



**Zuzanna Jarosz, Antoni Faber**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

## WPLYW ZMIAN W METODYCE SZACOWANIA NA EMISJĘ PODTLENKU AZOTU Z PRODUKCJI ROLNICZEJ\*

**Słowa kluczowe:** emisja, podtlenek azotu, wytyczne IPCC, produkcja rolnicza

---

### Wstęp

Polska, ratyfikując Ramową konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC) w 1994 r. oraz Protokół z Kioto w 2002 r., włączyła się w międzynarodowe działania mające na celu zapobieganie zmianom klimatu i ograniczanie emisji gazów cieplarnianych (GHG). W ramach rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 662/3014 z dnia 15 maja 2014 r. zobowiązani jesteśmy do raportowania rocznych krajowych emisji gazów cieplarnianych (14). Za opracowanie i raportowanie emisji GHG w naszym kraju odpowiada Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE).

Zgodnie z wytycznymi przyjętymi decyzją 24/CP.19 (3), w celu zachowania spójności, szacowanie wielkości emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych odbywa się na podstawie metodyki 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (6). Inwentaryzacja emisji i pochłaniania GHG obejmuje wiele gazów, a wśród nich: dwutlenek węgla, metan i podtlenek azotu, których źródłem emisji jest między innymi sektor rolny. Rokiem bazowym we wdrażaniu zobowiązań dla ww. gazów jest 1988 r. Coroczne raporty obejmują więc szacunki (emisje, wskaźniki) dla całego trendu od 1988 r. do roku n-2 (gdzie n jest rokiem przekazania raportu) oraz opisy wyników inwentaryzacji i zastosowaną metodykę. Od 2012 r. corocznie wykonywane są przeglądy inwentaryzacji emisji GHG raportowanych przez państwa członkowskie i sprawdzane jest wdrażanie zaleceń.

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

W grudniu 2015 r. podczas konferencji klimatycznej w Paryżu (COP21) przyjęto tzw. porozumienie paryskie. Zgodnie z porozumieniem, w ramach polityki klimatyczno-energetycznej do 2030 r., Unia Europejska zobowiązała się do redukcji emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 40% w stosunku do 1990 r.

Ograniczenie to jest realizowane za pomocą:

- unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji – redukcja emisji o 43% do 2030 r. w porównaniu z 2005 r. (4);
- rozporządzenia w sprawie wiążących rocznych redukcji gazów cieplarnianych przez państwa członkowskie (*Effort Sharing Regulation* – ESR) – redukcja emisji o 30% do 2030 r. w stosunku do 2005 r.; dla Polski redukcja wyniesie 7% (16);
- rozporządzenia w sprawie włączenia emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w wyniku użytkowania gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwa do ram polityki klimatyczno-energetycznej do 2030 r. – gwarancji, że emisje nie przewyższą pochłaniania w sektorze LULUCF – zasada „no debit” (15).

W maju 2019 r. przyjęte zostały nowe wytyczne aktualizujące metodykę IPCC dla inwentaryzacji GHG (8). Zaktualizowana metodologia IPCC opiera się na najnowszych osiągnięciach naukowych. Zawiera również zaktualizowane wartości niektórych współczynników emisji wykorzystywanych do powiązania emisji gazu cieplarnianego dla określonego źródła z aktywnością powodującą emisję. Zgodnie z 5 raportem IPCC oceniającym zmiany klimatu (tzw. AR5) zmianie ulegają także współczynniki ocieplenia globalnego (Global Warming Potential – GWP) (7). Współczynniki GWP dla podtlenku azotu zmniejszyły się z 298 do 265. Należy zatem sądzić, że emisje w sektorze rolnictwa zmieniają się w przyszłym raportowaniu zarówno z powodu zastosowania nowszych wytycznych metodycznych IPCC, jak i w wyniku przeliczenia emisji podtlenku azotu po innym współczynniku GWP.

Celem opracowania było przedstawienie zmian w metodyce szacowania emisji podtlenku azotu oraz wykazanie wpływu nowych wytycznych na wielkość emisji tego gazu z produkcji rolniczej.

### **Zmiany w metodyce szacowania emisji podtlenku azotu**

Całkowita emisja podtlenku azotu w Polsce w 2018 r. wyniosła 74,18 kt. Głównym źródłem tej emisji jest sektor rolny, którego udział wyniósł 79,6% (59,02 kt), z czego 69,5% (51,57 kt) stanowiła emisja z gleb rolnych, 10% (7,42 kt) związane było z odchodami zwierzęcymi, a 0,1% (0,04 kt) ze spalaniem resztek poźniwnych (11).

