

Wpłynęło 16.12.2011 r.  
Zrecenzowano 27.03.2012 r.  
Zaakceptowano 17.07.2012 r.  
A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# EMISJA DWUTLENKU WĘGLA ZE ZMELIOROWANYCH GLEB ORGANICZNYCH W POLSCE

Sergiusz JURCZUK<sup>ABCDEF</sup>

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Inżynierii Wodnej i Melioracji

## Streszczenie

Wieloletnie badania nad zmianami zawartości materii organicznej w glebie prowadzono na dziesięciu stanowiskach, na torfowiskach niskich i gytiowisku, położonych na Pobrzeżu Południowobałtyckim i w dolinie Narwi. Stanowiska te zmeliorowano w latach 60. i 70. ubiegłego wieku w celu odwodnienia, po wtórnym zabagnieniu lub po raz pierwszy, i następnie wykorzystywano jako użytki zielone. Przyjmując, że zawartość węgla organicznego w masie organicznej torfu wynosi 57% i przeliczając całość ubytków węgla na dwutlenek węgla, określono emisję dwutlenku węgla z gleby do atmosfery.

Badania wykazały, że emisja dwutlenku węgla z rolniczo użytkowanych torfowisk zmniejszała się z upływem czasu po melioracji. W pierwszych pięciu latach średnia emisja dwutlenku węgla wynosiła  $29,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$ . Była to wartość zbliżona do największych podawanych za granicą w strefach klimatycznych borealnej i umiarkowanej. W drugiej pięciolatce emisja ta była już o połowę mniejsza, a 25–30 lat po melioracji zmniejszyła się do  $7,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$ . Wartość średnia z wielolecia wynosiła  $13,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$  i była zbliżona do mniejszych wartości podawanych w literaturze zagranicznej. Obecną emisję dwutlenku węgla z polskich torfowisk, zmeliorowanych w celu rolniczego użytkowania, można oszacować na 6,7 Mt, co stanowi 3,1% wynegocjowanego z Komisją Europejską limitu jego emisji.

**Słowa kluczowe:** emisja  $\text{CO}_2$ , gleby organiczne, odwodnienie, udział emisji  $\text{CO}_2$  w limitach UE, współczynnik emisji

## WSTĘP

Odwodnienie torfowisk prowadzi do zwiększenia intensywności rozkładu materii organicznej i emisji dwutlenku węgla oraz innych gazów cieplarnianych do

---

**Adres do korespondencji:** dr hab. S. Jurczuk, prof. nadzw., Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Inżynierii Wodnej i Melioracji, al. Hrabaska 3, 05-090 Raszyn; tel. +48 607-520-636

atmosfery. Zwiększenie stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze skutkuje ociepleniem klimatu. Uważa się, że emisja gazów cieplarnianych ze zmeliorowanych torfowisk jest większa niż z naturalnych, dlatego ich renaturyzacja spowoduje zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>, rekompensując zwiększenie emisji CH<sub>4</sub>.

W Unii Europejskiej przewiduje się uwzględnianie emisji gazów cieplarnianych z torfowisk w rozliczeniach wykorzystania limitów emisji CO<sub>2</sub> po 2012 r. [COUWENBURG 2011]. W raporcie opublikowanym przez Wetlands International [JOOSTEN 2009] oszacowano, że degradacja torfowisk w Polsce powoduje emisję 24 mln t CO<sub>2</sub> rocznie, co stawia Polskę w pierwszej światowej dziesiątce emitentów CO<sub>2</sub> z torfowisk. Należy się więc spodziewać propozycji renaturyzacji zmeliorowanych torfowisk.

Wyniki dotychczasowych pomiarów emisji gazów cieplarnianych z torfowisk są niejednoznaczne i bardzo zróżnicowane. Celem podjętych badań było określenie emisji dwutlenku węgla ze zmeliorowanych gleb organicznych w Polsce na podstawie wieloletnich pomiarów zmian masy organicznej w wybranych profilach glebowych i porównanie ich z wynikami uzyskanymi w innych krajach.

## ZAGADNIENIE NA TLE LITERATURY

Metody estymacji emisji gazów zawierających węgiel w rolnictwie [EGGLESTON i in. 2006] dzielimy na dwie grupy: obliczanie na podstawie zmian zapasów węgla w glebie i bezpośrednie pomiary emisji gazów z i do atmosfery.

W celu dokładnej oceny zmian zawartości węgla w torfowisku powinno się je obliczać na podstawie pomiarów ubytków masy metodą, polegającą na pomiarach miąższości złoża, jego gęstości objętościowej i popielności w kolejnych latach badań. W praktyce stosuje się zwykle uproszczenia, polegające na pomiarach przed melioracją i po wielu latach lub na ustaleniu osiadania (obniżania powierzchni torfowiska) i udziału mineralizacji w osiadaniu. Ilość wydzielanego węgla oblicza się na podstawie jego zawartości w suchej masie torfu lub w jego masie organicznej. LITYŃSKI i JURKOWSKA [1984] podają, że zawartość węgla w substancji organicznej gleb wynosi 58%. Zawartość węgla w różnych gatunkach torfów wynosi od 50–60% suchej masy [ILNICKI 2002]. W konkretnych warunkach przyjmowano zawartość węgla w suchej masie torfu: 57% [ILNICKI 2002], 50–51% [GRØNLUND i in. 2008], 55% [MIATKOWSKI, TURBIAK 2006]. W masie organicznej torfu, w zależności od jego gatunku, zawartość węgla wynosi 52–60%, w tym w torfach niskich 54–60% [MAKSIMOW 1959]. Do przeliczania ilości węgla na wartość emisji dwutlenku węgla stosuje się wzór: CO<sub>2</sub> = C/0,27. Zmiany zapasów węgla mogą być także obliczone na podstawie zmian popielności torfu [GRØNLUND i in. 2008]. Wyniki są podawane w t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> C lub t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>, a często w obu formach.

