

**Damian Wach**

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

ROLA WYKORZYSTANIA NISKOEMISYJNYCH TECHNIK  
PRZECHOWYWANIA I APLIKACJI NAWOZÓW NATURALNYCH  
W REDUKCJI EMISJI AZOTU DO ŚRODOWISKA\*

**Słowa kluczowe:** nawozy naturalne, emisja amoniaku, techniki niskoemisyjne, redukcja emisji azotu

---

**Wstęp**

Jednym z głównych zanieczyszczeń gazowych powietrza powstającym w toku szeroko rozumianej produkcji rolniczej jest amoniak. Szacuje się, że w Unii Europejskiej rolnictwo jest odpowiedzialne za ponad 90% emisji tego gazu. Największa część emisji amoniaku związana jest z odchodami zwierząt – blisko 80%, a pozostałe 20% – ze stosowaniem mineralnych nawozów azotowych (15). Podobnie w Polsce, głównym źródłem emisji amoniaku jest rolnictwo odpowiadające za ok. 95% całkowitej emisji tego gazu. W 2019 r. całkowita emisja amoniaku z rolnictwa wyniosła 300,58 Gg NH<sub>3</sub>, w tym blisko 80% pochodziło z produkcji zwierzęcej, natomiast pozostałe 20% ulatniającego się amoniaku pochodziło z mineralnych nawozów azotowych (7).

Zgodnie z umowami międzynarodowymi oraz polityką Unii Europejskiej państwa członkowskie zobowiązały się do redukcji emisji amoniaku oraz innych zanieczyszczeń powietrza. Główne regulacje w zakresie ograniczania emisji amoniaku i realizacji polityki UE mającej na celu poprawę jakości powietrza zostały zawarte w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2016/2284 w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zwanej dyrektywą NEC (Directive (EU) 2016/228) (1).

---

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.1 pt. „Nawożenie użytków rolnych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r.

Według wymagań zawartych w ww. dyrektywie Polska powinna ograniczyć emisję amoniaku w każdym roku o 1% (w latach 2020–2029) oraz o 17% po roku 2030 w porównaniu z 2005 r. Dokument ten daje wytyczne co do sposobu ograniczania emisji amoniaku z nawozów mineralnych i naturalnych. W przypadku mineralnych nawozów azotowych zaleca się między innymi niestosowanie nawozów amonowo-węglanowych, zastępowanie w miarę możliwości mocznika nawozami na bazie azotanu amonu oraz dostosowanie dawek nawozów do potrzeb rośliny i zasobności gleby. Natomiast jeśli chodzi o nawozy naturalne, kładziony jest nacisk na stosowanie niskoemisyjnych technik na wszystkich etapach zarządzania tymi nawozami, począwszy od żywienia i utrzymania zwierząt, po składowanie i stosowanie ich na polach uprawnych.

Celem opracowania było oszacowanie potencjalnych możliwości redukcji emisji amoniaku poprzez zastosowanie niskoemisyjnych technik składowania i aplikacji nawozów naturalnych.

### **Niskoemisyjne praktyki składowania nawozów naturalnych**

Przechowywanie nawozów naturalnych jest jednym z etapów zarządzania nimi, na którym może dochodzić do dużych strat azotu w postaci amoniaku. Przy intensywnej produkcji zwierzęcej powstają znaczne ilości nawozów naturalnych, które często nie mogą być na bieżąco wykorzystane na polach uprawnych i wymagają magazynowania. Emisja amoniaku podczas przechowywania uzależniona jest od wielu czynników, między innymi sposobu układania i formowania przyzmy obornika, powierzchni składowisk, szczelności zbiorników na nawozy płynne, jak również od warunków meteorologicznych. Na tym etapie gospodarowania nawozami naturalnymi straty azotu ocenia się na ok. 2–45% zawartości azotu przed magazynowaniem nawozów (5, 11, 14, 15).