Podtlenek azotu emitowany jest z gleby wskutek zachodzących procesów nityfikacji i denityfikacji. Procesy te zależą od aktywności mikroorganizmów glebowych oraz temperatury i wilgotności gleby (2). Na wielkość emisji  $N_2O$  istotny wpływ wywiera ilość wnoszonego do gleby azotu (stosowanie nawozów mineralnych i organicznych, odchody zwierząt gospodarskich pozostawiane na pastwiskach, resztki poźniwne) oraz

zmiana sposobu użytkowania gruntów (praktyk gospodarowania). Niewykorzystany przez rośliny azot ulega przemianom generującym jego straty na drodze utleniania, wymywania i spływów powierzchniowych.

W obliczeniach całkowitej emisji  $N_2O$  z rolnictwa uwzględnia się bezpośrednią i pośrednią emisję tego gazu. Do obliczania emisji bezpośredniej podtlenku azotu z gleb rolnych stosuje się równanie (10):

$$N_2O_{\text{Direct}}-N = (F_{\text{SN}} + F_{\text{ON}} + F_{\text{CR}} + F_{\text{SOM}})EF_1 + F_{\text{OS}} \times EF_2 + F_{\text{PRP}} \times EF_{3\text{PRP}}$$

gdzie:

$N_2O_{\text{Direct}}-N$  – roczna bezpośrednia emisja  $N_2O-N$  z użytkowanych gleb rolnych (kg  $N_2O-N \cdot rok^{-1}$ );

$F_{\text{SN}}$  – roczne zużycie nawozów mineralnych (kg  $N \cdot rok^{-1}$ );

$F_{\text{ON}}$  – roczna ilość nawozu naturalnego, kompostu, osadów ściekowych i innych organicznych dodatków N zastosowanych na gleby (kg  $N \cdot rok^{-1}$ );

$F_{\text{CR}}$  – roczna ilość N w resztkach roślinnych (nad- i podziemnych), łącznie z roślinami bobowatymi, oraz z odnawiania łąk i pastwisk, zwrócona do gleby (kg  $N \cdot rok^{-1}$ );

$F_{\text{SOM}}$  – roczna ilość N w glebach mineralnych, która uległa mineralizacji w związku ze stratami węgla z substancji organicznej w glebie w wyniku zmian użytkowania gruntów (kg  $N \cdot rok^{-1}$ );

$F_{\text{OS}}$  – roczna powierzchnia użytkowanych/osuszanych gleb organicznych (ha);

$F_{\text{PRP}}$  – roczna ilość N w odchodach pozostawionych przez pasące się zwierzęta na pastwiskach i wygonach (kg  $N \cdot rok^{-1}$ );

$EF_1$  – wskaźnik emisji bezpośredniej  $N_2O$  z gleb (kg  $N_2O-N \cdot kg^{-1} N$ );

$EF_2$  – wskaźnik emisji  $N_2O$  z użytkowanych/osuszanych gleb organicznych (kg  $N_2O-N \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ );

$EF_{3\text{PRP}}$  – wskaźnik emisji  $N_2O$  z N w odchodach zwierząt pozostawionych na pastwiskach i wygonach (kg  $N_2O-N \cdot kg^{-1} N$ ).

W wytycznych IPCC 2019b (10) równanie to nie zostało zmienione, ale zaktualizowano wskaźniki emisji  $N_2O$  wykorzystywane w obliczeniach. Według IPCC 2006 szacunkowa wielkość emisji z nawozów mineralnych i naturalnych rośnie liniowo wraz z dawką, stanowiąc 1% wprowadzonego N w nawozach (6). Biorąc jednak pod uwagę rosnącą liczbę badań naukowych podkreślających rolę klimatu i typ nawozu (1, 13), w nowych założeniach metodycznych zmodyfikowano wskaźniki (tab. 1). W klimacie umiarkowanym chłodnym i wilgotnym (do takiej strefy została zaliczona Polska) wartość wskaźnika  $EF_1$  została ustalona na poziomie 16% dla wnoszonych nawozów mineralnych oraz 0,6% dla nawozów organicznych. Zwiększeniu uległ także wskaźnik emisji podtlenku azotu z N w odchodach zwierząt pozostawionych na pastwiskach i wygonach (tab. 1).

