

Badania nad obiegiem węgla na obszarach łąkowych¹

M. BUDZYŃSKA¹, K. DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA¹, M. TOMASZEWSKA¹,
M. BARTOLD^{1,2}, M. GATKOWSKA¹

¹*Instytut Geodezji i Kartografii, Centrum Teledetekcji*

²*Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Geoinformatyki,
Kartografii i Teledetekcji*

Studies on carbon exchange in grassland areas

Abstract. The paper presents the preliminary results of the task in the framework of ongoing project FINEGRASS “Effect of climatic changes on grassland growth, its water conditions and biomass” funded by the Polish-Norwegian Research Programme. The objective of this task is the assessment of carbon exchange in grassland areas using in-situ and remote sensing data. Grasslands are very sensitive ecosystem where significant changes of the carbon balance occur under different climate change, where grasslands either sequester or become the sources of carbon. The study was conducted in the years 2014–2015 at Wielkopolska Region, Biebrza River Valley, and Pieniny Mountains test sites, that cover three following grassland types: lowland non–valley, lowland valley, and mountainous. The paper presents in-situ and microwave and optical satellite observations to quantify relationships between soil-vegetation parameters that influence spatial and temporal variability of carbon fluxes over these areas. The next step of the study is the application of satellite data acquired in optical and microwave spectrum to develop method for the assessment of carbon fluxes.

Keywords: CO₂ fluxes, chamber method, LAI, soil moisture, PAR, satellite images TerraSAR-X and MODIS.

1. Wstęp

Obszary łąkowe odgrywają ważną rolę w krążeniu dwutlenku węgla w przyrodzie i w zależności od warunków środowiska mogą go pobierać z atmosfery lub do niej emitować. Ilość węgla zakumulowana lub wyemitowana przez dany ekosystem łąkowy zależy głównie od sposobu użytkowania, typu gleby i jej wilgotności, rodzaju zbiorowisk roślinnych i ich biomasy oraz warunków meteorologicznych. Obecne zmiany klimatyczne, a zwłaszcza obserwowany od lat wzrost temperatury powietrza spowodowany nadmierną emisją CO₂, są powodem występowania coraz częstszych susz, które mają niekorzystny wpływ na rozwój

¹ Badania finansowane w ramach Polsko-Norweskiej Współpracy Badawczej – Projekt FINEGRASS (grant 203426/82/2013).

roślinności łąkowej. Opracowanie szybkiej i taniej metody szacowania wymiany węgla na obszarach łąkowych jest możliwe dzięki zastosowaniu najnowszych technik teledetekcji i jest jednym z zadań projektu FINEGRASS pt. „Effect of climatic changes on grassland growth, its water conditions and biomass” finansowanego w ramach Polsko-Norweskiej Współpracy Badawczej.

W artykule przedstawiono wstępne wyniki zastosowania danych in-situ oraz satelitarnych do uzyskania charakterystyk roślinno-wilgotnościowych wpływających na bilans węgla w ekosystemach łąkowych. Otrzymane zależności posłużą do opracowania metody szacowania natężenia przepływu strumieni węgla z wykorzystaniem danych uzyskanych technikami teledetekcji. Zastosowanie opracowanej metody pozwoli na ocenę wpływu wymiany węgla w ekosystemach łąkowych na ewentualne zmiany klimatyczne.

2. Materiał i metody

W latach 2014–2015 na wybranych obszarach testowych wykonane zostały pomiary przepływu CO₂ metodą komorową oraz pomiary następujących parametrów glebowo-roślinnych: WG (wilgotność gleby), LAI (Leaf Area Index), biomasa świeża i sucha oraz zawartość wody w roślinach, PAR (Photosynthetically Active Radiation). Badaniami objęto obszary łąkowe zlokalizowane w Wielkopolsce (nizinne dolinowe i poza-dolinowe, kośne), w dolinie Biebrzy (nizinne dolinowe i poza-dolinowe, kośne i spasane), i w Pieninach (górskie, spasane). W tabeli 1 zamieszczono nazwy i współrzędne geograficzne badanych użytków zielonych. Terminy badań terenowych wykonywanych w odstępach miesięcznych od maja do października były związane z terminami rejestracji satelitarnych zdjęć mikrofalowych. Badania wykonywano w trzech miejscach wokół wybranych punktów pomiarowych obejmujących różne zbiorowiska roślinne, a ich wyniki były następnie uśredniane do jednej wartości reprezentującej badaną powierzchnię (zbiorowisko roślinne).

