

STĘŻENIE CO₂ I CH₄ W PROFILU GLEBY MINERALNO-MURSZOWEJ NAWADNIANEJ OCZYSZCZONYMI ŚCIEKAMI MIEJSKIMI

Magdalena Nosalewicz

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego, PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: m.nosalewicz@ipan.lublin.pl

Streszczenie. W badaniach polowych określono zmiany stężenia CO₂ i CH₄ w profilu gleby mineralno-murszowej nawadnianej oczyszczonymi ściekami miejskimi wnoszonymi w dawkach 60 mm i 120 mm, w funkcji głębokości gleby i czasu nawodnień. Stwierdzono szybki wzrost stężenia CO₂ i CH₄ po wprowadzeniu ścieków z maksimum przypadającym odpowiednio na drugi dzień po nawodnieniu pojedynczą dawką ścieków, które wyniosły odpowiednio 5% i 347 mg·kg⁻¹. Zwiększenie dawki substancji pokarmowych, wnoszonych w przypadku podwójnej dawki ścieków, spowodowało dodatkowe zwiększenie stężeń CO₂ i CH₄ do maksymalnych wartości 5,1% i 3090 mg·kg⁻¹ odpowiednio w 2 i 3 dniu po nawodnieniu, które zmierzono na głębokościach 70 i 100 cm.

Słowa kluczowe: stężenie CO₂, stężenie CH₄, gleba organiczna, oczyszczone ścieki miejskie.

WSTĘP

Nawadnianie gleb jest jednym ze sposobów zmniejszenia nadmiaru biogenów i związków organicznych w ściekach miejskich po II stopniu oczyszczania (mechanicznym i biologicznym). Sztucznie nawadniane gleby organiczne przyczyniają się w znacznym stopniu do produkcji gazów szklarniowych, takich jak CO₂ i CH₄.

Dwutlenek węgla jest głównym, ale nie jedynym gazem przyczyniającym się do powstawania efektu cieplarnianego. CO₂ jest produkowany w wyniku respiracji różnych organizmów i konsumowany w wyniku asymilacji przez rośliny. Stężenie CO₂ od roku 1959 wzrosło z 316 ppm do 371 ppm w roku 2001 (Keeling i Whorf 2002). Eksploatacja kopalnych i gospodarka łądami, związana z wycinaniami lasów i spalaniem biomasy, są głównymi działaniami człowieka odpowiedzialnymi za emisję dwutlenku węgla.

Metan jest najważniejszym węglowodorem obecnym w atmosferze, jego średnie stężenie wynosi 1,7 ppm (Długokencky i in. 1994). Pomimo krótkiego

czasu przebywania w atmosferze (10 lat) zdolność metanu do pochłaniania promieniowania podczerwonego powoduje, że jest on 20-30 razy bardziej efektywny jako gaz szklarniowy, niż CO_2 (Lelieveld i in. 1993). Emisja CH_4 oszacowana z analiz powietrza uwięzionego w lodowcach wynosiła $18 \text{ Tg}\cdot\text{rok}^{-1}$ w XV wieku i $200 \text{ Tg}\cdot\text{rok}^{-1}$ na początku XVIII wieku. Najnowsze doniesienia wg IPCC (IPCC 2000) podają, iż emisja CH_4 wynosiła około 300 Tg w 2000 roku i nadal wzrasta, a jego emisja osiągnie wartość od 400 do 600 Tg w 2010 roku. Wzrost emisji metanu szacowany jest na około $8 \text{ ppb}\cdot\text{rok}^{-1}$ (Długokencky in. 1998). Naturalne źródła stanowią około 30% całkowitej emisji CH_4 . Tereny podmokłe są głównym naturalnym źródłem, z którego emisja wynosi około $100\text{-}200 \text{ Tg}\cdot\text{rok}^{-1}$. Inne naturalne źródła emisji metanu to: oceany i zbiorniki wody słodkiej, gleby leśne, termy i dzikie przeżuwacze, a także rozkład cząsteczek CH_4 -hydratów w związku z topnieniem lodowców oraz erupcje wulkaniczne (Schlesinger 1997). Około 70% emisji CH_4 jest pochodzenia ludzkiego. Związanymi z działalnością ludzką źródłami emisji metanu są: odpady fermentacji jelitowej zwierząt – domowe przeżuwacze ($65\text{-}100 \text{ Tg}\cdot\text{rok}^{-1}$), pola ryżowe ($25\text{-}150 \text{ Tg}\cdot\text{rok}^{-1}$), odpady ludzkie (wysypiska i oczyszczalnie ścieków) oraz spalanie biomasy. Dlatego też rolnictwo jest uważane za główne antropogeniczne źródło emisji CH_4 (Mer i Roger 2001).

