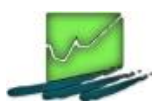




**MINISTERSTWO ROLNICTWA
I ROZWOJU WSI**

**KODEKS DORADCZY
DOBREJ PRAKTYKI
ROLNICZEJ DOTYCZĄCY
OGRANICZENIA
EMISJI AMONIAKU**

Opracowany pod redakcją ITP w Falentach przez:



IERGiŻ - PIB



ITP



IUNG - PIB



IZ - PIB

Warszawa, 2019

Autorzy:

Rozdział I i VI

dr Zuzanna Jarosz
prof. dr hab. Antoni Faber
Instytut Uprawy Nawożenia
i Gleboznawstwa – PIB w Puławach

Rozdział II oraz
III i IV (koszty)

dr hab. Jacek Walczak
dr inż. Elżbieta Sowula-Skrzyńska
dr Anna Borecka
dr Wojciech Krawczyk
dr hab. Mirosław Tyra
dr hab. Marek Pieszka
dr inż. Jan Knapik
dr hab. Katarzyna Połtowicz
dr inż. Agata Karpowicz
prof. dr hab. Dorota Kowalska
dr inż. Iwona Wrona
Instytut Zootechniki PIB w Krakowie

Rozdział III, IV i V

prof. dr hab. J. Lech Jugowar
dr inż. Paulina Mielcarek
dr inż. Wojciech Rzeźnik
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
w Falentach, Oddział w Poznaniu

Kalkulacje kosztów

dr Marek Zieliński,
mgr Jolanta Sobierajewska
prof. dr hab. Wojciech Józwiak
Instytut Ekonomiki Rolnictwa
i Gospodarki Żywnościowej PIB
w Warszawie

Spis treści

Słowniczek pojęć	5
Użyte skróty	7
Wprowadzenie	9
I. Zarządzanie azotem z uwzględnieniem cyklu obiegu azotu	13
A. Wprowadzenie	13
B. Elementy dobrego zarządzania azotem	13
C. Ograniczenia dotyczące rolniczego wykorzystania nawozów azotowych	14
D. Plan nawożenia azotem	15
E. Saldo bilansu i ocena zarządzania azotem	15
II. Żywnościowe metody ograniczania emisji amoniaku z produkcji zwierzęcej	17
A. Bydło	17
B. Świnie	23
C. Drób	28
D. Owce i kozy	31
E. Konie	32
III. Niskoemisyjne systemy utrzymania zwierząt	33
A. Wprowadzenie	33
B. Niskoemisyjne systemy utrzymania bydła	34
C. Niskoemisyjne systemy utrzymania świń	36
D. Niskoemisyjne systemy utrzymania drobiu	38
F. Koszty stosowania niskoemisyjnych systemów utrzymania zwierząt	40
IV. Niskoemisyjne systemy przechowywania nawozów naturalnych	43
A. Wprowadzenie	43
B. Przechowywanie gnojowicy i innych nawozów płynnych	43
C. Przechowywanie stałych nawozów naturalnych	49
V. Niskoemisyjne techniki aplikacji nawozów naturalnych	53
A. Wprowadzenie	53
B. Techniki o obniżonej emisyjności dla gnojowicy i innych nawozów płynnych	53
C. Techniki o obniżonej emisyjności dla nawozów stałych	59
D. Koszty stosowania niskoemisyjnych technik aplikacji nawozów naturalnych	60
VI. Ograniczenie emisji amoniaku podczas stosowania nawozów mineralnych	65
A. Wprowadzenie	65
B. Mocznik	65
C. Nawozy na bazie siarczanu amonu, fosforanu i azotanu	69
D. Kalkulacje kosztów dla praktyk redukujących emisję amoniaku z nawozów mocznikowych	69
PODSUMOWANIE	75
Literatura	79

