

EMISJA CO₂ DO ATMOSFERY WARUNKOWANA RÓŻNYMI
CZYNNIKAMI W PROCESIE REKULTYWACJI NADKŁADU
KOPALNIANEGO

Leszek Rogalski

Katedra Ochrony Powietrza i Toksykologii Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
pl. Łódzki 2 10-726 Olsztyn
e-mail: leszek.rogalski@uwm.edu.pl

Streszczenie. Przedmiotem badań była emisja CO₂ z nadkładu kopalnianego używanego osadem ściekowym w procesie rekultywacji. Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w hali wegetacyjnej w 3 i 4 roku 6-letniego cyklu badawczego. Nadkład kopalniany z kopalni żwiru w Zabim Rogu i osad ściekowy z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Olsztynie, łączono odpowiednio w proporcjach 75+25% i 50+50%. W wazonach uprawiano mieszankę traw. W trakcie wegetacji pobierano próby gleby nadkładu kopalnianego i doprowadzono je do wilgotności 40, 60 i 80% maksymalnej pojemności wodnej. Słoiki szczelnie zamknięte, wraz z NaOH, umieszczono w komorze fitotronowej w temperaturze 10, 20 i 30°C. Emisję CO₂ określano według zmodyfikowanej metodyki ISERMEYERA. Otrzymane wyniki badań poddano analizie statystycznej. Wykazano, że temperatura inkubacji ma największy wpływ na emisję CO₂, przy czym jest ona największa w pierwszej dobie oznaczeń i mniejsza o około 2 do 2,6 krotnie w drugiej i trzeciej. Podwyższenie temperatury do 20°C wpłynęło na zwiększenie emisji o 133%, a do 30°C o 296%, w stosunku do temperatury 10°C. Dawka osadu ściekowego również istotnie zwiększyła emisję CO₂, jednak zwiększenie to było około 2 krotnie mniejsze, w porównaniu do danych otrzymanych w przypadku temperatury. Wilgotność nadkładu kopalnianego w mniejszym stopniu oddziaływała na emisję CO₂ i tylko w 80% maksymalnej pojemności wodnej była istotna statystycznie. Analiza korelacji wykazała bardzo wysoki wpływ temperatury na emisję CO₂ ($r = 0,78$), przeciętny – dawek osadu ściekowego ($r = 0,46$) i nikły ujemny – wilgotności ($r = -0,01$).

Słowa kluczowe: Emisja CO₂, środowisko, rekultywacja, temperatura, wilgotność

WSTĘP

W składzie powietrza atmosferycznego występuje dwutlenek węgla, którego zawartość stopniowo wzrasta, osiągając zawartość 0,036% (365 ppm) objętości. Jest to więcej o 0,008% w stosunku do ilości pierwszej połowy XIX w. Zwiększanie się

koncentracji powodowane jest głównie działalnością antropogeniczną, w tym przede wszystkim uprzemysłowieniem, a także zmianą użytkowania gruntów.

Odnosząc emisję CO₂ do uwarunkowań środowiska uwzględnia się ogół elementów przyrodniczych związanych z powierzchnią ziemi, wodą, powietrzem oraz światem flory i fauny, także w ujęciu krajobrazu (Rogalski i in. 2004). Dwutlenek węgla jest produktem utleniania węgla występującego w różnych procesach i związkach. Houghton (2003) podaje, że w glebach jest zakumulowane około 1500, w biosferze – 550 i w atmosferze – 780 PgC. Całkowita zaś emisja CO₂, według Musselman, Fox (1991), w zależności od różnych uwarunkowań, szacowana jest na 60-100 Pg·rok⁻¹, w odniesieniu zaś do gleby uprawnej 200-300 Mg·ha⁻¹. Zawartość CO₂ w profilu do głębokości 20 cm kształtuje się w przedziale 0,1-0,7% (Radecki-Pawlik, Boroń 1998). Emisja do atmosfery determinowana jest wieloma czynnikami, takimi jak: oddychanie korzeni, zasiedlenie florą i fauną oraz ich aktywnością w rozkładzie materii organicznej itp. Według Sapka (2000) stan stabilnego wydzielania ulega zachwianiu w wyniku różnych oddziaływań człowieka, mianowicie; zmiana użytkowania, wylesienia, działalność rolnicza, zmiany temperatury, uwilgotnienie i innych związanych z procesem rekultywacji.

