

METODA INWENTARYZACJI EMISJI AMONIAKU ZE ŹRÓDEŁ ROLNICZYCH W POLSCE I JEJ PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE

Stefan PIETRZAK

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Chemii Gleby i Wody

Słowa kluczowe: emisja amoniaku, inwentaryzacja emisji amoniaku, nawozy naturalne, produkcja zwierzęca, wskaźniki emisji amoniaku

Streszczenie

Produkcja rolna, zwłaszcza zwierzęca, jest dominującym źródłem emisji amoniaku (NH_3) do atmosfery. W Polsce do oceny wielkości emisji tego gazu wykorzystuje się wskaźniki przeliczeniowe, opracowane i stosowane w państwach zachodnioeuropejskich.

Głównym celem artykułu było opracowanie urealnionych do warunków Polski wskaźników emisji amoniaku ze źródeł rolniczych. W związku z tym wyznaczono wskaźniki emisji NH_3 z produkcji zwierzęcej w wersji szczegółowej (do obliczeń na poziomie gospodarstwa) i ogólnej (do obliczeń na poziomie kraju lub regionu) oraz ogólny wskaźnik emisji tego gazu z produkcji roślinnej (z nawozów mineralnych). Za podstawę do wyznaczenia wskaźników z produkcji zwierzęcej przyjęto masę azotu wydalanego przez różne zwierzęta gospodarskie oraz straty tego gazu z nawozów naturalnych w budynkach inwentarskich, podczas przechowywania i stosowania tych nawozów oraz na pastwiskach. Ogólny wskaźnik emisji amoniaku z produkcji roślinnej wyznaczono jako wartość średnią ważoną na podstawie przyjętych z literatury wskaźników emisji tego gazu z różnych mineralnych nawozów azotowych oraz współczynników charakteryzujących zużycie tych nawozów w rolnictwie polskim.

Na podstawie wyznaczonych oraz przyjętych z literatury wskaźników emisji NH_3 oszacowano ładunki tego gazu ulatniające się ze źródeł rolniczych w okresie roku w skali Polski oraz gospodarstwa ZDMUZ Biebrza.

Emisja amoniaku z produkcji rolnej w Polsce w latach 2000–2004 kształtowała się na poziomie 280–296 Gg $\text{NH}_3 \cdot \text{rok}^{-1}$, w tym z produkcji zwierzęcej 227–240 Gg $\text{NH}_3 \cdot \text{rok}^{-1}$, natomiast w ZDMUZ Biebrza w 2004 r. emisja ta wyniosła 10 210 kg $\text{NH}_3 \cdot \text{rok}^{-1}$ (0,01 Gg), z czego 7,4% stanowiła emisja z produkcji roślinnej, a 92,6% z produkcji zwierzęcej.

Adres do korespondencji: dr inż. S. Pietrzak, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zakład Chemii Gleby i Wody, al. Hrabstwa 3, Falenty, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31 w. 224, e-mail: s.pietrzak@imuz.edu.pl

WSTĘP

W Polsce, podobnie jak i w innych krajach europejskich, co roku inwentaryzuje się emisję amoniaku. Wynika to zwłaszcza z potrzeb związanych z:

- krajowym monitoringiem zanieczyszczeń powietrza i sprawozdawczością statystyczną,
- realizacją międzynarodowych zobowiązań Polski wynikających z „Konwencji w sprawie transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń powietrza na dalekie odległości” (Convention on Long Range Transboundary Air Pollution – CLRTAP) [Konwencja..., 1985].

Instytucją formalnie powołaną do szacowania emisji zanieczyszczeń, w tym amoniaku, do atmosfery z obszaru Polski jest Krajowe Centrum Inwentaryzacji Emisji (KCIE), działające w ramach Instytutu Ochrony Środowiska w Warszawie. Raporty dotyczące wielkości emisji zanieczyszczeń sporządzane przez KCIE są każdego roku przekazywane m.in. do Europejskiej Komisji Gospodarczej przy ONZ i wykorzystywane w programie EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe)¹⁾.

Do szacowania masy ulatniającego się amoniaku KCIE posługuje się wskaźnikami emisji tego gazu opracowanymi w państwach zachodnioeuropejskich (dostosowanymi do występujących tam uwarunkowań produkcji rolnej), ponieważ krajowych brak. W związku z tym istnieje potrzeba realizacji badań nad opracowaniem takich wskaźników, odpowiadających specyfice polskiego rolnictwa. Dotyczy to szczególnie wskaźników emisji z produkcji zwierzęcej, która ma dominujący udział w całkowitej emisji amoniaku do atmosfery. Zapotrzebowanie na te wskaźniki jest coraz częściej sygnalizowane także w związku z prowadzonymi ocenami oddziaływania na środowisko dużych gospodarstw prowadzących chów zwierząt.

Celem niniejszej pracy jest wyznaczenie urealnionych do warunków Polski wskaźników emisji amoniaku ze źródeł rolniczych oraz oszacowanie emisji tego gazu z rolnictwa ogółem w całym kraju oraz w skali przykładowego gospodarstwa rolnego ZDMUZ Biebrza, z wykorzystaniem tych wskaźników.

