

## STUDIA I RAPORTY IUNG - PIB

ZESZYT 4

2007

**Andrzej S. Zaliwski***Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH PRZEZ ROLNICTWO\*

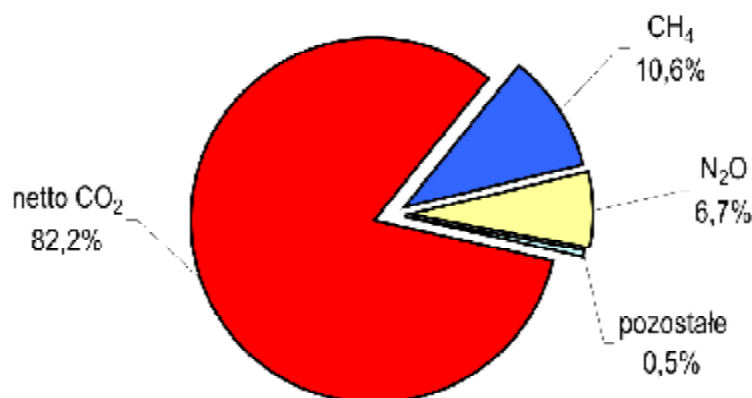
**Wstęp**

Efekt cieplarniany, odkryty przez matematyka francuskiego Józefa Fouriera w 1824 roku (18), jest to proces, w którym atmosfera zawierająca gazy cieplarniane ogrzewa planetę, pochłaniając promieniowanie podczerwone pochodzące z powierzchni Ziemi i wypromieniowując je ponownie, w cyklu powtarzającym się wielokrotnie. Zjawisko to powoduje wzrost temperatury przy powierzchni o około 33°C, umożliwiając rozwój życia na Ziemi, bowiem bez udziału efektu cieplarnianego temperatura jej powierzchni wynosiłaby -19°C (11, 12, 15, 17). Atmosfera ziemską składa się z mieszaniny gazów tworzących powłokę ograniczoną od dołu powierzchnią Ziemi, a od góry przestrzenią kosmiczną. W skład mieszaniny w dolnych warstwach atmosfery wchodzi składniki pierwszorzędne (azot, tlen, argon i dwutlenek węgla), składniki drugorzędne (m.in. gazy szlachetne, metan i wodór), domieszki (m.in. para wodna i amoniak), śladowe ilości licznych gazów i substancji pochodzenia naturalnego (pyły kosmiczne i ziemskie, aerozole morskie, gazy wulkaniczne, mikroorganizmy, części roślinne i zwierzęce) i składniki sztuczne (wytwarzane przez przemysł i rolnictwo); (17). Składniki sztuczne oraz składniki naturalne występujące w ilościach przekraczających wartości graniczne przyjęto nazywać zanieczyszczeniami. Niektóre z nich wywołują zmiany w efekcie cieplarnianym. Gazy cieplarniane odpowiedzialne są za efekt cieplarniany w niejednakowym stopniu (tab. 1).

Z danych wynika, że dominujący jest wpływ zawartości dwutlenku węgla ze względu na stosunkowo duże stężenie (jeśli pominiemy wpływ pary wodnej, która jest naturalnym składnikiem atmosfery). Metan i podtlenek azotu reprezentują jednak znacznie większy molekularny potencjał cieplarniany, dlatego mimo niewielkiej zawartości ich udział w efekcie cieplarnianym jest dość znaczący i łącznie wynosi ok. 6,6% (16). Można się spodziewać, że te dwa gazy będą wywierały coraz większy wpływ na zmiany temperatury, ponieważ ich stężenie wzrasta szybko i utrzymują się długo w atmosferze (metan do 12 lat, podtlenek azotu do 120 lat); (5).

---

\* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 w wieloletnim programie IUNG - PIB



Rys. 1. Udział poszczególnych zanieczyszczeń w emisji łącznej ze wszystkich źródeł w Polsce w 2003 roku

Źródło: Olendrzyński i in., 2005 (14).

W Polsce najistotniejszymi dla efektu cieplarnianego zanieczyszczeniami antropogenicznymi są dwutlenek węgla, metan i podtlenek azotu (rys. 1). Pozostałe zanieczyszczenia (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> itd.) mają mniejsze znaczenie. Głównymi zanieczyszczeniami pochodzącymi z rolnictwa są pyły glebowe, dymy oraz różne związki gazowe, w tym związki o przykrym zapachu, tzw. substancje odorowe (10). Biorąc pod uwagę wpływ na efekt cieplarniany najistotniejszymi zanieczyszczeniami emitowanymi ze źródeł rolniczych są metan, podtlenek azotu i dwutlenek węgla (tab. 1). Przyjmuje się zerowy bilans emisji dwutlenku węgla przez rolnictwo, ponieważ zielone rośliny uprawne pochłaniają w następnym sezonie wegetacyjnym całą ilość wyemitowanego CO<sub>2</sub> (6).