W przypadku terenów przekształconych kopalnictwem odkrywkowym emisja CO₂ jest wskaźnikiem intensywności zachodzących przemian. W powyższym kontekście, według autora, *rekultywacja terenów zdegradowanych jest procesem przywracania właściwości bio-fizyko-chemicznych utworom glebowym oraz uaktywniania wzajemnych oddziaływań zachodzących pomiędzy biosferą i rekultywowanym gruntem, doprowadzających do wytworzenia się gleby i funkcjonowania ekosystemu*. Zagospodarowanie rekultywowanych terenów doprowadza do przyrodniczego ich wykorzystania i stabilizacji środowiskowej emisji CO₂.

Celem badań było określenie wielkości emisji CO₂ z nadkładu kopalnianego użyźnianego osadem ściekowym w kontrolowanych warunkach temperatury i wilgotności.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w hali wegetacyjnej, w 3 i 4 roku 6 letniego cyklu badawczego (lata 2003-2004). Użyty w badaniach nakład kopalniany pochodził ze składowiska zewnętrznego z kopalni żwiru w Żabim Rogu, z głębokości 30 cm. Charakteryzował się składem piasku gliniastego lekkiego z zawartością 11% części spławianych, 5,87 g·kg⁻¹ s.m. węgla organicznego oraz udziałem substancji organicznej 0,24-1,29%, pH-6-7,5. W klasyfikacji bonitacyjnej zaliczono go do V i VI klasy. Osad ściekowy pochodził z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków Komunalnych w Olsztynie. Próbkę pobrano z poletek ociekowych. Charakteryzowały się dużą zawartością węgla organicznego 74,8 g·kg⁻¹ s.m, N-5,

P-3,3 i K-2,6 g·kg⁻¹, o pH = 7,9 i zawartości suchej masy 54,2%. Glebę z nadkładu kopalnianego zmieszaną z osadem ściekowym umieszczono w wazonach o pojemności 10 dm³. Proporcje udziału komponentów przedstawiają obiekty badawcze:

- nadkład kopalniany – obiekt kontrolny,
- nadkład kopalniany 75% + osad ściekowy 25% (NK 75% + o.s. 25%),
- nadkład kopalniany 50% + osad ściekowy 50% (NK 50% + o.s. 50%).

W wazonach uprawiano mieszanę traw w ilości 40 kg·ha⁻¹.

W okresie wegetacji w miesiącu czerwcu, w latach badań, pobierano próbki gleby z wazonów i doprowadzano je do wilgotności 40, 60 i 80% maksymalnej pojemności wodnej. Wpływ poszczególnych czynników badań na emisję CO₂ rozpatrywano w odniesieniu do wartości średnich statystycznych pozostałych czynników doświadczenia. Szczelnie zamknięte słoiki wraz z roztworem wodorotlenku sodu (NaOH), umieszczono w komorze fitotronowej w temperaturze 10, 20 i 30°C. Wydzielony CO₂ z gleby został zaabsorbowany przez NaOH, który następnie miareczkowano kwasem solnym (HCl) w obecności chlorku baru i fenoftaleiny. Wydzielanie CO₂ obliczono z zależności (metoda ISERMAYERA 1952):

$$CO_2 = \frac{(V_0 - V) \cdot 1,1}{dwt} \text{ (mg)} \quad (1)$$

gdzie: V_0 – ilość HCl zużytego do miareczkowania próby bez gleby (ml), V – ilość HCl zużytego do miareczkowania próby z glebą (ml), 1,1 – współczynnik konwersji (1 ml 0,05 mol NaOH·dm⁻³ jest równy 1,1 mg CO₂), dwt – sucha masa 1 g gleby (g).

Wydzielanie CO₂ oznaczano co 24 godziny w 72 godzinnym czasie trwania inkubacji w zadanej temperaturze i z określonym uwilgotnieniem. Każdy z obiektów analizowano w trzech powtórzeniach. Ponadto próbki gleby analizowano chemicznie na:

- zawartość suchej masy, według PN88/1 – 04013,
- maksymalną pojemność wodną, według PN-ISO 11269-1:1998,
- zawartość węgla organicznego metodą Tiurina, według PN-2-15011-3:2001.

