

dr inż. Marek Urbaniak
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej
Katedra Meteorologii
ul. Piątkowska 94,
60-649 Poznań

Załącznik 2

Autoreferat

Poznań, kwiecień 2019 r.

Spis treści

1	<u>SYLWETKA HABILITANTA</u>	5
1.1	<u>POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE:</u>	5
1.2	<u>INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU</u>	5
2	<u>WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA</u>	5
2.1	<u>TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO (DZIEŁO OPUBLIKOWANE W CAŁOŚCI)</u>	5
2.2	<u>OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO PRACY I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW</u>	6
3	<u>OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO – BADAWCZYCH</u>	19
4	<u>SYNTETYCZNE PODSUMOWANIE DOROBKU HABILITANTA</u>	22

1 Sylwetka habilitanta

Imię i nazwisko, data urodzenia: Marek Urbaniak, ur. 7 października 1976 r.

1.1 Posiadane dyplomy i stopnie naukowe:

- 12.09.2006 r. Uzyskanie **stopnia doktora** nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska. Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu; Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska; tytuł rozprawy doktorskiej: Ocena sezonowej zmienności strumieni dwutlenku węgla i pary wodnej na terenach podmokłych metodą kowariancji wirów; promotor: prof. dr hab. Janusz Olejnik
- 28.06.2001 r. Uzyskanie stopnia **magistra** w specjalności melioracji i kształtowanie środowiska rolniczego, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu; Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska; tytuł pracy magisterskiej: Wpływ rodzaju powierzchni czynnej na udział ciepła glebowego w bilansie cieplnym; promotor: prof. dr hab. Janusz Olejnik
- 04.04.2000 r. uzyskanie stopnia **inżyniera** inżynierii środowiska; Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu; Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska

Inne formy edukacji:

- 2005 r. Ukończenie Kursu Pedagogicznego dla uczestników ubiegających się o etat adiunkta, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

1.2 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

- 1.10.2006 – Adiunkt. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska; Katedra Meteorologii

2 Wskazanie osiągnięcia

wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

2.1 Tytuł osiągnięcia naukowego (dzieło opublikowane w całości)

Marek Urbaniak (2019), *Metoda kowariancji wirów jako nowoczesne narzędzie w badaniach wymiany CO₂ między ekosystemami leśnymi, podmokłymi i rolniczymi a atmosferą*. Rozprawy Naukowe 515, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, ss. 187, ISBN 978-83-7160-933-6

Recenzenci wydawniczy:

prof. dr hab. Piotr Baranowski
prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak

2.2 Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników.

Wprowadzenie

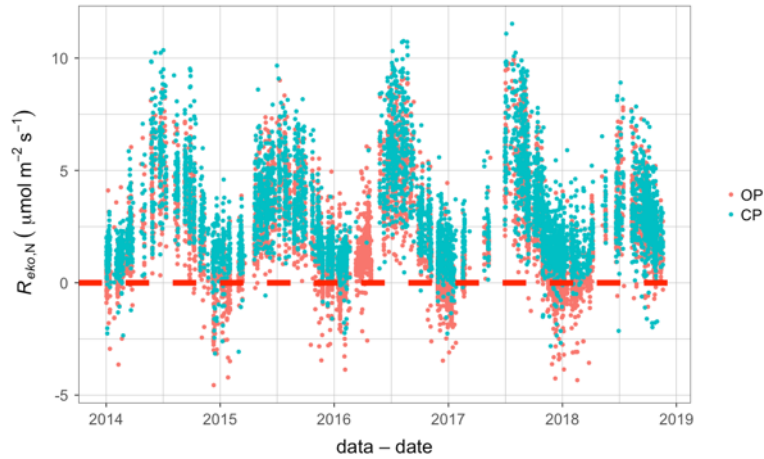
Antropogeniczna emisja dwutlenku węgla jest bezpośrednią przyczyną intensyfikacji efektu szklarniowego i obserwowanego w ostatnich dekadach wzrostu średniej temperatury powierzchni Ziemi (IPCC, 2014; Stocker i in., 2013).

W skali globalnej ekosystemy lądowe posiadają duży potencjał wiązania CO₂ z atmosfery (Le Quéré, 2010; Le Quéré i in., 2016). Niestety może on być zagrożony z uwagi na zmianę warunków, w których dane ekosystemy mogą funkcjonować.

Z uwagi na tempo zmian, jakie dotyczą ekosystemy, śledzenie ich reakcji na te zmiany wymaga wiedzy, którą uzyskać można stosując odpowiednie metody badawcze. Obecnie najbardziej uznaną metodą pomiarową zdolną uchwycić tempo i kierunek wymiany CO₂ z odpowiednią rozdzielczością czasową, jest metoda kowariancji wirów (KW, ang. eddy covariance – EC).

Na podkreślenie zasługuje fakt, że metoda KW opiera się na czysto fizycznych założeniach (bez współczynników i stałych empirycznych), przez co w porównaniu do innych metod pozwala uzyskiwać wyniki pomiarów najbardziej zbliżone do rzeczywistych wartości strumieni. Jednak ma ona pewne ograniczenia, które sprawiają, że nie dla wszystkich półgodzinnych okresów w czasie trwania pomiarów można za jej pomocą ocenić wartości mierzonych strumieni. Dlatego przeprowadzono uzupełnianie braków w danych pomiarowych strumieni CO₂. W pracy poddano porównaniu dwie metody: Max Planck Institute of Biogeochemistry (MPI) (Wutzler i in., 2018) oraz Fluxnet Canada Research Network (FCRN) (Barr i in., 2004), które oprócz uzupełniania danych pomiarowych pozwalają na rozdział strumienia netto na składniki związane z fotosyntezą (GEP) i oddychaniem ekosystemu (R_{eko}).

Wykazano, że zastosowanie różnych konfiguracji sprzętowych wymaga nieco innego podejścia podczas analizy danych pomiarowych, nawet po zastosowaniu będących już w powszechnym użyciu poprawek. Dotyczy to szczególnie nocnych i zimowych pomiarów, które na skutek niesprzyjających warunków atmosferycznych mogą być obarczone większym błędem, szczególnie w przypadku zastosowania analizatora gazowego z tak zwaną otwartą ścieżką pomiarową (OP). Błąd ten uwidacznia się w taki sposób, że system pomiarowy rejestruje niemożliwą z biologicznego punktu widzenia asymilację CO₂ w czasie nocy bądź poza sezonem wegetacyjnym (Ryc. 1). W wyniku analiz porównawczych przeprowadzonych na danych uzyskanych z systemów typu otwarta (OP) i zamknięta (CP) ścieżka pomiarowa, zaproponowano autorską poprawkę, opisaną w Załączniku A rozprawy habilitacyjnej.



Ryc. 1. Przykład przebiegu wartości NEE zmierzonych w nocy ($R_{eko,N}$) przy użyciu systemów KW z otwartą ścieżką pomiarową (OP) i zamkniętą ścieżką pomiarową (CP). Dane zostały zweryfikowane zgodnie z powszechnie przyjętą metodologią (przeprowadzono między innymi testy stacjonarności strumieni i $u^* > u_{*th}$).

