

**Antoni Faber, Zuzanna Jarosz**

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

ANALIZA PORÓWNAWCZA WSPÓŁCZYNNIKÓW STOSOWANYCH  
W SZACUNKACH EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH Z ROLNICTWA  
W POLSCE I WYBRANYCH KRAJACH EUROPEJSKICH\*

**Słowa kluczowe:** rolnictwo, gazy cieplarniane, emisja, współczynniki emisji

---

**Wstęp**

Polska jako sygnatariusz Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych (1994 r.) w sprawie zmian klimatu (UNFCCC) oraz Protokołu z Kioto i porozumienia z Doha zobowiązana jest do działań na rzecz ograniczenia zmian klimatu poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych (GHG). W latach 2008–2012 celem dla Polski było zmniejszenie całkowitej emisji GHG o 6% (7). Natomiast w latach 2013–2020 Unia Europejska i jej kraje członkowskie oraz Islandia na mocy porozumienia zobowiązały się do wspólnego wypełnienia celu redukcyjnego GHG na poziomie 80% sumy emisji wszystkich państw w latach bazowych (7). Podstawę do realizacji tego celu stanowił tzw. pakiet klimatyczno-energetyczny (5). Obejmował on źródła emisji należące do obszaru EU ETS (energetyka, ciepłownictwo, przemysł), którego emisje raportowane są i rozliczane bezpośrednio przez prowadzących instalacje. Drugim obszarem było non-ETS (pozostałe sektory gospodarki, w tym rolnictwo), którego emisje są raportowane i rozliczane przez poszczególne państwa członkowskie. Zgodnie z Effort Sharing Decision (ESD) Polska w ramach wspólnego unijnego celu redukcji w latach 2013–2020 miała obowiązek ograniczyć emisję GHG o 14% w stosunku do roku 2005 (7). W dalszej perspektywie UE przedstawiła ambitniejszy plan działania w zakresie ograniczania emisji GHG (55% w 2030 r.) i osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 r. (6). Spełnienie postawionego celu wymaga zaangażowania w jego realizację wszystkich sektorów gospodarki.

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

Wielkości emisji GHG oraz ich trendy przekazywane są do UNFCCC corocznie według wspólnego formatu raportowania (CRF). Jeśli poziom emisji GHG z jakichś źródeł nie może być zmierzony, jak np. w rolnictwie, jest on do celów raportowania szacowany według metodyk opracowanych przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) (3). W szacunkach wykorzystuje się najczęściej domyślne współczynniki emisji poziomu pierwszego, których stosowanie jest zalecane np. dla regionów, stref klimatycznych, a nawet całego globu (3). Zamiast nich poszczególne kraje mogą korzystać z dokładniejszych współczynników poziomu drugiego, jeśli posiadają do ich opracowania potrzebne dane (3). Są to współczynniki specyficzne dla warunków panujących w danym kraju i nie mogą być stosowane poza nim. IPCC zachęca także do stosowania najdokładniejszych metod szacunków, jakimi są modele (metoda poziomu trzeciego) (3). Przed zastosowaniem model powinien być skalibrowany dla danych warunków, co wymaga zazwyczaj dużej ilości danych. Model skalibrowany dla danego kraju nie może być stosowany w innym kraju bez rekaliibracji i weryfikacji.

W Polsce za przygotowanie krajowych raportów inwentaryzacji emisji GHG odpowiedzialny jest Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE), który działa przy Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym (7, 8). W raportach oprócz danych o wielkościach emisji oraz ich trendach znaleźć można między innymi opisy stosowanych metodyk szacunków emisji oraz zamierzenia dotyczące planowanego ich doskonalenia.

