

Poznań, 05 września 2023 roku

Dr hab. inż. Marek Urbaniak  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Tymoteusza Bolewskiego  
pt. Emisja z powierzchni gleb w warunkach zróżnicowanej technologii uprawy roli pod  
buraki cukrowe**

**1. Podstawa opracowania recenzji**

Recenzję opracowano na podstawie decyzji Rady Naukowej Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego Państwowego Instytut Badawczy (ITP - PIB) z dnia 28 czerwca 2023 roku powołującej mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Tymoteusza Bolewskiego, o której zostałem poinformowany pismem z dnia 10 lipca 2023 roku znak DON-RN.34/2023 przez Pana prof. dr hab. Wiesława Dembka, Zastępcę Dyrektora ds. Naukowych ITP - PIB.

**2. Ocena formalna i ogólna charakterystyka pracy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została napisana w ITP - PIB przez mgra inż. Tymoteusza Bolewskiego pod opieką naukową promotora dra hab. inż. Zygmunta Miatkowskiego.

Praca jest monografią liczącą 240 stron numerowanych i podzielona jest na 11 rozdziałów głównych wraz z podrozdziałami. W pracy znajduje się 84 rysunków, większość stanowią diagramy prezentujące dane, ich analizę oraz wyniki. Oprócz diagramów, Autor zamieścił 41 tabel.

Autor wykazał się znakomitą znajomością literatury związanej z tematyką badań. Piśmiennictwo liczy 247 pozycje literaturowe, z czego większość stanowią recenzowane prace naukowe w języku angielskim. Pozostałe źródła w języku polskim, w ścisły sposób odnoszą się do tematu pracy oraz podjętej problematyki badawczej. Dlatego dobór źródeł oceniam wysoko, choć jako recenzent muszę zauważyć, że większość pozycji jest dość stara (publikacje sprzed ponad 5 lat i więcej).

Praca ma typowy układ dla dysertacji naukowych, napisana starannie i poprawnym językiem, choć nie jest pozbawiana drobnych błędów i tak zwanych literówek. Te, które zauważyłem oznaczyłem w manuskrypcie.

Pierwszy z rozdziałów zatytułowany „WSTĘP”, przedstawia znaczenie gleb jako magazynu węgla w związku z zakłóceniem obiegu tego pierwiastka w przyrodzie wynikającym z pozyskiwania energii z paliw kopalnych przez ludzkość, a także zmian w strukturze powierzchni Planety, w tym intensywnej uprawy roli. Rozdział „WSTĘP” informuje czytelnika o znaczeniu i celu podjętych badań, a także jasno zarysowuje braki w wiedzy, które Autor chciał wypełnić podejmując badania opisane w pracy.

Rozdział 2 pt. „PROBLEMATYKA PRACY W ŚWIETLE LITERATURY” zawiera bardzo obszerny przegląd literatury, z którego czytelnik dowiaduje się o roli gleb w obiegu węgla, wpływie uprawy roli na bilans węgla w glebach i wpływie różnych technologii uprawy na ten bilans, a także o metodach szacowania składowych bilansu węgla ekosystemów. Rozdział 3 zatytułowany „CEL, ZAKRES PRACY I HIPOTEZY” został podzielony na aż pięć podrozdziałów, których treść odpowiada tytułowi. Praca zawiera 1 hipotezę główną oraz 8 hipotez szczegółowych, w tym jedną (H1) podzieloną na dwie podrzędne. Wydaje się, że rozbieżność hipotezy 1 na H1a i H1b jest niepotrzebna. Przyjęcie lub odrzucenie hipotezy H1a jest logiczną konsekwencją przyjęcia lub odrzucenia hipotezy H1b. Natomiast hipotezy H5 i H6 nie są zbyt nowatorskie. Formuła znana dziś jako wzór Lloyda-Taylora została opublikowana w 1994 roku i od tego czasu znalazła uznanie wielu badaczy jako funkcja opisująca zależność pomiędzy emisją CO<sub>2</sub> a temperaturą gleby lub powietrza na różnych ekosystemach.