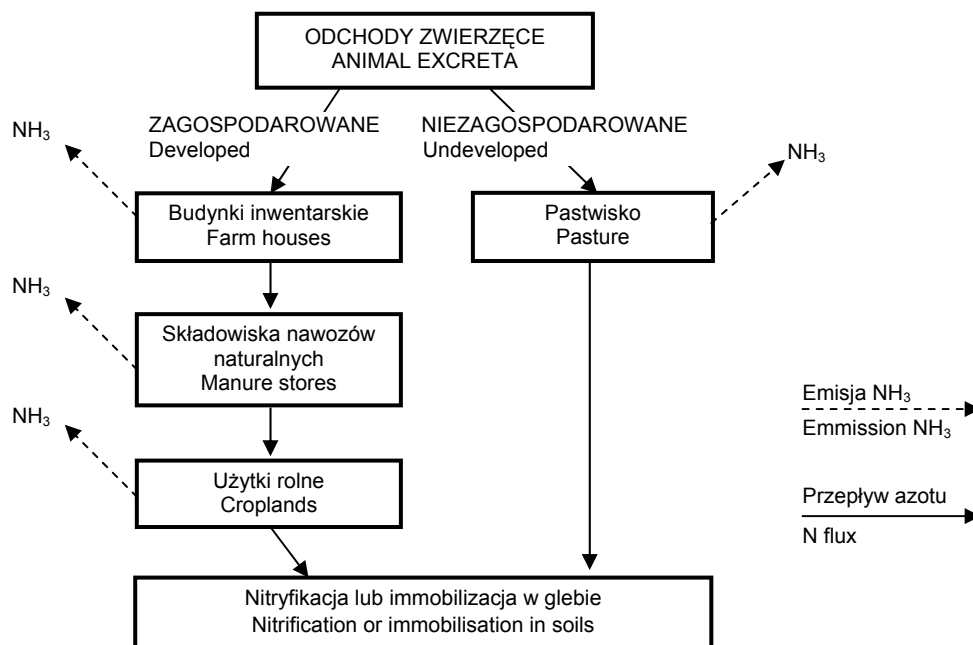
MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Całkowita emisja amoniaku ze źródeł rolniczych jest sumą jego emisji z produkcji zwierzęcej i roślinnej. Emisję tę szacuje się jako iloczyn odpowiednich

¹⁾ EKG ONZ /EMEP Europejska Komisja Gospodarcza przy ONZ zbiera z różnych krajów dane o emisji zanieczyszczeń w związku z konwencją CLRTAP i przekazuje do przetwarzania i wykorzystywania w ramach programu EMEP (Europejski Program Monitoringu i Oceny Emisji), m.in. w celu w modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń

wskaźników emisji i – w pierwszym przypadku liczby zwierząt, a w drugim – zużycia mineralnych nawozów azotowych.

Na emisję amoniaku z produkcji zwierzęcej składają się emisje częściowe tego związku generowane z odchodów różnych gatunków i grup zwierząt gospodarskich w pomieszczeniach inwentarskich, z miejsc przechowywania nawozów naturalnych, w okresie ich stosowania na użytki rolne oraz z kału i moczu zwierząt pozostawianych na pastwisku – rysunek 1.



Rys. 1. Schemat przepływu azotu i emisja amoniaku z odchodów zwierzęcych [COWELL, WEBB, 1997]

Fig. 1. A scheme of mineral nitrogen flow and ammonia emission from animal excreta [COWELL, WEBB, 1997]

Emisję tę można wyrazić z pewnym uproszczeniem w postaci następującej zależności:

$$E = \sum_{i=1}^{i=p} n_i W_i \quad (1)$$

gdzie:

- E – emisja amoniaku z produkcji zwierzęcej, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$;
- p – liczba kategorii zwierząt (np. krowy, trzoda chlewna, konie, owce, drób);

- n_i – liczba zwierząt w danej kategorii;
 W_i – wskaźnik emisji amoniaku od pojedynczego zwierzęcia z danej kategorii zwierząt, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$;

Dla pojedynczego zwierzęcia z danej kategorii:

$$W_i = m_{i1} + m_{i2} + m_{i3} + m_{i4} \quad (2)$$

- m_{i1} – straty amoniaku z odchodów w budynku inwentarskim, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$;
 m_{i2} – straty amoniaku z nawozów naturalnych podczas magazynowania, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$;
 m_{i3} – straty amoniaku z nawozów naturalnych po zastosowaniu na użytki rolne, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$;
 m_{i4} – straty amoniaku z odchodów zwierząt na pastwisku, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$;

przy czym:

$$m_{i1} = N_i k a \quad (3)$$

$$m_{i2} = (N_i k - m_{i1}) b \quad (4)$$

$$m_{i3} = (N_i k - m_{i1} - m_{i2}) c \quad (5)$$

$$m_{i4} = N_i (1 - k) d \quad (6)$$

gdzie:

- N_i – średnia masa azotu w odchodach wydalanych przez pojedyncze zwierzę w danej kategorii zwierząt gospodarskich w ciągu roku, $\text{kg N} \cdot \text{zwierzę}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$;
 a – współczynnik strat amoniaku z odchodów w budynku inwentarskim, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{kg N}^{-1}$;
 b – współczynnik strat amoniaku z nawozów naturalnych podczas magazynowania, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{kg N}^{-1}$;
 c – współczynnik strat amoniaku z nawozów naturalnych podczas stosowania, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{kg N}^{-1}$;
 d – współczynnik strat amoniaku z odchodów na pastwisku, $\text{kg N-NH}_3 \cdot \text{kg N}^{-1}$;
 k – współczynnik charakteryzujący udział odchodów wydalanych przez zwierzęta w ciągu roku w budynku inwentarskim.

