

STUDIA I RAPORTY IUNG - PIB

ZESZYT 5

2007

Andrzej S. Zaliwski*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*OSZACOWANIE EMISJI PODTLENKU AZOTU I METANU Z ROLNICTWA
W PRZEKROJU WOJEWÓDZTW ZA LATA 1999–2004***Wstęp**

W skład dolnych warstw atmosfery wchodzi składniki pierwszorzędne (azot, tlen, argon i dwutlenek węgla), składniki drugorzędne (m.in. gazy szlachetne, metan i wodor), domieszki (m.in. para wodna i amoniak), śladowe ilości gazów i substancji pochodzenia naturalnego (pyły kosmiczne i ziemskie, aerozole morskie, gazy wulkaniczne, mikroorganizmy, części roślinne i zwierzęce) i sztucznego. Składniki sztuczne oraz składniki naturalne występujące w ilościach przekraczających wartości graniczne przyjęto nazywać zanieczyszczeniami (17). Niektóre z nich wywołują efekt cieplarniany. Do efektu cieplarnianego najbardziej przyczyniają się: para wodna – 62,1%, dwutlenek węgla – 21,7%, ozon – 7,2%, podtlenek azotu – 4,2% oraz metan – 2,4% (16, 23). Ze względu na ogólnoswiatowy zasięg zmian klimatycznych kwestie emisji gazów cieplarnianych są przedmiotem prac międzynarodowych organizacji i instytucji. Jednym z ważnych porozumień międzynarodowych jest Konwencja Klimatyczna przyjęta podczas Konferencji NZ „Szczyt Ziemi” w Rio de Janeiro w 1992 r. Zdecydowanym krokiem w kierunku realnego zmniejszenia globalnej emisji gazów cieplarnianych był Protokół z Kioto, uzgodniony w grudniu 1997 roku przez przedstawicieli 160 państw (8, 18, 26) i realizowany od lutego 2005 roku. Za podstawowe gazy cieplarniane zostały uznane: dwutlenek węgla, metan i podtlenek azotu, a także tzw. gazy przemysłowe. Zobowiązaniami Polski są m.in. prowadzenie badań i monitoringu w zakresie zmian klimatu oraz przekazywanie do Sekretariatu Konwencji w Bonn corocznej inwentaryzacji emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych przeprowadzonej zgodnie z aktualną metodyką IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu). Metodyka „Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” (9, 10, 13, 14) obejmuje m.in. zalecenia dotyczące wyboru sposobu obliczeń, wskaźników emisji, danych o źródłach emisji i metodach szacowania dokładności wyników, a także procedury kontroli jakości danych i wyników. W przypadku stosowania krajowych wskaźników emisji odbiegających od zaleceń IPCC w raporcie należy podać metodę ich obliczenia.

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

Zgodnie z Protokołem z Kioto państwa uprzemysłowione i państwa w okresie transformacji zobowiązane są do redukcji emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Zobowiązanie Polski odnośnie redukcji emisji CO₂, CH₄ oraz N₂O wynosi 6%, a rokiem bazowym jest rok 1988 (26).

Metodyka

Uwagi wstępne. Problematyka emisji gazów cieplarnianych przez rolnictwo została szczegółowo omówiona w raporcie rocznym (27). Opisano tam stosowaną metodykę kalkulacji emisji metanu i podtlenku azotu, obowiązującą do 2006 roku (3, 9, 10, 11, 19, 20, 24, 28). Ponieważ IPCC opublikował poprawioną metodykę w 2006 roku (13, 14), więc jej zmiany zostały uwzględnione w niniejszym opracowaniu. Dotyczą one m.in.: współczynników fermentacji przyjętych dla krów mlecznych i pozostałego bydła, współczynnika bezpośredniej emisji N₂O z gleb mineralnych EF₁, współczynnika bezpośredniej emisji N₂O z gleb organicznych EF₂, wprowadzenia odchodów w postaci moczu jako źródła N₂O na pastwiskach i wybiegach, usunięcia roślin wiążących azot atmosferyczny jako źródła N₂O z gleb, a także propozycji szacunku emisji CO₂ z mocznika używanego do nawożenia.

Do obliczeń emisji metanu i podtlenku azotu wykonanych w niniejszym opracowaniu wykorzystano, podobnie jak do obliczeń emisji dla roku 2004 (27), gotowy arkusz kalkulacyjny 1996 „Greenhouse Gas Inventory Workbook” (11) opracowany w MS Excel według obowiązującej metodyki IPCC (9), który można pobrać z portalu internetowego IPCC. Obecnie dostępna jest nowsza wersja arkusza 1998 (12), która uwzględnia niektóre poprawki w metodyce obliczeń. W związku z problemami wynikłymi podczas instalacji najnowszej wersji arkusza, zdecydowano się na wykorzystanie do obliczeń wersji oznaczonej 1996. Współczynniki emisji zaktualizowano według zaleceń nowej metodyki, a obliczenia objęły także dane z roku 2004.

W odróżnieniu od sposobu prezentacji wyników dla roku 2004, gdzie wielkość emisji podano w gigagramach [Gg], w niniejszym raporcie podano także jednostkowe wielkości emisji [Gg/mln ha UR], ponadto wyniki przedstawiono z podziałem na emisję pochodzącą z produkcji zwierzęcej i roślinnej.

W ramach prezentowanego opracowania przeprowadzono obliczenia emisji metanu i podtlenku azotu dla 16 województw Polski na podstawie danych z lat 1999–2004. Tabele arkusza „Greenhouse Gas Inventory Workbook” w części dotyczącej rolnictwa (11) powielono zgodnie z liczbą województw, zachowując układ stron, a następnie powielono arkusz zgodnie z liczbą lat. Do obliczeń wykorzystano dane GUS (5, 6, 7) dotyczące stanu zwierząt gospodarskich, zużycia nawozów azotowych, zbiorów głównych płodów rolnych (zboża, ziemniak i burak cukrowy). Wymienione uprawy stanowią ok. 90% powierzchni zasiewów w Polsce.

Metodyka IPCC. Metodyka IPCC dzieli źródła zanieczyszczeń antropogenicznych na sektory (przemysł wytwórczy, energia, transport, rolnictwo itd.). Głównymi zanieczyszczeniami pochodzącymi z rolnictwa, przyczyniającymi się do efektu cieplarnianego są metan i podtlenek azotu. Dla sektora rolnictwa przyjmuje się zerowy bilans

emisji dwutlenku węgla, ponieważ rośliny uprawne pochłaniają w następnym sezonie wegetacyjnym całą ilość uprzednio wyemitowanego CO₂ (9). Metodyka IPCC przewiduje trzy poziomy dokładności obliczeń dla metanu i podtlenku azotu. 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 z rzeczywistymi warunkami produkcyjnymi. Poziom 2 (Tier 2) zalecany jest w przypadku, gdy charakter produkcji rolniczej zbyt odchodzi 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 zarówno własnych danych, jak i własnych procedur obliczeniowych.

Emisja podtlenku azotu. Około 2/3 N₂O dostającego się do atmosfery pochodzi z naturalnych procesów zachodzących w glebach i oceanach. Pozostała część emisji wynika z działalności człowieka, powodując roczny wzrost stężenia N₂O w atmosferze o ok. 0,2-0,3%. Do wzmożonej produkcji podtlenku azotu prowadzą bezpośrednio lub pośrednio zakłócenia globalnego cyklu azotu powodowane przez rolnictwo (w ok. 75%), spalanie biomasy pochodzenia rolniczego (ok. 7%) i procesy przemysłowe (18%). Do źródeł rolniczych N₂O należy zaliczyć stosowanie sztucznych nawozów azotowych i naturalnych oraz technologie uprawy gleb (mineralnych i organicznych) prowadzące do intensywnej mineralizacji materii organicznej. Podtlenek azotu może być emitowany bezpośrednio z gleby, budynków gospodarskich, z pastwisk, a także pośrednio w wyniku transportu azotu z gleby do wód powierzchniowych (przez wymywanie i spływy powierzchniowe) i z systemów rolniczych do gleby (przez unoszenie i osiadanie amoniaku i tlenków azotu NO_x). W warunkach Polski należy wziąć pod uwagę trzy źródła emisji N₂O z rolnictwa (9, 21): gleby (ok. 65%), gospodarke nawozami naturalnymi (ok. 35%) i spalanie słomy na polach, przy czym emisja z ostatniego źródła jest niewielka (poniżej 0,2%).

Zasadniczymi procesami, w których powstaje N₂O są mikrobiologiczne procesy nitrifikacji i denitrifikacji azotu, które zachodzą w glebie, ale także poza nią, w zbiornikach wodnych i w składowanych nawozach naturalnych (15, 19, 24).

Nitrifikacja jest procesem utleniania amoniaku NH₄ do NO₃ (2). Zachodzi w sposób dość ciągły w obecności tlenu. Dokonywana jest przez samożywne (chemolitotroficzne) bakterie glebowe. Proces ten wpływa korzystnie na żyzność gleby, gdyż w jego wyniku nieprzyswajalne dla roślin związki azotowe przekształcane są w związki łatwo dostępne. Niemniej, jeżeli nie zostaną one wchłonięte przez kompleks sorpcyjny gleby (NH₄⁺) lub pobrane przez rośliny (NO₃⁻) łatwo ulegają wymyciu z profilu glebowego, zanieczyszczając wody gruntowe.

Denitrifikacja jest również procesem wywołanym przez bakterie, w którym tlenki azotu w warunkach beztlenowych są redukowane do N₂ lub N₂O (2). Obecność tlenu znacznie hamuje enzymy aktywne w procesie denitrifikacji. Proces ten w dużym stopniu uzależniony jest od wilgotności gleby oraz dostępności węgla organicznego.