W rozdziale czwartym autor umieścił „METODY BADAŃ”, gdzie wnikliwie i szczegółowo zawarł opisy zastosowanych metod pomiarowych i obliczeniowych, opis eksperymentu polowego, a także metod statystycznych wykorzystanych w pracy. Na pochwałę i uznanie zasługuje przygotowanie eksperymentu i obszerność zebranego przez Doktoranta materiału empirycznego, jaki poddano analizie. Badania polowe Autor przeprowadził na czterech wariantach uprawowych, a dane były gromadzone przez kilka sezonów (2010 - 2016), co wymagało skrupulatności, zaangażowania i sporego wysiłku.

W rozdziale 5 znajduje się opis obiektu badawczego.

Na 98 stronach rozdziału 6 Autor zawarł „WYNIKI BADAŃ”. W moim odczuciu korzystniejszym sposobem prezentacji wyników porównujących wymianę CO<sub>2</sub> pomiędzy atmosferą a poszczególnymi wariantami uprawy byłoby umieszczenie syntetycznej zbiorczej tabeli lub tabel przypisanych do danego składnika bilansu (NEE, GEP, Ter, Sr). Powtarzane w kolejnych podrozdziałach schematy opisu wyników w formie tekstu są poprawne, jednak

wprowadzają czytelnika w poczucie czytania tego samego po kilka razy, gdy tym czasem chodzi o kolejny wariant lub składnik bilansu. Osobiście jestem też zwolennikiem łączenia prezentacji wyników z dyskusją. Tekst zyskuje wówczas walor pewnej narracji, wyniki dają się odnieść do kontekstu i celu pracy, co może (ale nie musi) poprawić odbiór pracy przez czytelnika.

W rozdziale 7 została zawarta „DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ”, a w 8 „PODSUMOWANIE I WNIOSKI”.

Pracę kończy wykaz literatury (rozdział 9) wykorzystanej w pracy, spis rysunków i tabel (rozdział 10) oraz rozdział 11, który można uznać za załącznik zawierający podstawowe pojęcia i definicje stosowane do opisu bilansu wymiany CO<sub>2</sub> ekosystemów.

Praca zawiera wszystkie wymagane elementy rozprawy doktorskiej oraz ma charakter naukowo-badawczy.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

#### **3.1. Ocena istotności tematyki oraz celów, materiałów i metod**

Świat naukowy osiągnął w ostatnich latach konsensus na temat przyczyn wzrostu globalnej temperatury przy powierzchni Ziemi. Uważa się, że zatrzymanie globalnego ocieplenia może być osiągnięte w wyniku zaprzestania emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Głównie chodzi o dwutlenek węgla, który nie tylko sam jest gazem cieplarnianym, ale poprzez szereg sprzężeń zwrotnych zwiększa wpływ pary wodnej na efekt cieplarniany. Podejmowane próby zatrzymania emisji CO<sub>2</sub> w skali globalnej nie odnoszą skutku – emisje z roku na rok rosną – stąd narodził się pomysł zrównoważenia emisji poprzez wiązanie węgla z atmosfery np. w ekosystemach.

Przedstawiona do recenzji praca wpisuje się w potrzeby jak najlepszego rozpoznania czynników mogących mieć wpływ na trwałe i wydajne magazynowanie węgla w różnych ekosystemach lądowych. Pomimo tego, że ekosystemy rolnicze nie wydają się być najlepszymi kandydatami do roli trwałych magazynów węgla i zwykle są traktowane jako źródła CO<sub>2</sub>, nie oznacza to, że ich rolę w obiegu węgla można zaniedbać. Wiadomo bowiem, że każde zmniejszenie emisji i każde zwiększenie pochłaniania CO<sub>2</sub>, działa na rzecz ochrony klimatu. Nie bez znaczenia jest również aspekt ochrony i zachowania gleb uprawnych jako fundamentu produkcji żywności. Ubytek organicznego węgla z gleb i jego ucieczka w formie CO<sub>2</sub> do atmosfery, w obu powyższych kontekstach są niepożądane.

