

Wpłynęło 25.06.2012 r.  
Zrecenzowano 25.09.2012 r.  
Zaakceptowano 20.11.2012 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# OCENA BEZPOŚREDNIEJ EMISJI N<sub>2</sub>O Z GLEB UŻYTKOWANYCH ROLNICZO WOJEWÓDZTWA WIELKOPOLSKIEGO W LATACH 1960–2009 WEDŁUG METODOLOGII IPCC

Jędrzej NYCKOWIAK<sup>ABCDEF</sup>, Jacek LEŚNY<sup>ADE</sup>, Janusz OLEJNIK<sup>DE</sup>

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Meteorologii

## Streszczenie

Koncentracja podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O) w atmosferze zwiększyła się z 270 ppb w okresie preindustrialnym do 322 ppb w 2008 r. Główną przyczyną tego wzrostu jest emisja N<sub>2</sub>O z gleb użytkowanych rolniczo. W niniejszej pracy, wykorzystując dane statystyczne Głównego Urzędu Statystycznego (GUS), estymowano wielkość emisji N<sub>2</sub>O metodą zalecaną przez IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Estymacja ta dotyczy wyłącznie gleb, na których uprawiane są: zboża, ziemniaki, buraki oraz kukurydza. Określono roczną emisję bezpośrednią z gleb użytkowanych rolniczo w województwie wielkopolskim w latach 1960–2009. W okresie tym stwierdzono wzrost emisji, wynikający przede wszystkim ze wzrostu nawożenia azotowego, zależność ta jest zdeterminowana na poziomie  $R^2 = 0,88$ . Roczna emisja bezpośrednia N<sub>2</sub>O z gleb użytkowanych rolniczo w województwie wielkopolskim zwiększyła się z 0,91 kg N<sub>2</sub>O-N·ha<sup>-1</sup> w 1960 r. do 2,35 kg N<sub>2</sub>O-N·ha<sup>-1</sup> w 2009 r., średnia wartość tej emisji we wspomnianym okresie wynosiła 1,80 ± 0,10 kg N<sub>2</sub>O-N·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>.

**Słowa kluczowe:** gazy cieplarniane, GHG, gleby rolne, IPCC, podtlenek azotu

## WSTĘP

Polska, jako strona protokołu z Kioto, deklarowała zmniejszenie od 13 grudnia 2002 r. emisji gazów cieplarnianych o 6% [Ministerstwo Środowiska 2006] w stosunku do roku bazowego 1988. Zgodnie z Ramową Konwencją Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) każdy kraj wyszczególniony w Aneksie I tej kon-

**Do cytowania For citation:** Nyckowiak J., Leśny J., Olejnik J. 2012. Ocena bezpośredniej emisji N<sub>2</sub>O z gleb użytkowanych rolniczo województwa wielkopolskiego w latach 1960–2009 według metodologii IPCC. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 4(40) s. 203–215.

wencji (również Polska) jest zobowiązany corocznie przeprowadzać inwentaryzację wielkości emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych (GHG). Są to dane niezbędne do budowania nowych, dokładniejszych scenariuszy emisji. Większość z obecnie zakładanych scenariuszy [KRAM i in. 2000; NAKICENOVIC 2000] mówi o nieuniknionym wzroście zawartości GHG w atmosferze w najbliższych kilku dekadach. Najważniejsze gazy cieplarniane, poza parą wodną, to  $N_2O$ ,  $CH_4$  oraz  $CO_2$ . Z wymienionych gazów najdłuższy czas istnienia w atmosferze ma podtlenek azotu (114 lat). W celu ilościowej oceny wpływu poszczególnych związków na efekt cieplarniany opracowano wskaźnik GWP („potencjał tworzenia efektu cieplarnianego” od ang. „global warming potential”), przyjmując  $GWP = 1$  dla dwutlenku węgla ( $GWP$  dla podtlenku azotu = 310) [FORSTER i in. 2007]. Koncentracja  $N_2O$  w atmosferze zwiększyła się z ok. 270 ppb w czasach preindustrialnych [BATTLE i in. 1996; FLUCKIGER 1999] do 322 ppb w 2008 r. [WMO 2009]. Do wzrostu stężenia  $N_2O$  w atmosferze niewątpliwie przyczynia się jego emisja z terenów rolniczych. Jest ona spowodowana prawie dziesięciokrotnym zwiększeniem zużycia nawozów azotowych w ostatnim półwieczu [NYČKOWIAK 2011]. Głównym źródłem globalnej emisji  $N_2O$  jest gleba [FRENEY 1997; MOSIER i in. 1998; SAPEK 1998; 2000], odpowiada ona za 2/3 całkowitej emisji tego gazu [FLUCKIGER i in. 2004]. Z tego względu celem pracy było wykazanie zmienności w wielkościach emisji  $N_2O$  z gleb użytkowanych rolniczo na terenie województwa wielkopolskiego w latach 1960–2009.

Większość scenariuszy emisji bazuje na danych statystycznych dotyczących nawożenia azotowego [BEAUCHAMP 1997]. Jednak emisja  $N_2O$  z gleb nie jest tylko i wyłącznie zależna od ilości wprowadzonego nawozu azotowego do gleby [OENEMA, SAPEK 2000]. Zależy ona przede wszystkim od intensywności procesów nityfikacji i denityfikacji [SAPEK 2002], które są z kolei zależne od wielu innych czynników, np.: klimatu, właściwości gleby, czy też zabiegów agrotechnicznych [DAVIDSON, VERCHOT 2000; GRANLI, BOCKMAN 1994]. Emisja ta zależy również od ilości azotu wymywanego z gleb, co prowadzi do ich zubożenia w azot [EULENSTEIN i in. 2008]. Szczególnie ważne są interakcje zachodzące między tymi czynnikami w czasie i przestrzeni [DOBBIE, SMITH 2003; FLESSA i in. 1995]. Opracowano wiele modeli numerycznych, pozwalających oszacowywać wielkość emisji/pochłaniania zarówno azotu, jak i węgla [BATTLE-AGUILAR i in. 2011; WATTENBACH i in. 2010]. Niestety, modele te wymagają bardzo dużej ilości szczegółowych danych wejściowych. W skali lokalnej można pozyskać odpowiednio szczegółowe dane, natomiast w skali regionalnej jest to często utrudnione i takie dane nie są dostępne. Z tego względu w niniejszej pracy wielkość emisji/pochłaniania szacowano na podstawie wytycznych, zawartych w „Good Practice Guidance” [IPCC 2006a] oraz „Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” [IPCC 2006b], opracowanych przez IPCC.