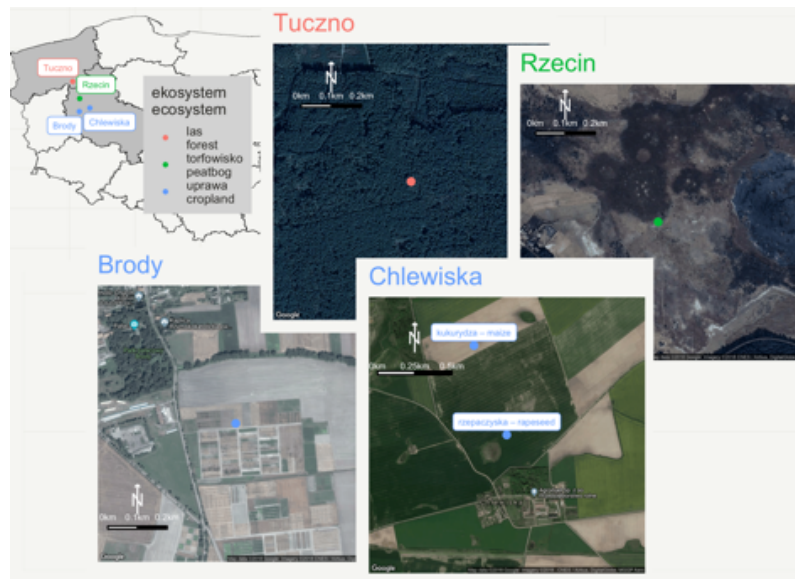
Poprawka ta pozwala na uzyskanie zbliżonych wyników z obu typów systemów dla okresów miesięcznych i rocznych, a polega ona na dodaniu do całego zbioru wartości strumienia netto CO₂ (NEE), pewnej wartości, do której obliczenia wystarczą jedynie dane uzyskane z systemu typu OP. W celu obliczenia poprawki posłużono się zależnością opisaną wzorem 1:

$$R_{eko} = \frac{r(t) r_1}{1 + \exp[r_2(r_3 - T_a)]} - \gamma, \quad (1)$$

która jest zmodyfikowaną formułą modelu oddychania ekosystemu stworzoną na potrzeby Fluxnet Canada Research Network (FCRN) (Barr i in., 2004), gdzie, $r(t)$, jest parametrem opisującym zmienność tej zależności w czasie (na przykład na skutek zmian fenologicznych), parametry $r_{1,2,3}$, są parametrami zaproponowanego modelu, otrzymanymi przy pomocy regresji, T_a , jest temperaturą powietrza oraz γ jest dodatkowym parametrem, który pozwolił tej funkcji przyjmować wartości ujemne.

Przeprowadzenie uzupełniania braków i korekta danych pochodzących z systemu OP były niezbędne, ponieważ w zasadniczej części pracy wykorzystano dane z kilku stacji badawczych: lasu sosnowego w Tucznie, torfowiska w Rzecinie i pola uprawnego w Brodach (Ryc. 2), na których prowadzono pomiary metodą KW za pomocą zarówno systemów typu OP jak i CP.

Należy podkreślić, iż opisana powyżej metoda, mimo że nie stanowiła głównego celu pracy i dlatego został umieszczony w Aneksie A, to jednak jest podejściem oryginalnym i stanowi znaczącą część osiągnięcia naukowego.



Ryc. 2. Lokalizacje miejsc pomiarowych (pomiarzy w Chlewiskach były przeprowadzane jedynie w trakcie kilkutygodniowych kampanii pomiarowych i z tego względu dane z tej stacji nie pozwoliły na przeprowadzenie podobnych analiz jak dla pozostałych miejsc pomiarowych).

Główne cele naukowe rozprawy habilitacyjnej

Biorąc pod uwagę niewystarczający stan wiedzy na temat obecnej, a tym bardziej przyszłej dynamiki wymiany CO₂ pomiędzy różnymi ekosystemami w Polsce a atmosferą w rozprawie postawiono następujące cele badawcze:

- 1) Ocena aktualnych możliwości akumulacji węgla przez wybrane trzy typy ekosystemów na podstawie badań wybranych powierzchni.
- 2) Określenie wpływu opadów i warunków wilgotnościowych na wahania produktywności badanych ekosystemów w różnych skalach czasowych.

Ad 1. Ocena aktualnych możliwości akumulacji węgla przez wybrane trzy typy ekosystemów na podstawie badań wybranych powierzchni

Po uzupełnieniu braków w danych sporządzono diagramy prezentujące krzywe kumulacji węgla (skumulowane NEE) dla poszczególnych lat, stacji badawczych i dwóch metod uzupełniania danych (ryc. 3). W przypadku stacji badawczej w Tucznie krzywe kumulacyjne sporządzono zarówno dla systemu typu OP, jak i CP.

Z zamieszczonych na rycinie 3 grafik wynika, że obie metody uzupełniania braków (FCRN i MPI), w większości przypadków, pozwoliły uzyskać podobne wyniki.

Poniżej omówiono wyniki z poszczególnych stacji w kontekście podobnych opracowań sporządzonych dla innych, ekosystemów.

Tuczno

Średnia wartość roczna NEE określona na podstawie pomiarów systemem typu OP i uzupełnionych metodą MPI, dla lasu sosnowego w Tucznie w latach 2014 – 2018 wynosiła $-418,5 \pm 11,8 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. Natomiast ta sama wielkość, ale określona na podstawie pomiarów systemem typu CP, była równa $-398,3 \pm 13,9 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. Oznacza to, że badany las był w tym czasie silnym pochłaniaczem CO_2 z atmosfery. W innych opracowaniach dotyczących tego samego lasu ustalono, że w latach 2008 – 2012 wartość średniorocznego NEE równa była $-645 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ (Danielewska i in., 2015; Ziemblińska i in., 2016). Dość duża różnica pomiędzy wartościami jakie zaprezentowano w tych pracach, a obecnym opracowaniem wynika z tego, że w pierwszych latach funkcjonowania stacji pomiarowej w Tucznie, badany las znajdował się w fazie kulminacyjnego wzrostu. Natomiast w późniejszych latach wzrost ten spowolnił, co wpłynęło również na zmniejszenie ilości asymilowanego węgla. Przedstawione w pracy Danielewska i in., (2015) porównanie rocznych wartości NEE w odniesieniu do innych lasów sosnowych w Europie, wskazywało na bardzo wysoką, w porównaniu z nimi, asymilacją węgla przez las w Tucznie. Biorąc jednak pod uwagę obecny okres jako podstawę do takiego porównania, to okazuje się, że badany las pod względem tempa wiązania węgla, nie wyróżnia się spośród jemu podobnych w Europie, jak na przykład Loobos ($450 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$) w Holandii (Elbers i in., 2011), Le Bray ($350 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$) we Francji (Stella i in., 2009), czy nawet San Rossore ($532 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$) we Włoszech (Chiesi i in., 2005).

