

Wpłynęło 14.02.2013 r.
Zrecenzowano 22.04.2013 r.
Zaakceptowano 22.05.2013 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

OCENA UBYTKU MASY ORGANICZNEJ W GLEBIE MURSZOWATEJ NA PODSTAWIE POMIARÓW STRUMIENI EMISJI DWUTLENKU WĘGLA

Janusz TURBIAK ABCDEF

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy

Streszczenie

Celem badań było określenie ubytku masy organicznej w glebie murszowatej. Ubytek ten obliczono na podstawie pomiarów strumieni emisji CO₂ oznaczanych metodą komór zamkniętych statycznych z wykorzystaniem mierników dyfuzyjnych. W okresie wegetacyjnym z ekosystemu łąkowego emitowane było 64,4 Mg CO₂·ha⁻¹·(210 d)⁻¹, natomiast rośliny pobierały 53,3 Mg·ha⁻¹·(210 d)⁻¹. Straty węgla związane ze zbiorem plonu wynosiły 5,9 Mg·ha⁻¹. Łączne straty węgla, wyrażone ekwiwalentem CO₂, wynosiły średnio w okresie badań 17,2 Mg·ha⁻¹. Oznacza to ubytek 4,7 Mg·ha⁻¹ węgla lub stratę 8,4 Mg·ha⁻¹ masy organicznej o zawartości 56% węgla. Średni roczny ubytek masy organicznej zakumulowanej w glebie murszowatej wyniósł 3,1%. Stwierdzono, że największe straty masy organicznej występowały w okresach posusznych, w których doszło do częściowego lub całkowitego zaschnięcia roślin, a najmniejsze – kiedy utrzymywały się korzystne warunki wilgotnościowe dla rozwoju roślin.

Słowa kluczowe: bilans węgla, gleba murszowata, masa organiczna, strumień emisji CO₂

WSTĘP

Gleby murszowate właściwe powstają w wyniku przeobrażenia się silnie zmineralizowanych płytkich gleb organicznych i występują zwykle na obrzeżach torfowisk. Zasadniczą cechą odróżniającą gleby murszowate od próchnicznych gleb mineralnych jest fakt, że substancja organiczna w tej glebie nie tworzy z jej mine-

ralną częścią kompleksów organiczno-mineralnych, lecz jest z nią luźno wymieszana [SZYMANOWSKI 1991].

Gleby murszowate właściwe zawierają od 100 do 200 g·kg⁻¹ masy organicznej. Duża zawartość masy organicznej powoduje, że gleby te mogą być potencjalnie znaczącym emitentem CO₂. Ubytki masy organicznej w glebach pobagiennych są oceniane najczęściej na podstawie zmian gęstości objętościowej gleby i miąższości warstwy organicznej [FRĄCKOWIAK 1980; GOTKIEWICZ, SZUNIEWICZ 1987; JURCZUK 2000; 2012; ROGUSKI 1971]. Szacowanie ubytków masy organicznej w glebach murszowatych na podstawie ww. parametrów jest bardzo trudne ze względu na bardzo małe zdolności osiadania tych gleb. Według OKRUSZKI i PIAŚCIKA [1990], w utworach o gęstości objętościowej wynoszącej ok. 0,6 g·cm⁻³, co odpowiada najczęściej zawartości masy mineralnej na poziomie 800 g·kg⁻¹, osiadanie jest bardzo małe. Nie osiadają natomiast utwory organiczne o gęstości objętościowej ponad 0,8 g·cm⁻³, czyli takie w których masa mineralna stanowi więcej niż 900 g·kg⁻¹. W glebach murszowatych teoretycznie możliwe jest uchwycenie zmian gęstości objętościowej w czasie, jednak zmiany te w okresie kilku lat są często mniejsze niż naturalna zmienność tego parametru.

Metodą umożliwiającą obliczenie bilansu węgla w dowolnym ekosystemie jest metoda bazująca na pomiarach strumieni dwutlenku węgla [ALM i in. 1997; LOHILA i in. 2003; MALJANEN i in. 2004]. Metoda ta polega na określeniu wymiany CO₂ w ekosystemie w warunkach dopływu energii świetlnej (fotosynteza) i całkowitego zaciemnienia (respiracja). Na podstawie uzyskanych wartości oblicza się ilość pobranego i emitowanego CO₂, co umożliwia określenie, czy badany ekosystem jest jego emitentem, czy raczej pochłaniaczem netto.

Celem badań było określenie ubytku masy organicznej w glebie murszowatej na podstawie pomiarów strumieni dwutlenku węgla.

OBIEKTY I METODY BADAŃ

Opis obiektu. Badania prowadzono na obiekcie Frydrychowo, położonym w dolinie Noteci (53°00'01"N, 17°57'25"E) na kompleksie łąk łabiszyńskich, w województwie kujawsko-pomorskim. Na obiekcie występowała gleba murszowata (Me11), zaliczona do prognostycznego kompleksu wilgotnościowo-glebowego okresowo-suchego [OKRUSZKO 1979]. Miąższość warstwy murszowej w tej glebie wynosiła 23 cm, gęstość objętościowa 1,12 Mg·m⁻³, pH_{KCl} 5,57, zawartość masy organicznej 105 g·kg⁻¹ i azotu ogólnego 5,7 g·kg⁻¹ s.m. Poziom wody gruntowej w okresie badań utrzymywał się na średniej głębokości 116 cm. Gleba była użytkowana jako łąka dwukośna. Pierwszy pokos siana był zbierany pod koniec maja, natomiast termin zbioru drugiego pokosu zależał od przebiegu warunków pogodowych. Na obiekcie stosowano nawożenie mineralne w ilości (w kg·ha⁻¹)

N – 30, P – 40 i K – 40. Nawozy były wysiewane wiosną, na początku okresu wegetacyjnego.