Badacze ze Szwecji, Finlandii i Holandii [KASIMIR-KLEMEDTSSON i in. 1997], bazując na danych z literatury, dotyczących osiadania i przyjmując, że 70% osia-

dania stanowi mineralizacja, oszacowali emisję CO<sub>2</sub> na użytkach zielonych Szwecji na 15–31 t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> (4,0–8,4 t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> C), a Holandii na 8–30 t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> (2,2–8,1 t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> C) (tab. 1). W Norwegii na torfowisku Smøla zmeliorowanym w 1951 r., co kilka lat, do 2004 r., wykonywano pomiary niwelacyjne rzędnych powierzchni terenu. Przyjmując, że w drugim okresie (lata 1966–2004) osiadanie następowało na skutek mineralizacji, udział mineralizacji w osiadananiu w całym okresie po odwodnieniu oceniono na 38%. Korzystając z danych, dotyczących osiadania na 11 obiektach w ciągu 24–30 lat po melioracji, straty węgla w Norwegii oszacowano na 8 t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> [GRØNLUND i in. 2008]. W Holandii, na eksperymentalnej farmie Zegveld, emisję dwutlenku węgla obliczano na podstawie ubytku masy, stanowiącego iloczyn osiadania i gęstości objętościowej torfu na głębokości 1,2 m od powierzchni terenu. Emisję oceniono na 19 t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> (5,1 t C) [VAN DEN AKKER i in. 2008]. W regionie Waikato w Nowej Zelandii mierzono miąższość torfowiska i zawartość węgla na zmeliorowanym i niezmeliorowanym torfowisku. W ciągu 40 lat osiadanie wynosiło 3,4 cm·r<sup>-1</sup>, mineralizacja – 37% osiadania, a straty węgla – 3,7 t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> [SCHIPPER, MCLEOD 2002].

**Tabela 1.** Emisja dwutlenku węgla do atmosfery z gleb torfowych wykorzystywanych jako użytki zielone w niektórych krajach stref klimatycznych borealnej i umiarkowanej, wyznaczona na podstawie ubytków masy

**Table 1.** Carbon dioxide emission to the atmosphere from peat soils used as grasslands in some countries of the boreal and temperate climatic zones estimated from mass losses

Kraj Country	Emisja wyrażona w C Emission expressed in C t·ha <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Emisja CO <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> emission t·ha <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Źródło danych Source of data
Szwecja Sweden	4,0–8,4	15–31	KASIMIR-KLEMEDTSSON i in. [1997]
Norwegia Norway	8,0	29,6	GRØNLUND i in. [2008]
Holandia The Netherlands	2,2–8,1 5,1	8–30 19,0	KASIMIR-KLEMEDTSSON i in. [1997] VAN DEN AKKER i in. [2008]
Nowa Zelandia New Zealand	3,7	13,7	SCHIPPER, MCLEOD [2002]

Bezpośrednie pomiary przepływu CO<sub>2</sub> są wykonywane metodami komorową lub odwirowania, które są bardzo pracochłonne. Wyniki tych metod charakteryzuje duży rozrzut i trudno jest je porównywać z wynikami uzyskanymi metodą pomiaru zmian masy węgla. Godnych zaufania wyników tego rodzaju dla strefy umiarkowanego klimatu jest niewiele [COUWENBERG 2011]. Z przeglądu badań emisji dwutlenku węgla metodą bezpośrednich pomiarów w Polsce [ILNICKI 2002] wynika, że rozbieżności ich wyników są duże, a ich porównanie utrudnia wykonywanie pomiarów tylko w wybranych okresach roku, stosowanie zróżnicowanych jedno-

stek i podawanie szerokiego zakresu zmierzonych wartości. W ostatnich latach, w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach rozpoczęto pomiary emisji dwutlenku węgla metodą komorową [MIATKOWSKI, TURBIAK 2006; TURBIAK 2009].

## WARUNKI I METODY BADAŃ

Badania prowadzono na czterech stanowiskach na torfowiskach niskich (obiekty Grabówka, Stepnica i Stary Borek) i gytiowisku (Kazimierz Pomorski), położonych na Pobrzeżu Południowobałtyckim, i sześciu stanowiskach w dolinie Narwi (obiekty Góra i Wizna) o różnych warunkach glebowych (tab. 2) i zróżnicowanej intensywności odwodnienia. Urządzenia melioracyjne na obiektach Pobrzeża Południowobałtyckiego po raz pierwszy wykonano w XIX i na początku XX w., a następnie odbudowano w latach 60. XX w., po zniszczeniach wojennych i zaniedbaniach powojennych, które spowodowały powtórne zabagnienie terenu. W dolinie Narwi melioracje wykonano w latach 60. i 70. ubiegłego wieku po raz pierwszy. Obiekty od ostatniej melioracji wykorzystywano rolniczo jako użytki zielone. Badania powtarzano w 9–20 terminach po odwodnieniu.