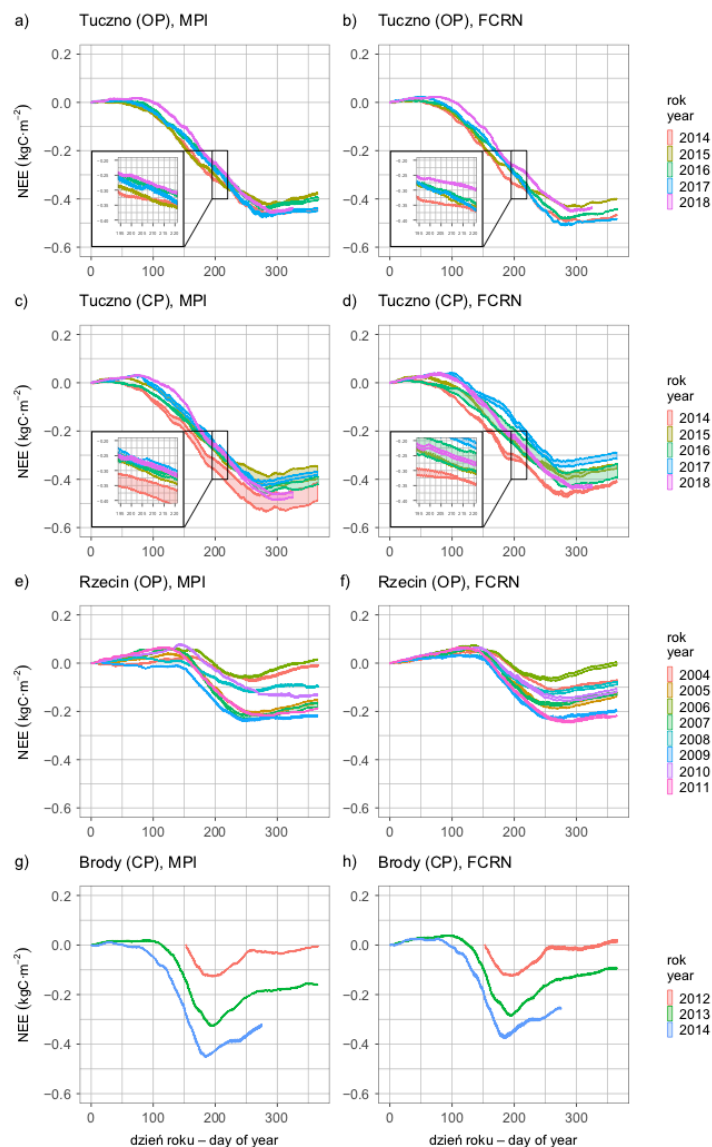
Rzecin

Roczna zmienność NEE na torfowisku w Rzecinie jest dość duża, waha się od $16,8 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ w 2006 roku do $-217,3 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ w 2009 roku, przy wartości średniej z okresu pomiarowego równej $-118,6 \pm 26,0 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. Zmienność ta jest skutkiem bardzo szybkiej reakcji torfowiska na czynniki środowiskowe – głównie przesuszenia. Czynniki takie jak wielkość i dystrybucja opadów, a także wahania zwierciadła wody gruntowej, mogą powodować, że ekosystemy podmokłe są bardzo wrażliwe na zmiany klimatyczne. Szczególnie wzrost wariacji temperatur powietrza, opadów i zjawisk ekstremalnych wydają się największym zagrożeniem. Ocenia się, że torfowiska słodkowodne w strefie umiarkowanej retencjonują rocznie od około $143 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ do nawet $504 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ (Brix i in., 2001; Chivers i in., 2009), przy czym te wysokie wartości obserwowane są jedynie w przypadku środowisk eutroficznych, jak na przykład przekształcone ponownie z łąki dno jeziora Horstermeer w Holandii (Hendriks i in., 2007). Torfowisko w Rzecinie powstało na skutek zarastania płytkiego jeziora, a proces ten został spotęgowany napływami biogenów z okolicznych pól. Stąd potencjalnie można je uznać za jedno z bardziej produktywnych. Gdyby

pominąć lata suche to średnia wartość NEE wyniosłaby $-172.9 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$, czyli mieściłaby się w zakresie wskazanym przez Chivers i in., (2009).

Brody

Roczna wymiana netto węgla (NEE) pól uprawnych zależy od czynników pedoklimatycznych oraz sposobu prowadzenia uprawy. Na przykład w Nebrasce, Verma i in., (2005) zmierzili roczne wartości NEE na polach kukurydzy, w wysokości od $-381 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ do $-517 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$, co oznacza silne pochłanianie CO_2 przez tę powierzchnię. Soussana i in., (2007) określili wielkość NEE dziewięciu wybranych łąk w Europie na



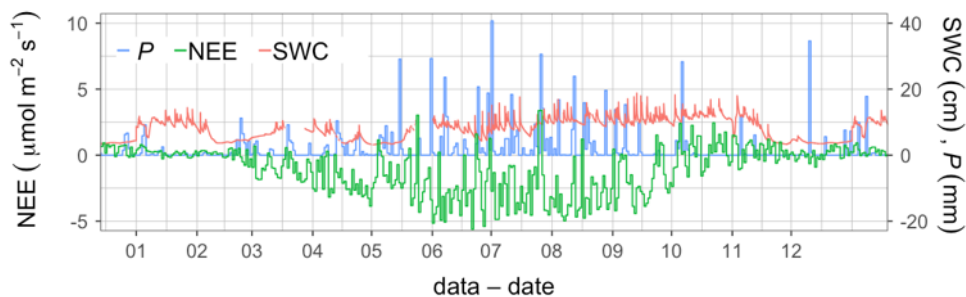
Ryc. 3. Roczne przebiegi akumulacji węgla przez poszczególne ekosystemy. Diagramy sporządzono w oparciu o dane uzupełnione dwiema metodami MPI i FCRN.

$-240 \pm 70 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. Z kolei w zachodnich Niemczech dla pszenicy ozimej oceniono NEE na poziomie $-270 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ (Schmidt i in., 2012). Podobnie Lehuger i in., (2010) dla

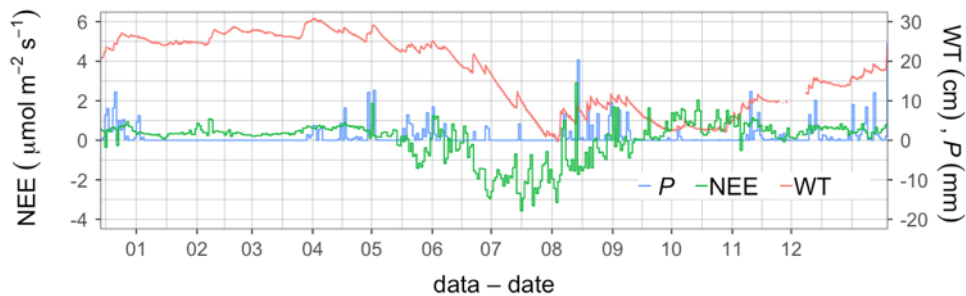
pszenicy ozimej w Auradé we Francji podają $-280 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ i dla Gebesee Niemczech $-223 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. W Brodach eksperyment pomiarowy trwał na tyle krótko, że można jedynie określić wielkość rocznego NEE dla roku 2013, kiedy to na polu była pszenica jara. Wartość ta wyniosła $-158,3 \text{ gC m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. Gdyby jednak dla roku 2014, poprowadzić krzywą kumulacyjną (Ryc. 3) na bazie pozostałych lat do końca roku, to można przypuszczać, że wartość salda wymiany CO_2 w tym roku wyniosła około -250 do -220 gC m^{-2} .

Ad 2. Określenie wpływu opadów i warunków wilgotnościowych na wahania produktywności badanych ekosystemów w różnych skalach czasowych

Na rycinach 4 i 5 przedstawiono przebiegi dobowe średnich strumieni NEE, które zostały określone na podstawie pomiarów przeprowadzonych nad lasem w Tucznie w 2017 roku i w Rzecinie w 2006 roku.