SŁOWNICZEK POJĘĆ

- Amoniak – nieorganiczny związek chemiczny azotu i wodoru.
- Białko by-pass – białko w formie chronionej przed rozkładem w żwaczu.
- Białko ogólne – całkowita ilość wszystkich azotowych składników pokarmowych, tj. białka właściwego, białka złożonego i związków azotowych niebiałkowych (NPN), zawierających w swym składzie azot.
- Biofiltr – filtr biologiczny do oczyszczania powietrza.
- Chów zwierząt – zapewnienie zwierzętom użytkowym i hodowlanym prawidłowych warunków bytowania i rozwoju, dzięki którym możliwy jest pełny rozwój pożądanых cech. Obejmuje czynności takie jak karmienie i pielęgnacja, związane z utrzymaniem zwierząt od czasu ich nabycia do czasu uzyskania przez nie oczekiwanych cech użytkowych.
- Feedlot – zamknięta (ogrodzona) kwatera na powietrzu do opasu bydła.
- Flushing system – system częstego usuwania gnojowicy za pomocą splukiwania (frakcją płynną gnojowicy lub wodą) przy utrzymaniu świń na podłogach w pełni lub częściowo szczelinowych (rusztowych).
- Gnojowica – nawóz naturalny płynny, będący mieszaniną kału i moczu zwierząt z domieszką wody.
- Gnojówka – nawóz naturalny płynny, będący odciekami z obornika (prefermentowany mocz zwierząt).
- Keramzyt – porowate, lekkie i wytrzymałe kruszywo ceramiczne, powstałe przez wypalenie wysokoilastej gliny pęczniejącej w piecach obrotowych, w temperaturze ok. 1150°C.
- Laguna – zagłębienie w ziemi wyłożone specjalną geowłókniną i nieprzepuszczalną folią, przeznaczone do magazynowania gnojowicy.
- Metionina – organiczny związek chemiczny; jeden z dwóch aminokwasów zawierających siarkę. Występuje w dużych ilościach w kazeinie mlekowej i białku jaj.
- Nawozy azotowe mineralne – nawozy produkowane z kopalni lub wytwarzane w procesie syntezy chemicznej, których jednym ze składników jest azot.
- Nawozy naturalne – nawozy pochodzące od zwierząt gospodarskich - obornik, gnojówka, gnojowica, pomiot ptasi, przeznaczone do rolniczego wykorzystania, w tym również w formie przetworzonej.
- Obornik – nawóz naturalny stały, będący mieszaniną kału i moczu zwierząt wraz ze ściółką, w szczególności słomą, trocinami lub korą.
- Pelet – tutaj: granulaty uzyskiwane z biomasy z odchodów zwierzęcych, wykorzystywane jako paliwo stałe w instalacjach grzewczych.
- Plan nawożenia azotem – rozplanowanie stosowania nawozów azotowych mineralnych i organicznych środków nawozowych na poszczególnych polach w gospodarstwie, z uwzględnieniem potrzeb pokarmowych

roślin w warunkach danego siedliska, zgodnie z wymaganiami określonymi w programie azotanowym.

Płuczka kwaśna – urządzenie do oczyszczania powietrza wylotowego, w którym do medium absorpcyjnego (wody) dodawane są związki chemiczne w celu chemicznego związania absorbowanych substancji.

Płuczka wodna – urządzenie do oczyszczania powietrza wylotowego, w którym jako medium absorpcyjne wykorzystywana jest woda.

Płyta obornikowa – nieprzepuszczalne miejsce do przechowywania nawozów naturalnych stałych, wraz ze zbiornikiem na odciek i instalacją odprowadzającą odciek do zbiornika.

Pomiot ptasi – nawóz naturalny stały, będący odchodami drobiu z bezściółkowego systemu utrzymania zwierząt gospodarskich.

Program Azotanowy – Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz. U. z 2018 r. poz. 1339).

System Combideck – system odzyskiwania ciepła z zastosowaniem chłodzenia i ogrzewania ściółki w chowie brojlerów kurzych. System ten wykorzystuje dwa obiegi wody, z których jeden ogrzewa halę, zaś drugi pełni funkcję podziemnego zbiornika.

System wolnostanowiskowy – bezuwięziowy system utrzymania krów.

Systemy wolierowe – bezklatkowe, podłogowe wielopoziomowe systemy utrzymania kur niosek z automatycznym zbiorem jaj i taśmowym usuwaniem pomiotu, w których podłoga kurnika może w 100% być wykorzystywana jako strefa grzebaliskowa, zapewniając swobodę aktywności ruchowej ptaków oraz optymalną ich obsadę.

Taniny – są naturalnymi, zróżnicowanymi roślinnymi substancjami należącymi do związków fenolowych, które w środowisku żwacza wykazują zdolność do wiązania białek, chroniąc je tym samym przed rozkładem mikrobiologicznym.