W trakcie badań terenowych wykonywano pomiary niwelacyjne rzędnych powierzchni terenu i położenia drenów, pomiary poziomu wody gruntowej oraz oznaczano fizyczne właściwości gleb – gęstość objętościową i popielność. Gęstość

**Tabela 2.** Charakterystyka stanowisk badawczych na początku badań

**Table 2.** Characteristics of sites in the beginning of the study

Stanowisko Site	Rodzaj złoża Kind of the deposit	Mięższość złoża początkowa, cm Initial thickness of the deposit, cm	Rodzaj gleby Kind of soil
Grabówka	mechowiskowe moss	275	MtIIba
Stepnica	olesowo-turzycowiskowe alder-sedge	197	MtIIcb
Stary Borek	olesowe alder	318	MtIIcc
Kazimierz Pomorski	gytia ilasto-detrytusowa silt-detritus gyttja	900	Mgylcc
Góra A	olesowo-turzycowiskowe alder-sedge	75	MtIb2
Góra B	turzycowiskowe sedge	44	MtIb2
Góra C	szuwarowo-turzycowiskowe rush-sedge	150	MtIbc
Wizna B6–B7	mechowiskowe moss	550	MtIaa
Wizna C5/1	mechowiskowe moss	600	MtIaa
Wizna B15–B16	olesowe alder	350	MtIIcc

Źródło: wyniki własne. Source: own results.

objętościową oznaczano metodą suszarkową, z użyciem cylinderek o pojemności 100 cm<sup>3</sup>, do których pobierano glebę o nienaruszonej strukturze w 3–4 powtórzeniach, z każdej warstwy profilu glebowego, i następnie suszono ją w temperaturze 105°C. Popielność wyznaczano przez prażenie próbek (2–3 powtórzenia) w temperaturze 550°C [GAWLIK i in. 1966]. Zmiany zawartości masy organicznej określano w warstwie gleby powyżej drenów, a w torfowiskach płytkich – w całej miąższości złoża.

Na podstawie badań wykonano obliczenia statystyczne (wykorzystując programy Excel i Statistica), dotyczące zmian w czasie suchej masy torfu, gęstości objętościowej i popielności, a następnie określono ubytki materii organicznej.

Dokładne charakterystyki przyrodniczo-techniczne stanowisk badawczych, dane wyjściowe do obliczeń i obliczenia ubytków materii organicznej podano w pracach JURCZUKA [2000; 2011]. W niniejszej pracy przedstawiono ubytki węgla obliczane na podstawie ubytków materii organicznej. Przyjęto za MAKSIMOWEM [1959], że jego zawartość w materii organicznej torfów niskich wynosi 57% (średnia z zakresu 54–60%). Zakładając, że ubytek węgla w całości przekształca się w dwutlenek węgla, obliczono jego emisję, dzieląc ubytek węgla przez współczynnik 0,27.

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W przypadku stanowisk badawczych Pobrzeża Południowobałtyckiego i obiektu Góra przedstawiono sumowane ubytki węgla organicznego, liczone jako różnice jego zawartości przed melioracją i w danym roku (tab. 3, 4). W przypadku obiektu Wizna, z powodu braku danych z roku melioracji, przedstawiono zawartość węgla w torfie w badanych latach (tab. 5). Dane te poddano analizie regresji, w celu estymacji zależności ubytków węgla lub jego zawartości od czasu za pomocą funkcji prostoliniowej, wielomianowej, potęgowej i wykładniczej. W przypadku obiektu Grabówka była to funkcja wykładnicza, obrazująca duże ubytki węgla w pierwszych latach, zbliżająca się do poziomej asymptoty (zanikające ubytki) po kilkunastu latach (tab. 6). Na pozostałych stanowiskach Pobrzeża i na obiekcie Góra badane zależności miały kształt funkcji potęgowej o wykładniku potęgi mniejszym od 1, wskazującym na zmniejszanie się ubytków węgla w kolejnych latach (tab. 6). We wszystkich wymienionych przypadkach siła tych zależności była duża, współczynnik korelacji był większy od wartości krytycznej dla prawdopodobieństwa  $P_{0,01}$ . Na obiekcie Wizna na stanowisku B6–B7 zależność zawartości węgla w torfie od czasu po melioracji była słaba. Współczynnik korelacji wyniósł 0,51 i był mniejszy od wartości krytycznej (0,58) dla  $P_{0,05}$ . Na stanowiskach C5/1 i B15–B16 zależność jest dobrze statystycznie potwierdzona. W pierwszym przypadku jest to zależność prostoliniowa, a w drugim – paraboliczna, ze zmniejszającymi się w czasie ubytkami masy.

**Tabela 3.** Sumowany ubytek węgla organicznego ( $t \cdot ha^{-1}$ ) na stanowiskach Pobrzeża Południowobałtyckiego**Table 3.** Summarised loss of organic carbon ( $t \cdot ha^{-1}$ ) in sites of the Pobrzeże Południowobałtyckie

Grabówka		Stepnica		Stary Borek		Kazimierz Pomorski	
lata po melioracji years after reclamation	ubytki węgla carbon losses	lata po melioracji years after reclamation	ubytki węgla carbon losses	lata po melioracji years after reclamation	ubytki węgla carbon losses	lata po melioracji years after reclamation	ubytki węgla carbon losses
1	8,3	1	8,4	1	8,3	2	22,8
2	10,6	2	9,5	2	20,4	4	42,9
3	17,9	4	13,8	3	25,8	10	55,8
4	38,1	5	39,5	4	27,3	13	85,0
5	25,3	6	38,5	5	10,6	16	79,6
6	50,6	13	48,8	6	27,6	20	97,9
7	32,9	17	57,7	11	32,0	23	113,4
11	41,8	20	64,8	13	55,5	26	125,4
12	49,4	24	73,8	14	62,2	31	139,0
13	75,9	26	85,3	18	77,5	–	–
17	80,4	33	84,2	21	78,7	–	–
19	82,0	–	–	23	57,2	–	–
21	66,7	–	–	24	85,6	–	–
23	77,4	–	–	27	84,0	–	–
27	81,1	–	–	32	91,6	–	–
32	87,4	–	–	–	–	–	–

Źródło: wyniki własne. Source: own results.