Czynniki środowiska: takie jak temperatura, pH gleby czy stężenie substratu mają wpływ na metabolizm drobnoustrojów, a tym samym na zmianę tempa tworzenia się CO_2 i CH_4 w glebie (Gliński i Stępniewski 1985). Dodatkowymi czynnikami modyfikującymi produkcję CO_2 są oddychanie korzeniowe i rozkład substancji organicznej. Stężenie CH_4 na danej głębokości profilu glebowego jest także zależne od szybkości i dróg, jakimi uwalnia się z gleby do atmosfery i jest wypadkową jednoczesnych procesów produkcji i konsumpcji tego gazu w glebie (Moore i Dalva 1997).

Celem pracy było zbadanie zmian stężenia metanu i dwutlenku węgla w profilu gleby oraz dynamiki zmian tego stężenia po nawodnieniu gleby różnymi dawkami oczyszczonych ścieków miejskich.

MATERIAŁ I METODY

Obiekt doświadczalny

Badania prowadzono na glebie hydrogeniczej, mineralno-murszowej *Hist.-Mollic Gleysol* (Filipek 1998, Słowińska-Jurkiewicz i in. 2001, Ilnicki 2002), na obiekcie doświadczalnym o powierzchni 1 ha zlokalizowanym w dolinie rzeki Bystrzyca w okolicach oczyszczalni ścieków Hajdów koło Lublina. Pomiarów wykonywano podczas trzech cykli zalewowych w okresie letnim w 1999 roku. Do badań wybrano pole, porośnięte mieszkanką traw:

- Wyczyniec łąkowy (*Alopecurus pratensis*) – 30% (udział);
- Mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea*) – 20%;
- Kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis*) – 12%;
- Wiechlina łąkowa (*Poa pratensis*) – 10%;
- Wiechlina błotna (*Poa palustris*) – 10%;
- Kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea*) – 8%;
- Mietlica biaława (*Agrostis alba*) – 8%.

Pole podzielone było na trzy części eksperymentalne. Poletko A stanowiło poletko kontrolne, poletko B zalewano pojedynczą dawką (60 mm) oraz poletko C

Tabela 1. Wybrane właściwości badanej gleby (Brzezińska 2006)
Table 1. Selected soil properties (Brzezińska 2006)

Pole Field	Warstwa Layer (cm)	Substancja organiczna Organic matter (%)	pH CaCl ₂
A	0-10	17,1	7,84
	10-30	24,6	7,63
	30-50	38,8	7,66
	50-70	31,0	7,76
B	0-10	18,9	7,64
	10-30	26,0	7,64
	30-50	46,4	7,36
	50-70	26,0	7,15
C	0-10	20,9	7,81
	10-30	20,1	7,49
	30-50	21,9	7,86
	50-70	29,0	7,77

zalewano podwójną dawką (120 mm) ścieków komunalnych po II stopniu oczyszczenia (mechanicznym i biologicznym). Jednorazową pojedynczą dawkę ścieków, optymalną dla roślin (60 mm) wyznaczono w oparciu o wymagania roślin odnośnie podstawowych składników pokarmowych (N, P, K) i wody. Stężenie związków azotu i fosforu w oczyszczonych ściekach wynosiło średnio 4,1 g·m⁻³ N-NH₄, 29,3 g·m⁻³ N-NO₃ oraz 4,9 g·m⁻³ P-PO₄.