Trwałe użytki zielone – grunty wykorzystywane do uprawy traw lub innych pastewnych roślin zielnych rozsiewających się naturalnie (samosiewnych) lub uprawianych (wysiewanych), które nie były objęte płodozmianem danego gospodarstwa rolnego przez okres pięciu lat lub dłużej.

Uprawy trwałe – uprawy niepodlegające płodozmianowi, inne niż trwałe użytki zielone i pastwiska trwałe, które zajmują grunty przez okres pięciu lat lub dłużej i dają powtarzające się zbiory, w tym szkółki i zagajniki o krótkiej rotacji.

Uprawy wieloletnie – rośliny uprawiane na gruntach ornych, których okres uprawy wynosi od 2 lat do 4 lat, w szczególności trawy, koniczyny z trawami, lucerny lub truskawki.

Ureaza – enzym odpowiedzialny za rozkład mocznika do amoniaku i dwutlenku węgla.

Włókno surowe – wszystkie substancje obecne w paszy, które podczas pobytu w układzie pokarmowym nie podlegają rozkładowi przez enzymy trawienne zwierzęcia.

Zakwaszanie gnojowicy – dodawanie do gnojowicy 96% kwasu siarkowego w celu obniżenia pH gnojowicy do poziomu poniżej 6.

UŻYTE SKRÓTY

ATMS	-	Application Timing Management Systems (systemy zarządzania czasem aplikacji)
BAT	-	Best Available Technology (Najlepsza Dostępna Technika)
BO	-	białko ogólne
CH ₄	-	metan
CO	-	centralne ogrzewanie
DDGS	-	Dried Distillers Grains with Solubles (suszony wywar gorzelniany z substancjami rozpuszczalnymi)
DEFRA	-	Department for Environment Food & Rural Affairs (brytyjski Departament ds. Środowiska, Żywności i Spraw Wsi)
DJP	-	duża jednostka przeliczeniowa
EEA	-	European Environment Agency (Europejska Agencja Środowiska)
EM	-	energia metaboliczna
EMEP	-	European Monitoring and Evaluation Programme (Europejski Program Monitorowania i Oceny)
ESF	-	Electronic Sow Feeding (elektroniczna stacja żywienia dla świń)
EU (UE)	-	European Union (Unia Europejska)
FADN	-	Farm Accountancy Data Network (Sieć Danych Rachunkowych Gospodarstw Rolnych)
GUS	-	Główny Urząd Statystyczny
IERiGŻ	-	Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej
IIASA	-	International Institute for Applied Systems Analysis (Międzynarodowy Instytut Analizy Stosowanych Systemów)
ITP	-	Instytut Technologiczno – Przyrodniczy
IZ	-	Instytut Zootechniki
KOBiZE	-	Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami
KTBL	-	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Stowarzyszenie d/s technologii i budownictwa)

	w rolnictwie)
N	- azot
N ₂ O	- podtlenek azotu
NBPT	- N-(n-butylo)trójamid tiofosforowy – inhibitor ureazy
NH ₃	- amoniak
N _{nadw.}	- nadwyżka azotu
NUE	- efektywność wykorzystania azotu
N _{we}	- ilość azotu wprowadzonego pod daną uprawę
N _{wy}	- ilość azotu zebranego w produktach
PAN	- Polska Akademia Nauk
pH	- odczyn
PIB	- Państwowy Instytut Badawczy
PMR	- Partly Mixed Ration (żywienie krów w systemie PMR)
PVC	- polichlorek winylu
PZHK	- Polski Związek Hodowców Koni
RSM	- roztwór saletrzano-mocznikowy
SM	- sucha masa
TMR	- Total Mixed Ration (żywienie krów w systemie TMR)
UNECE	- The United Nations Economic Commission for Europe (Europejska Komisja Gospodarcza Organizacji Narodów Zjednoczonych)
UZ	- użytki zielone
ZZDPR	- Zbiór Zaleceń Dobrej Praktyki Rolniczej, mający na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych

WPROWADZENIE

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 92% emisji tego gazu, natomiast w Polsce wartość ta sięga 94%. Największa część emisji amoniaku związana jest z odchodami zwierząt - 78%, a pozostałe 22% emisji związane jest ze stosowaniem mineralnych nawozów azotowych.

