

2. Stanowisko pomiarów turbulencyjnych strumieni gazów cieplarnianych w Kopytkowie (Biebrzański Park Narodowy)

Krzysztof Fortuniak¹, Włodzimierz Pawlak¹, Leszek Bednorz², Mateusz Grygoruk³, Jacek Forysiak⁴, Maciej Ziulkiewicz⁵, Anna Fortuniak⁵, Daniel Okupny⁶

Streszczenie

Celem opracowania jest charakterystyka stanowiska pomiarowego turbulencyjnych strumieni gazów cieplarnianych zlokalizowanego w Środkowym Basenie Kotliny Biebrzańskiej w Biebrzańskim Parku Narodowym. Krótko scharakteryzowano warunki naturalne Środkowego Basenu ze szczególnym uwzględnieniem bezpośredniego otoczenia punktu pomiarowego. Szczegółowo opisano konfigurację systemu pomiarowego metodą kowariancji wirów z otwartą ścieżką pomiarową oraz charakterystyką pomiarów wolnozmiennych. Przedyskutowano problemy wyboru lokalizacji stanowiska pomiarowego strumieni turbulencyjnych w aspekcie założeń teoretycznych i możliwości praktycznych.

Słowa kluczowe: wymiana gazowa Ziemia-atmosfera, metody pomiarowe, gazy cieplarniane, Biebrzański Park Narodowy

2.1. Obszar badań

Położony w północno-wschodniej Polsce, zwarty kompleks torfowisk Doliny Biebrzy należy do najcenniejszych przyrodniczo terenów Polski i Europy. Kompleks mokradeł biebrzańskich składający się z torfowisk alkalicznych, przejściowych oraz wysokich wraz z rozległym kompleksem równiny zalewowej, z licznymi starorzeczami połączonymi okresowo czy też stale z korytem rzeki, tworzą jeden z największych obszarów bagiennych Europy Środkowej (Banaszuk, 2004). Z uwagi na niski stopień przekształcenia większości spośród biebrzańskich mokradeł, jak również w kontekście prowadzonych w Dolinie Biebrzy licznych, skutecznych projektów renaturyzacji przekształconych ekosystemów rzeczno-mokradłowych, Dolina Biebrzy od wielu lat stanowi referencję dla badań ekohydrologicznych nad mokradłami Europy (Wassen i in., 1990). Ze względu na unikatowe walory ekologiczne, występowanie rzadkich, często zagrożonych gatunków roślin i zwierząt, 9 września 1993 na

¹ Katedra Meteorologii i Klimatologii, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź, e-mail: kfortun@uni.lodz.pl, wpawlak@uni.lodz.pl

² Katedra Botaniki, Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań, e-mail: lbednorz@up.poznan.pl

³ Katedra Inżynierii Wodnej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: M.Grygoruk@levis.sggw.pl

⁴ Katedra Geomorfologii i Paleogeografii, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź, e-mail: jacekfor@interia.eu

⁵ Pracownia Geologii, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź, e-mail: maciej.ziulkiewicz@geo.uni.lodz.pl, afort@geo.uni.lodz.pl

⁶ Zakładu Ekorozwoju i Kształtowania Środowiska Geograficznego, Instytut Geografii, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków, e-mail: daniel@up.krakow.pl

obszarze tym ustanowiony został Biebrzański Park Narodowy. Znaczna część Kotliny Biebrzańskiej objęta jest też ochroną, jako specjalne obszary ochrony siedlisk „Dolina Biebrzy” (PLH200008) i „Ostoja Augustowska” (PLH200005), a także obszary specjalnej ochrony ptaków „Ostoja Biebrzańska” (PLB200006) i „Puszcza Augustowska” (PLB200002).

Wciągającej się na długości ponad 100 km i obejmującej obszar ponad 250 tys. ha Kotlinie Biebrzańskiej (Banaszuk i Micun, 2009) wydzielono trzy odrębne jednostki geomorfologiczne, zwane basenami (Okruszko i Oświt, 1969; Pałczyński, 1975; Żurek, 1975, 1990). Stosunkowo wąski Basen Górny (Północny) stanowi ok. 40-kilometrowy fragment doliny o szerokości 1–3 km, gdzie złoża torfu, miejscami podścielone gytą mogą osiągać miąższość do 6 m. Dominującą formą zasilania torfowisk tego obszaru są wody podziemne oraz – w bardzo ograniczonym stopniu – wody zalewowe. Jest to jeden z największych, zwartych kompleksów dobrze zachowanych torfowisk alkalicznych w Unii Europejskiej. Znacznie szerszy Basen Środkowy, kształtem przypominający trapez o wymiarach 20×40 km, cechują torfowiska o miąższości 1–4 m obejmujące obszar ok. 45 000 ha. Ze względu na duże zróżnicowanie morfologiczne i hydrogeologiczne tego obszaru, znajdują się tu ekosystemy mokradłowe o dominacji zasilania opadowego, wysięków wód podziemnych oraz akumulacji wód spływu powierzchniowego, w tym zalewów rzecznych. Pomimo znacznego stopnia przekształcenia zachodniej części tego obszaru, Środkowy Basen Biebrzy stanowi jeden z najważniejszych pod względem zarządzania ochroną przyrody fragmentów Doliny Biebrzy. Basen Dolny (Południowy) swoim kształtem przypomina rynnę o szerokości 12–15 km i długości ok. 30 km. Torfowiska o miąższości 1–2 m obejmują tu obszar ok. 21 000 ha, a głównym źródłem zasilania hydrologicznego są wzajemnie zbilansowane wody podziemne (przy krawędziach doliny) oraz wody zalewowe Biebrzy (w sąsiedztwie rzeki).