Otrzymane wyniki badań poddano analizie statystycznej za pomocą programów MS EXCEL 2003 i STATISTICA 7.1 PL 2005.

WYNIKI I DYSKUSJA

Emisja CO₂ z nadkładu kopalnianego analizowana empirycznym współczynnikiem F , największą wartość osiągnęła pod wpływem temperatury inkubacji (T), mniejszą – dawki osadu ściekowego (D) i interakcję TxD . Średnio po trzech dobach F empiryczne wyniosło – w przypadku: T – 1260,66; D – 462,91 i TxD – 84,49.

Uwilgotnienie utworu glebowego (W), wprawdzie odgrywało istotną rolę, to jednak wartość $F=55,77$. Analiza wariancji nie wykazała istotnej interakcji $D \times W$.

W badaniach wykazano, że temperatura inkubacji ma istotny wpływ na emisję CO_2 (tab. 1). Średnio dla temperatur jest ona najwyższa po 1 dobie i mniejsza o około 2 krotnie po 2 dobie i około 2,6 krotnie po 3 dobie.

Tabela 1. Emisja CO_2 z obiektów badawczych, w zależności od czynników doświadczenia, przedstawiona w formie grup jednorodnych ($mg \cdot g^{-1}$ s.m. gleby \cdot doby $^{-1}$)

Table 1. Carbon dioxide emissions from research objects as dependent on experimental factors, presented in the form of homogenous groups ($mg \cdot g^{-1}$ d.m. soil day $^{-1}$)

Czynniki Factor		Czas inkubacji – Incubation time				Średnio po 3 dobach Mean after 3 days
		1 doba day 1	2 doba day 2	3 doba day 3		
Temperatura Temperature (°C)	10	0,041 a	0,019 a	0,012 a	0,024 a	
	20	0,090 b	0,045 b	0,032 b	0,056 b	
	30	0,145 c	0,078 c	0,062 c	0,095 c	
Dawka osadu ściekowego Sludge dose (%)	0	0,062 a	0,029 a	0,017 a	0,036 a	
	25	0,089 b	0,050 b	0,039 b	0,059 b	
	50	0,125 c	0,064 c	0,051 c	0,080 c	
Wilgotność odpowiadająca maksymalnej pojemności wodnej Moisture content corre- sponding to the maximum water-holding capacity (%)	40	0,079 a	0,045 a	0,031 b	0,054 a	
	60	0,089 a	0,047 a	0,038 a	0,055 a	
	80	0,108 b	0,051 a	0,038 a	0,066 b	

Różnice pomiędzy wartościami oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne na poziomie $p = 0,01$; wartości oznaczono literami: a, b, c dla porównania badanych zależności; wartości te należą do różnych grup jednorodnych (na podstawie testów post-hoc),

Values with differing superscript letters are significantly different at $p = 0.01$; to compare the analyzed relationships, values are noted by letters a, b, c; these values belong to different homogenous groups (based on post-hoc tests).

W wartościach średnich po 3 dobach, podwyższenie temperatury z 10 do 20°C odniesione do wartości średnich statystycznych pozostałych czynników (wilgotności i dawki osadu), zwiększyło emisję CO_2 o 133%, a z 20 do 30°C o dalsze 70%. Różnica zaś 20°C (z 10 do 30°C) zwiększyła aż o 296%.

Dawka osadu ściekowego, wniesionego do nadkładu kopalnianego, przy średniej statystycznej wartości temperatury i wilgotności, również zwiększyła emisję CO₂, chociaż jej przyrost był mniejszy niż w przypadku temperatury. Przyrost ten malał w kolejnych dobach, jednak wciąż był istotny. Wartości średnie po 3 dobach wykazały, że dawka osadu z udziałem 25% dodatku do nadkładu kopalnianego, zwiększyła emisję CO₂ o 64%, a z 50% – o 122%, w porównaniu do obiektu bez udziału osadu (NK), przy czym podwojenie dawki osadu zwiększyło emisję CO₂ tylko o 36%. Wilgotność gleby rozpatrywana w odniesieniu do wartości średnich statystycznych temperatury i dawki osadu odpowiadająca maksymalnej pojemności wodnej 40 i 60% nie wywierała istotnego wpływu na przyrost emisji CO₂. Istotna wartość wystąpiła dopiero po zwiększeniu wilgotności do 80%. Przyrost ten wyniósł około 20%.