Rolnictwo jest jednak największym producentem podtlenku azotu; dla Polski emisja N<sub>2</sub>O przez rolnictwo wynosiła w 2003 roku 68,6% (rys. 2). Głównymi źródłami podtlenku azotu w rolnictwie są procesy nityfikacji i denityfikacji zachodzące w glebie. Udział gleb w produkcji podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O) ze źródeł rolniczych wynosi ponad 64%, a nieco ponad 35% pochodzi z odchodów zwierzęcych. Trzecim źródłem emisji N<sub>2</sub>O w rolnictwie polskim, choć znacznie mniej istotnym (ok. 0,15%), jest spalanie resztek poźniwnych. Ponadto spalanie resztek poźniwnych jest źródłem dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), metanu (CH<sub>4</sub>), tlenku węgla (CO) i tlenków azotu (NO<sub>x</sub>).

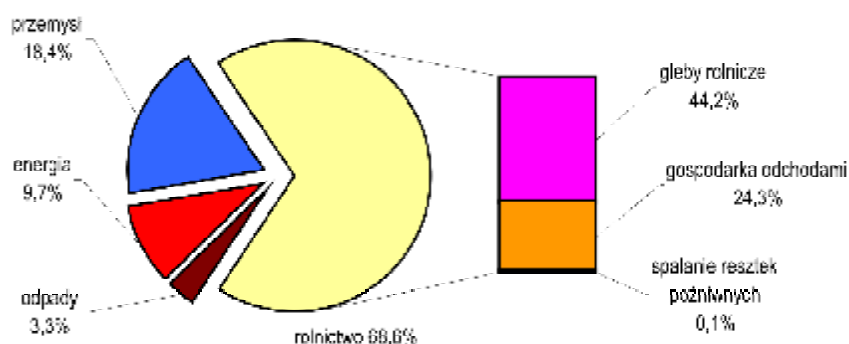
Rolnictwo przyczynia się także do emisji amoniaku (97% całkowitej emisji), który pochodzi z nawozów stosowanych w uprawie roślin i z chowu zwierząt (13). Amoniak, mimo że jest bardzo szybko usuwany z powietrza (łatwo przechodzi do gleby) dzięki bardzo wysokiej rozpuszczalności w wodzie, pośrednio może stanowić źródło podtlenku azotu, który bardzo długo utrzymuje się w atmosferze. Metan powstaje w procesach rozkładu, naturalnych i związanych z ludzką działalnością, szczególnie w rolnictwie. Najważniejszymi źródłami metanu są: naturalne bagna, hodowla i chów

Tabela 1

## Cząstkowe efekty cieplarniane składników atmosfery

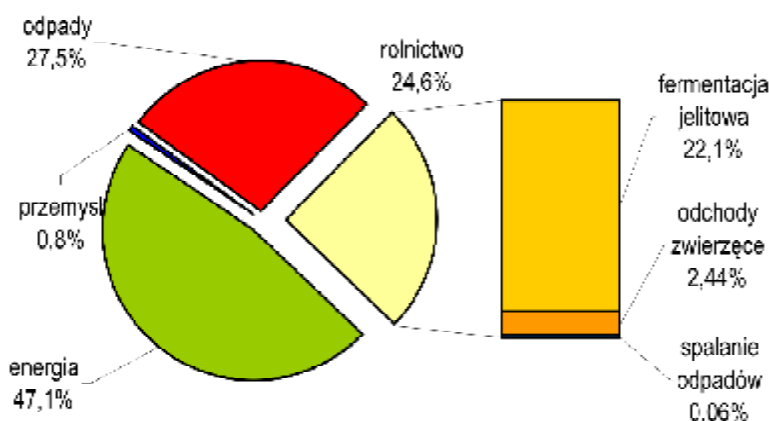
Gaz cieplarniany	Zawartość w atmosferze (% objętości)	Wkład w efekt cieplarniany		Źródła
		(°C)	(%)	
Para wodna	0-4,0	20,6	62,1	parowanie
Dwutlenek węgla (CO <sub>2</sub> )	0,0360	7,2	21,7	rozkład materii organicznej spalanie paliw zmiana użytkowania ziemi
Ozon	0,000004	2,4	7,2	fotoliza NO <sub>2</sub>
Podtlenek azotu (N <sub>2</sub> O)	0,00003	1,4	4,2	lasy i tereny zielone oceany gleba uprawa gleby nawozy spalanie biomasy spalanie paliw
Metan (CH <sub>4</sub> )	0,00017	0,8	2,4	rozkład materii organicznej ekstrakcja gazu i ropy spalanie biomasy uprawa ryżu produkcja zwierzęca wysypiska śmieci
Pozostałe	-	0,8	2,4	-
RAZEM	-	33,2	100,0	-

Źródło: Kondratiew, 1987 (11), Rózański, 2002 (15).



Rys. 2. Emisja podtlenku azotu w Polsce w 2003 roku z podziałem na główne sektory IPCC  
Źródło: Olendrzyński i in., 2005 (14).

zwierząt, pola ryżowe, spalanie biomasy, wysypiska śmieci, kopalnie węgla i odwierty gazu naturalnego. Rolnictwo ma znaczący udział w emisji metanu, np. w Polsce w 2003 roku 24,6% wyemitowanego metanu pochodziło ze źródeł rolniczych (rys. 3). Dwa podstawowe źródła rolnicze to fermentacja jelitowa (89,9%) i odchody zwierzęce (9,9%). Trzecie źródło – spalanie resztek poźniwnych – przyczynia się w znacznie mniejszym stopniu do zanieczyszczenia atmosfery (0,2%).