Tabela 1

Wskaźniki emisji N<sub>2</sub>O stosowane w szacowaniu emisji bezpośredniej

| Wskaźniki emisji N <sub>2</sub> O | IPCC 2006   | IPCC 2019b  |
|-----------------------------------|---|---|
| EF <sub>1</sub>                   | 0,01 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N   | nawozy mineralne – 0,016 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>inne ładunki N – 0,006 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N                  |
| EF <sub>2</sub>                   | 8 kg N <sub>2</sub> O-N·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup>   | brak wskaźnika,<br>przyjęto – 8 kg N <sub>2</sub> O-N·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup>   |
| EF <sub>3PRP</sub>                | 0,02 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>dla bydła, świń i drobiu<br>0,01 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>dla kóz, owiec i koni | 0,006 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>dla bydła, świń i drobiu<br>0,003 kg N <sub>2</sub> O-N·kg <sup>-1</sup> N<br>dla kóz, owiec i koni |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019b (10)

Jedynym równaniem zaktualizowanym w szacowaniu bezpośredniej emisji N<sub>2</sub>O z użytkowania gleb jest wzór cząstkowy dotyczący obliczania ilości azotu związanego z pozostałościami resztek roślinnych (nad- i podziemnych) z roślin uprawnych oraz z odnawiania łąk i pastwisk (F<sub>CR</sub>):

$$F_{CR} = \sum_T \{ (AGR_{(T)} \times N_{AG(T)} \times (1 - \text{Frac}_{\text{Remove}(T)} - (\text{Frac}_{\text{Burnt}(T)} \times C_f))) + BGR_{(T)} \times N_{BG(T)} \}$$

$$AGR_{(T)} = AG_{DM(T)} \times \text{Area}_{(T)} \times \text{Frac}_{\text{Renew}}$$

$$BGR_{(T)} = (\text{Crop}(T) + AG_{DM(T)}) \times RS_{(T)} \times \text{Area}_{(T)} \times \text{Frac}_{\text{Renew}(T)}$$

$$AG_{DM(T)} = \text{Crop}_{(T)} \times R_{AG(T)}$$

gdzie:

F<sub>CR</sub> – roczna ilość N w resztkach roślinnych pozostałych w glebie (nad- i podziemnych), łącznie z roślinami bobowatymi oraz odnowieniami łąk i pastwisk, zwróconego do gleb rocznie (kg N·rok<sup>-1</sup>);

AGR<sub>(T)</sub> – roczna ilość nadziemnych resztek roślinnych dla uprawy T (kg s.m.·rok<sup>-1</sup>);

N<sub>AG(T)</sub> – zawartość N w resztkach nadziemnych uprawy T (kg N·kg<sup>-1</sup> s.m.);

Frac<sub>Remove(T)</sub> – ułamek nadziemnych resztek roślinnych uprawy T usuniętych rocznie z pola na potrzeby paszowe, ścióły, budownictwa;

Frac<sub>Burnt(T)</sub> – ułamek spalonych rocznie resztek roślinnych danej uprawy T;

C<sub>f</sub> – współczynnik spalania;

BGR<sub>(T)</sub> – roczna ilość podziemnych resztek uprawy T (kg s.m.·rok<sup>-1</sup>);

N<sub>BG(T)</sub> – zawartość N w resztkach podziemnych uprawy T (kg N·kg<sup>-1</sup> s.m.);

AG<sub>DM(T)</sub> – ilość nadziemnych resztek roślinnych w suchej masie (kg s.m.·ha<sup>-1</sup>);

Crop<sub>(T)</sub> – roczna wielkość zbiorów danej uprawy T w suchej masie (kg s.m.·ha<sup>-1</sup>);

R<sub>AG(T)</sub> – stosunek resztek nadziemnych w suchej masie (AG<sub>DM(T)</sub>) do plonu uprawy T (Crop<sub>(T)</sub>) (kg s.m.·ha<sup>-1</sup>/kg s.m.·ha<sup>-1</sup>);

Area<sub>(T)</sub> – roczna powierzchnia uprawy T (ha·rok<sup>-1</sup>);

Frac<sub>Renew(T)</sub> – ułamek całkowitej powierzchni pod uprawą T odnawianą corocznie; dla krajów gdzie pastwiska są odnawiane co X lat, Frac<sub>Renew</sub> = 1/X;

RS<sub>(T)</sub> – stosunek biomasy podziemnej do biomasy nadziemnej dla uprawy T (kg s.m.·ha<sup>-1</sup>);

T – typ uprawy.

W nowych wytycznych również wzory do szacowania emisji pośredniej podtlenku azotu z gleb nie uległy zmianie w stosunku do wytycznych IPCC 2006 (6). Zaktualizowane zostały natomiast wskaźniki wykorzystywane w obliczeniach (tab. 2). Wzrósł wskaźnik emisji  $EF_4$  z depozycji azotu utleniającego się z pól w formie  $NO_x$  i  $NH_3$  oraz wskaźnik emisji  $EF_5$  z azotu traconego w wyniku wymywania i spływu powierzchniowego. Obniżono udział całkowitych strat azotu z powodu wymywania i spływów powierzchniowych (tab. 2).