Badania terenowe. Badania wymiany węgla między ekosystemem łąkowym a atmosferą prowadzono w latach 2008–2011. Strumienie CO₂ mierzono zwykle w odstępach dekadowych od połowy kwietnia do końca października, w godzinach od 9:30 do 14:30, w dwóch powtórzeniach, wykorzystując dwa zestawy pomiarowe. W latach 2008, 2009, 2010 i 2011 wykonano odpowiednio 15, 18, 20 i 19 cykli pomiarowych. Po zakończeniu pomiaru strumieni CO₂ mierzono temperaturę gleby na głębokości 10 cm, poziom wody gruntowej (tab. 1) oraz wilgotność gleby – miernikiem TDR (tab. 2). Opady i radiację słoneczną mierzono na automatycznej stacji meteorologicznej, zlokalizowanej w odległości 550 m od miejsca prowadzenia pomiarów. Sumy opadów w poszczególnych miesiącach przedstawiono w tabeli 3.

Pomiar wymiany strumieni CO₂ między ekosystemem łąkowym a atmosferą prowadzono metodą komór zamkniętych statycznych [LIVINGSTON, HUTCHINSON 1995]. Szczegółowy opis wykonywania pomiarów zamieszczono w pracy TURBIAKA [2012]. Metodą komorową określano natężenie strumieni CO₂ w warunkach

Tabela 1. Średnie wartości wybranych parametrów meteorologicznych i siedliskowych w terminach pomiarów w poszczególnych latach oraz plon siana

Table 1. Mean values of selected meteorological and habitat parameters in the measurement dates in particular years as well as hay yield

Rok Year	Temperatura, °C Temperature, °C		Radiacja Radiation kW·m ⁻²	Głębokość wody gruntowej Ground water depth cm	Plon siana Hay yield Mg·ha ⁻¹
	powietrza air	gleby soil			
2008	28,7	14,6	0,513	122	8,85
2009	26,6	13,9	0,612	119	7,09
2010	26,7	14,6	0,577	110	6,84
2011	28,8	14,9	0,517	112	8,85
Średnia Mean	27,7	14,5	0,555	116	7,91

Źródło: wyniki własne i dane z literatury. Source: own studies and data from literature.

Tabela 2. Wilgotność gleby

Table 2. Soil moisture

Rok Year	Wilgotność (m ³ ·m ⁻³) w miesiącu Moisture (m ³ ·m ⁻³) in month							Średnia, m ³ ·m ⁻³ Mean, m ³ ·m ⁻³
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
2008	0,219	0,084	0,056	0,070	0,177	0,263	0,299	0,167
2009	0,148	0,096	0,293	0,342	0,136	0,124	0,289	0,204
2010	0,266	0,288	0,178	0,148	0,310	0,338	0,313	0,263
2011	0,227	0,129	0,197	0,163	0,105	0,105	0,094	0,146
2008–2011	0,215	0,149	0,144	0,181	0,182	0,208	0,249	0,195

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Tabela 3. Miesięczne sumy opadów w okresie badań**Table 3.** Monthly sums of precipitation during the study period

Rok Year	Opady (mm) w miesiącu Precipitation (mm) in month							Suma, mm Sum, mm
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
2008	52,4	10,8	42,9	67,8	108,8	35,2	70,6	388,5
2009	28,8	23,8	66,4	45,4	7,8	0,4	42,4	215,0
2010	32,6	100,2	13,0	113,0	121,6	80,0	4,2	464,6
2011	8,2	38,1	100,6	99,8	19,1	19,5	10,4	295,7
1972–2003 ¹⁾	25,0	44,0	58,0	76,0	49,0	44,0	36,0	332,0

¹⁾ Dane wg ŁABĘDZKIEGO i KASPERSKIEJ-WOŁOWICZ [2005].

¹⁾ Data acc. to ŁABĘDZKI and KASPERSKA-WOŁOWICZ [2005].

Źródło: wyniki własne i dane z literatury. Source: own studies and data from literature.

dopływu energii słonecznej, określając w ten sposób wartość wymiany ekosystemu netto (ang. „net ecosystem exchange” – *NEE*) oraz po zaciemnieniu komory nieprzepuszczalnym dla światła pokrowcem, określając wartość ogólnej aktywności respiracyjnej (ang. „total ecosystem respiration” – *TER*) [ALM i in. 1997]. Wartość wymiany ekosystemu netto była oznaczana znakiem minus, gdy w trakcie trwania pomiaru stężenie CO_2 w powietrzu komory zmniejszało się, a znakiem plus, gdy stężenie CO_2 w powietrzu komory ulegało zwiększeniu. Na podstawie wartości par pomiarów ogólnej aktywności respiracyjnej ekosystemu TER_d i wymiany ekosystemu netto NEE_d obliczano wartość fotosyntezy brutto (PG_d – ang. „gross photosynthesis”), która oznacza całkowitą ilość CO_2 pobranego przez rośliny w godzinach od 9:30 do 14:30. Wartość PG_d (w $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) obliczano według równania:

$$PG_d = TER_d - (\pm NEE_d) \quad (1)$$

Bilans wymiany CO_2 . Na podstawie uzyskanych wartości TER_d i PG_d obliczono bilans wymiany CO_2 dla okresu wegetacyjnego. Ilość CO_2 pobranego w ekosystemie ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{miesiąc}^{-1}$) określano, mnożąc średnią miesięczną wartość PG_d ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) przez współczynnik 0,8 oraz średnią długość dnia i liczbę dni w danym miesiącu. Ilość dwutlenku węgla wyemitowanego z ekosystemu ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{miesiąc}^{-1}$) obliczono jako sumę emisji tego gazu dla okresu dziennego i nocnego. Emisję dla okresu nocnego obliczano, mnożąc średnią dla danego miesiąca wartość TER_d ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) przez współczynnik 0,7 i średnią w danym miesiącu długość nocy oraz ich liczbę, natomiast dla okresu dziennego, mnożąc wartość TER_d przez współczynnik 0,8 oraz średnią długość dnia i liczbę dni w danym miesiącu. Współczynniki 0,8 i 0,7 określono na podstawie badań własnych, w których stwierdzono, że średnie wartości PG_d i TER_d w ciągu dnia stanowiły 80%, a wartość TER_d w nocy 70% emisji zmierzonej w godzinach od 9:30 do 14:30. Bilans wymiany CO_2 B_m (w $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) dla poszczególnych miesięcy obliczano według równania:

$$B_m = PG_m + TER_m \quad (2)$$

W bilansie rocznym uwzględniono także straty węgla związane ze zbiorem siana. Po zakończeniu pomiarów *NEE* i *TER* komorę zdejmowano i ścinano nadziemne części roślin znajdujące się wewnątrz ramki. Ścięte rośliny suszono w warunkach laboratoryjnych w temperaturze 40°C w celu określenia plonu siana. Plon siana był przeliczany na CO₂ z założeniem, że zawartość absolutnie suchej masy w sianie wynosi 88%, a zawartość węgla w suchej masie 40%. Zawartość węgla przeliczano na CO₂, mnożąc C·3,67 (Mg·ha⁻¹).

WYNIKI BADAŃ

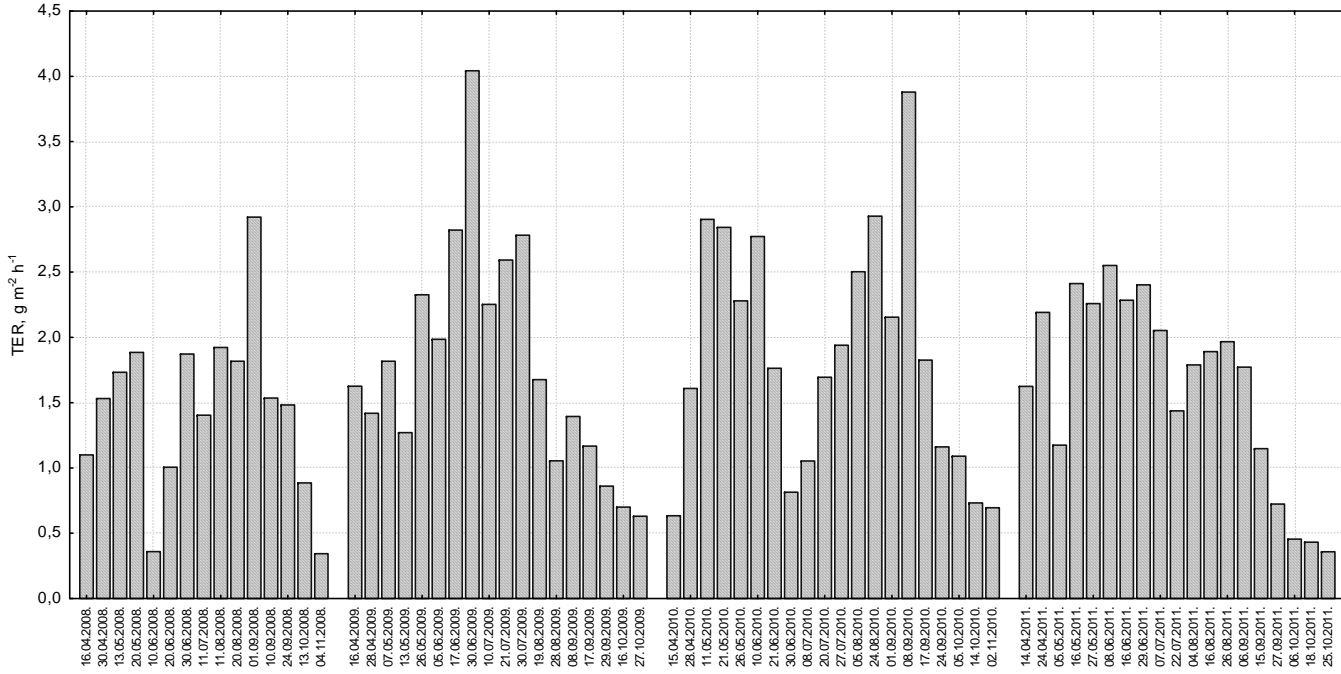
Ogólna aktywność respiracyjna ekosystemu. W latach 2008–2011 ogólna aktywność respiracyjna ekosystemu łąkowego na glebie murszowatej, określana na podstawie ilości emitowanego CO₂, wynosiła średnio 1,65 g·m⁻²·h⁻¹. Najmniejszą respirację ekosystemu stwierdzono w 2008 r. – 1,42 g·m⁻²·h⁻¹ (tab. 4). Mniejsza aktywność respiracyjna w tym roku była związana z małymi opadami w maju (tab. 3). Po zbiorze pierwszego pokosu siana, pod koniec maja, powierzchnia gleby przez cały czerwiec była prawie całkowicie pozbawiona roślin, co spowodowało w tym miesiącu bardzo duże zmniejszenie aktywności respiracyjnej – do 0,68 g·m⁻²·h⁻¹. Największą aktywność respiracyjną stwierdzono w bardzo mokrym 2010 r. – 1,83 mg·m⁻²·h⁻¹ (tab. 4). Duża wilgotność gleby – średnio 0,263 m³·m⁻³ (tab. 2) zapewniała wówczas dobre warunki do rozwoju roślin i stymulowała aktywność respiracyjną mikroorganizmów glebowych.

