosek 6 stwierdzający, że wskaźnik stopnia ulistnienia (LAI) zależy od wysokości i struktury roślinności, jest tak oczywisty, że nie potrzebne były dodatkowe badania aby stwierdzić jego prawdziwość. Dziesiątki wcześniejszych prac to potwierdziło. Wniosek 11 miałby uzasadnienie gdyby w eksperymencie mierzono rozkład wykorzystania promieniowania bezpośredniego w szacie roślinnej poszczególnych kompleksów roślinności. Ale takich danych nie przedstawiono. Wniosek 12 przedstawia niesprawdzoną w doświadczeniu hipotezę, że przy

wartości bezpośredniego PPFD powyżej  $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  dochodzi do przegrzania roślinności mszarnej, co powoduje obniżenie pochłaniania ditlenku węgla. Uważam również, że brakuje jednego lub 2 wniosków ogólnych, rzucających światło na wpływ wyników pracy doktorskiej na rozwój wiedzy i perspektywy dalszych badań w tym zakresie.

### **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie kilku ważnych problemów naukowych powstających na tle określania dynamiki wymiany  $\text{CO}_2$  między obszarem torfowiskowym a atmosferą, a w szczególności uwzględnia właściwości optyczne powietrza podczas określania tej dynamiki. W pracy Doktorant wykazał zadawalającą ogólną wiedzę teoretyczną obejmującą podstawy działania systemu pomiarowego wykorzystującego metodę kowariancji wirów, analizę statystyczną i inne metody interpretacji danych. Autor dokonał wnikliwego przeglądu najnowszej literatury polskiej i zagranicznej z badanej dziedziny. Odnośniki literaturowe wykorzystane zostały w pracy nie tylko w rozdziale przeglądu literatury, ale również w szerokiej i krytycznej dyskusji własnych wyników. Dużą zaletą pracy jest to, że Doktorant zgromadził imponującą dziesięcioletnią bazę danych wymiany gazowej dla torfowiska w Rzecinie, która może być wykorzystana w innych badaniach.

Praca napisana jest językiem zrozumiałym i poprawnym stylistycznie. Szata graficzna pracy jest zadawalająca z niewielkimi wyjątkami. Bibliografia (220 pozycji) zawiera zarówno najnowsze jak i starsze opracowania z badanej dziedziny, polskie jak i zagraniczne. Wybrane elementy pracy zasługują na publikację w wydawnictwach o zasięgu międzynarodowym. W porównaniu z dostępną literaturą światową, a w szczególności polskimi opracowaniami dotyczącymi omawianych zagadnień, praca stanowi innowacyjne rozwiązanie metodyczne.

Zawarte w ocenie uwagi merytoryczne jak i tekstowe nie obniżają wartości pracy doktorskiej mgr inż. Mateusza Samsona, ponieważ łatwo mogą być uwzględnione i skorygowane w ostatecznej wersji do druku, a niektóre są celowo dyskusyjne.

Opracowana metodyka i uzyskane wyniki mają perspektywy zastosowania w badaniach obszarów torfowiskowych w szerszej skali (również z wykorzystaniem danych zdalnych). Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na to, iż autor gromadząc i analizując bogaty materiał doświadczalny, wykonał ciężką, wieloletnią pracę pomiarową i analityczną. Zastosowana metodyka i sposób przeprowadzenia doświadczenia i analizy zebranych danych upewnia o wiarygodności otrzymanych wyników i sformułowanych w pracy wnioskach.

Podsumowując, recenzowana praca spełnia wszystkie kryteria właściwe dla rozpraw doktorskich, co moim zdaniem uzasadnia postawienie wniosku o przyjęcie rozprawy doktorskiej, dopuszczenie jej do publicznej obrony i kontynuowanie czynności w ramach przewodu doktorskiego mgr inż. Mateusza Samsona.



*Prof. dr hab. Piotr Baranowski,*