Wykorzystując podany algorytm, wyznaczono wskaźniki emisji amoniaku dla różnych rodzajów zwierząt, przyjmując:

- ilość azotu wydalanego w odchodach przez różne zwierzęta wg JADCZYSZYN, MAĆKOWIAKA i KOPÍŃSKIEGO [2000] oraz HUTCHINGSA i in. [2001] – tabela 1;
- straty amoniaku z nawozów naturalnych w budynkach inwentarskich podczas przechowywania i stosowania wg HUTCHINGSA i in. [2001] – tabele 2., 3. i 4., z niewielkimi modyfikacjami, uwzględniającymi wyniki badań krajowych nad emisją amoniaku prowadzonych przez MARCINKOWSKIEGO [2002] i PIETRZAKA [2004];
- straty amoniaku z odchodów (kał i mocz) pozostawianych przez zwierzęta na pastwisku równy 3,1% zawartego w nich azotu [BUSSINK, 1996];
- udział odchodów wydalanych przez zwierzęta w ciągu roku w budynku inwentarskim równy:
 - 0,7–1,0 – bydło, przy czym 0,7 – bydło wypasane na pastwisku, 1,0 – w warunkach całorocznego utrzymywania bydła w budynku inwentarskim [KUTERA, 1994];
 - 1,0 – trzoda chlewna (wg oceny własnej);
 - 0,6 – konie (wg oceny własnej);
 - 0,6 – owce (wg oceny własnej);
 - 1,0 – drób kurzy, indyki i kaczki [HUTCHINGS i in., 2001];
 - 0 – gęsi [HUTCHINGS i in., 2001].

Tabela 1. Masa azotu wydalanego w odchodach zwierząt gospodarskich

Table 1. Nitrogen released in animal excreta

Lp. No.	Kategoria zwierząt Animal category	Ilość wydalana przez zwierzęta kg N·zwierzę ⁻¹ ·rok ⁻¹ Excreted amount, kg N·animal ⁻¹ ·year ⁻¹		
		kał faeces	mocz urine	razem total
1	2	3	4	5
1.	cielęta 0–3 mies. ¹⁾ calves 0–3 mo. ¹⁾	1,18	2,91	4,09
2.	cielęta 3–6 mies. ¹⁾ calves 3–6 mo. ¹⁾	2,52	6,12	8,64
3.	jałówki 6–12 mies. ¹⁾ heifers 6–12 mo. ¹⁾	7,30	14,90	22,20
4.	jałówki 12–24 mies. ¹⁾ heifers 12–24 mo. ¹⁾	14,90	27,50	42,40
5.	opasy 6–12 mies. ¹⁾ beefs 6–12 mo. ¹⁾	8,00	14,80	22,80
6.	opasy 12–18 mies. ¹⁾ beefs 12–18 mo. ¹⁾	8,00	14,80	22,80
7.	opasy >24 mies. beefs >24 mo.	16,00	29,70	45,70
8.	krowy o wydajności 3,5 tys. kg mleka cows producing 3.5 thous. kg milk	30,70	39,60	70,30
9.	krowy o wydajności <4 tys. kg mleka cows producing <4 thous. kg milk	33,10	42,80	75,90

cd. tab. 1

1	2	3	4	5
10.	krowy o wydajności 4–6 tys. kg mleka cows producing 4–6 thous. kg milk	37,80	48,90	86,70
11.	krowy o wydajności >6 tys. kg mleka cows producing >6 thous. kg milk	51,90	67,40	119,30
12.	lochy sows	3,60	11,90	15,50
13.	lochy + 18 prosiąt ¹⁾ sows with 18 litters ¹⁾	11,40	25,80	37,20
14.	prosięta 20–30 kg ¹⁾ suckling pigs 20–30 kg ¹⁾	1,98	4,710	6,69
15.	warchlaki 30–70 kg ¹⁾ piglets 30–70 kg ¹⁾	4,44	10,32	14,76
16.	tuczniaki 70–110 kg ¹⁾ butcher hogs 70–110 kg ¹⁾	4,44	10,32	14,76
17.	konie 400 kg horses 400 kg	–	–	38,00
18.	konie 600 kg horses 600 kg	–	–	50,00
19.	maciorki ewes	2,68	5,71	8,39
20.	jagnięta 6–12 mies. ¹⁾ lambs 6–12 mo. ¹⁾	1,22	2,59	3,81
21.	owce >12 mies. sheep >12 mo.	2,44	5,19	7,63
22.	kury nioski ¹⁾ laying hens ¹⁾	–	–	0,854
23.	brojlery ¹⁾ broilers ¹⁾	–	–	0,0513
24.	indyki ¹⁾ turkeys ¹⁾	–	–	0,692
25.	kaczki ¹⁾ ducks ¹⁾	–	–	0,202
26.	gęsi ¹⁾ geese ¹⁾	–	–	0,561

¹⁾ Sztuki roczno-obliczeniowe – zwierzęta o żywotności lub okresie użytkowania w danej kategorii krótszym niż jeden rok, dla których ładunek wydalanego azotu określono w przeliczeniu na jedno stanowisko w pomieszczeniu inwentarskim, zakładając, że jest ono zajmowane przez zwierzęta z danej kategorii przez cały rok.

Objaśnienia: poz. 1–16 i 19–21 wg JADCZYSZYN, MAĆKOWIAK i KOPIŃSKIEGO [2000]; poz. 17–18 i 22–26 wg HUTCHINGSA i in. [2001].

¹⁾ Computational individuals – animals of a life span or utilisation period shorter than 1 year for a given category for which nitrogen load was estimated per one stand in farm building assuming that it was occupied by the animal for a year.

Explanations: nos 1–16 and 19–21 after JADCZYSZYN, MAĆKOWIAK and KOPIŃSKI [2000]; nos 17–18 and 22–26 after HUTCHINGS at al. [2001].