W warunkach polowych nasila się wraz ze wzrostem stężenia azotanów w wilgotnej glebie, a więc po aplikacji sztucznych nawozów azotowych i nawozów naturalnych oraz przyoraniu resztek poźniwnych bogatych w azot. Emisje N_2O z gleby powodowane denitryfikacją są krótkotrwałe (1-2 dniowe), ale o dużym nasileniu. W naszej strefie klimatycznej warunki powodujące przyspieszoną produkcję N_2O występują zwłaszcza wiosną w okresach rozmarzania i zamarzania gleby oraz w lecie w okresach ponownego uwilgotnienia przesuszonych gleb. Denitryfikacja 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 zależność przebiegu produkcji i redukcji od wielu czynników środowiska, zmiennych w czasie, wielkość emisji można ustalić tylko w przybliżeniu; dokładność szacunków oceniana jest na $\pm 50\%$ (2, 12). N_2O powstaje głównie w procesie denitryfikacji, a w znacznie mniejszym stopniu (poniżej 1%) w procesie nityfikacji.

Produkcja podtlenku azotu przez rolnictwo ma dwa aspekty – bezpośredni i pośredni (19, 24). Bezpośrednia produkcja wynika z przemian azotu w glebie oraz w nawozach naturalnych. Produkcja pośrednia zachodzi w środowisku wodnym (woda gruntowa, rzeki i zbiorniki wodne) dokąd drogą pośrednią trafia azot zawarty w glebie (przez wymycie i spływ powierzchniowy). Procesy nityfikacji i denitryfikacji w zbiornikach wodnych zachodzą zarówno w dennej warstwie osadowej, jak i całej masie wody.

Emisja całkowita podtlenku azotu w skali rocznej. Całkowita emisja podtlenku azotu oceniana według metodyki IPCC jest sumą emisji z trzech źródeł, tj.: emisji bezpośredniej i pośredniej z gleb, emisji bezpośredniej z nawozów naturalnych i emisji ze spalania resztek poźniwnych. Ze względu na bardzo niewielki udział N_2O pochodzącego ze spalania resztek poźniwnych (0,2%) w całkowitej emisji ze źródeł rolniczych, w niniejszej inwentaryzacji to źródło pominięto.

Wobec tego całkowitą emisję podtlenku azotu można obliczyć według następującego wzoru:

$$N_2O_{TOTAL} = N_2O_{SOILS} + N_2O_{AWMS} \quad (1)$$

gdzie:

N_2O_{TOTAL} – całkowita ilość podtlenku azotu emitowanego przez źródła rolnicze (z pominięciem spalania resztek poźniwnych), wyrażona w kg azotu N_2 [$kg\ N \cdot rok^{-1}$],

N_2O_{SOILS} – podtlenek azotu pochodzący z gleby [$kg\ N \cdot rok^{-1}$],

N_2O_{AWMS} – podtlenek azotu pochodzący z nawozów naturalnych [$kg\ N \cdot rok^{-1}$].

Wypasanie zwierząt jako źródło emisji podtlenku azotu zgodnie z metodyką IPCC zalicza się do źródeł emisji z gleby (N_2O_{SOILS}), więc ten sposób chowu zwierząt jest pominięty w źródłach związanych z technologią składowania nawozów naturalnych (N_2O_{AWMS}).

Podtlenek azotu pochodzący z gleby. Obejmuje trzy źródła emisji: bezpośrednią emisję z gleby, bezpośrednią emisję z gleby w wyniku wiązania azotu dostarczonego do gleby w odchodach zwierzęcych podczas wypasania i pośrednią emisję w wyniku

przemian azotu wprowadzonego do środowiska przez rolnictwo (9). Można to ująć następującym wzorem:

$$N_2O_{\text{SOILS}} = N_2O_{\text{DIRECT}} + N_2O_{\text{ANIMALS}} + N_2O_{\text{INDIRECT}} \quad (2)$$

gdzie:

- N_2O_{SOILS} – podtlenek azotu pochodzący z gleby, wyrażony w kg azotu N_2 [$\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$],
 N_2O_{DIRECT} – bezpośrednia emisja z gleby [$\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$],
 N_2O_{ANIMALS} – bezpośrednia emisja z gleby z azotu produkowanego podczas wypasania [$\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$],
 N_2O_{INDIRECT} – pośrednia emisja z azotu wprowadzonego do środowiska przez rolnictwo [$\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$].

Bezpośrednia emisja z gleby. Emisja podtlenku azotu bezpośrednio z gleby jest uwarunkowana procesami produkcyjnymi wnoszącymi azot do gleby (nawożenie sztucznymi nawozami azotowymi i naturalnymi pochodzenia zwierzęcego, przyoranie resztek poźniwnych i utylizacja ściieków); (14). Zabiegi uprawowe na glebach organicznych (poziom organiczny o miąższości powyżej 30 cm); (25) powodujące intensyfikację mineralizacji materii organicznej również mogą prowadzić do emisji podtlenku azotu. Całkowita wielkość bezpośredniej emisji z gleby jest sumą emisji ze wszystkich wymienionych źródeł, co można ująć następującym wzorem (19):

$$N_2O_{\text{DIRECT}} [\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}] = (F_{\text{SN}} + F_{\text{AW}} + F_{\text{CR}}) \cdot EF_1 + F_{\text{OS}} \cdot EF_2 \quad (3)$$

gdzie:

- N_2O_{DIRECT} – bezpośrednia emisja z gleby [$\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$],
 F_{SN} – całkowite zużycie sztucznych nawozów azotowych po odjęciu emisji NH_3 i NO_x , wyrażone w kg azotu N_2 [$\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$],
 F_{AW} – azot (N_2) dostarczony do gleby w nawozach naturalnych pochodzenia zwierzęcego, po odjęciu odchodów zwierząt wypasanych i po odjęciu emisji NH_3 i NO_x , wyrażony w kg azotu N_2 [$\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$],
 F_{CR} – azot (N_2) dostarczony do gleby w resztkach poźniwnych, wyrażony w kg azotu N_2 [$\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$],
 EF_1 – współczynnik bezpośredniej emisji N_2O z gleb mineralnych [$\text{kg N}_{\text{emitowany}} / \text{kg N}_{\text{wpro- wadzony}}$],
 F_{OS} – powierzchnia uprawianych gleb organicznych [ha],
 EF_2 – współczynnik bezpośredniej emisji N_2O z gleb organicznych [$\text{kg N} \cdot \text{ha} \cdot \text{rok}^{-1}$].

Bezpośrednia emisja z produkcji zwierzęcej. Sposób obliczenia bezpośredniej emisji N_2O z produkcji zwierzęcej jest podobny dla wszystkich technologii chowu, zmienia się jedynie wartość wskaźnika emisji $EF_{3(\text{AWMS})}$. Należy zwrócić uwagę, że emisja N_2O z wypasania zwierząt (N_2O_{ANIMALS}) jest zaliczona do emisji bezpośredniej z gleby, natomiast N_2O emitowany w pozostałych technologiach chowu ($N_2O_{(\text{AWMS})}$)

jest zaliczony do emisji bezpośredniej z odchodów zwierzęcych. Można to ująć następująco:

$$N_2O_{ANIMALS} = N_2O_{(AWMS)} = \sum_{(T)} [N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot AWMS_{(T)} \cdot EF_{3(AWMS)}] \quad (4)$$

gdzie:

- $N_2O_{ANIMALS}$ – bezpośrednia emisja N_2O z gleby z azotu produkowanego podczas wypasania [kg N · rok⁻¹],
 $N_2O_{(AWMS)}$ – podtlenek azotu pochodzący z odchodów zwierzęcych z chowu zwierząt według technologii AWMS [kg N · rok⁻¹],
 $N_{(T)}$ – liczba zwierząt gatunku T [szt.],
 $Nex_{(T)}$ – azot wydany przez jedno zwierzę danego gatunku T [kg N/zwierzę/rok]; (tab. 1),
 $AWMS_{(T)}$ – udział procentowy technologii AWMS w produkcji azotu w zależności od gatunku zwierzęcia T [%],
 $EF_{3(AWMS)}$ – wskaźnik emisji dla technologii AWMS, określający ile azotu wydalanego z odchodów jest wydalane w formie N_2O , w zależności od technologii, [kg N w N_2O /kg N razem], (tab. 2).

Pośrednia emisja. Pośrednia emisja N_2O ma kilka przyczyn, z których dwie uwzględnia metodyka IPCC. Pierwsza zachodzi, gdy azot ulatnia się z pól w formie NO_x i NH_3 zaraz po nawożeniu pól uprawnych nawozami sztucznymi i naturalnymi. Gazy te, mimo lotności, osadzają się wkrótce w glebie w sąsiedztwie nawożonych pól. Drugim źródłem pośredniej emisji jest nityfikacja i denityfikacja azotu pochodzenia rolniczego, który przez wymycie i spływy powierzchniowe trafia do wody gruntowej, rzek, rowów melioracyjnych i zbiorników wody stojącej (19). Wyemitowana ilość N_2O jest sumą emisji z obydwu źródeł, co można wyrazić następującym wzorem:

$$N_2O_{INDIRECT} = N_2O_{(G)} + N_2O_{(L)} \quad (5)$$

gdzie:

- $N_2O_{INDIRECT}$ – pośrednia emisja z gleby [kg N · rok⁻¹],
 $N_2O_{(G)}$ – emisja z gleby będąca następstwem ulatniania się i wchłonięcia amoniaku i tlenków azotu z pól po aplikacji nawozów do gleby, wyrażona w kg azotu N_2 [kg N · rok⁻¹],
 $N_2O_{(L)}$ – podtlenek azotu powstały przez nityfikację i denityfikację azotu wymytego i ze spływów powierzchniowych, wyrażony w kg azotu N_2 [kg N · rok⁻¹].