Szczególnie cenne przyrodniczo obszary Biebrzańskiego Parku Narodowego znajdują się w Basenie Środkowym. Zaliczyć do nich można słynne „Czerwone Bagno”, które ze względu na swój unikatowy charakter może być uznawane za obszar referencyjny w badaniach ekosystemów bagiennych (Wassen i in., 2002). Dlatego prowadzone tam były liczne studia dotyczące flory, fauny, warunków ekologicznych, hydrologicznych i geologicznych (uzupełnioną bibliografię pradoliny Biebrzy przedstawiła Bartoszek, 2015). Chociaż tereny Środkowego Basenu Biebrzy można uznać za w niewielkim stopniu przekształcone poprzez działalność człowieka, na obecne warunki hydrologiczne niewątpliwie wpływ miała budowa kanałów w XIX i XX wieku. W latach 1820–1860 wybudowano kanały Woźnawiejski i Augustowski, a w latach 1950–1980 przeprowadzono kolejne prace melioracyjne (Byczkowski i Kiciński, 1991; Grygoruk i in., 2011). Występujące na tym obszarze rzeki Elk i Jerzgnia łączą Biebrzę odpowiednio z Jeziorem Elckim i Jeziorem Rajgrodzkim. Na warunki hydrologiczne w otoczeniu stacji pomiarowej może mieć również wpływ powstały prawdopodobnie w końcu XIX wieku sztuczny ciek wodny nazywany „rowem spod Polkowa”, biegnący od kanału Woźnawiejskiego do okolic wsi Polkowo w odległości ok. 2 km na północ od Kopytkowa.

Wykonane w XIX i XX wieku melioracje przeobrażeniowe doliny Biebrzy, głównie regulacja rzek, odwodnienie i osuszenie bagien spowodowały w części doliny zmiany środowiskowe obejmujące między innymi zmiany zbiorowisk roślinnych czy wzrost procesów rozkładu i murszenie warstwy torfowej (Żurek, 1975). Dlatego od początku lat 90. wśród specjalistów coraz częściej podnoszona była kwestia potrzeby podjęcia działań na

rzecz ochrony cennych walorów przyrodniczych Bagien Biebrzańskich przed degradacją oraz renaturyzacji warunków wodnych w częściowo odwodnionych torfowiskach. Podjęte w efekcie tych dyskusji, prac studialnych i wypracowanych koncepcji działania zaowocowały poprawą warunków hydrologicznych w ostatnich latach (Grygoruk i in., 2015).

Podobnym zabiegom melioracyjnym jak Dolina Biebrzy podlegało w XIX i XX wieku wiele obszarów bagiennych wschodniej Polski oraz środkowej i wschodniej Europy. Podobnie również na wielu z nich prowadzone są obecnie działania mające na celu ochronę i renaturyzację ich walorów przyrodniczych. Dlatego Basen Środkowej Biebrzy wybrano na miejsce prowadzenia długookresowych pomiarów wymiany gazowej pomiędzy powierzchnią Ziemi a atmosferą. Ciągłe pomiary strumieni podstawowych gazów cieplarnianych (pary wodnej, dwutlenku węgla i metanu) prowadzone są tam nieprzerwanie od listopada 2012 roku. Lokalizacja punktu pomiarowego na jednym z największych obszarów bagiennych regionu, obszaru dosyć typowego pod względem prowadzonej w ubiegłych latach i bieżącej gospodarki wodnej, a jednocześnie w znacznym stopniu naturalnego, pozwala mieć nadzieję, że otrzymane wyniki dostarczą informacji o typowych dla bagien środkowej Europy wartościach strumieni netto badanych gazów cieplarnianych oraz o turbulencyjnej wymianie pędu, masy i energii na tych obszarach. Celem podjętego opracowania jest szersza charakterystyka stanowiska pomiarowego i jego najbliższego otoczenia, niezbędna przy interpretacji wyników pomiarów strumieni turbulencyjnych.

2.2. Charakterystyka otoczenia stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe wymiany powierzchniowej gazów cieplarnianych na obszarze Biebrzańskiego Parku Narodowego zlokalizowano nieopodal wsi Kopytkowo w Środkowym Basenie Biebrzy (53°35'30,8"N, 22°53'32,4"E, 109 m. n.p.m.). W odległości 4–8 km w kierunku północnym i północno zachodnim rozciąga się słynne "Czerwone Bagno". Sam punkt pomiarowy ulokowany został w bezpośredniej bliskości rzeki Kopytkówki, której koryto w rejonie badań jest trudne do precyzyjnego zlokalizowania ze względu na całkowite pokrycie roślinnością szuwarową. W odległości ok. 350 m na południe znajdują się zabudowania Kopytkowa. Jest to tylko kilka domostw, z których dwa są na stałe zamieszkałe. Pozostałe to budynki gospodarcze, domek letniskowy i stare, opuszczone gospodarstwo rolne.