Tabela 2

Wskaźniki emisji  $N_2O$  stosowane w szacowaniu emisji pośredniej

| Wskaźniki emisji $N_2O$  | IPCC 2006  | IPCC 2019b  |
|--|--|---|
| $EF_4$   | 0,01 kg $N_2O$ -N/kg $NH_3$ -N + $NO_x$ -N ulotniony | 0,014 kg $N_2O$ -N/kg $NH_3$ -N + $NO_x$ -N ulotniony |
| $EF_5$   | 0,0075 kg $N_2O$ -N/kg N wypłukany/odpływ            | 0,011 kg $N_2O$ -N/kg N wypłukany/odpływ              |
| $Frac_{GASF}$<br>(ulatnianie z nawozów mineralnych)  | 0,10 kg $NH_3$ -N + $NO_x$ -N·kg <sup>-1</sup> N     | 0,11 $NH_3$ -N + $NO_x$ -N·kg <sup>-1</sup> N         |
| $Frac_{GASM}$<br>(ulatnianie z nawozów organicznych oraz odchodów pozostawionych na pastwiskach) | 0,20 $NH_3$ -N + $NO_x$ -N·kg <sup>-1</sup> N        | 0,21 $NH_3$ -N + $NO_x$ -N·kg <sup>-1</sup> N         |
| $Frac_{LEACH(H)}$<br>(straty N z wymywania/odpływu)  | 0,30 kg N·kg <sup>-1</sup> N                         | 0,24 kg N·kg <sup>-1</sup> N                          |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019b (10)

Istotnym źródłem emisji podtlenku azotu są także odchody zwierząt gospodarskich. Nawozy naturalne z jednej strony stanowią cenne źródło substancji organicznej, z drugiej zaś mogą stwarzać problemy środowiskowe. Odchody zwierząt inwentarskich zawierają przeważnie kilkanaście procent materii organicznej, w której zawartość Corg. oscyluje w granicach 40%, a azotu ogólnego wynosi około 5%. Równoczesne wprowadzenie do gleby łatwo dostępnego azotu i węgla zawartego w odchodach wzmaga procesy denitryfikacji, a tym samym emisje  $N_2O$ . Beztlenowy proces denitryfikacji powoduje, że azotyny i azotany są przekształcane do  $N_2O$  i  $N_2$ . Nasila się również wymywanie azotanów oraz utlenianie amoniaku, tj. powstawanie emisji pośrednich podtlenku azotu.

Szacowanie bezpośredniej emisji  $N_2O$  z odchodów zwierzęcych odbywa się według równania (9):

$$N_2O_{D(mm)} = \left( \sum_S \left( \sum_{T,P} (N_{(T,P)} \times Nex_{(T,P)} \times AWMS_{(T,S,P)} + N_{cdg(s)}) \times EF_{3(s)} \right) \right) \times \frac{44}{28}$$

gdzie:

$N_2O_{D(mm)}$  – bezpośrednia emisja  $N_2O$  z gospodarki odchodami ( $kg N_2O \cdot rok^{-1}$ );

$N_{(T,P)}$  – pogłowie zwierząt dla gatunku/kategorii zwierząt T w systemie produkcyjnym P;

$Nex_{(T,P)}$  – średnia roczna wielkość azotu wydalanego przez gatunek/kategorię zwierząt T w systemie produkcyjnym P ( $kg N \cdot szt^{-1} \cdot rok^{-1}$ );

$AWMS_{(T,S,P)}$  – udział systemu utrzymania zwierząt dla danego VS dla gatunku/kategorii zwierząt T oraz systemu utrzymania zwierząt S w systemie produkcyjnym P;

$N_{cdg(s)}$  – ilość N we wsadzie podlegająca współfermentacji w biogazowniach ( $kg N \cdot rok^{-1}$ );

$EF_{3(s)}$  – wskaźnik bezpośredniej emisji  $N_2O$  dla systemu utrzymania zwierząt S ( $kg N_2O \cdot N^{-1} \cdot kg^{-1} N$ );

S – system utrzymania zwierząt;

T – gatunek/kategoria zwierząt;

P – wysoko- lub niskoprodukcyjny system stosowany w zaawansowanej metodzie Tier 1a;

44/28 – współczynnik przeliczeniowy emisji ( $N_2O$ -N) na emisję  $N_2O$ .