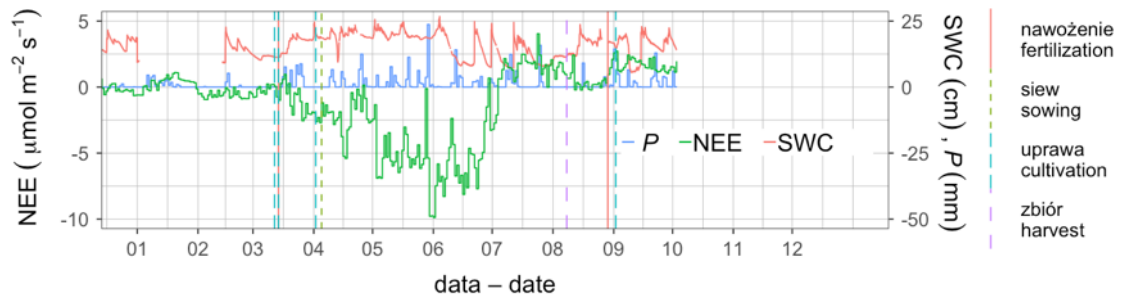
Ryc. 4. Przebiegi dobowych średnich strumieni NEE, sum opadów (P) i wilgotności gleby (SWC) zarejestrowane w Tucznie, w 2017 roku.



Ryc. 5. Przebiegi dobowych średnich strumieni NEE, sum opadów (P) i zwierciadła wody gruntowej (WT) zarejestrowane w Rzecinie, w 2006 roku.

Z rycin można odczytać typowy dla tych ekosystemów roczny przebieg strumienia NEE. W okresie wiosennym następuje intensyfikacja fotosyntezy, a na skutek wzrostu temperatury powietrza i gleby rośnie R_{eko} , co objawia się wzrostem wartości NEE w czasie nocy, (brak fotosyntezy, $\text{GEP} = 0$). Następnie w pierwszej połowie lata następuje kulminacja pochłaniania i emisji dwutlenku węgla, po której oba proces słabną. W przypadku ekosystemów leśnego i podmokłego, osłabienie to jest stopniowe do końca jesieni, następuje wraz ze zmniejszaniem się strumienia energii dochodzącej ze Słońca. Natomiast na polu z uprawą

zboża, na stacji w Brodach, wyraźnie zaznacza się przypadający na środek lata moment dojrzewania uprawy (Ryc. 6).



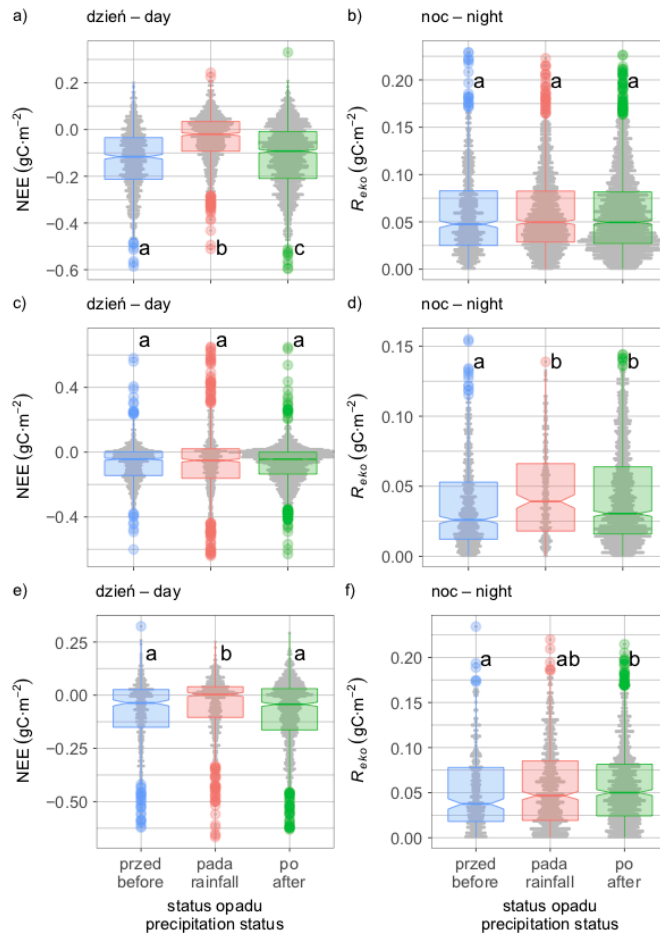
Ryc. 6. Przebiegi dobowych średnich strumieni NEE, sum opadów (P) i wilgotności gleby (SWC) zarejestrowane w Brodach, w 2014 roku.

W tym typowym rocznym cyklu zmian strumieni CO₂ można zauważyć anomalie (odwrócenie kierunku przepływu strumieni NEE typowego dla danej pory roku), które są efektem pojawienia się czynników o charakterze losowym.

Wpływ opadów atmosferycznych na chwilowe wartości NEE

Na rycinie 7 przedstawiono porównanie wielkości strumieni netto zmierzonych (bez uzupełniania braków) na dwie godziny przed deszczem (przed), w czasie deszczu (pada) i do dwóch godzin po opadzie (po) na stacjach Tuczno (a, b), Rzecin (c, d) oraz Brody (e, f). Do sporządzenia diagramów wykorzystano dane z wiosny, lata i jesieni. Porównaniu poddano osobno dane z okresów nocnych i dziennych. Dla każdej grupy danych wykonano wykres typu pudełkowego z wcięciami, które reprezentują przybliżony 95% przedział prawdopodobieństwa wystąpienia mediany danego zbioru o danej wartości. Nakładanie się wcięć uprawnia do twierdzenia, że porównywane mediany nie różnią się istotnie.

Analiza porównawcza strumieni NEE częściowo wskazuje na wzrost emisji dwutlenku węgla w czasie opadów (można przyjąć, że w nocy $NEE = R_{eko}$). Efekt ten jest szczególnie zauważalny w lesie w Tucznie i na polu uprawnym w Brodach, jednak tylko w czasie dnia (Ryc. 7a, e). Natomiast w czasie nocy w przypadku Tuczna jest nieistotny, a w Brodach można mówić o powiększonej emisji również po opadzie (Ryc. 7b, f). Wyniki z Tuczna mogą wskazywać raczej na redukcję strumienia GEP, wywołaną zachmurzeniem i opadami, niż na uruchomienie intensywniejszego rozkładu materii organicznej.



Ryc. 7. Wykresy pudełkowe, obrazujące różnice wartości półgodzinnych sum strumieni zmierzonych na dwie godziny przed i po deszczu, oraz w trakcie opadu; a), b) w Tucznie, c), d) w Rzecinie, e), f) w Brodach. Wcięcia reprezentują przybliżony, 95% przedział prawdopodobieństwa wystąpienia mediany danego zbioru o danej wartości. Poziome linie wewnątrz „pudełek” oznaczają mediany, dolna i górna krawędź oznaczają odpowiednio pierwszy kwartył i trzeci kwartył, pionowe linie są zdefiniowane jako dystans pomiędzy pierwszym kwartyłem a wartością minimalną oraz pomiędzy trzecim kwartyłem a wartością maksymalną, jednak nie większą niż 1,5 różnicy pomiędzy kwartyłami, natomiast punkty są obserwacjami odstającymi. Jako oznaczeń podobieństwa między grupami użyto liter łacińskich („a”, „ab”, „b” i „c”). Podobieństwo strumieni zbadano za pomocą testu Kruskala-Wallisa oraz testu LSD (najmniejszych istotnych różnic Fishera).

