

EMISJA GAZÓW Z JEZIOR NATURALNYCH, ZBIORNIKÓW  
ANTROPOGENICZNYCH ORAZ Z TORFOWISK  
POLESIA LUBELSKIEGO\*

Z. Stępniewska<sup>1,2</sup>, U. Kotowska<sup>1</sup>, A. Ostrowska<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN  
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27, Polska

<sup>2</sup>Katedra Biochemii i Chemii Środowiska, Katolicki Uniwersytet Lubelski  
Al. Kraśnicka 102, 20-718 Lublin, Polska

**S t r e s z c z e n i e.** Porównanie emisji gazów ze zbiorników antropogennych oraz jezior i torfowisk, znajdujących się w środkowo-wschodniej części Polski było przedmiotem prezentowanej pracy. Badania emisji gazów szklarniowych (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>), przeprowadzone na terenie Polesia Lubelskiego obejmowały: zbiorniki antropogeniczne, powstałe pod wpływem górniczych odkształceń (Szczecin i Nadrybie), jeziora o różnym stopniu eutrofizacji (Piaseczno – mezotroficzne, Uściwierz – słabo eutroficzne, Rotcze – eutroficzne, Moszne – dystroficzne) oraz torfowiska znajdujące się w pobliżu jeziora Moszne, Orłowskie oraz Uściwierz. Przy użyciu pływających bądź ustawionych na stałowych podstawach przezroczystych kloszy, pobierano w odstępach czasowych (30', 60', 90') gazy do odpowietrzonych wakuteinerów, które poddawano analizie chromatograficznej, co pozwalało na jakościową i ilościową ocenę emitowanych gazów z powierzchni jezior i torfowisk. Wstępnie oszacowano emisję metanu z badanych zbiorników, jezior oraz pobliskich torfowisk w wybranych okresach wiosny, lata i jesieni 2001 roku. Oszacowana emisja metanu, która zawierała się w przedziale od ok. 0,4 Mg ha<sup>-1</sup>rok<sup>-1</sup> (jezioro Piaseczno) do 11,5 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (jezioro Moszne), natomiast na torfowiskach wynosiła 0,013-0,822 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>.

**S ł o w a k l u c z o w e:** emisja gazów, gazy szklarniowe, zbiorniki antropogeniczne, jeziora, torfowiska

## WSTĘP

Ocena emisji gazów szklarniowych związana ze zmianami sposobu zagospodarowania i użytkowania torfowisk oraz utworzonych nowych zbiorników w wyniku działalności antropogenicznej wymaga rozważenia warunków sprzy-

---

\*Praca została wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr 6 P04G02919

jających ich formowaniu się. Gleby torfowe są bardzo bogate w węgiel (do 90% s.m.) zawierają równocześnie od 15 do 25% całego azotu glebowego mimo, że stanowią zaledwie 3,3% powierzchni łądów. W ostatnim czasie duże powierzchnie torfów zostały przeobrażone w pola uprawne w związku ze wzrastającą populacją na tych terenach jak np. w Indonezji czy Finlandii. Działania takie dotknęły również terenów Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego, kiedy to osuszono te tereny, po wybudowaniu kanału Wieprz-Krzna [4,6].

Zawarte w dużych ilościach formy azotu amonowego i azotanów oraz łatwo dostępny węgiel organiczny zawarty w roztworze gleb torfowych może podlegać przyswojeniu poprzez heterotrofy zarówno w warunkach aerobowych jak i anaerobowych. W wyniku tych przemian postępuje proces tworzenia się gazów szklarniowych takich jak: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O. Skład gazów uwalnianych do atmosfery zależy nie tylko od rodzaju podłoża i mikroflory lecz warunkowany jest przez parametry fizyczne środowiska, takie jak: temperatura, wymiana gazowa oraz dostępność tlenu [1,3,8,13,27,28].

Niektóre z gazów nie są bezpośrednio ani pochodzenia naturalnego, ani antropogenicznego, ale powstają w atmosferze w wyniku reakcji, których substratami są np.: CO, NO<sub>x</sub>, a produktem np. ozon troposferyczny. Metan odgrywa tutaj dość swoistą rolę, z jednej strony sam jest gazem cieplarnianym, a z drugiej wykazuje aktywność pośrednią. Polega ona na tym, że w sprzyjających warunkach atmosferycznych uczestniczy on w reakcjach powodujących zmiany stężenia ozonu w troposferze i stratosferze, np.:

- fotochemiczne reakcje rozpadu metanu w troposferze, przy udziale tlenków azotu i węgla prowadzące do powstawania ozonu, natomiast w stratosferze reaguje on z atomami chloru, które inicjują reakcje rozpadu ozonu, a więc chroni tam powłokę ozonową;
- z rodnikami hydroksylowymi (ich redukcja do wody):



Metan jest w tych reakcjach niszczony, ale może być traktowany jako pośredni skutek absorpcji promieniowania przez wodę i dwutlenek węgla. Wolne hydroksyle reagują także z tlenkiem węgla:



W przypadku, gdy wzrasta stężenie i tlenku węgla i metanu, zaczynają one współzawodniczyć o wolne hydroksyle. Jeśli nie ma ich nowego źródła, to

czasy przebywania tych gazów w atmosferze wydłużają się, a wraz z nimi czas wywoływania efektu szklarniowego [29].

- utleniania, które prowadzą do powstania dwutlenku węgla.

Ze względu na bardzo szczupłe w tym zakresie piśmiennictwo, podjęto próbę porównania emisji metanu z jezior naturalnych i zbiorników antropogenicznych oraz z torfowisk, znajdujących się na terenie Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego [25].

### EMISJA GAZÓW SZKLARNIOWYCH

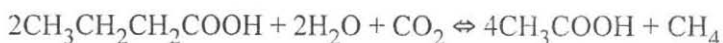
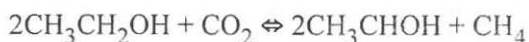
Na przestrzeni dziejów różnie kształtowała się emisja gazów szklarniowych, generalnie jednak można stwierdzić, że wzrastała wraz z nastawaniem ery przemysłowej, gdy pojawiały się coraz to nowe źródła antropogeniczne. Metan wśród nich ma aż ponad 15% udziału w efekcie cieplarnianym [5,21,27].

Przy rozkładzie materii organicznej w warunkach beztlenowych produktem końcowym oddychania anaerobowego, przeprowadzanego przez bakterie metanogeniczne, jest metan. Bakterie metanogeniczne należą do szczepu archebakterii, wśród których wyróżnia się 8 gatunków: *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanococcus*, *Methanomicrobium*, *Methanogenium*, *Methanospirillum*, *Methanosarcine*, *Methanotherix* [21].

Są to organizmy bezwzględnie beztlenowe, które giną już przy śladowych stężeniach tlenu. Warunkiem metanogenezy jest również nieobecność innych akceptorów elektronów, takich jak azotany czy siarczany [2,3].