Badania wykazały, że w wielu rejonach Polski występuje duży potencjał surowcowy do produkcji biogazu rolniczego (5). Znaczne ilości odchodów produkują farmy wielkotowarowe, które często nie posiadają żadnych gruntów, na których odchody mogłyby być zagospodarowane. Coraz częściej odchody te są wykorzystywane w procesie fermentacji do produkcji biogazu. Dlatego też należy zwrócić uwagę, że ww. równanie zostało uzupełnione o ilość azotu, która podlega procesom współfermentacji w biogazowniach ( $N_{cdg(s)}$ ). W przypadku braku informacji o ilości azotu z odchodów przetwarzanych w biogazowniach przyjmuje się, że całość nawozów naturalnych jest stosowana na polach.

Porównując wskaźniki emisji  $N_2O$  dla różnych systemów utrzymania zwierząt ( $EF_3$ ), stwierdzono jedynie różnicę dla przyz obornika. Wartość wskaźnika według nowych wytycznych IPCC 2019a jest dwukrotnie wyższa (tab. 3).

Tabela 3

Wskaźniki emisji bezpośredniej  $N_2O$  z gospodarki odchodami zwierząt według systemów utrzymania

| Systemy utrzymania zwierząt                        | $EF_3$<br>wskaźnik emisji ( $kg N_2O \cdot N^{-1} \cdot kg^{-1} N$ ) |            |
|--|--|------------|
|  | IPCC 2006  | IPCC 2019a |
| Płynny/gnojowica z naturalnym kożuchem/przykryciem | 0,005  | 0,005      |
| Płynny/gnojowica bez naturalnego kożucha           | 0  | 0          |
| Przemy obornika                                    | 0,005  | 0,010      |
| Zbiornik na odchody pod pomieszczeniem zwierząt    | 0,002  | 0,002      |
| Drób – odchody ze ściółą i bez                     | 0,001  | 0,001      |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2019a (9)

Taką samą modyfikację wprowadzono we wzorach wykorzystywanych do obliczania emisji pośredniej  $N_2O$  z odchodów zwierzęcych. Ponadto w szacunkach emisji pośredniej podtlenku azotu według nowych wytycznych uwzględniono straty azotu w formie  $N_2$  w wyniku denitryfikacji.

Straty azotu określa się więc na podstawie zaktualizowanego wzoru (9):

$$N_{MMSAvb} = \sum S \{ \sum (T) ( (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times AWMS_{(T,S)} + N_{cdg}) \times (1 - \text{Frac}_{\text{LossMS}(T,S)}) + (N_{(T)} \times AWMS_{(T,S)} \times N_{\text{beddingMS}(T,S)}) \}$$

gdzie:

$N_{MMSAvb}$  – ilość N w nawozach naturalnych dostępna do zastosowania na glebach lub na paszę, paliwo lub do budownictwa ( $\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$N_{(T)}$  – pogłowie zwierząt dla gatunku/kategorii zwierząt T w systemie produkcyjnym P;

$Nex_{(T)}$  – średnia roczna wielkość azotu wydalanego przez gatunek/kategorię zwierząt T w systemie produkcyjnym P ( $\text{kg N} \cdot \text{szt.}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$AWMS_{(T,S)}$  – udział systemu utrzymania zwierząt dla danego VS dla gatunku/kategorii zwierząt T oraz systemu utrzymania zwierząt S w systemie produkcyjnym P;

$\text{Frac}_{\text{LossMS}(T,S)}$  – ułamek N z odchodów dla gatunku/kategorii zwierząt T oraz systemu utrzymania zwierząt S;

$N_{\text{beddingMS}(T,S)}$  – ilość N pochodzącego ze ściółkowania pomieszczeń dla zwierząt ( $\text{kg N} \cdot \text{szt.}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

$N_{\text{cdg}}$  – ilość N we wsadzie do biogazowni, tj. odpadów spożywczych lub roślin uprawnych ( $\text{kg N} \cdot \text{rok}^{-1}$ );

S – system utrzymania zwierząt;

T – gatunek/kategoria zwierząt.