Rys. 3. Emisja metanu w Polsce w 2003 roku z podziałem na główne sektory IPCC

Źródło: Olendrzyński i in., 2005 (14).

### Emisja podtlenku azotu

Głównym źródłem emisji  $N_2O$  do atmosfery są naturalne procesy zachodzące w glebach i oceanach (ok. 2/3 emisji). Jedna trzecia emisji ma charakter antropogeniczny. Stężenie  $N_2O$  w atmosferze wzrasta rocznie o ok. 0,2-0,3% (13). Wzrost ten jest przede wszystkim wynikiem działalności człowieka. Do wzmożonej produkcji podtlenku azotu prowadzą bezpośrednio lub pośrednio zakłócenia globalnego cyklu azotu powodowane przez rolnictwo (ok. 75%) oraz spalanie biomasy pochodzenia rolniczego (ok. 7%). Za pozostałą część emisji (18%) jest odpowiedzialny przemysł. Do źródeł rolniczych  $N_2O$  należy zaliczyć stosowanie nawozów mineralnych, odchody zwierzęce, uprawę roślin wiążących azot oraz uprawę gleb (mineralnych i organicznych) prowadzącą do intensywnej mineralizacji materii organicznej. Podtlenek azotu może być emitowany bezpośrednio z gleby, instalacji hodowlanych i pastwisk, ale także pośrednio w wyniku transportu azotu z gleby do wód powierzchniowych (przez wymywanie i spływy powierzchniowe) oraz z systemów rolniczych do gleby (przez unoszenie i osiadanie amoniaku i tlenków azotu  $NO_x$ ).

W warunkach Polski należy wziąć pod uwagę trzy rolnicze źródła emisji  $N_2O$ : gospodarke odchodami zwierzęcymi, gleby oraz spalanie słomy na polach (6); przy

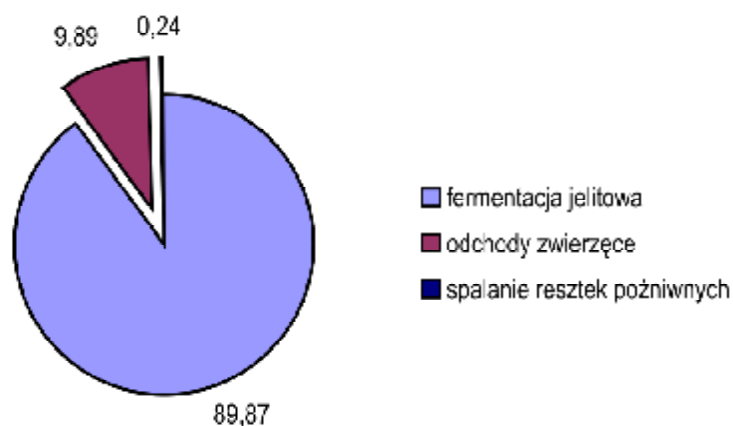
czym emisja z ostatniego źródła jest niewielka (poniżej 0,1%); (rys. 2). Zasadniczymi procesami, w których powstaje  $N_2O$  są mikrobiologiczne procesy nityfikacji i denityfikacji azotu, które zachodzą w glebie, ale także poza nią w zbiornikach wodnych i w odchodach zwierzęcych przed ich zastosowaniem w postaci nawozu naturalnego (7).

Nityfikacja jest procesem utleniania amoniaku  $NH_4$  do  $NO_3$  (2); zachodzi ona tylko w obecności  $O_2$ , ale w sposób dość ciągły. Dokonywana jest przez samożywne (chemolitotroficzne) bakterie glebowe. Proces ten jest korzystny z punktu widzenia żyzności gleby, gdyż w jego wyniku nieprzyswajalne dla roślin związki azotowe przekształcają się w łatwo dostępne. Niemniej, jeżeli nie zostaną one wchłonięte przez kompleks sorpcyjny gleby ( $NH_4^+$ ) lub pobrane przez rośliny ( $NO_3^-$ ) łatwo ulegają wymyciu z profilu glebowego, zanieczyszczając wody gruntowe. Denityfikacja jest również procesem wywołanym przez bakterie, w którym tlenki azotu w warunkach beztlenowych są redukowane do  $N_2$  lub  $N_2O$  (2). Obecność tlenu znacznie hamuje enzymy aktywne w procesie denityfikacji. Proces ten w dużym stopniu uzależniony jest od rodzaju gleby, jej wilgotności oraz dostępności węgla organicznego. W warunkach polowych nasila się wraz ze wzrostem stężenia azotanów w wilgotnej glebie, a więc po aplikacji mineralnych nawozów azotowych, nawozów naturalnych i przyoraniu resztek poźniwnych bogatych w azot. Emisje  $N_2O$  z gleby powodowane denityfikacją są krótkotrwałe (1–2-dniowe), ale o dużym nasileniu. W naszej strefie klimatycznej warunki powodujące przyspieszoną produkcję  $N_2O$  występują zwłaszcza wiosną w okresach rozmrażania i zamarzania gleby oraz w lecie w okresach ponownego uwilgotnienia przesuszonych gleb. Denityfikacja nie jest korzystna z punktu widzenia żyzności gleby, gdyż ją zuboża w przyswajalny azot. Wraz z procesem produkcji  $N_2O$  następuje także jego redukcja. Ze względu na ścisłą zależność przebiegu produkcji i redukcji od wielu czynników środowiska, które są zmienne w czasie, wielkość emisji można ustalić tylko w przybliżeniu; dokładność szacunków oceniana jest na  $\pm 50\%$  (2, 13).  $N_2O$  powstaje także w procesie nityfikacji, ale w znacznie mniejszym stopniu (poniżej 1%). Produkcja podtlenku azotu przez rolnictwo ma dwa aspekty, bezpośredni (zachodzi w glebie) i pośredni (zachodzi w zbiornikach wodnych). Bezpośrednia produkcja wynika z przemian azotu w glebie oraz w odchodach zwierzęcych (6, 16). Produkcja pośrednia zachodzi w środowisku wodnym (woda gruntowa, rzeki i zbiorniki wodne), dokąd drogą pośrednią trafia azot zawarty w glebie (przez wymycie, spływ powierzchniowy, pobranie podczas zbioru biomasy). Procesy nityfikacji i denityfikacji w zbiornikach wodnych zachodzą zarówno w dennej warstwie osadowej, jak i całej masie wody.