Bezpośrednia emisja z odchodów zwierzęcych. Ilość podtlenku azotu emitowanego z odchodów zwierzęcych zależy od liczby i gatunku zwierząt oraz technologii chowu. Metodyka kalkulacji emisji uwzględnia najczęściej stosowane w rolnictwie technologie chowu i związane z nimi sposoby zagospodarowania odchodów (10, 15, 24). Technologie uwzględnione w metodyce ICPP obejmują składowanie odchodów płynnych w zbiornikach zamkniętych i otwartych, składowanie odchodów stałych, wywóz odchodów na pole w cyklu dziennym oraz zagospodarowanie odchodów na pastwiskach i wybiegach. Całkowita emisja bezpośrednia z odchodów zwierzęcych jest sumą emisji obliczonych dla poszczególnych technologii zagospodarowania odchodów (z pominięciem wypasania, które zalicza się do bezpośredniej emisji z gleb). Ilość azotu wydalanego przez jedno zwierzę w zależności od gatunku podano w tabeli 1.

Tabela 1

Ilość azotu wydalanego przez jedno zwierzę w zależności od gatunku

Gatunek zwierząt	Ilość azotu w odchodach zwierzęcych (kg · rok ⁻¹)
Bydło mleczne	100
Bydło pozostałe	70
Drób	0,6
Owce	20
Trzoda chlewna	20
Pozostałe zwierzęta	25

Źródło: IPCC, 1996 (10).

Procedura obliczeń jest zgodna ze wzorem (4), ale tutaj jest ona rozdzielona na dwa etapy. W pierwszym etapie oblicza się ilość azotu wydalonego w odchodach zagospodarowywanych, według poszczególnych technologii na podstawie wzoru:

$$Nex_{(AWMS)} = \sum_{(T)} [N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot AWMS_{(T)}] \quad (6)$$

gdzie:

$Nex_{(AWMS)}$ – azot wydalony w określonej technologii zagospodarowania odchodów zwierzęcych AWMS [kg × rok⁻¹],

$N_{(T)}$ – liczba zwierząt gatunku T [szt.],

$Nex_{(T)}$ – azot wydalony przez jedno zwierzę gatunku T [kg N/zwierzę/rok]; (tab. 1),

$AWMS_{(T)}$ – udział procentowy technologii AWMS w produkcji azotu w zależności od gatunku zwierzęcia T [%].

Następnie sumuje się całkowite ilości podtlenku azotu wydalonego w odchodach w każdej technologii:

$$N_2O_{(AWMS)} = \sum [Nex_{(AWMS)} \cdot EF_{3(AWMS)}] \quad (7)$$

gdzie:

$N_2O_{(AWMS)}$ – całkowita ilość emitowanego N₂O wyrażona w kg azotu N₂ [kg N × rok⁻¹],

$Nex_{(AWMS)}$ – azot wydalony w technologii AWMS [kg N × rok⁻¹],

$EF_{3(AWMS)}$ – wskaźnik emisji dla technologii AWMS, określający ile azotu jest wydalane w formie N₂O, w danej technologii [kg N w N₂O/kg N razem]; (tab. 2).

Wskaźniki emisji EF₃ dla różnych technologii podano w tabeli 2. W celu przeliczenia masy podtlenku azotu z kg N₂ na kg N₂O wynik otrzymany na podstawie wzoru (2) należy pomnożyć przez 44/28 (gdzie 44 = 2 · 14+16 to masa cząsteczkowa N₂O, a 28 = 2 · 14 to masa cząsteczkowa N₂). Wielkość emisji N₂O należy podać w Gg (wynik w kg pomnożyć przez 10⁻⁶).

Tabela 2

Wskaźniki emisji EF₃ dla różnych technologii chowu zwierząt

Technologia	Wskaźnik emisji EF ₃ (kg/kg)
Zbiornik zamknięty	0,001 (<0,002)
Zbiornik otwarty	0,001 (<0,001)
Codzienny wywóz	0,0 (bez zakresu)
Odchody stałe	0,02 (0,005-0,03)
Pastwisko i wybieg	0,0 (bez zakresu)
Inna technologia	0,005

Źródło: IPCC, 1996 (10).

Emisja metanu. Metan powstaje w procesie beztlenowego rozkładu szczątków roślin o pochodzeniu naturalnym lub antropogenicznym (szczególnie z działalności rolniczej). Najważniejszymi źródłami metanu są: naturalne bagna, hodowla i chów 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 r. 25% wyemitowanego metanu pochodziło ze źródeł rolniczych (21). Dwa podstawowe źródła rolnicze to wydzieliny zwierzęce powstające w procesie fermentacji jelitowej (ok. 90%) i odchody zwierzęce (ok. 10%). Trzecie źródło (spalanie resztek poźniwnych) przyczynia się w znacznie mniejszym stopniu do zanieczyszczenia atmosfery (0,2%).

Ilość metanu emitowana w procesie fermentacji jelitowej zależy od liczby zwierząt, rodzaju układu pokarmowego oraz rodzaju i masy skarmianej paszy (3, 15). Najwięcej metanu produkują przeżuwacze (bydło, owce, kozy), które posiadają żołądek wielokomorowy i dzięki rozkładowi bakteryjnemu dobrze trawią pasze objętościowe o dużej zawartości włókna. Konie także dobrze trawią włókno roślinne, bowiem choć nie są przeżuwaczami, posiadają ślepe jelito pełniące podobną funkcję jak żwacz. Należy je więc zaliczyć do grupy zwierząt-producentów metanu. Pozostałe zwierzęta hodowlane (tzn. nieprzeżuwające, np. świnie) nie trawią włókna prawie wcale.

Drugim ważnym źródłem metanu w rolnictwie są nawozy naturalne, rozkładające się w warunkach beztlenowych (15, 28). Powstająca ilość metanu zależy od masy nawozu i technologii ich zagospodarowania (sposobu przechowywania). Technologią najbardziej niekorzystną z punktu widzenia emisji metanu jest składowanie gnojówki i gnojowicy w zbiornikach otwartych. Przy składowaniu obornika penetracja powietrza ogranicza występowanie warunków beztlenowych. Bezpośrednie wywożenie nawozów naturalnych na pole (z krótkotrwałym tylko składowaniem lub z pominięciem składowania) jest ze względu na zanieczyszczenie środowiska metanem rozwiązaniem stosunkowo najkorzystniejszym.

Biorąc pod uwagę wytyczne do metodyki inwentaryzacji emisji CH₄ przez rolnictwo, opracowane przez IPCC (9), w warunkach Polski należy uwzględnić trzy źródła emisji metanu: fermentację jelitową, nawozy naturalne i spalanie resztek poźniwnych.

Emisja całkowita metanu w skali rocznej. Całkowita emisja metanu oceniana według metodyki IPCC jest sumą emisji z poszczególnych źródeł (fermentacja jelitowa, nawozy naturalne i spalanie resztek poźniwnych). Ze względu na bardzo niewielki udział metanu pochodzącego ze spalania resztek poźniwnych – 0,24% (21, 22) w niniejszej inwentaryzacji to źródło metanu pominięto.

Metan pochodzący z fermentacji jelitowej. Zarówno przeżuwacze, jak i zwierzęta nieprzeżuwające są źródłem metanu. Ilość wytwarzanego CH₄ zależy od gatunku, wieku i ciężaru zwierzęcia oraz rodzaju i ilości paszy. Poziom 1 uwzględnia tylko gatunek zwierząt. Wielkość emisji metanu z fermentacji jelitowej oblicza się jako iloczyn współczynnika emisji (innego dla każdego gatunku i liczby zwierząt hodowlanych). Całkowita emisja jest sumą emisji wszystkich gatunków zwierząt (9). Współczynniki emisji podano w tabeli 3.

Tabela 3

Współczynniki emisji metanu z fermentacji jelitowej (zmiany w stosunku do metodyki obowiązującej do roku 2006)

Nr	Gatunek zwierząt	Współczynnik emisji CH ₄ (kg/szt/rok)	
		przed 2006 r.	po 2006 r.
1.	Bydło mleczne 4200 l/rok	100	89
2.	Bydło pozostałe	56	58
3.	Owce	8	8
4.	Kozy	5	5
5.	Konie	18	18
6.	Trzoda chlewna	1,5	1,5
7.	Drób	nie szacuje się	

Źródło: IPCC, 1996 i 2006 (9 i 13).

Metan pochodzący z nawozów naturalnych. Metan z nawozów naturalnych powstaje podczas ich rozkładu w warunkach beztlenowych. Warunki takie występują najczęściej w technologiach produkcji zwierzęcej charakteryzujących się dużym zagęszczeniem zwierząt na jednostce powierzchni (fermy bydła mlecznego, trzody chlewniej i drobiu). Wielkość emisji metanu z nawozów naturalnych oblicza się, podobnie jak w przypadku fermentacji jelitowej, jako iloczyn współczynnika emisji właściwego dla gatunku i liczby zwierząt hodowlanych. Współczynniki emisji zależą przede wszystkim od konsystencji nawozów i sposobu ich zagospodarowania. Postać ciekła odchodów najbardziej sprzyja powstawaniu warunków beztlenowych i dlatego współczynniki emisji są w tym przypadku najwyższe. Mniej intensywna emisja metanu ma miejsce przy składowaniu obornika, a najmniej intensywna przy cyklicznym wywożeniu i rozrzucaniu nawozów na polu. Współczynniki emisji zależą także od średniej rocznej temperatury powietrza. Metodyka IPCC uwzględnia trzy zakresy temperatury: chłod-

ny, umiarkowany i ciepły. Dla Polski przyjęto zakres chłodny na całym jej obszarze. Średnia temperatura roczna w naszym kraju mieści się w granicach -3°C do $+9^{\circ}\text{C}$ w zależności od położenia geograficznego (4), tzn. w żadnym miejscu nie przekracza górnej granicy ($+15^{\circ}\text{C}$) zakresu chłodnego podanej w metodyce IPCC (9).

Całkowitą emisję metanu z odchodów zwierzęcych oblicza się jako sumę emisji dla głównych gatunków zwierząt (9). Współczynniki emisji z odchodów zwierzęcych podano w tabeli 4. W największym stopniu do emisji metanu (w przeliczeniu na sztukę) przyczyniają się odchody bydła i trzody chlewnej.