Skupiono się na ocenie bezpośredniej emisji  $N_2O$  z gleb użytkowanych rolniczo w województwie wielkopolskim w latach 1960–2009. Dotychczas nikt nie ana-

lizował emisji podtlenku azotu z gleb użytkowanych rolniczo dla tak długiego okresu, jak pięćdziesiąt lat. Natomiast według Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami w 1988 r. 55,5% [KOBIZE 2010] emisji podtlenku azotu w Polsce pochodziło z tego źródła, w 2009 r. aż 65,9% [KOBIZE 2011], a w 2010 r. było to 64,1% [KOBIZE 2012]. Zatem zasadne jest przeprowadzenie analiz, określających zmiany w wielkości emisji podtlenku azotu.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Coroczna inwentaryzacja GHG dla powierzchni Polski bazuje na wspomnianych wytycznych IPCC. W niniejszej pracy skupiono się na bezpośredniej emisji  $N_2O$  z gleb użytkowanych rolniczo województwa wielkopolskiego. Obszar ten wybrano ze względu na bardzo dużą powierzchnię wykorzystywaną rolniczo. Charakteryzuje się on również bardzo zróżnicowaną wielkością gospodarstw rolnych, wynoszącą od kilku do kilkuset hektarów [GUS 2009a; OLEJNIK 1988]. W rozpatrywanym okresie 1960–2009 r. wystąpiły trzy podziały administracyjne kraju (1960–1974, 1975–1998 oraz 1999–2009). Sprawdzono, że procentowy udział poszczególnych upraw w całości gleb użytkowanych rolniczo nie zmienił się w zauważalny sposób niezależnie od tego czy wykorzystywano dane o strukturze upraw dla administracyjnych granic województwa wielkopolskiego z podziału przed 1975, 1975–1998 r., czy też z obecnego. Emisję z tego obszaru obliczono za pomocą formuły „Tier 1” z metodologii IPCC. W pracy uwzględniono tylko plantacje roślinne: zboża, kukurydzę, ziemniaki oraz buraki. Jako dane wejściowe wykorzystano wartości publikowane przez Główny Urząd Statystyczny [GUS 1966; 1967a, b, c; 1970; 1971; 1976; 1978; 1982; 1985; 1986; 1987; 1990; 1992a, b; 1993; 1994a, b; 1995; 1996; 1997; 1998; 1999a, b; 2000; 2001a, b; 2002; 2003; 2004; 2005a, b; 2006a, b; 2007a, b; 2008a, b; 2009a, b; 2010], które opisują statystyki narodowe. Jakość danych statystycznych (danych wejściowych) skontrolowano w celu zapewnienia maksymalnej przydatności uzyskanych wartości [NYCKOWIAK, LEŚNY 2010]. W obliczeniach emisji bezpośredniej  $N_2O_{Direct-N}$  wykorzystano współczynniki zalecane przez IPCC w „Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” [IPCC 2006b] oraz równanie „Tier 1” (1) w postaci:

$$N_2O_{Direct} - N = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1] \quad (1)$$

gdzie:

- $F_{SN}$  – azot w nawozach mineralnych aplikowanych do gleby,  $kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ;
- $F_{ON}$  – azot w nawozach organicznych aplikowanych do gleby,  $kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ;
- $F_{CR}$  – azot w resztkach poźniwnych,  $kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ;
- $F_{SOM}$  – azot ulegający mineralizacji w glebach mineralnych,  $kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ;
- $EF_1$  – współczynnik emisji  $N_2O$ , wartość stała równa 0,01 [BOUWMAN i in. 2002a; BOUWMAN i in. 2002b; STEHFEST, BOUWMAN 2006].

Składową  $F_{ON}$  obliczono wykorzystując równanie (2):

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA} \quad (2)$$

gdzie:

- $F_{AM}$  – azot w aplikowanym oborniku,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ;
- $F_{SEW}$  – azot w aplikowanych osadach ściekowych,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ;
- $F_{COMP}$  – azot w aplikowanym kompoście,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ;
- $F_{OOA}$  – azot w innych organicznych nawozach,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

Składową  $F_{CR}$  obliczono wg równania (3):

$$F_{CR} = \sum_T \left\{ \left[ \text{Crop}_{(T)} \times \left( \text{Area}_{(T)} - \text{Areaburnt}_{(T)} \times C_f \right) \times \text{Frac}_{\text{Renew}(T)} \right] \times \left[ R_{AG(T)} \times N_{AG(T)} \times \left( 1 - \text{Frac}_{\text{Remove}(T)} \right) + R_{BG(T)} \times N_{BG(T)} \right] \right\} \quad (3)$$

gdzie:

- $\text{Crop}_{(T)}$  – roczny plon suchej masy rośliny  $T$ ,  $\text{kg s.m.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ;
- $\text{Area}_{(T)}$  – wielkość obszaru pod rośliną  $T$ ,  $\text{ha} \cdot \text{rok}^{-1}$ ;
- $\text{Areaburnt}_{(T)}$  – wielkość obszaru wypalonego pod rośliną  $T$ ,  $\text{ha} \cdot \text{rok}^{-1}$ ;
- $C_f$  – współczynnik spalania, wartość stała zależna od rośliny  $T$ ;
- $\text{Frac}_{\text{Renew}(T)}$  – frakcja obszaru pod rośliną  $T$  corocznie odnawiana, dla roślin jednorocznych  $\text{Frac}_{\text{Renew}(T)} = 1$ ;
- $R_{AG}$  – stosunek nadziemnych pozostałości suchej masy do plonu całkowitego rośliny  $T$ ,  $\text{kg s.m.} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$ ;
- $N_{AG}$  – zawartość azotu w resztkach poźniwnych z nadziemnych części roślin,  $\text{kg N} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$ ;
- $\text{Frac}_{\text{Remove}(T)}$  – frakcja nadziemnych resztek poźniwnych wykorzystywanych w celu spasanania lub budowy,  $\text{kg N} \cdot (\text{kg crop-N})^{-1}$ , przyjęto  $\text{Frac}_{\text{Remove}(T)} = 0$ ;
- $R_{BG(T)}$  – stosunek podziemnej części resztek poźniwnych do plonu całkowitego rośliny  $T$ ,  $\text{kg s.m.} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$ ;
- $N_{BG(T)}$  – zawartość azotu w resztkach z podziemnych części rośliny do plonu całkowitego rośliny  $T$ ,  $\text{kg N} \cdot (\text{kg s.m.})^{-1}$ ;
- $T$  – gatunek rośliny.