### Emisja metanu

Źródła produkcji metanu w rolnictwie to wydzieliny zwierzęce (powstające w procesie fermentacji jelitowej), rozkład odchodów zwierzęcych oraz spalanie resztek poźniwnych (6). Udział tych trzech źródeł w emisji metanu w Polsce w 2003 roku przed-

stawiono na rysunku 4. Najpoważniejszym źródłem emisji metanu w rolnictwie jest fermentacja jelitowa zwierząt hodowlanych. Ilość metanu emitowana w ten sposób zależy od liczby zwierząt, rodzaju układu pokarmowego oraz rodzaju i masy skarmianej paszy (4). Najwięcej metanu produkują przeżuwacze (bydło, owce, kozy), posiadające żołądek wielokomorowy. W żwaczu zwierząt dorosłych żyje duża liczba wyspecjalizowanych mikroorganizmów rozkładających w warunkach beztlenowych włókno, główny budulec ścianek komórek roślinnych (obecny w paszach objętościowych). Produktem ubocznym trawienia włókna jest mieszanina złożona z metanu, dwutlenku węgla i wodoru. Włókno roślinne (wielocukry i ligniny) jest odporne na działanie enzymów trawiennych i podlega jedynie rozkładowi bakteryjnemu. Z tego względu przeżuwacze znacznie lepiej trawią i wykorzystują pasze zawierające dużo włókna niż wiele innych zwierząt. Konie także dobrze trawią włókno roślinne, bo choć nie są przeżuwaczami, posiadają ślepe jelito pełniące podobną funkcję jak żwacz. Należy je więc zaliczyć do grupy zwierząt – producentów metanu. Pozostałe zwierzęta gospodarskie (tzn. nieprzeżuwające, np. świnie) nie trawią włókna prawie wcale. Mogą się jednak pośrednio przyczyniać do powstawania metanu, jeśli ich odchody rozkładają się w warunkach beztlenowych.



Rys. 4. Źródła emisji metanu w rolnictwie polskim w 2003 roku

Źródło: Olendrzyński i in., 2005 (14).

Drugim ważnym źródłem metanu w rolnictwie są odchody zwierzęce, rozkładające się w warunkach beztlenowych. Powstająca ilość metanu zależy od masy odchodów i technologii ich zagospodarowania (sposobu przechowywania). Technologia niekorzystna z punktu widzenia emisji metanu to składowanie odchodów w postaci ciekłej. Przy składowaniu odchodów stałych penetracja powietrza ogranicza występowanie warunków beztlenowych. Bezpośrednie wywożenie i rozrzucanie odchodów na polu (z krótkotrwałym tylko składowaniem lub z pominięciem składowania) jest ze względu na zanieczyszczenie środowiska metanem rozwiązaniem stosunkowo najko-

rzystniejszym. Metan powstaje także podczas spalania resztek poźniwnych, ale w warunkach Polski nie jest to źródło istotne (rys. 4).

### Metodyka badań

W ramach Konwencji Klimatycznej obowiązuje Polskę począwszy od 2000 r. przygotowywanie raportów inwentaryzacyjnych, które muszą być przekazywane do Sekretariatu Konwencji Klimatycznej do 15 kwietnia każdego roku w postaci elektronicznej i w postaci dokumentu drukowanego. Inwentaryzacja powinna być przygotowana zgodnie z aktualnymi wytycznymi IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – międzyrządowego panelu ds. zmian klimatycznych) „Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” (6). Obejmuje ona m.in. zalecenia dotyczące wyboru metodyki, wskaźników emisji, danych o źródłach emisji i oszacowaniu dokładności uzyskanych wyników, a także procedury kontroli jakości danych i wyników. W przypadku stosowania krajowych wskaźników emisji, odbiegających od zaleceń IPCC, należy w raporcie podać metodę ich obliczania. W przypadku zmian w metodologii (w sposobie uzyskiwania danych i wskaźników w dowolnym roku począwszy od roku bazowego) obliczenia oparte o serie zmienione muszą być powtórzone w celu zapewnienia zgodności. Ponadto Strony muszą przedstawić pełne wyjaśnienie przyczyn zmian. Raport powinien być przygotowany zgodnie z formatem zatwierdzonym przez Konferencję Stron i zawierać szczegółowe dane o emisji i pochłanianiu.