Autor rozprawy podjął próbę oceny wpływu zabiegów agrotechnicznych (konwencjonalnej i zredukowanej przedzimowej uprawy roli) na bilans wymiany CO<sub>2</sub>

między atmosferą a uprawą buraka cukrowego. Ten ogólny cel badań został podzielony na sześć celów szczegółowych, które sprowadzają się do próby rozpoznania wartości składników bilansu wymiany CO<sub>2</sub> agroekosystemu buraka cukrowego w różnych skalach czasowych. Na uznanie zasługuje też fakt, że praca ta jest pierwszą w Polsce próbą wskazania najbardziej korzystnego z punktu widzenia ochrony zasobów węgla w glebie i najbardziej korzystnego z perspektywy ochrony klimatu sposobu uprawy pod burak cukrowy. Z tych powodów uznaję tematykę podjętych przez Autora rozprawy badań, za istotną zarówno z poznawczego jak i praktycznego punktu widzenia.

Z jasno przedstawionych celów Autor poprawnie sformułował hipotezy badawcze, choć niektóre z nich wydają się być niepotrzebne, o czym pisałem wyżej. W tym samym rozdziale znajdują się podrozdziały zatytułowane „Zakres badań” i „Problem badań”. W przypadku tego pierwszego, mogę uznać, że precyzyjne opisanie, w osobnym podrozdziale, co i kiedy zostało zrobione może pomóc w lepszym zrozumieniu pracy oraz jej limitów. Nie jestem natomiast przekonany co do zasadności tego drugiego, gdyż hipotezy badawcze w moim przekonaniu wyczerpują zakres pytań, na które Autor rozprawy powinien dać odpowiedź.

Podstawowy materiał empiryczny (dane o gęstości strumienia wymiany CO<sub>2</sub> między uprawą a atmosferą) zebrano na obiekcie doświadczalnym położonym w miejscowości Więclawice w województwie kujawsko-pomorskim. Do pomiaru wymiany gazowej między atmosferą a uprawą buraka cukrowego zastosowano system komór dynamicznych (przezroczystej dla strumienia wymiany netto ekosystemu – NEE i zaciemnionej dla strumienia oddychania gleby – Sr i ekosystemu – TER). System komór dynamicznych oznacza, że pomiary były wykonywane *in situ*, dzięki zastosowaniu analizatora gazowego wraz z mikroprocesorowym rejestratorem. Pomiary te wykonano w latach 2010 – 2016, na czterech polkach doświadczalnych (A1 – uprawa tradycyjna, A2 – uprawa tradycyjna z głęboszowaniem, B1 – głęboszowanie bez orki, B2 – uprawa zredukowana), w trzech powtórzeniach co 3-4 tygodnie w okresie wegetacyjnym. Niestety, jak wynika z pracy, Autor w trzech początkowych latach badań dysponował jedynie analizatorem gazowym, który charakteryzował się bardzo długą stałą czasową. Spowodowało to, że w tych sezonach uprawowych nie były możliwe pomiary NEE, przy pomocy komory przezroczystej. Ocena gęstości strumienia wymiany gazowej w metodzie komorowej polega na doświadczalnym wyznaczeniu gradientu zmiany stężenia badanego gazu wewnątrz izolowanej komory. W oparciu o własne doświadczenia wiem, że czas reakcji analizatora ma kluczowe znaczenia dla poprawności oceny tego gradientu. Długa stała czasowa powoduje, że rejestrowane wewnątrz komory zmiany stężenia są mniejsze od rzeczywistych. W konsekwencji obliczony na bazie tak

wyznaczonego gradientu strumień jest zaniżony. Autor, świadomy tych ograniczeń przeprowadził testy, które uzasadniają przyjęcie pomiarów komorą zaciemnioną z lat 2010 – 2013 jako poprawnych. Moje jedyne zastrzeżenie do metodyki pomiarów komorowych dotyczy czasu w ciągu doby, kiedy wykonywano pomiary. Autor ograniczył się jedynie do godzin pomiędzy 9:00 a 14:00, eliminując w ten sposób dane z chłodniejszej pory doby, co mogło wprowadzić do wyników trudną do określenia niepewność. Dlatego uważam, że ten aspekt metodyki powinien zostać bardziej wyjaśniony.

Dobór metody pomiarowej, zastosowane metody statystyczne, zaprojektowanie eksperymentu pomiarowego oceniam pozytywnie, z zastrzeżeniem wyżej wskazanej uwagi i uwag umieszczonych w rozdziale „Uwagi krytyczne” tej recenzji.