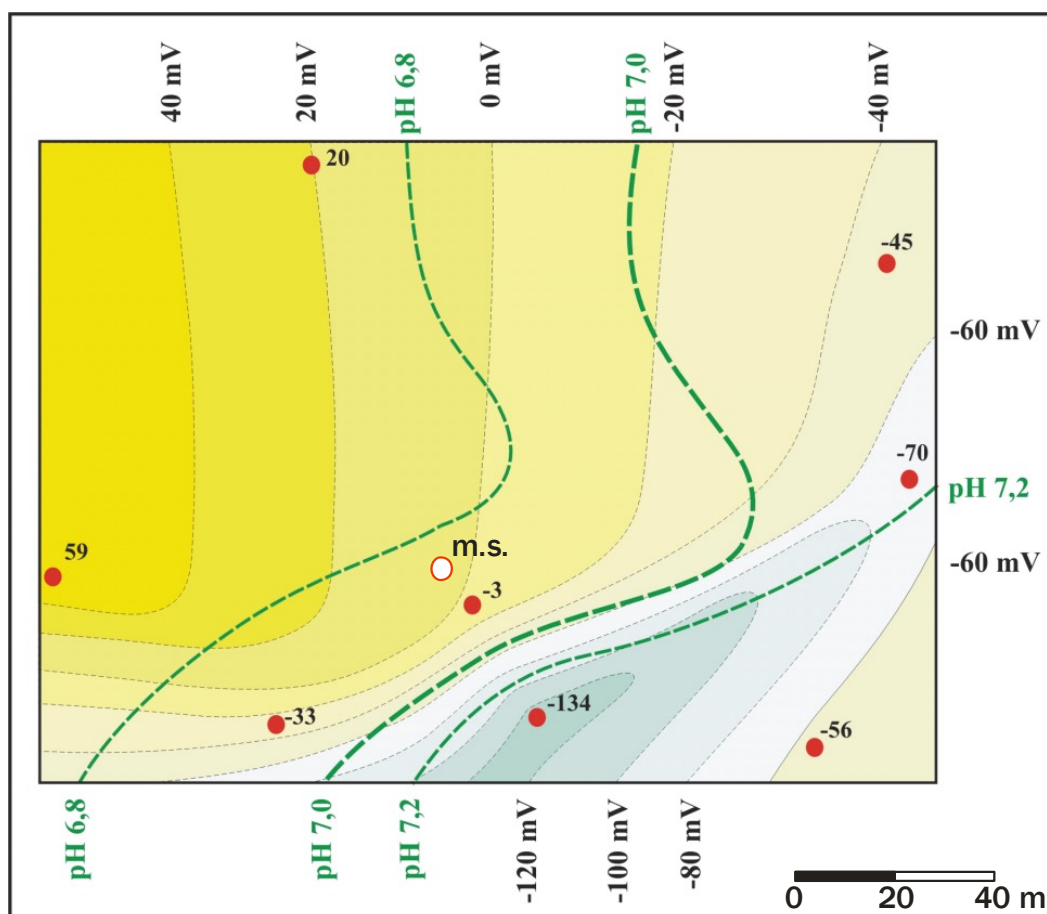
Na południe od torfowiska Czerwone Bagno, w kierunku Kopytkowa, zasadniczą masę złoża stanowi torf szuwarowy, miejscami przykryty turzycowiskowym (Oświt, 1991). Wykonane w bezpośrednim otoczeniu punktu pomiarowego sondowania wskazują na warstwę osadów organicznych o grubości 100–170 cm. Sondowanie zlokalizowane 2 m w kierunku południowym od stanowiska pomiarowego dokumentuje utwory organiczne do głębokości 170 cm. Zalegają one na osadach fluwialnych, składających się z średnio- i gruboziarnistego piasku. Wierzchnia warstwa torfu jest tu słabo rozłożona (H1 – H2) o stosunkowo dużej zawartości materii organicznej (60–80%). Na głębokości 20–80 cm utwór torfowy jest już silnie rozłożony (H8 – H9) i częściowo zmineralizowany, z domieszką piasku, o zawartości materii organicznej 15–40%. Poniżej, do głębokości 140 cm zalega utwór mułkowo-torfowy, z wzrastającą z głębokością domieszką piasku i mułu, a pod nim muł mineralno-organiczny (Ziulkiewicz i in., 2014).