Amoniak jest nieorganicznym związkiem chemicznym azotu i wodoru, który w odchodach zwierzęcych powstaje w wyniku bakteryjnych i enzymatycznych procesów rozkładu substancji białkowych, między innymi aminokwasów, amidów, mocznika i kwasu moczowego. Emisja amoniaku z nawozów azotowych występuje na skutek ich rozkładu pod wpływem wilgoci z gleby i powietrza, i jest zróżnicowana w zależności od ich rodzaju.

Powstawanie amoniaku w produkcji rolniczej uzależnione jest od wielu czynników, wśród których wymienić można: zawartość azotu w diecie żywieniowej zwierząt, sposób utrzymania zwierząt, sposób magazynowania nawozów naturalnych, rodzaj stosowanych nawozów, jak również dawka i technika ich aplikacji oraz warunki atmosferyczne.

Emisje amoniaku z rolnictwa mogą wywoływać wiele negatywnych skutków w środowisku. Do najważniejszych z nich należy eutrofizacja ekosystemów wodnych i zakwaszenie gleb. Uwolniony z amoniakiem azot umożliwia gwałtowny rozwój glonów i sinic, co w konsekwencji ogranicza dopływ tlenu, prowadząc do degradacji zbiorników wodnych. Zakwaszenie gleb może prowadzić do zmniejszenia przyswajalności składników pokarmowych niezbędnych dla rozwoju roślin. Ponadto zjawisko to może zwiększać ruchliwość niebezpiecznych dla ludzi i roślin pierwiastków, głównie metali ciężkich oraz ograniczać aktywność drobnoustrojów. Wyemitowany do powietrza amoniak, który może powracać w opadzie suchym lub mokrym, stanowi również zagrożenie toksyczne upraw i może zwiększać wrażliwość roślin uprawnych na czynniki stresowe.

Problem ten został rozpoznany w Europie już w latach 70. ubiegłego wieku, czego efektem było podpisanie dnia 13 listopada 1979 r. Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości, która nazywana jest potocznie konwencją genewską. Jej celem jest ochrona ludzi i środowiska przed zanieczyszczeniem powietrza poprzez ograniczenie emisji i zapobieganie zanieczyszczeniu powietrza, w tym transgranicznemu przemieszczaniu zanieczyszczeń na dalekie odległości. Dotyczy takich zanieczyszczeń jak: związki siarki, tlenki azotu, amoniak, lotne związki organiczne, metale ciężkie, trwałe zanieczyszczenia organiczne oraz pyły.

Obecnie kluczowym dokumentem w zakresie ograniczania emisji amoniaku i realizacji długofalowego celu polityki Unii Europejskiej dotyczącego poprawy jakości powietrza do poziomu, nie powodującego znacznych negatywnych skutków ani zagrożenia dla zdrowia ludzkiego i środowiska, jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń

atmosferycznych, zwana dyrektywą NEC. Dyrektywa ta ustanawia zobowiązania dla państw członkowskich w zakresie redukcji emisji antropogenicznych zanieczyszczeń do atmosfery, a także zawiera wymóg sporządzania, przyjmowania i wdrażania krajowych programów ograniczania zanieczyszczenia powietrza oraz monitorowania emisji tych zanieczyszczeń oraz ich skutków.

Zgodnie z założeniami dyrektywy NEC, głównymi narzędziami skutecznego ograniczania emisji amoniaku z rolnictwa będą środki i strategie zawarte w krajowym programie ograniczania zanieczyszczenia powietrza, jak również stosowanie się rolników do dobrowolnych zasad zawartych w krajowym *Kodeksie doradczym dobrej praktyki rolniczej dotyczącym ograniczania emisji amoniaku*, który prezentujemy Czytelnikowi poniżej. Jednocześnie należy zauważyć, że podstawę prawną do opracowania ww. Kodeksu stanowi ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. 2018 poz. 1259 z późn. zm.).

Racjonalne, zrównoważone zarządzanie na każdym etapie produkcji rolniczej ma kluczowe znaczenie dla opłacalności prowadzonej przez rolnika działalności, ograniczania i przeciwdziałania emisji zanieczyszczeń do powietrza, jak również ograniczania strat wartościowych składników nawozowych. Przedstawione w Kodeksie dobre praktyki rolnicze ograniczające emisje amoniaku są możliwe do zastosowania w polskim rolnictwie. Przy ich wyborze kierowano się potencjałem ograniczenia emisji z uwzględnieniem kosztów zastosowania oraz skali trudności we wdrożeniu. Zastosowanie tych praktyk oprócz ograniczenia emisji może doprowadzić do poprawy wykorzystywania azotu zawartego w nawozach naturalnych i mineralnych.