Do oszacowania strat amoniaku z produkcji roślinnej wykorzystano wskaźniki emisji z różnych asortymentów mineralnych nawozów azotowych (tab. 5) oraz wskaźnik syntetyczny, charakteryzujące emisję amoniaku z ogólnej masy zużytych mineralnych nawozów azotowych. Wskaźniki charakteryzujące emisję amoniaku w zależności od zastosowanych mineralnych nawozów azotowych wykorzystano do oceny strat amoniaku z produkcji roślinnej w skali gospodarstwa. Wskaźnik syntetyczny wykorzystano do oceny strat amoniaku z upraw z zastosowaniem mineralnych nawozów azotowych w skali kraju. Jego wartość, równą $0,05 \text{ kg NH}_3\text{-N} \cdot (\text{kg N}_{\text{zastosowanego w nawozie}})^{-1}$, wyznaczono (jako wartość średnią ważoną) na podstawie wskaźników emisji z zastosowanych nawozów (tab. 5) i struktury ich zużycia w polskim rolnictwie (tab. 6).

Tabela 2. Straty amoniaku z budynków inwentarskich w zależności od systemu utrzymania zwierząt [HUTCHINGS i in., 2001]**Table 2.** Losses of ammonia from farm buildings in relation to the system of animal breeding [HUTCHINGS at al., 2001]

Kategoria zwierząt Animal category	Uwarunkowania utrzymania zwierząt System of animal breeding	Straty, % Percentage losses
Bydło Cattle	obora płytka, bydło na uwięzi shallow cowshed, tethered cattle	5
	obora płytka wolnostanowiskowa, korytarz gnojowy betonowy shallow litter-free cowshed, concrete slurry channel	10
	obora bezściółowa, korytarz gnojowy rusztowy (system gnojowicowy) cowshed without bedding, grate slurry channel (slurry system)	8
	obora głęboka deep cowshed	8
Trzoda chlewna Swine		
– lochy karmiące non-pregnant sows	chlewnia płytka z luźnym wybiegiem shallow pigpen with well spaced corral	15
– lochy prośne impregnate sows	chlewnia bezściółowa (system gnojowicowy) litter-free pigpen (slurry system)	14
	chlewnia płytka shallow pigpen	20
	chlewnia głęboka deep pigpen	15
– tuczniki butcher hogs	chlewnia bezściółowa (system gnojowicowy) litter-free pigpen (slurry system)	15
	chlewnia płytka shallow pigpen	18
	chlewnia głęboka deep pigpen	15
– prosięta suckling pigs	chlewnia bezściółowa (system gnojowicowy) litter-free pigpen (slurry system)	15
	chlewnia płytka shallow pigpen	25
	chlewnia głęboka deep pigpen	15
Konie Horses	stajnia głęboka deep stall	15
Owce Sheep	owczarnia płytka shallow sheep shed	15
Kury Hens	system podłogowy, utrzymanie na ściółce floor system with litter	25
	system klatkowy, odchody usuwane przenośnikiem taśmowym coop system, faeces removed with conveyor	10
Brojlery Broilers	system podłogowy, utrzymanie na ściółce floor system with litter	20

Tabela 3. Straty amoniaku z nawozów naturalnych podczas przechowywania [HUTCHINGS i in., 2001]**Table 3.** Losses of ammonia from natural fertilisers during storage [HUTCHINGS at al., 2001]

Kategoria zwierząt Animal category	Rodzaj nawozu Type of manure	Straty, % Percentage losses
Bydło Cattle	gnojowica w zbiorniku przykrytym slurry in covered tank	2
	gnojowica w zbiorniku bez przykrycia slurry in uncovered tank	9
	obornik na pryzmie manure on prism	15 ¹⁾
Trzoda chlewna Swine	gnojówka liquid manure	2
	gnojowica w zbiorniku przykrytym slurry in covered tank	2
	gnojowica w zbiorniku bez przykrycia slurry in uncovered tank	6
	obornik na pryzmie manure in prism	30
Konie i owce Horse and sheep	gnojówka liquid manure	2
	obornik na pryzmie manure in prism	25
	obornik na pryzmie manure in prism	10
Kury Hens	pomiot ptasi bird droppings	15
	pomiot ptasi ze ściółką na pryzmie bird droppings with litter on prism	25
Inny drób Other fowl	pomiot ptasi ze ściółką na pryzmie bird droppings with litter on prism	25

¹⁾ Wg MARCINKOWSKIEGO [2002] przeciętne straty amoniaku z pryzmy obornika bydłowego wynoszą 17% N.

¹⁾ According to MARCINKOWSKI [2002] average ammonia losses from a prism of cattle manure amount 17% N.

Tabela 4. Straty amoniaku z nawozów naturalnych podczas aplikacji [HUTCHINGS i in., 2001]**Table 4.** Losses of ammonia from natural fertilisers during application [HUTCHINGS at al., 2001]

Występowanie roślinności Vegetation	Okres stosowania Application period	Przykrywanie nawozu glebą Manure covered with soil	Czas do przykrycia glebą Period coverage h	Straty, % Percentage losses	
				gnojowica i gnojówka ¹⁾ slurry and liquid manure ¹⁾	obornik manure
1	2	3	4	5	6
Nie No	wiosna spring	tak yes	<12	7	3,5
Nie No	wiosna spring	tak yes	>12	10	5
Nie No	wiosna spring	nie no	–	20	10
Tak Yes	wiosna spring	nie no	–	20	10
Tak Yes	lato summer	nie no	–	30	15

cd. tab. 4

1	2	3	4	5	6
Tak Yes	jesień autumn	nie no	–	30	15
Nie No	późne lato – początek jesieni late summer – beginning of autumn	tak yes	<12	10	5
Nie No	jesień autumn	tak yes	>12	20	10
Nie No	jesień autumn	nie no	–	25	12,5

¹⁾ Wg PIETRZAKA [2004] straty są większe podczas stosowania gnojówki niż gnojowicy – przeciętnie wynoszą odpowiednio 30 i 20%.

¹⁾ Acc. to PIETRZAK [2004] losses are larger during application of liquid manure than slurry and average 30% and 20%, respectively.