Rys. 2.1. Położenie stanowiska pomiarowego w Biebrzańskim Parku Narodowym oraz szkic najbliższego otoczenia punktu pomiarowego. Oznaczenia legendy: 1 – turzycowiska; 2 – trzcinowiska; 3 – szuwar tatarakowy; 4 – łąki; 5 – pola uprawne; 6 – zalesienia;

Badania hydrochemiczne przeprowadzono w okresie 2011–2014 w sieci punktów badawczych, ujmujących wody powierzchniowe oraz podziemne, występujące w stropie i spągu utworów organicznych w najbliższym otoczeniu stacji pomiarowej (Ziulkiewicz i in., 2014). Analiza chemiczna prowadzona była w zakresie podstawowych cech fizyczno-chemicznych, głównych jonów, mineralnych form związków azotu i fosforu, żelaza ogólnego, manganu, krzemionki oraz zawartości substancji organicznych (utlenialność, barwa wody, OA). Analizy wykonywało laboratorium Pracowni Geologii UŁ oraz Laboratorium Technik Analitycznych i Komputerowych Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska UŁ wg metodyki dedykowanej wodom podziemnym (Witczak i in., 2013).

Badania wykazały, że na terenie stacji pomiarowej Kopytkowo występują dwa charakterystyczne okresy hydrologiczne:



Rys. 2.2. Odczyn i potencjał redoks wód występujących bezpośrednio pod ciągłą pokrywą lodową wokół stacji pomiarowej (m.s.) w lutym 2014 r.

- I. z dominacją wód podziemnych, przetransformowanych hydrochemicznie na skutek płytkiej filtracji w masie organicznej – daleki dopływ z północy,
- II. z dominacją wód zalewowych Kopytkówki – bliski dopływ z południowego wschodu.

Pierwszy rodzaj zasilania dominuje w okresie letnim i jesiennym, wody wykazują podwyższoną mineralizację, są pozbawione azotanów i siarczanów, a wzbogacone w wodorowęglany, zawierają względnie duże ilości rozpuszczonego węgla organicznego oraz agresywnego dwutlenku węgla.

Drugi rodzaj wód pojawia się późną zimą i wiosną, a wody wykazują niską mineralizację, niewielkie ilości siarczanów, względnie mniejsze ilości wodorowęglanów i agresywnego dwutlenku węgla. Bliski dopływ i położenie w pobliżu stałych siedzib ludzkich sprawia, że wzrastają stężenia mineralnych form azotu, z azotanami włącznie. Prowadzone w czasie badań hydrochemicznych pomiary Eh wód zarówno w stropie, jak i spągu torfowiska w rejonie stacji Kopytkowo wskazują, przy zasadniczo obojętnym odczynie wód, na warunki słabo redukcyjne – rys. 2.2.

W obszarze źródłowym mierzonych strumieni turbulencyjnych dominują: zbiorowisko wysokich turzyc i trzcinowisko wzdłuż Kopytkówki, reprezentujące dwa zespoły roślinne. Zespoły te określono na podstawie zdjęć fitysocjologicznych wykonanych 14 czerwca 2014 roku na trzech stanowiskach (Fot. 2.1).



Fot. 2.1. Widok na stanowisko pomiarowe od strony południowej (z wieży widokowej gospodarstwa agroturystycznego w Kopytkowie). Numerami oznaczono miejsca określenia zbiorowisk roślinnych (Fot. 2.2)

Na stanowisku 1 (Fot. 2.2a), zlokalizowanym w najbliższym otoczeniu stacji pomiarowej, dominuje zespół *Caricetum rostratae*. Należy on do zbiorowisk średnio wysokich turzyc, najpospolitszego zbiorowiska ze związku *Magnocaricion* z klasy *Phragmitetea*. Dominującymi gatunkami są tutaj turzycy: *Carex rostrata* i *Carex paniculata* oraz siedmiopalecznik błotny *Comarum palustre*. Trzcinowisko wzdłuż Kopytkówki (stanowisko 2) reprezentuje zespół *Thelypteridi-Phragmitetum* (Fot. 2.2b). Jest to zbiorowisko ze związku *Magnocaricion*, ale nawiązujące florystycznie i siedliskowo do związku *Phragmition*. Najczęściej występuje ono w końcowych etapach procesu dośrodkowo-odgórnego ładowania jezior mezotroficznych; tutaj zbiorowisko to występuje w pasie ciągnącym się wzdłuż Kopytkówki. Dominującymi gatunkami są tu trzcina pospolita *Phragmites australis* oraz paproć zachyłnik błotny (narecznica błotna) *Thelypteris palustris* i przytulia bagienna *Galium uliginosum*. Na południe, poza pasmem trzcin (stanowisko 3), od strony wsi Kopytkowo, występuje szuwar tatarakowy reprezentujący zespół *Acoretum calami* (Fot. 2.2c). Zbiorowisko to należy do związku *Phragmition* (szuwaru właściwego) z klasy *Phragmitetea*. Jest to florystycznie dość ubogie zbiorowisko występujące w płytkich eu- i mezotroficznych zbiornikach wód stojących lub płynących na szlamistym podłożu mineralnym lub słabo zatorfionym. Zbiorowisko jest wybitnie nitrofilne i rozwija się na ogół w sąsiedztwie osiedli ludzkich. Tutaj wykształciło się ono na obszarze położonym pomiędzy Kopytkówką

a zabudowaniami wsi Kopytkowo. Dominantem jest tu tatarak zwyczajny *Acorus calamus*, a znaczny udział mają również paproć *Thelypteris palustris* oraz bobrek trójlistkowy *Menianthes trifoliata*.