Tekst Kodeksu podzielono na rozdziały, które prezentują najważniejsze aspekty zarządzania oraz możliwe do zastosowania praktyki na każdym etapie produkcji rolniczej. Poszczególne rozdziały odnoszą się do zarządzania azotem z uwzględnieniem cyklu obiegu azotu, żywieniowych metod ograniczania emisji amoniaku z produkcji zwierzęcej, niskoemisyjnych systemów utrzymania zwierząt, niskoemisyjnych systemów przechowywania naturalnych, niskoemisyjnych technik aplikacji nawozów naturalnych oraz ograniczania emisji amoniaku podczas stosowania nawozów mineralnych. Opisane metody ograniczania emisji amoniaku są spójne z zaleceniami zawartymi w Kodeksie Ramowym Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych z 2014 r. dotyczącym dobrej praktyki rolniczej na rzecz redukcji emisji amoniaku w tym zakresie i jednocześnie stanowią ich rozwinięcie. Pomocny w odbiorze czytelnikowi może być zamieszczony w Kodeksie spis pojęć oraz wykaz użytych skrótów.

Należy mieć na uwadze, że część praktyk rolniczych dotyczących zarządzania azotem, systemów przechowywania nawozów naturalnych, a także technik ich aplikacji, została już opracowana na potrzeby Programu azotanowego oraz Zbioru Zaleceń Dobrej Praktyki Rolniczej mającego na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniami azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych. W związku z tym niniejszy Kodeks stanowi niejako uzupełnienie wymogów i zaleceń zawartych w ww. dokumentach z jednoczesnym ich rozwinięciem w zakresie emisji amoniaku. Spójne podejście w tym zakresie uzasadnione jest tym, że zarówno Dyrektywa Azotanowa, jak rów-

niez Dyrektywa NEC są kluczowe z punktu widzenia dostosowań sektora rolnego do działań związanych z realizacją wymogów Unii Europejskiej w zakresie szeroko pojętej polityki ochrony środowiska i klimatu. Te unijne regulacje prawne wdrażane są z uwagi na różne cele (odpowiednio: ochronę wód i powietrza) i dotyczą różnych substancji/związków zanieczyszczających, a wdrażanie w praktyce rolniczej wymogów z nich wynikających jest obecnie na różnym etapie. W wymiarze praktycznym sprowadzają się one jednak do realizacji podobnych praktyk i zmian technologii produkcji rolnej na poziomie gospodarstwa. W związku z tym w pracach badawczych na rzecz określenia niezbędnych dostosowań sektora rolnego, już na etapie negocjacji rozwiązań prawnych, należy te obszary traktować łącznie, w sposób kompleksowy.

Mamy nadzieję, że poniższe opracowanie będzie pomocnym narzędziem w upowszechnianiu metod ograniczania emisji amoniaku z rolnictwa, jak również racjonalnego zarządzania w gospodarstwie rolnym. Jednocześnie, jako autorzy, wierzymy, że Kodeks ten trafi do szerokiego grona odbiorców i tym samym w znacznym stopniu przyczyni się do rozpowszechnienia i zwiększenia świadomości społecznej w podejmowanej tematyce.

I. ZARZĄDZANIE AZOTEM Z UWZGLĘDNIENIEM CYKLU OBIEGU AZOTU

A. Wprowadzenie

Zarządzanie azotem to zespół wszystkich praktyk stosowania azotu w gospodarstwie w celu osiągnięcia celów agrotechnicznych i środowiskowych. Cele agronomiczne odnoszą się do uzyskiwania optymalnych plonów i jakości ziemiopłodów oraz optymalnej produktywności i dobrostanu zwierząt. Cele środowiskowe odnoszą się do minimalizacji strat azotu z rolnictwa w postaci gazowej (podtlenek azotu, amoniak) oraz wymywania azotu.