Tabela 4

Współczynniki emisji metanu z odchodów zwierzęcych

Nr	Gatunek zwierząt	Współczynnik emisji CH_4 (kg/szt./rok)
1.	Bydło mleczne	6
2.	Bydło pozostałe	4
3.	Owce	0,19
4.	Kozy	0,12
5.	Konie	1,39
6.	Trzoda chlewna	4
7.	Drób	0,078

Źródło: IPCC, 1996 (9)

Omówienie wyników

W tabeli 5 zamieszczono wyniki obliczeń emisji podtlenku azotu i metanu dla danych z roku 2004 według metodyki IPCC z 1996 roku (9, 10, 11) oraz z 2006 r. (13, 14). Szacunki emisji według poprawionej metodyki są mniejsze zarówno dla metanu (o ok. 5%), jak i dla podtlenku azotu (ok. 12%).

Wyniki zbiorcze (dla Polski) zestawiono także z wynikami z bazy danych AirEmissionDB prowadzonej przez Instytut Ochrony Środowiska (1); (tab. 6 i 7). Wyniki szacunku emisji metanu i podtlenku azotu wykonane w IUNG-PIB są co najmniej kilkanaście procent wyższe niż przeprowadzone w IOŚ. Różnice mogą mieć źródło zarówno w danych, jak i w metodyce.

W obliczeniach ilości odchodów (dla oceny emisji CH_4 i N_2O) przeprowadzonych w IUNG wszystkie zwierzęta niezależnie od wieku traktowano jako osobniki dorosłe, co choć jest zgodne z metodyką IPCC (poziom 1) prowadzi jednak do zawyżenia wyników. Podobnie posłużenie się współczynnikami emisji z metodyki IPCC może stanowić źródło błędów, prowadząc do wyników przybliżonych.

Wyniki obliczeń emisji metanu i podtlenku azotu w latach 1999–2004 wykonanych według metodyki IPCC z 2006 r. (13, 14) przedstawiono na rysunkach 1a-6e. Ze

Tabela 5

Porównanie wielkości emisji CH₄ i N₂O dla źródeł rolniczych w Polsce w roku 2004 obliczonych na podstawie metodyki IPCC z 1996 i 2006 roku

Lp.	Źródło emisji CH ₄	IPCC 1996	IPCC 2006	Źródło emisji N ₂ O	IPCC 1996	IPCC 2006
1.	Fermentacja jelitowa	456,22	430,92	Gleby	43,23	34,49
2.	Odchody zwierząt	103,50	103,50	Odchody zwierząt	28,10	28,10
3.	Spalanie resztek poźniwnych	0,00	0,00	Spalanie resztek poźniwnych	0,00	0,00
4.	Razem źródła rolnicze	559,72	534,42	Razem źródła rolnicze	71,33	62,59

Źródło: IPCC, 1996 i 2006 (9-11, 13, 14).

Tabela 6

Porównanie wielkości emisji CH₄ dla źródeł rolniczych w Polsce

Lp.	Źródło emisji CH ₄	2000		2001		2002		2003	
		IUNG	IOŚ	IUNG	IOŚ	IUNG	IOŚ	IUNG	IOŚ
1.	Fermentacja jelitowa	462,55	432,16	449,38	413,72	462,55	397,62	430,58	397,12
2.	Odchody zwierząt	102,23	36,08	103,01	35,71	102,23	36,49	101,04	43,72
3.	Spalanie resztek poźniwnych	0,00	1,18	0,00	1,28	0,00	1,15	0,00	1,07
4.	Razem źródła rolnicze	564,79	469,42	552,39	450,71	564,79	435,27	531,62	441,97

Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 7

Porównanie wielkości emisji N₂O dla źródeł rolniczych w Polsce

Lp.	Źródło emisji N ₂ O	2000		2001		2002		2003	
		IUNG	IOŚ	IUNG	IOŚ	IUNG	IOŚ	IUNG	IOŚ
1.	Gleby	35,02	34,55	35,12	34,56	34,45	33,61	32,04	34,11
2.	Odchody zwierząt	27,44	18,65	28,06	18,19	27,48	17,43	26,58	18,80
3.	Spalanie resztek poźniwnych	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	-	0,00	0,05
4.	Razem źródła rolnicze	62,46	53,26	63,18	52,82	61,93	51,10	58,62	52,96

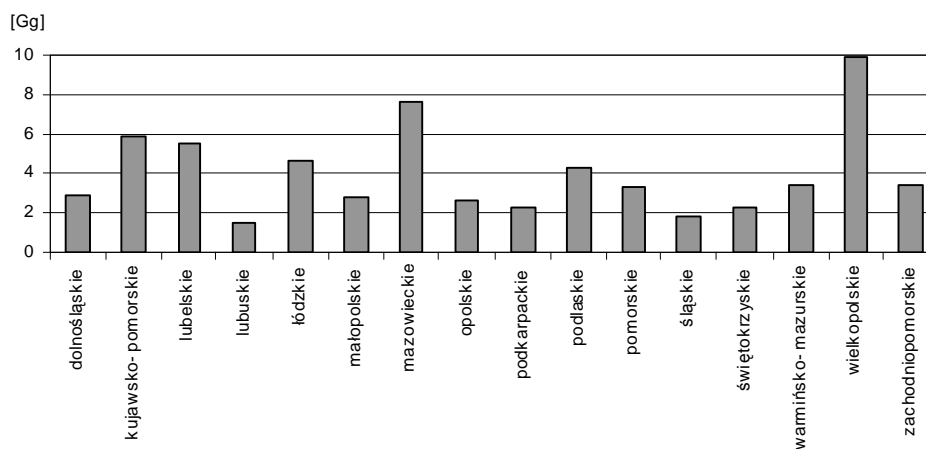
Źródło: Obliczenia własne.

względu na dużą liczbę rysunków w układzie powtarzającym się w latach, uznano za celowe wprowadzenie pewnego porządku do sposobu ich oznaczenia. Oznaczenia liczbowe (1-6) odniesiono do kolejnych lat szacunku emisji (1999–2004). Symbole literowe odniesiono do treści rysunku według następującego schematu:

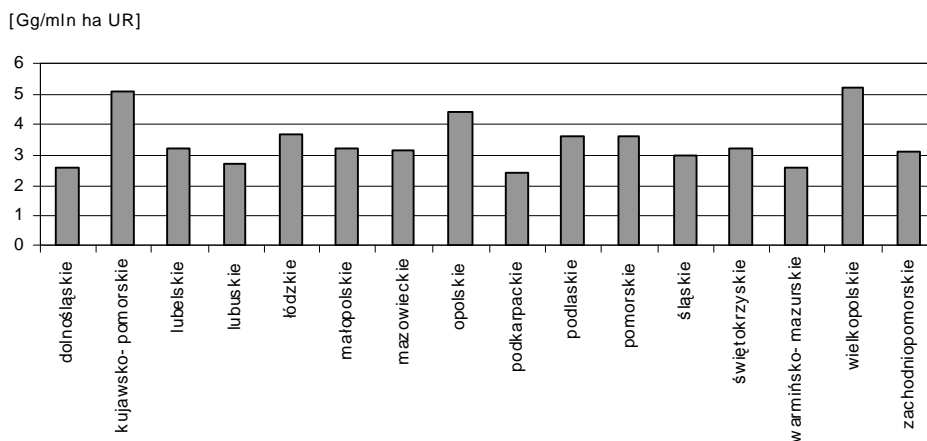
- a – łączna emisja podtlenku azotu [Gg],
- b – łączna emisja podtlenku azotu [Gg/mln ha UR],
- c – łączna emisja podtlenku azotu [Gg] w podziale na źródła (odchody i gleby),
- d – łączna emisja metanu [Gg],
- e – łączna emisja metanu [Gg/mln ha UR],
- f – łączna emisja metanu [Gg] w podziale na źródła (odchody i fermentacja jelitowa),

gdzie: Gg/mln ha UR – emisja jednostkowa w Gg na powierzchnię użytków rolnych w województwie w mln ha.

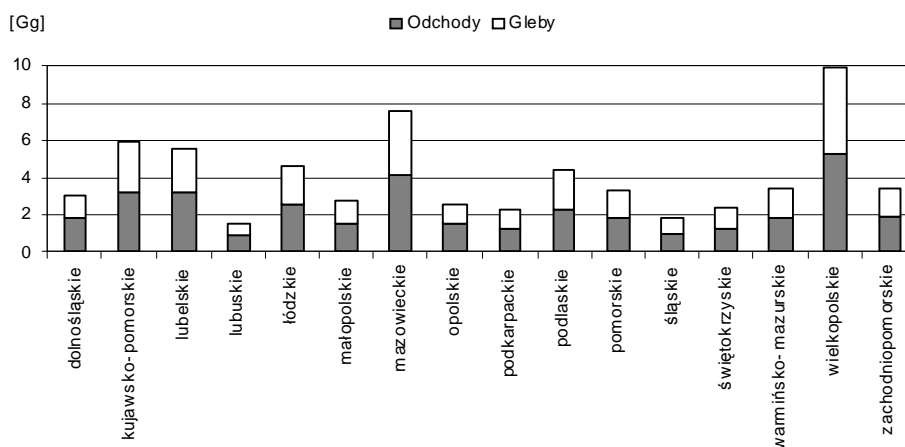
Autor żywi nadzieję, że wprowadzenie takiego kodu ułatwi szybkie odnalezienie rysunków z różnych lat w celu ich porównania.