Wpływ rozkładu opadów na wartości GEP, NEE i R_{eko}

Na rycinie 8 przedstawiono znormalizowane średnie dzienne wartości GEP, NEE i R_{eko} z doby poprzedzającej opad (są to dane wyłącznie dzienne). Normalizacja polegała na podzieleniu średnich dobowych wartości każdego ze strumieni przez wartość otrzymaną z funkcji opisujących wrażliwość strumieni oddychania ekosystemu (R_{eko}) i fotosyntezy (GEP), odpowiednio na temperaturę gleby i promieniowanie słoneczne.

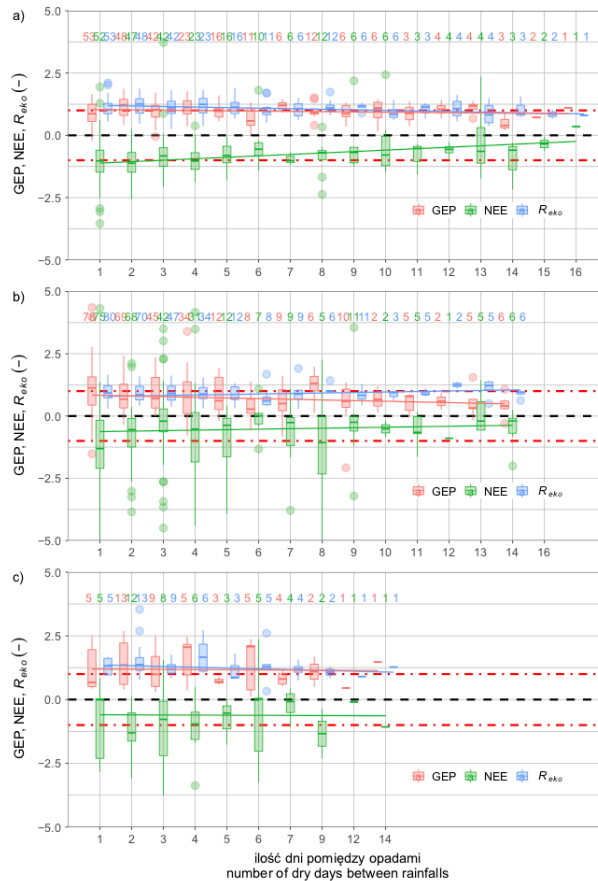
Otrzymane wyniki można interpretować w ten sposób, że jeśli wartości znormalizowane skupiają się wokół jedności (lub -1 dla NEE), to w wydzielonej grupie strumieni czynnikami decydującymi o ich wielkości były: temperatura gleby i promieniowanie słoneczne. Natomiast jeśli wartość znormalizowana dążyła do zera, oznaczało to, że wartości zmierzone są znacznie mniejsze od tych otrzymanych z modeli oddychania i fotosyntezy. Mogło to świadczyć o tym,

że to inny czynnik poza temperaturą gleby i promieniowaniem wpłynął decydująco na wielkość tych strumieni. Przyjęto założenie, że czynnikiem tym był stres wywołany brakiem opadów.

Następnie, dane podzielono na grupy w zależności od tego, ile dni upłynęło od poprzedniego deszczu. Dla Tucznia i Rzecina wybrano okres wiosny, lata i jesieni, natomiast dla Brodów, z uwagi na cykl uprawowy, okres ten zawężono do wiosny i lata. Jednak w Brodach pomiary trwały zbyt krótko, aby można było zaobserwować reakcję ekosystemu na dłuższe okresy bezopadowe. Każdą z takich grup przedstawiono w postaci wykresów pudełkowych (Ryc. 8).

W Tucznie, a szczególnie w Rzecinie okresów suchych dłuższych niż 7 dni było nieco więcej, choć ich liczba nadal była zbyt mała, aby przeprowadzić wiarygodne badanie statystyczne wskazujące istotność różnic pomiędzy wydzielonymi grupami. Można jednak na podstawie zaprezentowanych danych podjąć próbę wskazania trendów zmian w wartościach poszczególnych strumieni w funkcji czasu trwania okresów bez opadów.

Analiza danych pozwala wskazać, że ekosystemy leśny i podmokły reagują na przedłużające się okresy suszy w nieco inny sposób. W Tucznie problemy z niedoborami wody niemal w równym stopniu dotyczą procesu fotosyntezy jak i oddychania. Symptomatic potwierdzającym to stwierdzenie jest brak istotnego trendu prostej, którą przybliżono zależność pomiędzy strumieniami GEP a długością okresów bezopadowych i niewielki choć istotny trend R_{eko} ($p = 0,00286$). Z kolei w danych reprezentujących strumienie NEE ujawnia się wyraźny i istotny trend ($p = 56,2 \times 10^{-9}$) wskazujący na obniżenie ilości wiązanego przez las CO_2 wraz ze wzrostem długości okresów bezopadowych (ryc. 8a). Można zatem skonkludować, że wraz z wydłużaniem się okresów bezdeszczowych las w Tucznie staje się mniej wydajny pod względem sekwestracji węgla, pomimo tego, że w tych samych warunkach procesy związane z emisją CO_2 również spowalniają.



Ryc. 8. Znormalizowane wartości średnich strumieni GEP, NEE i R_{eko} w funkcji okresów pomiędzy dniami opadowymi, a) na stacji w Tucznie, b) w Rzecinie, i c) w Brodach. Kolorowe liczby nad każdym z „pudełek” oznaczają ilość suchych okresów w danej grupie.

Nieco inną reakcję na wydłużające się okresy suszy opadowej zauważono w Rzecinie (Ryc. 8b). Pomimo tego, że trendy liniowe, opisujące wpływ długości okresów bezdeszczowych na strumieniu, okazały się nieistotne statystycznie, to dane zamieszczone na rycinie 8b skłaniają do dalszej analizy, ponieważ dodatkowym czynnikiem utrudniającym zaproponowany sposób analizy jest to, że torfowisko w Rzecinie znajduje się na przepływowym jeziorze. Poziom wody w tym zbiorniku może być regulowany przez system urządzeń piętrzących. Decyzje o sposobie użytkowania tego systemu, w latach, z których przedstawiono dane, były podporządkowane hodowli ryb w jeziorze. Może to wyjaśniać przyczyny większej zmienności strumieni wewnątrz każdej z przedstawionych na rycinie 8 grup dla Rzecina w porównaniu z Tucznem, co sprawiło, że opisywane trendy były dla torfowiska nieistotne.

Podsumowanie

Przeprowadzone w ramach rozprawy habilitacyjnej analizy i oceny zostały poprzedzone dwoma rozdziałami wprowadzającymi w tematykę zmian globalnych klimatu i przeciwdziałania ich negatywnym skutkom, a także w zagadnienia związane z pomiarami

metodą kowariancji. Intencją tak obszernego wprowadzenia było stworzenie pewnego rodzaju kompendium wiedzy, które będzie jednocześnie dobrym uzasadnieniem podjęcia przedstawionych w kolejnych rozdziałach rozważań.

W rozprawie zaprezentowano wyniki wieloletnich badań nad wymianą CO₂ z wykorzystaniem metody kowariancji wirów, prowadzonych na trzech typach ekosystemów, charakterystycznych dla nieurbanizowanego krajobrazu Polski: lasu (5 lat pomiarów za pomocą dwóch niezależnych systemów pomiarowych), torfowiska (8 lat) i uprawy rolniczej (ponad 2 lata). Pod tym względem jest to pierwsze tego typu opracowanie znane autorowi, dla obszaru Polski. Choć autor ma świadomość, że wyniki te stanowią jeszcze zbyt skromną reprezentację całego procesu wymiany CO₂, aby wykorzystać je do ekstrapolowania na cały obszar Kraju, to mogą być one użyte do weryfikacji i udoskonalenia metod szacowania emisji z powierzchni Polski i w konsekwencji inwentaryzowania wymiany CO₂ między ekosystemami a atmosferą na terenie naszego kraju. Autor opracowania ma nadzieję, że stanowi to istotny wkład w poszerzenie wiedzy naukowej w tej dziedzinie.