**Tabela 4.** Sumowany ubytek węgla organicznego ( $t \cdot ha^{-1}$ ) na stanowiskach obiektu Góra**Table 4.** Summarised loss of organic carbon ( $t \cdot ha^{-1}$ ) in sites of the Góra object

Lata po melioracji Years after reclamation	Góra A	Góra B	Góra C
1	2	3	4
1	13,7	17,4	3,1
2	20,3	19,8	18,7
3	28,4	20,6	27,5
4	33,2	30,9	39,8
5	44,1	56,4	47,3
6	47,7	40,6	29,5
7	53,1	67,4	58,5
8	52,9	69,1	57,4
10	60,9	78,3	45,5
11	61,4	83,6	44,8
12	61,6	95,9	46,7
13	65,5	78,2	65,7

cd. tab. 4

1	2	3	4
15	68,3	66,3	73,4
16	60,6	67,9	71,2
17	68,0	80,8	57,0
18	63,6	86,7	81,0
19	66,1	112,1	85,8
20	76,0	114,5	82,1
29	92,3	132,2	b.d.
30	86,1	109,0	b.d.

Objaśnienie: b.d. – brak danych. Explanation: b.d. – no data.

Źródło: wyniki własne. Source: own results.

**Tabela 5.** Zawartość węgla organicznego w torfie ( $t \cdot ha^{-1}$ ) na stanowiskach obiektu Wizna

**Table 5.** Organic carbon content in peat ( $t \cdot ha^{-1}$ ) in sites of the Wizna object

Wizna B6–B7		Wizna C5/1		Wizna B15–B16	
lata po melioracji years after reclamation	masa węgla mass of carbon	lata po melioracji years after reclamation	masa węgla mass of carbon	lata po melioracji years after reclamation	masa węgla mass of carbon
10	812,8	10	913,1	10	1 039,1
11	738,2	11	906,3	11	984,4
12	763,8	14	907,4	11	990,7
16	779,8	26	880,1	13	1 000,9
27	798,0	27	871,0	13	984,4
27	761,5	33	882,4	26	961,6
32	721,0	44	853,3	27	966,7
32	735,9	47	839,6	33	930,2
32	751,8	48	820,8	33	943,4
32	705,1	–	–	33	927,4
47	715,4	–	–	47	913,1
47	710,2	–	–	47	928,0
48	774,6	–	–	48	867,5

Źródło: wyniki własne. Source: own results.

Obliczono średnie z 10 badanych obiektów roczne wartości emisji dwutlenku węgla, wyrażone w C i CO<sub>2</sub>, w kolejnych pięcioletkach po melioracji (tab. 7). Na stanowiskach Pobrzeża Południowobałtyckiego w ciągu 30 lat po melioracji roczne ubytki węgla znacznie się zmniejszyły, dlatego dużym uproszczeniem byłoby uśrednianie wartości z wielolecia. Wartości średnie z wielolecia umożliwiają tylko wykazanie różnic między stanowiskami. O ile na torfowiskach są one zbliżone i wynoszą 2,9–3,4  $t \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$ , to na gytiowisku wartość średnia z wielolecia jest wy-

**Tabela 6.** Wyniki analizy regresji ubytku węgla  $y$  w latach  $x$  po melioracji gleb organicznych**Table 6.** Regression analysis of the carbon loss  $y$  on the years after reclamation  $x$  of organic soils

Stanowisko Site	Lata badań Study years	Liczba pomiarów Number of measurements	Funkcja Function	Współczynnik korelacji Correlation coefficient $R$	Błąd standardowy Standard error $SE$
Grabówka	1966–1998	16	$y = 92,48 (1 - e^{-0,085x})$	0,945	14,35
Stepnica	1965–1998	11	$y = 7,726x^{0,720}$	0,958	7,49
Stary Borek	1966–1998	15	$y = 9,065x^{0,665}$	0,912	9,86
Kazimierz Pomorski	1967–1998	9	$y = 15,519x^{0,627}$	0,986	6,58
Góra A	1976–2006	20	$y = 19,848x^{0,441}$	0,971	4,87
Góra B	1976–2006	20	$y = 19,115x^{0,562}$	0,920	13,17
Góra C	1976–1996	18	$y = 14,313x^{0,574}$	0,910	9,49
Wizna <sup>1)</sup> B6–B7	1972–2010	13	$y = -1,296x + 788,6$	0,513	29,34
Wizna <sup>1)</sup> C5/1	1972–2010	9	$y = -2,0255x + 933,4$	0,959	9,07
Wizna <sup>1)</sup> B15–B16	1972–2010	13	$y = 0,00986x^2 - 3,36x + 1038$	0,914	18,11

<sup>1)</sup> Zmiany zawartości węgla w torfie. Changes in the carbon content in peat.

Źródło: wyniki własne. Source: own results.

