

EMISJA DWUTLENKU WĘGLA OKREŚLANA W ZALEŻNOŚCI OD REKULTYWOWANEGO UTWORU GLEBOWEGO

Leszek Rogalski, Agnieszka Bęś, Kazimierz Warmiński

Katedra Ochrony Powietrza i Toksykologii Środowiska,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wstęp

Wpływ zabiegów rekultywacyjnych na procesy glebotwórcze zachodzące w utworach glebowych możemy określić przy pomocy takich wskaźników jak: akumulacja związków próchnicznych, produkcja biomasy, procesy oddechowe i inne. Ilość wydzielającego się CO₂ świadczy o aktywności biologicznej gleby, jest też wskaźnikiem przebiegu procesów mineralizacji substancji organicznej w glebie. Zdolność respiracyjna gleby jest też wskaźnikiem zmian żyzności i produktywności gleby [RUNOWSKA-HRYŃCZUK, ŻURAWSKI 1993; RADECKI-PAWLIK, BOROŃ 1998]. Ważnym glebowym czynnikiem wzrostu i rozwoju roślin jest powietrze glebowe. W jego skład wchodzi, między innymi CO₂, którego źródłem jest oddychanie mikroorganizmów rozkładających substancję organiczną oraz oddychanie korzeni roślin. W powietrzu glebowym zawartość CO₂ przeciętnie wynosi 0,15–0,65%, a może dochodzić do 2% [BOROŃ 1983]. Czynniki, które determinują produkcję CO₂ są: skład chemiczny tworzywa glebowego, okres rolniczej rekultywacji oraz rodzaj i dawka nawożenia [RADECKI-PAWLIK, BOROŃ 1998; SADEJ, MAZUR 2000; STĘPNIWSKA i in. 2000]. Komunalne osady ściekowe mogą być wykorzystywane do rekultywacji gleb zdegradowanych. Oprócz roli nawozowej przyczyniają się do szybkiej odbudowy aktywności biologicznej powierzchniowej warstwy rekultywowanego utworu glebowego [MARTYN i in. 1999]. Celem prowadzonych badań było określenie emisji CO₂ z gleb lekkich, w zależności od wzbogacenia ich osadem ściekowym i nawożeniem mineralnym, przed i po krótkiej vegetacji traw na tych glebach.

Materiał i metody badań

Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w hali vegetacyjnej z zastosowaniem nadkładu kopalnianego z kopalni żwiru oraz nieużytku rolniczego, które wzbogacono osadem ściekowym w proporcjach podanych w tabeli 2, a także nawożeniem mineralnym w ilościach: N – 1 g, P – 0,2 g, K – 1,25 g, tj. 2,2 g moczniaka + 1,1 g superfosfatu potrójnego + 2,5 g soli potasowej na wazon. Każdy wazon zawierał 10 kg utworu glebowego (5 lub 7,5 kg gleby oraz 5 lub 2,5 kg osadu – w zależności od zastosowanej proporcji). Proporcje ustalono w stosunku do świeżej masy osadu ściekowego. Zastosowano dwie dawki osadu ściekowego ¼ i ½. Ekstremalną dawkę – ½, przyjęto ze względu na małą zasobność w skład-

niki pokarmowe gleb lekkich użytych w doświadczeniu. Zastosowany w doświadczeniu osad ściekowy o konsystencji ziemisto-mazistej, pochodził z poletek ociekowych Miejskiej Oczyszczalni Ścieków Komunalnych w Olsztynie. Charakteryzował się dużą zasobnością w składniki pokarmowe: N – 5, P – 3,3, K – 2,6 g·kg⁻¹ s.m. oraz węgiel organiczny: 74,8 g·kg⁻¹ s.m., pH osadu wynosiło 7,9. W doświadczeniu użyto osad ściekowy świeży o zawartości suchej masy 54,32%. Nadkład kopalniany z kopalni żwiru w Żabim Rogu o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego zawierał 0,39 g N·kg⁻¹ i 5,87 g·kg⁻¹ węgla organicznego, pH wynosiło 7,5. Nieużytek rolniczy o składzie granulometrycznym piasku słabo gliniastego zawierał: 0,28 g N i 3,88 g·kg⁻¹ węgla organicznego, pH wynosiło 8. W wazonach z odpowiednim składem utworów glebowych, wysiano mieszanke traw w ilości 40 kg·ha⁻¹ (0,3 g na wazon), często stosowaną do celów rekultywacyjnych [GREINERT 1997; ROGALSKI i in. 1997], o następującym składzie: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), życica trwała (*Lolium perenne* L.) i wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.).