#### ***Przechowywanie nawozów płynnych***

Płynne nawozy naturalne, wytwarzane w gospodarstwie rolnym lub przyjęte od innego gospodarstwa rolnego, powinny być przechowywane w sposób bezpieczny dla środowiska, przez okres, w którym nie jest możliwe ich rolnicze wykorzystanie. Zgodnie z wymaganiami zawartymi w programie azotanowym (12) zbiorniki te powinny pozwalać na zmagazynowanie 6-miesięcznej produkcji nawozów płynnych. Powinny również posiadać szczelne ściany i dno oraz muszą być przykryte (najlepiej osłoną elastyczną lub osłoną pływającą) (5).

Zastosowanie technik przechowywania nawozów płynnych o obniżonej emisyjności pozwala ograniczyć emisję amoniaku o od 40% do nawet 100% (16). W przypadku nawozów płynnych techniki te mają na celu zmniejszenie bezpośrednio uwalniania amoniaku do atmosfery na styku powierzchni gnojowicy z powietrzem

lub na zmniejszeniu wydzielania amoniaku poprzez obniżenie pH, które powoduje zatrzymanie procesów odpowiedzialnych za jego powstawanie. W tabeli 1 przedstawiono informacje dotyczące skuteczności technik ograniczania emisji  $\text{NH}_3$  w zakresie różnych technik przechowywania gnojowicy w porównaniu z metodą referencyjną (odkryty zbiornik).

Tabela 1

Metody zmniejszania emisji amoniaku podczas magazynowania gnojowicy  
i innych nawozów płynnych

Metoda ograniczania emisji	Redukcja emisji amoniaku (%)
Sztywna pokrywa lub osłona elastyczna (np. konstrukcja namiotowa) na zbiorniku z gnojowicą	80
Pokrywa pływająca (np. pływająca plandeka z PCV, pływające elementy z tworzywa sztucznego)	60
Naturalny kożuch na powierzchni gnojowicy	40
Zbiorniki elastyczne do magazynowania gnojowicy	100
Zakwaszanie gnojowicy w zbiorniku	60*

\*efekt redukcji emisji amoniaku w stosunku do emisji z niezakwaszonej gnojowicy przechowywanej w otwartym zbiorniku

Źródło: UNECE, 2015 (16)

### ***Przechowywanie nawozów stałych***

Zgodnie z programem azotanowym (12) stałe nawozy naturalne wytwarzane w gospodarstwie lub przyjęte od innego gospodarstwa rolnego powinny być przechowywane w sposób bezpieczny dla środowiska (zapobiegając przedostawaniu się odcieków do wód i gruntów) przez okres, w którym nie jest możliwe ich rolnicze wykorzystanie. Powierzchnia miejsc do przechowywania stałych nawozów naturalnych powinna umożliwiać ich składowanie przez okres co najmniej 5 miesięcy (6).

Podobnie jak w przypadku nawozów płynnych techniki ograniczające emisje amoniaku w trakcie składowania stałych nawozów naturalnych opierają się na zmniejszeniu powierzchni bezpośrednio stykającej się z powietrzem. Wiążą się również z zagęszczeniem przyzmy i ograniczeniem wzrostu temperatury powyżej  $50^\circ\text{C}$ , przez co zmniejszają uwalnianie amoniaku. Pozwalają one zredukować emisję  $\text{NH}_3$  o 20–90%. Techniki ograniczające emisję amoniaku w trakcie składowania stałych nawozów naturalnych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Metody zmniejszania emisji amoniaku podczas magazynowania stałych nawozów naturalnych

Metoda ograniczania emisji	Redukcja emisji amoniaku (%)
Przykrywanie składowanego obornika (np. nieprzezroczystą folią z tworzywa sztucznego)	60–80
Etapowe układanie (niejednoczesne na całej powierzchni) i ugniatanie (zagęszczanie) na pryzmie	90
Stosowanie pełnych osłon stałych (zadaszanie miejsc przechowywania)	20

Źródło: UNECE, 2015 (16)

### Niskoemisyjne praktyki aplikacji nawozów naturalnych

Stosowanie nawozów naturalnych na użytkach rolnych jest ostatnim etapem zarządzania tymi nawozami, w którym może dochodzić do strat azotu na drodze emisji amoniaku. Szacuje się, że straty te wynoszą od około 7% do nawet 95% (6, 13, 14, 17). Wielkość emisji amoniaku jest uzależniona od wielu czynników siedliskowych, atmosferycznych i agrotechnicznych (10, 11, 15).