**Tabela 7.** Emisja dwutlenku węgla na badanych stanowiskach wyrażona w C i średnia emisja wyrażona w C i CO<sub>2</sub> (t·ha<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>)**Table 7.** Carbon dioxide emission from studied sites expressed in C and the mean emission expressed in C and CO<sub>2</sub> (t·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>)

Stanowisko Site	Lata po melioracji Years after reclamation					
	0–5	6–10	11–15	16–20	21–25	25–30
Grabówka	8,18	4,56	2,98	1,95	1,27	0,83
Stepnica	6,36	3,73	2,98	2,63	2,42	2,27
Stary Borek	5,29	3,10	2,60	2,31	2,13	1,99
Kazimierz Pomorski	10,30	5,25	4,06	3,51	3,16	2,91
Góra A	8,08	2,89	2,15	1,78	1,54	1,38
Góra B	9,44	4,50	3,57	3,07	2,75	2,52
Góra C	7,22	3,53	2,82	2,44	b.d.	b.d.
Wizna B6–B7	b.d.	b.d.	1,29	1,29	1,29	1,29
Wizna C5/1	b.d.	b.d.	2,02	2,02	2,02	2,02
Wizna B15–B16	b.d.	b.d.	3,14	3,04	2,94	2,84
Średnio C Mean C	7,84	3,94	2,76	2,40	2,17	2,00
Średnio CO <sub>2</sub> Mean CO <sub>2</sub>	29,04	14,59	10,22	8,89	8,04	7,40

Objaśnienie: b.d. – brak danych. Explanation: b.d. – no data.

Źródło: wyniki własne. Source: own results.



rażnie większa i wynosi  $4,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$ . Na torfowiskach największe różnice między kolejnymi pięcioletkami po melioracji wystąpiły na stanowisku Grabówka (tab. 7). W pierwszych trzech pięcioletkach ubytki były tam największe, a w dalszych latach – najmniejsze w porównaniu z innymi stanowiskami torfowymi. Duże wartości początkowe można wiązać z rodzajem torfu (mechowiskowy), a małe końcowe – ze zmniejszeniem głębokości zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu (tab. 8). Na pozostałych stanowiskach torfowych, w warunkach w miarę stabilnej głębokości zwierciadła wody gruntowej, ubytki węgla zmniejszyły się z  $5,3\text{--}6,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w pierwszej pięcioletce do  $2,0\text{--}2,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w ostatniej. Na gytio-wisku nastąpiło zmniejszenie ubytków węgla z  $10,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w pierwszej pięcioletce do  $2,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w ostatniej.

**Tabela 8.** Średnia głębokość (cm) zwierciadła wody gruntowej w okresie wegetacyjnym

**Table 8.** Mean ground water table depth (cm) in the vegetation period

Stanowisko Site	Lata po melioracji Years after reclamation		
	0–8	9–20	>20
Grabówka	55,5	44,6	38,0
Stepnica	55,0	49,7	60,0
Stary Borek	55,5	75,0	59,3
Kazimierz Pomorski	43,2	48,5	44,0
Góra A	68,0	62,0	51,0
Góra B	70,0	62,0	51,0
Góra C	54,0	49,0	b.d.
Wizna B6–B7	b.d.	42,9	40,6
Wizna C5/1	b.d.	55,4	55,8
Wizna B15–B16	b.d.	59,1	67,4

Objaśnienie: b.d. – brak danych. Explanation: b.d. – no data.

Źródło: JURCZUK [2011]. Source: JURCZUK [2011].

W dolinie Narwi na obiekcie Góra największe ubytki węgla zanotowano na stanowisku Góra B (średnia z wielolecia  $4,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$ ), w którym po 5 latach po melioracji miąższość torfu wynosiła mniej niż 30 cm, a gleba przekształciła się z torfowo-murszowej w mineralno-murszową. Warstwa torfu o małej miąższości, podścielona warstwami piasku gliniastego, a głębiej – piasku słabogliniastego, ulegała intensywniejszemu przesychnianiu, a to wywoływało większą mineralizację. Z upływem lat na stanowiskach obiektu Góra następowało zmniejszanie rocznych ubytków węgla, nawet większe niż na Pobrzeżu Południowobałtyckim, co można przypisać stopniowemu zmniejszaniu się głębokości położenia zwierciadła wody gruntowej (tab. 8). Na torfowisku płytkim nastąpiło zmniejszenie rocznych ubytków węgla: na stanowisku Góra A – z  $8,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w pierwszej pięcioletce do  $1,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w szóstej, a na stanowisku Góra B – odpowiednio z  $9,4$  do  $2,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$ .

Na torfowisku głębokim na stanowisku Góra C nastąpiło zmniejszenie z  $7,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w pierwszej pięciolatce do  $2,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w czwartej.

Na obiekcie Wizna na stanowisku B6–B7, ze względu na pomiary na dużym obszarze i małe zmiany zawartości materii organicznej, nie potwierdzono statystycznie zależności tych zmian od czasu, ale zanotowano wyraźny trend i można przyjąć przynajmniej liniową zależność, według której co roku ubywało  $1,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  węgla. Na stanowisku C5/1 zanotowano wyraźną, liniową zależność, a ubytki węgla wynosiły  $2,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$ . Na stanowisku B15–B16 ubytki węgla wynosiły od  $3,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w trzeciej pięciolatce do  $2,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  w szóstej (tab. 7).