Pomiar uwalniania dwutlenku węgla przeprowadzono w drugim roku 2002 trwania pięcioletniego doświadczenia. Próbkki utworów glebowych do analizy pobrano z wazonów przed rozpoczęciem wegetacji (1 pomiar) oraz po pierwszym pokosie traw (2 pomiar). Oznaczenie dwutlenku węgla wykonano według metodyki ISERMEYERA [1952]. Słoje o pojemności 1 litra z próbkami utworu glebowego (50 g) i 25 ml roztworu NaOH o stężeniu 0,05 mol·dm⁻³ umieszczano w komorze klimatyzacyjnej, w temperaturze 20°C, na okres 1, 2 i 3 dni. Po upływie określonego czasu ze słoika wyjmowano naczynie z wodorotlenkiem sodu i w obecności nadmiaru chlorku baru i fenoloftaleiny miareczkowano kwasem solnym do zmiany zabarwienia z różowego na bezbarwne. Jednocześnie ze słojami z próbkami utworów glebowych inkubowano próby ślepe (puste – bez utworu glebowego). Każda próba była w trzech powtórzeniach. Równocześnie oznaczano suchą masę z poszczególnych utworów glebowych, według normy PN 88/R-04013. Ilość wydzielonego CO₂ obliczano z następującego wzoru:

$$\text{CO}_2 = \frac{(V_0 - V) \cdot 1,1}{dwt} \quad (\text{mg})$$

gdzie:

V_0 – ilość HCl zużyta do miareczkowania próby ślepej – pustej (bez utworu glebowego), (ml);

V – ilość HCl zużyta do miareczkowania próby z utworem glebowym (ml);

dwt – sucha masa 1 g utworu glebowego;

1,1 – współczynnik konwersji (1 ml 0,05 mol NaOH·dm⁻³ jest równy 1,1 mg CO₂).

Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji. Istotność różnic statystycznych oceniono testem Duncana, przy poziomie istotności $p = 0,01$. Wyniki wykonanych testów post-hoc przedstawiano w formie grup jednorodnych, które oznaczono literami (a, b, ..., m) dla porównania rodzaju utworu i interakcji, oraz (x, y) dla porównania obiektów bez nawożenia i z nawożeniem.

Wyniki i dyskusja

Statystyczna analiza wyników wykazała istotny wpływ terminu przeprowadzenia pomiaru i rodzaju utworu glebowego oraz interakcji tych czynników na zawartość CO₂ (tab. 1). W badaniach rozpatrywano wydzielanie CO₂ po 1, 2 i 3 dobach inkubacji. W trakcie 1 pomiaru istotność dotyczyła rodzaju utworu glebo-

wego oraz współdziałania rodzaju utworu i nawożenia po 1 i 3 dobie. Drugi pomiar charakteryzował istotny wpływ analizowanych czynników (oprócz 3d) i ich interakcji. Synteza wyników z 1 i 2 pomiaru wykazała istotny wpływ terminu pomiaru, rodzaju utworu glebowego oraz interakcji pomiędzy terminem pomiaru a rodzajem utworu glebowego, rodzajem utworu a nawożeniem, a także pomiędzy wszystkimi analizowanymi czynnikami.

Tabela 1; Table 1

Analiza wariancji (test F) wydzielania CO₂ z utworów glebowych
Analysis of variance (F test) of CO₂ emission from soil materials

Pomiar CO ₂ The term of CO ₂ measurement	Czynniki Factors	F empiryczne (wartość i istotność) dla cech: Empirical F (values and significance) for parameters:		
		1 d	2 d	3 d
1 pomiar (przed rozpoczęciem wegetacji) 1st measurement (before vegetation)	U	117,788*	81,490*	108,509*
	N	2,090	0,577	6,809
	U x N	9,701*	1,319	8,461*
2 pomiar (po I pokosie) 2nd measurement (after the 1st cut)	U	82,243*	88,720*	119,188*
	N	10,040*	7,678*	0,639
	U x N	13,197*	7,028*	8,095*
Synteza; Synthesis	P	86,264*	22,775*	60,693*
	U	177,768*	149,475*	215,814*
	N	0,001	0,528	2,376
	P x U	45,046*	17,115*	9,509*
	P x N	7,034	4,172	6,442
	U x N	11,339*	2,048	8,656*
	P x U x N	9,319*	3,441*	7,981*