Zmienną  $F_{SEW}$  pominięto z uwagi na znikomy udział w całkowitej emisji  $\text{N}_2\text{O}$  na terenie Polski, wynoszący wg KOBIZE w 2009 r. tylko 0,2% całkowitej emisji z gleb użytkowanych rolniczo [KOBIZE 2011]. Zmienne  $\text{Areaburnt}_{(T)}$  oraz  $C_f$  zostały pominięte z uwagi na znikomy udział spalania resztek roślinnych w emisji  $\text{N}_2\text{O}$  w Polsce. Zmienne  $F_{COMP}$  i  $F_{OOA}$  pominięto ze względu na brak danych w statystykach i raportach z okresu 1960–2009 r.

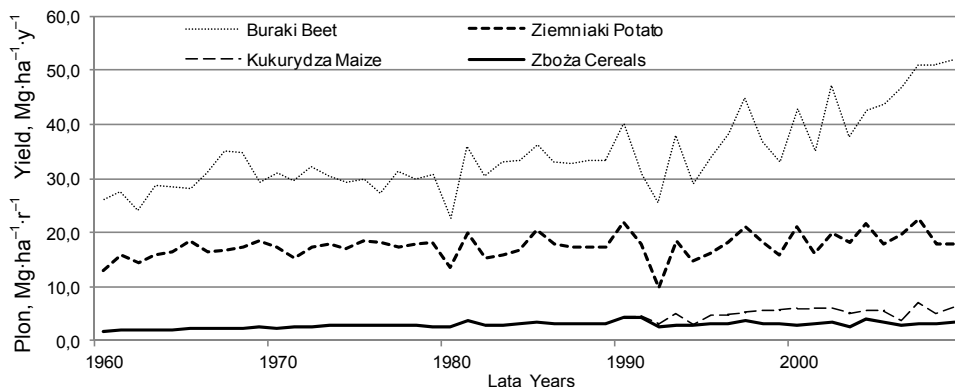
W równaniu (3) składową  $\text{Crop}_{(T)}$  obliczono z równania (4):

$$Crop_{(T)} = YieldFresh_{(T)} \cdot DRY \quad (4)$$

gdzie:

$YieldFresh_{(T)}$  – roczny zebrany plon świeżej masy rośliny  $T$ ,  $kg \text{ ś.m.} \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ;  
 $DRY$  – frakcja suchej masy rośliny  $T$ , 0–1.

Wysokość plonów wpływa na ilość azotu, który pozostaje na polu po żniwach w resztkach poźniwnych. Zmienność wysokości uzyskiwanych plonów przedstawiono na rysunku 1. W całym analizowanym okresie obserwuje się znaczący wzrost plonowania poszczególnych gatunków. Największy przyrost dotyczy buraków cukrowych, w 1960 r. plon ten wynosił tylko  $26,0 \text{ Mg} \cdot ha^{-1}$  natomiast w 2009 r. osiągnął  $52,0 \text{ Mg} \cdot ha^{-1}$ . Również plony zbóż prawie dwukrotnie zwiększyły się z  $1,8 \text{ Mg} \cdot ha^{-1}$  w 1960 r. do  $3,4 \text{ Mg} \cdot ha^{-1}$  w 2009 r. Plon ziemniaków zwiększył się z  $13,0 \text{ Mg} \cdot ha^{-1}$  w 1960 r. do  $18,0 \text{ Mg} \cdot ha^{-1}$  w 2009 r.

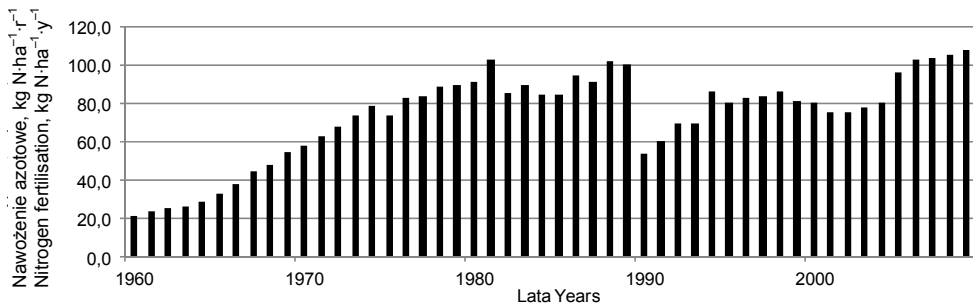


Rys. 1. Wielkość plonów roślin uprawnych w województwie wielkopolskim, lata 1960–2009; źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS [1966–2010]

Fig. 1. Yield of crops in Poznań Province, years 1960–2009; source: own studies based on data from the Central Statistical Office in Poland [GUS 1966–2010]

Z uwagi na występującą ścisłą zależność między dynamiką zmian w emisji podtlenku azotu a zmianą wielkości nawożenia mineralnego [BOUWMAN 1996; GREGORICH i in. 2005] poziom tego nawożenia ma kluczowe znaczenie dla wielkości emisji. Szczególnie istotne jest nawożenie azotowe, gdyż w większości przypadków azot jest najważniejszym składnikiem pokarmowym determinującym ilość i jakość plonu [OENEMA 1999]. W Wielkopolsce ilość stosowanych nawozów azotowych wzrosła z poziomu  $20 \text{ kg N} \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ , aplikowanych w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku, do ponad  $100 \text{ kg N} \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$  na początku obecnego stulecia (rys. 2). W pierwszym okresie 1960–1981 zużycie gwałtownie zwiększało się. Następnie z końcem lat osiemdziesiątych obserwowano skokowy spadek zuży-