Ograniczanie strat azotu na etapie stosowania nawozów naturalnych jest niezwykle istotne, gdyż dopełnia praktyki związane z ograniczaniem uwalniania amoniaku przedsięwzięte we wcześniejszych etapach produkcji (np. składowanie nawozów naturalnych). Niewłaściwa aplikacja nawozów naturalnych może powodować zwiększoną emisję amoniaku. Dlatego też przy stosowaniu nawozów ważna jest znajomość zawartego w nich azotu, tak aby dawka, metoda oraz termin aplikacji były dostosowane do potrzeb roślin (6).

Podstawą ograniczenia emisji amoniaku i jednocześnie zwiększenia wykorzystania azotu w proponowanej metodzie jest bezpośrednio wprowadzenie lub możliwie szybkie wymieszanie aplikowanych nawozów naturalnych (stałych i płynnych) z glebą, tak by rośliny mogły maksymalnie wykorzystać zawarte w nich składniki pokarmowe. Uzyskanie pożądanych efektów jest możliwe dzięki wykorzystaniu odpowiednich narzędzi i technik aplikacji. W przypadku nawozów płynnych należy zastąpić ich rozprowadzanie na polu przy użyciu wozu asenizacyjnego wyposażonego w talerz rozbryzgowy przystawką z węzami wleczonymi lub węzami zaopatrzonymi w redlice, czy też prowadzić aplikację doglebową (płytką lub głęboką). Natomiast w przypadku obornika należy jak najszybciej wymieszać go z glebą za pomocą narzędzi uprawowych (pług, brona talerzowa).

Stosowanie technik aplikacji nawozów o obniżonej emisyjności pozwala ograniczyć emisję amoniaku zarówno w przypadku nawozów płynnych, jak i stałych o od 30% do nawet 90% (16). W tabeli 3 przedstawiono informacje dotyczące skuteczności poszczególnych technik ograniczania emisji  $\text{NH}_3$  w zakresie aplikacji płynnych nawozów naturalnych, natomiast w tabeli 4 – efektywność redukcji emisji  $\text{NH}_3$

w zależności od czasu, jaki upłynął od aplikacji nawozu naturalnego (obornika, gnojowicy) do momentu jego wymieszania z glebą. Redukcja  $\text{NH}_3$  została wyrażona jako procent redukcji w odniesieniu do metody referencyjnej. W przypadku gnojowicy za metodę referencyjną uznaje się jej rozlewanie przy użyciu wozu asenizacyjnego wyposażonego w dyszę wylewową oraz talerz rozbryzgowy. Natomiast dla obornika metoda referencyjna to rozrzucenie nawozu i pozostawienie go na powierzchni gleby (bez wymieszania z glebą) przez tydzień lub dłużej.

Tabela 3  
Zestawienie efektywności technik redukcji emisji amoniaku podczas aplikacji płynnych nawozów naturalnych

Rodzaj aplikacji	Technika ograniczania emisji	Typowa redukcja emisji amoniaku (%)
Naglebowa	wóz asenizacyjny z wężami wleczonymi	30–35%
	wóz asenizacyjny z wężami zakończonymi płozami (redlicami)	30–60%
Doglebowa	aplikacja płytka (na głębokość 4–10 cm)	70% (otwarte szczeliny) 80% (zamknięte szczeliny)
	aplikacja głęboka (na głębokość 12–30 cm)	90%

Źródło: UNECE, 2015 (16)

Tabela 4  
Efektywność redukcji emisji amoniaku zależnie od czasu wprowadzania nawozów naturalnych do gleby