Aktualizacja ww. równania spowodowała wprowadzenie dwóch dodatkowych wzorów do obliczeń. Równanie do obliczania strat azotu w różnych formach (9):

$$\text{FRAC}_{\text{LossMS}(T,S)} = \text{FRAC}_{\text{GASMS}(T,S)} + \text{FRAC}_{\text{LEACHMS}(T,S)} + \text{FRAC}_{\text{N}_2\text{MS}(S)} + \text{EF}_{3(S)}$$

gdzie:

$\text{FRAC}_{\text{LossMS}(T,S)}$  – całkowity ułamek N w odchodach zwierzęcych dla gatunku/kategorii zwierząt T w systemie utrzymania S;

$\text{FRAC}_{\text{GASMS}(T,S)}$  – ułamek N w odchodach dla gatunku/kategorii zwierząt T utracony przez ułanianie się jako  $\text{NH}_3$  lub  $\text{NO}_x$  w systemie utrzymania S;

$\text{FRAC}_{\text{LEACHMS}(T,S)}$  – ułamek N w odchodach dla gatunku/kategorii zwierząt T utracony przez wymywanie i odpływ w systemie utrzymania S;

$\text{FRAC}_{\text{N}_2\text{MS}(S)}$  – ułamek N w odchodach utracony jako  $N_2$  w systemie utrzymania S;

$\text{EF}_{3(S)}$  – wskaźnik bezpośredniej emisji  $N_2O$  w systemie utrzymania S.

Równanie do obliczania strat azotu w formie  $N_2$  (9):

$$\text{FRAC}_{\text{N}_2\text{MS}(S)} = R_{\text{N}_2(\text{N}_2\text{O})} \times \text{EF}_{3(S)}$$

gdzie:

$\text{FRAC}_{\text{N}_2\text{MS}(S)}$  – ułamek N w odchodach utracony jako  $N_2$  w systemie utrzymania S;

$\text{EF}_{3(S)}$  – wskaźnik bezpośredniej emisji  $N_2O$  w systemie utrzymania S ( $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{N}$ );

$R_{\text{N}_2(\text{N}_2\text{O})}$  – stosunek emisji  $N_2:N_2O$ ; domyślna wartość wynosi  $3 \text{ kg N}_2 \cdot \text{N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{N}_2\text{O} \cdot \text{N}$ .



Niewielkie ilości podtlenu azotu uwalniane są podczas spalania resztek poźniwnych. Ocena emisji ze spalania resztek poźniwnych nie została zmieniona. Emisja podtlenu azotu jest nieznaczna i wynosi 0,04 kt  $N_2O$ .

W szacunkach emisji podtlenu azotu z produkcji rolnej wykorzystuje się podstawowe dane z krajowej statystyki publicznej GUS (zużycie nawozów mineralnych, zbiory, plony, powierzchnia upraw, pogłowie zwierząt gospodarskich). W obliczeniach (w miarę możliwości) stosuje się własne parametry i wskaźniki, które pochodzą z opracowań krajowych lub uzgodnień z ekspertami wspomagającymi prace w tym zakresie (11, 12). W przypadku ich braku, wykorzystywane są dane literaturowe lub domyślne współczynniki IPCC.

### Wpływ wdrożenia proponowanych zmian na wyniki emisji podtlenu azotu

Emisję podtlenu azotu z produkcji rolnej w 2018 r., oszacowaną zgodnie z nowymi wytycznymi IPCC 2019a i 2019b (9, 10), porównano z wynikami obliczonymi według metodyki IPCC 2006 (6) i prezentowanymi w raporcie NIR 2020. Emisja  $N_2O$  z gleb rolnych obliczona według nowych proponowanych wytycznych IPCC 2019a i 2019b (9, 10) wyniosła 59,08 kt  $N_2O$  i w porównaniu z dotychczasowym szacunkiem na poziomie 51,57 kt  $N_2O$  wzrosła o 7,51 kt (14,6%). W całkowitej emisji podtlenu azotu z gleb rolnych 47,82 kt  $N_2O$  stanowiła emisja bezpośrednia, a 11,26 kt  $N_2O$  – emisja pośrednia (tab. 4). Szacunki wykazały wzrost emisji bezpośredniej o 14,2% i pośredniej o 16,0%, w porównaniu z wielkością emisji obliczoną według IPCC 2006 (6). Powodem tych wzrostów jest zastosowanie wyższych wartości wskaźników emisji  $N_2O$  ze stosowania nawozów, zwłaszcza mineralnych, które są głównym źródłem emisji  $N_2O$  z gleb rolnych (tab. 1).