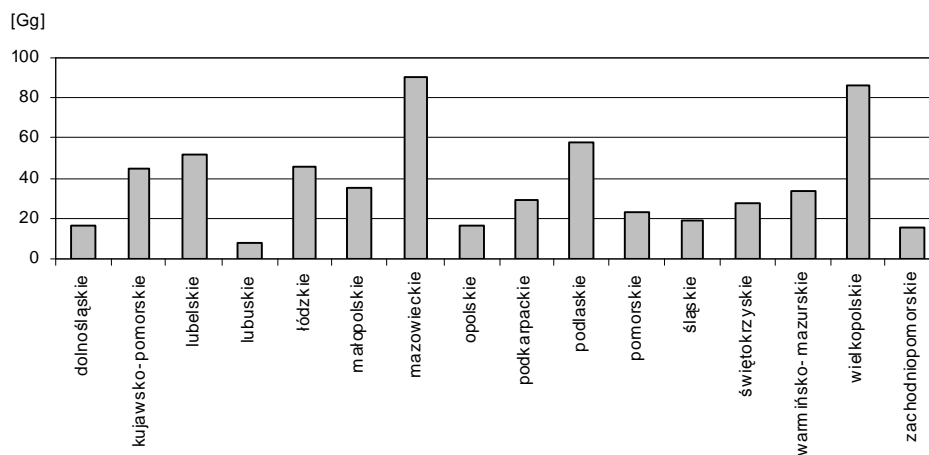
Rys. 1a. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 1999 roku



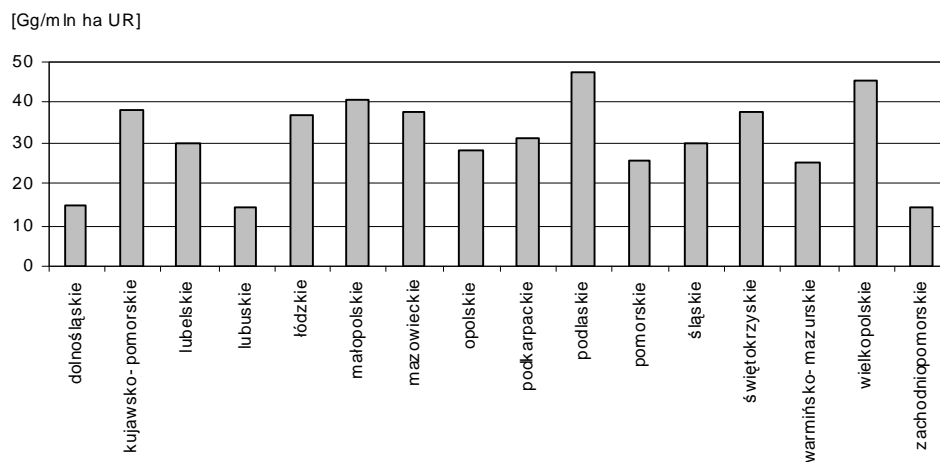
Rys. 1b. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 1999 roku



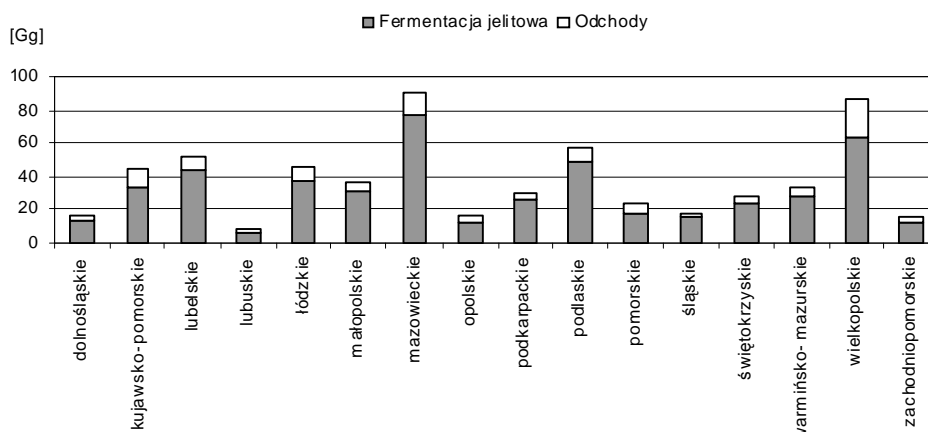
Rys. 1c. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 1999 roku, w podziale na źródła



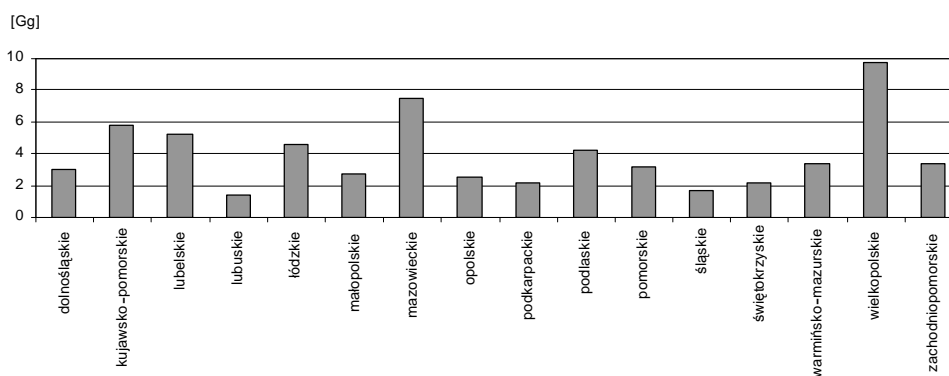
Rys. 1d. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 1999 roku



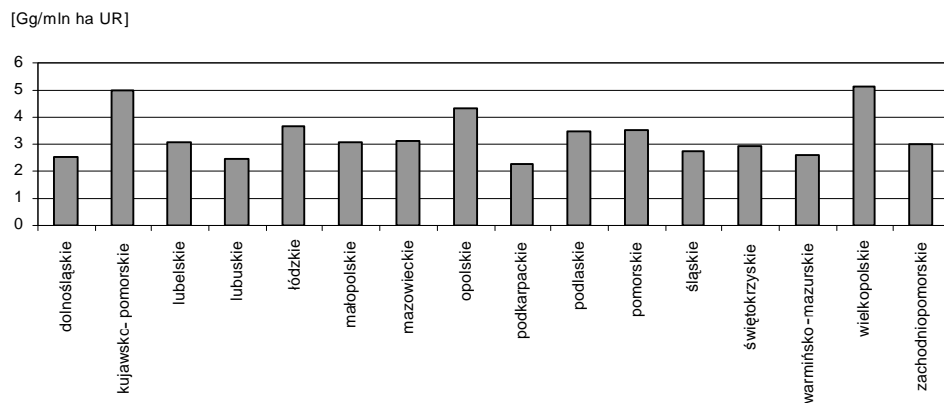
Rys. 1e. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 1999 roku



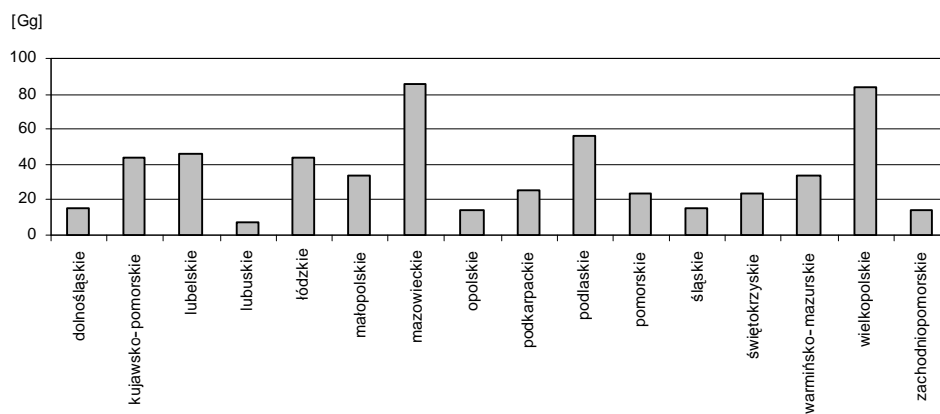
Rys. 1f. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 1999 roku, w podziale na źródła



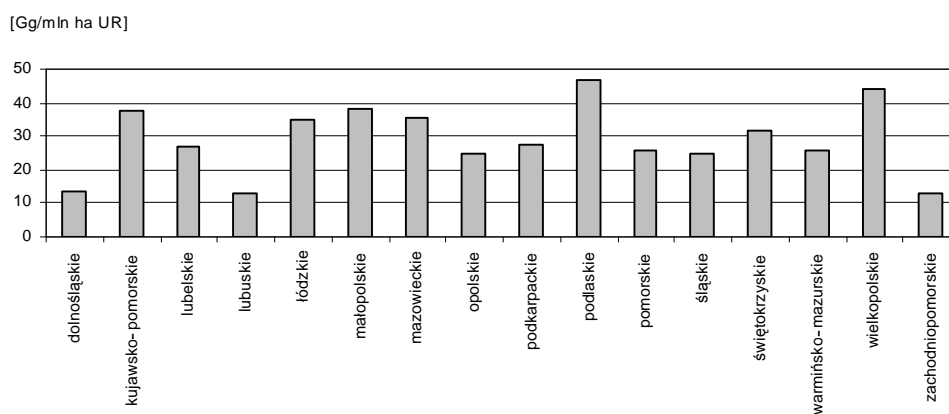
Rys. 2b. Emisja podtlenu azotu ze źródeł rolniczych w 2000 roku



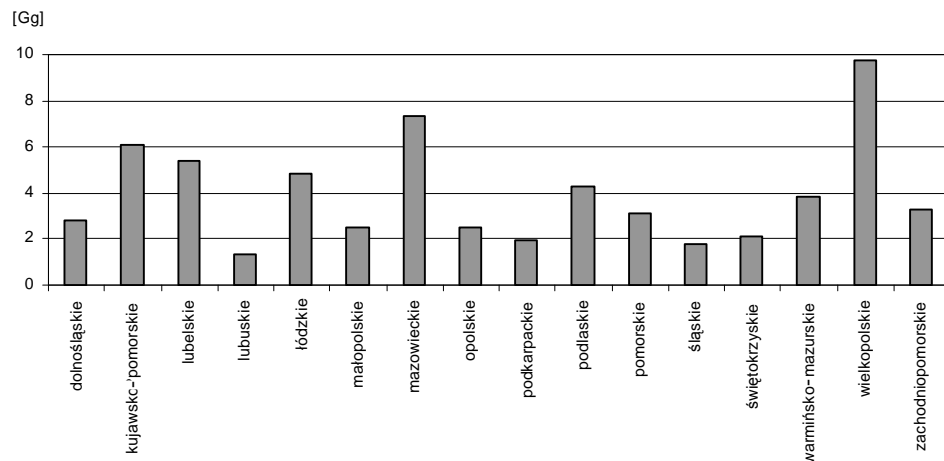
Rys. 2b. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 2000 roku