Technika ograniczania emisji	Rodzaj nawozu	Typowa redukcja emisji amoniaku (%)
Wprowadzenie do gleby	płynny nawóz naturalny	90% – natychmiastowe zaoranie 70% – natychmiastowa uprawa (bez odwracania gleby) 45–65% – wprowadzenie do gleby w ciągu 4 godzin 24–30% – wprowadzanie do gleby w ciągu 24 godzin
Wprowadzenie do gleby	obornik	90% – natychmiastowe zaoranie 60% – natychmiastowa uprawa bez odwracania gleby 45–65% – wprowadzenie do gleby w ciągu 4 godzin 50% – wprowadzenie do gleby w ciągu 12 godzin 30% – wprowadzenie do gleby w ciągu 24 godzin

Źródło: UNECE, 2015 (16)

## Material i metody

Do analizy wykorzystano dane literaturowe oraz dane GUS (3), według których w latach 2018–2019 w Polsce przeciętne zużycie obornika wynosiło 44,3 mln t (w tym ok. 4,5 mln t obornika kurzego), gnojówki – 6,7 mln  $\text{m}^3$  oraz gnojowicy –

14,1 mln m<sup>3</sup>. Przeciętne roczne zużycie azotu wynosiło: 327,8 tys. t w oborniku, 20,8 tys. t w gnojówce i 50,6 tys. t w gnojowicy (8).

W związku z brakiem danych tabelarycznych zawartości azotu amonowego w nawozach naturalnych, procentową jego zawartość oszacowano na podstawie bazy danych projektu Manure Standards, utworzonej z wyników analiz laboratoryjnych nawozów naturalnych prowadzonych w 9 krajach nadbałtyckich, w tym w Polsce (9). Po przeanalizowaniu ponad 800 rekordów zgromadzonych w tej bazie (<https://msdb.netlify.app/>), stwierdzono, że średnie zawartości N całkowitego w poszczególnych grupach technologicznych zwierząt pokrywają się z tabelarycznymi zawartościami azotu dla tych samych grup zamieszczonymi w programie azotanowym (12), obowiązującym w Polsce. W związku z tym możliwe było wykorzystanie tych danych do obliczania zawartości azotu amonowego w nawozach naturalnych. Średnia procentowa zawartość azotu amonowego w oborniku krowim wynosiła 15%, świńskim – 20%, a kurzym – 25%; średnio dla obornika przyjęto 20%. Natomiast zawartość azotu amonowego w przypadku gnojowicy krowiej wynosiła 55% i świńskiej – 75%; średnio dla gnojowicy przyjęto 65%. Dla gnojówki uwzględniono takie same wartości jak dla gnojowicy.

Do wyliczenia emisji amoniaku w trakcie składowania nawozów naturalnych posłużono się współczynnikami emisji (EF, ang. *emission factor*) zgodnie z metodyką EEA 2016 (2) dla nawozów naturalnych, które wynoszą dla gnojowicy krowiej – 20% i świńskiej – 14%, natomiast dla obornika krowiego – 27%, świńskiego – 45% oraz kurzego – średnio 15,5% (nioski – 14%, brojlery – 17%).

Natomiast do wyliczenia emisji amoniaku w trakcie aplikacji nawozów naturalnych na polu posłużono się współczynnikiem emisji EF zgodnie z metodyką IPCC 2006 (4) dla nawozów naturalnych, który wynosi 0,20 (20%) – współczynnik I poziomu. Nie było możliwe wykorzystanie współczynnika II poziomu (wg metodyki EMEP/EEA) w związku z brakiem dokładnych informacji na temat ilości nawozów pochodzących z poszczególnych grup technologicznych (wiekowych).