Tabela 4. Średnie miesięczne wartości ogólnej aktywności respiracyjnej ekosystemu *TER* i ich odchylenie standardowe

Table 4. Mean monthly values of total ecosystem respiration activity *TER* and their standard deviations

Miesiąc Month	<i>TER</i> (g·m ⁻² ·h ⁻¹) w latach		<i>TER</i> (g·m ⁻² ·h ⁻¹) in years		Średnia Mean
	2008	2009	2010	2011	
IV	1,32±0,31	1,52±0,15	1,12±0,69	1,91±0,40	1,47±0,45
V	1,81±0,11	1,80±0,53	2,68±0,34	1,95±0,67	2,06±0,57
VI	0,68±0,46	2,95±1,03	1,78±0,98	2,41±0,13	1,96±1,05
VII	1,64±0,61	2,54±0,27	1,56±0,46	1,75±0,44	1,87±0,54
VIII	1,87±0,07	1,37±0,44	2,53±0,39	1,88±0,09	1,91±0,50
IX	1,98±0,82	1,14±0,27	2,29±1,42	1,21±0,53	1,66±0,90
X	0,62±0,38	0,67±0,05	0,84±0,22	0,41±0,05	0,63±0,56
Średnia Mean	1,42±0,66	1,71±0,88	1,83±0,91	1,65±0,72	1,65±0,81

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.



Rys. 1. Wartości ogólnej aktywności respiracyjnej ekosystemu w poszczególnych terminach pomiaru; źródło: wyniki własne

Fig. 1. Values of total ecosystem respiration activity in particular measurement dates; source: own studies

Aktywność respiracyjna w poszczególnych miesiącach sezonu wegetacyjnego znacznie się różniła – wynosiła od $0,63 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ w październiku do $2,06 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ w maju. W czerwcu, lipcu i sierpniu średnia w okresie badań aktywność respiracyjna była podobna jak w maju i wynosiła w odpowiednio 1,96, 1,87 i $1,91 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (tab. 4). Wyraźnie mniejszą aktywność respiracyjną stwierdzono w październiku, co było związane ze zmniejszeniem natężenia energii słonecznej i obniżeniem się temperatury gleby i powietrza (tab. 1).

W poszczególnych terminach pomiaru wartości *TER* wynosiły od $0,34 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ w listopadzie 2008 r. do $4,04 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ w czerwcu 2009 r. (rys. 1). Wyraźne zmniejszanie się tej aktywności w czerwcu 2008 r. było związane, jak już wspomniano, z niedoborem opadów i przesuszeniem gleby.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że aktywność respiracyjna gleby murszowatej zależała od warunków wilgotnościowych i stanu roślinności łąkowej. Niedobór opadów powodował w skrajnych przypadkach całkowite zaschnięcie roślin i wyraźne zmniejszenie aktywności respiracyjnej ekosystemu łąkowego.

Ogólna aktywność respiracyjna ekosystemu łąkowego na glebie murszowatej była średnio o 21,5% mniejsza niż aktywność respiracyjna ekosystemu łąkowego na glebie torfowo-murszowej. Wartość *TER* w tym drugim ekosystemie wynosiła w latach 2008–2011 średnio $2,21 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ [TURBIAK 2012]. Mniejsza aktywność respiracyjna ekosystemu na glebie murszowatej była związana z mniejszą zasobnością gleby w składniki pokarmowe i znacznie gorszymi właściwościami retencyjnymi tej gleby niż gleby torfowo-murszowej. Jak już wspomniano, gleba murszowata zawierała $5,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. azotu, natomiast torfowo-murszowa – $37,0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. [TURBIAK 2012]. Z kolei pojemność wodna gleby murszowatej, w zakresie pF 2,0–4,2, wynosiła $0,146 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, natomiast gleby torfowo-murszowej – $0,361 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$.

Wymiana ekosystemu netto. Średnia w okresie badań wartość wymiany ekosystemu netto *NEE* na glebie murszowatej wynosiła $-0,45 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, co wskazuje to, że w ciągu dnia tempo pobierania CO_2 przez rośliny było większe niż ogólna aktywność respiracyjna ekosystemu. Wartości *NEE* w poszczególnych latach wynosiły od $-0,50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ w latach 2010–2011 do $-0,37 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ w 2008 r. (tab. 5).