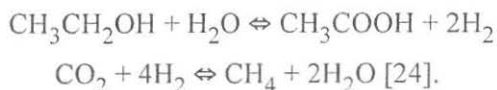
Metan powstaje jako produkt uboczny metabolizmu bakterii zwanych metanogenicznymi ze względu na syntezę tego gazu. Bakterie metanogenne przekształcają alkohole, kwasy organiczne, wodór i dwutlenek węgla w metan [27]. Do produkcji metanu średnio 14% bakterii wykorzystuje kwas octowy i 28% związki I – C takie jak metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), metylamina ( $\text{CH}_3)_3\text{N}$  i siarczek dwumetylu ( $\text{CH}_3)_2\text{S}$ . Metanogeny wykorzystują  $\text{H}_2$  jako źródło elektronów, lecz mogą także wykorzystywać formaldehyd ( $\text{HCOH}$ ) [20].

Przebieg reakcji syntezy  $\text{CH}_4$  może wyglądać w następujący sposób:



Przy produkcji metanu ujawniają się również zależności symbiotyczne: *Methanobacterium omelianski* jest mieszaną kulturą dwóch szczepów zależnych

od siebie, z których jeden przekształca alkohol w kwas octowy z uwolnieniem  $H_2$ , a drugi wykorzystuje odłączony wodór do wytworzenia metanu:



Bakterie metanowe wykazują optymalny wzrost przy pH zawartym w przedziale 6,1–8, a ekstremalne wartości występują w przedziale od pH = 5,2 do pH = 9,2. Aktywność bakterii metanogennych występuje w środowisku kwaśnym, nawet przy pH = 4, a obniża się przy odczynie wysoko zasadowym [22].

W przypadku temperatury znane są jej dwa zakresy optymalne. Pierwszy ma swoje optimum w zakresie 35 do 37°C (zakres mezofilowy), zaś optimum drugiego zakresu wynosi 55 do 60°C (zakres termofilowy) [23].

Metan jest wytwarzany w poziomach beztlenowych, a jego zużywanie zachodzi na granicy fazy tlenowej i beztlenowej lub na poziomie tlenowym gleby oraz w wodzie powyżej poziomu beztlenowego, gdzie wykorzystywany bywa przez mikroorganizmy. Bakterie wykorzystujące metan, wytworzony przez bakterie metanowe, jako źródło węgla i donor elektronów należą na ogół do tlenowców nazywanych metanotrofami. Bakterie metanotroficzne, do których zalicza się gatunki należące do *Methylococcus* i *Methylomonas* wykorzystują tlen i enzym monooksygenazę metanową do utlenienia metanu do metanolu i wody. Dalsze utlenianie prowadzi do powstania formaldehydu, którego część jest przyswajana, a część utleniana do dwutlenku węgla [23,31].

Przebieg metanogenezy wymaga niskiego Eh, które występuje na terenach podmokłych, stale zawodnionych, bez dostępu tlenu, a także w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy [3].

Stwierdzono, iż koncentracja metanu rośnie stopniowo w kierunku od bieguna południowego do północnego. Zawartość metanu w południowej części Ziemi wynosiła w 1984 roku 1,56 – 1,57 ppmv przy zwrotniku, do 1,60 ppmv w okolicy równika. Na półkuli północnej różnica między biegunem a równikiem przekroczyła 0,1 ppmv [9]. Może to być związane ze słabszym zaludnieniem i uprzemysłowieniem półkuli południowej. Poza tym emisja metanu z powierzchni Ziemi rozkłada się na każdej z półkul według szerokości geograficznej: najintensywniejsza jest w zawodnionych glebach tropiku dochodzi do 109 Tg/rok, przy czym w strefie subtropikalnej wynosi już tylko 38 Tg/rok, a na terenach suchej tundry 4 Tg/rok [7,9,14,15,30].

Poziom stężenia metanu w atmosferze uzależniony jest nie tylko od szerokości geograficznej, ale także demograficznie i gospodarczo. Wraz ze wzrostem liczby

ludności rośnie stężenie metanu w atmosferze, co związane jest z nasileniem działalności gospodarczej, głównie rolniczej [9,11].

W rozkładzie dobowym i sezonowym występują także wahania kumulacji metanu. Największa koncentracja występuje późną jesienią i zimą, a najmniejsza latem. Być może zmiany sezonowe związane są ze zmianą zawartości w atmosferze grup hydroksylowych oraz sezonową zmianą intensywności procesów biologicznych wytwarzających metan. W ciągu doby natomiast np. w miastach maksymalne stężenie obserwowane jest we wczesnych godzinach rannych i popołudniowych, co odpowiada natężeniu ruchu samochodowego [25].

### OBIEKT BADAŃ

Obiektem przedstawionych badań związanych z emisją metanu było Polesie Lubelskie położone w środkowowschodniej Polsce. Ograniczone jest ono od południowego wschodu przez Pagóry Chełmskie, natomiast od południowego zachodu przez Obniżenie Dorohuczcy i Równinę Łuszczowską. Od północy graniczy z Garbem Włodawskim, od wschodu zaś naturalną granicą jest dolina Bugu. Leży ono w strefie kontaktowej dwu wielkich fizyczno – geograficznych jednostek strukturalnych: platformowej Europy Wschodniej i fałdowej Europy Zachodniej. Zazębiają się więc tutaj niziny z wyżynami [10]. Stanowi ono największe w Polsce zgrupowanie jezior leżące poza zasięgiem ostatniego zlodowacenia. Na terenie tym znajduje się 68 jezior, które leżą na pograniczu pasa Wyżyn Środkowo-Polskich i Krainy Wielkich Dolin. Jeziora Polesia Lubelskiego są bardzo zróżnicowane pod względem pochodzenia, wielkości, głębokości i trofii. Bardzo często ich pomiar jest niemal niemożliwy, gdyż na dużych odcinkach lub nawet dookoła brzegu są trudno dostępne, otoczone równinami akumulacji jeziornej i torfowymi o znacznym uwilgotnieniu. Elementem środowiskowym odgrywającym pierwszoplanową rolę w kształtowaniu warunków przyrodniczych jest na tym terenie woda. Przyczyna gęstej sieci wodnej tkwi w płaskości terenu i płytkim zaleganiu słabo przepuszczalnych mułów i ilów. Obfitość wody jest tu odczuwalna prawie wszędzie, zwłaszcza po wiosennych roztopach.

Na tym terenie powstał 1 maja 1990 roku na podstawie rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 10 kwietnia 1990 roku Poleski Park Narodowy [12,22,24].