## Wyniki

Z przeprowadzonych szacunków (tab. 5) wynika, że największe ograniczenia w emisji amoniaku w trakcie składowania nawozów naturalnych wyrażone w tys. ton N można uzyskać poprzez wykorzystywanie niskoemisyjnych technik magazynowania obornika. Największe potencjalne możliwości redukcyjne związane z tym typem nawozu wynikają z wielkości jego produkcji w skali kraju, która jest blisko 5-krotnie większa niż nawozów płynnych (gnojowica + gnojówka). Jednak ograniczenie emisji wyrażone w stosunku ilości N zredukowanego (w wyniku stosowania praktyk niskoemisyjnych) do całego azotu znajdującego się w danej grupie nawozów naturalnych (wyrażone w %) było największe w przypadku nawozów płynnych. Zależność ta związana jest z dużą zawartością azotu amonowego (potencjalnego źródła emisji amoniaku) w płynnych nawozach naturalnych.

Tabela 5

Szacunkowa ilość redukcji emisji azotu w postaci amoniaku zależnie od techniki składowania obniżającej emisje

Ilość N w nawozie naturalnym w skali kraju (tys. ton)	Zawartość azotu amonowego (%)	Ilość N amonowego w nawozach naturalnych w skali kraju (tys. ton)	Współczynnik emisji	Potencjalna emisja amoniaku w trakcie aplikacji nawozów naturalnych (tys. ton)	Współczynnik redukcji emisji zależnie od techniki ograniczającej (%)	Redukcja emisji w skali kraju (tys. ton)	Redukcja emisji w porównaniu z ilością N w skali kraju w danej grupie (%)
Obornik							
327,8	15–25 średnio: 20	65,6	0,14–0,45 średnio: 0,29	19,0	20 70 90	3,8 13,3 17,1	1,1 4,0 5,2
Gnojowica							
50,6	55–75 średnio: 65	32,9	0,14–0,20 średnio: 0,17	5,6	40 60 80	2,2 3,4 4,5	4,4 6,6 8,8
Gnojówka							
20,8	55–75 średnio: 65	13,5	0,14–0,20 średnio: 0,17	2,3	40 60 80	0,9 1,4 1,8	4,4 6,6 8,8
Łącznie dla wszystkich nawozów naturalnych							
399,2	-	112	-	26,9	niski średni wysoki	6,9 18,1 23,4	1,7 4,5 5,9

Źródło: opracowanie własne

Analizując opisane techniki, można stwierdzić, że z praktycznego punktu widzenia najlepszym działaniem ograniczającym emisje amoniaku w przypadku obornika będzie przykrywanie go nieprzezroczystą folią, natomiast w przypadku nawozów płynnych – przykrywanie ich pływającymi pokrywami z tworzyw sztucznych lub w przypadku gnojowicy – jej zakwaszanie. Praktyki te pozwalają uzyskać dość wysoki poziom redukcji emisji, tj. ok. 60%.

W przypadku niskoemisyjnych technik stosowania nawozów naturalnych stwierdzono, że największe ograniczenia w emisji amoniaku w trakcie ich stosowania wyrażone w tys. ton N można uzyskać poprzez wykorzystywanie technik niskoemisyjnej aplikacji obornika (tab. 6). Związane jest to z największą w skali naszego kraju produkcją tego nawozu spośród wszystkich nawozów naturalnych (podobnie jak w przypadku składowania). Jednak ograniczenie emisji wyrażone w stosunku ilości N zredukowanego (poprzez praktyki niskoemisyjne) do całego azotu stosowanego (%) w postaci nawozów naturalnych było największe w przypadku nawozów płynnych. Związane jest to z ilością azotu amonowego (potencjalnego źródła emisji amoniaku) zawartego w tych nawozach.

Można stwierdzić, że najbardziej praktyczne z organizacyjnego punktu widzenia będzie mieszanie obornika z glebą w ciągu 4 godzin, natomiast w przypadku gnojowicy i gnojówki – bezpośrednie wprowadzenie tych nawozów do gleby.