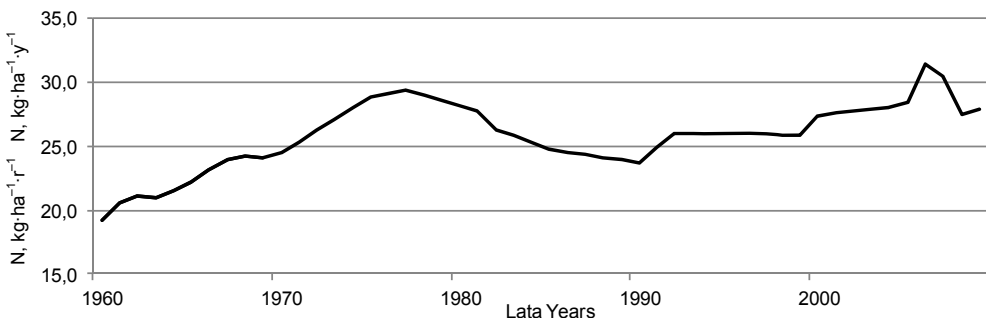
cia nawozów sztucznych, wynikający z gwałtownych zmian społeczno-politycznych i w konsekwencji przemian gospodarczych kraju. Ponowny wzrost nastąpił od 1990 r. Jednak w latach 2000–2003 zanotowano spadek zużycia nawozów sztucznych, wynikający ze spadku produktu krajowego brutto (PKB). PKB w 2001 r. wskazywał na pogorszenie się sytuacji ekonomicznej kraju, co odbiło się także na rolnictwie i było widoczne w ilości zużytych nawozów sztucznych.



Rys. 2. Roczne sumy aplikowanego azotu mineralnego do gleb w województwie wielkopolskim, lata 1960–2009; źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS [1966–2010]

Fig. 2. Annual sums of N from mineral fertilisers in Poznań Province, years 1960–2009; source: own studies based on data from the Central Statistical Office in Poland [GUS 1966–2010]

Również duże znaczenie dla emisji  $N_2O$  ma ilość azotu w rocznych dawkach nawozów organicznych (rys. 3). Wielkość tę obliczono bazując na ilości stosowanego obornika. Zgodnie z materiałami źródłowymi IPCC przyjęto stosunek C:N wynoszący 25:1 [KRAWCZYK, WALCZAK 2010]. W źródłach statystycznych dotyczących terytorium Wielkopolski w latach 1960–2009 tylko dla niektórych lat podano ilość stosowanych nawozów organicznych. Z tego powodu brakujące dane

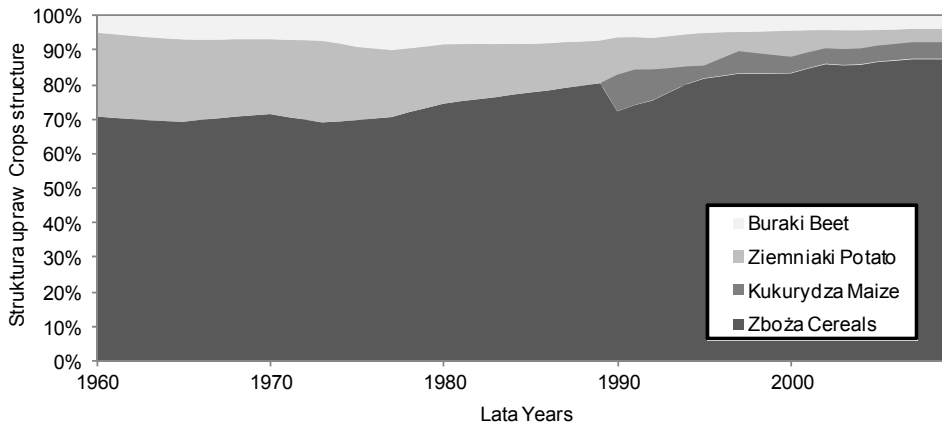


Rys. 3. Estymowane zużycie azotu w nawozach organicznych w województwie wielkopolskim, lata 1960–2009; źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS [1966–2010]

Fig. 3. Estimated consumption of N from organic fertilisers in Poznań Province, years 1960–2009; source: own studies based on data from the Central Statistical Office in Poland [GUS 1966–2010]

oszacowano opierając się na liniowych zależnościach istniejących danych z pogłowiem bydła, trzody oraz koni w województwie wielkopolskim (rys. 3). Współczynnik determinacji dla tej zależności wynosił 0,97, przyjęto więc, że tak obliczone dane są jak najbardziej realne.

Do wyznaczenia średniej emisji  $N_2O$  z hektara gleb użytkowanych rolniczo wykorzystano informacje o strukturze zasiewów, pozyskane ze statystyki narodowej (rys. 4).



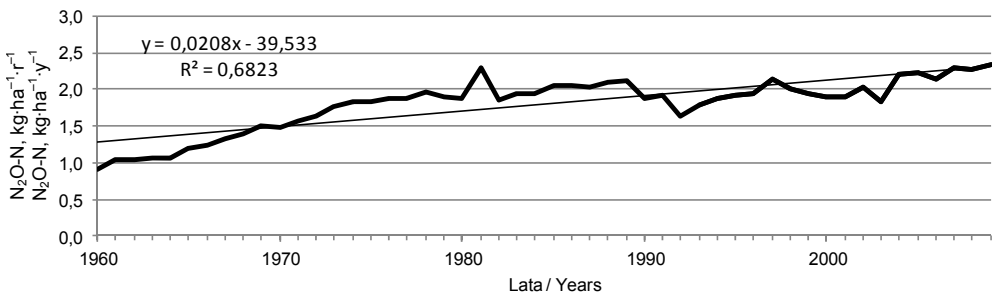
Rys. 4. Struktura zasiewów w województwie wielkopolskim w latach 1960–2009; źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS [1966–2010]

Fig. 4. Crop structure in Poznań Province, years 1960–2009; source: own studies based on data from the Central Statistical Office in Poland [GUS 1966–2010]