### **3.2. Wyniki i Dyskusja**

W rozdziale „WYNIKI BADAŃ”, Autor umieścił szczegółowy opis warunków meteorologicznych w czasie badań, wyniki pomiarów wymiany gazowej i symulacji oddychania glebowego modelem DNDC. Uważam, że rozdział ten jest nieco za długi. Na przykład, przedstawienie danych meteorologicznych w formie grafów i tabel (co zostało umieszczone w pracy), oraz zwrócenie uwagi czytelnika jedynie na anomalie lub wartości, które w opinii autora mogły mieć wpływ na wyniki badań i późniejsze wnioskowanie byłoby bardziej przejrzyste i ciekawsze. Uwaga ta w części stosuje się do opisu wyników pomiarów i analiz strumieni wymiany CO<sub>2</sub>. Suche przytaczanie wyników, zwłaszcza w formule powtarzającego się schematu dla każdego wariantu pomiarowego, powoduje poczucie zagubienia u czytelnika. Zwłaszcza, że nie sposób uniknąć powtórzeń w trakcie nawiązywania do wyników, w rozdziale „DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ”. Jest to moje subiektywne wrażenie i nie stanowi krytyki merytorycznej wartości opisu wyników a jedynie jego formy. Jednakże w przypadku publikacji całości pracy lub rozbicia jej na serię artykułów, proponuję Autorowi uwzględnienie tej uwagi.

W moim odczuciu za szczególnie wartościowe i ciekawe należy uznać wyniki pomiarów emisji indukowanych wykonaniem zabiegów przedzimowej uprawy roli. Zostały one przedstawione w formie wykresów zmian emisji w czasie bezpośrednio po wykonaniu zabiegu uprawowego. Na ich podstawie Autor wysunął wniosek, że ewentualne zabiegi uprawy przedzimowej powinny być przeprowadzane jak najpóźniej (w niskich temperaturach), co spowoduje zmniejszenie dodatkowej emisji CO<sub>2</sub> spowodowanej zabiegiem. Szkoda, że Autor nie odniósł uzyskanych wartości emisji indukowanej zabiegiem do sumy sezonowej emisji. Jest dla mnie zaskoczeniem, dlaczego nie podał jej procentowego udziału w emisji całkowitej z

gleby lub ekosystemu? Zgodnie z zaprezentowanymi danymi wartość ta wynosi około 8% oddychania glebowego. Co w moim odczuciu stanowi wartościowe osiągnięcie pracy.

Dyskusja jest przeprowadzona poprawnie, szczegółowo i w dość interesujący sposób, choć pozostawia pewien niedosyt, związany z pominięciem aspektu opłacalności produkcji. Chodzi mi tutaj o próbę zbilansowania nakładów i zysków dla różnych sposobów uprawy i spojrzenia z perspektywy plantatora. Rozumiem, że zakres badań nie obejmował aspektu ekonomicznego, który uwzględniłby na przykład oszczędności wynikające na przykład ze zmniejszonego zużycia paliwa na skutek mniejszej ilości przejazdów czy dodatkowych nakładów w postaci ewentualnej potrzeby dodatkowego oprysku na chwasty w uprawie zredukowanej. Zabrakło też porównania uzyskanego plonu z każdego wariantu. Niestety tabela 41 zawiera jedynie dane dla wariantu z orką typową. Pomimo tego sądzę, że praca jest istotnym pierwszym krokiem do sporządzenia pełnej analizy śladu węglowego uprawy buraka cukrowego, którą Autor mógłby i powinien się zainteresować w dalszej pracy naukowej.

Za wartościowe uznaję również wykorzystanie modelu DNDC. Choć osobiście nie jestem entuzjastą tak złożonych modeli, wymagających dużej liczby parametrów i danych wsadowych. Jednak zgadzam się, że ich wartości predykcyjne mogą być bardzo pomocne na przykład w planowaniu zabiegów czy działań mających na celu optymalizację procesu produkcji. Dlatego wyniki przedstawione w pracy mogą zapoczątkować bardziej intensywne prace nad adaptacją tego i podobnych modeli do warunków glebowo-klimatycznych w Polsce.