Jeziora Polesia są zbiornikami niedużymi. Powierzchnia największego z nich, Uściwierskiego, wynosi 284 ha, generalnie jednak wielkość jezior mieści się w przedziale od 10 do 50 ha. W sumie jeziora naturalne Pojezierza zajmują 3177 ha

[12]. Kształt większości z nich zbliżony jest do owalu. Do wyjątku należą jeziora wydłużone (tylko 8 ma długość ponad dwukrotnie większą od szerokości) lub złożone jakby z dwóch części.

Głębokości jezior Polesia Lubelskiego są zróżnicowane. Aż 29 z nich ma maksymalną głębokość mniejszą od 3 m a są też takie, w których głębokość nie osiąga 1 m. Są również jeziora o dużej głębokości, zaskakujące z uwagi na małe powierzchnie zbiornika. W jeziorach: Rogózno i Zagłębocze głębokość przekracza 25 m. Najgłębszym jeziorem jest Piaseczno, które przed wyraźnym obniżeniem wody miało 38,8 m głębokości. Oprócz niego tylko dwa zbiorniki (Krasne i Białe Włodawskie) przekraczają 30 m głębokości. Jeziora nawet głębokie nie mają dużej pojemności wodnej. Najwięcej wody gromadzi Białe koło Włodawy – około 15 mln m<sup>3</sup>, mniej Piaseczno – 10 mln m<sup>3</sup>, a Uściwierz 9 mln m<sup>3</sup>. Ogromna większość jezior nie mieści nawet 100 tys m<sup>3</sup> wody. W sumie pojemność wszystkich jezior szacuje się na 80 mln m<sup>3</sup>.

Jeziora Polesia zajmują strefę wododziałową, w której bardzo słabo rozwija się erozja rzek na skutek płaskości terenu. Dzięki temu na początku XIX wieku niewiele jezior łączyło się z siecią odpływu, w większości były bezodpływowe. Obecnie sytuacja uległa odwróceniu, niewiele jezior nie oddaje wody do rzek.

Jeziora Polesia reprezentują różne typy troficzne. Trofizm tych wód uległ zmianie w czasie. Jeszcze w latach pięćdziesiątych najgłębsze jeziora mogły być zaliczane do typu oligotroficznego. Obecnie są to jeziora mezotroficzne, płytsze z nich mają charakter eutroficznego a kilka bardzo małych wskazuje cechy dystrofizmu [16,17,28].

Badania przeprowadzono na naturalnych jeziorach: Moszne, Piaseczno, Uściwierz i Roteze oraz na antropogenicznych zbiornikach wodnych Szczecin i Nadrybie, powstałych w rejonie kopalni węgla kamiennego "Bogdanka". Badaniami objęto również gleby przybrzeżne jezior, a także sąsiadujące z jeziorami torfowiska: Uściwierz 1, Uściwierz 2, Uściwierz 3, Garbatówka 1, Garbatówka 2, Łukie, Orłowskie i Moszne [10].

W bliskiej odległości od Poleskiego Parku Narodowego znajduje się obszar górniczy "Bogdanka" na terenie którego wskutek osiadania terenu pokopalnianego utworzyły się dwa zbiorniki: Nadrybie i Szczecin. Zalewisko Nadrybie jest efektem tąpnięcia, które miało miejsce w 1995r, obecnie zajmuje powierzchnię 17,8 ha i posiada maksymalną głębokość 1,2 m. Druga niecka pozapadliskowa to zbiornik Szczecin o głębokości 1,8-2,5m i powierzchni ok. 100 ha.

Torfowiska z których pobrano próby różniły się genezą, miąższością pokładów torfu, wilgotnością, pokrywą roślinną i stopniem rozkładu. Grupa tor-

fowisk wraz z jeziorem Moszne otoczone są spleją i tworzą rezerwat "Jezioro Moszne". Obejmuje on powierzchnię 104,85 ha. Wokół splei rozciąga się pas torfowiska wysokiego, które w części zachodniej przechodzi w typowy bór bagienny. Punkt, z którego pobrane były próby gazowe (oznaczony jako "MOSZNE") usytuowany był w obrębie "płytszej", zewnętrznej strefy torfowiska (Las Bagno), gdzie miąższość serii organicznej wynosi 1,5-4 m. Dno pokładów stanowi cienka warstwa gytii zatorfionej, która przechodzi w torf trzciniowo-turzycowy i turzycowo-mszysty. Zmurszały w wierzchniej części pokład torfu osiąga miąższość do 2,5 m. Powierzchnię torfowiska, pociętą licznymi torfiąnkami, porasta las sosnowy z domieszką brzozy, osłsy czarnej i osiki.

Złoże położone jest wokół jeziora Łukie (pow. 150 ha), które jest zbiornikiem o płytkiej misie i mulistym dnie. Jest to jezioro dystroficzne, trudno dostępne, otoczone pasem szuwarów i podmokłymi łąkami z których wynurzają się niewielkie wzgórza piaszczyste. Na tym terenie wyróżniono obiekty torfów:

- Orłowskie – jest to torfowisko niskie położone w pobliżu miejscowości Orłów i Lejno. Poziom wody gruntowej jest tu dość niski, w zależności od pory roku i warunków hydrologicznych waha się w granicach 40-60 cm.
- Łukie – torfowisko przejściowe położone na wschód od jeziora, poziom wody gruntowej wysoki (5-10 cm), teren mocno uwilgotniony.

Następne wytypowane złoża znajdowało się na terenie rezerwatu "Uroczysko Uściwierskie", na terenie którego występuje obiekt wodno-torfowiskowy "Uściwierzek", położony w otoczeniu trzech jezior: Uściwierz, Biczce i Nadrybie. Na tym zabagnionym terenie występują dobre warunki torfotwórcze. Fragmenty tych torfowisk zmeliorowano, osuszono i przekształcono w łąki kośne. Kiedyś były to zbiorowiska trzęślicowe. Obecnie w wyniku przesuszenia i rozkładu torfu oraz postępującej eutrofizacji część obiektu zatraciła charakter zaroślowy przekształcając się w zbiorowiska lasów brzoźowych.

Melioracje i zagospodarowania pomelioracyjne spowodowały na części omawianych terenów spadek poziomu wód gruntowych o ok. 50 cm, miejscami nawet o 100 cm. Konsekwencją zaś tych przedsięwzięć było murszenie w wyniku którego wytworzyły się gleby torfowo-murszowe, mineralno-murszowe oraz gleby torfowe torfowisk niskich i przejściowych.

Na tym terenie pobrano próby w trzech punktach, różniących się poziomem wody, stopniem przekształcenia w konsekwencji osuszania, oraz składem roślinności:

- Uściwierz 1 – w pobliżu zarastającego jeziora Uściwierzek, gdzie poziom wody gruntowej występował na głębokości ok. 20 cm a roślinność była typowa dla terenów bagiennych (karłowate krzewy, rosiczki itp.).