Biorąc pod uwagę wytyczne do metodyki inwentaryzacji emisji gazów cieplarnianych ( $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$ ) przez rolnictwo opracowane przez IPCC (6) w warunkach Polski należy uwzględnić trzy źródła emisji metanu: fermentację jelitową, odchody zwierzęce i spalanie resztek poźniwnych oraz trzy źródła podtlenku azotu: gleby, odchody zwierzęce i spalanie resztek poźniwnych. Metodyka IPCC przewiduje trzy poziomy dokładności obliczeń dla metanu. Poziom 1 (Tier 1) zakłada wykorzystanie współczynników emisji opracowanych dla potrzeb inwentaryzacji i podanych w metodyce IPCC. Jest to najprostszy sposób obliczeń, ale jego dokładność zależy od zgodności założeń metodycznych i rzeczywistych warunków produkcyjnych. Poziom 2 (Tier 2) zalecany jest w przypadku, gdy charakter produkcji rolniczej zbytnio odbiega od założeń metodyki (gatunki zwierząt i sposoby chowu są inne). Poziom 2 wymaga dość dużego zestawu danych lokalnych (dotyczących danego kraju), ale procedury obliczeniowe są dość szczegółowo opisane w metodyce. Poziom 3 polega na zastosowaniu własnych danych i procedur obliczeniowych; poziom ten jest przez metodykę IPCC dozwolony, ale nie zostały dla niego opracowane procedury.

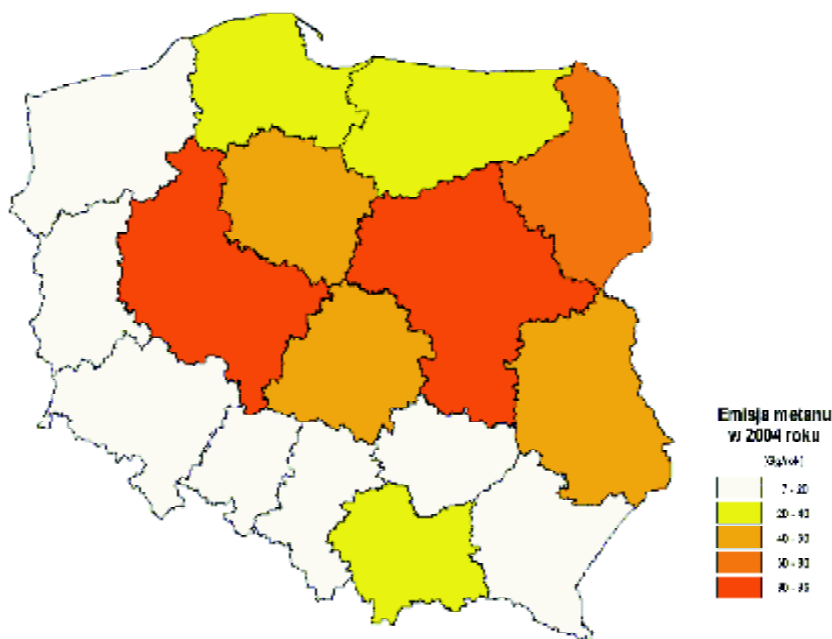
Do obliczeń emisji metanu i podtlenku azotu wykonanych w niniejszym opracowaniu wykorzystano gotowy arkusz kalkulacyjny „Greenhouse Gas Inventory Workbook” (8), opracowany w MS Excel według obowiązującej metodyki IPCC (6), który można pobrać z portalu internetowego IPCC. Obliczenia można wykonać także za pomocą programu EstimatER (3), który ma tę zaletę, że umożliwia wybór dokładności obliczeń poziomu 1 lub poziomu 2. Ze względu jednak na ograniczenie się do poziomu 1

oraz konieczność powtórzenia obliczeń dla wszystkich województw zdecydowano, że arkusz kalkulacyjny będzie odpowiedniejszym narzędziem. Wspomniany arkusz jest podzielony na części zgodnie z sektorami emisji gazów cieplarnianych, z których jeden dotyczy rolnictwa. Arkusz posiada menu ułatwiające nawigację, a dane wprowadza się do przygotowanych tabel. Kolejne kroki przy wypełnianiu arkusza zostały wyczerpująco opisane w metodyce IPCC (6).

Do potrzeb niniejszej inwentaryzacji wykorzystano zestaw tabel przewidziany dla sektora rolniczego arkusza. Inwentaryzację wykonano dla 16 województw, dla danych z 2004 roku. Tabele arkusza powielono zgodnie z liczbą województw, zachowując układ stron. Do obliczeń wykorzystano dane dotyczące stanu zwierząt gospodarskich, zużycia mineralnych nawozów azotowych, zbiorów głównych płodów rolnych (zbóż, ziemniaka i buraka cukrowego) i powierzchni uprawy roślin strączkowych. Wymienione uprawy stanowią łącznie ok. 90% powierzchni zasiewów w Polsce. Do obliczenia zbiorów strączkowych wykorzystano dane dotyczące powierzchni zasiewów w województwach z 2003 roku, przyjmując średni plon nasion dla Polski  $2,11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

### Wyniki i dyskusja

Obliczenia emisji metanu i podtlenku azotu przeprowadzono w układzie województw. Wyniki obliczeń emisji metanu w 2004 roku zostały przedstawione na rysunkach 5A-5C.