Wykorzystanie nowoczesnej aparatury badawczej umożliwiło przeprowadzenie analiz, które jeszcze kilkadziesiąt lat temu nie były możliwe do wykonania. Metoda KW stworzyła nowe możliwości jak choćby powiązanie zdarzeń opadowych i długości okresów bezopadowych z wymianą CO₂ występującą nad badanymi ekosystemami. Dało to możliwości nowatorskiego podejście do problemu i pozwoliło ocenić reakcję różnych ekosystemów na wzrost wariacji opadów wywołany zmianami globalnymi klimatu.

Wartym podkreślenia jest również fakt, że pomimo ciągłego rozwoju i pogłębiania wiedzy na temat procesów i zjawisk wpływających na aplikacyjność i dokładność metody kowariancji wirów, w dalszym ciągu trudno nazwać ją metodą „*plug and play*” (włącz i graj). Oznacza to, że każdy przypadek pomiarowy wymaga indywidualnego podejścia badacza. Poczynając od etapu wyboru lokalizacji systemu pomiarowego i typu badanej powierzchni, poprzez wybór aparatury i systemu akwizycji danych, do podjęcia decyzji o algorytmie przetwarzania danych pomiarowych, na każdym z tych etapów niezbędna jest wiedza ekspercka. Autor niniejsze rozprawy tę wiedzę i doświadczenie zdobywał przez kilkanaście lat na różnych uniwersytetach w Europie i Kanadzie. Na ich podstawie oraz praktyki pomiarowej z różnymi konfiguracjami sprzętowymi systemów pomiarowych, zaproponowano cały szereg autorskich pomysłów i czynności, które pozwalają złagodzić problem związany z rejestrowaniem przez system OP pochłaniania dwutlenku węgla w czasie nocy. Zaproponowane praktyki, choć wykonano je na bazie własnych pomiarów, mogą mieć w

przyszłości zastosowanie uniwersalne przy rozwiązywaniu problemów związanych z podnoszeniem jakości danych uzyskanych metodą kowariancji wirów.

Do największych osiągnięć rozprawy habilitacyjnej zaliczam:

1. Określenie obecnych zdolności akumulacji węgla przez las w Tucznie i torfowisko w Rzecinie, które to wartości mogą posłużyć do weryfikacji i udoskonalania innych metod szacowania tych zdolności.
2. Określenie wymiany węgla dla pola uprawnego w Brodach, która stanowi istotny element wymiany netto biomu i z tego powodu może również być wykorzystana jako dane wejściowe dla modeli tej wymiany.
3. Rozpoznanie różnic we wskazaniach systemów kowariancji wirów, wyposażonych w analizatory typu otwarta ścieżka (OP), i zamknięta (przymknięta) ścieżka (CP) oraz wskazanie możliwych przyczyn ich wystąpienia.
4. Opracowanie metody zniwelowania tych różnic.
5. Wykazanie braku istotnych różnic pomiędzy skorygowanymi, miesięcznymi sumami strumieni GEP, NEE i R_{eko} , które oszacowano na podstawie pomiarów systemami kowariancji wirów typu otwarta ścieżka (OP) i zamknięta ścieżka (CP). Co ma duże znaczenie podczas analiz porównawczych przeprowadzanych na danych pochodzących różnych stacji badawczych.
6. Określenie wpływu pojedynczych zdarzeń opadowych na bilans wymiany CO₂ w krótkim czasie przed, w trakcie i po opadzie.
7. Wskazanie zagrożenia wynikającego z faktu pogarszania się zdolności ekosystemów leśnych do akumulacji węgla w miarę wzrostu częstości i długości trwania okresów bezopadowych, jakie są przewidywane dla Polski, a będące konsekwencją zmian globalnych klimatu.

Literatura

- Barr, A. G., Black, T. A., Hogg, E. H., Kljun, N., Morgenstern, K., i Nesic, Z. (2004). Inter-annual variability in the leaf area index of a boreal aspen-hazelnut forest in relation to net ecosystem production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126(3–4), 237–255.
<http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.06.011>
- Brix, H., Sorrell, B. K., i Lorenzen, B. (2001). Are Phragmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany*, 69(2–4), 313–324.
[http://doi.org/10.1016/S0304-3770\(01\)00145-0](http://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00145-0)

- Chiesi, M., Maselli, F., Bindi, M., Fibbi, L., Cherubini, P., Arlotta, E., ... Seufert, G. (2005). Modelling carbon budget of Mediterranean forests using ground and remote sensing measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 135(1–4), 22–34.
<http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.09.011>
- Chivers, M. R., Turetsky, M. R., Waddington, J. M., Harden, J. W., i McGuire, a. D. (2009). Effects of experimental water table and temperature manipulations on ecosystem CO₂ fluxes in an Alaskan rich fen. *Ecosystems*, 12(8), 1329–1342.
<http://doi.org/10.1007/s10021-009-9292-y>
- Danielewska, A., Urbaniak, M., i Olejnik, J. (2015). Growing Season Length as a Key Factor of Cumulative Net Ecosystem Exchange Over the Pine Forest Ecosystems in Europe. *International Agrophysics*, 29(2), 129–135. <http://doi.org/10.1515/intag-2015-0026>
- Elbers, J. A., Jacobs, C. M. J. J., Kruijt, B., Jans, W. W. P. P., i Moors, E. J. (2011). Assessing the uncertainty of estimated annual totals of net ecosystem productivity: A practical approach applied to a mid latitude temperate pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(12), 1823–1830. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.07.020>
- Hendriks, D. M. D., van Huissteden, J., Dolman, A. J., i van der Molen, M. K. (2007). The full greenhouse gas balance of an abandoned peat meadow. *Biogeosciences*, 4(3), 411–424. <http://doi.org/10.5194/bg-4-411-2007>
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Le Quéré, C. (2010). Trends in the land and ocean carbon uptake. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(4), 219–224. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.06.003>
- Le Quéré, C., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Sitch, S., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., ... Zaehle, S. (2016). Global Carbon Budget 2016. *Earth System Science Data*, 8(2), 605–649. <http://doi.org/10.5194/essd-8-605-2016>
- Lehuger, S., Gabrielle, B., Cellier, P., Loubet, B., Roche, R., Béziat, P., ... Wattenbach, M. (2010). Predicting the net carbon exchanges of crop rotations in Europe with an agro-ecosystem model. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139(3), 384–395.
<http://doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.011>
- Schmidt, M., Reichenau, T. G., Fiener, P., i Schneider, K. (2012). The carbon budget of a winter wheat field: An eddy covariance analysis of seasonal and inter-annual variability. *Agricultural and Forest Meteorology*, 165, 114–126.

<http://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2012.05.012>

Soussana, J. F., Allard, V., Pilegaard, K., Ambus, P., Amman, C., Campbell, C., ... Valentini, R. (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(1–2), 121–134.

<http://doi.org/10.1016/J.AGEE.2006.12.022>

Stella, P., Lamaud, E., Brunet, Y., Bonnefond, J., Loustau, D., i Irvine, M. (2009).