- Uściwierz 2 – nieco dalej od jeziora, poziom wody gruntowej na głębokości 30-40 cm, gdzie występowały zbiorowiska zaroślowe z dużym udziałem brzozy.
- Uściwierz 3 – punkt położony najdalej od jeziora, teren częściowo zmeliorowany, użytkowany jako łąki i pastwiska, przeciętany licznymi ciekami wodnymi. Poziom wody gruntowej występował tu na głębokości 70-80 cm.

Następne złoża położone było na terenie projektowanego rezerwatu "Ciesacin". Torfowisko to położone pomiędzy jeziorami Uściwierz, Rotcze i Sumin w pobliżu wsi Garbatówka charakteryzowało się zbiorowiskami łąkowymi i zaroślowymi.

- Garbatówka 1, gdzie poziom wody gruntowej występował na głębokości ok. 40 cm, w otoczeniu zaś były liczne torfianki i roślinność zaroślowa.
- Garbatówka 2, gdzie występowało złożo silnie podmokłe o poziomie wody gruntowej 0-5 cm, miejscami ze stagnującą wodą, pokryte roślinnością trawiastą, wśród której stwierdzono gatunki posiadające tkankę powietrzną.

#### METODYKA BADAŃ

Badania emisji metanu ze zbiorników antropogenicznych (Szczecin i Nadrybie), jezior (Piaseczno, Uściwierz, Rotcze, Moszne) i torfowisk (Uściwierz 1, Uściwierz 2, Uściwierz 3, Garbatówka 1, Garbatówka 2, Łukie, Orłowskie i Moszne), przeprowadzono w warunkach polowych i laboratoryjnych. Pierwszy etap badań miał miejsce w terenie, gdzie pobrano gazy. Emisja metanu i przy tej okazji: CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> oznaczana była na podstawie prób pobieranych okresowo ze szczelnych plastikowych kloszy w kształcie walca (Fot. 1 i 2). Próby gazów emitowanych z powierzchni gleby pobierane były z kloszy stojących na powierzchni gleby, zaś próby gazów emitowanych z jezior, torfianek i cieków wodnych, znajdujących się w obrębie badanych torfowisk, pobierane były przy pomocy kloszy pływających.

Klosze stojące (własnej konstrukcji) były zainstalowane w miejscach pobierania na metalowej podstawie w kształcie pierścienia, umożliwiającej szczelne przywieranie ich do gleby tak, aby powietrze zamknięte pod kloszem nie miało kontaktu z powietrzem atmosferycznym (porównując skład gazów pobranych z klosza w określonych przedziałach czasowych: 30,60 i 90 min) można było oszacować emisję gazów np. CH<sub>4</sub> i CO<sub>2</sub> jak również ubytek O<sub>2</sub>.

Klosze pływające natomiast zostały zanurzone i wypełnione wodą, następnie odwrócone pod powierzchnią wody tak, aby nie znalazło się w nich powietrze at-





Fot. 1. Klosze stojące (przez zamontowaniem)

Fot. 1. The standing plastic-cover (before mounting)

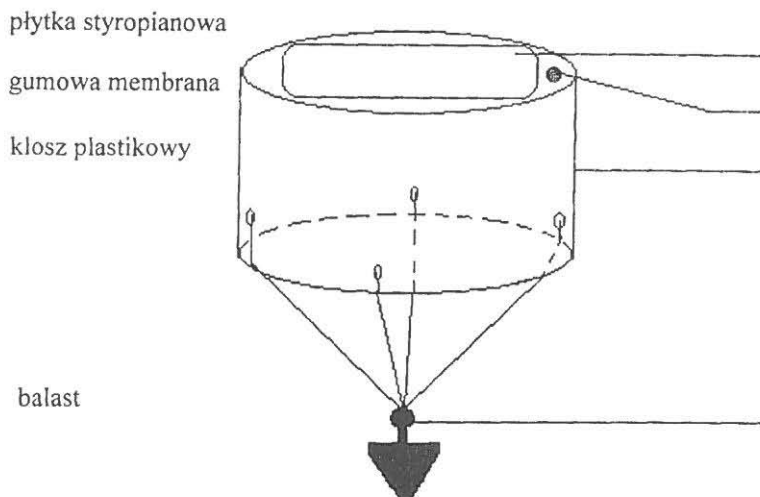


Fot. 2. Klosz pływający na torfiance

Fot. 2. Floating cover on the peat lake

mosferyczne. W ten sposób gazy uwolnione na drodze emisji ze zbiornika (z objętości znajdującej się bezpośrednio pod kloszem) gromadziły się wewnątrz klosza. W celu uniknięcia przechylenia się klosza, został on obciążony balastem umocowanym za pomocą linek, aby zaś nie zatonął, na wierzchniej stronie umieszczona została płytka ze styropianu.

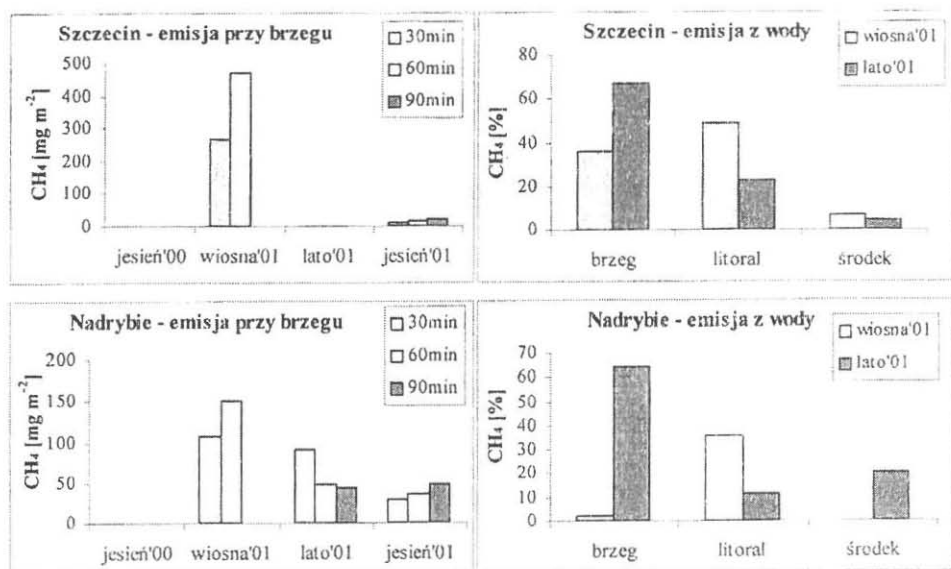
W górnej części kloszy zamontowane zostały gumowe membrany umożliwiające pobieranie próbek (Rys. 1). Gazy pobrane przy pomocy strzykawki przelewane były do szklanych fiolek o pojemności 13 ml. Fiolki zostały uprzednio szczelnie zamknięte gumowymi korkami z aluminiowymi nakładkami, odpowietrzone przy pomocy pompy próżniowej i zabezpieczone przed wniknięciem cząstek powietrza parafiną. Po napełnieniu pobranym z klosza gazem korki fiolek zostały zabezpieczone parafiną, aż do czasu wykonania analiz w laboratorium.