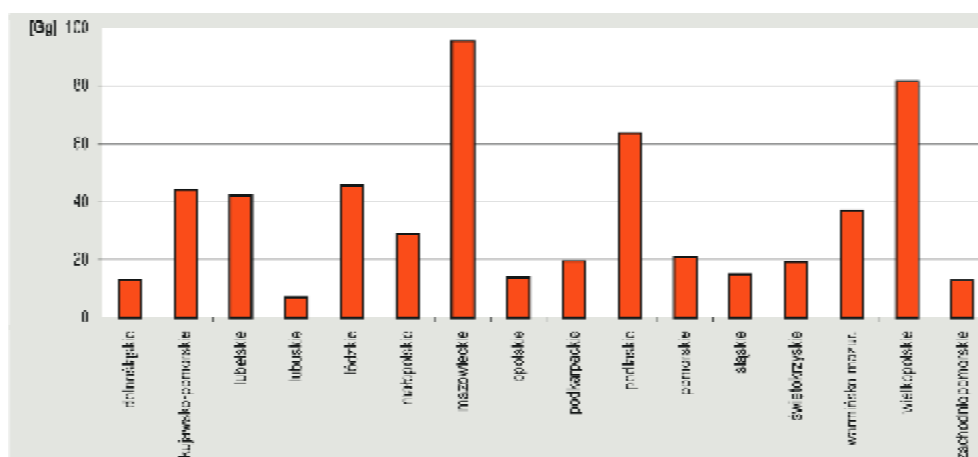


Rys. 5A. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2004 roku

Źródło: Opracowanie własne.



Do emisji metanu w 2004 roku przyczynił się głównie chów zwierząt: fermentacja jelitowa (81,5%) i odchody zwierzęce (18,5%). Ponad 92% metanu pochodzącego z fermentacji jelitowej było produkowane przez bydło (porównaj rys. 5B i 5C), a niecałe 8% przez pozostałe gatunki zwierząt (trzodę chlewną, owce, kozy i konie). Natomiast metan pochodzący z odchodów w 65% został wyprodukowany przez trzodę chlewną. W związku z tym województwa posiadające wysoką obsadę bydła i trzody chlewnej: mazowieckie, wielkopolskie i podlaskie (rys. 5A i 5B) emitowały w 2004 r. największą ilość metanu. Województwami o najmniejszej emisji były lubuskie i zachodniopomorskie (rys. 5A i 5B).

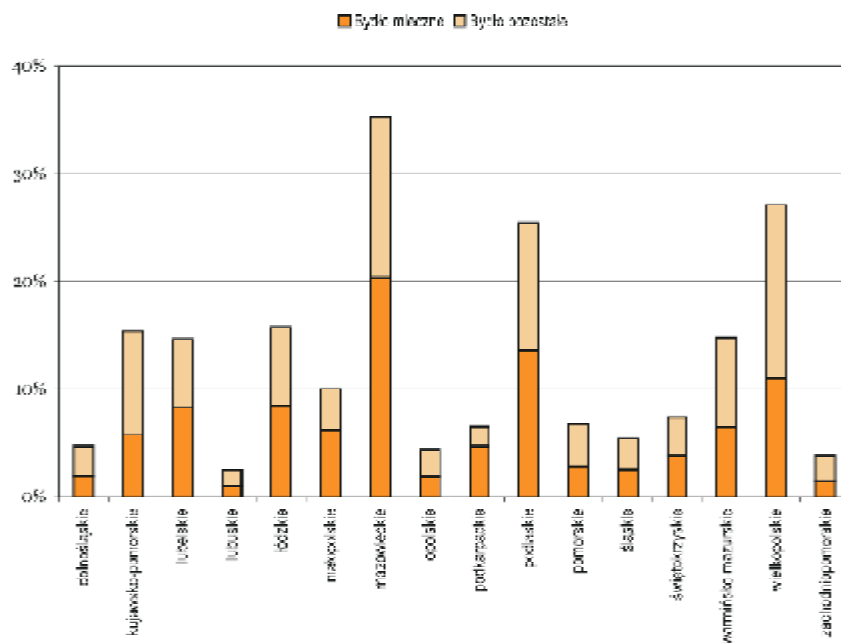


Rys. 5B. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2004 roku

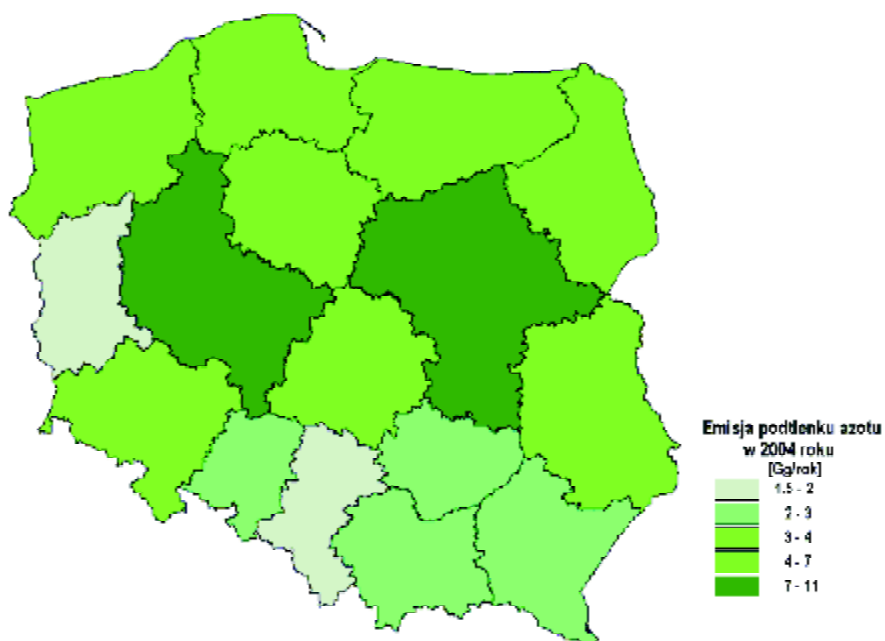
Źródło: Obliczenia własne.