Fot. 2.2a. Płat zbiorowiska *Caricetum rostratae*



Fot. 2.2b. Płat zbiorowiska *Thelypteridi-Phragmitetum*



Fot. 2.2c. Płat zbiorowiska *Acorum calami*

2.3. Konfiguracja systemu pomiarowego

Pomiary turbulencyjnych strumieni masy, energii i pędu metodą kowariancji wirów (EC – ang. *eddy covariance*) wymagają czujników pozwalających rejestrować mierzone parametry z dużą częstotliwością. Obecnie jako minimalną, pozwalającą na uwzględnienie transportu przez niewielkie wiry, przyjmuje się częstotliwość około 10 Hz (Lee i in., 2004; Foken, 2008; Aubinet i in., 2012). Dodatkowo, w celu poznania pozostałych składników bilansu cieplnego, wyznaczenia poprawek, uzupełniania brakujących danych oraz określenia współzależności między badanymi strumieniami a pozostałymi parametrami meteorologicznymi niezbędne są standardowe, wolnozmiennne pomiary meteorologiczne. Dlatego systemy pomiarowe strumieni turbulencyjnych składają się najczęściej z części szybkozmiennnej, którą tworzy anemometr akustyczny i odpowiednie analizatory gazowe, oraz części wolnozmiennnej.

Podstawę każdego systemu EC stanowi anemometr akustyczny (nazywany też anemometrem dźwiękowym, anemometrem ultradźwiękowym lub anemometrem sonicznym), umożliwiający pomiary składowych ruchu powietrza oraz, ze względu na zależność prędkości rozchodzenia się dźwięku od temperatury, temperatury powietrza (tzw. temperatury sonicznej, która nieco różni się od temperatury rzeczywistej ze względu na dodatkową zależność od wilgotności). Szybkozmiennne pomiary stężenia analizowanych gazów w systemie kowariancji wirów realizowane mogą być dwoma metodami: z tzw. otwartą ścieżką pomiarową (ang. *open path EC*) lub z zamkniętą ścieżką pomiarową (ang. *closed path*

EC). W pierwszym przypadku stężenie gazu mierzone jest na ścieżce od kilku do kilkudziesięciu centymetrów bezpośrednio w powietrzu, tuż obok anemometru akustycznego. W drugim przypadku powietrze z poziomu pomiarowego zasysane jest do analizatora gazowego systemem odpowiednich rurek.

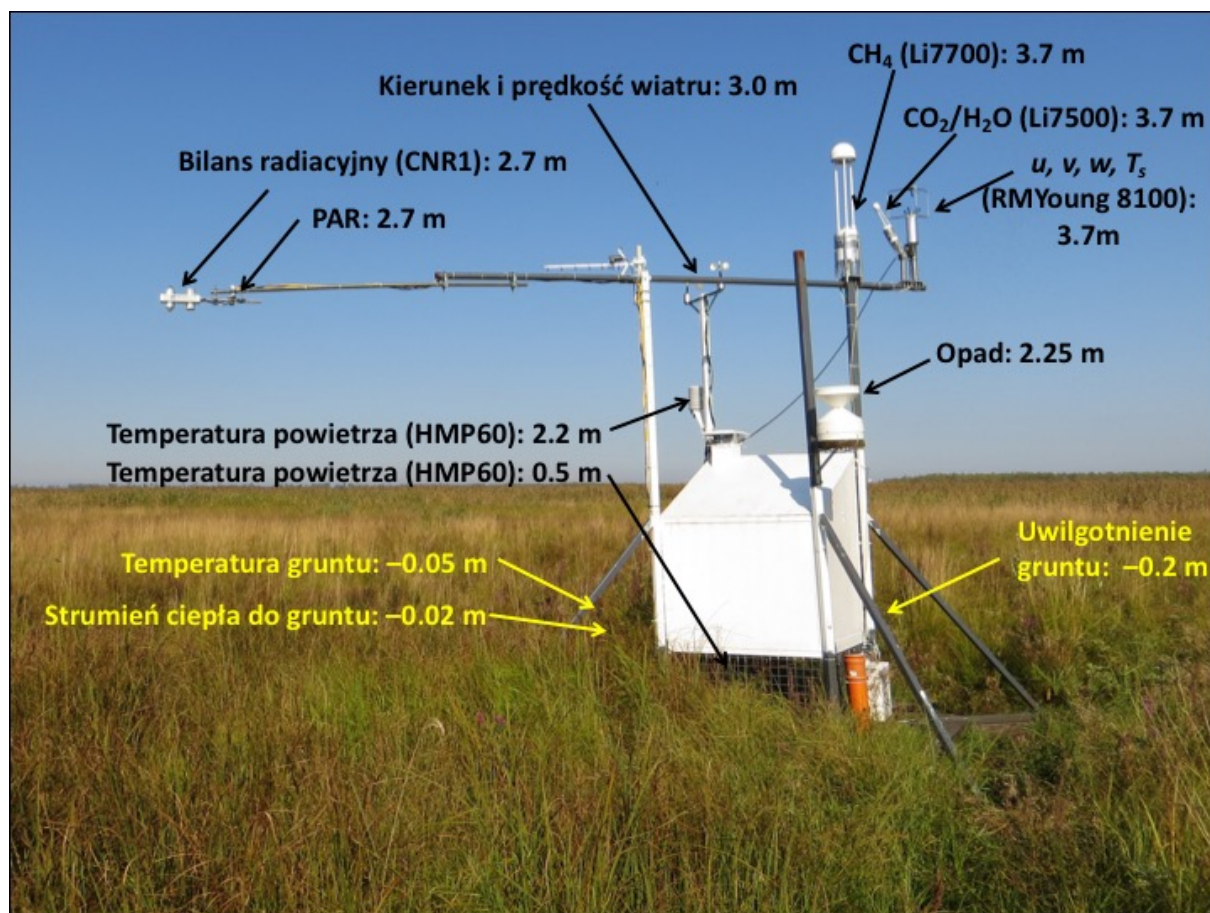
Konfiguracja czujników wolnozmiennych zależy od postawionej problematyki badawczej, lecz najczęściej zestaw ten zawiera czujniki pozwalające na pomiar bilansu radiacyjnego (lub niezależnie jego składników długofalowych i krótkofalowych), jedną lub kilka sond temperatury i wilgotności powietrza, anemometr i wskaźnik kierunku wiatru, deszczomierz, termometry gruntowe na jednym bądź kilku poziomach. Często stosuje się również czujnik uwilgotnienia gleby i strumienia ciepła do gruntu. W przypadku pomiarów strumieni CO₂, CH₄ czy innych gazów wskazany jest również niezależny od pomiarów szybkozmiennych pomiar stężenia tych gazów, najlepiej na kilku poziomach, umożliwiający, w przypadku stałej stratyfikacji atmosfery, oszacowanie ilości zgromadzonego gazu pomiędzy powierzchnią Ziemi a zawieszonym na pewnej wysokości analizatorem gazowym (tzw. *storage term*), a w konsekwencji wprowadzenie odpowiedniej poprawki na wartość strumienia.