Rys. 1. Schemat klosza pływającego  
Fig. 1. The scheme of floating plastic-cover

## WYNIKI BADAŃ

Analizowany ślad gazów gromadzonych w ustawionym kloszu w pobliżu badanych zbiorników Szczecin i Nadrybie (Rys. 2) wskazuje na szczególnie intensywne zapotrzebowanie w tlen w strefie przybrzeżnej, gdzie stężenie  $O_2$  spadało do 5,89-15,84% w okresie letnim i wiosennym, powodując równocześnie wzmożone oddychanie w tej strefie, związane z gromadzeniem 1,21-8,04%  $CO_2$ .



Rys. 2. Emisja CH<sub>4</sub> z powierzchni gleby przy brzegu i z powierzchni wody (brzeg, litoral, środek) zbiorników antropogenicznych (Szczecin, Nadrybie), Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego  
 Fig. 2. CH<sub>4</sub> emission from the soil surface and anthropogenic lake surface (Szczecin, Nadrybie)

Wydzielanie metanu było porównywalne w obu zbiornikach i wynosiło po 30 min 35,5% w okresie wiosennym i nawet 67,24% w okresie letnim w strefie brzegowej zbiornika Szczecin oraz odpowiednio 32,2 i 64,26% w przypadku zbiornika Nadrybie.

Skład gazów oznaczanych w powietrzu pobranym z kloszy stojących w pobliżu analizowanych jezior naturalnych i pływających za poruszającą się łódką przedstawiony jest w Tabelach 1 i 2. Analizując poszczególne jeziora wyraźnie duże zapotrzebowanie w tlen można dostrzec w przypadku jeziora Moszne, gdzie już po upływie 30 min stężenie tlenu spada poniżej 1% (0,74%) w analizach wykonanych w miesiącu lipcu. Podobnie duże zapotrzebowanie na tym jeziorze występuje również w litoralu i środku jeziora, gdzie stężenie tlenu po 30 min spada do wartości 17,78 i 8,36%.

Następnym co do zapotrzebowania w tlen jest jezioro Uściwierz, gdzie w okresie letnim przy brzegu i na środku jeziora oznaczane stężenie tlenu spadało po 30 min. do 10,29 i 14,3 %.

W pozostałych badanych jeziorach (Rotcze i Piaseczno) zapotrzebowanie w tlen było zdecydowanie mniejsze, a stężenie tlenu po 30 min pozostawało na poziomie 19,29 i 20,69% nawet w okresie lata.

**T a b e l a 1.** Procentowy skład gazów pod kloszem umieszczonym na powierzchni jezior i zbiorników antropogenicznych Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego

**Table 1.** Gas composition (%) under chamber situated on the surface of chosen natural and antropogenic lakes of Łęczyńsko-Włodawskie Lakeland

Nazwa	CO <sub>2</sub>			O <sub>2</sub>			N <sub>2</sub>			CH <sub>4</sub>	
	wiosna	lato	jesień	wiosna	lato	jesień	wiosna	lato	jesień	wiosna	lato
Moszne											
kl. stojący	0,06	0,09	0,06	20,9	20,7	20,8	79,1	79,3	79,2		
brzeg	1,22	7,36		6,8	0,7		33,6	27,6		59,9	67,7
litoral	0,68		0,18	17,8		20,3	67,1		79,7	15,8	
środek		1,40			8,4			46,7			46,5
Rotcze											
kl. stojący	0,05	0,09	0,06	20,9	20,7	20,5	79,1	79,3	79,5		
brzeg	0,02			20,9			79,1			1,03	
litoral			0,13			19,9			79,0		
środek			0,06			20,4			79,5		
Uściwierz											
kl. stojący	0,05	0,13	0,05	20,9	20,4	20,5	79,1	79,6	79,5	36,25	
brzeg	1,00			10,3			55,2			5,02	
litoral		0,61		18,1			77,3			7,69	
środek		3,25		14,3			78,9				
Piaseczno											
kl. stojący	0,05	0,09	0,05	20,9	20,7	20,5	79,1	79,3	79,5		
brzeg	0,20			18,8			78,2			2,82	
litoral			0,22			19,8			80,2		
środek											
Szczecin											
kl. stojący	0,09	0,10	0,07	20,8	20,4	20,5	79,2	79,6	79,5		
brzeg	0,45	8,04		5,9	1,0		46,1	28,0		35,55	67,2
litoral	1,21	0,24		14,0	15,7		51,3	62,9		49,08	23,1
środek	0,30	4,02		21,0	4,1		73,3	93,1		6,61	4,8
Nadrybie											
kl. stojący	0,08	0,11	0,06	20,8	20,4	20,5	79,2	79,7	79,5		
brzeg	1,03	1,31		15,8	4,4		82,8	31,3		1,78	64,3
litoral	0,58	0,96		19,2	20,3		46,4	59,4		35,73	11,3
środek		0,15			28,1			60,7			20,4

**Tabela 2.** Procentowy skład gazów pod kloszem umieszczonym na wybranych torfowiskach Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego

**Table 2.** Gas composition (%) under chamber situated on peat soils of Łęczna-Włodawskie Lakeland

Nazwa	CO <sub>2</sub>		O <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	
	jesień	lato	jesień	lato	jesień	lato	jesień	lato
Uściwierz 1								
kl. stojący	0,11		20,28		79,72	79,1	0,0116	
kl. pływający	1,66		14,64		61,70		0,2386	
Uściwierz 2								
kl. stojący	0,09		20,44		79,56	79,1	0,0150	
kl. pływający								
Uściwierz 3								
kl. stojący	0,05	0,123	20,18	20,75	79,79	79,2	0,0031	0,0030
kl. pływający	5,86		1,12		36,00		0,5939	
Garbatówka 1								
kl. stojący	0,09	0,08	20,65	20,92	79,35	79,1	0,0022	0,0005
kl. pływający	0,64	2,01		15,01		85,0	0,1580	0,0004
Garbatówka 2								
kl. stojący	0,09	0,056		20,93		79,1		0,0012
kl. pływający			20,66		79,34		0,0022	
Łukie								
kl. stojący	0,08	0,103	20,75	20,9	79,4	79,1	0,0023	0,0029
kl. pływający								
Orłowskie								
kl. stojący	0,11	0,15	20,6	20,86	79,4	79,1	0,0018	0,0061
kl. pływający		3,41		19,36		80,6		2,6960
Moszne								
kl. stojący	0,01	0,11	20,43	20,88	79,55	79,1	0,0017	0,0002
kl. pływający		3,43		2,46		61,3		0,3977

Obecność dwutlenku węgla korespondowała z ubytkiem tlenu i była najwyższa w próbach pobranych z jeziora Moszne, gdzie przy brzegu w okresie lata po 30 min notowano wartości 7,36%. Analogicznie próby bazowe pobrane z jeziora Uściwierz wskazywały na maksymalnie 2,77% CO<sub>2</sub>, podczas gdy z Rotcze i Piaszeczno nie przekroczyły 1%.