### Materiały i metody

Porównanie współczynników emisji dla rolnictwa w Polsce i dziewięciu wybranych krajach europejskich było możliwe po obliczeniu dla każdego rolniczego źródła emisji implikowanych współczynników emisji (IEF) (4). Są to stosunki pomiędzy emisjami szacowanymi dla danych źródeł a wielkościami aktywności gospodarczej (1, 2, 7). Na przykład, współczynnik IEF dla  $CH_4$  z fermentacji jelitowej u bydła może być policzony z równania (1):

$$IEF_{(T)} = \frac{Emisja (CH_4)_{(T)}}{N_{(T)}} \times 10^6$$

gdzie:

$IEF_{(T)}$  – implikowany współczynnik emisji dla kategorii zwierząt T ( $kg CH_4 \cdot sztukę^{-1} \cdot r^{-1}$ );

$Emisja (CH_4)_{(T)}$  – emisja metanu dla kategorii zwierząt T ( $Gg CH_4 \cdot sztukę^{-1}$ );

$N_{(T)}$  – liczba sztuk na kategorię zwierząt T;

T – kategoria zwierząt.

W prezentowanym opracowaniu IEF dla emisji z fermentacji jelitowej oraz gospodarowania obornikiem przedstawiono w przeliczeniu na stanowisko zwierząt (2). Obliczone IEF są przydatne w weryfikacji zarówno współczynników emisji, jak

również działalności gospodarczych uwzględnionych w szacunkach emisji. Kiedy IEF odnoszone są do domyślnych współczynników emisji IPCC lub współczynników wziętych z literatury, mogą być pomocne w ustaleniu porównywalności lub specyficzności współczynników emisji stosowanych w poszczególnych krajach.

W opracowaniu przedstawiono IEF dla wszystkich źródeł emisji GHG raportowanych dla rolnictwa (3). Materiały wykorzystane do ich obliczeń pochodziły z raportów inwentaryzacji z roku 2018 (Niemcy 2019 r.) dla analizowanych krajów (2, 7, 8, 9). W ostatnim wierszu większości zestawień tabelarycznych podano także domyślne współczynniki emisji (EF) według IPCC, które oszacowane zostały metodą poziomu pierwszego (3). Większe lub mniejsze wartości IEF od domyślnej wartości współczynnika według IPCC wskazują, że w danym kraju zastosowano w szacunkach metodę poziomu drugiego lub trzeciego. Jednocześnie stosowanie IEF większych od domyślnych wartości EF według IPCC daje większe szacunki emisji i vice versa.

Celem pracy jest porównanie implikowanych współczynników emisji (IEF) stosowanych w Polsce na tle innych krajów europejskich, w aspekcie doskonalenia szacunków emisji GHG i możliwości ich obniżenia w produkcji rolniczej.

## Omówienie wyników

### Emisje gazów cieplarnianych z polskiego rolnictwa

Źródłami emisji GHG w rolnictwie są: fermentacja jelitowa u zwierząt gospodarskich ( $\text{CH}_4$ ), gospodarowanie nawozami naturalnymi ( $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$ ), użytkowanie gleb ( $\text{N}_2\text{O}$ ), wapnowanie gleb i nawożenie ich moczniakiem ( $\text{CO}_2$ ) oraz spalanie resztek poźniwnych ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Emisje z tych źródeł stanowią 7,78% całkowitej emisji GHG w Polsce (8). W stosunku do 1988 r. emisje z rolnictwa w 2019 r. zmniejszyły się o ok. 34,8% (8).