Rocznie przy dawce 600 mm do gleby dostarczano około 180 kg N·ha⁻¹ i 30 kg P·ha⁻¹, a przy dawce 1200 mm dwukrotnie wyższe ilości (Filipek 1998). Podstawową charakterystykę badanej gleby przedstawia tabela 1.

Metodyka badań

W profilu poletek doświadczalnych (A, B i C) na głębokościach 10, 30, 50, 70 i 100 cm umieszczono po trzy elektrody platynowe i urządzenia do gromadzenia gazów z wyprowadzeniem przewodów na powierzchnię gleby.

Metan i dwutlenek węgla analizowano w próbkach powietrza pobranego z poszczególnych głębokości w profilu glebowym. Próbki gazów pobierano za pomocą strzykawek przez nakłucie igłą membran zamykających rurki wyprowadzające i przenoszono je do odpowietrzonych pojemniczków (vakutainerów)

o pojemności 6 cm³. Analizy powietrza glebowego na zawartość CO₂ i CH₄, wykonano w laboratorium z wykorzystaniem chromatografów gazowych firmy Shimadzu GC-14A i GC-14B. Pomiary wykonywano bezpośrednio po dokonaniu nawodnienia (0 doba zalewu) i kontynuowano je przez okres 10 dni, kiedy to obserwowano najbardziej dynamiczne zmiany analizowanych parametrów. Zamieszczone wyniki badań przedstawiają uśrednione wartości wraz z błędem standardowym z okresu trzech cykli zalewowych przeprowadzonych w okresie letnim 1999 roku.

WYNIKI I DYSKUSJA

W profilu poletka kontrolnego stężenie CO₂ (rys. 1.) mieściło się w przedziale 0,3% do 0,9% dla głębokości 10-50 cm, natomiast w warstwach 70 i 100 cm nie przekraczało zakresu 1,3-2,7%. Podwyższone stężenie CO₂ na głębokościach 70-100 cm w profilu badanej gleby może być wynikiem gromadzenia się gazu powstałego w wyniku oddychania glebowego i ograniczonej dyfuzji gazu wynikającej z wyższej wilgotności.

Nawadnianie poletek oczyszczonymi ściekami spowodowało wzrost stężenia CO₂ w profilach badanych poletek niezależnie od dawki zastosowanych nawodnień. Stężenie CO₂ na poszczególnych głębokościach osiągnęło maksymalną wartość w drugim dniu zalewu. Dla pojedynczej i podwójnej dawki ścieków maksymalne stężenie CO₂ zmierzono na głębokości 70 cm, gdzie wyniosło odpowiednio 5,0% i 5,1%. Podwójna dawka oczyszczonych ścieków, spowodowała na ogół wzrost stężenia CO₂ na wszystkich głębokościach i we wszystkich terminach analiz. Różnice między średnimi stężeniami CO₂ na poszczególnych głębokościach w profilu gleby nawadnianej pojedynczą i podwójną dawką ścieków wzrastały od około 40% w pierwszym dniu zalewu do 250% w 10 dniu zalewu. Stężenie CO₂ w profilu badanej gleby po osiągnięciu maksimum spadało na ogół do 7 dnia, z wyjątkiem stężenia CO₂ na głębokości 100 cm na poletku zalewanym podwójną dawką ścieków, gdzie trwało to do 8 dnia.