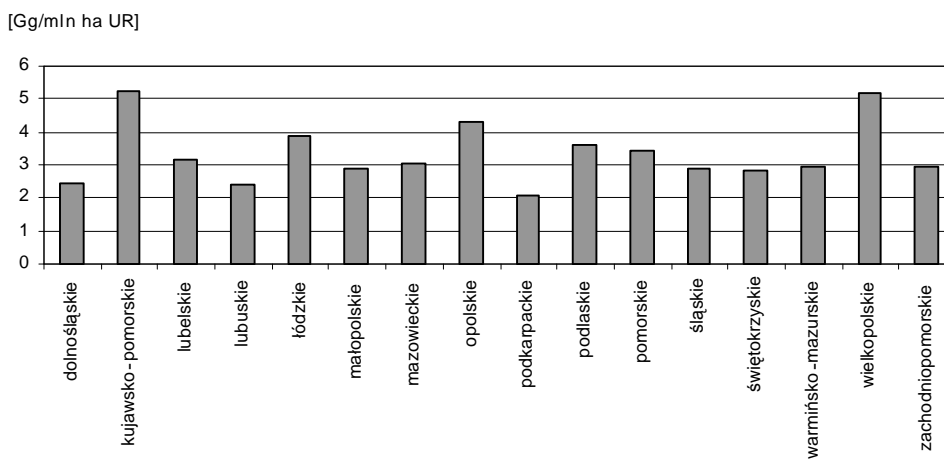
Rys. 2d. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2000 roku



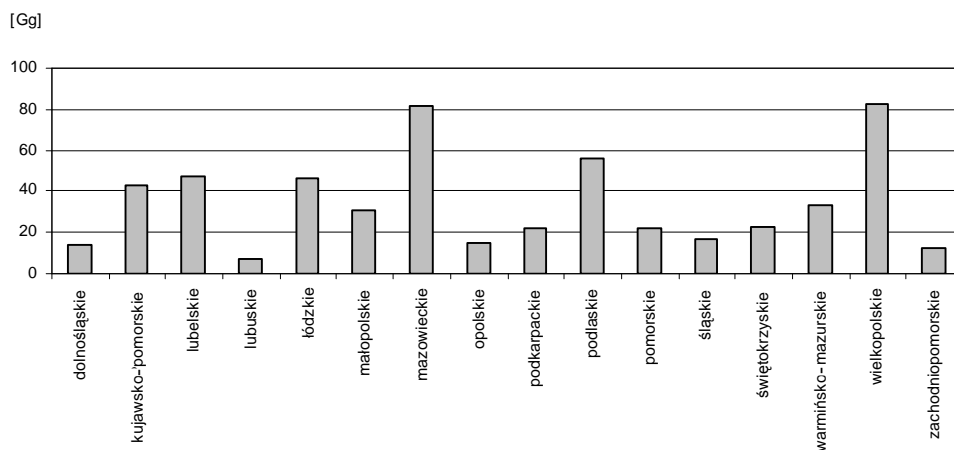
Rys. 2e. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2000 roku



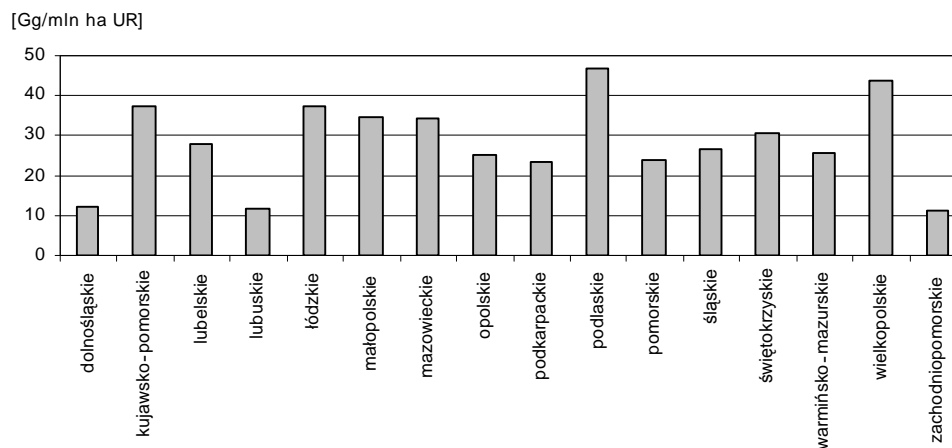
Rys. 3a. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 2001 roku



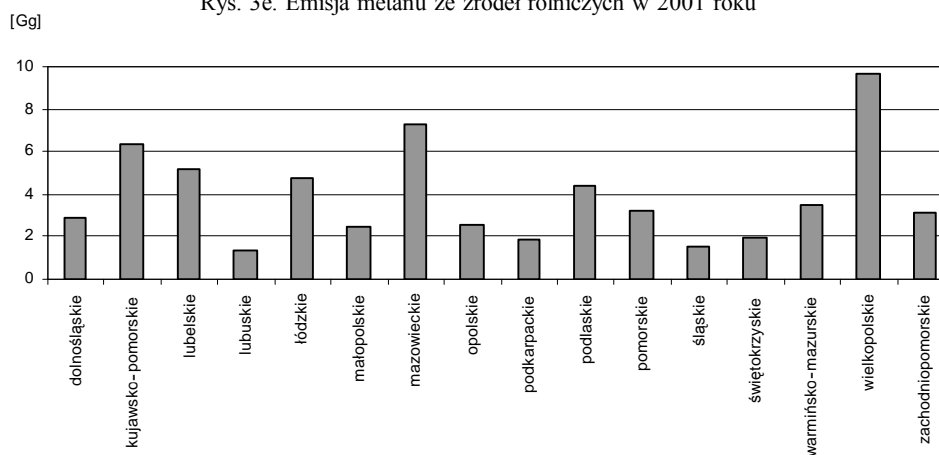
Rys. 3b. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 2001 roku



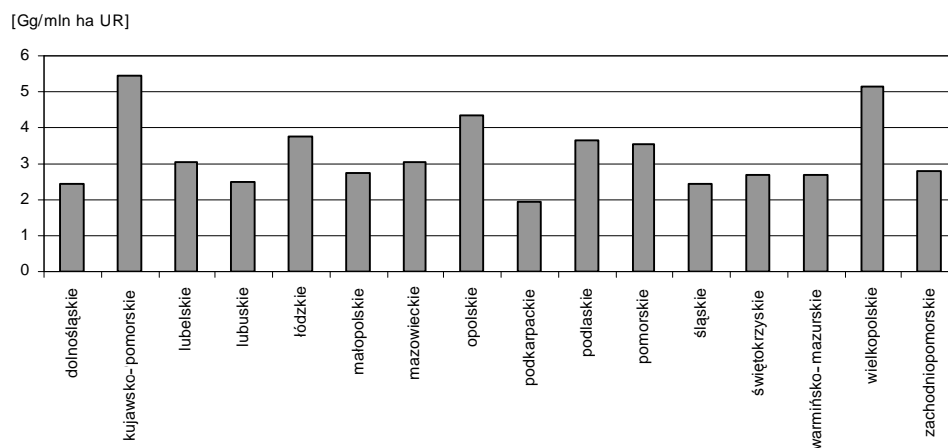
Rys. 3c. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2001 roku



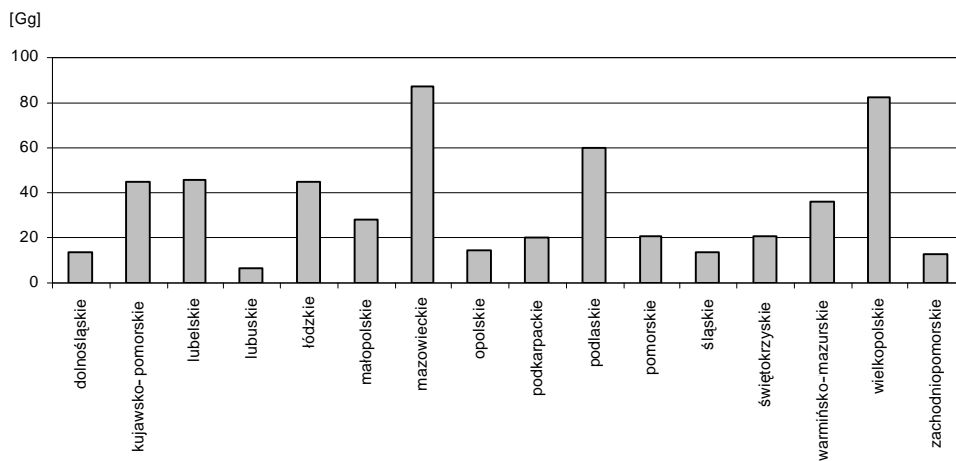
Rys. 3e. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2001 roku