W analizie przedstawiono potencjalne całkowite możliwości redukcji emisji azotu w postaci amoniaku, przy założeniu, że nie są stosowane techniki ograniczające emisje. Jednak nie jest to zgodne ze stanem rzeczywistym, gdyż część producentów rolnych jest zobligowana do stosowania niskoemisyjnych technik aplikacji nawozów naturalnych, co wynika z konieczności wdrażania konkluzji BAT (duzi producenci drobiu i świń), a część producentów już stosuje niskoemisyjne techniki składowania (które z końcem roku 2021 stały się obowiązkowe dla podmiotów prowadzących chów lub hodowlę zwierząt w liczbie większej niż 210 DJP). Co więcej, w związku z przemianami zachodzącymi w sektorze rolnym dotyczącymi kierunku produkcji, część istniejącej infrastruktury przeznaczonych do przechowywania nawozów naturalnych nie jest wykorzystywana lub zmieniała przeznaczenie. Brak jest jednak dokładnych danych statystycznych na ten temat. Niewykluczone, że pozyskanie tego typu informacji będzie możliwe po opublikowaniu przez GUS danych zebranych w ramach Powszechnego Spisu Rolnego z roku 2020.

Niemniej jednak pomimo braku danych można założyć, że w wyniku zastosowania niskoemisyjnych technik składowania i aplikacji nawozów naturalnych, o średnim stopniu ograniczania emisji, istnieje szansa na zmniejszenie strat azotu w postaci emisji amoniaku o ok. 20–30 tys. t N. Biorąc pod uwagę dane GUS odnośnie zużycia mineralnych nawozów azotowych, które w roku 2018 wynosiło 994 tys. ton N, można przyjąć, że wprowadzenie niskoemisyjnych technik na etapie magazynowania i stosowania nawozów naturalnych pozwoli ograniczyć/zastąpić nawet ok. 2–3% nawozów mineralnych azotem „zaoszczędzonym” na dwóch ostatnich etapach zarządzania nawozami naturalnymi.



Tabela 6

Szacunkowa ilość redukcji emisji azotu w postaci amoniaku zależnie od techniki aplikacji niskoemisyjnej

Ilość N w nawozie naturalnym w skali kraju (tys. ton)	Zawartość azotu amonowego (%)	Ilość N amonowego w nawozach naturalnych w skali kraju (tys. ton)	Współczynnik emisji	Potencjalna emisja amoniaku w trakcie aplikacji nawozów naturalnych (tys. ton)	Współczynnik redukcji emisji zależnie od czasu wprowadzenia do gleby* (%)	Redukcja emisji w skali kraju (tys. ton)	Redukcja emisji w porównaniu z ilością N w skali kraju (%)
<b>Obornik</b>							
327,8	15–25 średnio: 20	65,6	0,2	13,1	90 (0h) 55 (4h) 30 (24h)	11,8 7,2 3,9	3,6 2,2 1,2
<b>Gnojowica</b>							
50,6	55–75 średnio: 65	32,9	0,2	6,6	90 (0h) 55 (4h) 24 (24h)	5,9 3,6 1,6	11,7 7,1 3,1
<b>Gnojówka</b>							
20,8	55–75 średnio: 65	13,5	0,2	2,7	90 (0h) 55 (4h) 24 (24h)	2,4 1,5 0,6	11,7 7,1 3,1
<b>Łącznie dla wszystkich nawozów naturalnych</b>							
399,2	-	112	-	22,4	90 (0h) 55 (4h) 30 (24h)	20,1 12,3 6,1	5,0 3,0 1,5

\*wybrano skrajne techniki ograniczające emisje amoniaku z nawozów naturalnych oraz najczęściej zalecaną (4 h)

Źródło: opracowanie własne

Należy również zwrócić uwagę, że w projekcie Planu Strategicznego dla WPR zostały zaplanowane praktyki kładące nacisk na wykorzystanie technik niskoemisyjnych w aplikacji obornika (przykrycie glebą w ciągu 12 godzin) oraz rezygnacja z rozprowadzania płynnych nawozów naturalnych metodami innymi niż przy użyciu płytek rozbryzgowych.

### Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wskazuje, że większe ograniczenia strat amoniaku wyrażone w tys. ton N są możliwe do osiągnięcia w wyniku wdrażania niskoemisyjnych praktyk w przypadku naturalnych nawozów stałych zarówno na etapie składowania, jak i stosowania, niż nawozów płynnych. Natomiast ograniczenie emisji wyrażone w ilości N zredukowanego (poprzez praktyki niskoemisyjne) w stosunku do całego azotu zawartego w nawozie naturalnym było największe w przypadku nawozów płynnych.

Działania podejmowane w ramach Planu Strategicznego dla WPR wpierające decyzje rolników w korzystaniu z niskoemisyjnych technik stosowania nawozów naturalnych mogą w znaczący sposób przyczynić się do zmniejszenia emisji azotu w postaci amoniaku do środowiska. Propagowanie na szerszą skalę dobrych praktyk w zakresie ograniczania ujemnego wpływu rolnictwa na środowisko może wydatnie wpłynąć na ograniczanie emisji amoniaku i jednocześnie przyczyni się do poprawy wykorzystania azotu z nawozów naturalnych.

### Literatura

1. Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC. Official Journal of the European Union, L 344/1, 17.12.2016
2. EMEP/EEA: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories. LRTAP, EEA, 2016.
3. GUS: Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2018/2019. Warszawa 2020.
4. IPCC: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Emissions from Livestock and Manure Management. 2006.
5. Jugowar J.L., Mielcarek P., Rzeźnik W.: Niskoemisyjne systemy przechowywania nawozów naturalnych, Niskoemisyjne techniki aplikacji nawozów naturalnych. W: Kodeks doradczy dobrej praktyki rolniczej dotyczący ograniczenia emisji amoniaku. Warszawa 2019, s. 43-64.
6. Kieróńczyk M.: Analiza wybranych czynników kształtujących emisję amoniaku podczas przechowywania obornika w warunkach eksploatacyjnych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2012, t. 12, **3(39)**: 93-102.
7. KOBIZE: Krajowy bilans emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990–2019. Raport syntetyczny. IOS-PIB, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Energią Warszawa. 2021.
8. Kopiński J., Witorożec A.: Zasoby głównych makroskładników nawozów naturalnych w Polsce. Resources of main macronutrients in natural fertilizers in Poland. Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists. (Rocz. Nauk. SERiA), 2021, **23(2)**: (w druku).

9. MANURE STANDARDS: Baza danych zawartości składników mineralnych w nawozach naturalnych projektu Manure Standards. <https://msdb.netlify.app/>
  10. Marcinowski T., Kierończyk M.: Emisja amoniaku z wybranych nawozów naturalnych i mineralnych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 2006, **512**: 411-419.
  11. Marcinowski T.: Emisja gazowych związków azotu z rolnictwa. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2010, t. 10, **3(31)**: 175-189.
  12. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz.U. 2020 poz. 243).
  13. Sapka A.: Emisja amoniaku z produkcji rolnej. Postępy Nauk Rolniczych, 1995, **2**: 3-23.
  14. Sommer S.G., Hutchings N.J.: Ammonia emission from field applied manure and its reduction – invited paper. European Journal of Agronomy, 2001, **15**: 1-15.
  15. Sommer S.G., Webb J., Hutchings N.D.: New emission factors for calculation of ammonia volatilization from european livestock manure management systems. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2019, **3(101)**: 1-9.
  16. UNECE: Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions. Published by the European Commission, Directorate-General Environment on behalf of the Task Force on Reactive Nitrogen of the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, 2015, <http://www.unece.org/index.php?id=41358>.
  17. Webb J., Thorman R.E., Fernanda-Aller M., Jackson D.R.: Emission factors for ammonia and nitrous oxide emissions following immediate manure incorporation on two contrasting soil types. Atmospheric Environment 2014, **82**: 280-287.
- 

Adres do korespondencji:

*dr Damian Wach*  
*Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Czartoryskich 8*  
*24-100 Puławy*  
*tel. 81 4786 766*  
*e-mail: [dwach@iung.pulawy.pl](mailto:dwach@iung.pulawy.pl)*

---

AUTOR  
Damian Wach

ORCID  
0000-0002-5857-5654