W pierwszym dniu od wprowadzenia ścieków na pole średnie wartości stężenia CO₂ z profilu glebowego były 2 i 1,8 razy większe w stosunku do poletka kontrolnego, odpowiednio dla pojedynczej i podwójnej dawki ścieków. Średnie stężenie CO₂ ze wszystkich głębokości profilu glebowego było 2,7 i 3,2 razy większe od poletka kontrolnego, w dniu kiedy obserwowano maksimum, odpowiednio dla pojedynczej i podwójnej dawki ścieków. Natomiast w ostatnim dniu pomiarowym stężenie CO₂ było 2,2 i 3,5 razy większe odpowiednio dla pojedynczej i podwójnej dawki ścieków.

Stężenia CO₂ obiektu doświadczalnego w Hajdowie mieszczą się w zakresie stężeń wynoszących od 3,8% do 13% zmierzonych na nawożonych podmokłych

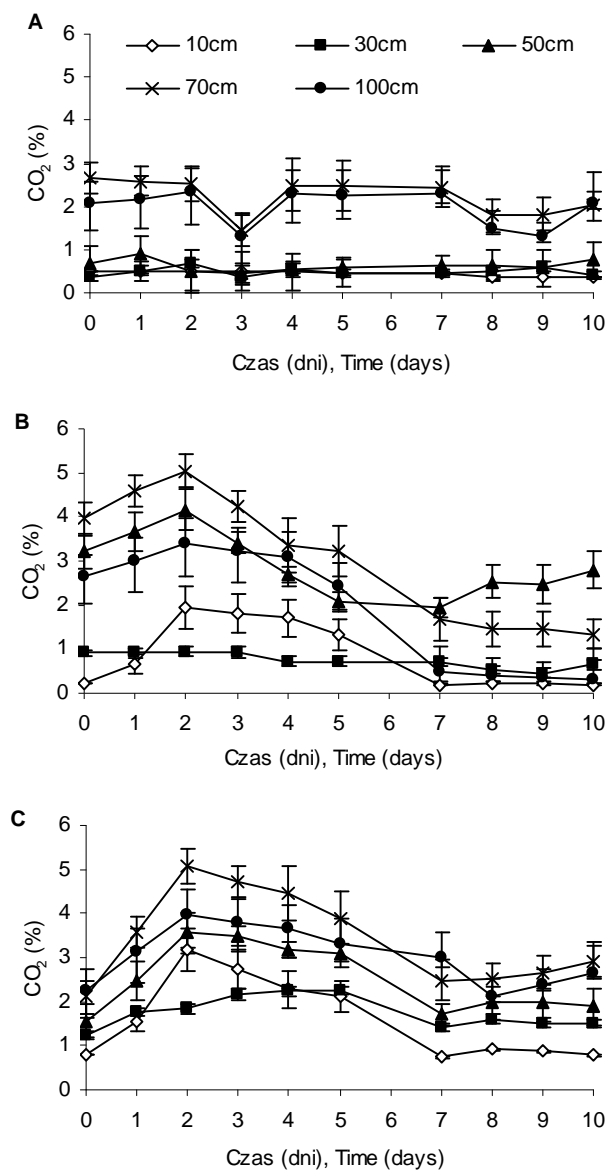
łakach, gdzie zróżnicowanie stężeń uzależnione było od poziomu wód gruntowych (Kamman i in. 2001). Z badań Yu i in. (2006) wynika, że stężenie CO₂ w glebach bagiennych osiągało nieco wyższe wartości, wynoszące 7,6 i 7,7% odpowiednio w okresie suchym i wilgotnym, a w profilu torfu 2,9 i 6,4% odpowiednio w okresie suchym i wilgotnym.