## WYNIKI I DYSKUSJA

Średnia wartość bezpośredniej emisji  $N_2O$  z gleb użytkowanych rolniczo w województwie wielkopolskim w latach 1960–2009, estymowana na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ , wynosi  $1,80 \pm 0,10 \text{ kg } N_2O\text{-N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  (błąd dla średniej). Estymacja ta dotyczy tylko i wyłącznie gleb, na których uprawiane są: zboża, ziemniaki, buraki oraz kukurydza. Wielkość emisji podtlenku azotu w Polsce jest zróżnicowana regionalnie [PIETRZAK i in. 2002a]. W 2000 r., zgodnie z pracą PIETRZAK i in. [2002a], województwo wielkopolskie, wg metodologii IPCC, było największym emitentem podtlenku azotu wśród województw, wielkość emisji całkowitej z użytków rolnych (bezpośredniej i pośredniej razem) oceniono na  $3,7 \text{ kg } N_2O\text{-N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W tej samej pracy oraz w pracy PIETRZAKA i in. [2002b] oszacowano również emisję bezpośrednią podtlenku azotu ze źródeł rolniczych w Polsce (z nawozów mineralnych, organicznych oraz z resztek roślinnych), w 1990 r. ( $1,55 \text{ kg } N_2O\text{-N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), 1995 r. ( $1,17 \text{ kg } N_2O\text{-N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) oraz w 2000 r. ( $1,12 \text{ kg } N_2O\text{-N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

W latach 1960–2009 stwierdzono wzrost emisji, wynikający przede wszystkim z zależności emisji podtlenku azotu od ilości nawożenia mineralnego. Współczynnik determinacji emisji od nawożenia mineralnego dla całego analizowanego okresu wynosił  $R^2 = 0,90$ . Sprawdzono też zależność emisji podtlenku azotu od wielkości powierzchni upraw zbóż,  $R^2 = 0,52$ . Współczynnik determinacji emisji od nawożenia mineralnego w okresie 1960–1988 wynosił aż  $R^2 = 0,98$ . W 1981 r. (rys. 5) zaobserwowano punktowy skok wielkości emisji ( $2,29 \text{ kg N}_2\text{O-N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Jest on prawdopodobnie wynikiem niewystarczającej jakości danych statystycznych. W latach osiemdziesiątych odnotowano mały wzrost zużycia nawozów azotowych ( $0,69 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ), w warunkach jednoczesnego nieznacznego wzrostu plonowania roślin. W latach 1989–2002 przyczyniło się to do stabilizacji emisji podtlenku azotu. Zaobserwowany chwilowy spadek wielkości emisji po 1989 r. oraz duża wielkość emisji na terenie Wielkopolski koresponduje z emisjami podtlenku azotu na terytorium całego kraju po 1989 r. [KOBIZE 2012]. Od 2003 r. występuje wzrost emisji  $\text{N}_2\text{O}$ . Jest on skorelowany z ilością stosowanych nawozów azotowych ( $R^2 = 0,56$ ). W latach 1995–2009 r. zaobserwowano zależność między wielkością zużycia nawozów azotowych a PKB per capita (na osobę),  $R^2 = 0,68$  (rys. 6).



Rys. 5. Bezpośrednia emisja  $\text{N}_2\text{O}$  z gleb użytkowanych rolniczo w województwie wielkopolskim, lata 1960–2009; źródło: wyniki własne

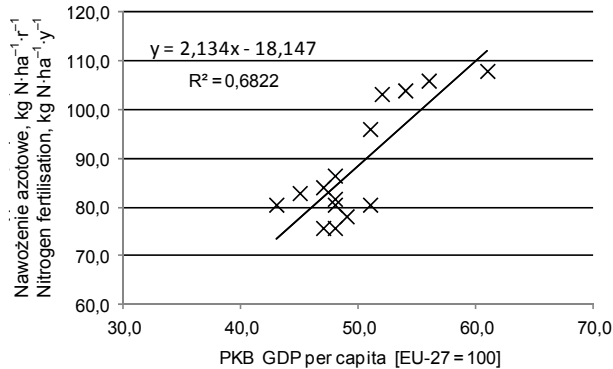
Fig. 5. Direct  $\text{N}_2\text{O}$  emissions from agricultural soils in Poznań Province, years 1960–2009; source: own studies

W 2009 r. na terenie województwa wielkopolskiego oszacowano największą emisję bezpośrednią w całym analizowanym okresie, wynosiła ona  $2,35 \text{ kg N}_2\text{O-N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (minimum wynoszące  $0,91 \text{ kg N}_2\text{O-N}\cdot\text{ha}^{-1}$  odnotowano w 1960 r.). Sumarycznie w 2009 r. emisja bezpośrednia z gleb pod uprawami (zboża, kukurydza ziemniaki i buraki: razem  $1\,125\,380 \text{ ha}$ ) całego województwa wielkopolskiego wynosiła  $3,02 \text{ Gg N}_2\text{O-N}$ .

Lata 1960–2009 można podzielić na trzy okresy (rys. 7):

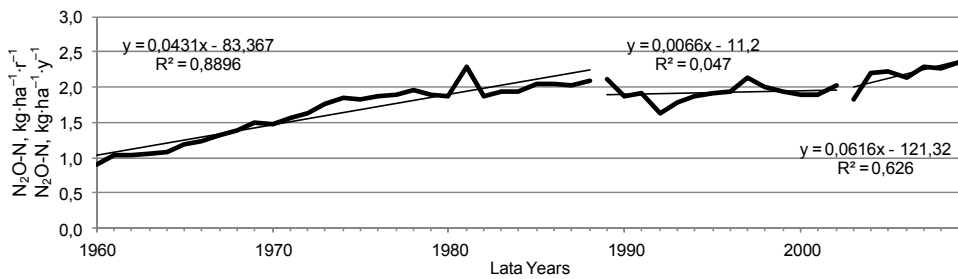
- 1960–1988 – okres wzrostu emisji,
- 1989–2002 – okres względnej stabilizacji emisji,
- 2003–2009 – okres szybkiego wzrostu emisji.