Stanowisko pomiarowe w Kopytkowie (Fot. 2.3) zbudowane jest na bazie metalowej klatki o wymiarach 1x1 m i wysokości 1,2 m, umieszczonej na 4 wspornikach o wysokości 3 m. Podstawa klatki znajduje się 0,6 m nad poziomem gruntu, a jej górna krawędź w najwyższym punkcie (klatka ma spadzisty dach) na poziomie 1,8 m. Na górze, pomiędzy dwoma wspornikami, po przekątnej, na kierunku północ-południe, zamontowana jest pozioma rura, do której przymocowane są czujniki szybkozmiennych i czujniki promieniowania.

Część szybkozmienna systemu składa się z anemometru akustycznego RMYoung 81000, pozwalającego na pomiary trzech składowych ruchu powietrza i temperatury, oraz dwóch analizatorów gazowych: Li-7500, rejestrującego stężenie pary wodnej i dwutlenku węgla oraz Li-7700, rejestrującego stężenie metanu (Tabela 2.1). Oba analizatory gazowe pracują w trybie otwartej ścieżki pomiarowej. Analizator Li-7700 umieszczony jest bezpośrednio nad północnym wspornikiem klatki, a analizator Li-7500 oraz anemometr akustyczny przytwierdzone są do poziomej rury odpowiednio w odległości 25 cm i 50 cm od Li-7700 w kierunku północnym. Środek ścieżki pomiarowej systemu EC znajduje się na wysokości ok. 3,7 m nad gruntem. Taka lokalizacja czujników minimalizuje wpływ klatki na pomiary turbulencyjne. Pomiarami szybkozmiennymi zarządza rejestrator CR5000 (Campbell Sci.) połączony do komputera przemysłowego TANK-101B (IEI Integration Corp.). Wyniki rejestrowanych z częstotliwością 10 Hz pomiarów składowych ruchu powietrza, temperatury sonicznej, stężenia pary wodnej, dwutlenku węgla i metanu zapisywane są na dysku twardym komputera w plikach 15-minutowych.

Pozostałe czujniki stanowią część wolnozmienną systemu pomiarowego. Podłączone są one do tego samego rejestratora CR5000, wartości mierzonych parametrów rejestrowane są co 5 minut i dopisywane do pliku wynikowego na komputerze. Umieszczony na wysięgniku w odległości 3,15 m od krawędzi klatki na wysokości 2,7 m radiometr różnicowy CNR1 pozwala na niezależne pomiary krótkofalowego i długofalowego promieniowania dochodzącego od atmosfery do powierzchni Ziemi oraz skierowanego od powierzchni Ziemi do atmosfery. Obok, na tym samym wysięgniku, znajduje się para czujników promieniowania fotosyntetycznie aktywnego (PAR), z których jeden jest skierowany w górę, drugi w dół.