Tabela 5. Wskaźniki emisji amoniaku z zastosowanych nawozów [Atmospheric..., 2000]

Table 5. Coefficients of ammonia emission from applied fertilisers [Atmospheric..., 2000]

Rodzaj nawozu Type of fertiliser	Wskaźnik emisji amoniaku ¹⁾ kg NH ₃ -N·(kg N _{zastosowanego w nawozie}) ⁻¹ Coefficient of ammonia emission ¹⁾ kg NH ₃ -N·(kg N _{applied}) ⁻¹
1	2
Siarczan amonu Ammonium sulphate	0,05
Saletra amonowa Ammonium nitrate	0,01
Saletra amonowo-wapniowa Calcium ammonium nitrate	0,01
Bezwodny amoniak Anhydrous ammonia	0,04
Mocznik Urea	0,15
Fosforan amonu Ammonium phosphate	0,05
Inny kompleks nawozów NK, NPK Other complex fertilisers NK, NPK	0,01
Roztwory azotu (mieszanina mocznika i saletry amonowej) Nitrogen solutions (mixture of urea and ammonium nitrate)	0,08

¹⁾ Wskaźniki opracowane dla krajów o klimacie umiarkowanym i chłodnym z dużym udziałem gleb kwaśnych.

¹⁾ Indices elaborated for countries of moderate or cool climate with substantial share of acidic soils.

Emisję amoniaku ze źródeł rolniczych w Polsce oszacowano za okres 2000–2004, natomiast w gospodarstwie ZDMUZ Biebrza za 2004 r.

Dane dotyczące pogłowia zwierząt i zużycia mineralnych nawozów azotowych w skali kraju przyjęto na podstawie materiałów GUS [Rolnictwo w 2004 r.; Użytkowanie..., 2004], natomiast w gospodarstwie ZDMUZ Biebrza z dokumentacji księgowej tej jednostki.

Tabela 6. Struktura zużycia nawozów azotowych w Polsce w 2000 r. [JADCZYŚYŹYŹN, 2005]**Table 6.** The structure of nitrogen fertilisers consumption in Poland in the year 2000 [JADCZYŚYŹYŹN, 2005]

Nazwa nawozu Fertiliser	Zużycie nawozów Fertiliser consumption		
	tys. t N	thous. t N	%
Siarczan amonu Ammonium sulphate	14		1
Mocznik Urea	223		25
Saletra amonowa Ammonium nitrate	400		45
Saletra amonowo-wapniowa Calcium ammonium nitrate	148		16
Roztwory azotu (mieszanina mocznika i saletry amonowej) Solutions of nitrogen (mixture of urea and ammonium nitrate)	41		4
Fosforan amonu Ammonium phosphate	10		1
Inny kompleks nawozów NK, NPK Other complex of fertilisers NK, NPK	60		8
Razem Total	896		100

WYNIKI I DYSKUSJA

Zgodnie z przyjętymi założeniami opracowano wskaźniki emisji amoniaku dla poszczególnych gatunków i występujących w ich ramach grup zwierząt w zależności od systemów utrzymania (tab. 7). Na tej podstawie wyznaczono wskaźniki emisji amoniaku dla kategorii zwierząt występujących w międzynarodowych klasyfikacjach SNAP97 (Selected Nomenclature for Air Pollution) oraz NFR (Nomenclature for Reporting)²⁾. W ramach tych klasyfikacji emisję amoniaku z produkcji zwierzęcej szacuje się dla następujących kategorii zwierząt: krowy mleczne, bydło pozostałe, trzoda chlewna – lochy, trzoda chlewna – tuczniki, owce, konie, kury – nioski, kury – brojlery, drób pozostały. Opracowując wskaźniki emisji dla poszczególnych kategorii zwierząt wg klasyfikacji SNAP97 oraz NFR, przyjęto że 75% zwierząt utrzymywanych jest w systemie ściółkowym (wytwarzane obornik i gnojówka), a 25% w systemie bezściółkowym (wytwarzana gnojowica) [Program operacyjny..., 2005]. Uwzględniono też krajową strukturę pogłowia zwierząt zgodnie z danymi statystycznymi podawanymi przez GUS. Poza tym, wyznaczając wskaźnik emisji amoniaku dla krów, przyjęto że ich przeciętna wydajność mleczna w Polsce w ostatnich latach kształtowała się na poziomie 3700–4000 l mleka rocznie [Rolnictwo w I półroczu 2004 r.].

²⁾ SNAP97, NFR – stara i nowa klasyfikacja, wykorzystywane do sporządzania raportów przez Krajowe Centrum Inwentaryzacji dla Emisji dla EKG ONZ/EMEP w związku z konwencją CLRTAP. Klasyfikację SNAP97 wykorzystywano do inwentaryzacji za 2000 r.

Tabela 7. Wskaźniki emisji amoniaku (kg N-NH₃·rok⁻¹·sztuka⁻¹) dla różnych kategorii zwierząt w zależności od systemu utrzymania**Table 7.** Coefficients of ammonia emission (kg N-NH₃·year⁻¹·ind.⁻¹) for different animal categories in relation to the system of breeding