Pomiary stężenia przepływu strumieni węgla wykonywano metodą komorową z wykorzystaniem miernika dyfuzyjnego (TURBIAK, 2012; 2014). Strumień wymiany netto ekosystemu, tzw. NEE (Net Ecosystem Exchange) mierzono co minutę przez 8 minut, strumień respiracji, tzw. RESP (Respiration), po jego zaciemnieniu nieprzepuszczającym światła czarnym pokrowcem, również przez 8 minut. Do obliczeń NEE i RESP wykorzystywano te wartości, w których spadek lub przyrost stężenia CO₂ był liniowy (TURBIAK i MIATKOWSKI, 2010). Obliczenia wykonane zostały z zastosowaniem równania otrzymanego z modelu liniowego opisującego zależność pomiędzy czasem pomiaru a stężeniem CO₂ w kłoszu, wprowadzonego przez LIVINGSTON i HIUTCHINSONA (1995). Inten-

sywność fotosyntezy (pobór CO_2 z atmosfery) jest nazywana Produkcją Pierwotną Ekosystemu (Gross Primary Production – GPP). GPP obliczano jako różnicę pomiędzy NEE i RESP. NEE odnosi się do bilansu CO_2 z perspektywy atmosfery, dlatego przyjmuje wartości ujemne, gdy przeważa absorpcja tego gazu przez ekosystem, a dodatnie, gdy dominuje emisja CO_2 z ekosystemu do atmosfery (SAKOWSKA i WSP., 2012). Do wykonania analiz statystycznych wszystkie strumienie (NEE, RESP, GPP) przeliczono na jednostkę $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, przyjmując, że 1 $\mu\text{mol CO}_2$ waży 44 μg .

Równocześnie z pomiarami strumieni NEE i RESP wykonywano pomiary: PAR przyrządem AccuPAR LP-80 (AccuPAR Operator's Manual, 2010), wilgotności objętościowej gleby (WG, % obj.) metodą TDR (Time Domain Reflectometry) instrumentem TRIME-FM (FUNDINGER i WSP., 1992) oraz pomiary powierzchni projekcyjnej liści tzw. LAI (Leaf Area Index, $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) instrumentem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. Instruction Manual, 1991). Po zakończeniu ww. pomiarów zbierano z powierzchni ramki $0,4 \times 0,4 \text{ m}$ biomasę świeżą, z której oznaczano w laboratorium biomasę suchą (g m^{-2}) i zawartość wody w roślinach (%). Jednoczesne pomiary na wszystkich badanych użytkach zielonych zostały wykonane jedynie w III dekadzie maja i w III dekadzie sierpnia 2015 roku, w pozostałych terminach 2014–2015 różnice są 2–3 tygodniowe.

W badaniach zostały wykorzystane zdjęcia satelitarne TerraSAR-X Strip-Map (zakres X – 3,1 cm, 9,65 GHz; polaryzacja fali VV; rozdzielczość prze-

Tabela 1. Lokalizacja obszarów testowych
Table.1. Localization of the test sites

Nazwa Name	Typ użytków zielonych Grassland type	Współrzędne geograficzne Geographic coordinates			
		N		E	
		UL	LR	UL	LR
Brody Wielkopolska	Nizinne poza-dolinowe Lowland non-valley	52° 28'	52° 26'	16° 16'	16° 18'
Raczyn Wielkopolska	Nizinne dolinowe Lowland valley	53° 04'	53° 02'	17° 04'	17° 07'
Kościan Wielkopolska	Nizinne poza-dolinowe Lowland non-valley	52° 05'	52° 03'	16° 40'	16° 44'
Biebrza Dolina Biebrzy	Nizinne dolinowe/poza- -dolinowe Lowland valley/non-valley	53° 48'	53° 05'	22° 20'	23° 02'
Jaworki Pieniny	Górskie Mountainous	49° 25'	49° 23'	20° 32'	20° 34'

* UL – Upper Left; LR – Lower Right.

strzenna 6 m) zarejestrowane w zakresie mikrofalowym oraz zdjęcia satelitarne Terra MODIS wykonane w zakresie optycznym. Zdjęcia TerraSAR-X otrzymano z DLR (Niemiecka Agencja Kosmiczna) w ramach projektu nr LAN0054, zdjęcia Terra MODIS zostały pobrane bezpłatnie z serwera WIST (NASA Warehouse Inventory Search Tool). Wykorzystane zdjęcia mikrofalowe zostały zarejestrowane dla użytków zielonych dolinowych i poza-dolinowych.