Sparowanie tych czujników pozwala na wyznaczenie albedo również w tym zakresie promieniowania. Pomiaru składników bilansu cieplnego dopełnia płytka strumienia ciepła do gruntu umieszczona na głębokości 20 cm w odległości ok. 1,5 m od klatki. Informacji o stanie gruntu dostarcza dodatkowo sonda temperatury i sonda uwilgotnienia gruntu. Dwie sondy temperatury i wilgotności powietrza zamontowano na wysokościach 2,2 m i 0,5 m, co umożliwia wyznaczenie gradientów tych parametrów oraz dostarcza informacji zarówno o ich wartościach w wolnym powietrzu (górna sonda) jak i w na poziomie szaty roślinnej (dolna sonda). Pozostałe mierzone parametry to prędkość i kierunek wiatru, suma opadów oraz ciśnienie atmosferyczne.



Fot. 2.3. Widok stanowiska pomiarowego i rozmieszczenie czujników

W celu kontroli działania stacji, komputer, na którym są gromadzone dane jest podłączony do Internetu poprzez modem telefonii komórkowej. Niestety, stacja znajduje się na granicy zasięgu sieci, co uniemożliwia przesyłanie dużych plików wyników pomiarów szybkościennych.

2.4. Podsumowanie

Trzyletnie doświadczenia z pomiarów prowadzonych w Kopytkowie pozwalają stwierdzić, że odpowiednio skonfigurowany system kowariancji wirów może zapewniać stabilne pomiary długookresowe. W okresie badań dłuższe (kilkudniowe) przerwy

w rejestracji mierzonych parametrów pojawiały się jedynie w konsekwencji przerw w zasilaniu – po ponad dwóch latach ciągłej pracy zaczęły się pojawiać przerwy wynikające z awarii akumulatora podtrzymującego napięcie. Przy stabilnym zasilaniu, system działa w zasadzie bezobsługowo i wymaga jedynie regularnego zgrywania danych z dysku twardego. Wyjątek stanowi czujnik metanu Li-7700. Mimo wyposażenia czujnika w system automatycznych spryskiwaczy, w celu zapewnienia rzetelnych pomiarów niezbędne jest regularne czyszczenie lusterek powodujących zwielokrotnienie ścieżki pomiarowej. Konieczna jest również regularna kontrola działania tego czujnika poprzez podgląd konfiguracji na komputerze (w tym wypadku jest to najczęściej dostęp zdalny). Dlatego regularne, długoterminowe pomiary strumienia metanu wciąż wymagają dużego doświadczenia w badaniach mikrometeorologicznych. Mniej złożone są pomiary bilansu cieplnego i strumienia dwutlenku węgla. Po odpowiednim skonfigurowaniu i zainstalowaniu, sama obsługa systemu pomiarowego może być w tym przypadku dosyć prosta. Doświadczenia wymaga natomiast poprawne wyliczanie strumieni turbulencyjnych z otrzymanych danych i interpretacja wyników.

Lokalizacja stanowiska pomiarowego turbulencyjnych strumieni gazów cieplarnianych jest zawsze kompromisem pomiędzy lokalizacją najbardziej pożądaną a możliwościami praktycznymi. Punkt pomiarowy w Kopytkowie znajduje się na płaskim terenie w dużej odległości od najbliższych przeszkód terenowych (drzewa, budynki itp.), które mogłyby niekorzystnie wpłynąć na jakość pomiarów strumieni turbulencyjnych. Spełnione zostały zatem mikrometeorologiczne wymogi lokalizacji systemu kowariancji wirów. Z drugiej strony, stanowisko pomiarowe usytuowano stosunkowo niedaleko od zabudowań, co umożliwia w miarę stały dozór sprzętu. Lokalizacja stacji na trudno dostępnym terenie (stosunkowo łatwe dojście jest jedynie od budynków gospodarstwa agroturystycznego w Kopytkowie) zapewnia natomiast względne bezpieczeństwo kosztownej aparatury pomiarowej. Oczywiście zachodzi pytanie, czy jest to lokalizacja optymalna. Na przykład, umieszczenie systemu pomiarowego kilkaset metrów dalej w kierunku północno-zachodnim, bliżej rezerwatu „Czerwone Bagno”, być może mogłoby być bardziej korzystne ze względu na strukturę torfu (porównaj, Grygoruk i in., 2011, rys. 2), lecz stwarzałoby większe trudności praktyczne związane z dostępem do sprzętu, zapewnieniem bezpieczeństwa, utrzymaniem stabilnego zasilania, a w konsekwencji stawiałoby pod znakiem zapytania możliwość ciągłych, długookresowych pomiarów. Co więcej, lokalizacja stacji na obszarze ochrony ścisłej „Czerwone Bagno”, o znikomym stopniu przekształcenia warunków hydrologicznych wynikających w dużej mierze z lokalnych i bardzo specyficznych uwarunkowań hydrogeologicznych, nie dawałaby odpowiedzi na pytanie o emisję gazów cieplarnianych z najbardziej typowych siedlisk Doliny Biebrzy. Wiele potencjalnie interesujących torfowisk (zarówno w dolinie Biebrzy jak i w innych rejonach) również stwarza liczne trudności i dodatkowo nie spełnia wymogów teoretycznych założeń metody kowariancji wirów, ze względu na występowanie zakrzewień i pojedynczych drzew, lub rozmiar obszaru źródłowego czujników. Dlatego opisana lokalizacja, jak zresztą każda lokalizacja stanowiska pomiarowego metody kowariancji wirów, stanowi kompromis pomiędzy potrzebą jak najszerzego poznania wymiany gazowej w typowych ekosystemach bagiennych obszaru, a możliwościami technicznymi metody i użytego sprzętu pomiarowego.