Udział rolnictwa w całkowitej emisji metanu w 2019 r. wynosił 30,7%, w tym emisja z fermentacji jelitowej zwierząt stanowiła 91,3%, zaś z gospodarowania nawozami naturalnymi 8,5% (7, 8). Sektor rolnictwa był w tym roku głównym emitentem  $\text{N}_2\text{O}$ , w czym 81,4% udziału miało użytkowanie gleb oraz 15,8% gospodarowanie nawozami naturalnymi (7, 8). Udział rolnictwa bez użytkowania gleb, zmian w ich użytkowaniu i leśnictwa (LULUCF) w emisji  $\text{CO}_2$  był niewielki i wynosił w 2019 r. ok. 0,4%. W sektorze LULUCF bilans netto emisji i pochłaniania  $\text{CO}_2$  wnosił w 2019 r. ok. 17,0 milionów ton (5,3% całkowitej emisji  $\text{CO}_2$ ), co oznacza, że w sektorze przeważało pochłanianie tego gazu nad emisją. Ze względu na znaczące udziały rolnictwa w emisjach  $\text{N}_2\text{O}$  i  $\text{CH}_4$  należałoby dążyć zwłaszcza do redukcji emisji tych gazów, co jest wyzwaniem dość trudnym w realizacji. W strukturze emisji w sektorze rolnictwa (100%) największy udział miały: użytkowanie gleb (45,5%), fermentacja jelitowa (38,8%) i gospodarowanie nawozami naturalnymi (12,2%).

## Współczynniki emisji dla fermentacji jelitowej

Oszacowane dla Polski współczynniki IEF związane z chowem zwierząt (krów mlecznych, innego bydła oraz trzody chlewnej) zostały porównane z odpowiednimi IEF dla niektórych krajów oraz domyślnymi wskaźnikami emisji wg IPCC (tab. 1, 2). Porównanie dotyczy danych z 2018 r. (ostatni rok trendów z raportów za 2020 r.), z wyjątkiem Niemiec (dane z 2019 r.).

Tabela 1  
Współczynniki emisji metanu z fermentacji jelitowej krów mlecznych w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Współczynnik Y <sub>m</sub> konwersji CH <sub>4</sub> MJ·MJ <sup>-1</sup>	Spożycie GE MJ·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Produkcja mleka kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>
Austria	136	0,0650	318	19,5
Belgia	148	0,0610	371	23,1
Czechy	153	0,0650	359	23,4
Dania	161	0,0600	408	27,6
Francja	123	0,0613	306	19,3
Holandia	135	0,0573	297	bd
Niemcy	136	0,0632	329	22,1
Polska	127	0,0650	297	16,2
Szwajcaria	138	0,0690	304	23,2
Wielka Brytania	123	0,0647	289	21,6
IPCC (2006)*	117	0,0650		16,4

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

W tabeli 1 przedstawiono dane dla krów mlecznych, tj.: średnie wartości krajowych współczynników IEF związanych z miejscem przebywania zwierząt, spożycia energii brutto (GE) oraz wydajności mleka, które są kluczowym czynnikiem wpływającym na poziom emisji. Uwzględniono również współczynniki konwersji metanu (CH<sub>4</sub>). Te ostatnie służą do obliczania frakcji pobranego GE, która jest przekształcana w energię metanu traconą wraz z emisją tego gazu.

Wśród dziesięciu porównywanych krajów największy IEF ma Dania, a najmniejszy Wielka Brytania. Polska ma trzeci najmniejszy IEF po Wielkiej Brytanii i Francji. Spożycie GE jest również małe i lokuje Polskę po Wielkiej Brytanii, a na poziomie Holandii. Natomiast polskie krowy dają zdecydowanie najmniejszą produkcję mleka wśród porównywanych krajów, choć produkcja ta wzrosła o 83% w latach 1988–2019 (7). Dalsze zwiększanie tej produkcji mogłoby być istotnym sposobem ograniczenia emisji metanu, ponieważ umożliwiłoby zmniejszenie pogłównia krów. Jeśli chodzi

o współczynniki konwersji metanu, trzy kraje (Austria, Czechy i Polska) zastosowały domyślną wartość IPCC wynoszącą 6,5%. Wartość zastosowana przez Szwajcarię jest znacznie wyższa od wartości domyślnej IPCC. Współczynniki konwersji metanu stosowane przez Belgię, Danię, Francję, Niemcy, Holandię i Wielką Brytanię są niższe od wartości domyślnej IPCC, przy czym wartość stosowana przez Wielką Brytanię jest najbardziej zbliżona do wartości domyślnej IPCC.