Rys. 6. Zależność PKB per capita (EU-27 = 100) od wielkości nawożenia azotowego, lata 1994–2009; źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS [1994b–2010] i Eurostat [2012]

Fig. 6. The relationship between the amount of nitrogen fertilisation and per capita GNP (EU-27 = 100), years 1994–2009; source: own studies based on data from the Central Statistical Office in Poland [GUS 1994b–2010] and Eurostat [2012]



Rys. 7. Trzy składowe bezpośredniej emisji  $N_2O$  z gleb użytkowanych rolniczo w województwie wielkopolskim, lata 1960–1988, 1989–2002, 2003–2009; źródło: wyniki własne

Fig. 7. Three components of direct  $N_2O$  emissions from agricultural soils in Poznań Province, years 1960–1988, 1989–2002, 2003–2009; source: own studies

## PODSUMOWANIE

W latach 1960–2009 średnia roczna emisja bezpośrednia z gleb użytkowanych rolniczo w województwie wielkopolskim wynosiła  $1,80 \text{ kg } N_2O\text{-N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ , przy czym obecnie na tym terenie obserwuje się trend wzrostowy emisji  $N_2O$  z gleb użytkowanych rolniczo.

Pracę sfinansowano ze środków kontraktu UE nr 244122 na lata 2011–2013 „Greenhouse gas management in European land use systems, GHG – EUROPE”.

## LITERATURA

- BATTLE-AGUILAR J., BROVELI A., PORPORATO A., BARRY D.A. 2011. Modeling soil carbon and nitrogen cycles during land use change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. Vol. 31 s. 251–274.
- BATTLE M., BENDER M., SOWERS T., TANS P.P., BUTLER J.H., ELKINS J.W., CONWAY T., ZHANG N., LANG P., CLARKE A.D. 1996. Atmospheric gas concentrations over the past century measured in air from firn at South Pole. *Nature*. Vol. 383 s. 231–235.
- BEAUCHAMP E.G. 1997. Nitrous oxide emission from agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*. Vol. 77 s. 113–123.
- BOUWMAN A.F. 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 46 s. 53–70.
- BOUWMAN A.F., BOUMANS L. J. M., BATJES N.H. 2002a. Emissions of N<sub>2</sub>O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data [online]. *Global Biogeochemistry Cycles*. Vol. 16. Art. no. 1058. [Dostęp 23.10.2012]. Dostępny w Internecie: [http://www.pbl.nl/en/publications/2002/Emissions\\_of\\_N2O\\_and\\_NO\\_from\\_fertilized\\_fields\\_summary\\_of\\_available\\_measurement\\_data](http://www.pbl.nl/en/publications/2002/Emissions_of_N2O_and_NO_from_fertilized_fields_summary_of_available_measurement_data)
- BOUWMAN A.F., BOUMANS L. J. M., BATJES N.H. 2002b. Modeling global annual N<sub>2</sub>O and NO emissions from fertilized fields [online]. *Global Biogeochemistry Cycles*. Vol. 16. Art. no. 1080. [Dostęp 23.10.2012]. Dostępny w Internecie: [http://www.pbl.nl/en/publications/2002/Modeling\\_global\\_annual\\_N2O\\_and\\_NO\\_emissions\\_from\\_fertilized\\_fields](http://www.pbl.nl/en/publications/2002/Modeling_global_annual_N2O_and_NO_emissions_from_fertilized_fields)
- DAVIDSON E.A., VERCHOT L.V. 2000. Testing the hole-in-the-pipe model of nitric and nitrous oxide emissions from soils using the TRAGNET database. *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 14 s. 1035–1043.
- DOBBIE K.E., SMITH K.A. 2003. Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: the impact of soil water filled pore space and other controlling variables. *Global Change Biology*. Vol. 9 s. 204–218.
- EULENSTEIN F., WERNER A., WILLMS M., JUSZCZAK R., SCHLINDWEIN A.L., CHOJNICKI B.H., OLEJNIK J. 2008. Model based scenario studies to optimize the regional nitrogen balance and reduce leaching of nitrate and sulfate of an agriculturally used water catchment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 82 s. 33–49.
- Eurostat 2012. Database tables [online]. [Dostęp 01.11.2012]. Dostępny w Internecie: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tec00114>
- FORSTER P., RAMASWAMY V., ARTAXO P., BERNTSEN T., BETTS R., FAHEY D.W., HAYWOOD J., LEAN J., LOWE D.C., MYHRE G., NGANGA J., PRINN R., RAGA G., SCHULZ M., VAN DORLAND R. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing [online]. W: *Climate change 2007: The physical science basis*. Pr. zbior. Red. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M., Marquis K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York. Cambridge University Press. [Dostęp 14.12.2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>
- FLESSA H., DORSCH P., BEESE F. 1995. Seasonal-variation of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes in differently managed arable soils in southern Germany. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. Vol. 100 s. 23115–23124.
- FLUCKIGER J., DALLENBACH A., BLUNIER T., STAUFFER B., STOCKER T.F., RAYNAUD D. BARNOLA J.M. 1999. Variations in atmospheric N<sub>2</sub>O concentration during abrupt climatic changes. *Science*. Vol. 285 s. 227–230.