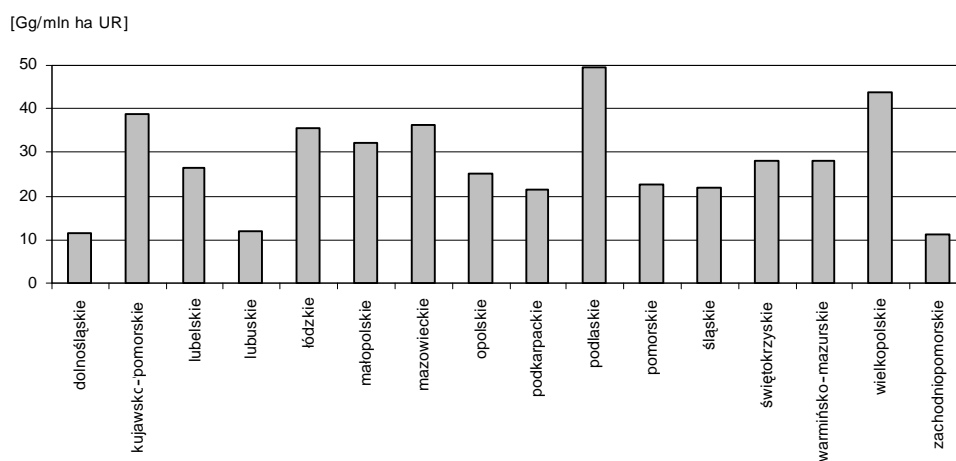
Rys. 4a. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 2002 roku



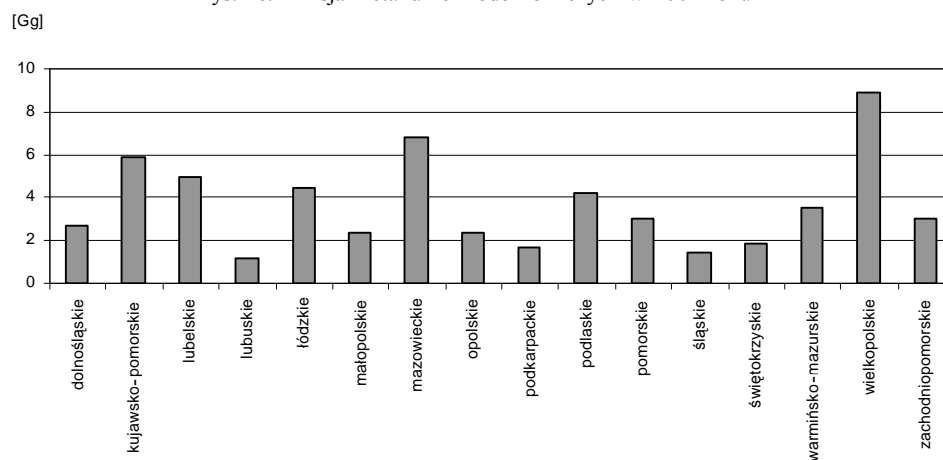
Rys. 4b. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 2002 roku



Rys. 4d. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2002 roku

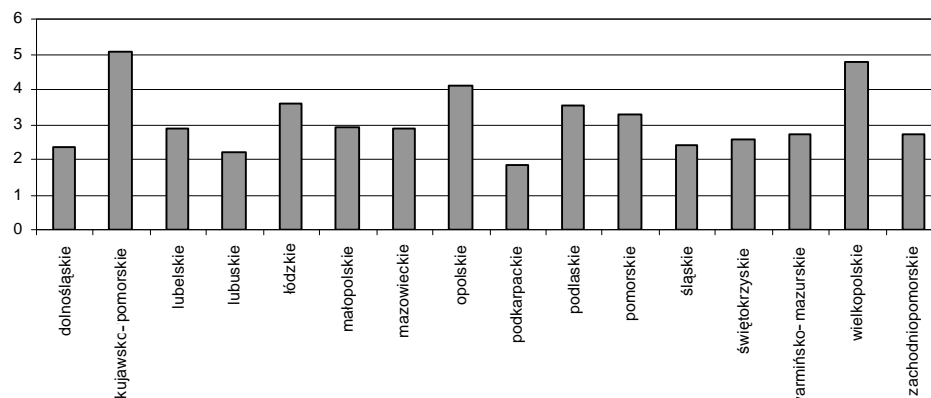


Rys. 4e. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2002 roku



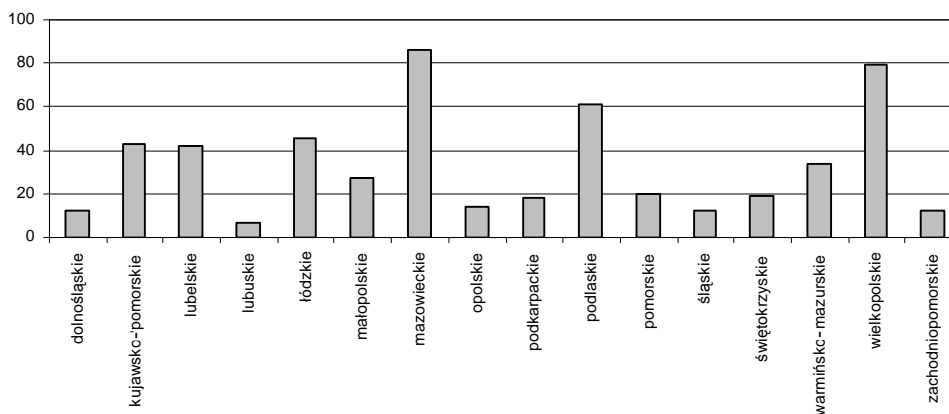
Rys. 5a. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 2003 roku

[Gg/min ha UR]



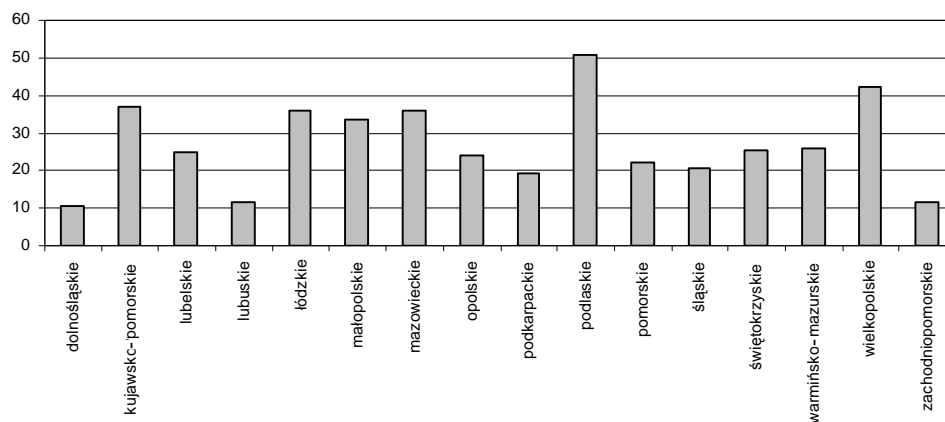
Rys. 5b. Emisja podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w 2003 roku

[Gg]

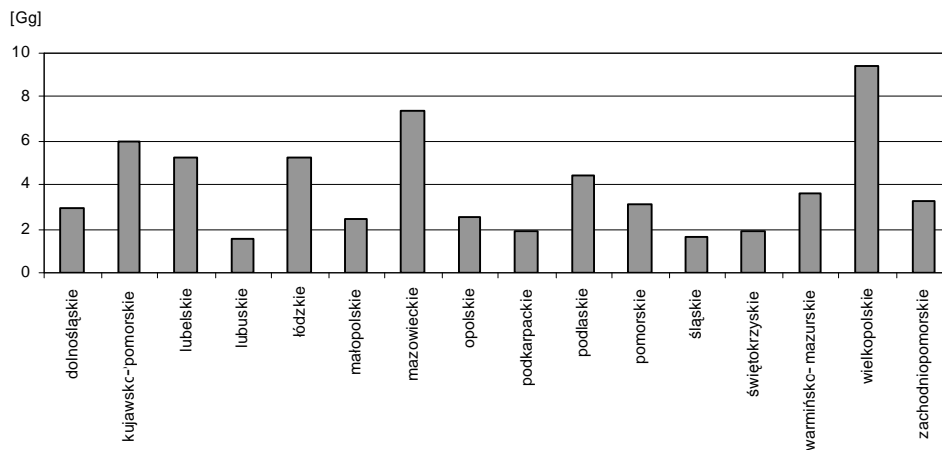


Rys. 5d. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2003 roku

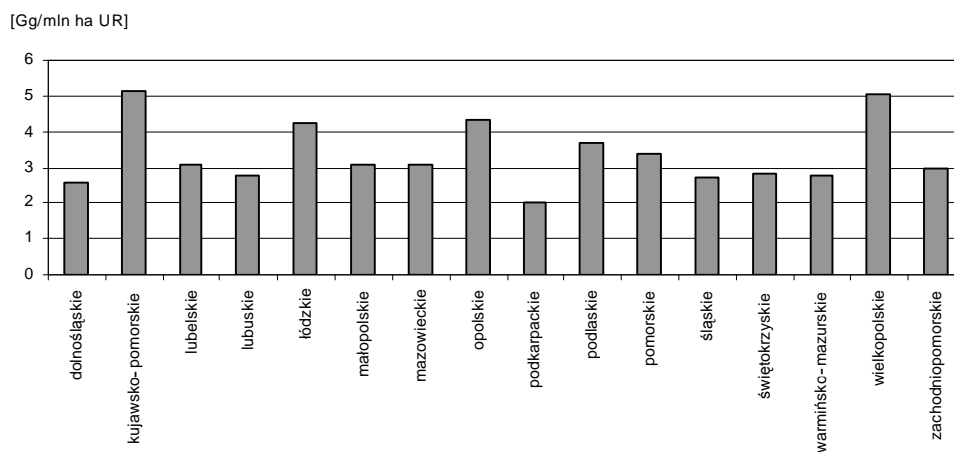
[Gg/min ha UR]