W przypadku innego bydła wartości IEF wahają się od 35,5 kg·stanowisko<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> (Holandia) do 59,1 kg·stanowisko<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup> (Austria) (tab. 2). W Polsce współczynnik emisji jest o 11% mniejszy od wartości domyślnej IPCC. Natomiast spożycie GE jest o 2,5% mniejsze od mediany GE w porównywanych krajach. Przedstawione dane sugerują, że opracowanie mniejszego współczynnika emisji będzie w Polsce dość trudne w kategorii innego bydła.

Tabela 2

Współczynniki emisji metanu z fermentacji jelitowej innego bydła oraz trzody chlewnej w różnych krajach w roku 2018

Kraj	Inne bydło		Trzoda chlewna	
	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Spożycie GE MJ·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Spożycie GE MJ·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>
Austria	59,1	139	1,50	bd
Belgia	50,2	131	1,50	bd
Czechy	57,8	148	1,50	bd
Dania	40,5	130	1,08	38,8
Francja	53,0	125	0,74	bd
Holandia	35,5	91	1,50	bd
Niemcy	45,2	108	1,16	35,8
Polska	50,7	119	1,50	bd
Szwajcaria	46,5	118	1,04	26,5
Wielka Brytania	55,1	105	1,50	bd
IPCC (2006)*	57		1,50	

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

W przypadku trzody wszystkie porównywane kraje, z wyjątkiem Danii, Niemiec, Francji i Szwajcarii, wykorzystują domyślną wartość EF według IPCC. Wymienione cztery kraje stosują IEF mniejsze od wartości domyślnej IPCC. Może to oznaczać, że domyślna wartość IPCC jest zbyt wysoka w stosunku do uwarunkowań w Europie Środkowej. Współczynnik IEF Francji, w kontekście porównania, wydaje się nierealistycznie niski. Pobór GE jest podawany tylko przez Danię, Niemcy i Szwajcarię. Szanse na opracowanie w Polsce mniejszego współczynnika emisji są w przypadku trzody raczej małe.

## Współczynniki emisji dla gospodarowania nawozami naturalnymi

### Metan

W tabeli 3 przedstawiono współczynnik IEF dla emisji CH<sub>4</sub> pochodzącej z gospodarki nawozami naturalnymi oraz ważniejsze czynniki wpływające na ten współczynnik. Zgodnie z wymogami raportowania (CRF) udziały procentowe dla systemów gnojowicowych oraz odpowiadające im wartości współczynnika konwersji metanu (MCF) odnoszą się wyłącznie do systemów, w których gnojowica nie jest poddawana fermentacji w biogazowniach.

Tabela 3

Współczynniki emisji metanu z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi od bydła mlecznego w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	System gnojowicowy (bez biogazowni)	
			udział %	średni współczynnik konwersji metanu (MCF) %
Austria	17,2	5,02	54,4	8,77
Belgia	30,3	5,32	47,4	19,00
Czechy	14,2	6,63	16,0	17,00
Dania	26,5	7,03	71,1	4,98
Francja	10,6	4,18	17,2	17,50
Holandia	38,3	4,85	82,7	17,00
Niemcy	20,2	3,97	52,4	15,33
Polska	11,1	6,03	10,5	17,00
Szwajcaria	27,8	4,82	69,0	13,51
Wielka Brytania	37,3	5,51	61,0	17,00
IPCC (2006)*	21–23	5,1	35,7	17–19

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

Rozrzut wartości współczynnika IEF w porównywanych krajach jest stosunkowo duży. Mediana (23,4 kg·stanowisko<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>) jest nieco wyższa niż domyślny zakres wartości EF określony przez IPCC. Wartość tego współczynnika jest najmniejsza w Polsce w grupie porównywanych krajów i zarazem o połowę mniejsza od wartości domyślnej IPCC. Dzielne wydalanie VS w Polsce lokuje się w górnej części skali i jest mniejsze jedynie w stosunku do Danii i Czech. Polski MCF dla systemów gnojowicowych ma dolną wartość IPCC, podczas gdy stopień wykorzystania tych systemów jest ponad trzykrotnie mniejszy od wartości domyślnej IPCC. Dalsze zmniejszenie współczynnika emisji nie wydaje się w Polsce możliwe.