Korekcję radiometryczną zdjęć mikrofalowych TerraSAR-X oraz obliczanie współczynnika wstecznego rozpraszania (σ°) wykonano z wykorzystaniem oprogramowania NEST (Next ESA SAR Toolbox), otrzymanego z ESA (European Space Agency). Współczynnik wstecznego rozpraszania wyraża natężenie promieniowania mikrofalowego odbitego od badanej powierzchni i zależy od jej szorstkości i właściwości dielektrycznej. Odczyty σ° dla punktów pomiarowych wykonano w systemie ERDAS.

Instrument MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) skanuje powierzchnię ziemską codziennie w 36 zakresach spektralnych od 0,4 μm do 14,4 μm , z czego pierwsze dwa zakresy (0,62–0,67 μm oraz 0,841–0,876 μm) mają największą rozdzielczość przestrzenną wynoszącą 250 m. Zakresy te wykorzystano do obliczenia wskaźnika zieleni NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), (JACKSON i HUETE, 1991; DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, 1995). Zdjęcia z kolejnych pięciu zakresów spektralnych (3–7) charakteryzują się 500 m rozdzielczością przestrzenną, a pozostałe 29 zakresów (8–36) – 1 km. Temperaturę radiacyjną roślin (T_s) obliczano z zakresów 31 i 32 (11,03 i 12,02 μm , odpowiednio). Znajdujące się na serwerze WIST zdjęcia MODIS są już tak przetworzone, że zawierają korekcje: radiometryczną, atmosferyczną oraz geometryczną.

Wyniki pomiarów wykonanych in-situ oraz obliczonych z danych satelitarnych zostały umieszczone w bazie typu EXCEL, w której następnie wykonywano analizy statystyczne. Wartości NEE korelowano z wartościami otrzymanymi in-situ (LAI, PAR, WG) oraz z satelitarnymi (NDVI, T_s , σ°). Analizy statystyczne wykonywano oddzielnie dla użytków zielonych dolinowych, poza-dolinowych i górskich. Otrzymane wyniki są wstępne i będą skorygowane po uwzględnieniu danych in-situ i satelitarnych z roku 2016. Posłużą one do opracowania metody szacowania strumieni przepływu węgla z wykorzystaniem danych uzyskanych technikami teledetekcji.

3. Wyniki i dyskusja

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że w warunkach słonecznych stężenie dwutlenku węgla malało w czasie wykonywania pomiaru i NEE przyjmowało wartości ujemne (pobór CO_2 przez rośliny). Wyjątkiem były łąki pod-

topione, zalane oraz wykoszone (lub z niewielką biomasa, np. pastwiska czy łąki kośne dotknięte suszą), gdzie przeważała emisja CO₂ nad fotosyntezą. W warunkach nocnych (klosz zaciemniony) stężenie CO₂ zawsze rosło i strumień RESP przyjmował wartości dodatnie.

W tabeli 2 zamieszczono (przykładowo) wartości średnie NEE, GPP, LAI i WG obliczone z wyników pomiarów wykonanych in-situ w III dekadzie maja i III dekadzie sierpnia 2015 r. na obszarach testowych. Na użytkach zielonych górskich i poza-dolinowych w obu terminach wystąpiła absorpcja CO₂ (wartości NEE ujemne), natomiast na łąkach dolinowych jego emisja do atmosfery (wartości NEE dodatnie). W obu terminach pomiary zostały wykonane w podobnych warunkach nasłonecznienia (PAR), innych dla każdego obszaru testowego. Średnie wartości PAR ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) w III dekadzie maja i III dekadzie sierpnia wyniosły odpowiednio na łąkach górskich 585 i 503, na łąkach dolinowych 1250 i 1035, na łąkach poza-dolinowych 1325 i 1100. Można zatem przyjąć, że na wartość NEE miały w obu terminach przeważający wpływ warunki roślinno-wilgotnościowe ekosystemu. Użytki zielone dolinowe w III dekadzie maja charakteryzowały się mniejszą biomasa (którą wyraża LAI), (DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, 1995; BUDZYŃSKA i WSP., 2011), a w III dekadzie sierpnia mniejszą wilgotnością gleby od pozostałych typów użytków zielonych, stąd dodatnie wartości NEE. Susza, która dotknęła obszary badawcze w III dekadzie sierpnia, wpłynęła na spadek GPP (niemal podwójny na łąkach poza-dolinowych i potrójny na łąkach dolinowych) w stosunku do wartości z III dekady maja (tab. 2).