Efektywne zarządzanie azotem w gospodarstwie wymaga:

- uwzględnienia wszystkich źródeł azotu stosowanego w gospodarstwie (azot w nawozach naturalnych i mineralnych, azot opadający na pole (depozycja), azot przyswajany przez rośliny bobowate, azot zawarty w paszach);
- poprawnego przechowywania nawozów naturalnych i mineralnych oraz stosowania ich według praktyk obniżających straty;
- stosowania azotu w dawkach ściśle dostosowanych do potrzeb pokarmowych roślin i zwierząt;
- stosowania azotu w odpowiednim czasie, odpowiednią techniką, w odpowiedniej dawce oraz w odpowiednim miejscu;
- uwzględnienia wszystkich możliwych strat azotu.

B. Elementy dobrego zarządzania azotem

Ze względu na istotne różnice w cyklach azotu w różnych systemach produkcji zarządzanie należy prowadzić:

- w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji roślinnej z rozbiem na rolniczą produkcję polową, produkcję warzyw oraz produkcję owoców;
- w gospodarstwach z chowem zwierząt wykorzystujących użytki zielone z rozbiem na bydło mleczne, bydło mięsne, owce, kozy i inne zwierzęta;
- w gospodarstwach o produkcji mieszanej z dominującą produkcją zwierzęcą: bydło mleczne, bydło mięsne, świnie, drób, inne zwierzęta;

- na fermach zwierzęcych nie posiadających gruntów rolnych z uwzględnieniem bydła mlecznego, bydła mięsnego, świń, drobiu oraz innych zwierząt.

Zarządzanie azotem w gospodarstwie polega na podejmowaniu w każdym roku następujących działań polegających na:

- przeanalizowaniu zapotrzebowania roślin i zwierząt na azot, określeniu dostępności poszczególnych źródeł azotu, warunków jego przechowywania, uwzględnieniu możliwości jego strat oraz najodpowiedniejszych praktyk efektywnego jego wykorzystywania;
- podejmowaniu decyzji, na podstawie oceny skutków wcześniejszej gospodarki azotem, w zakresie wyboru najlepszych praktyk pozwalających osiągnąć cele agronomiczne i środowiskowe;
- planowaniu co, kiedy i gdzie, i za ile (koszty) należy zrobić, aby osiągnąć najlepsze korzyści z gospodarowania, przy minimalnych stratach azotu;
- wykonaniu zaplanowanych działań z uwzględnieniem warunków środowiskowych oraz zalecanych praktyk;
- monitorowaniu i kontroli, co polega na: gromadzeniu danych o wielkości produkcji (plony, nawozy naturalne) oraz zawartości w nich azotu i sporządzaniu na podstawie tych danych bilansów azotu;
- ocenie zarządzania azotem polegającej na określeniu efektywności wykorzystania azotu oraz nadwyżki azotu, który ulega stratom.

C. Ograniczenia dotyczące rolniczego wykorzystania nawozów azotowych

Zgodnie z zapisami Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, emisje amoniaku ze stosowania mineralnych nawozów azotowych oraz nawozów naturalnych mogą zostać zmniejszone poprzez zastosowanie następujących zasad:

- zastąpienie nawozów na bazie mocznika nawozami na bazie azotanu amonu;
- stosowanie nawozów na bazie mocznika z wykorzystaniem metod, które zmniejszają emisję NH_3 o co najmniej 30% w porównaniu z metodą referencyjną;
- zastępowanie nawozów mineralnych nawozami naturalnymi;
- rozprowadzanie nawozów mineralnych azotowych i nawozów naturalnych zgodnie z przewidywanymi potrzebami nawożonej uprawy lub użytku zielonego w odniesieniu do azotu i fosforu, uwzględniając jednocześnie dostępną zawartość składników pokarmowych w glebie oraz w innych nawozach;

- niestosowanie obornika i gnojowicy na gruntach nasyconych wodą, zalanych, zamarzniętych lub pokrytych śniegiem;
- aplikowanie gnojowicy na użytkach zielonych przy użyciu wozów asenizacyjnych z węzami wleczonymi (z redlicami lub bez) lub z wykorzystaniem aplikatorów doglebowych płytkich;
- przyorywanie obornika i gnojowicy stosowanych na gruntach ornych w ciągu kilku godzin od rozproszania.