Najintensywniejszy proces akumulacji dwutlenku węgla w ciągu sezonu wegetacyjnego stwierdzono w kwietniu i maju – *NEE* wynosiła odpowiednio $-0,97$ i $-0,87 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. W tych dwóch miesiącach akumulację CO_2 stwierdzono we wszystkich latach badań (tab. 5). Intensywna akumulacja tego gazu w kwietniu i maju była związana z utrzymywaniem się w glebie korzystnych warunków wilgotnościowych, które sprzyjały rozwojowi roślin i fotosyntezie. W kolejnych miesiącach wartości bezwzględne *NEE* były znacznie mniejsze niż na początku sezonu wegetacyjnego. W czerwcu średnia wartość *NEE* wynosiła $-0,10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ i charakteryzowała się bardzo dużą zmiennością w poszczególnych latach – od $-1,33 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ w 2009 r. do $+0,58 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ w 2008 r. Podobnie dużą zmienność stwierdzono w pozostałych miesiącach.

Tabela 5. Średnie miesięczne wartości wymiany ekosystemu netto *NEE* i ich odchylenie standardowe
Table 5. Mean monthly values of net ecosystem exchange *NEE* and their standard deviations

Miesiąc Month	<i>NEE</i> ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) w latach		<i>NEE</i> ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) in years		Średnia, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ Mean, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$
	2008	2009	2010	2011	
IV	-0,75±0,07	-0,58±0,77	-0,82±0,53	-1,75±0,46	-0,97±0,63
V	-0,82±0,45	-0,51±0,20	-0,10±0,90	-1,15±0,04	-0,87±0,50
VI	0,58±0,60	-1,33±0,32	-0,14±0,82	0,50±0,50	-0,10±0,88
VII	-0,11±0,98	-0,40±0,21	0,13±0,41	-0,11±0,34	-0,12±0,35
VIII	-0,41±1,02	-0,05±0,18	-0,90±0,44	-0,59±0,13	-0,49±0,52
IX	-0,87±0,93	0,26±0,15	-0,30±0,83	-0,49±0,58	-0,35±0,73
X	-0,23±0,49	-0,38±0,72	-0,49±0,45	0,06±0,18	-0,26±0,52
Średnia Mean	-0,37±0,71	-0,43±0,58	-0,50±0,68	-0,50±0,75	-0,45±0,67

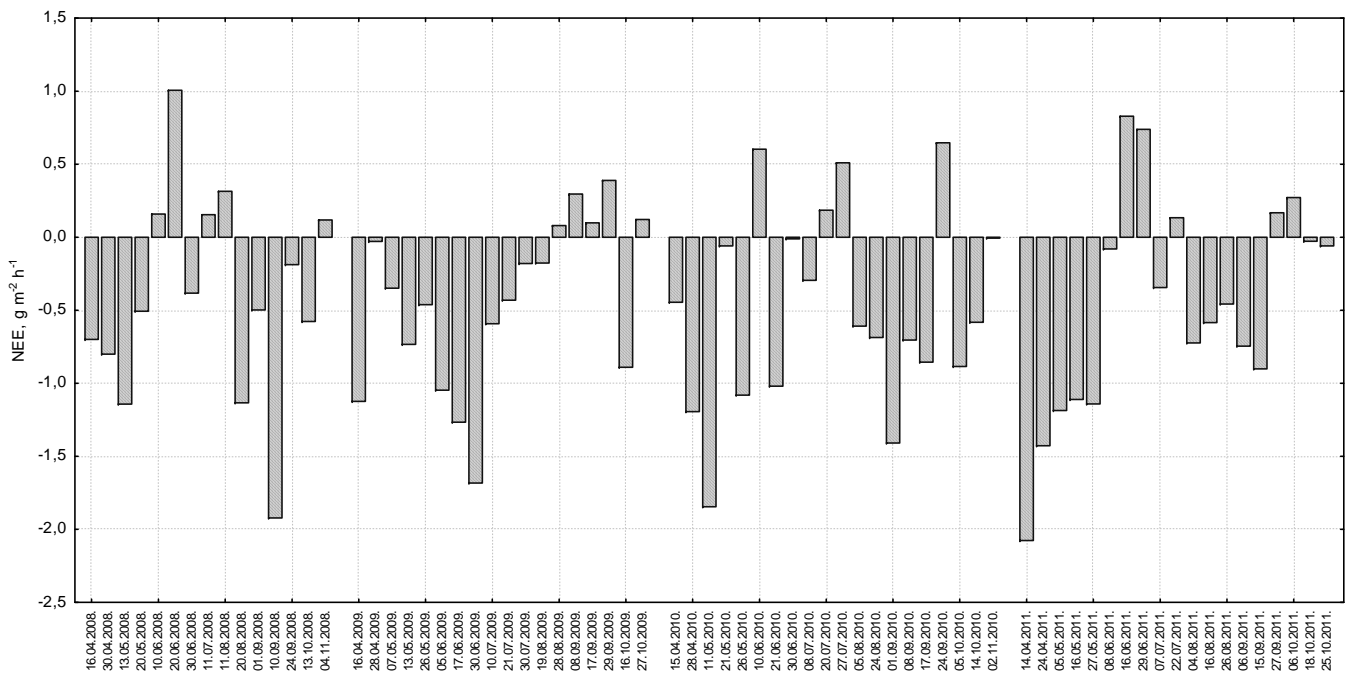
Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Wartość wymiany ekosystemu netto w poszczególnych terminach pomiaru wynosiła od $-2,08 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ w kwietniu 2011 r. do $1,01 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ w czerwcu 2008 r. (rys. 2). Wartości minimalne *NEE* (ok. $-2,00 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) stwierdzono w warunkach obecności dużej biomasy młodych roślin i dużego natężenia dopływu energii słonecznej, natomiast maksymalne (ok. $+1,00 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) uzyskano w warunkach całkowitego braku roślin.