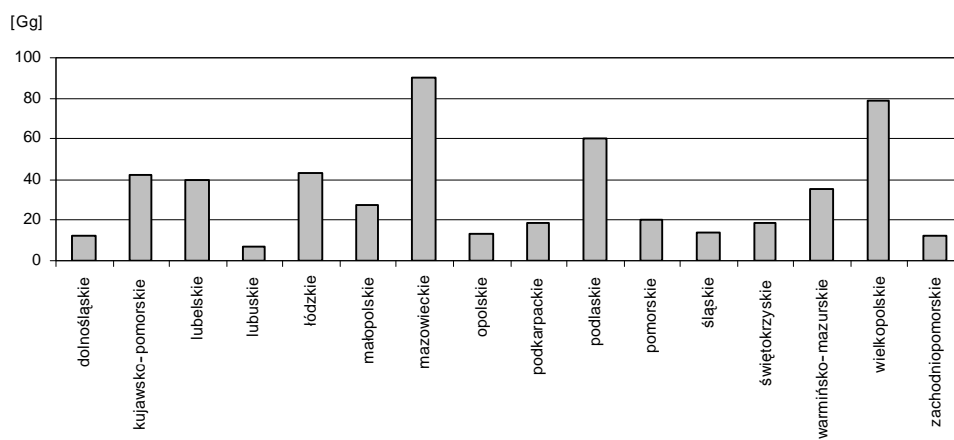
Rys. 5e. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2003 roku



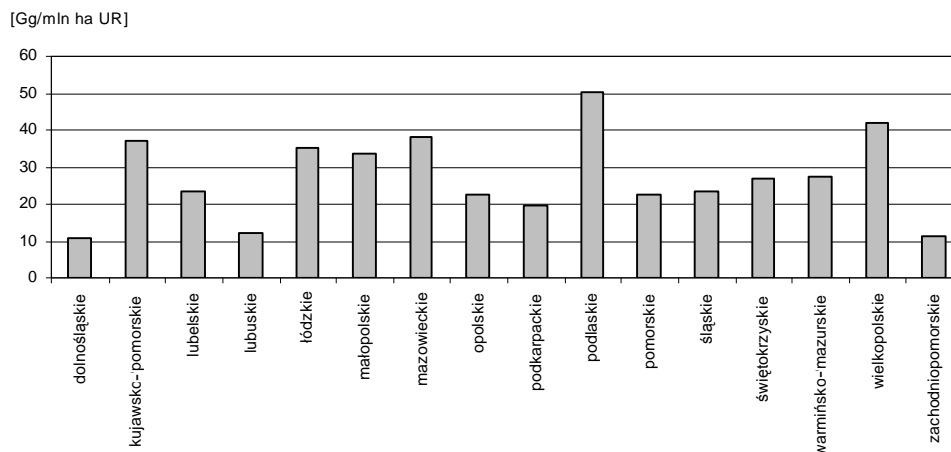
Rys. 6a. Emisja podtlenu azotu ze źródeł rolniczych w 2004 roku



Rys. 6b. Emisja podtlenu azotu ze źródeł rolniczych w 2004 roku



Rys. 6d. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2004 roku



Rys. 6e. Emisja metanu ze źródeł rolniczych w 2004 roku

Już z pobieżnej analizy danych zamieszczonych na rysunkach 1a i 1b wynika, że rozkład emisji całkowitej podtlenku azotu różni się od rozkładu emisji jednostkowej w województwach. Na przykład w woj. mazowieckim całkowita emisja wyniosła 7,64 Gg, a w opolskim 2,59 Gg, natomiast emisja jednostkowa odpowiednio 3,19 i 4,44 Gg/mln ha UR. Różnice te w tym przypadku wynikają ze znacznie większego zużycia nawozów azotowych w woj. opolskim, które wynosiło w 1999 roku średnio 68,22 kg/ha, natomiast w woj. mazowieckim tylko 35,43 kg/ha UR. Emisja jednostkowa podtlenku azotu pochodząca z odchodów jest w obydwu województwach zbliżona (ok. 0,42 Gg/mln ha UR). Generalnie, wspomniane różnice mogą być spowodowane także obsadą zwierząt na 1 mln ha UR. Wielkość powierzchni użytków rolnych wpływa także w różny sposób na kształtowanie się emisji jednostkowej metanu i podtlenku azotu w województwach (w porównaniu z emisją całkowitą). Wynika to ze źródeł emisji; metan pochodzi bowiem głównie z produkcji zwierzęcej, natomiast podtlenek azotu z produkcji roślinnej. Sposób wykorzystania użytków rolnych przez te dwa typy produkcji jest inny. Około 90% emisji metanu pochodzi z fermentacji jelitowej (porównaj rys. 1f), co jest także potwierdzone przez dane literaturowe (21).

Z porównania rysunków 1a-6a (emisja podtlenku azotu w Gg), a także 1d-6d (emisja metanu w Gg) wynika, że różnice w emisji między latami w tym samym województwie są niewielkie, znacznie większe są różnice między województwami. Świadczy to, że zmiany w produkcji roślinnej w poszczególnych województwach odnośnie głównych upraw i zużycia nawozów azotowych, a także w produkcji zwierzęcej (połowie bydła) nie były duże w latach 1999–2004.

Porównując emisje całkowite podtlenku azotu (rysunki oznaczone literą „a”) i metanu (rysunki „d”) z emisjami jednostkowymi (odpowiednio rysunki „b” i „e”) w latach należy zauważyć większe „wyrównanie” wartości jednostkowych w województwach. Przy czym wartości jednostkowe emisji podtlenku azotu są bardziej wyrównane niż wartości jednostkowe emisji metanu (porównaj np. rys. 4a i 4b oraz

4d i 4e). Wynika to z silniejszego związku produkcji roślinnej z wielkością powierzchni użytków rolnych w porównaniu z produkcją zwierzęcą (innymi słowy, produkcja zwierzęca nie jest zależna od powierzchni użytków rolnych w takim stopniu, jak produkcja roślinna).

Podsumowanie

W pracy przedstawiono szacunek emisji metanu i podtlenku azotu przeprowadzony w układzie województw dla danych GUS za lata 1999–2004. Do szacunku wykorzystano współczynniki emisji IPCC (poziom 1). Ponieważ zastosowana metodyka nie uwzględnia różnic wiekowych zwierząt, można sądzić, że emisja zarówno metanu, jak i podtlenku azotu jest w rzeczywistości mniejsza. Opracowanie współczynników emisji na podstawie szczegółowych danych krajowych pozwoliłoby na zwiększenie dokładności obliczeń. Przykładowo, udział poszczególnych technologii chowu w produkcji azotu w zależności od gatunku zwierząt można uwzględnić osobno dla każdego województwa. Pozwoliłoby to na lepsze wyjaśnienie przyczyny różnic między województwami.

Literatura

1. AirEmissionDB.: Polish Air Emissions Database. IOŚ, Warszawa, 2006. 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. Gibbs M., Conneely D., Johnson D., Lasse K. R., Ulyatt M. J.: CH₄ 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. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/gpg-bgp.htm
4. Górski T., Górská K., Wróblewska E., Zaliwski A., Posielski K.: Atlas agroklimatyczny Polski. Średnia temperatura roku. IUNG Puławy, 1998. www.zazi.iung.pulawy.pl/Documents/MA_Mapy_pl.htm.
5. GUS: Rolnictwo w 2004 r. Dział III. Podstawowe dane o rolnictwie w przekroju wojewódzkim w 2004 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2005. www.stat.gov.pl/dane_spol-gosp/rolnic_lesnict_środowi/rolnictwo/2004/2004/.
6. GUS: Roczniki statystyczne województw. 2005.
7. GUS: Bank Danych Regionalnych: Dane dla jednostki podziału terytorialnego, wg województw. Główny Urząd Statystyczny, 2006. www.stat.gov.pl/bdr/bdrap.dane_cechter.nts
8. IOŚ. Protokół z Kioto. Baza danych o międzynarodowych konwencjach ekologicznych. Instytut Ochrony Środowiska, 2003. kon-ekol.ios.edu.pl/
9. IPCC: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 1996, Vol. 3. Agriculture. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6c.htm.
10. IPCC: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual. 1996, Vol. 3. Agriculture. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6c.htm
11. IPCC: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Greenhouse Gas Inventory Software for the Workbook. 1996. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.htm
12. IPCC: Greenhouse Gas Inventory Software for the Workbook + Instruction Manual. 1998. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.htm.

13. IPCC: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. 2006. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm
14. IPCC: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. 2006. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm
15. Jun P., Gibbs M., Gaffney K.: CH₄ and N₂O emissions from livestock manure. In: Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 2002.
16. Kondratie w K.: Globalny klimat i jego zmienienie. Nauka, Moskwa, 1987.
17. Kożuchowski K. (red.): Meteorologia i klimatologia. PWN Warszawa, 2005, ss. 321.
18. MŚ: Polityka ekologiczna państwa na lata 2007–2010. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2006. www.mos.gov.pl/2materialy_informacyjne/raporty_opracowania/pep.pdf
19. Nevison C.: Indirect N₂O emissions from agriculture. In: Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 2002.
20. Oenema O., Amon B., Gnapel L., Groenestein K., Heinemeyer O., van Aardenne J., van Amstel A.: N₂O emissions from animal waste management systems. In: Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 2002.
21. Olen drzyński K. i in.: Inwentaryzacja emisji do powietrza za rok 2003. IOŚ, Warszawa, 2005.
22. Olen drzyński K.: Inwentaryzacja emisji gazów cieplarnianych i ich prekursorów za rok 2002. IOŚ, Warszawa, 2004.
23. Różański K.: Antropogeniczne zmiany klimatu: mit czy rzeczywistość? Postępy Fizyki, 2002, **(53D)**: 162-168.
24. Smith K., Bouwman L., Braatz B.: N₂O: direct emissions from agricultural soils. In: Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 2002.
25. Stankiewicz A.: Systematyka gleb Polski. Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, 2005. culex.biol.uni.wroc.pl/instbot/stankiew/system.htm
26. UN: Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations. 1998. unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf
27. Zaliw ski A. S.: Opracowanie metodyki inwentaryzacji emisji gazów cieplarnianych (podtlenku azotu i metanu) w przekroju województw. Zadanie szczegółowe w zadaniu PIB 1.2 pt. „Opracowanie wskaźników oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego”. Maszynopis, str. 23. IUNG-PIB Puławy, 2006.
28. Zeeman G., Gerbens S.: CH₄ emissions from animal manure. In: Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 2002.

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