Kategoria zwierząt Animal category	Wskaźnik emisji amoniaku w zależności od systemu utrzymania zwierząt Coefficient of ammonia emission in relation to the system of animal breeding		
	ściółowy litter		beźściółowy (gnojowicowy) litter free
	na głębokim oborniku on deep manure	na posadzce z małą ilością ściółki on floor with a small amount of litter	
1	2	3	4
Cielęta 0–3 mies. ¹⁾ Calves 0–3 mo. ¹⁾	0,48	1,30	–
Cielęta 3–6 mies. ¹⁾ Calves 3–6 mo. ¹⁾	1,01	2,74	–
Jałówki 6–12 mies. ¹⁾ Heifers 6–12 mo. ¹⁾	2,59	6,98	7,33
Jałówki 12–24 mies. ¹⁾ Heifers 12–24 mo. ¹⁾	4,95	13,26	14,00
Krowy o wydajności 3,5 tys. kg mleka Cows producing 3.5 thous. kg milk	6,40	15,72	16,90
Krowy o wydajności <4 tys. kg mleka Cows producing <4 thous. kg milk	6,91	16,98	18,25
Krowy o wydajności 4–6 tys. kg mleka Cows producing 4–6 thous. kg milk	7,89	19,40	20,85
Krowy o wydajności >6 tys. kg mleka Cows producing >6 thous. kg milk	10,86	26,70	28,69
Lochy Sows	9,75	16,98	–
Lochy + 18 prosiąt ¹⁾ Sows with 18 litters ¹⁾	4,19	7,07	–
Prosięta 20–30 kg ¹⁾ Suckling pigs 20–30 kg ¹⁾	1,23	3,28	2,41
Warchlaki 30–70 kg ¹⁾ Piglets 30–70 kg ¹⁾	2,72	6,54	5,33
Tuczniki 70–110 kg ¹⁾ Butcher hogs 70–110 kg ¹⁾	2,72	6,54	5,33
Konie 400 kg Horses 400 kg	8,62	–	–
Konie 600 kg Horses 600 kg	6,55	–	–
Maciorki Ewes	1,45	–	–
Jagnięta 6–12 mies. ¹⁾ Lambs 6–12 mo. ¹⁾	1,31	–	–
Owce >12 mies. Sheep >12 mo.	0,66	–	–
Kury nioski ¹⁾ Laying hens ¹⁾	–	0,239	–
Brojlery ¹⁾ Broilers ¹⁾	–	0,014	–
Indyki ¹⁾ Turkeys ¹⁾	–	0,194	–
Kaczki ¹⁾ Ducks ¹⁾	–	0,057	–
Gęsi ¹⁾ Geese ¹⁾	–	0,112	–

¹⁾ Jak pod tabelą 1. ¹⁾ As in Tab. 1.

Wyznaczone wskaźniki emisji amoniaku dla zwierząt okazały się różne od stosowanych przez Krajowe Centrum Inwentaryzacji Emisji – różnice wynosiły od 8 do 25% (tab. 8).

Tabela 8. Wyznaczone wskaźniki emisji amoniaku dla kategorii zwierząt ujętych w klasyfikacji SNAP97 i NFR oraz stosowane przez KCIE

Table 8. Estimated indices of ammonia emission for animal categories listed in the classification SNAP97 and NFR and used by KCIE

Kategoria zwierząt Animal category	Wskaźnik emisji, kg N-NH ₃ ·rok ⁻¹ ·szt. ⁻¹ Index of emission, kg N-NH ₃ ·year ⁻¹ ·szt. ⁻¹	
	opracowane przez autora elaborated by author	stosowane przez KCIE ¹⁾ used by KCIE ¹⁾
Krowy mleczne Milk cows	17,3 (21,0)	22,9 (27,8)
Pozostałe bydło Remaining cattle	12,0 (14,6)	10,3 (12,5)
Lochy Sow	7,1 (8,6)	} 4,2 (5,1) ²⁾
Pozostała trzoda chlewna (20–110 kg) Remaining pigs, swine, hogs (20–110 kg)	5,2 (6,3)	
Konie Horses	8,0 (9,7)	10,3 (12,5)
Owce Sheep	1,2 (1,4)	1,6 (1,9)
Kury – nioski Laying hens	0,24 (0,29)	0,26 (0,32)
Kury – brojlery Hens broilers	0,014 (0,02)	–
Drób kurzy (kury-nioski, kurczaki) Poultry hens (laying hens, chickens)	0,10 (0,12)	–
Pozostały drób (gęsi, kaczki, indyki) Remaining poultry (geese, ducks, turkeys)	0,12 (0,15)	0,21 (0,26)

¹⁾ Wg OLENDZYŃSKIEGO i in. [2003]. ²⁾ Odnosi się do trzody chlewnej ogółem.

¹⁾ Acc. to OLENDZYŃSKI et al. [2003]. ²⁾ Pertains to total swine.

Na podstawie opracowanych wskaźników emisji amoniaku dla zwierząt oraz przyjętych wskaźników emisji z mineralnych nawozów azotowych oszacowano emisję amoniaku ze źródeł rolniczych w skali Polski i w skali gospodarstwa rolnego ZDMUZ Biebrza.

Do oszacowania emisji amoniaku w skali kraju wykorzystano wskaźniki emisji amoniaku dla zwierząt wyznaczone zgodnie z klasyfikacją SNAP97 oraz NFR (tab. 8) i ogólny (syntetyczny) wskaźnik emisji z upraw z zastosowaniem mineralnych nawozów azotowych. Stwierdzono, że całkowita emisja z rolnictwa w Polsce w latach 2000–2004 wynosiła 280–296 Gg NH₃·rok⁻¹ (tab. 9). W okresie 2000–2002 była ona od 3,4 do 10,8% mniejsza od jej wielkości podawanej przez KCIE. Rozpatrując składowe tej emisji, stwierdzono że w okresie porównawczym (z wy-

jątkiem 2000 r., w którym KCIE przyjęło do obliczeń inną liczbę zwierząt od podanej przez GUS) emisja z produkcji zwierzęcej była podobna, wystąpiły natomiast dość duże różnice (od 32 do ponad 33 Gg $\text{NH}_3 \cdot \text{rok}^{-1}$) w szacunkach emisji z produkcji roślinnej. Wynika to z zastosowania przez KCIE wskaźnika emisji z nawozów mineralnych prawie dwukrotnie większego ($0,098 \text{ kg NH}_3\text{-N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{N}$, tj. $98 \cdot 10^{-6} \text{ Gg}$) od wyznaczonego przez autora.