Pochłanianie CO_2 w ekosystemie trawiastym na glebie mineralnej w warunkach dopływu energii słonecznej wykazali PAWLAK i in. [2007]. Autorzy ci, w okresie od 27 do 29 V 2003 r., z wykorzystaniem metody kowariancji wirów, określili średnią wartość pochłaniania CO_2 na $-31,0 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Średnia wartość *NEE*, w warunkach długości dnia wynoszącej w tym okresie 16 h, kształtowała się na poziomie $-1,94 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, a minimalna $-4,75 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ($-30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

Fotosynteza brutto. Intensywność fotosyntezy brutto P_G jest wyrażana całkowitą ilością CO_2 pobranego przez rośliny w procesie fotosyntezy. Średnia w okresie badań wartość P_G wynosiła $2,10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ (tab. 6). Największą wartość P_G ($2,33 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) stwierdzono w 2010 r. Duża wartość fotosyntezy w 2010 r. była związana z optymalnymi dla tego procesu warunkami wilgotnościowymi. Najmniejszą jej wartość ($1,79 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) stwierdzono w 2008 r. Jak już wspomniano, mała intensywność fotosyntezy w tym roku była związana z bardzo niskimi opadami, które doprowadziły do zahamowania odrostu roślin.

Wartość P_G podlegała znacznym zmianom w ciągu roku. Bardzo dużą wartość tego parametru stwierdzono w kwietniu – średnio $2,44 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, mimo że biomasa nadziemnych części roślin w tym miesiącu była prawie dwukrotnie mniejsza niż w maju (tab. 1). Wskazuje to na bardzo duże tempo pobierania CO_2 przez młode rośliny w początkowej fazie ich rozwoju. Największą intensywność fotosyntezy brutto stwierdzono w maju – $2,93 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$. W czerwcu średnia wartość P_G wyno-



Rys. 2. Wartości wymiany ekosystemu netto *NEE* w poszczególnych terminach sezonu wegetacyjnego; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Net ecosystem exchange *NEE* values in particular dates of the growing season; source: own studies

Tabela 6. Średnie wartości fotosyntezy brutto P_G i ich odchylenie standardowe**Table 6.** Mean values of gross photosynthesis P_G , and their standard deviations

Miesiąc Month	P_G ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) w latach		P_G ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) in years		Średnio, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ Mean, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$
	2008	2009	2010	2011	
IV	2,07±0,38	2,10±0,92	1,94±1,22	3,66±0,06	2,44±0,96
V	2,63±0,34	2,32±0,41	3,67±0,96	3,09±0,64	2,93±0,78
VI	0,10±0,14	4,28±1,36	1,93±1,00	1,92±0,63	2,06±1,72
VII	1,75±1,59	2,94±0,09	1,43±0,08	1,85±0,77	1,99±0,74
VIII	2,28±0,95	1,41±0,62	3,43±0,28	2,47±0,04	2,40±0,85
IX	2,85±1,02	0,88±0,35	2,59±2,04	1,71±1,02	2,01±1,35
X	0,84±0,87	1,05±0,77	1,33±0,64	0,35±0,15	0,89±0,85
Średnia Mean	1,79±1,11	2,14±1,33	2,33±1,26	2,15±1,12	2,10±1,20

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

siła $2,06 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ i była o 29,8% mniejsza niż w maju. W lipcu, sierpniu i wrześniu wydajność fotosyntezy brutto była podobna jak w czerwcu. Ograniczenie średniej wartości P_G w tych miesiącach było związane z występującym w niektórych latach niedoborem wody w glebie. Najmniejszą wartość fotosyntezy brutto stwierdzono w październiku, co wynikało ze zmniejszenia się natężenia energii słonecznej.

Średnia wartość fotosyntezy brutto w ekosystemie łąkowym na glebie murszowatej była o 31,1% mniejsza niż na glebie torfowo-murszowej użytkowanej jako łąka trzykośna [TURBIAK 2012]. Na łące trzykośnej, o podobnej intensywności użytkowania jak na obiekcie badawczym w latach 2008–2011, rośliny pobierały średnio $3,05 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ dwutlenku węgla.

Bilans wymiany CO_2 . Na podstawie wartości fotosyntezy brutto, traktowanej jako przychód węgla do ekosystemu, oraz ogólnej aktywności respiracyjnej, traktowanej jako jego straty, obliczono bilans wymiany dwutlenku węgla. W sezonie wegetacyjnym roślinność łąkowa pobierała średnio $-53,3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ CO}_2$, natomiast emisja tego gazu wynosiła $64,6 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Średnio w sezonie wegetacyjnym jego straty wynosiły $11,3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Uwzględniając straty węgla związane ze zbiorem siana, sumaryczne średnie straty węgla, wyrażone ekwiwalentem CO_2 , wynosiły $17,2 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 7). Oznacza to ubytek $4,7 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ węgla lub stratę $8,4 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ masy organicznej o zawartości 56% węgla.

W poszczególnych latach straty CO_2 mieściły się w granicach od $15,5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w 2011 r. do $18,1 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w 2008 r. W latach 2008–2010 straty te były bardzo wyrównane, mimo bardzo dużych różnic w wysokości opadów (tab. 3).