Tabela 2. Współczynniki korelacji analizowanych czynników z emisją CO₂

Table 2. Coefficients of correlation between experimental factors and carbon dioxide emissions

Czynniki Factor	Emisja CO ₂ – CO ₂ emissions			Średnio po 3 dobach Mean after 3 days
	Po 1 dobie After the 1 st day	Po 2 dobie After the 2 nd day	Po 3 dobie After the 3 rd day	
Temperatura* Temperature	0,79	0,66	0,73	0,78
Dawka osadu ściekowego Sludge dose *	0,40	0,47	0,49	0,46
Wilgotność gleby Soil moisture content	-0,10	0,07	0,08	-0,01

* Zależności istotne na poziomie $p = 0,01$ – Correlations significant at $p = 0.01$.

W analizie korelacji wykazano bardzo wysoki wpływ temperatury na emisję CO₂, wyrażający się współczynnikiem $r = 0,78$ (tab. 2). Udział dawek osadu ściekowego wykazywał przeciętną zależność korelacyjną wynoszącą $r = 0,46$. Wszystkie omawiane korelacje są istotne statystycznie. W przypadku zaś wilgotności nadkładu kopalnianego wystąpiła nikła korelacja ujemna ($r = -0,01$) nieistotna statystycznie.

Zastosowany do użyźniania nadkładu kopalnianego osad ściekowy w ilości 25 i 50%, zwiększał istotnie zawartość węgla organicznego (C org.) W pierwszym roku badań zwiększenie to było około 3,5 oraz 4-krotne, w drugim zaś roku odpowiednio ponad 2,8 i 4-krotne, w stosunku do obiektu bez osadu.

Po dwóch latach badań zmniejszyła się zawartość C org. w NK -17, NK+25% o.ś. – 35 i NK + 50% o.ś. – 10%. Grzywnowicz i Strutyński (1999) podają, że straty C org. w glebie nienawożonej organicznie w ciągu dwóch lat mogą wynosić 18%.

W celu określenia wpływu emisji CO₂ na zmianę zawartości C org. oszacowano roczną emisję C-CO₂ z każdego obiektu, według metody Gołębiowskiej i Bendera (1983). Dane średniej emisji z trzech dób pomiarowych, uzyskane w warunkach 20°C i wszystkich poziomów uwilgotnienia, pomnożono przez 180 dni, liczone jako czas trwania okresu wegetacyjnego. Roczna emisja C-CO₂ z analizowanych obiektów wyniosła: z NK – 1,55; NK + 25% o.ś. – 3,68; NK + 50% o.ś. – 4,20 (mg·g⁻¹ s.m. gleby·180 dni⁻¹). Jednak w stosunku do ubytku C org. udział emisji C-CO₂ był największy w przypadku nadkładu kopalnianego (NK) i wyniósł 24%, mniejszy w obiektach: NK+25% o.ś. – 16% sm NK+50% o.ś. – 17%. Zatem udział emisji C-CO₂, w ubytku C org. był największy w nadkładzie kopalnianym nie użyznanym osadem ściekowym. Mniejszy w obiektach z osadem. Można sugerować, że osad ściekowy zmniejszał podatność C org. na utlenianie. Zbliżone wyniki badań uzyskali Baran i in. (1993). Lal i Bruce (1991) podają, że tylko poprzez intensyfikację produkcji rolniczej można w glebie zatrzymać 0,75-1,0 mld Mg C rocznie.

WNIOSKI

1. Emisja CO₂ do atmosfery różnicowana jest wieloma czynnikami środowiskowymi, w tym jakością gleb i ich użytkowaniem umożliwiającym akumulację materii organicznej.
2. Wzrost temperatury do 20 i 30°C zwiększył emisję CO₂ od 2,3 do 4 krotnie, dawki osadu ściekowego z udziałem 25 i 50% – odpowiednio od 1,6 do 2,2 i wzrost wilgotności do 80% – 1,2-krotnie.
3. Roczna emisja C-CO₂ z nadkładu kopalnianego była większa o 8%, w stosunku do obiektu z 25% dodatkiem osadu i o 7% – odpowiednio z 50% udziałem. Dodatek substancji organicznej obniżył wartość emisji.