Z badań wynika, że mineralizacja materii organicznej zmniejsza się w czasie. Natężenie emisji dwutlenku węgla jest szczególnie duże w pierwszych pięciu latach po melioracji, a potem stopniowo maleje. W pierwszych pięciu latach po melioracji średnia emisja dwutlenku węgla z dziesięciu stanowisk wynosi  $29,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  (tab. 7) i jest zbliżona do największych wartości oznaczanych za granicą metodą zmian masy. W drugiej pięciolatce jest już o połowę mniejsza, a w 25–30 lat po melioracji zmniejsza się do wartości  $7,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$ , to jest mniejszej niż podawana w innych krajach. Jest to zgodne ze stwierdzeniem OKRUSZKI [1993], że największa ilość  $\text{CO}_2$  jest emitowana z nowo odwodnionych, słabo przekształconych torfów, w których proces murszenia jest w stadium początkowym. Wraz ze wzrostem stopnia przekształcania torfu emisja dwutlenku węgla zmniejsza się.

Wartość średnia z wielolecia emisji  $\text{CO}_2$  na 10 badanych stanowiskach wynosi  $13,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  i jest zbliżona do mniejszych wartości podawanych w literaturze zagranicznej, uzyskanych na podstawie pomiaru zmian masy materii organicznej. Otrzymane w Polsce wartości są dokładniejsze, ponieważ uzyskano je metodą wielokrotnych pomiarów zmian tej masy w czasie. W literaturze zagranicznej podano wartości średnie z wielolecia, których przydatność do bieżących analiz jest mniejsza, ponieważ – jak wykazano – emisja z upływem lat po melioracji znacznie się zmniejsza.

Emisja  $\text{CO}_2$  występująca na początku badań jest teraz w Polsce mało istotna, ponieważ całkowicie nowych systemów melioracyjnych na torfowiskach obecnie się nie wykonuje, a więc proces rozkładu „świeżej” masy organicznej nie zachodzi. W działalności gospodarczej mamy do czynienia z torfowiskami osuszonymi 30–50, albo więcej lat temu.

W wytycznych Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) do obliczania emisji z różnie użytkowanych powierzchni w poszczególnych krajach zaproponowano stosowanie współczynnika emisji, czyli rocznej emisji z jednego hektara. Ustalono, że emisja z użytków zielonych strefy borealnej i umiarkowanej zimnej wynosi  $1,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  C ( $4,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$   $\text{CO}_2$ ), a umiarkowanej cieplej –  $2,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$  C ( $9,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$   $\text{CO}_2$ ) [EGGLESTON i in. 2006]. Przyjęto, że emisja z użytków zielonych równa się 25% emisji z odwadnianych gruntów ornych położonych na torfowiskach. Uzyskane

w ostatnich latach niniejszych badań współczynniki mieszczą się w zakresie proponowanych przez IPCC.

JOOSTEN [2009], na spotkanie w Bangkoku w 2009 r., dotyczące UN-FCCC (ang. United Nations Framework Convention on Climate Change – Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu), w celu ułatwienia negocjacji dotyczących polityki po 2012 r., przygotował raport prezentujący stan torfowisk i emisję dwutlenku węgla przez sektor rolniczego użytkowania ziemi i leśnictwo we wszystkich krajach świata. Opierając się na opracowaniu COUWENBERGA [2009], zawierającym współczynniki emisji wyznaczone na podstawie bieżącej literatury, przyjął znacznie większy niż IPCC w 2006 r. współczynnik dla strefy umiarkowanej –  $5,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1} \text{ C}$  ( $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1} \text{ CO}_2$ ). JOOSTEN [2009] przyjął, że w Polsce w 2008 r. było 875 000 ha torfowisk zmeliorowanych na cele rolnicze. Przyjmując emisję  $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$ , otrzymał roczną emisję z rolniczo użytkowanych torfowisk w Polsce równą 17,5 Mt  $\text{CO}_2$ . Dodając do tego emisję z torfowisk odwodnionych w celu uprawy lasu i wydobycia torfu, uzyskał emisję 23,5 Mt  $\text{CO}_2$  rocznie. Suma ta stanowi 11,3% limitu emisji (208 Mt) przyznanego Polsce, a emisja z torfowisk zmeliorowanych tylko na cele rolnicze stanowi 8,4% tego limitu. Wynik analizy pokazuje, że Polska, która na liście krajów świata znajduje się na 25 miejscu pod względem powierzchni torfowisk, pojawia się na 10 miejscu pod względem emisji dwutlenku węgla z tych powierzchni.

Obecną powierzchnię zmeliorowanych torfowisk w Polsce można ustalić tylko szacunkowo, ponieważ następuje zarówno ciągłe jej zmniejszanie na skutek mineralizacji materii organicznej, jak i zabagnianie części gleb zmeliorowanych. Baza danych o mokradłach i użytkach zielonych oraz bank informacji o mokradłach Polski, opracowane w IMUZ na podstawie pomiarów prowadzonych w latach 1960–1995, nie zawierają aktualnych danych. Syntetyczne dane na ten temat są zawarte w opracowaniach DEMBKA i in. [2000] oraz CZAPLAK i DEMBKA [2000]. Powierzchnia torfowisk większych niż 1 ha, podawana w tych opracowaniach, wynosi 1211 tys. ha. Brak jest danych na temat powierzchni zmeliorowanej, podawana jest jedynie powierzchnia łąk zmiennowilgotnych, świeżych i suchych, która wynosiła 816,8 tys. ha. Powierzchnia torfowisk w Polsce w 1990 r. podana przez JOOSTENA [2009] wynosiła 1250 tys. ha i była zbliżona do określonej w bazie danych. Powierzchnia torfowisk zmeliorowanych na cele rolnicze wg Joostena wynosiła 1000 tys. ha. Autor nie podaje tej powierzchni, lecz wynika to z przeliczenia:  $20 \text{ Mt}\cdot\text{r}^{-1} \text{ CO}_2 / 20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1} \text{ CO}_2$ . Joosten przyjął, że od 1990 r. powierzchnia torfowisk zmniejszała się o 0,5% rocznie i w 2008 r. wynosiła 1152,8 tys. ha, a powierzchnia torfowisk zmeliorowanych wyniosła 875 tys. ha (nie podaje on jednak szczegółów obliczeń). Powierzchnię tę, z braku lepszych możliwości pomiarowych oraz obliczeniowych, pozostaje przyjąć jako występującą obecnie.