Saldo bilansu węgla w poszczególnych miesiącach sezonu wegetacyjnego osiągało różne wartości i tylko w kwietniu i maju było zbliżone do zera. W kwietniu stwierdzono niewielką sekwestrację CO_2 – saldo bilansu utrzymywało się na poziomie $-0,2 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast w maju – stratę CO_2 wynoszącą $0,2 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. W kolejnych miesiącach sezonu wegetacyjnego, tj. od czerwca do września, straty

Tabela 7. Bilans CO₂ w poszczególnych latach, Mg·ha⁻¹·miesiąc⁻¹

Table 7. CO₂ balance in particular years, Mg·ha⁻¹·month⁻¹

Parametr Parameter	Miesiąc Month	Wartość w roku Value in year				Wartość średnia Mean
		2008	2009	2010	2011	
<i>PG_m</i>	IV	-6,9	-7,0	-6,5	-12,3	-8,2
	V	-10,3	-9,1	-14,4	-12,2	-11,5
	VI	-0,4	-17,3	-7,8	-7,8	-8,3
	VII	-7,0	-11,9	-5,8	-7,5	-8,1
	VIII	-8,3	-5,2	-12,5	-9,0	-8,8
	IX	-8,7	-2,7	-7,9	-5,2	-6,1
	X	-2,2	-2,8	-3,5	-0,9	-2,3
	suma sum		-43,9	-56,0	-58,4	-54,9
<i>TER_m</i>	IV	7,2	8,3	6,1	10,4	8,0
	V	10,3	10,3	15,3	11,1	11,7
	VI	3,8	16,4	9,9	13,4	10,9
	VII	9,2	14,5	8,9	10,0	10,7
	VIII	10,6	7,7	14,3	10,6	10,8
	IX	10,7	6,2	12,4	6,6	9,0
	X	3,4	3,7	4,6	2,3	3,5
	suma sum		55,2	67,1	71,6	64,4
Saldo bilansu = <i>PG_m + TER_m</i> Balance = <i>PG_m + TER_m</i>	IV	0,3	1,3	-0,4	-1,9	-0,2
	V	0,0	1,2	0,8	-1,1	0,2
	VI	3,4	-1,0	2,1	5,6	2,5
	VII	2,2	2,6	3,1	2,5	2,6
	VIII	2,3	2,6	1,8	1,6	2,1
	IX	2,1	3,5	4,5	1,4	2,9
X	1,2	0,9	1,2	1,4	1,2	
suma sum		11,3	11,1	13,1	9,5	11,3
CO₂ z plonu CO₂ from yield		6,8	6,1	4,7	6,0	5,9
B = P_G + TER + CO₂ z plonu		18,1	17,9	17,8	15,5	17,2
B = P_G + TER + CO₂ from yield						

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

węgla wynosiły średnio od 2,1 do 2,9 Mg·ha⁻¹, zmniejszając się w październiku do 1,2 Mg·ha⁻¹ (tab. 6). Duże straty węgla w miesiącach letnich były związane z utrzymywaniem się wyższej temperatury gleby i powietrza oraz niedoborem wody dla roślin. Niedobór wody powoduje spadek turgoru i zamykanie się aparatów szparkowych, a w konsekwencji ograniczanie fotosyntezy.

Uzyskane wyniki wskazują na bardzo intensywny proces decesji masy organicznej zachodzący w użytkowanych łąkowo glebach murszowatych. Roczne ubytki masy organicznej, w warunkach jej zasobów na poziomie 271 Mg·ha⁻¹, wynosiły 3,11%. Jeśli takie tempo mineralizacji zostałoby zachowane, już po 18 latach zawartość masy organicznej zmniejszyłaby się w tej glebie poniżej 50 g·kg⁻¹,

a po kolejnych 18 latach do $28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Tak więc w ciągu niecałych 40 lat gleba murszowata przekształciłaby się w glebę mineralną o bardzo małej wartości użytkowej.

WNIOSKI

1. W latach 2008–2011 średnia aktywność respiracyjna ekosystemu łąkowego na glebie murszowatej, zaliczonej do prognostycznego kompleksu wilgotnościowo-glebowego okresowo suchego, wynosiła $1,65 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. Wartości *TER* mieściły się w zakresie od $0,34$ do $4,04 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. W sezonie wegetacyjnym emitowane było z tego ekosystemu $64,6 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot (210 \cdot \text{d})^{-1}$ dwutlenku węgla.

2. W okresie badań średnia wartość fotosyntezy brutto wynosiła $2,10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. W okresie wegetacyjnym w ekstensywnie użytkowanym ekosystemie łąkowym rośliny pobierały $53,3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot (210 \text{ d})^{-1} \text{ CO}_2$. Fotosynteza brutto zależała od stanu runi łąkowej, natężenia energii słonecznej i wilgotności gleby.

3. W glebach murszowatych zachodzi intensywny proces decesji masy organicznej. Straty węgla, wyrażone ekwiwalentem CO_2 , wynosiły średnio w okresie badań $17,2 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Oznacza to ubytek $4,7 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ węgla lub stratę $8,4 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ masy organicznej o zawartości 56% węgla. Średnio roczny ubytek ogólnych zasobów masy organicznej oszacowano na 3,1%.