Praca wykonana w ramach projektu “Bilans absorpcji i emisji gazów cieplarnianych (metanu, dwutlenku węgla i pary wodnej) na obszarach bagiennych (studium Biebrzańskiego Parku Narodowego)” sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/B/ST10/07550. Autorzy dziękują Dyrekcji Biebrzańskiego Parku Narodowego za umożliwienie prowadzenia badań na terenie Parku oraz Państwu Krystynie i Adamowi Raczkowskim z gospodarstwa agroturystycznego „Dworek na końcu świata” za opiekę nad stanowiskiem pomiarowym.

Literatura

- Aubinet, M., Vesala, T., Papale, D. (red.), 2012, *Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis*, Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 438 s.
- Banaszuk, H. (red.), 2004, *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Monografia Przyrodnicza*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Banaszuk, H., Micun, K., 2009, Kształtowanie i ewolucja dolin rzecznych dużych obniżeniach wytopiskowych na obszarze niziny Północnopodlaskiej, *Prace i Studia Geograficzne*, 41, 25–36.
- Bartoszek, H., 2015, Przyrodnicza bibliografia Kotliny Biebrzańskiej. [Online]: <http://www.biebrza.org.pl/plik,3078,bibliografia-07-10-2015-doc.doc>
- Byczkowski, A., Kiciński, T., 1991, Hydrologia i hydrografia dorzecza Biebrzy. Bagna Biebrzańskie, PNW, 5–118.
- Foken, T., 2008, *Micrometeorology*, Springer, Berlin, 306 s.
- Grygoruk, M., Bańkowska, A., Jabłońska, E., Janauer, G.A., Kubrak, J., Mirosław-Świątek, D., Kotowski, W., 2015, Assessing habitat exposure to eutrophication in restored wetlands: model-supported ex-ante approach to rewetting drained mires, *Journal of Environmental Management*, 152, 230–240.
- Grygoruk, M., Batelaan, O., Okruszko, T., Mirosław-Świątek, D., Chormański, J., Rycharski M., 2011, Groundwater modelling and hydrological system analysis of wetlands in the Middle BiebrzaBasin, w: T. Okruszko, D. Mirosław-Świątek (red.), *Modelling of Hydrological Processes in the Narew Catchment*, Geoplanet: Earth and Planetary Sciences Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Lee, X., Massman, W.J., Law, B. (red.), 2004, *Handbook of micrometeorology: A guide for surface flux measurement and analysis*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 250 s.
- Mioduszeński, W., Szuniewicz, J., Kowalewski, Z., Chrzanowski, S., Ślesicka, A., Borowski, J., 1996, Gospodarka Wodna na Torfowisku w Basenie Środkowym Biebrzy, *Zeszyty Problemowe Nauk Rolniczych*, Warszawa.
- Okruszko, H., Oświt, J., 1969, Gleby mułowe na tle warunków doliny dolnej Biebrzy, *Roczn. glebozn.*, 20(1), 25–49.
- Oświt, J., 1991, Roślinność i siedliska zabagnionych dolin rzecznych na tle warunków wodnych, *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria D, Monografie*, Tom 221.
- Pałczyński, A., 1975, Bagna Jaćwieskie. Pradolina Biebrzy. *Roczn. Nauk Roln. Ser. D - Monografie*, 145.
- Wassen, M., Barendregt, A., Pałczyński, A., de Smidt, J.T., de Mars, H., 1990. The relationship between fen vegetation gradients, groundwater flow and flooding in an undrained valley mire at Biebrza, Poland, *Journal of Ecology*, 78, 1106–1122.
- Ziulkiewicz, M., Forysiak, J., Fortuniak, A., Fortuniak, K., Kloss, M., Okupny, D., 2014, Selected environmental characteristics of the greenhouse gases measurement site at wetland of the Biebrza National Park, Poland, *Proceedings of the 4th International Field Symposium „West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present”, 04-17.08.2014, Novosibirsk, Russia*, 152–154.

-
- Żurek, S., 1975, *Geneza zabagnienia Pradoliny Biebrzy*, Pr. Geogr. IGiPZ PAN, 110, 1–110.
- Żurek, S., 1990, Związek procesów zatorfienia z elementami środowiska przyrodniczego wschodniej Polski. Roczniki Nauk Rolniczych, Seria D, Monografie, 220, 1–174.

The measurement site of the greenhouse gases turbulent fluxes in Kopytkowo (Biebrza National Park)

Abstract

The aim of the study is characteristic of the measurement site of the greenhouse gases fluxes. The site is located in the Central Basin of Biebrza Valley in Biebrza National Park. The natural environmental conditions of the Central Basin are presented with the focus on nearest neighborhood of the site. The configuration of the open-path eddy-covariance measurement system is described in detail as well as the low-response sensors. Issues of the choice of eddy-covariance site in terms of the theoretical foundations of the method and practical limitations were discussed.

Key words: surface-atmosphere gas exchange, measurement methods, greenhouse gases, Biebrza National Park