Pomiary przepływu węgla wykonane w trzech różnych ekosystemach łąkowych (górskie, dolinowe, poza-dolinowe) wykazały, że badane użytki zielone górskie (z wyjątkiem dwóch łąk po intensywnym wypasaniu w III dekadzie sierpnia) absorbowały CO₂, podczas gdy łąki dolinowe i poza-dolinowe zachowywały się różnie i w zależności od warunków roślinno-wilgotnościowych były jego absorbentem (duża biomasa i wilgotność gleby) lub emiterem (mała biomasa i wilgotność gleby). Wpływ różnych parametrów glebowo-roślinnych ekosystemu łąkowego na przepływ CO₂ określają wykonane analizy statystyczne wykorzystujące zebrane podczas kampanii terenowych dane in-situ. Na rycinach 1–3 zamieszczono wyniki uzyskanych korelacji NEE z WG, LAI (odzwierciedlającym biomasa) i PAR dla trzech badanych typów użytków zielonych. Wstępne wyniki wskazują na silny wpływ wilgotności gleby, biomasy i usłonecznienia na wielkość strumienia NEE. Im większe były wartości wilgotności gleby, LAI i PAR, tym większa była absorpcja CO₂ z atmosfery. Natomiast emisja CO₂ wystąpiła w warunkach suszy, przy niskiej biomacie (łąki skoszone lub po wypasaniu) oraz przy słabym usłonecznieniu (zachmurzenie).

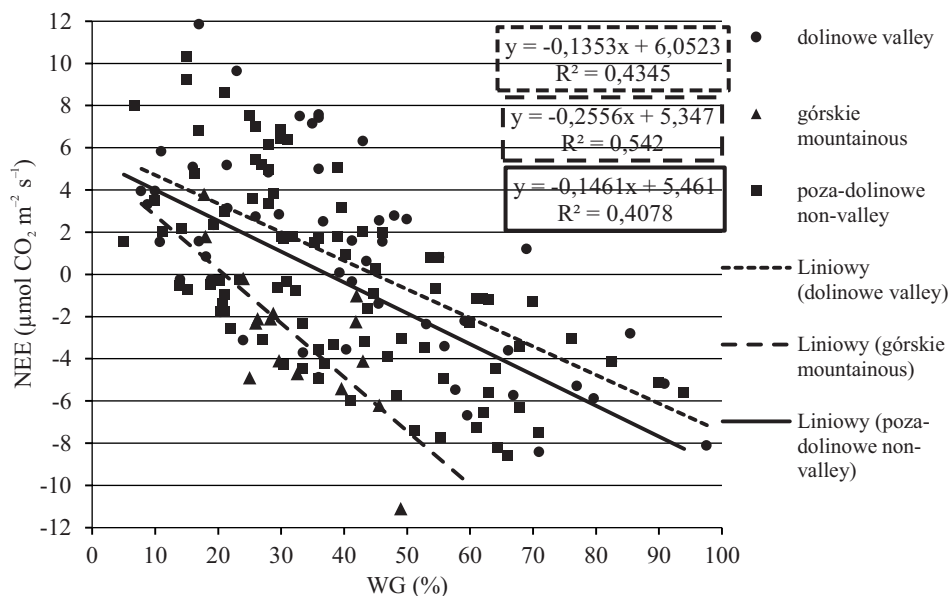
Wykonano także analizy statystyczne przepływu węgla (NEE i RESP) zmierzonego in-situ z danymi satelitarnymi, tj. ze wskaźnikiem zieleni NDVI i z tem-

Tabela 2. Zestawienie wartości NEE i GPP ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), LAI ($\text{m}^{-2} \text{ m}^{-2}$) i WG (% obj.) w III dekadzie maja i III dekadzie sierpnia 2015 r.Table 2. List of NEE and GPP ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), LAI ($\text{m}^{-2} \text{ m}^{-2}$) and WG (% vol.) values in the III decade of May and the III decade of August 2015