Okresy nawożenia

Nawozy należy stosować w okresach największego zapotrzebowania roślin w składniki pokarmowe. Stosowanie nawozów azotowych w późnym okresie wzrostu i rozwoju roślin, kiedy pobieranie składników pokarmowych jest niewielkie powoduje, że niewykorzystany przez rośliny azot pozostający w glebie jest narażony na wymywanie do wód gruntowych oraz emisję do powietrza w postaci amoniaku. Również brak okrywy roślinnej i ustanie vegetacji powoduje, że nawozy zastosowane jesienią nie są efektywnie wykorzystywane przez rośliny.

Szczegółowe informacje dotyczące terminów stosowania mineralnych nawozów azotowych oraz nawozów naturalnych zawarte są w Programie Azotanowym oraz w Zbiorze Zaleceń Dobrej Praktyki Rolniczej, mającym na celu ochronę wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych (ZZDPR).

D. Plan nawożenia azotem

Podstawowym narzędziem do prawidłowego zarządzania składnikami pokarmowymi w produkcji roślinnej, a tym samym ograniczającym straty azotu z rolnictwa jest plan nawożenia azotem. Jednocześnie należy pamiętać i przestrzegać zasady, że wielkość rocznej dawki nawozów naturalnych wykorzystywanych rolniczo nie może zawierać więcej niż 170 kg N w czystym składniku na 1 ha użytków rolnych.

Szczegółowe wymagania i wskazania kto jest zobowiązany do opracowania planu nawożenia azotem zostały określone w Programie Azotanowym, a dodatkowe informacje dotyczące opracowywania tego planu i obliczeń dawek azotu w nawozach wraz z przykładami zostały opisane w ZZDPR.

E. Saldo bilansu i ocena zarządzania azotem

Nadmierne nawożenie prowadzi do strat ekonomicznych, wynikających z wyższych kosztów poniesionych na zakup przemysłowych środków produkcji, jak również do niższych plonów roślin, zarówno pod względem ich masy, jak i jakości. Skutkiem zbyt wysokiego nawożenia jest także zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego. Nadmiar niewykorzystanych składników pokarmowych przedostaje się do wód gruntowych, powierzchniowych (jeziora, rzeki) oraz atmosfery (dotyczy związków azotu). Zbyt niskie nawożenie również wywiera negatywny wpływ na stan środowiska.

Deficyt nawet jednego składnika pokarmowego (azotu, fosforu czy potasu), przyczynia się do niepełnego wykorzystania produktywności gleby, potencjału produkcyjnego roślin i pozyskania stosunkowo niższych plonów. Niedobór składników pokarmowych prowadzi również do obniżenia żyzności gleby, a czasem nawet do jej degradacji. Istotnym jest więc, aby dostosować nawożenie do potrzeb pokarmowych roślin i warunków glebowych. Wprawdzie zakres opracowania dotyczy obiegu azotu, to jednak ze względów ekonomicznych istnieje potrzeba prowadzenia produkcji w sposób zapewniający efektywne gospodarowanie wszystkimi składnikami pokarmowymi. Podstawą do wyznaczania optymalnych dawek nawozów jest bilans podstawowych składników pokarmowych, czyli azotu, fosforu i potasu.

Saldo bilansu dostarcza cennych informacji o poprawności nawożenia oraz pozwala na optymalne planowanie gospodarki nawozowej w całym gospodarstwie rolnym. Dodatnie saldo bilansu jest wynikiem przeważających przychodów (dawek nawozowych) nad rozchodami (potrzebami pokarmowymi roślin) analizowanych makroskładników. Nadwyżka makroskładników akumuluje się w glebie, bądź też przedostaje się do wody, czy do atmosfery. Dodatnie saldo informuje o stratach danego składnika i jego negatywnym oddziaływaniu na środowisko. Za bezpieczne dla środowiska przyjmuje się dodatnie saldo bilansu azotu brutto znajdujące się w przedziale 30-70 kg N na 1 hektar użytków rolnych.

Saldo ujemne świadczy o zbyt małych dawkach nawozów w stosunku do potrzeb pokarmowych roślin. Deficyt makroskładników prowadzi do zmniejszenia żyzności gleby, a nawet jej degradacji.

Efekty zarządzania azotem można ocenić na podstawie:

- zmian nadwyżki azotu ($N_{nadw.}$), która jest bezproduktywną stratą tego składnika (kryterium środowiskowe),
- efektywności wykorzystania azotu (NUE), (kryterium produkcyjno-środowiskowe).