Tabela 4

Emisja podtlenu azotu dla roku 2018 na podstawie metodyk IPCC 2006 (6) oraz IPCC 2019a i 2019b (9, 10)

| 2018<br>(kt)                | $N_2O$    |                    |
|-----------------------------|-----------|--------------------|
|                             | IPCC 2006 | IPCC 2019a i 2019b |
| Rolnictwo łącznie           | 59,02     | 69,00              |
| Gleby rolne                 | 51,57     | 59,08              |
| – emisja bezpośrednia       | 41,86     | 47,82              |
| – emisja pośrednia          | 9,71      | 11,26              |
| Nawozy organiczne           | 7,41      | 9,88               |
| – emisja bezpośrednia       | 3,51      | 6,57               |
| – emisja pośrednia          | 3,90      | 3,31               |
| Spalanie resztek roślinnych | 0,04      | 0,04               |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2006 (6), IPCC, 2019a i 2019b (9 i 10)

Podobną sytuację stwierdzono w szacunkach emisji podtlenku azotu z nawozów organicznych. Wartość wskaźnika emisji  $N_2O$  z przym obornika wzrosła dwukrotnie (tab. 3). Zmiana ta spowodowała wzrost emisji bezpośredniej z nawozów organicznych z poziomu 3,51 kt do 6,57 kt  $N_2O$ , czyli o 87,2%. Natomiast zastosowanie zaktualizowanych wzorów do obliczania emisji pośredniej z odchodów wpłynęło na obniżenie emisji o 15,4% (z 3,90 do 3,31 kt), ale nie wywołało istotnego wpływu na wielkość całkowitej emisji podtlenku azotu z nawozów organicznych. Emisja  $N_2O$  z gospodarki odchodami wyniosła 9,88 kt  $N_2O$  i była o 33,3% wyższa w porównaniu z wielkością 7,41 kt oszacowaną według metodyki IPCC 2006. Całkowita emisja podtlenku azotu z sektora rolnego wyniosła 69,0 kt, a więc wzrosła o 16,9% w stosunku do 59,02 kt  $N_2O$ . Zmiana w metodyce szacowania wpłynęła na zmianę udziału poszczególnych źródeł emisji  $N_2O$  w całkowitej emisji z rolnictwa. Udział emisji z gleb rolnych zmalał z 87,4 do 85,6%. Natomiast udział emisji  $N_2O$  z nawozów organicznych wzrósł z 12,5 do 14,3%.

Jak wspomniano, w piątym raporcie IPCC (AR5) (7) zaproponowano zmianę wielkości wskaźników globalnego ocieplenia (GWP). Z definicji GWP jest to wskaźnik służący do ilościowej oceny wpływu danej substancji na efekt cieplarniany. Porównuje ilość ciepła zatrzymanego przez określoną masę gazu do ilości ciepła zatrzymanego przez podobną masę dwutlenku węgla. GWP jest przeliczany dla określonego przedziału czasu, zwykle 20, 100 lub 500 lat. GWP dla dwutlenku węgla wynosi 1. W dotychczasowej metodyce wskaźnik GWP do przeliczania podtlenku azotu na ekwiwalent  $CO_2$  przyjmowany był na poziomie 298. Według nowej propozycji jego wielkość została obniżona do 265 (7).

Szacunki emisji podtlenku azotu zaprezentowane w tabeli 4 przeliczono na ekwiwalent  $CO_2$  z obecnie stosowanym wskaźnikiem  $GWP = 298$  oraz z proponowanym  $GWP = 265$  i zaprezentowano w tabeli 5.

Tabela 5  
Emisja podtlenku azotu dla 2018 r. oszacowana na podstawie metodyk IPCC 2006 (6), IPCC 2019a i 2019b (9, 10) oraz z uwzględnieniem potencjałów GWP

| kt ekw. $CO_2$              | IPCC 2006<br>GWP = 298 | IPCC 2019a i 2019b<br>GWP = 298 | IPCC 2019a i 2019b<br>GWP = 265 |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Rolnictwo łącznie           | 17589,0                | 20562,0                         | 18285,0                         |
| Gleby rolne                 | 15367,9                | 17605,8                         | 15656,2                         |
| – emisja bezpośrednia       | 12474,3                | 14250,4                         | 12672,3                         |
| – emisja pośrednia          | 2893,6                 | 3355,5                          | 2983,9                          |
| Nawozy organiczne           | 2208,2                 | 2944,2                          | 2618,2                          |
| – emisja bezpośrednia       | 1046,0                 | 1957,9                          | 1741,1                          |
| – emisja pośrednia          | 1162,2                 | 986,4                           | 877,2                           |
| Spalanie resztek roślinnych | 11,9                   | 11,9                            | 10,6                            |

Źródło: opracowano na podstawie IPCC, 2006 (6), IPCC, 2019a i 2019b (9 i 10)

Przedstawione wyniki wskazują, że zastosowanie nowego wskaźnika GWP = 265 spowodowało obniżenie szacunków emisji N<sub>2</sub>O według nowej metodyki IPCC 2019a i 2019b (9, 10) o 11,1%.