U utwór glebowy; soil materials

N nawożenie; fertilization

P termin pomiaru; term of CO₂ measurement

P x U, P x N, U x N, P x U x N – interakcje między czynnikami; interactions among factors

* Femp. > F tab. – zależność istotna dla poziomu istotności p = 0,01; significant correlation at p = 0.01

Wyniki otrzymane w badaniach własnych były zbliżone do wartości otrzymanych przez GILEWSKĄ i BENDERA [1984]. W badaniach wykazano, że wydzielanie CO₂ ze wszystkich analizowanych utworów glebowych przed rozpoczęciem wegetacji (tab. 2) było wyraźnie różnicowane, choć wartości średnie pomiędzy obiektami bez nawożenia i z nawożeniem okazały się statystycznie nieistotne. Mimo występującego zróżnicowania pomiędzy wydzielaniem CO₂ z kombinacji bez nawożenia i z nawożeniem NPK podczas 1 pomiaru, wyniki te były nieistotne. Podczas 2 pomiaru po 1 i 2 dobie inkubacji nawożenie w istotny sposób wpłynęło na emisję dwutlenku węgla z analizowanych kombinacji (tab. 3). Pokrywa się to z badaniami WOJNOWSKIEJ i in. [1993], którzy stwierdzili, że nawożenie istotnie wpływa na intensywność wydzielania się CO₂ z gleb. Po 3 dobie drugiego pomiaru wpływ nawożenia okazał się nieistotny. Rozpatrując każdą kombinację oddzielnie, przed rozpoczęciem wegetacji, zanotowano zwiększenie wydzielania CO₂ w obiektach nawożonych, w przypadku osadu ściekowego, nieużytku rolniczego oraz obiektu, w którym połączono osad ściekowy z nadkładem kopalnianym w ilości ½ + ½. Podczas natomiast pomiaru po pierwszym pokosie traw (2 pomiar) otrzymano zależność odwrotną – nieznacznie mniejsze ilości CO₂ wydzielaly obiekty nawożone NPK, średnio ze wszystkich kombinacji po 3 dobach pomiaru – 0,326 mg CO₂·g⁻¹ s.m. Na respirację glebową istotny wpływ miał rodzaj utworu glebowego. Najwięcej CO₂ wydzielaly osady ściekowe – średnio 0,48,

a najmniej nieużytek rolniczy – 0,097 mg CO₂·g⁻¹ s.m. na dobę. Osad ściekowy dodany do nieużytku rolniczego i nadkładu kopalnianego zwiększył wydzielanie się CO₂ zarówno przed rozpoczęciem wegetacji, jaki i po I pokosie we wszystkich kombinacjach. Jak podają GOSTKOWSKA i in. [1989a, 1989b] a także QUEMADA i MENACHO [2001] w glebie zasilonej większą dawką osadu ściekowego wyraźnie zwiększa się intensywność wydzielania dwutlenku węgla. Większą emisję CO₂ stwierdzono w obiektach, w których ilość osadu ściekowego wynosiła ½, w porównaniu do ilości ¼.

Tabela 2; Table 2

Wydzielanie CO₂ – przed rozpoczęciem wegetacji (mg CO₂·g⁻¹ s.m.)
Carbon dioxide emission – before the vegetation (mg CO₂·g⁻¹ DM)

Utwór glebowy; Soil material	Wydzielanie CO ₂ ; CO ₂ emission					
	bez nawożenia without fertilization			z nawożeniem NPK with fertilization NPK		
	1 d	2 d	3 d	1 d	2 d	3 d
Osad ściekowy; Sewage sludge	0,392c	0,215d	0,765e	0,593f	0,649d	0,881f
Nieużytek rolniczy; Barren land	0,053a	0,096a	0,147a	0,061a	0,166a	0,160a
Nadkład kopalniany; Overlayer	0,11ab	0,136a	0,233a	0,064a	0,122a	0,198a
Osad ściekowy + nieużytek rolniczy (½ + ½) Sewage sludge + barren land (½ + ½)	0,256d	0,348c	0,462bcd	0,223cd	0,319c	0,438bcd
Osad ściekowy + nadkład kopalniany (½ + ½) Sewage sludge + overlayer (½ + ½)	0,244d	0,331c	0,479cd	0,246d	0,412c	0,522de
Osad ściekowy + nieużytek rolniczy (¼ + ¾) Sewage sludge + barren land (¼ + ¾)	0,125ab	0,251b	0,377bc	0,129ab	0,225b	0,359b
Osad ściekowy + nadkład kopalniany (¼ + ¾) Sewage sludge + overlayer (¼ + ¾)	0,152bc	0,254b	0,371bc	0,122ab	0,247b	0,373bc
Srednio; Average	0,190x	0,233x	0,405x	0,207x	0,306x	0,419x

różnice pomiędzy wartościami oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne na poziomie p = 0,01; the differences between values followed by different letters are statistically significant at p = 0,01