W powietrzu glebowym poletka kontrolnego stężenie CH₄ (rys. 2) wahało się na ogół w granicach 1-10 mg·kg⁻¹, jedynie na głębokości 100 cm dochodziło do 25 mg·kg⁻¹. W przypadku pola nawadnianego pojedynczą dawką ścieków wzrost stężenia CH₄, obserwowano od pierwszej doby po nawodnieniach na głębokościach 30-100 cm profilu glebowego. Najwyższe stężenie CH₄ wynosiło 347 mg·kg⁻¹ na głębokości 70 cm w drugiej dobie po wprowadzeniu pojedynczej dawki ścieków. Podwyższone stężenie CH₄ w głębi profilu glebowego, po zalaniu pojedynczą dawką ścieków, utrzymywało się przez okres około 7 dni po zalaniu, następnie powracało do wartości z poletek kontrolnych. Po wprowadzeniu podwójnej dawki ścieków stwierdzono wzrost stężenia CH₄ na wszystkich głębokościach profilu glebowego od pierwszej doby po zalewie. Maksymalne stężenie CH₄ osiągnęło wartość 3090 mg·kg⁻¹ w 3 dniu cyklu na głębokości 100 cm. W przypadku podwójnej dawki zalewowej podwyższone stężenie CH₄ utrzymywało się do 5 dnia na wszystkich głębokościach.

Średnie stężenie CH₄ ze wszystkich głębokości profilu glebowego w pierwszej dobie nawodnień było 2,4 i 3,2 razy większe niż na poletkach kontrolnych, odpowiednio dla pojedynczej i podwójnej dawki ścieków. W dniu, kiedy obserwowano maksimum, średnie stężenie CH₄ w glebie było 17 i 124 razy większe niż na poletkach kontrolnych, odpowiednio dla pojedynczej i podwójnej dawki ścieków. Natomiast dziesiątego dnia od nawodnienia średnie stężenie CH₄ w glebie powróciło do wartości z poletek kontrolnych w przypadku pojedynczej dawki i było 2 razy większe od poletek kontrolnych w profilu nawadnianym podwójną dawką ścieków.

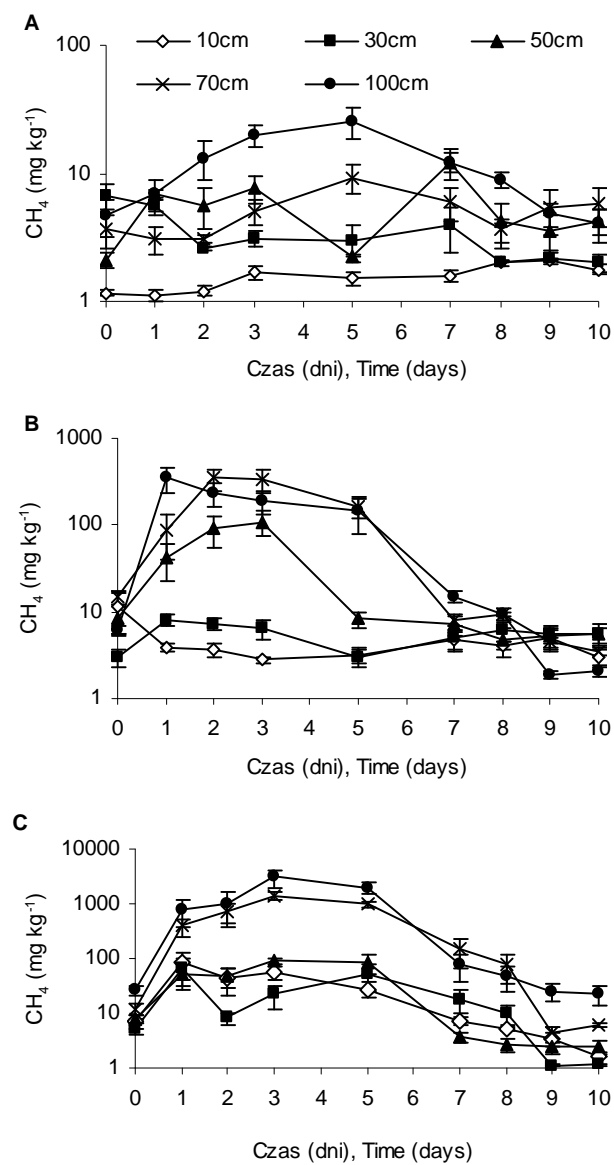
Badania Yu i in. (2006) wskazują, że stężenie CH₄ może zmieniać się w bardzo szerokim zakresie od 2,2 i 177 mg·kg⁻¹ w glebach torfowych, odpowiednio w okresie suchym i wilgotnym do 11900 i 31500 mg·kg⁻¹ w glebie bagiennych odpowiednio w okresie suchym i wilgotnym.