Wyniki obliczeń emisji podtlenku azotu w 2004 roku zostały przedstawione na rysunkach 6A i 6B. Około 60% emisji pochodziło z gleb, a 40% z odchodów zwierzęcych. Znacząca część emisji jest wynikiem produkcji zwierzęcej (więcej niż 40%, ponieważ część odchodów zostaje przyorana jako nawóz, a ponadto odchody są źródłem emisji pośredniej). Drugim ważnym źródłem emisji jest produkcja roślinna (nawozy mineralne, przyorane resztki poźniwne itd.). Emisja N<sub>2</sub>O jest wypadkową emisji z wymienionych źródeł, a województwa o wysokim udziale produkcji zwierzęcej również są dość znaczącymi producentami N<sub>2</sub>O (porównaj rys. 5B i 6B).

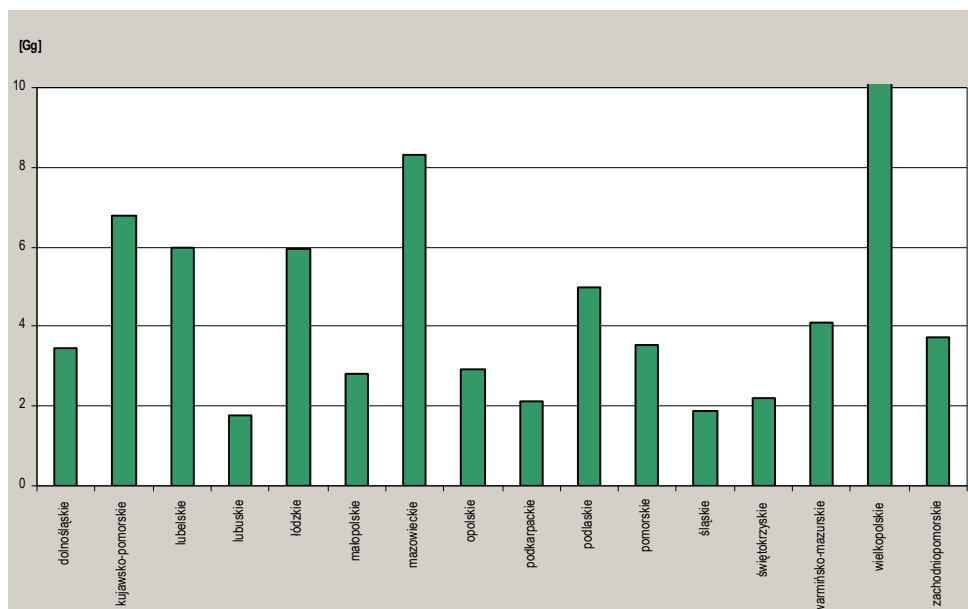
Dla porównania otrzymane wyniki zbiorcze (dla Polski) zestawiono z wynikami z bazy danych AirEmissionDB prowadzonej przez Instytut Ochrony Środowiska (1); (tab. 2). Dane z IOŚ pochodzą z 2003 roku, ponieważ w czasie przygotowywania niniejszej pracy nie były jeszcze dostępne dane z 2004 roku. Z informacji zamieszczonej na stronach AirEmissionDB wynika, że inwentaryzacja dla roku 2004 jest ukończona i w niedługim czasie zostanie opublikowana.



Rys. 5C. Obsada bydła (bydło mleczne i pozostałe) w województwach w 2004 roku (Polska = 100%)  
 Źródło: Obliczenia własne.



Rys. 6A. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 2004 roku  
 Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 6B. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 2004 roku  
Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 2

Porównanie wielkości emisji CH<sub>4</sub> i N<sub>2</sub>O dla źródeł rolniczych w Polsce

Lp.	Źródło emisji CH <sub>4</sub>	IUNG (2004)	IOŚ (2003)	Źródło emisji N <sub>2</sub> O	IUNG (2004)	IOŚ (2003)
1.	Fermentacja jelitowa	456,22	397,18	Gleby	43,23	34,11
2.	Odchody zwierząt	103,50	43,72	Odchody zwierząt	28,10	18,80
3.	Spalanie resztek poźniwnych	0,00	1,07	Spalanie resztek poźniwnych	0,00	0,05
	Razem źródła rolnicze	559,72	441,97	Razem źródła rolnicze	71,33	52,96

Źródło: Opracowanie własne.