#### **4. Wnioski**

Cel pracy został jasno sformułowany. Metody przyjęte w pracy są prawidłowe, uzyskane wyniki są dobrze udokumentowane oraz przedyskutowane. Za oryginalne i najważniejsze osiągnięcia naukowe i aplikacyjne uznaję:

1. Wykazanie, że sezonowe wartości wymiany ekosystemu netto (NEE) i oddychania glebowego ( $S_r$ ) agroekosystemu buraka cukrowego są różne w zależności od sposobu uprawy przedzimowej, z istotną redukcją emisji i zachowaniem zasobu węgla w glebie przy zastosowaniu uprawy zredukowanej.

2. Wykazanie, że emisja  $CO_2$  z powierzchni gleby jest zróżnicowana w sezonach.

3. Wskazanie, że uprawa międzyplonu lub jej zaniechanie może nie mieć wpływu na bilans węgla uprawy buraka cukrowego.

4. Wykazanie, że wykonanie zabiegu przedzimowej uprawy przyczynia się do chwilowego zwiększenia emisji, a wielkość i czas tej emisji są uzależnione od typu zabiegu oraz temperatury panującej w czasie jego wykonania.

5. Wykazanie, że model DNDC, może być wykorzystany z powodzeniem do przeprowadzenia symulacji emisji CO<sub>2</sub> z gleby w uprawie buraka cukrowego w warunkach klimatyczno-glebowych Kujaw, jedynie w wariacie z orką przedzimową.

## 5. Uwagi krytyczne

Podczas studiowania pracy nasuwają się liczne uwagi, niekiedy natury dyskusyjnej, które z obowiązku recenzenta chciałbym przekazać Autorowi. Kolejność uwag począwszy od uwagi 2 wynika z układu pracy.

1. Uważam, że potwierdzenie hipotezy 1b jest równoznaczne z potwierdzeniem hipotezy 1a, a hipotezy 5 i 6, nie są zbyt nowatorskie z poznawczego punktu widzenia. W literaturze można znaleźć liczne dowody na przydatność tego równania i jego zastosowania na różnych ekosystemach. Istnieje niewielkie prawdopodobieństwo, że charakter emisji CO<sub>2</sub> z uprawy buraka cukrowego na Kujawach będzie w sprzeczności z emisjami, z wielu innych ekosystemów na świecie.

2. W rozdziale 2 pt. „PROBLEMATYKA PRACY W ŚWIETLE LITERATURY” dane i wyniki innych autorów są przedstawione nieco chaotyczne. Wydaje się, że przytoczenie ich w formie tabeli byłoby bardziej czytelne. Wyniki te powinny być przeliczone do wspólnej jednostki i na ten sam okres, tak aby można było je porównać.

3. W odniesieniu do minutowych, godzinowych, dobowych czy miesięcznych sum wymiany CO<sub>2</sub>, Autor stosuje termin skumulowane. Uważam, że jest to nieco mylące, gdyż czytelnik spodziewa się informacji o kolejnych sumach z zadanyim krokiem czasowym, a nie jedynie wartości końcowej, czyli sumy.

4. Autor nie zastosował numeracji wzorów, co utrudnia odwołanie się do nich.

5. Na stronie 42 w zacytowanym wzorze współczynnik „f” występuje w opisie jako „F”.

6. W podrozdziale 4.9 zatytułowanym „Baza danych wartości pomierzonych i obliczonych strumieni CO<sub>2</sub>”, który jest częścią opisu metod, Autor umieścił wyniki analiz dopasowania modelu liniowego do zależności pomiędzy wielkością respiracji gleby i ekosystemu a temperaturą gleby na różnych poziomach. Jak sądzę, intencją autora było znalezienie uzasadnienia dla wyboru pomiarów temperatury na konkretnej głębokości lub wysokości do dalszych analiz i obliczeń, gdzie zastosowano model nieliniowy. Nasuwa się pytanie, dlaczego od razu nie posłużono się modelem nieliniowym Lloyda-Taylora lub wzorem

ze strony 56 i innymi miarami dopasowania zamiast współczynnika korelacji liniowej Pearsona, skoro wiadomo, że zależność ta nie ma charakteru liniowego?