Skład gazów na torfowiskach, gromadzących się pod ustawionym i uszczelnionym kloszem wskazuje na ubytek tlenu w przedziałach 30 minutowych nie

większy niż 1% objętości w ciągu 90 min trwającej obserwacji, stanowiąc nadal na ogół więcej niż 20% obj. O<sub>2</sub>. Wyraźny natomiast obbytek tlenu stwierdzano w kloszach pływających, gdzie stężenie tlenu po 30 min. stanowiło zaledwie 1-2%.

Dużą zmienność wykazywał dwutlenek węgla, którego stężenie w ciągu 30 min. w ustawionym na powierzchni kloszu dochodziło do 0,16% (torfy orłowskie), natomiast wyraźnie wzrastało w głąb, dochodząc do poziomu 1,69% na głębokości 50 cm w powietrzu pobranym z torfów w pobliżu jeziora Moszne. W kloszach natomiast pływających, umieszczonych na pobliskich torfiankach, stężenie CO<sub>2</sub> po 30 min dochodziło do 3,43 lub 5,86% w okolicy jeziora Moszne i torfowiska Uściwierz 3.

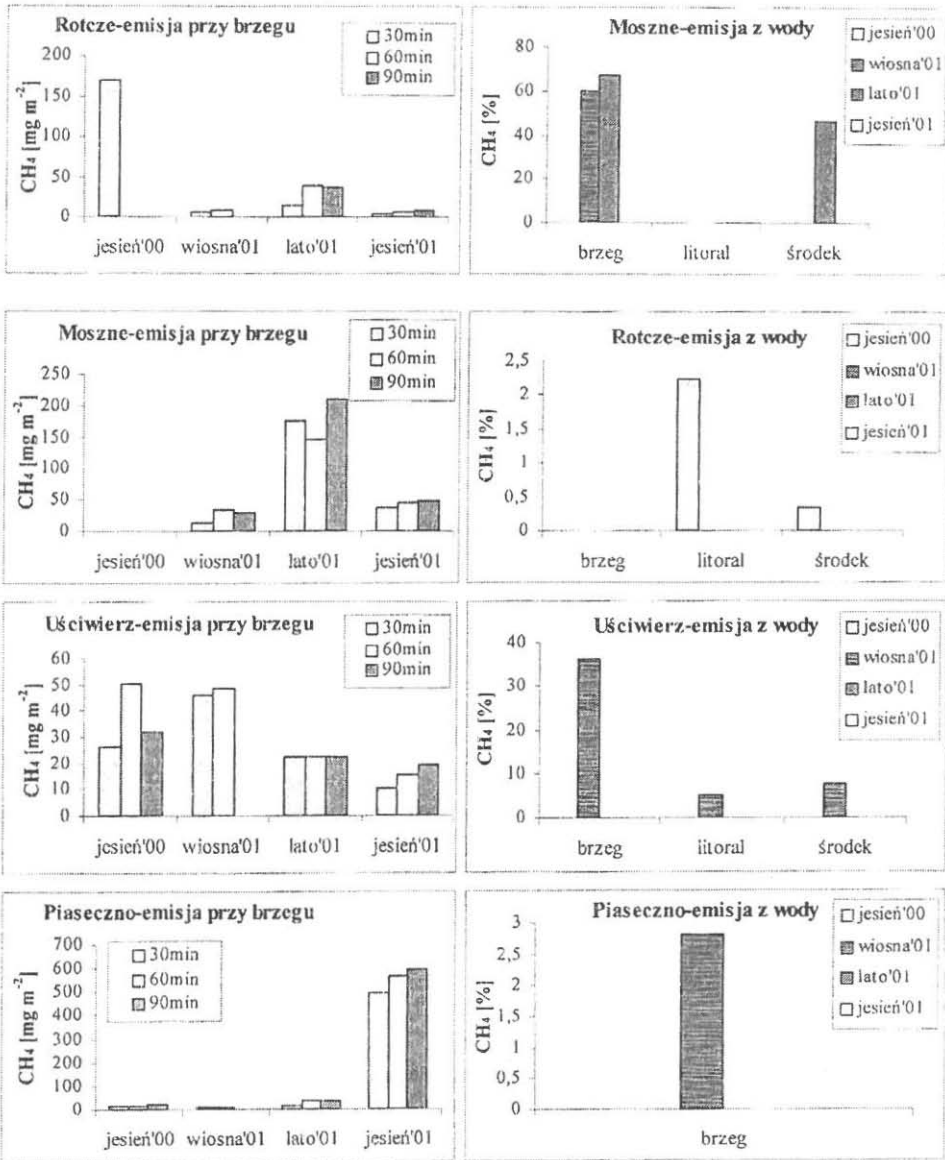
Metan był najbardziej dynamicznym składnikiem wydzielanych z jezior i torfowisk gazów (Rys. 3 i 4). Jego obecność była notowana zarówno w okresie jesieni jak i lata, stanowiąc w atmosferze gromadzącej się pod pływającym kloszem nawet 59,39% (torfowisko Uściwierz 3), 39,77% (jezioro Moszne), 23,86% (torfowisko Uściwierz 1).

Emisja metanu z powierzchni torfowisk pozostawała w porównaniu z wyżej wymienionymi wartościami na dużo niższym, ale znaczącym poziomie stanowiąc 0,0002-0,0116%. Wyznaczone rozmiary emisji metanu w okresie letnim z torfowisk były porównywalne z oznaczanymi na zalanych polach ryżowych. Wielkości emisji jednakże z jezior i zbiorników antropogenicznych wielokrotnie przewyższały te wartości [13,18,19,26].