### Podsumowanie

Szacunek emisji metanu i podtlenku azotu w roku 2004 przeprowadzony w IUNG-PIB dał wyniki większe niż obliczenia wykonane w IOŚ dla roku 2003, odpowiednio o 21 i 26%. Różnice mogą mieć źródło zarówno w danych (obliczenia dotyczą dwóch różnych lat, może także występować różnica w źródle danych wyjściowych), jak i w metodycie badań. W obliczeniach ilości odchodów (dla oceny emisji CH<sub>4</sub> i N<sub>2</sub>O) przeprowadzonych w IUNG-PIB wszystkie zwierzęta, niezależnie od wieku, traktowano jako osobniki dorosłe, co choć jest zgodne z metodyką IPCC (poziom 1) prowadzi jednak do zawyżenia wyników. Ponadto w obliczeniach N<sub>2</sub>O nie uwzględniono

części odchodów spalanych (w metodyce IPCC część ta jest oceniona na 10% lub mniej) oraz części odchodów wydalanych podczas wypasania zwierząt. Stąd uproszczenia te mogą prowadzić do zawyżenia wyników emisji bezpośredniej z gleby. Posłużenie się współczynnikami emisji z metodyki IPCC może również stanowić źródło błędów, prowadząc do wyników przybliżonych. Zapewne opracowanie współczynników emisji na podstawie szczegółowych danych krajowych pozwoliłoby na zwiększenie dokładności obliczeń. Przykładowo, udział poszczególnych technologii chowu zwierząt w produkcji azotu w zależności od ich gatunku, można uwzględnić osobno dla każdego województwa. Wymaga to jednak posiadania odpowiedniego zestawu danych źródłowych.

### Literatura

1. AirEmissionDB: Polish Air Emissions Database. IOŚ, Warszawa, 2005. <http://emissions.ios.edu.pl>.
2. F a b e r A.: Emisja gazów cieplarnianych oraz retencjonowanie węgla przez rolnictwo. *Fragm. Agron.*, 2001, **4(72)**: 102-117.
3. EstimatER.: Air Emission Inventory Data Estimation Program. European Topic Centre on Air and Climate Change, 2001.
4. Gibbs M., Conneely D., Johnson D., Lasse K. R., Ulyatt M. J.: CH<sub>4</sub> Emissions from enteric fermentation. (In:) Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. The Institute for Global Environmental Strategies, Japan, 2002. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4\\_1\\_CH4\\_Enterice\\_Fermentation.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_1_CH4_Enterice_Fermentation.pdf)
5. IPCC1. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Third Assessment Report. The Intergovernmental Panel on Climate Change, WG I. <http://www.ipcc.ch/pub/un/syren/sym.pdf>, 2001.
6. IPCC2. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 3, Agriculture. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6c.htm>, 1996.
7. IPCC3. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual. Vol. 3, Agriculture. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6c.htm>, 1996.
8. IPCC4. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Greenhouse Gas Inventory Software for the Workbook. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.htm>, 1996.
9. Jun P., Gibbs M., Gaffney K.: CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from livestock manure. (In:) Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2002, 321-338.
10. Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej. Red.: I. Duer, M. Fotyma, A. Madej. Część E: Ochrona powietrza. MRiRW-MŚ, Warszawa, 2002. [http://www.mos.gov.pl/1materialy\\_informacyjne/raporty\\_opracowania/kodeks](http://www.mos.gov.pl/1materialy_informacyjne/raporty_opracowania/kodeks).
11. Kondratie w K.: Globalny klimat i jego zmienienia. Nauka, Moskwa, 1987.
12. Kożuchowski K. (Red.): Meteorologia i klimatologia. PWN Warszawa, 2005, 321.
13. Nevison C.: Indirect N<sub>2</sub>O emissions from agriculture. (In:) Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2002. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4\\_6\\_Indirect\\_N2O\\_Agriculture.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_6_Indirect_N2O_Agriculture.pdf)
14. O l e n d r z y ń s k i K. i in.: Inwentaryzacja emisji do powietrza za rok 2003. IOŚ, Warszawa, 2005, 66.

15. R ó ż a ń s k i K.: Antropogeniczne zmiany klimatu: mit czy rzeczywistość? Postępy Fizyki, 2002, **53D**: 162-168.
16. S m i t h K., B o u w m a n L., B r a a t z B.: N<sub>2</sub>O: Direct emissions from agricultural soils. (In:) Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4\\_5\\_N2O\\_Agricultural\\_Soils.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_5_N2O_Agricultural_Soils.pdf), 2002.
17. S z w e j k o w s k i Z.: Podstawy agrometeorologii. Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży, 1999, 151. <http://www.wsa.edu.pl/baza/pobierz/AgroMeteorologia.pdf>
18. Wikipedia. Greenhouse effect. 2005. [http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect)
19. Z e e m a n G., G e r b e n s S.: CH<sub>4</sub> emissions from animal manure. (In:) Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4\\_3\\_CH4\\_Animal\\_Manure.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_3_CH4_Animal_Manure.pdf)

Adres do korespondencji:

*dr Andrzej S. Zaliwski*  
*Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki*  
*IUNG - PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: (081) 886 34 21, w. 202*  
*e-mail: [Andrzej.Zaliwski@iung.pulawy.pl](mailto:Andrzej.Zaliwski@iung.pulawy.pl)*