Simultaneous measurements of CO₂ and water exchanges over three agroecosystems in South-West France. *Biogeosciences*, 6(12), 2957–2971.

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... Midgley, P. M. (2013). *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis.*

Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Verma, S. B., Dobermann, A., Cassman, K. G., Walters, D. T., Knops, J. M., Arkebauer, T. J., ... Walter-Shea, E. A. (2005). Annual carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize-based agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 131(1–2), 77–96.

<http://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2005.05.003>

Wutzler, T., Lucas-Moffat, A., Migliavacca, M., Knauer, J., Sickel, K., Šigut, L., ...

Reichstein, M. (2018). Basic and extensible post-processing of eddy covariance flux data with REdDyProc. *Biogeosciences*, 15(16), 5015–5030. <http://doi.org/10.5194/bg-15-5015-2018>

Ziemblińska, K., Urbaniak, M., Chojnicki, B. H., Black, T. A., Niu, S., i Olejnik, J. (2016).

Net ecosystem productivity and its environmental controls in a mature Scots pine stand in north-western Poland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228–229, 60–72.

<http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.022>

3 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Przed uzyskaniem stopnia doktora

Pierwsze moje spotkanie z pracą naukową miało miejsce w 1998 roku, wówczas jeszcze jako student magistrant, uczestniczyłem w pracach terenowych prowadzonych w ramach kilku projektów badawczych (**zał. 3, p. I, poz. 1 – 2**). W tym początkowym okresie moje zainteresowania badawcze zostały ukierunkowane na rozpoznanie struktury bilansu cieplnego powierzchni czynnej. W szczególności rozpoznanie wpływu szaty roślinnej na wielkość

strumienia ciepła glebowego, co zostało opisane w pracy z moim udziałem (**zał. 3, tab. 2**), gdzie wykazano możliwość oceny gęstości strumienia ciepła glebowego na podstawie pomiarów salda promieniowania i rodzaju pokrywy roślinnej.

Po rozpoczęciu studiów doktoranckich w 2001 roku, moje zainteresowania naukowe poszerzyły się o zagadnienia związane z turbulencyjną wymianą energii i materii pomiędzy różnymi powierzchniami a atmosferą, ze szczególnym uwzględnieniem wymiany CO₂. W tamtym czasie brałem czynny udział w projekcie badawczym finansowanym ze źródeł KBN (**zał. 3, p. I, poz. 3**).

Jednocześnie wraz z przygotowaniem zmierzającym do włączenia Polski do Unii Europejskiej, pojawiła się sposobność współpracy polskich i unijnych naukowców w wspólnej przestrzeni badawczej. Dzięki temu oraz staraniom Kierownika Katedry Meteorologii prof. dra hab. Janusza Olejnika miałem możliwość pracy w zintegrowanym projekcie Unii Europejskiej: CarboEurop, a także projektach krajowych nawiązujących do podobnej tematyki, (**zał. 3, p. I, poz. 3 – 5**) w tym grantie promotorskim (**zał. 3, p. I, poz. 6**). W trakcie tych działań powstała na torfowisku w Rzecinie pierwsza w Polsce stacja badawcza, na której mierzona jest między innymi wymiana CO₂, H₂O z zastosowaniem metody kowariancji wirów. Aktywności te, ukierunkowały moje zainteresowania badawcze na problemy związane ze zmianami globalnymi klimatu i ich wpływu na ekosystemy rolnicze i podmokłe (**zał. 3, tab. 5, poz. 1 – 2**).

Podczas studiów doktoranckich odbyłem dwa zagraniczne staże naukowe: pierwszy z nich trwał 3 tygodnie i odbył się w Brnie w ramach: *European program: MERCI*, natomiast drugi trwał 5 miesięcy i odbył się w Vancouver w ramach stypendium Fundacji Dekabana (**zał. 4, p. III, poz. 1 i 2**). W trakcie obu tych wyjazdów miałem możliwość poszerzania swojej wiedzy i praktycznych umiejętności związanych z pomiarami strumieni metodą kowariancji wirów. W obu goszczących mnie ośrodkach prowadzone były już od kilku lat, tego typu badania nad ekosystemami leśnymi. W tamtym czasie w Polsce nie istniała jeszcze stacja badawcza monitorująca wymianę CO₂ pomiędzy lasem a atmosferą.

Po uzyskaniu stopnia doktora

W pierwszych latach po uzyskaniu stopnia doktora, moje główne aktywności naukowe związane były z prowadzonym na torfowisku w Rzecinie eksperymentem pomiarowym. Zaowocowały one publikacjami (**zał. 3, tab. 3, poz. 1; tab. 4, poz. 8**), które poświęcone są pomiarom strumieni metodą kowariancji wirów nad ekosystemami podmokłymi. W pracach tych zostały przedstawione zagadnienia metodyczne pomiarów nad trudnym technicznie ekosystemem torfowiskowym, którego znaczenie w obiegu węgla jest znaczące. Tereny

podmokłe magazynują ogromne ilości węgla i są bardzo zróżnicowane pod względem różnorodności biologicznej, która wpływa na intensywność wymiany gazowej, co zostało opisane w jednej z prac z moim udziałem (**zał. 3, tab. 1, poz. 10**). Ekosystemy te są bardzo wrażliwe na zakłócenia, które mogą spowodować ich degradację i emisję CO₂ do atmosfery. Jest to ważne zagadnienie w kontekście możliwych negatywnych skutków zmian klimatycznych jakie mogą wpływać na tego typu ekosystemy. Z tego powodu istnieje potrzeba zgromadzenia jak największej liczby danych empirycznych pozwalających na jak najlepsze sparametryzowanie modeli umożliwiających predykcję zachowania się wymiany gazowej tych ekosystemów. W tym kontekście została opublikowana praca również z moim udziałem (**zał. 3, tab. 1, poz. 14**).

W tym początkowym okresie mojej pracy naukowej byłem współautorem szeregu publikacji i rozdziałów w monografiach. Zostały one poświęcone problematyce reakcji ekosystemów na zmienność różnych czynników środowiskowych, które wpływają na wielkość i intensywność wymiany gazowej (**zał. 3, tab. 4, poz. 4; tab. 1, poz. 2**). Część z tych prac było poświęcone poszukiwaniom zależności pomiędzy wskaźnikami wegetacyjnymi (np. NDVI, PRI). Badania te były próbą oceny możliwości budowy bardziej zaawansowanych modeli oszacowania wymiany CO₂ dla większej skali przestrzennej niż ta na jaką pozwalają bezpośrednie metody pomiarowe (**zał. 3, tab. 1, poz. 11; tab. 3, poz. 3; tab. 4, poz. 8**).

Oprócz powyższych aktywności, zaangażowałem się w prace w projekcie poświęconym osłonie agrometeorologicznej rolnictwa w Wielkopolsce (**zał. 3, p. I, poz. 10**), czego efektem było powstanie Wielkopolskiego Internetowego Serwisu Informacji Agrometeorologicznej (**zał. 3, tab. 6**). Jednak głównym obszarem moich zainteresowań pozostał ten związany z badaniami nad wymianą gazów szklarniowych pomiędzy różnymi ekosystemami a atmosferą.