Tabela 9. Emisja amoniaku ze źródeł rolniczych w Polsce, Gg $\text{NH}_3 \cdot \text{rok}^{-1}$

Table 9. Emission of ammonia from agricultural sources in Poland, Gg $\text{NH}_3 \cdot \text{year}^{-1}$

Rok Year	Emisja Emission					
	całkowita total		z produkcji zwierzęcej from animal production		z produkcji roślinnej from plant production	
	oszacowana przez autora estimated by author	wg KCIE ¹⁾ acc. to KCIE ¹⁾	oszacowana przez autora estimated by author	wg KCIE ¹⁾ acc. to KCIE ¹⁾	oszacowana przez autora estimated by author	wg KCIE ¹⁾ acc. to KCIE ¹⁾
2000	292,2	302,6	239,8	218,2	52,4	84,4
2001	289,4	317,2	234,9	229,5	54,5	87,7
2002	279,8	313,8	227,4	229,3	52,4	84,5
2003	296,1	–	243,7	–	52,4	–
2004	281,5	–	229,1	–	52,4	–

¹⁾ Wg Bazy danych... Acc. to Baza danych...

Do oszacowania emisji amoniaku w skali gospodarstwa rolnego ZDMUZ Biebrza (powierzchnia użytków rolnych 575 ha, w tym 167 ha gruntów ornych i 408 ha użytków zielonych) wykorzystano wskaźniki emisji amoniaku w wersji podstawowej – wyznaczone dla zwierząt (tab. 7) i przyjęte dla upraw ze stosowaniem nawozów (tab. 5). Doboru wskaźników dokonano na podstawie danych charakteryzujących produkcję rolną w tym gospodarstwie, takich jak:

- stan pogłównia zwierząt – tabela 10.,
- asortyment i zużycie azotowych nawozów mineralnych – tabela 11.,
- wydajność mleczna krów – ponad 5100 l mleka w ciągu roku,
- system utrzymania zwierząt: krowy w okresie zimowym w oborach bezściółkowych (system gnojowicowy), a w okresie letnim wypas na pastwisku; część jałowizny w okresie zimowym w oborze głębokiej, a część w oborze płytkiej, latem pod wiatą.

Stwierdzono, że emisja amoniaku z produkcji rolnej w ZDMUZ Biebrza w 2004 r. wyniosła ogółem $10\,210 \text{ kg NH}_3 \cdot \text{rok}^{-1}$, z czego 7,4% stanowiła emisja z produkcji roślinnej, a 92,6% z produkcji zwierzęcej. W przeliczeniu na 1 ha użytków rolnych emisja amoniaku wynosiła $17,8 \text{ kg NH}_3 \cdot \text{rok}^{-1}$ i była o $0,6 \text{ kg NH}_3 \cdot \text{rok}^{-1}$ większa od przeciętnej emisji w skali kraju.

Tabela 10. Średnie pogłowie zwierząt w ZDMUZ Biebrza w 2004 r., szt. fizyczne**Table 10.** Mean animal stock in Experimental Farm Biebrza in 2004, individuals

Grupa zwierząt Animal group	Pogłowie Animal stock
Krowy Cows	224,3
Jałówki cielne Pregnant heifers	29,0
Jałówki >12 mies. Heifers >12 mo.	111,4
Jałówki 6–12 mies. Heifers 6–12 mo.	50,3
Cielęta <6 mies. Calves <6 mo.	84,5
Opasy dorosłe Adult fat stock	23,6
Młode opasy Young fat stocke	4,4
Konie Horses	1,4
Buhaje Bulls	1,0

Tabela 11. Zużycie mineralnych nawozów azotowych w ZDMUZ Biebrza w 2004 r.**Table 11.** Consumption of mineral nitrogen fertilisers in Experimental Farm Biebrza in 2004

Nazwa nawozu Fertiliser	Masa Mass dt	Zawartość N, kg N·(100 kg nawozu) ⁻¹ Nitrogen content, kg N·(100 kg fertiliser) ⁻¹
Saletra amonowa Ammonium nitrate	365,5	34
Saletrzak Nitrochalk	34,5	27,5
Mocznik Urea	38	46
Fosforan amonu Ammonium phosphate	247	18

PODSUMOWANIE

Wskaźniki emisji amoniaku ze źródeł rolniczych są niezbędnym elementem w inwentaryzacji zanieczyszczeń powietrza, mogą też być wykorzystywane do wykonywania ocen oddziaływania na środowisko gospodarstw rolnych, a także w celach edukacyjnych. Ich przydatność zależy od dokładności, z jaką odzwierciedlają emisję występującą w danych warunkach.

Wyznaczając wskaźniki emisji amoniaku z produkcji zwierzęcej, uwzględniono różne specyficzne dla Polski czynniki mające wpływ na jej kształtowanie. Wykorzystano m.in. dostępne krajowe wyniki prac nad zawartością azotu w odchodach zwierząt i stratami amoniaku z nawozów naturalnych, a także wzięto pod uwagę występujące w kraju systemy utrzymania i strukturę pogłowia zwierząt oraz wydajność mleczną krów. Ogólny wskaźnik emisji amoniaku z azotowych nawozów mineralnych wyznaczono, uwzględniając ich rodzaje i strukturę wykorzysta-

nia w kraju. Pozwala to sądzić, że wskaźniki te większym stopniu niż stosowane dotychczas (przyjęte z literatury zagranicznej) są przydatne do szacowania ilości amoniaku powstającego w produkcji rolnej w Polsce. Prace nad ich doskonaleniem powinny być kontynuowane. Potrzebna jest zwłaszcza większa liczba danych z bezpośrednich pomiarów dotyczących strat amoniaku na różnych etapach gospodarki nawozami naturalnymi oraz z zastosowanych azotowych nawozów mineralnych.