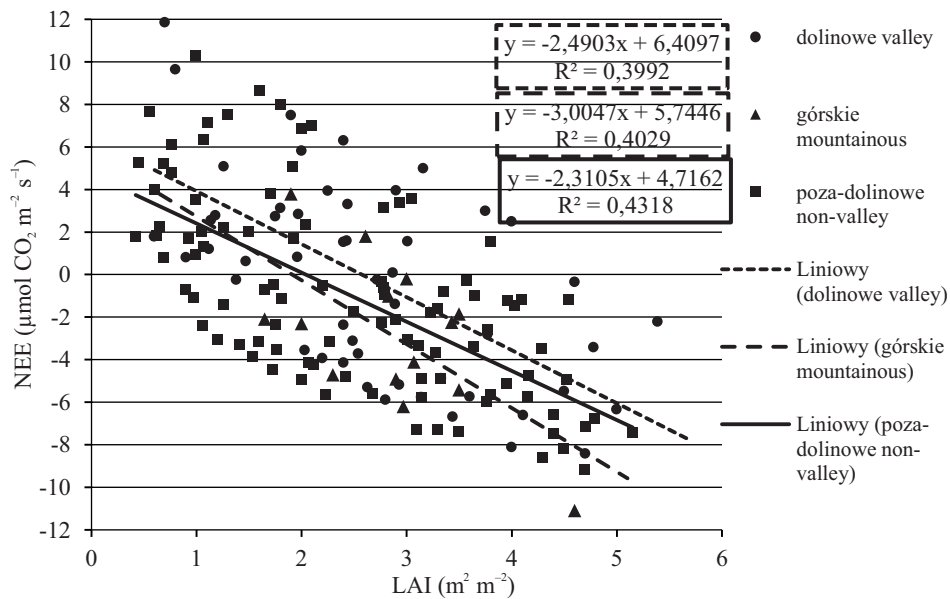
Nazwa/typ użytków zielonych Name/grasslands type	III dekada maja 2015 III decade of May 2015	III dekada sierpnia 2015 III decade of August 2015
NEE dolinowe/valley	2,5	4,1
NEE górskie/mountainous	-5,0	-0,3
NEE poza-dolinowe/non-valley	-3,9	-0,7
GPP dolinowe/valley	19,0	6,3
GPP górskie/mountainous	11,3	9,6
GPP poza-dolinowe/non-valley	18,2	11,2
LAI dolinowe/valley	2,6	2,2
LAI górskie/mountainous	3,1	2,8
LAI poza-dolinowe/non-valley	3,0	3,0
WG dolinowe/valley	40	11
WG górskie/mountainous	43	22
WG poza-dolinowe/non-valley	30	12

peraturą radiacyjną roślin T_s (odpowiednio), obliczonymi ze zdjęć optycznych MODIS (DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA i WSP., 2012a, 2014). Na rycinie 4 przedstawiono wyniki zależności otrzymanej pomiędzy NEE i NDVI, a na rycinie 5 – pomiędzy RESP i T_s , dla użytków zielonych dolinowych. Dla użytków zielonych poza-dolinowych i górskich nie wykonano takich analiz (zbyt małe powierzchnie w stosunku do rozmiaru piksela zdjęcia MODIS). Ponieważ NDVI charakteryzuje wielkość biomasy (JACKSON i HUETE, 1991), stąd tak jak w przypadku korelacji z LAI, absorpcja CO_2 (NEE ujemne) jest tym większa im większy jest wskaźnik zieleni. Respiracja (RESP) ekosystemu wzrasta wraz ze wzrostem temperatury powietrza (RYAN, 1991; RYCHLIK i DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA, 2012). Badania wykazały, że RESP również wzrasta wraz ze wzrostem temperatury radiacyjnej roślin, lecz dopiero powyżej T_s wynoszącej około 24° . Powyżej tej temperatury radiacyjnej nastąpił nagły wzrost respiracji roślin, co mogło skutkować większą emisją CO_2 do atmosfery. Zarówno NDVI, jak i T_s można szacować z danych satelitarnych wykonanych w zakresie optycznym, w tym z najnowszych misji ESA – Sentinel-2/3.