W kolejnych latach brałem udział w unijnych i krajowych projektach badawczych (**zał. 3, p. I, poz. 8, 9, 11 – 13**), które skupiały się nad rozpoznaniem wymiany innych gazów szklarniowych niż CO₂. Pozwoliło to poszerzyć mi obszar zainteresowań o badania nad wymianą tych gazów, a głównie CH₄. Jednym z efektów był mój udział w publikacji (**zał. 3, tab. 1, poz. 3**), gdzie została wykazana korelacja pomiędzy emisją metanu (mierzoną metodą kowariancji wirów) a wahaniami zwierciadła wody gruntowej i temperaturą torfowiska w Rzecinie. Wzbogacił się również mój aparat badawczy o dwie inne metody pomiarowe: metodę komorową i *Relaxed Eddy*, których opisy i możliwości wykorzystania zostały zawarte w pracach, będących w moim dorobku (**zał. 3, tab. 4, poz. 1, 2, 6, 7**). Dodatkowym efektem udziału w tych projektach były dwa staże, jeden na Uniwersytecie w Helsinkach i drugi na Uniwersytecie Technicznym w Monachium (**zał. 4, p. III, poz. 3 i 4**).

Jednym z następstw aktywności naukowych związanych z ekosystemami podmokłymi, był mój udział (jako lider grupy roboczej) w przygotowaniu i realizacji projektu finansowanego przez NCBiR (**zał. 3, p. I, poz. 17**). W ramach tego projektu został przeprowadzony eksperyment manipulacyjny, mający na celu określenie wpływu wzrostu temperatury torfowiska i redukcji opadów na ekosystem torfowiskowy. Do tej pory ukazały się dwie współtworzone przeze mnie prace związane z tym tematem badawczym (**zał. 3, tab. 3, poz. 9, 10**).

W 2007 roku, w wyniku nawiązania współpracy Katedry Meteorologii z Dyrekcją Generalną Lasów Państwowych (DGLP), obszar moich badań częściowo przeniósł się na ekosystemy leśne (**zał. 3, p. I, poz. 14, 15, 18**). W wyniku tej współpracy powstały cztery stacje badawcze monitorujące wymianę CO₂ nad zróżnicowanymi wiekowo drzewostanami sosnowymi. Prowadzone na nich badania były i są głównie poświęcone zdolnościom sekwestracji węgla przez badane lasy, co znalazło odzwierciedlenie w publikacjach z moim udziałem (**zał. 3, tab. 1, poz. 8, 9, 15; tab. 3, poz. 2; tab. 4, poz. 3, 6**). Należy jednak podkreślić, że prowadzone w ramach tej współpracy badania mają znacznie szerszy wymiar, związany z gospodarką leśną. Jednym z istotnych osiągnięć wynikających ze wspomnianej współpracy jest wskazanie korzystniejszej z punktu widzenia wymiany CO₂ techniki odnowień drzewostanów (**zał. 3, tab. 1, poz. 15**).

Z uwagi na globalne znaczenie badań będących w sferze moich zainteresowań w dorobku znajduje się kilka publikacji powstałych w wyniku współpracy z naukowcami z instytucji zagranicznych (**zał. 3, tab. 1, poz. 4, – 7, 12, 14**). Współpracę tę podjąłem w efekcie udziału w projektach międzynarodowych a także w ramach Akcji COST FP0903 (**zał. 4. K**), w której pełniłem rolę członka komitetu (*Managment Committee*).

4 Syntetyczne podsumowanie dorobku habilitanta

Mój dotychczasowy dorobek naukowo-badawczy obejmuje łącznie 39 pozycji, w tym 36 oryginalnych prac twórczych (35 po uzyskaniu stopnia doktora), 3 artykuły konferencyjne (tabela 1). Łączna liczba punktów MNiSW według roku publikacji wynosi 562. W języku angielskim opublikowałem 32 prace, z czego 13 w czasopiśmie ze wskaźnikiem *Impact Factor*, tj. *International Agrophysics*, *iForest*, *Forest Systems*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *Agricultural and Forest Meteorology*, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *Solar Energy* i *Geoscientific Model Development*.

Wykonałem 4 recenzje artykułów naukowych w tym jedną dla *Agricultural and Forest Meteorology*, posiadającego współczynnik wpływu IF.

Brałem udział w 18 projektach badawczych finansowanych ze źródeł Unii Europejskiej i krajowych. Uczestniczyłem aktywnie (jako autor lub współautor prezentacji lub posterów) w kilkudziesięciu konferencjach naukowych na których wygłosiłem 6 referatów w języku angielskim.

W ramach aktywności międzynarodowej byłem członkiem komitetu zarządzającego Akcji COST FP0903. Pełnię funkcję PI – *principal investigator* dla stacji badawczej w Tucznie w sieci „European Fluxes Database Cluster” <http://www.europe-fluxdata.eu>

Odbyłem 4 staże zagraniczne z czego 2 po uzyskaniu stopnia doktora.

Pełniłem rolę promotora w 4 pracach inżynierskich i 7 magisterskich. Jako promotor pomocniczy sprawowałem, bądź sprawuję opiekę nad trzema przewodami doktorskimi.

Tabela 1. Syntetyczne zestawienie dorobku naukowo-badawczego (stan na kwiecień 2019 r.)

Rodzaj publikacji	Przed doktoratem			Po doktoracie			Łącznie		
	Indywidualne	Zespołowe	Razem	Indywidualne	Zespołowe	Razem	Indywidualne	Zespołowe	Razem
Oryginalne prace twórcze									
W czasopismach z <i>Impact Factorem</i>					15	15		15	15
Prace oryginalne publikowane w czasopismach recenzowanych		1	1		11	11		12	12
Rozdziały w monografiach					9	9		9	9
Inne prace									
Artykuły konferencyjne		2	2		1	1		3	3
Ekspertyzy									
Razem		3	3		36	36		39	39

Tabela 2. Zestawienie dorobku z uwzględnieniem oceny punktowej czasopism wg MNiSW oraz IF za rok publikacji (stan na kwiecień 2019 r.)

Nazwa czasopisma	Liczba publikacji		Sumaryczna liczba punktów MNiSW*	Sumaryczny Impact Factor (IF) za rok wydania
	Przed doktoratem	Po doktoracie		
Czasopisma z IF				
Roczniki Ochrony Środowiska		2	30	1,612
International Agrophysics		4	100	1,141; 1,117; 1,067; 1,242
iForest		1	25	1,150
Forest Systems		1	20	0,620
Proceedings of the National Academy of Sciences		1	45	9,423
Agricultural and Forest Meteorology		2	90	3,887; 4,039
Wetlands		1	25	1,811
Journal of Geophysical Research: Biogeosciences		1	5 [†]	3,484
Solar Energy		1	35	4,374
Geoscientific Model Development		1	45	4,252
Pozostałe czasopisma recenzowane				
International Agrophysics	1		6	
Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej		2	11	
Przegląd Naukowy, Inżynieria i Kształtowanie Środowiska		1	2	
Acta Agrophysica		2	14	
Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich		4	35	
Technical Sciences		1	11	
Monografie/rozdziały w monografiach				
Rozdziały w monografiach w języku angielskim		9	63	
Inne opublikowane prace naukowe				
Prace w materiałach konferencyjnych	2	1		
Prace nieuwzględnione w JCR i na listach MNiSW		1		
RAZEM	3	36	562	39,219

Tabela 3. Zestawienie liczby cytowań habilitanta (stan na kwiecień 2019 r.)

Baza	Liczba cytowań	Indeks H
Web of Science	143	5
Scopus	127	5
Google Scholar	262	7

Marek Urbanik

* Punktacja została sporządzona zgodnie z rokiem wydania listy czasopism MNiSW.

[†] czasopismo nie zostało ujęte na listach MNiSW.