Zróżnicowanie stężeń CH₄ od 1,35 do 3,59 mg·kg⁻¹ zmierzone na głębokości 5 cm w obrębie pastwiska nawożonego 40 kg N·ha⁻¹·rok⁻¹ wynika z różnego poziomu wód gruntowych (Kammann i in. 2001). Relacje pomiędzy poziomem wód gruntowych, a stężeniem CH₄ potwierdzają także badania Van den Pol-van Dasselaaar i in. (1999).



Rys. 1. Stężenie CO₂ na poszczególnych głębokościach w profilu glebowym poletka porośniętego trawą. Gleba kontrolna (A), zalewana pojedynczą dawką oczyszczonych ścieków miejskich – 60 mm (B) oraz dawką podwójną (C)

Fig. 1. CO₂ concentrations at selected depths in profile of soil planted with grasses. Control (A), watered with one dose (60 mm) (B) and double dose (C) of municipal wastewater after purification



Rys. 2. Stężenie CH₄ na poszczególnych głębokościach w profilu glebowym poletka porośniętego trawą. Gleba kontrolna (A), zalewana pojedynczą dawką oczyszczonych ścieków miejskich – 60 mm (B) oraz dawką podwójną (C)

Fig. 2. CH₄ concentrations at selected depths in profile of soil planted with grasses. Control (A), watered with one dose (60 mm) (B) and double dose (C) of municipal wastewater after purification

W przypadku obiektu doświadczalnego w Hajdowie, stężenia CH_4 na głębokości 10 cm w glebie nawadnianej 4,5 razy większą dawką azotu (poletko B) wahały się w granicach od $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (10 dnia od nawodnienia) do $11,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (6 godzin po nawodnieniach). Yu i in. (2006) sugerują, że niskie stężenie CH_4 w górnych warstwach gleby (do 30 cm) może być spowodowane utlenianiem CH_4 , ze względu na wyższe stężenie O_2 , a także w wyniku wydostawania się metanu przez korzenie roślin.

Różnice między uzyskanymi wynikami i danymi literaturowymi po części wynikają z tego, że badania były prowadzone na torfach o różnej strukturze, który w zależności od pochodzenia i stopnia rozkładu może mieć np. zróżnicowaną zdolność do transportu gazu do powierzchni gleby lub jego absorpcji (Moore i Dalva 1997).

WNIOSKI

W związku z przeprowadzonymi badaniami na polu irygowanym oczyszczonymi ściekami sformułowano następujące wnioski:

1. W wyniku nawadniania ściekami stwierdzono podwyższone stężenie CO_2 i CH_4 w profilu badanej gleby.

2. Maksymalne stężenie CH_4 w powietrzu glebowym ($3090 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) obserwowano na głębokości 100 cm w profilu poletka nawadnianego podwójną dawką oczyszczonych ścieków.

3. W wyniku zastosowanych nawodnień stwierdzono wzrost stężenia CO_2 do 5% w powietrzu glebowym na głębokości 70 cm po zastosowaniu pojedynczej i podwójnej dawki ścieków.

4. Średnie stężenie metanu w profilu gleby obniżyło się do wartości z poletek kontrolnych w 10 dniu od nawodnienia poletka pojedynczą dawką ścieków, podczas gdy w poletku zalewanym podwójną dawką ścieków utrzymało się na dwukrotnie wyższym poziomie.

5. Nawadnianie pól oczyszczonymi ściekami w dawkach stosowanych w przeprowadzonych badaniach może wpływać na podwyższenie stężenia CO_2 i CH_4 w atmosferze.