### Podsumowanie

Wdrożenie nowej metodyki IPCC 2019a i 2019b (9, 10) do szacowania podtlenku azotu z produkcji rolniczej spowodowało wzrost emisji o 16,9% dla całego sektora rolnego, o 14,6% z użytkowania gleb rolnych i o 33,3% z gospodarowania odchodami. Wprawdzie zastosowanie nowego wskaźnika GWP = 265 wpłynęło na zmniejszenie emisji oszacowanych zgodnie z metodyką IPCC 2019a i 2019b (9, 10), to jednak były one większe w porównaniu z szacunkami wykonanymi według obecnie stosowanej metodyki IPCC 2006 (6). Przeprowadzona analiza wykazała, że zmiana metodyki szacowania może zwiększyć wartości inwentaryzowanej emisji podtlenku azotu. Dążąc zatem do ograniczenia emisji i spełnienia wymogów, należy podejmować jeszcze intensywniejsze działania wpływające na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.

### Literatura

1. Aguilera E., Lassaletta L., Sanz-Cobena A., Garnier J. & Vallejo A.: The potential of organic fertilizers and water management to reduce N<sub>2</sub>O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, **164**: 32-52.
2. Butterbach-Bahl K., Baggs E. M., Dannenmann M., Kiese R., Zechmeister-Boltenstern S.: Nitrous oxide emissions from soils: How well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2013, **368**: 20130122.
3. Decyzja Komisji UE z dnia 10 sierpnia 2017 r. zmieniająca decyzję 2013/162/UE w celu skorygowania rocznych limitów emisji państw członkowskich na okres od 2017 r. do 2020 r. Dz.U.L. 209/53 z 12.08.2017.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 14 marca 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu wzmocnienia efektywnych pod względem kosztów redukcji emisji oraz inwestycji niskoemisyjnych oraz decyzję (UE) 2015/1814. Dz.U.L. 76/3 z 19.03.2018.
5. Golaś P.: Gospodarstwa rolne jako producenci substratów do produkcji biogazu rolniczego. *Annals PAAAE*, 2014, **16(6)**: 132-136.
6. IPCC, 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies.
7. IPCC, 2014. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
8. IPCC, 2019. <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>.
9. IPCC, 2019a. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: EMISSIONS FROM LIVESTOCK AND MANURE MANAGEMENT. [https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19r\\_V4\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19r_V4_Ch10_Livestock.pdf)
10. IPCC, 2019b. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 11: N<sub>2</sub>O EMISSIONS FROM MANAGED SOILS, AND CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM LIME AND UREA APPLICATION [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19r\\_V4\\_Ch11\\_Soils\\_N2O\\_CO2.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19r_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf)
11. NIR 2020 PL. Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2020. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych dla lat 1988–2018. Raport syntetyczny wykonany na potrzeby Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz Protokołu z Kioto. KOBiZE IOŚ-PIB. Warszawa 2020.

12. Olecka A., Kargulewicz I., Skośkie wicz J.: Oszacowanie wpływu zastosowania wytycznych IPCC 2019 Refinement na emisję GHG w sektorze rolnictwa w Polsce. IOS-PIB. Warszawa 2020.
13. Rochette P., Liang B.C., Pelster D., Bergeron O., Lemke R., Kroebel R., MacDonald D., Yan W. & Flemming C.: Soil nitrous oxide emissions from agricultural soils in Canada: exploring relationships with soil, crop and climatic variables. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, **254**: 69-81.
14. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 15 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013 w odniesieniu do technicznego wykonania Protokołu z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. Dz.U.L 189/155 z 27.06.2014.
15. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie włączenia emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w wyniku działalności związanej z użytkowaniem gruntów, zmianą użytkowania gruntów i leśnictwem do ram polityki klimatyczno-energetycznej do roku 2030 i zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013 oraz decyzję nr 529/2013/UE. Dz.U.L 156/1 z 19.06.2019.
16. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie wiążących rocznych redukcji emisji gazów cieplarnianych przez państwa członkowskie od 2021 r. do 2030 r. przyczyniających się do działań na rzecz klimatu w celu wywiązania się z zobowiązań wynikających z Porozumienia paryskiego oraz zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013. Dz.U.L 156/26 z 19.06.2019.

---

Adres do korespondencji:

*dr Zuzanna Jarosz; prof. dr hab. Antoni Faber*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8,*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 47 86 766; 81 47 86 767*  
*e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl,*  
*faber@iung.pulawy.pl*

---

| AUTOR          | ORCID               |
|----------------|---------------------|
| Zuzanna Jarosz | 0000-0002-3428-5804 |
| Antoni Faber   | 0000-0002-3055-1968 |