7. Wyniki pomiarów wymiany CO<sub>2</sub> w kolejnych sezonach i na poszczególnych wariantach uprawy zostały przedstawione wraz z temperaturą gleby na głębokości 10 cm, w postaci wykresów przebiegu (Rys. 21 – 27). Z zaprezentowanych opisów nie wynika, czy przebiegi temperatury są średnimi dobowymi, czy zostały wygładzone jakimś filtrem. natomiast wyniki wymiany gazowej są średnimi z pomiarów, co wydaje się poprawnym rozwiązaniem, jednak brakuje informacji o zmienności wewnątrz wariantów w czasie tej samej sesji pomiarowej. Rozumiem, że dodatkowe linie czy słupki na wykresie mogłyby ograniczyć czytelność, jednak można by podać tę informację w postaci liczbowej w opisie lub na rysunku.

8. Autor nie wyjaśnił przyczyn, dla których pomiary wykonywano jedynie w godzinach 9:00 – 14:00. Uważam, że powinno to być wyjaśnione i uzasadnione merytorycznie, gdyż przyjęta metodyka pomiarowa w praktyce utrudnia dopasowanie modelu statystycznego (takiego jak np. krzywa Lloyda-Taylora) do danych empirycznych w krótszym okresie niż cały sezon. Jest to spowodowane tym, że pomiary strumieni wykonane w warunkach niewielkich zmian temperatury, wykazują duży rozrzut, co uniemożliwia poprawne określenie parametrów modelu.

9. Autor stosuje symbol PAR i PPF<sub>D</sub> zamiennie, co nie jest właściwe. PAR jest rodzajem promieniowania, a PPF<sub>D</sub> miarą gęstości strumienia fotonów tego promieniowania.

10. W równaniu drugim na stronie 50 (Michaelis-Menten), w moim przekonaniu Autor dokonał zbyt daleko idącego skrótu myślowego. Formuła ta w podanej postaci powinna po lewej stronie odnosić się do strumienia netto (-NEE) lub do prawej strony równania powinno być dodane oddychanie ekosystemu (TER). W konsekwencji z opisu metodyki wyznaczenia składowych bilansu wymiany CO<sub>2</sub>, przy pomocy techniki zwanej rozdziałem strumienia (ang. flux partitioning), czytelnik może nabrać przekonania, że przy użyciu komory przezroczystej dokonano bezpośredniego pomiaru produkcji pierwotnej brutto (GEP). Tymczasem był to strumień netto (NEE).

11. Wzór pierwszy na stronie 56 zdaje się być nie zastosowany. W opisie wyników modelu DNDC Autor odnosi się do modelu Lloyda-Taylora. W moim odczuciu nie ma uzasadnienia (w pracy nie przedstawiono dowodów) dla zastosowania tej formuły w zastępstwie modelu L-T.

12. W opisie warunków meteorologicznych znajduje się zdanie: „W Więclawicach w latach 1949-2016 średnie sumy opadów wyniosły odpowiednio 496 mm i 319 mm”. Nie jest jasne czy liczby opisują sumy opadów rocznych i w sezonie wegetacyjnym?

13. Na rysunkach 14, 16 i 18 przedstawiono wykresy kolumnowe o podstawach większych od 0. Jest to niefortunny dobór grafiki, gdyż w wypadku wykresów kolumnowych czytelnik oczekuje, że u podstawy znajduje się wartość zero.

14. Autor przedstawił analizy rozkładów wszystkich zmierzonych wartości strumieni oddychania (emisji) gleby (Rys.20) oraz ekosystemu (Rys. 28), a także wymiany netto (Rys. 32) i brutto (Rys. 36) ekosystemu. Choć technicznie wykonano je poprawnie to uwagę zwraca fakt, że analizie poddano jedynie wartości zmierzone. Oznacza to, że w analizowanych zbiorach danych nie były reprezentowane wartości, spoza przedziału godzinowego 9:00 – 14:00. Może to oznaczać, że rozkłady empiryczne i teoretyczne, które Autor zaprezentował nie mogą w pełni odzwierciedlać rzeczywistych rozkładów.

15. Pomimo starań Autora o zachowanie logicznego ciągu w opisie wyników, na stronie 96 odczułem dyskomfort. Na tej stronie autor informuje o najwyższych średniorocznych wartościach emisji z gleby, podczas gdy informacja o maksymalnych wartościach emisji została podana na stronie 90. Tak duża odległość między tymi informacjami bardzo utrudnia rozumienie tekstu.