PIŚMIENNICTWO

- Baran S., Flis-Bujak M., Turski R., Żukowska G., 1993. Przemiany substancji organicznej w glebie lekkiej użyznaniej osadem ściekowym. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 409, 59-64.
- Grzywnowicz I., Strutyński J., 1999. Zmiany niektórych właściwości chemicznych gleb po zastosowaniu osadów ściekowych do celów nawozowych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 467, 299-306.
- Gołębiowska J., Bender J., 1983. Czynniki warunkujące powstawanie poziomu próchnicznego w procesie rekultywacji zwałowiska. Archiwum Ochrony Środowiska, 1-2, 65-75.
- Houghton R.A., 2003. The contemporary carbon cycle. In: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), Treatise on Geochemistry, Vol. 8. In: Seklesinger, W. (Ed.), Biochemistry. Elsevier, Amsterdam, 473-513.

- Isermeyer H., 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Z Pflanzenernäh Bodenk*, 59, 26-38.
- Lal. R., Bruce J.P., 1999. The potential of word cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. W: *Carbon sequestration in soil: science, monitoring and beyond*. Praca zbiorowa pod red. N.J. Rosenberga, R.C. Izaurraldie'a i E.L. Malona. Columbus: Battelle Press, 99-118.
- Musselman R.C., Fox D.G., 1991. A review of the role of temperate forests in the global CO₂ balance. *J Air Waste Manage Assoc*, 41, 798-807.
- Radecki-Pawlik A., Boroń K., 1998. Pomiar respiracji glebowej metodą konduktometryczną w różnych warunkach uwilgotnienia. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 460, 361-372.
- Rogalski L., Chrzanowski P., Warmiński K., 2004. Emisja dwutlenku węgla z różnych utworów glebowych. *Przyrodnicze uwarunkowania zrównoważonego rozwoju – Suplement. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 33-40.
- Sapek A., 2000. Emisja gazów cieplarnianych z rolnictwa do atmosfery. *Zesz. Edukacyjne IMUZ Falenty*, 6, 9-21.

EFFECT OF DIFFERENT FACTORS IN THE PROCESS OF OVERBURDEN RECLAMATION ON CARBON DIOXIDE EMISSIONS TO THE ATMOSPHERE

Leszek Rogalski

Department of Air Protection and Environmental Toxicology, University of Warmia and Mazury
pl. Łódzki 2 10-726 Olsztyn
e-mail: leszek.rogalski@uwm.edu.pl

Abstract. Carbon dioxide emissions from overburden fertilised with sewage sludge in the reclamation process was studied. A greenhouse pot experiment was conducted in the third and fourth year of a six-year research cycle. Samples of overburden, taken at a gravel-pit in Żabi Róg, and samples of sewage sludge obtained from the Municipal Wastewater Treatment Plant in Olsztyn were combined at a ratio of 75 to 25% and 50 to 50%. A mixture of grasses was grown in pots. During the growing season, samples of overburden soil were brought to a moisture content of 40, 60 and 80% of the maximum water-holding capacity, put into tightly sealed jars with NaOH, placed in a phytotron and incubated at 10, 20 and 30°C. Carbon dioxide emissions were determined according to the modified ISERMEYER method. The results of the study were verified statistically. It was found that incubation temperature had the most significant effect on CO₂ emissions, which reached the highest level on the first day and decreased approximately 2- to 2.6-fold on the second and third day respectively. A rise in temperature to 20°C and 30°C increased carbon dioxide emissions by 133% and 296% respectively, relative to the initial temperature of 10°C. Sludge dose also contributed to a significant increase in CO₂ emissions, but this increase was around twofold lower, compared to that caused by temperature. Carbon dioxide emissions were affected by the moisture content of overburden to a much lower degree, and only a moisture content equal to 80% of the maximum water-holding capacity was found to exert a statistically significant effect. An analysis of correlation revealed a highly significant effect of temperature on CO₂ emissions ($r = 0.78$), a less significant effect of sludge dose ($r = 0.46$), and a slight negative effect of moisture content ($r = -0.01$).

Key words: CO₂ emission, environment, reclamation, temperature, moisture content