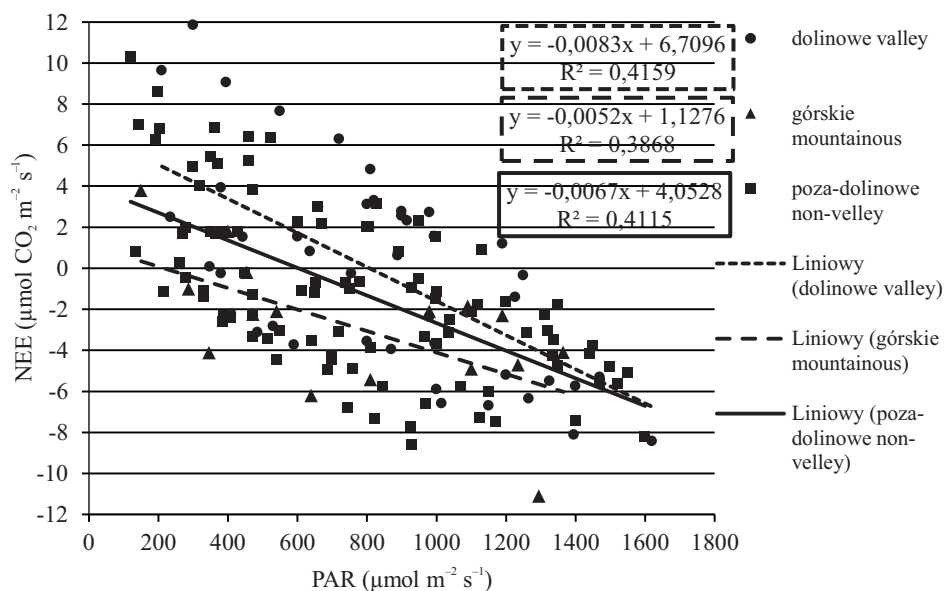
Wstępne wyniki analiz statystycznych wykonane dla NEE i współczynnika wstecznego rozpraszania (σ^0) otrzymanego ze zdjęć mikrofalowych TerraSAR-X zarejestrowanych w polaryzacji VV dla użytków zielonych wykazały, że im większa jest absorpcja CO_2 tym większy jest współczynnik σ^0 , co wskazuje na zwiększoną wilgotność gleby. Na rycinie 6 przedstawiono wyniki korela-



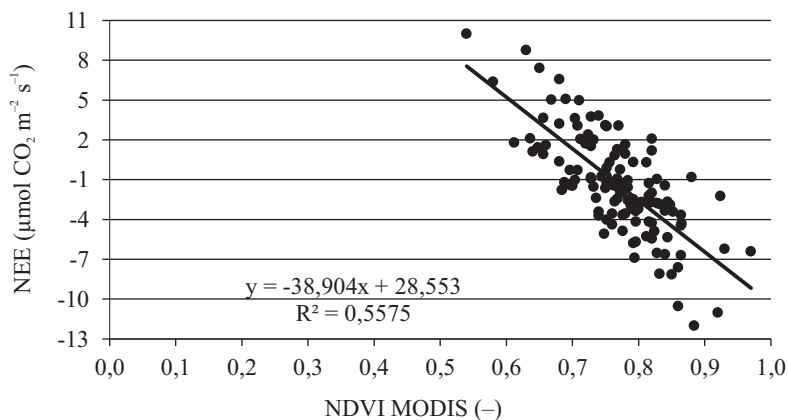
Rycina 1. Zależność NEE od wilgotności gleby (WG)
 Figure 1. Relationship between NEE and soil moisture (WG)