#### PODSUMOWANIE

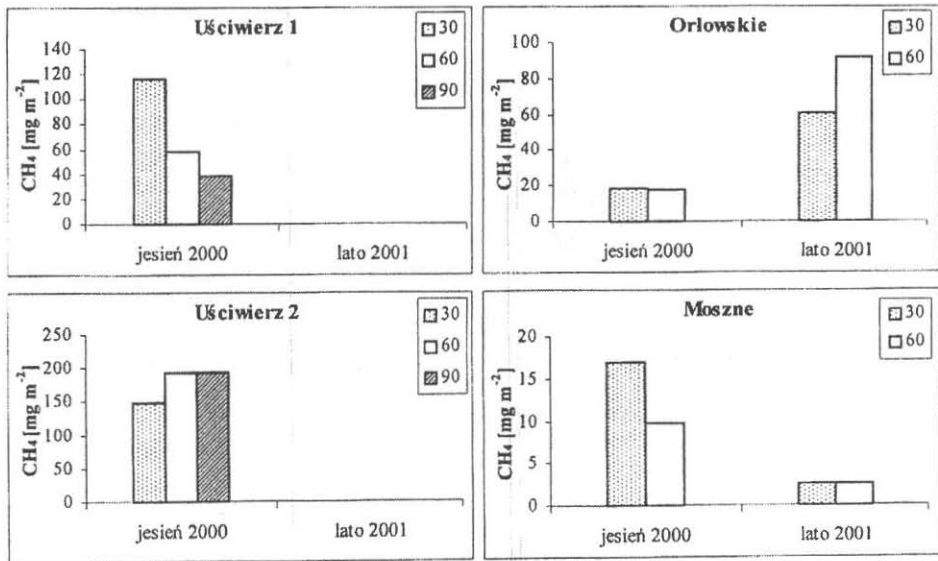
Nowoutworzone zbiorniki Szczecin i Nadrybie charakteryzuje wysoka emisja metanu, kształtująca się w przypadku zbiornika Szczecin na poziomie od 91,07 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> latem na brzegu do 0,065 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> jesienią na litoralu, a w przypadku zbiornika Nadrybie od 64,37 t/ha/rok wiosną na litoralu do 0,0807 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> jesienią na środku zbiornika.

Emisja z powierzchni zbiorników Nadrybie i Szczecin była wiosną największa na litoralu (odpowiednio 15,62 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> i 64,37 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>), latem przeważała w strefie brzegowej (odpowiednio 91,07 z Nadrybia i 29,4 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> ze Szczecina). Jesienią była znacząco malejąca do bardzo niewielkich wartości (0,065 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> na litoralu Nadrybia i 0,08 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> ze środkowej strefy Szczecina). Emisja z gleby na brzegu zbiorników była najbardziej intensywna wiosną (wynosiła odpowiednio 19,54 i 7,79 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> przy Szczecinie i



Rys. 3. Emisja  $\text{CH}_4$  z powierzchni gleby przy brzegu i z powierzchni wody (brzeg, litoral, środek) jezior (Moszne, Rotcze, Uściwierz, Piaseczno) Polesia Lubelskiego

Fig. 3.  $\text{CH}_4$  emission from the soil surface and natural lake surface (Moszne, Rotcze, Uściwierz, Piaseczno)



**Rys. 4.** Emisja CH<sub>4</sub> z wybranych torfowisk (Uściwierz 1, Uściwierz 2, Orłowskie, Moszne), Polesia Lubelskiego

**Fig. 4.** CH<sub>4</sub> emission from the peat soil (Uściwierz 1, Uściwierz 2, Orłowskie, Moszne)

Nadrybiu). Wykazywała tendencję zdecydowanie malejącą jesienią (odpowiednio do 0,64 i 2,14 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> wokół zbiornika Szczecin i Nadrybie).

Zakres emisji metanu na jeziorach: Moszne i Piaseczno układał się odpowiednio w przedziałach od 0,0033 do 39,921 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> i od 0,00005 do 1,233 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>.

Jezioro Moszne charakteryzowało się wyższą emisją metanu, w porównaniu z jeziorem Piaseczno, niezależnie od pory roku, miejsca oraz czasu po którym zostały pobrane próby. Zarówno w przypadku Moszne jak i Piaseczno emisja metanu z powierzchni zbiorników przeważała emisję z gleby przy brzegu jezior.

Najwyższe wartości emisji metanu z gleb przy brzegu jezior stwierdzono w okresie letnim (12,812 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> – Moszne i 1,036 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> – Piaseczno), niższe wiosną (odpowiednio 2,817 i 0,214 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>), najniższe zaś wielkości emisji wystąpiły jesienią. Wykazano ponadto wzrost stężenia metanu w próbach pobranych z kloszy stojących w pobliżu brzegu jezior w czasie.

Zakres emisji metanu z powierzchni badanych torfowisk układał się w przedziale od 0,013 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (torfowisko Moszne) do 0,822 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (torfowisko Uściwierz 2).



Emisja metanu z powierzchni torfowisk zależała od poziomu wody gruntowej, przy wysokim jej poziomie płytsza była strefa aerobowa i mniejsza miąższość strefy metanotrofii. Stężenie metanu w próbach pobranych z kloszy było na ogół najwyższe po 30 minutach i malało w czasie.

### WNIOSKI

Badania przeprowadzone nad emisją metanu ze zbiorników antropogenicznych na terenie Kopalni Węgla Kamiennego "Bogdanka" – Szczecin i Nadrybie oraz wybranych jezior i torfowisk Polesia Lubelskiego wykazały, że:

1. Zachodząca w okresie wegetacji emisja metanu zależy od charakteru badanych jezior: Moszne i Piaseczno i wynosi odpowiednio 11,54 i 0,41 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. Wartości te są porównywalne (Piaseczno) lub wielokrotnie przewyższają (Moszne) emisję z pól ryżowych, wynoszącą według danych literaturowych ok. 0,65 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>.

2. Zbiorniki antropogeniczne, zasobne w świeżą materię organiczną, Szczecin (o powierzchni ok. 100 ha) i Nadrybie (o powierzchni 17,8 ha) emitują do atmosfery w ciągu sezonu wegetacyjnego odpowiednio 1545,4 i 253,7 t. Świadczy to o występowaniu warunków anaerobowych korzystnych do procesu metanogenezy w głębi zbiorników.

3. Torfowiska ze względu na niezwykłą zasobność w materię organiczną, są niewyczerpywalnym źródłem metanu, jakkolwiek emisja wyliczona na jednostkę powierzchni nie przewyższała 1 Mg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> i z pewnością była spowodowana utlenianiem metanu w powierzchniowej warstwie.

### PIŚMIENNICTWO

1. **Achtnich C., Bac F., Conrad R.:** Competition for electron donors among nitrate reducers, ferric iron reducers, sulfate reducers, and methanogens in anoxic paddy soil. *Biology and Fertility of Soils*, 19, 65-72, 1995.
2. **Alloway B.J., Ayres D.C.:** Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 1999.
3. **Augustin J., Merbach W., Rogasik J.:** Factors influencing nitrous oxide and methane emissions from minerotrophic fens in northeast Germany, *B. Fert. Soils*, 28, 1-4, 1998.
4. **Borchulski Z.:** Oddziaływanie wydobywania węgla z Kopalni Bogdanka na stosunki wodne Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego. W: *Funkcjonowanie systemów wodno – błotnych w obszarach chronionych Polesia* (Red.: S. Radwan). Wyd. UMCS, Lublin, 1996.
5. **Buraczewski G., Bartoszek B.:** Biogaz wytwarzanie i wykorzystanie, PWN, Warszawa, 1990.
6. **Chmielewski T., Harasimiuk M., Radwan S.:** Renaturalizacja ekosystemów wodno-torfowiskowych na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim. Wojewoda Lubelski, Lubelska Fundacja Ochrony Środowiska Naturalnego, UMCS, Lublin, 1996.