Współczynniki IEF dla  $\text{CH}_4$  z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi od pozostałego bydła oraz czynniki istotnie wpływające na ten współczynnik przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Współczynniki emisji metanu z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi od innego bydła w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	System gnojowicowy (bez biogazowni)	
			udział %	średni współczynnik konwersji metanu (MCF) %
Austria	6,18	2,13	34,80	8,26
Belgia	2,97	1,60	16,20	19,00
Czechy	3,56	2,95	9,00	17,00
Dania	12,60	3,22	31,58	4,98
Francja	3,23	1,91	2,64	18,91
Holandia	7,82	1,20	52,54	17,00
Niemcy	6,88	1,40	31,91	15,39
Polska	2,06	1,93	5,06	17,00
Szwajcaria	6,83	2,48	33,17	13,51
Wielka Brytania	7,90	1,98	18,41	17,00
IPCC (2006)*	6–7	2,6	25,2	17–19

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

Polski współczynnik IEF jest najmniejszy w grupie analizowanych krajów. Główną przyczyną dużego zakresu wahań wartości IEF, poza różnicami w wielkościach VS i MCF, jest to, że częstość stosowania systemów nawożenia gnojowicą jest w poszczególnych krajach bardzo zróżnicowana. Nie wydaje się możliwe dalsze zmniejszenie współczynnika emisji w Polsce.

W gospodarowaniu nawozami naturalnymi pochodzącymi z chowu trzody chlewnej Polska ma po Austrii najmniejszy IEF metanu (tab. 5). Wskaźnik Vs mamy nieznacznie większy (o 0,01) w stosunku do mediany, natomiast MCF przyjęto jako najmniejszą wartość domyślną według IPCC. Możliwości zmniejszenia współczynnika emisji z tego źródła są w Polsce raczej ograniczone.

W tabeli 6 przedstawiono dla drobiu średnie IEF, średnie wydalania VS oraz średnie masy ciała zwierząt, z których te ostatnie służą jako wskaźnik zapotrzebowania na energię, a więc określają spożycie paszy i wydalania. IEF, jeśli pominać stosunkowo wysoką wartość dla Czech, wahają się w przedziale od 0,017 do 0,035 kg·stanowisko<sup>-1</sup>·r<sup>-1</sup>. Najwyższą wartość współczynnika IEF w tej kategorii podały Niemcy. Polski IEF jest większy od mediany jego wartości dla porównywa-

nych krajów (0,021). Interpretację danych dla Polski utrudnia brak VS i średniej masy drobiu. Pomimo tych braków szanse na obniżenie współczynnika emisji w Polsce są raczej małe.

Tabela 5

Współczynniki emisji metanu z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi z chowu trzody chlewnej w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	System gnojowicowy (bez biogazowni)	
			udział %	średni współczynnik konwersji metanu (MCF) %
Austria	1,15	0,30	86	3,39
Belgia	4,46	0,22	97	19,00
Czechy	6,30	bd	45	bd
Dania	3,47	0,18	86	13,37
Francja	4,20	0,19	88	22,00
Holandia	5,52	0,40	58	36,00
Niemcy	4,17	0,31	78	22,18
Polska	1,58	0,31	25	17,00
Szwajcaria	4,10	0,31	85	13,51
Wielka Brytania	5,20	0,25	35	17,00
IPCC (2006)*	9–10 (lochy, knury); 6 (inne)	0,46 (lochy, knury); 0,30 (inne)		17–19

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

Tabela 6

Współczynniki emisji metanu z gospodarowania nawozami naturalnymi pochodzącymi z drobiu w różnych krajach w roku 2018