- FLUCKIGER J., BLUNIER T., STAUFFER B., CHAPPELLAZ J., SPHANI R., KAWAMURA K., SCHWANDER J., STOCKER T.F., DAHL-JENSEN D. 2004. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> variations during the last glacial epoch: Insight into global processes. *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 18. GB1020.
- FRENEY J.R. 1997. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 49 s. 1–6.
- GRANLI T., BOCKMAN O.C. 1994. Nitrous oxide in agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 12 s. 7–128.
- GREGORICH E.G., ROCHETTE P., VADEN BYGAART A.J., ANGERS D.A. 2005. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil & Tillage Research*. Vol. 83 s. 53–72.
- GUS 1966. *Rolniczy rocznik statystyczny 1945–1965. Roczniki branŹowe*. 2. Warszawa.
- GUS 1967a. *Rozwój gospodarczy powiatów w latach 1950–1965. Statystyka regionalna*. 5. Warszawa.
- GUS 1967b. *Statystyka powiatów 1966. Statystyka regionalna*. Z. 8. Warszawa.
- GUS 1967c. *Statystyka powiatów 1967. Statystyka regionalna*. T. I. Z. 13. Warszawa.
- GUS 1970. *ZuŹycie nawozów sztucznych, wapniowych i organicznych 1924/25–1937/38, 1945/46–1969/70. Statystyka regionalna*. Z. 23. Warszawa.
- GUS 1971. *Rocznik statystyczny rolnictwa 1971*. Warszawa.
- GUS 1976. *Rocznik statystyczny województw 1976. Statystyka Polski*. Z. 82. Warszawa.
- GUS 1978. *Rocznik statystyczny rolnictwa i gospodarki Źywnořciowej 1978. Statystyka Polski*. Warszawa.
- GUS 1982. *Rocznik statystyczny rolnictwa i gospodarki Źywnořciowej 1982. Statystyka Polski*. Warszawa.
- GUS 1985. *Rolnictwo i gospodarka Źywnořciowa 1984. Materiały statystyczne*. Warszawa.
- GUS 1986. *Rocznik statystyczny rolnictwa i gospodarki Źywnořciowej 1986. Statystyka Polski*. Warszawa.
- GUS 1987. *Rocznik statystyczny rolnictwa i gospodarki Źywnořciowej 1987. Statystyka Polski*. Warszawa.
- GUS 1990. *ZuŹycie nawozów sztucznych i wapniowych w roku gospodarczym 1989/90*. Warszawa.
- GUS 1992a. *Rolnictwo i gospodarka Źywnořciowa 1986–1990. Materiały statystyczne*. Warszawa.
- GUS 1992b. *ZuŹycie nawozów sztucznych i wapniowych w roku gospodarczym 1991/92*. Warszawa.
- GUS 1993. *ZuŹycie nawozów sztucznych i wapniowych w roku gospodarczym 1992/93*. Warszawa.
- GUS 1994a. *Rolnictwo i gospodarka Źywnořciowa 1993. Materiały statystyczne*. Warszawa.
- GUS 1994b. *ZuŹycie nawozów sztucznych i wapniowych w roku gospodarczym 1993/94*. Warszawa.
- GUS 1995. *ZuŹycie nawozów sztucznych i wapniowych w roku gospodarczym 1994/95*. Warszawa.
- GUS 1996. *ZuŹycie nawozów sztucznych i wapniowych w roku gospodarczym 1995/96*. Warszawa.
- GUS 1997. *ZuŹycie nawozów sztucznych i wapniowych w roku gospodarczym 1996/97*. Warszawa.
- GUS 1998. *Środki produkcji w rolnictwie w 1997 roku*. Warszawa.
- GUS 1999a. *Rocznik statystyczny rolnictwa 1998*. Warszawa.
- GUS 1999b. *Środki produkcji w rolnictwie w 1998 roku*. Warszawa.
- GUS 2000. *Środki produkcji w rolnictwie w 1999 roku*. Warszawa.
- GUS 2001a. *Rocznik statystyczny rolnictwa 2001*. Warszawa.
- GUS 2001b. *Środki produkcji w rolnictwie w 2000 roku*. Warszawa.
- GUS 2002. *Środki produkcji w rolnictwie w 2001 roku*. Warszawa.
- GUS 2003. *Środki produkcji w rolnictwie w 2002 roku*. Warszawa.
- GUS 2004. *Środki produkcji w rolnictwie w 2003 roku*. Warszawa.
- GUS 2005a. *Rocznik statystyczny rolnictwa i obszarów wiejskich 2005*. Warszawa.
- GUS 2005b. *Środki produkcji w rolnictwie w 2004 roku*. Warszawa.
- GUS 2006a. *Rocznik statystyczny rolnictwa i obszarów wiejskich 2006*. Warszawa.
- GUS 2006b. *Środki produkcji w rolnictwie w 2005 roku*. Warszawa.
- GUS 2007a. *Rocznik statystyczny rolnictwa i obszarów wiejskich 2007*. Warszawa.
- GUS 2007b. *Środki produkcji w rolnictwie w 2006 roku*. Warszawa.
- GUS 2008a. *Rocznik statystyczny rolnictwa i obszarów wiejskich 2008*. Warszawa.
- GUS 2008b. *Środki produkcji w rolnictwie w 2007 roku*. Warszawa.