Rycina 2. Zależność NEE od LAI
 Figure 2. Relationship between NEE and LAI

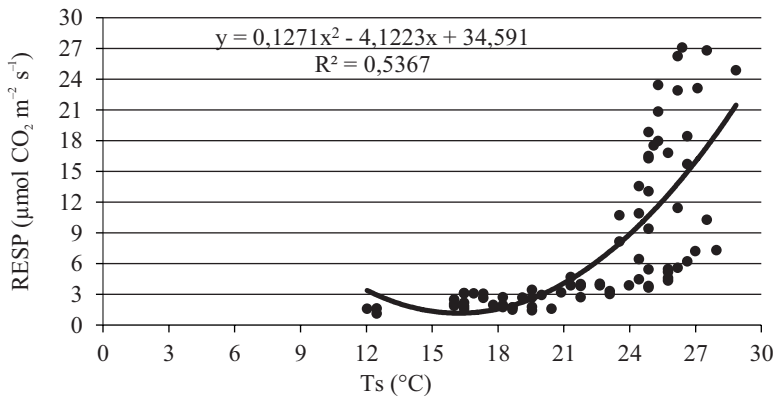


Rycina 3. Zależność NEE od PAR
Figure 3. Relationship between NEE and PAR

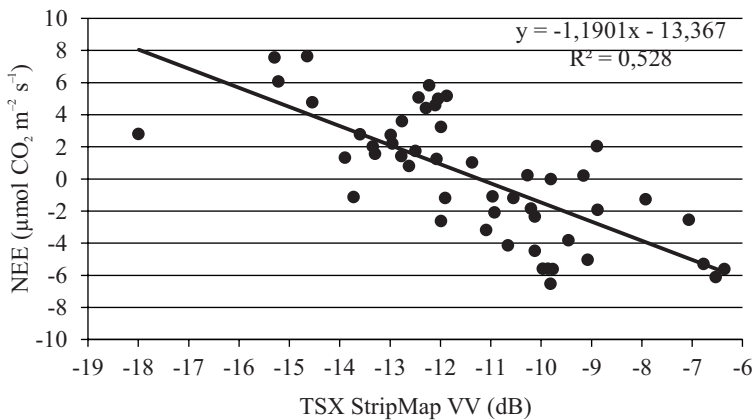


Rycina 4. Zależność NEE od NDVI
Figure 4. Relationship between NEE and NDVI

cji otrzymanej dla badanych użytków zielonych dolinowych i poza-dolinowych. Podobne wyniki autorzy otrzymali badając ekosystemy bagienne doliny Biebrzy (DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA i WSP., 2012b; 2010a; 2010b; 2009).



Rycina 5. Zależność RESP od T_s
 Figure 5. Relationship between RESP and T_s



Rycina 6. Zależność NEE od σ° TSX
 Figure 6. Relationship between NEE and σ° TSX

4. Podsumowanie

Badania wykonane in-situ potwierdziły, że emisja CO_2 do atmosfery występuje przy niskich wartościach wilgotności gleby (w warunkach suszy) i małej biomasy (łąki skoszone i z niewielkim odrostem, intensywnie spasane) oraz PAR (np. zachmurzenie). Przeprowadzone badania nad wymianą netto ekosystemu (NEE) z zastosowaniem danych satelitarnych, które charakteryzują wilgotność gleby i biomasę roślin w ujęciu przestrzennym, potwierdziły możliwość stosowania technik satelitarnych do modelowania wymiany węgla pomiędzy

ekosystemem łąkowym i atmosferą. NEE można szacować ze zdjęć satelitarnych wykonanych w optycznym i mikrofalowym zakresie promieniowania elektromagnetycznego.

W dalszym etapie realizacji projektu FINEGRASS zostaną wyprowadzone modele szacowania NEE dla badanych typów użytków zielonych, wykorzystujące dane satelitarne otrzymane w ramach programu ESA COPERNICUS. Wyprowadzone modele umożliwią szacowanie i prezentację wielkości strumienia NEE przestrzennie i czasowo. Modele te pozwolą również monitorować zmiany, jakie zachodzą w środowisku ekosystemów łąkowych związane z wymianą węgla, co może mieć istotny wkład w badaniach nad zmianami klimatycznymi.

Literatura

- AccuPAR Operator's Manual Version 10. 2010. Decagon Devices, Inc.
- BUDZYŃSKA M., DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., TURLEJ K., MAŁEK I., BARTOLD M., 2011. Monitoring przyrodniczy Bagien Biebrzańskich z zastosowaniem teledetekcji. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 11, 3(35), 39–64.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., 1995. Szacowanie ewapotranspiracji, wilgotności gleb i masy zielonej łąk na podstawie zdjęć satelitarnych NOAA. *Prace Geograficzne* Nr 165. PAN. Wydawnictwo Continuo, Wrocław, 82.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., BUDZYŃSKA M., CIOLKOSZ A., KOWALIK W., BOCHENEK Z., 2010a. The status of agricultural ecosystem examined by microwave data. *Acta Astronautica*, 67, 7–8, 721–730.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., BUDZYŃSKA M., KOWALIK W., MAŁEK I., GATKOWSKA M., BARTOLD M., TURLEJ K., 2012b. Biophysical Parameters Assessed from Microwave and Optical Data. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 58, 2, 99–104.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., BUDZYŃSKA M., KOWALIK W., TURLEJ K., 2010b. Soil moisture and evapotranspiration of wetlands vegetation habitats retrieved from satellite images. *Hydrology and Earth System Science Discussion (HESS)*, 7, 5929–5955, 2010doi:10.5194/hessd-7-5929-2010.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., BUDZYŃSKA M., LEWINSKI S., HOSCIŁO A., BOJANOWSKI J., 2009. Application of remote and in situ information to the management of wetlands in Poland. *Journal of Environmental Management*, 90, 2261–2269.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., BUDZYŃSKA M., TOMASZEWSKA M., BARTOLD M., GATKOWSKA M., MAŁEK I., TURLEJ K., NAPIORKOWSKA M., 2014. Monitoring Wetlands Ecosystems Using ALOS PALSAR (L-Band, HV) Supplemented by Optical Data: A Case Study of Biebrza Wetlands in Northeast Poland. *Remote Sensing Special Issue „Remote Sensing of Peatlands”*, 6(2), 1605–1633.
- DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., BUDZYŃSKA M., TOMASZEWSKA M., BARTOLD M., TURLEJ K., 2012a. ENVISAT.MERIS spectra bands and ENVISAT ASAR – discussion on applications of Sentinel 1 and 2 for agriculture in Poland, *Proceedings of the EGU General Assembly 2012, Vienna, Geophysical Research Abstracts*, 14.