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Średnia waga kg·zwierzę <sup>-1</sup>
Austria	0,024	0,02	bd
Belgia	0,023	bd	1,55
Czechy	0,105	bd	1,32
Dania	0,027	0,019	2,00
Francja	0,025	0,019	bd
Holandia	0,029	0,020	bd
Niemcy	0,035	0,026	1,68
Polska	0,027	bd	bd



cd. tab. 6

Kraj	IEF <sub>CH<sub>4</sub></sub> kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Wskaźnik wydalania VS kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Średnia waga kg·zwierzę <sup>-1</sup>
Szwajcaria	0,017	0,013	bd
Wielka Brytania	0,021	0,013	bd
IPCC (2006)*	0,02-0,09	0,01–0,07	0,9–6,8

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

### Podtlenek azotu

Współczynniki emisji N<sub>2</sub>O z gospodarowania nawozami naturalnymi są znacznie zróżnicowane w porównywanych krajach (tab. 7). Ich zmienności nie da się wyjaśnić na podstawie raportowanych danych. Wartość IEF dla krów mlecznych w Polsce jest nieco powyżej mediany (0,581), podczas gdy wartość dla pozostałego bydła jest o około 30% niższa od mediany. W przypadku trzody chlewnej wartość dla Polski jest większa o 42% od mediany (0,055) i zbliżona do wartości podawanych przez Czechy i Niemcy. W przypadku drobiu Polska ma IEF bliski medianie (0,00085). Potencjalne możliwości zmniejszenia współczynników emisji w Polsce oceniane są jako niewielkie.

Tabela 7

Współczynniki bezpośredniej emisji podtlenku azotu (IEF) z gospodarowania nawozami naturalnymi dla bydła, trzody chlewnej i drobiu w roku 2018

Kraj	Bydło mleczne kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Inne bydło kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Trzoda chlewna kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>	Drób kg·stanowisko <sup>-1</sup> ·r <sup>-1</sup>
Austria	0,664	0,380	0,046	0,00078
Belgia	0,706	0,562	0,031	0,00090
Czechy	0,699	0,369	0,071	0,00360
Dania	1,038	0,368	0,064	0,00077
Francja	0,415	0,187	0,004	0,00070
Holandia <sup>a</sup>	0,412	0,245	0,025	0,00092
Niemcy	0,569	0,303	0,073	0,00133
Polska	0,593	0,234	0,078	0,00080
Szwajcaria <sup>a</sup>	0,334	0,144	0,022	0,00071
Wielka Brytania <sup>b</sup>	0,507	0,583	0,176	0,00482

<sup>a</sup>inne bydło obliczenie na podstawie CRF<sup>b</sup>w danych dotyczących bydła rozróżnia się krowy mleczne (krowy mleczne i mleczne matki zastępcze, w tym cielęta przeznaczone na krowy mleczne) oraz pozostałe – „pozostałe bydło”.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

## Współczynniki emisji dla podtlenku azotu z gleb użytkowanych rolniczo

Emisje podtlenku azotu z gleb użytkowanych rolniczo pochodzą z ośmiu głównych źródeł (tab. 8).

Tabela 8

Porównanie współczynników IEF wykorzystywanych do szacowania emisji podtlenku azotu ( $N_2O-N$ ) z gleb użytkowanych rolniczo w różnych krajach (stan na 2018 r.)