7. Climate change, Information Unit of Climate Change – IUCC, UNEP, WMO, Cambridge University Press, 1994.
8. Dacey J.W.H., Drake B.G., Klug M.J.: Stimulation of methane emission by carbon dioxide enrichment of marsh vegetation. *Nature*, 370, 47-49, 1994.
9. Drugi raport IPCC oceniający zmiany klimatu, 1995, Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC), Warszawa, 1997.
10. Harasimiuk M., Michalczyk Z., Turczyński M.: Jeziora Łęczyńsko-Włodawskie – monografia przyrodnicza, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Lublin, 1998.
11. Kammen D.M., Marino B.D.: On the origin and magnitude of pre-industrial antropogenic CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions. *Chemosphere*, 26, 1-4, 69-86, 1993.
12. Karbowski Z.: Pięć lat istnienia Poleskiego Parku Narodowego. *Parki Narodowe*, 2/95, 9-10, Wyd. Parków Narodowych.
13. Kirchgessner D.A., Piccot S.D., Chadha A.: Estimation of methane emission from a surface coal mine using open-path fir spectroscopy and modeling techniques, *Chemosphere*, 26, 1-4, 23-44, 1993.
14. Kozłowski S. (red.): Ochrona litosfery. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 1998.
15. Kożuchowski K., Przybylak R.: Efekt cieplarniany. Wiedza Powszechna, Warszawa, 1995.
16. Lampert W., Sommer U.: Ekologia wód śródlądowych. Wyd. Nauk PWN, Warszawa, 1996.
17. Lossow K., Gawrońska H.: Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Ochrony Środowiska, Zakład Ochrony i Rekultywacji Wód, Olsztyn, 2000.
18. Martikainen P.J., Nykanen H., Alm J.: Changes in the fluxes of greenhouse gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O due to forest drainage of mine sites of different trophy. *Plant and Soil*, 168-169, 571-577, 1995.
19. Murase J., Kimura M.: Methane production and its fate in paddy fields. VII. Sources of microorganisms and substrates responsible for anaerobic methane oxidation in subsoil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 40(1), 56-61, 1994.
20. Paul Eldor A., Clark Francis E.: Mikrobiologia i biochemia gleb. Wyd. UMCS, Lublin, 2000.
21. Pasztelan M., Stępniewska Z.: Wpływ aktywnych gazów śladowych na klimat. Grozi nam globalne ocieplenie. *Ekoprofit*, 7/8, 23, 1998.
22. Piasecki D.: Poleski Park Narodowy i jego rola w systemie ochrony Polesia. Mat. konf. nauk. na temat możliwości utworzenia Międzynarodowego Rezerwatu Biosfery Polesie Włodawa-Hola, 12-14 czerwca 1998, Ekologiczny Klub UNESCO, Pracownia na Rzecz Bioróżnorodności, 1998.
23. Radwan S., Chmielewski T.: Poleski Park Narodowy jako obiekt interdyscyplinarnych badań naukowych. *Parki Narodowe*, 2/95, 10-12, 1995.
24. Radwan S. (red.): Funkcjonowanie ekosystemów wodnych w obszarach chronionych Polesia. AR PPN w Lublinie, Polskie Towarzystwo Hydrologiczne, Wyd. UMCS, Lublin, 1996.
25. Raport IEA Greenhouse Gas Programme, Greenhouse Issues nr 41/1999.
26. Sass R. L., Fischer F.M., Lewis S.T., Jund N.F., Turner F.T.: Methane emissions from rice fields. Effect of soil properties. *Global Biogeochemical cycles*, 135-140, 1994.
27. Schipper I.A., Reddy K.R.: Methane production and emission from wetlands, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58, July-August, 1994.
28. Turczyński M., Kulesza P.: Przeobrażenia hydrosfery w zlewni jezior Nadrybie i Uściwierzek. Instytut Nauk o Ziemi UMCS, Lublin.
29. Valentine D.L., Reeceburgh W.S.: New perspectives on anaerobic methane oxidation. *Environ. Microbiol.*, 2(5), 477-484, 2000.

30. <http://www.epa.gov/globalwarming/climate/index.html>, Climate, EPA Global Warming Site and Global Climate Change of Freshwater Ecosystems. Springer Verlag, New York, 1991.
31. <http://www-micro.msb.le.ac.uk/109/Environmental.html>, Environ. Microbiol., Biol. Anaerobic Microorganisms. Wiley, New York, 1988.

GAS EMISSION FROM NATURAL AND ANTHROPOGENIC LAKES  
OF THE ŁĘCZYŃSKO-WŁODAWSKIE LAKELAND AND FROM PEATLANDS  
OF THE POLESKI NATIONAL PARK

*Z. Stepniewska*<sup>1,2</sup>, *U. Kotowska*<sup>1</sup>, *A. Ostrowska*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Agrophysics PAN, Doświadczalna 4 str., 20-290 Lublin 27, Poland

<sup>2</sup>Department of Biochemistry and Environmental Chemistry, Catholic University  
Kraśnicka 102 str., 20-718 Lublin, Poland

**A b s t r a c t.** Comparison of gas emission from antropogenic lakes as well natural lakes and peatlands in mead east part of Poland were studied in this paper. Preliminary investigations of the emission of greenhouse gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and CO<sub>2</sub>) performed in the area of Poleski National Park and in its wrapper comprised such objects as: anthropogenic lakes formed as a result of deformation of the land surface due to mine activity (Szczecin and Nadrybie), natural lakes of different eutrofication degree (Uściwierz weekly eutrophic, Piaseczno mezotrophic, Roztocze – eutrophic, and Moszne dystrophic) as well as peatlands surrounding the lakes Moszne, Orłowskie and Uściwierz.

With the use of the technique of closed transparent chambers which were floating on the water surface or placed on the frames pressed into the soil, the air from the chambers was sampled at some time intervals (30', 60', 90') to vacutainers, analyzed by gas chromatography, and the flux of the gases was calculated. Qualitative and quantitative avaluation of the emission of the greenhouse gases was performed in spring, summer and autumn 2001. Evaluated methane emission reached in the range from 0.4 Mg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> in the lake of Piaseczno to 11.5 Mg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> in the lake of Moszne and from peatlands of the Poleski National Park was in the range 0.013-0.822 Mg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>.

**K e y w o r d s:** emission, greenhouse gases, anthropogenic, reservoirs, lakes, peatbogs