Tabela 3; Table 3

Wydzielanie CO₂ – po I pokosie (mg CO₂·g⁻¹ s.m.)
Carbon dioxide emission – after the first cut (mg CO₂·g⁻¹ DM)

Utwór glebowy; Soil material	Wydzielanie CO ₂ ; CO ₂ emission					
	bez nawożenia without fertilization			z nawożeniem NPK with fertilization NPK		
	1 d	2 d	3 d	1 d	2 d	3 d
1	2	3	4	5	6	7
Osad ściekowy; Sewage sludge	0,214fg	0,394g	0,522fg	0,230g	0,411g	0,565g
Nieużytek rolniczy; Barren land	0,061a	0,080a	0,170b	0,058a	0,121ab	0,121b
Nadkład kopalniany; Overlayer	0,070ab	0,133ab	0,032a	0,100bc	0,154bc	0,136b
Osad ściekowy + nieużytek rolniczy (½ + ½) Sewage sludge + barren land (½ + ½)	0,176e	0,326f	0,398de	0,200efg	0,308ef	0,454ef

1	2	3	4	5	6	7
Osad ściekowy + nadkład kopalniany ($\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$) Sewage sludge + overlayer ($\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$)	0,223fg	0,400g	0,494fg	0,135cd	0,263def	0,341cd
Osad ściekowy + nieużytek rolniczy ($\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$) Sewage sludge + barren land ($\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$)	0,186ef	0,313ef	0,385cde	0,117cd	0,257de	0,357cd
Osad ściekowy + nadkład kopalniany ($\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$) Sewage sludge + overlayer ($\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$)	0,139d	0,250de	0,341cd	0,122cd	0,215cd	0,305c
Srednio; Average	0,153y	0,271y	0,335x	0,137x	0,247x	0,326x

Oznaczenia jak w tabeli 2; Explanations see Table 2

Wnioski

1. Emisja CO₂ w największym stopniu zależała od rodzaju utworu glebowego. Wpływ nawożenia NPK uwidaczniał się w interakcjach z utworami glebo-
wymy.
2. Utwory rekultywowane osadem ściekowym cechowało 2,5-krotnie większe
wydzielanie CO₂ w porównaniu do obiektów z nadkładu kopalnianego
i nieużytku rolniczego, których nie wzbogacono osadem.
3. Nawożenie NPK nie powodowało istotnych różnicowań emisji CO₂ ozna-
czonej przed rozpoczęciem wegetacji i po I pokosie traw.

Literatura

- BOROŃ K. 1983. *The determination of total suction in light soil white the centrifugal and conductometric*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 220: 88–94.
- GILEWSKA M., BENDER J. 1984. *Wybrane wskaźniki aktywności biologicznej gruntów pogórnicznych rolniczo rekultywowanych*. Archiwum Ochrony Środowiska 3–4: 117–140.
- GOSTKOWSKA K., WOYTOWICZ B., SZEMBER A., JAŚKIEWICZ W., FURCZAK J., JEZIERSKA-TYS S. 1989a. *Wpływ różnych środków użyźniających na aktywność mikrobiologiczną gleby gliniastej*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 370: 65–74.
- GOSTKOWSKA K., WOYTOWICZ B., SZEMBER A., JAŚKIEWICZ W., FURCZAK J., JEZIERSKA-TYS S., JAŚKIEWICZ W. 1989b. *Wpływ różnych środków użyźniających na aktywność mikrobiologiczną gleby piaszczystej*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 370: 75–84.
- GREINERT A. 1997. *Wzrost traw na glebach o różnym składzie granulometrycznym w warunkach ich skażenia metalami ciężkimi*. Mat. I Ogólnop. Konf. Nauk.-Techn. „Trawy w procesie rekultywacji biologicznej terenów trudnych o różnych gruntach”. 14–15 X 1997 Ustroń-Jaszowiec, IPIŚ PAN w Zabrze: 12.
- ISERMEYER II. 1952. *Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und*

der Karbonate im Boden. Z. Pflanzenernäh Bodenk 56: 26–38.