LITERATURA

- ALM J., TALANOV A., SAARNIO S., SILVOLA J., IKKONEN E., AALTONEN H., NYKÄNEN H., MARTIKAINEN P. 1997. Reconstruction of the carbon balance for microsites in a boreal oligotrophic pine fen, Finland. *Oecologia*. Vol. 110 s. 423–431.
- FRĄCKOWIAK H. 1980. Dynamika i wielkość mineralizacji związków azotowych w dawno odwodnionych glebach torfowo-murszowych na tle warunków siedliskowych i nawożenia. Rozprawa habilitacyjna. Falenty. IMUZ ss. 136.
- GOTKIEWICZ J., SZUNIEWICZ J. 1987. Przeobrażanie się siedlisk i gleb w rejonie doświadczenia agrotechnicznego. W: Wyniki 25-letniego stałego doświadczenia nad porównaniem wpływu sposobu użytkowania i nawożenia na glebę torfową w Zakładzie Doświadczalnym Biebrza. Biblioteczka Wiadomości IMUZ. Nr 68 s. 33–41.
- JURCZUK S. 2000. Wpływ regulacji stosunków wodnych na osiadanie i mineralizację gleb organicznych. Biblioteczka Wiadomości IMUZ. Nr 96. ISSN 0519-7864 ss. 116.
- JURCZUK S. 2012. Emisja dwutlenku węgla ze zmeliorowanych gleb organicznych w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 3 (39) s. 63–76.
- LIVINGSTON G.P. HUTCHINSON G.L. 1995. Enclosure-based measurement of trace gas exchange: applications and sources of error. W: Biogenic trace gases: Measuring emissions from soil and water. Pr. zbior. Red. P. Matson, R. Harriss. Oxford. Blackwell Scientific s. 14–51.
- LOHILA A., AURELA M., REGINA K., LAURILA T. 2003. Soil and total ecosystem respiration in agricultural fields: effect of soil and crop type. *Plant and Soil*. Vol. 251 s. 303–317.

- ŁABĘDZKI L., KASPERSKA-WOŁOWICZ W. 2005. Zmienność warunków meteorologicznych i ewapotranspiracji użytków zielonych w dolinie Górnej Noteci w latach 1972–2003. W: Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych. Kraków. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ s. 238–246.
- MALJANEN M., KOMULAINEN V.M., HYTTONEN J., MARTIKAINEN P.J., LAINE J. 2004. Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 36. Iss. 11 s. 1801–1808.
- OKRUSZKO H. 1979. Zasady prognozowania warunków wilgotnościowych w glebach hydrogenicznych według koncepcji kompleksów wilgotnościowo-glebowych. W: Kompleksy wilgotnościowo-glebowe w siedliskach hydrogenicznych i ich interpretacja przy projektowaniu melioracji i zagospodarowania. Biblioteczka Wiadomości IMUZ. Nr 58 s. 4–20.
- OKRUSZKO H., PIAŚCIK H. 1990. Charakterystyka gleb hydrogenicznych. Olsztyn. Wydaw. ART ss. 291.
- PAWLAK W., FORTUNIAK B., OFFERLE B.D., GRIMMOND S.B. 2007. Zastosowanie metody korelacyjnej do pomiarów strumieni CO₂ i H₂O z powierzchni trawiastej. *Przegląd Geofizyczny*. Z. 2 s. 95–106.
- ROGUSKI W. 1971. Kształtowanie się siedlisk łąkowych na torfach w wyniku osiadanania torfu i mineralizacji materii organicznej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 114 s. 83–87.
- SZYMANOWSKI M. 1991. Gleby powiązane z torfowiskami i zasady ich użytkowania. W: Gospodarowanie na glebach torfowych w świetle 40-letniej działalności zakładu doświadczalnego Biebrza. Biblioteczka Wiadomości IMUZ. Nr 77 s. 161–190.
- TURBIAK J. 2012. Bilans węgla w ekosystemie łąkowym na średnio zmurszałej glebie torfowo-murzwowej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 4 s. 281–294.

Janusz TURBIAK

ASSESSMENT OF ORGANIC MASS LOSS IN MUCKY SOIL BASED ON MEASUREMENTS OF CO₂ EMISSION FLUXES

Key words: carbon balance, CO₂ emission fluxes, mucky soil, organic mass

S u m m a r y

The aim of the studies was to determine organic mass loss in a mucky soil. Organic mass loss was calculated on the basis of measurements of CO₂ emission fluxes determined by the method of closed static chambers using diffusion gauges. During the growing season, 64.4 Mg ha⁻¹ 210 days⁻¹ of CO₂ was emitted from the grassland ecosystem, whereas plants took up 53.3 Mg ha⁻¹ 210 days⁻¹ of CO₂. Carbon losses connected with the yield harvest were 5.9 Mg ha⁻¹. Total carbon losses expressed in CO₂ equivalent were on average 17.2 Mg ha⁻¹ during the study period. This means a loss of 4.7 Mg ha⁻¹ of carbon or a loss of 8.4 Mg ha⁻¹ of organic mass with a carbon content of 56%. Average annual loss of organic mass accumulated in the mucky soil was 3.1%. It was found that the highest organic mass losses took place in dry periods when plants were partly or completely wilted and the lowest – when moisture conditions were favourable for plant growth.

Adres do korespondencji: dr inż. J. Turbiak, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy ITP w Bydgoszczy, ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz, tel. +48 52 375-01-07, e-mail: J.Turbiak@itep.edu.pl