16. Z uwagi na znacznie większą zmienność PPFd niż temperatury gleby bądź powietrza, a także bardzo krótki czas reakcji roślin na zmiany natężenia promieniowania słonecznego w porównaniu z reakcją roślin i mikroorganizmów na zmiany temperatury, uważam, że ograniczenie się jedynie do poszukiwania zależności pomiędzy NEE a PPFd dla całego zbioru danych pomiarowych może być źródłem istotnej niepewności w oszacowaniu dobowych i sezonowych wartości NEE i GEP. Dodatkowo, nie pozwala to na uwzględnienie zmian w fazie rozwojowej roślin. Co w przypadku buraka cukrowego ma duże znaczenie. Może też to tłumaczyć nieco niespodziewany układ punktów na rysunku 66, gdzie występują dwa obszary ich zagęszczenia. Jeden tuż przy osi odciętych, a drugi znacznie wyżej. Może to też tłumaczyć dwumodalność histogramów NEE i GEP.

17. Mam wątpliwości czy podawanie średnich sezonowych wartości LAI jest uzasadnione w przypadku uprawy buraka cukrowego? W tym wypadku uważam, że z punktu widzenia analizy sezonowych zmian gęstości strumieni wymiany CO<sub>2</sub>, pomiary LAI są bardzo cenne jako wskaźnik fazy rozwojowej uprawy.

18. Na stronie 136 Autor umieścił zdanie: „Wartości emisji CO<sub>2</sub> z gleby w sezonach 2010-2016 obliczone za pomocą równania Lloyda-Taylora były mniejsze średnio o 1,4% od wartości odpowiadających średniej dobowej temperaturze gleby na głębokości 10 cm”. Czy chodzi o porównanie dwóch modeli statystycznych? Lloyda-Taylora i ze strony 56? Jeśli tak, to wystąpienie różnic wydaje się oczywiste z tego względu, że do wyznaczenia parametrów

krzywej L-T zastosowano temperatury chwilowe z czasu pomiaru (które były zapewne wyższe od średniej dobowej), a dla wzoru ze strony 56 średnie dobowe.

19. Nie jest jasne, czy na rysunku 66 umieszczono wszystkie wyniki GEP z wszystkich wariantów (A1, A2, B1, B2). Na tej samej rycinie część wartości PPF<sub>D</sub> (org. PAR) przekracza 1800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . To nieco wysokie wartości jak na Polskie warunki.

20. Na stronie 156 Autor napisał: „We wszystkich sezonach badań różnice pomiędzy skumulowanymi wartościami NEE w poszczególnych wariantach uprawy były najniższe na początku sezonu wegetacyjnego”. Zdanie to wydaje się być oczywiste, ponieważ wszystkie krzywe skumulowane (Rys. 73-75) zaczynają się od zera i w kolejnych dniach na skutek kumulowania sum dobowych różnicują się w czasie.

21. Na tej samej stronie Autor porównuje sezonowe NEE poszczególnych wariantów. Brakuje tu odniesienia do plonu i oszacowania jak ostatecznie kształtowały się bilanse węgla dla poszczególnych wariantów.

22. Rys. 76 i 80. Wydaje się, że wykres rozrzutu w tym wypadku powinien mieć równe osie.


23. Tabela 40. Porównywane wartości powinny być przedstawione w tych samych jednostkach.

W pracy odnalazłem również niewielką liczbę błędów edytorskich, które oznaczyłem w manuskrypcie.

## 6. Ocena końcowa

Biorąc pod uwagę walory naukowe, poznawcze oraz aplikacyjne recenzowanej rozprawy doktorskiej pt. „Emisja z powierzchni gleb w warunkach zróżnicowanej technologii uprawy roli pod buraki cukrowe”, stwierdzam, że spełnia wymagania określone w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r., poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669), oraz wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Tymoteusza Bolewskiego do publicznej obrony przed Radą Naukową Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego Państwowego Instytut Badawczy.

Poznań, 05.09.2023 r.

  
.....  
Dr hab. inż. Marek Urbaniak