PIŚMIENNICTWO

- Brzezińska M., 2006. Aktywność biologiczna oraz procesy jej towarzyszące w glebach organicznych nawadnianych oczyszczonymi ściekami. *Acta Agrophysica*, 131, 17.
- Długokencky E.J., Masarie K.A., Lang P.M., Tans P.P., 1998. Continuing decline in the growth rate of the atmospheric CH_4 burden. *Nature*, 393, 447-450.
- Długokencky E.J., Steele L.P., Lang P.M., Masarie K.A., 1994. The growth-rate and distribution of atmospheric methane. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 9, 17021-17043.

- Filipek T. (Red.), 1998. Opracowanie zintegrowanego systemu oczyszczania ścieków miejskich połączonego z nawadnianiem upraw przemysłowych. Raport końcowy PBZ-31-03, Lublin.
- Gliński J., Stępniewski W., 1985. Soil Aeration and its Role for Plants. CRC Boca Raton, Florida.
- Ilnicki P., 2002. Torfowiska i torf. Wyd. AR im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2000. Emissions Scenarios, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK. Available at: <http://www.ipcc.ch/pub/pub.htm>.
- Kammann C., Grünhage L., Jäger H.J., 2001. A new sampling technique to monitor concentration of CH₄, N₂O and CO₂ in air at well-defined depths in soils with varied water potential. *Eur. J. Soil Sci.*, 52, 297-303.
- Keeling , Whorf T.P., 2002. Atmospheric CO₂ concentration–Mauna Loa Observatory, Hawaii, 1958-2001. Available at: <http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/ndp001/maunaloa.co2>.
- Lelieveld J., Crutzen P.J., Brühl C., 1993. Climate effects of atmospheric methane. *Chemosphere*, 26 (1-4), 739-786.
- Mer J.L., Roger P., 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *Eur. J. soil Biol.*, 37, 25-50.
- Moore T.R., Dalva M., 1997. Methane and Carbon Dioxide exchange potentials of Peat soils in Aerobic and Anaerobic Laboratory Incubations. *Soil Biol. Biochem.*, 29, 8, 1157-1164.
- Schlesinger W.H., 1997. Biogeochemistry. Analysis of Global Change. Academic Press, San Diego, 231-238.
- Słowińska-Jurkiewicz A., Pranagal J., Zawiślak-Pranagal M., Bryk M., 2001. Zmiany zdolności filtracyjnych gleby obiektu doświadczalnego przeznaczonego do nawadniania wodami ściekowymi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 475, 61-71.
- Van den Pol-van Dasselaar A., van Beusichem M. L., Oenema O., 1999. Methane emissions from wet grasslands on peat soil in a nature preserve. *Biogeochemistry*, 44, 205-220.
- Yu K., Faulkner S.P., William H., Patric Jr., 2006. Redox potential characterization and soil greenhouse gas concentration across a hydrological gradient in a Gulf coast forest. *Chemosphere*, 62, 905-914.

CO₂ AND CH₄ CONCENTRATION IN MUCK-MINERAL SOIL PROFILE IRRIGATED WITH MUNICIPAL WASTEWATER

Magdalena Nosalewicz

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: m.nosalewicz@ipan.lublin.pl

Abstract. CO₂ and CH₄ concentrations were measured in mineral-muck soil profile irrigated with 60 and 120 mm doses of municipal wastewater after purification. Rapid increase of CO₂ and CH₄ concentrations was observed after the irrigation. Maximum concentrations of CO₂ and CH₄ occurred on the second day after irrigation with one dose of municipal wastewater and they reached 5% and 347 mg kg⁻¹, respectively. Further increase of CO₂ and CH₄ concentrations was observed after irrigation with increased amount of nutrients in double dose of wastewater with maximum equal to 5.1% and 3090 mg kg⁻¹ recorded on the second and third day from irrigation.

Key words: CO₂ concentration, CH₄ concentration, organic soil, purified wastewater