- FUNDINGER R., KOHLER K., STACHEDER M., 1992. Measurement of Material and Soil Moisture with the TRIME-Method, IMKO GmbH, Ettlingen.
- JACKSON R.D., HUETE A.R., 1991. Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 11, 185–200, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. 1991. Instruction Manual. LI-COR, Nebraska. USA.
- LIVINGSTON G.P., HUTCHINSON G.L., 1995. Enclosure-based measurement of trace gas exchange: application and sources of error. Matson P.A., Harriss R.C. (eds.). *Biogenic trace gases: measuring emissions from soil and water*. Blackwell Science Ltd. 14–51.
- RYAN M.G., 1991. Effects of climate change on plant respiration. *Ecological Applications*, 1, 157–167.
- RYCHLIK S., DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA K., 2012. Chamber measurements of CO₂ exchange in different wetland sites in Biebrza National Park, Poland. *Journal of Water and Land Development*, 15, 179–192.
- SAKOWSKA K., UZDZICKA B., OLEJNICZAK J., 2012. Zmienność dobową strumieni CO₂ wymienianych między atmosferą a różnymi uprawami rolniczymi. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12, 2(38), 221–244.
- TURBIAK J., 2012. Bilans węgla w ekosystemie łąkowym na średnio zmurszałej glebie torfowo-murszowej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12, 4(40), 281–294.
- TURBIAK J., 2014. Wpływ intensywności użytkowania łąki na glebie torfowo-murszowej na wielkość strumieni CO₂ i jego bilans w warunkach doświadczenia lizymetrycznego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 14, 2(46), 127–140.
- TURBIAK J., MIATKOWSKI Z., 2010. Emisja CO₂ z gleb pobagiennych w zależności od warunków wodnych siedlisk. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 10, 1(29), 201–210.

Studies on carbon exchange in grassland areas

M. BUDZYŃSKA¹, K. DĄBROWSKA-ZIELIŃSKA¹,
M. TOMASZEWSKA¹, M. BARTOLD^{1,2}, M. GATKOWSKA¹

¹*Institute of Geodesy and Cartography, Remote Sensing Centre*

²*Department of Geoinformatics, Cartography and Remote Sensing, Faculty of Geography and Regional Studies of the Warsaw University*

Summary

The study has been carried out within the frame of FINEGRASS project “Effect of climatic changes on grassland growth, its water conditions and biomass” funded by Polish-Norwegian Research Programme. Field campaigns were conducted in the years 2014–2015 at Wielkopolska Region, Biebrza River Valley, and Pieniny Mountains test sites, that cover the three following grassland types: lowland non-valley, lowland valley, and mountainous. The paper presents in-situ and satellite observations to quantify relationships between soil-vegetation parameters that influence spatial and temporal variability of carbon fluxes over these areas. The results showed the significant

impact of LAI, WG, and PAR on CO₂ measured at the test sites. The higher LAI, WG, and PAR are, the higher NEE flux is (absorption of CO₂). Also, the correlations between NEE and NDVI and Ts calculated from Terra MODIS images have been presented. The higher NDVI is, the higher CO₂ absorption is. The RESP increased when Ts was higher than 24°C. Application of backscattering coefficient (σ°) calculated from satellite microwave data such as TerraSAR-X showed the significant positive relationship between NEE and σ° . The next step of the FINEGRASS project is the application of satellite data acquired in optical and microwave spectrum to develop method for the assessment of carbon fluxes.

Adres do korespondencji – Address for correspondence:

Prof. dr hab. Katarzyna Dąbrowska-Zielińska

Instytut Geodezji i Kartografii, Centrum Teledetekcji

ul. Modzelewskiego 27

02-679 Warszawa

e-mail:katarzyna.Dąbrowska-Zielińska@igik.edu.pl; maria.Budzyńska@igik.edu.pl