Kraj	Nawozy mineralne kg·kg <sup>-1</sup>	Nawozy naturalne kg·kg <sup>-1</sup>	Resztki poźniwne kg·kg <sup>-1</sup>	Mineralizacja N kg·kg <sup>-1</sup>	Gleby organiczne kg·kg <sup>-1</sup>	Wypas kg·kg <sup>-1</sup>	Depozycja N kg·kg <sup>-1</sup>	Wymywanie N kg·kg <sup>-1</sup>
Austria	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,2000	0,0168	0,010	0,0075
Belgia	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0195	0,010	0,0075
Czechy	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	bd	0,0187	0,010	0,0023
Dania	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	7,7898	0,0178	0,010	0,0046
Francja	0,0100	0,0100	0,0100	bd	8,0183	0,0191	0,010	0,0075
Holandia	0,0130	0,0130	0,0139	bd	4,4463	0,0330	0,012	0,0075
Niemcy	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	6,2019	0,0190	0,010	0,0075
Polska	0,0100	0,0100	0,0100	bd	8,0000	0,0192	0,010	0,0075
Szwajcaria	0,0098	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0189	0,026	0,0075
Wielka Brytania	0,0073	0,0046	0,0100	0,0100	8,0000	0,0047	0,010	0,0075
IPCC(2006)*	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,01–0,02	0,010	0,0075

\*domyślny współczynnik emisji (EF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

Znaczne ilości  $N_2O$  emitowane są ze zużycia nawozów mineralnych i naturalnych. W przypadku nawozów mineralnych większość krajów wykorzystuje w szacunkach domyślne współczynniki emisji według IPCC. Mniejsze od domyślnych współczynników stosowane są w Wielkiej Brytanii i Szwajcarii, natomiast większe w Holandii. Znacznie mniejszy współczynnik przyjęty w Wielkiej Brytanii wskazuje, że można znaleźć metodę poziomu drugiego dającą współczynnik mniejszy od wartości domyślnej. Brytyjczycy znaleźli również znacznie mniejszy od wartości domyślnej współczynnik IEF w przypadku nawozów naturalnych. Holendrzy natomiast stosują współczynnik większy od domyślnego. W pozostałych krajach wykorzystywany jest współczynnik domyślny. Emisje pochodzące z azotu uwalnianego z resztek poźniwnych i mineralizacji N w glebie szacowane są we wszystkich krajach przy użyciu domyślnego współczynnika. Emisje powstające wskutek użytkowania gleb organicznych

szacowane są przy użyciu współczynników domyślnych w pięciu krajach. W dwóch krajach stosuje się większe, zaś w trzech – mniejsze współczynniki w porównaniu z wartościami domyślnymi. Stosowany w Holandii współczynnik emisji jest o 44% mniejszy od wartości domyślnej według IPCC. To dobry prognostyk dla KOBiZE, który zamierza poprawić metodykę szacunków emisji z tego źródła (7). Źródłem emisji jest również azot wydalany przez wypasane zwierzęta. Zakres stosowanych współczynników domyślnych IPCC jest dość szeroki (0,1–0,2 kg·kg<sup>-1</sup>), a stosowane współczynniki w poszczególnych krajach wahają się w zakresie jeszcze szerszym (tab. 8). Najmniejszy współczynnik stosuje Wielka Brytania (0,0047 kg·kg<sup>-1</sup>), największy zaś Holandia (0,0330 kg·kg<sup>-1</sup>). Wykorzystywany w obliczeniach w Polsce współczynnik IEF leży w pobliżu górnej granicy współczynników domyślnych i trudno będzie go obniżyć. We wszystkich porównywanych krajach stosuje się współczynniki domyślne IPCC do szacowania emisji N<sub>2</sub>O dla azotu wnoszonego do gleb wskutek depozycji i wymywania azotu.

### Współczynniki emisji dla dwutlenku węgla z wapna nawozowego oraz mocznika

W szacunkach emisji dwutlenku węgla z wapna nawozowego, dolomitu i mocznika wykorzystywane są domyślne wskaźniki emisji według IPCC (tab. 9). Jedynie dwa kraje, Dania i Niemcy, wprowadziły własne wskaźniki emisji dla innych nawozów zawierających wapń.