MARTYN W., BARAN S., JONAK J. 1999. *Wpływ wybranych sposobów rekultywacji na niektóre właściwości skały płonnej. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 200, *Agricultura* 77: 235–240.

QUEMADA M., MENACHO E. 2001. *Soil respiration 1 year after sewage sludge application. Biology of Fertility Soils* 33: 344–346.

RADECKI-PAWLIK A., BOROŃ K. 1998. *Pomiar respiracji glebowej metodą konduktometryczną w różnych warunkach uwilgotnienia. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 460: 361–373.

ROGALSKI M., KAPELA S., KARDYŃSKA S. 1997. *Badania nad początkowym wzrostem i rozwojem niektórych gatunków traw rosnących na popiołach z elektrowni. Mat. I Ogólnop. Konf. Nauk.-Techn. „Trawy w procesie rekultywacji biologicznej terenów trudnych o różnych gruntach”. 14–15 X 1997, Ustroń-Jaszowiec, IPIŚ PAN w Zabrzu: 33.*

RUNOWSKA-HRYŃCZUK B., ŻURAWSKI H. 1993. *Zdolność respiracyjna gleby jako wskaźnik zmian żyzności gleby w wieloletnim doświadczeniu nawozowym. Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 278, *Sesja Nauk.* 37, cz. II: 331–339.

SADEJ W., MAZUR Z. 2000. *Zawartość dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w zależności od rodzaju nawożenia. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 211, *Agricultura* 84: 435–440.

STĘPNIEWSKA Z., PASZTELAN M., KOTOWSKA U. 2000. *Udział mieszanki traw w procesie respiracji gleby (Eutric histosol) nawadnianej ściekami miejskimi po II stopniu oczyszczania. Acta Agrophysica* 38: 193–199.

WOJNOWSKA T., SIENKIEWICZ S., WOJTAS A. 1993. *Dynamika wydzielania CO₂ z gleby w zależności od nawożenia obornikiem i NPK oraz od uprawianych roślin. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 411: 101–106.

Słowa kluczowe: dwutlenek węgla, osad ściekowy, utwór glebowy, emisja CO₂, rekultywacja

Streszczenie

W badaniach określano emisję CO₂ z utworów glebowych składających się z nadkładu kopalnianego z kopalni żwiru lub nieużytku rolniczego z dodatkiem osadu ściekowego i nawożenia NPK. Procesy rozkładu substancji organicznej w utworach glebowych wpływały na ilość wydzielanego CO₂. Analiza wariancji wykazała, że emisja CO₂ była istotna i w największym stopniu uzależniona od utworu glebowego. Wpływ zaś nawożenia NPK uwidaczniał się głównie w interakcjach z utworem glebowym. Średnio z badań, wydzielanie CO₂ ocenione testem Duncana, przed rozpoczęciem wegetacji nie wykazywało istotnych różnic pomiędzy obiektami z nawożeniem i bez nawożenia. Po I pokosie natomiast zróżnicowania były istotne.

CARBON DIOXIDE EMISSION FROM RECLAIMED SOIL MATERIALS

Leszek Rogalski, Agnieszka Bęś, Kazimierz Warmiński
Department of Air Pollution and Environmental Toxicology,
University of Warmia and Mazury, Olsztyn

Key words: carbon dioxide, sewage sludge, soil material, CO₂ emission, reclamation

Summary

The study determined CO₂ emission from soil materials composed of a gravel overlayer or barren land, with the addition of sewage sludge and NPK fertilizers. The processes of organic matter decomposition in soil materials affected the amount of emitted CO₂. An analysis of variance showed that CO₂ emission was significant and related primarily to the type of soil materials. The effect of NPK fertilization manifested itself in interactions with soil materials. The mean values of CO₂ emission were determined by the Duncan test. No significant differences between fertilized and unfertilized objects were found before the growing season, whereas such differences were observed after harvesting the first cut.

Prof. dr hab. Leszek **Rogalski**
Katedra Ochrony Powietrza i Toksykologii Środowiska
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Plac Łódzki 2
10-726 OLSZTYN
e-mail: leszek.rogalski@uwm.edu.pl