Na podstawie średniej emisji  $\text{CO}_2$  oszacowanej w wyniku badań opisanych w niniejszej pracy, wynoszącej po 25–30 latach od melioracji  $7,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$ , obecną emisję z 875 tys. ha torfowisk użytkowanych rolniczo można oszacować na 6,5 Mt,

co stanowi 3,1% obecnego limitu. Emisja ta jest 2,7 razy mniejsza niż szacowana przez JOOSTENA [2009] (tab. 9). Obliczanie emisji na podstawie danych wieloletnich, obejmujących także okres intensywnej mineralizacji materii organicznej i emisji dwutlenku węgla w pierwszych latach po odwodnieniu, prowadzi do znacznego zawyżenia jej wartości aktualnej.

**Tabela 9.** Emisja dwutlenku węgla ze zmeliorowanych gleb organicznych w Polsce

**Table 9.** Carbon dioxide emission from reclaimed organic soils in Poland

Źródło danych Source of data	Powierzchnia zmeliorowanych torfowisk Surface area of reclaimed peatlands ha	Współczynnik emisji wyrażonej w C $t \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$ Emission coefficient expressed in C $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$	Współczynnik emisji CO <sub>2</sub> $t \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$ Coefficient of CO <sub>2</sub> emission $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$	Emisja CO <sub>2</sub> z torfowisk Polski CO <sub>2</sub> emission from Polish peatlands Mt
JOOSTEN [2009]	875 000	5,5	20,0	17,5
Wyniki własne Own results	875 000	2,0	7,4	6,5

W świetle tych badań dyskusyjna jest sprawa renaturyzacji torfowisk ze względu na emisję dwutlenku węgla. Wyników pomiarów emisji dwutlenku węgla i metanu z uwadnianych torfowisk jest niewiele. Dane z literatury o emisji dwutlenku węgla są bardzo rozbieżne – od wartości ujemnych do większych niż z torfowisk odwodnionych [HÖPER i in. 2008; VAN DEN BOS 2003]. Nie podważa to celowości renaturyzacji z innych względów, takich jak ochrona rzadkich gatunków, różnorodność biologiczna, turystyka. Na obszarach torfowisk przeznaczonych do rolniczego użytkowania racjonalne byłoby podniesienie zwierciadła wody gruntowej za pomocą nawodnień podsiąkowych na wysokość, w warunkach której bilans wymiany dwutlenku węgla między glebą a atmosferą byłby zrównoważony.

## WNIOSKI

1. Wartości emisji dwutlenku węgla obliczone na podstawie pomiarów ubytków masy organicznej są na ogół mniejsze niż podawane w literaturze europejskiej. Może to wynikać ze stosowania w ostatnim przypadku uproszczonej metody ustalania ubytków masy materii organicznej i przyjmowania emisji jako średniej z całego okresu po melioracji.

2. Emisja dwutlenku węgla na zmeliorowanych torfowiskach w Polsce maleje z upływem czasu po melioracji. W pierwszej pięcioletniej po melioracji emisję CO<sub>2</sub> można oszacować średnio na około  $30 t \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$ . W następnych 5 latach maleje ona dwukrotnie, a po 25–30 latach zmniejsza się do wartości średniej  $7,4 t \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$ .

3. Na podstawie badań zmian zawartości materii organicznej w glebach organicznych, przyjmując w uproszczeniu, że cały ubytek węgla zamienia się na dwutlenek węgla, można się spodziewać, że obecna emisja dwutlenku węgla z polskich torfowisk, zmeliorowanych w celu rolniczego użytkowania, nie przekracza średnio 6,7 mln ton rocznie, co stanowi 3,1% wyneogocjowanego z Komisją Europejską prawa do emisji.