- GUS 2009a. Rocznik statystyczny rolnictwa 2009. Warszawa.
- GUS 2009b. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2008/2009. Warszawa.
- GUS 2010. Rocznik statystyczny rolnictwa 2010. Warszawa.
- IPCC 2006a. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse inventories [online]. [Dostęp 14.12.2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>
- IPCC 2006b. Guidelines for national greenhouse gas inventories [online]. Vol. 4. [Dostęp 14.12.2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- KOBIZE 2010. Poland's national inventory report 2010. Greenhouse gas inventory for 1988–2008 [online]. [Dostęp 11.09.2012]. Dostępny w Internecie: [http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje\\_krajowe](http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje_krajowe)
- KOBIZE 2011. Krajowy raport inwentaryzacyjny 2011. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988–2009 [online]. [Dostęp 11.09.2012]. Dostępny w Internecie: [http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje\\_krajowe/NIR\\_2011\\_Polska\\_25.05.2011.pdf](http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje_krajowe/NIR_2011_Polska_25.05.2011.pdf)
- KOBIZE 2012. Krajowy raport inwentaryzacyjny 2012. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988–2010 [online]. [Dostęp 11.09.2012]. Dostępny w Internecie: [http://www.mos.gov.pl/g2/big/2012\\_02/fbf33a0d94cb74b2059798436f83a0c3.pdf](http://www.mos.gov.pl/g2/big/2012_02/fbf33a0d94cb74b2059798436f83a0c3.pdf)
- KRAM T., MORITA T., RIAHI K., ROEHL R.A., VAN ROOIJEN S., SANKOVSKI A., DE VRIES B. 2000. Global and regional greenhouse gas emissions scenarios. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 63 s. 335–371.
- KRAWCZYK W., WALCZAK J. 2010. Potencjał biogeny obornika jako źródło emisji amoniaku i zagrożenia środowiska. *Roczniki Naukowe Zootechniki*. T. 37 s. 187–193.
- KURUS J. 2006. Zawartość niektórych składników pokarmowych i mineralnych w buraku cukrowym w zależności od nawożenia azotem i sposobów odchwaszczanie. *Acta Agrophysica*. Vol. 8 (3) s. 671–680.
- Ministerstwo Środowiska 2006. Krajowy plan rozdziału uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> na lata 2008–2012. *Dziennik Ustaw* 2008. Nr 202, poz. 1248 [online]. [Dostęp 12.02.2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.cire.pl/pdf.php?plik=/pliki/6/15243D2008202124801.pdf>
- MOSIER A.R., DUXBURY J.M., FRENEY J.R., HEINEMEYER O., MINAMI K. 1998. Assessing and mitigating N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils. *Climatic Change*. Vol. 40 s. 7–38.
- NAKICENOVIC N. 2000. Green gas emissions scenarios. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 65 s.149–166.
- NYCKOWIAK J. 2011. Rola N<sub>2</sub>O w efekcie cieplarnianym. Doktorant a innowacyjność podejmowanych tematów badań. Cz. II – nauki przyrodnicze. Pr. zbior. Red. M. Kuczera. Kraków. Wydaw. Creativetime s. 71–75.
- NYCKOWIAK J., LEŚNY J. 2010. Verification of data quality from automatic weather stations. *Acta Agrophysica*. Vol. 184 s. 218–228.
- OLEJNIK J. 1988. The empirical method of estimating mean daily and mean ten-day values of latent and sensible-heat fluxes near the ground. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 27 s. 1359–1368.
- OENEMA O. 1999. Nitrogen cycling and losses in agricultural systems; identification of sustainability indicators. W: Nitrogen cycle and balance in polish agriculture Poland agriculture and water quality. Pr. zbior. Red. A. Sapek. Falenty. IMUZ s. 126–139.
- OENEMA O., SAPEK A. 2000. Effect of soil acidity and nitrogen fertilizer application on gaseous nitrogen oxide emissions from mown grassland. Some concluding remarks. W: Effect of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems. Pr. zbior. Red. O. Oenema, A. Sapek. Falenty. IMUZ s. 96–102.
- PIETRZAK S., SAPEK A., OENEMA O. 2002a. Ocena emisji podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O) ze źródeł rolniczych w Polsce. Pomiar i symulacja emisji podtlenku azotu z gleb trwałych użytków zielonych. *Zeszyty Edukacyjne*. Nr 8 s. 23–36.

- PIETRZAK S., SAPEK A., OENEMA O. 2002b. Emisja podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O) ze źródeł rolniczych w Polsce. Biogeochemia azotu w warunkach Polski. Nawozy i Nawożenie. Z. 1 s. 135–147.
- SAPEK A. 1998. Emisja gazów cieplarnianych z rolnictwa. Zeszyty Edukacyjne. Nr 5 s. 17–26.
- SAPEK A. 2000. Emisja gazów cieplarnianych z rolnictwa do atmosfery. Zeszyty Edukacyjne. Nr 6 s. 9–21.
- SAPEK A. 2002. Emisja podtlenku azotu z rolnictwa i jej skutki w środowisku. Pomiar i symulacja emisji podtlenku azotu z gleb trwałych użytków zielonych. Zeszyty Edukacyjne. Nr 8 s. 9–22.
- STEHFEST E., BOUWMAN L. 2006. N<sub>2</sub>O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems. Vol. 74 s. 207–228.
- WATTENBACH M., SUS O., VUICHARD N., LEHUGER S., GOTTSCHALK P., LI L., LEIP A., WILLIAMS M., TOMELLEN E., KUTSCH W.L., BUCHMANN N., EUGSTER W., DIETIKER D., AUBINET M., CESCHIA E., BEZIAT P., GRUNWALD T., HASTINGS A., OSBORNE B., CIAIS P., CELLIER P., SMITH P. 2010. The carbon balance of European croplands: A cross-site comparison of simulation models. Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol. 139 s. 419–453.
- WMO 2009. WMO Greenhouse Gas Bulletin. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Using Global Observations through 2008 [online]. No. 5. [Dostęp 14.12.2011]. Dostępny w Internecie: [http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/ghg-bulletin2008\\_en.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/ghg-bulletin2008_en.pdf)

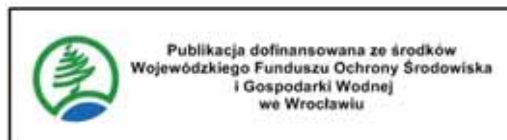
*Jędrzej NYCKOWIAK, Jacek LEŚNY, Janusz OLEJNIK*

## EVALUATION OF DIRECT N<sub>2</sub>O EMISSION FROM AGRICULTURAL SOILS IN POZNAŃ PROVINCE FOR THE PERIOD OF 1960–2009, ACCORDING TO IPCC METHODOLOGY

**Key words:** *agricultural soils, nitrous oxide, GHG, greenhouse gases, IPCC*

### S u m m a r y

Atmospheric concentrations of N<sub>2</sub>O increased from approximately 270 ppb during the pre-industrial era to 322 ppb in 2008. The most important source of N<sub>2</sub>O are agricultural soils. In this paper we analyzed the emissions of N<sub>2</sub>O from agricultural soils using statistical data sets from the Central Statistical Office in Poland. We were follow in accordance with methodology described in Good Practice Guidance and Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories by IPCC. These estimations are based on fertilized soils under cereals, potato, beet and maize crops. In the period 1960–2009 the highest emission of nitrous oxide was noted in the year 2009 (2.35 kg N<sub>2</sub>O·N·ha<sup>-1</sup>) and the smallest in the year 1960 (0.91 kg N<sub>2</sub>O·N·ha<sup>-1</sup>). Direct emissions of N<sub>2</sub>O coming from agricultural soils in Poznań Province for the years 1960–2009 amounted to 1.80 ± 0.10 kg N<sub>2</sub>O·N·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>.



**Adres do korespondencji:** mgr inż. J. Nyckowiak, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Meteorologii, ul. Piątkowska 94B, 60-649 Poznań; tel. +48 61 846-65-53, e-mail: [Jedrzej.Nyckowiak@gmail.com](mailto:Jedrzej.Nyckowiak@gmail.com)