LITERATURA

- Atmospheric emission inventory guidebook, 2000. Ed. 2. Tech. report no 30 vol. 3. Luxembourg: Office for Official Publ. Eur. Comm. ss. 450.
- Baza danych o polskich emisjach do powietrza. IOŚ, KCIE. <http://emissions.ios.edu.pl/>
- BUSSINK D.W., 1996. Ammonia volatilization from intensively managed dairy pastures. Thesis Landbouwniversiteit Wageningen, CIP-DATA., Den Haag: Koninklijke Bibliotheek ss. 177.
- COWELL D., WEBB J., 1997. A review of process-based methodologies for modelling ammonia emissions from agricultural livestock. Meet. of UNECE Technical group on agricultural emission and ammonia abatement. Materiały robocze. 3-7 March 1997, Reggio Emilia, Italy maszyn. ss. 13.
- HUTCHINGS N.J., SOMMER S.G., ANDERSEN J.M., ASMAN W.A.H., 2001. A detailed ammonia emission inventory for Denmark. *Atm. Env.* 35 s. 1959–1968.
- JADCZYSZYN T., 2005. Wyniki niepublikowane, uzyskane bezpośrednio od autorki.
- JADCZYSZYN T., MAĆKOWIAK Cz., KOPIŃSKI J., 2000. Model SFOM narzędziem symulacji ilości i jakości nawozów organicznych wytwarzanych w gospodarstwie. *Pam. Puł.* z. 120/I s. 168–175.
- Konwencja w sprawie transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń powietrza na dalekie odległości sporządzona w Genewie dnia 13 listopada 1979 r. *Dz.U.* 1985 nr 60 poz. 311.
- KUTERA J., 1994. *Gospodarka gnojowicą*. Wrocław: Wydaw. AR ss. 370.
- MARCINKOWSKI T., 2002. Identyfikacja strat azotu w towarowych gospodarstwach rolnych Żuław Wiślanych. *Woda Środ. Obsz. Wiej. Rozpr. nauk. monogr.* nr 1 ss. 79.
- OLENDRZYŃSKI K., DĘBSKI B., KARGULEWICZ I., SKOŚKIEWICZ J., FUDAŁA J., HŁAWICZKA S., CEKOWSKI M., 2003. Inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń powietrza za rok 2001 na potrzeby statystyki krajowej i zobowiązań międzynarodowych w ramach konwencji w sprawie transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń powietrza na dalekie odległości. Warszawa: IOŚ, KCIE maszyn. ss. 104.
- PIETRZAK S., 2004. Ammonia losses from natural fertilisers applied to croplands in view of experimental studies in Poland. *Water Manag. Eng. Trans. Lithuanian Univ. Agricult. Water Manag. Inst. Lithuanian Univ. Agricult.* 4 s. 41–45.
- Program operacyjny Rozwój obszarów wiejskich na lata 2007–2013, 2005. Warszawa: MRiRW ss. 108.
- Rolnictwo w 2004 r. Zaopatrzenie rolnictwa w środki produkcji. http://www.stat.gov.pl/dane_spol-gosp/rolnic_lesnict_srodowi/rolnictwo/2004/2004/index.htm
- Rolnictwo w I półroczu 2004 r. Produkcja mleka i jaj. http://www.stat.gov.pl/dane_spol-gosp/rolnic_lesnict_srodowi/rolnictwo/2004/I_poltr/
- Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów i pogłowie zwierząt gospodarskich w 2004 r., 2004. Warszawa: GUS ss. 80.

Stefan PIETRZAK

**INVENTORY METHOD FOR AMMONIA EMISSIONS
FROM AGRICULTURAL SOURCES IN POLAND AND ITS PRACTICAL APPLICATION**

Key words: ammonia emission, animal production, coefficients of the ammonia emission, inventory of ammonia emission, manures

S u m m a r y

Agricultural production and animal production in particular, is the main source of ammonia emission to the atmosphere. To estimate the amount of NH_3 emission in Poland the conversion coefficients elaborated and used in West-European countries are used.

Main objective of this work was to elaborate the indices of ammonia emission from agricultural sources adopted to Polish conditions. Coefficients of ammonia emission from animal production were calculated in detailed version (at the farm level) and in general version (at the country or regional level). Total coefficient of ammonia emission from plant production (from mineral nitrogen fertilizers) was also elaborated. Coefficients were based on nitrogen excreted by different categories of animals and on the losses of ammonia from manures kept in farm buildings, during their storage and application on pastures. Total coefficient of ammonia emission from plant production was calculated as the weighed mean value taken from literature data on ammonia emission from fertilizers and on the structure of their use in Polish agriculture. Basing on calculated coefficients and those adopted from literature the annual loads of ammonia from agricultural sources were calculated for the whole country and for the farm ZDMUZ Biebrza.

In Poland the ammonia emission from agricultural production in 2000–2004 was estimated at 280–296 Gg $\text{NH}_3 \cdot \text{year}^{-1}$, including 227–240 Gg $\text{NH}_3 \cdot \text{year}^{-1}$ from animal production. In ZDMUZ Biebrza in 2004 this emission was estimated at 10 210 kg $\text{NH}_3 \cdot \text{year}^{-1}$ i.e. 0.01 Gg, 7.4% of which originated from plant production and 92.6% from animal production.

Recenzenci:

prof. dr hab. Teofil Mazur

doc. dr hab. Andrzej Myczko

Praca wpłynęła do Redakcji 04.10.2005 r.