## LITERATURA

- COUWENBERG J. 2009. Emission factors for managed peat soils (organic soils, histosols). An analysis of IPCC default values. Produced for UN-FCCC meetings in Bonn, June 2009. *Wetlands International* ss. 14.
- COUWENBERG J. 2011. Greenhouse gas emissions from managed peat soils: is the IPCC reporting guidance realistic? *Mires and Peat*. Vol. 8 s. 1–10.
- CZAPLAK I., DEMBEK W. 2000. Torfowiska Polski jako źródło emisji dwutlenku węgla. W: *Rolnictwo polskie i ochrona jakości wody*. Pr. zbior. Red. B. Sapek. Zeszyty Edukacyjne. Nr 6. Falenty. IMUZ s. 61–71.
- DEMBEK W., PIÓRKOWSKI H., RYCHARSKI M. 2000. Mokrańca na tle regionalizacji fizycznogeograficznej Polski. *Biblioteczka Wiadomości IMUZ*. Nr 97. ISSN 0519-7864 ss. 135.
- EGGLESTON HS., BUENDIA L., MIWA K., NGARA T., TANABE K. (ed.) 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Use [online]. IPCC. [Dostęp 20.11.2011]. Dostępny w Internecie: [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4).
- GAWLIK J., GRZYB S., GUZ T. (red.) 1966. *Metodyka badań fizycznych i wodnych właściwości gleb*. Warszawa. IMUZ ss. 112.
- GRØNLUND A., HAUGE A., HOVDE A., RASSE D.P. 2008. Carbon loss estimates from cultivated peat soils in Norway: a comparison of three methods. *Nutrient Cycling Agroecosystems*. No. 81 s. 157–167.
- HÖPER H., AUGUSTIN J., CAGAMPAN J. P., DRÖSLER M., LUNDIN L., MOORS E., VASANDER H., WADDINGTON J. M., WILSON D. 2008. Restoration of peatlands and greenhouse gas balances. W: *Peatlands and Climate Change*. Pr. zbior. Red. M. Strack. Jyväskylä. IPS s. 182–210.
- ILNICKI P. 2002. *Torfowiska i torf*. Poznań. Wydaw. AR. ISBN 83-7160-243-x ss. 606.
- JOOSTEN H. 2009. The Global Peatland CO<sub>2</sub> Picture. Peatland status and emissions in all countries of the world. Produced for the UN-FCCC meetings in Bangkok, September/October 2009. *Wetlands International* ss.35.
- 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. 2011. Melioracyjne uwarunkowania zachowania materii organicznej w użytkowanych łąkowo glebach pobagiennych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. Rozprawy naukowe i monografie. Nr 30. ISBN 978-83-62416-27-1 ss. 81.
- KASIMIR-KLEMEDTSSON A., KLEMEDTSSON L., BERGLUND K., MARTIKAINEN P., SILVOLA J., OENEMA O. 1997. Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management*. Vol. 13 s. 245–250.
- LITYŃSKI T., JURKOWSKA H. 1982. *Żywność gleb i odżywianie się roślin*. Warszawa. PWN. ISBN 83-01-02887-4 ss. 643.
- MAKSIMOW A. 1959. *Torf i użytkowanie surowca torfowego w rolnictwie*. Warszawa. PWRiL ss. 353.

- MIATKOWSKI Z., TURBIAK J. 2006. Zmiany emisji CO<sub>2</sub> z gleby torfowo-murszowej pod wpływem nagłego i głębokiego obniżenia poziomu wody gruntowej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 6. Z. 1(16) s. 267–276.
- OKRUSZKO H. 1993. Transformation of fen-peat soil under the impact of draining. *Zeszyty Problemove Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 406 s. 3–73.
- SCHIPPER L.A., MCLEOD M. 2002. Subsidence rates and carbon loss in peat soils following conversion to pasture in the Waikato Region, New Zealand. *Soil Use and Management*. Vol. 18. Iss. 2 s. 91–93.
- TURBIAK J. 2009. Aktywność respiracyjna gleb pobagiennych w warunkach ich utrzymywania w czarnym ugorze. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 9. Z. 1(25) s. 161–170.
- VAN DEN AKKER J.J.H., KUIKMAN P. J., DE VRIES F., HOVING I., PLEIJTER M., HENDRIKS R.F.A., WOLLESWINKEL R.J., SIMÕES R.T.L., KWAKERNAAK C. 2008. Emission of CO<sub>2</sub> from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. W: *After wise use – the future of peatlands*. Proceedings of the 13 International Peat Congress. Vol. 1. Tullamore, Ireland, June 2008. Jyväskylä. IPS s. 645–648.
- VAN DEN BOS R. 2003. Restoration of former wetlands in the Netherlands; effect on the balance between CO<sub>2</sub> sink and CH<sub>4</sub> source. *Netherlands Journal of Geosciences*. Nr 82 s. 325–332.

*Sergiusz JURCZUK*

## CARBON DIOXIDE EMISSION FROM RECLAIMED ORGANIC SOILS IN POLAND

**Key words:** CO<sub>2</sub> emission, drainage, emission coefficient, organic soils, the share of CO<sub>2</sub> emissions in the EU limits

### S u m m a r y

Long term studies on the changes in soil organic matter content were carried out in ten sites on lowland peatlands and gytja stands situated in South Baltic Coast and in the Narew River valley. The sites were reclaimed in the 1960s and 1970s to drain them after primary or secondary bogging and to use as grasslands. Carbon dioxide emission from soil to the atmosphere was estimated with the assumption that organic carbon constitutes 57% of peat organic matter and that the whole carbon loss was emitted as CO<sub>2</sub>.

The study showed that carbon dioxide emission from agriculturally used peatlands declined with time since reclamation. In the first five years mean emission of carbon dioxide was 29.0 t·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>. This was similar to values given in the foreign literature for boreal and temperate climatic zones. In the next five years the emission halved and 25–30 years after reclamation it decreased to 7.4 t·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>. Mean long-term value was 13.0 t·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup> being similar to the smaller values given in foreign literature. Present carbon dioxide emission from Polish peatlands reclaimed for agricultural purposes may be estimated at 6.7 Mt which equals 3.1% of that allotted by the European Commission.

**Do cytowania For citation:** Jurczuk S. 2012. Emisja dwutlenku węgla ze zmeliorowanych gleb organicznych w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 3 (39) s. 63–76.