Tabela 9

Porównanie współczynników emisji (IEF) dwutlenku węgla z wnoszonego do gleby wapna nawozowego oraz mocznika

Kraj	Wapno kg·kg <sup>-1</sup>	Dolomit kg·kg <sup>-1</sup>	Inne nawozy zawierające wapń kg·kg <sup>-1</sup>	Mocznik kg·kg <sup>-1</sup>
Austria	0,12	0,13	bd	0,20
Belgia	0,12	0,13	bd	0,20
Czechy	0,12	0,13	bd	0,20
Dania	0,12	bd	0,03000	0,20
Francja	0,12	0,13	bd	0,20
Holandia	0,12	0,13	bd	bd
Niemcy	0,12	0,13	0,02748	0,20
Polska	0,12	0,13	bd	0,20
Szwajcaria	0,12	0,13	bd	0,20
Wielka Brytania	0,12	0,13	bd	0,20
IPCC (2006)*	0,12	0,13		0,20

\*domyślny współczynnik emisji(IEF) poziomu pierwszego wg IPCC (3)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: UNFCCC (9); FEA (2); dane dla Niemiec z 2019 r.

## Podsumowanie

Stosowane w Polsce współczynniki IEF do szacowania emisji metanu z fermentacji jelitowej są większe od domyślnej wartości IPCC dla bydła mlecznego, ale mniejsze od mediany IEF dla porównywalnych krajów. Prawdopodobne jest, że możliwe będzie obniżenie emisji tego gazu w miarę wzrostu mleczności krów. W przypadku innego bydła IEF jest mniejszy, a dla trzody jest równy wartościom domyślnym IPCC. Jeszcze lepiej przedstawia się sytuacja dla emisji metanu z nawozów naturalnych. W tym przypadku IEF są mniejsze zarówno od wartości domyślnych, jak również median dla gospodarowania nawozami naturalnymi od bydła mlecznego, innego bydła i trzody, natomiast bardzo bliskie mediany w porównywanych krajach dla drobiu. Zmienne wartości IEF stwierdzono w Polsce dla emisji podtlenku azotu. Były one większe od mediany dla bydła mlecznego i trzody, natomiast mniejsze dla innego bydła i drobiu. W szacunkach emisji podtlenku azotu z użytkowania gleb stosuje się głównie domyślne wartości IPCC, co wynika z ciągle zbyt małej ilości pomiarów emisji. Wyjątek stanowią emisje z gleb organicznych oraz z azotu wydalanego podczas wypasu. KOBiZE zamierza udoskonalić szacunki emisji z gleb organicznych, co rokuje nadzieję na powodzenie. W szacunkach emisji dwutlenku węgla z wapna nawozowego, dolomitu i mocznika wykorzystywane są domyślne współczynniki IPCC.

Przeprowadzone porównania sugerują, że w produkcji roślinnej należałoby prowadzić więcej i szerzej zakrojonych pomiarów emisji podtlenku azotu. Jest to priorytetowe zadanie instytutów zajmujących się tą dziedziną produkcji rolnej.

## Literatura

1. FAO. Estimating Greenhouse Gas Emissions in Agriculture. A Manual to Address Data Requirements for Developing Countries. Rome, 2015.
2. Federal Environment Agency (FEA). National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990–2019, 2021.
3. IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
4. IPCC. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Annex 2. Verification. 2001. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/\(IEFdef\)](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/(IEFdef))
5. Komisja Europejska. Pakiet klimatyczno-energetyczny do 2020 r. 2009. [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package\\_pl](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package_pl)
6. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final, 2019.
7. Ministry of Climate and Environment. Poland's National Inventory Report. Greenhouse gas inventory for 1988–2019. National Centre for Emission Management (KOBiZE) at the Institute of Environmental Protection – National Research Institute, 2021.

8. MKiŚ. Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2021. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988–2019. Raport syntetyczny. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym, 2021.
  9. UNFCCC. National Inventory Submissions 2020. <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020>.
- 

Adres do korespondencji:

*prof. dr hab. Antoni Faber; dr Zuzanna Jarosz*  
*Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8,*  
*24-100 Puławy*  
*tel.: 81 4786 767; 81 4786 766*  
*e-mail: faber@iung.pulawy.pl; zjarosz@iung.pulawy.pl*

---

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