Różnica pomiędzy ilością azotu wprowadzonego pod daną uprawę (kg N/ha), a ilością azotu zebranego w produkcie lub produktach (kg N/ha) jest nadwyżką azotu (kg N/ha/rok), która ulega stratom.

$$N_{nadw.} = N_{we} - N_{wy}$$

Efektywność wykorzystania azotu ($\text{kg N kg}^{-1} \text{ N}$) jest stosunkiem ilości azotu zebranego w produktach (kg N ha^{-1}) do ilości azotu zastosowanego pod daną roślinę (kg N/ha).

$$\text{NUE} = N_{wy}/N_{we}$$

Wskaźniki te są specyficzne dla typów gospodarstw i powinny być analizowane regionalnie. Ich poprawę należy oceniać w okresach pięcioletni.

II. ŻYWIENIOWE METODY OGRANICZANIA EMISJI AMONIAKU Z PRODUKCJI ZWIERZĘCEJ

A. Bydło

1. Wydłużenie czasu pastwiskowania

Opis metody

Metoda polega na zwiększeniu dobowego czasu pastwiskowania nawet do 24 godzin. Redukcja emisji dokonuje się tu i w myśl zasady, że wydalany mocz nie miesza się razem z kałem, przez co nie dochodzi do oddziaływania ureazy zawartej w moczu na wydalone, niestrawione białko kału. Stąd ilość wydzielanego z odchodów amoniaku jest na pastwisku, znacząco mniejsza. Jednocześnie mocz ulega szybkiemu wchłonięciu do gleby, dzięki czemu istotnie skrócony zostaje czas możliwej emisji amoniaku do powietrza atmosferycznego. Dodatkowo, utrzymywane pastwiskowo bydło, nie defekuje w pomieszczeniach, co obniża wolumen emisji z samego budynku, jak i płyt obornikowych, czy zbiorników gnojowicowych. Szacuje się, że metoda ogranicza emisję amoniaku o ok. 20%.



fot.: W. Rzeźnik

Fot. 1. Chów pastwiskowy

Wydłużenie czasu pastwiskowania wymaga od utrzymującego zwierzęta gospodarskie posiadania odpowiedniego arealu trwałych użytków zielonych przeznaczonych pod wypas, optymalizacji zarządzania jakością pastwisk, polegającej m.in. na prowadzeniu wypasu kwaterowego, określeniu

jakości i wydajności pastwiska, dostosowaniu obsady zwierząt do wydajności pastwiska, dokarmianiu bydła paszami treściwymi, stosowaniu zabiegów pielęgnacyjnych i innych (rekultywacja, podsiew cennymi gatunkami traw i roślin motylkowatych, wykaszanie niedojadów).

Dzienna powierzchnia pastwiska dla krowy zależy od jakości porostu pastwiskowego i nie powinna przekraczać 80 m². W Polsce na dobrych pastwiskach uzyskuje się przeciętnie 4 do 5 odrostów. Tylko na wyjątkowo dobrych pastwiskach część kwater bywa spasana 6-krotnie.

Przyjmuje się, że przy właściwej organizacji wypasu wykorzystanie zielonki na pastwisku wynosi 80-85%. Uwzględniając tempo przyrostu zielonki od wiosny do jesieni, obsada na 1 ha bardzo dobrego pastwiska o wydajności 30-40 t zielonki powinna wynosić od 3 do 3,5 DJP, a na pastwisku dobrym (wydajność 20-30 t zielonki z 1 ha) od 2 do 2,5 DJP. Na gorszych pastwiskach obsada powinna być mniejsza – od 1,3 do 1,6 DJP.

W planowaniu powierzchni pastwiska, niezbędnej do pełnego pokrycia zapotrzebowania na paszę dla stada w okresie wegetacyjnym, należy uwzględnić różne tempo przyrostu runi przez cały okres pastwiskowy. Powierzchnia pastwiska niezbędna do wyłącznego żywienia krów zielonką zależy od jego wydajności.

Żywienie krów produkujących dziennie do 20 kg mleka (ok. 6 000 kg za laktację) w oparciu o pastwisko bardzo dobrej jakości nie wymaga dokarmiania paszami treściwymi. Ich dodatek jest wskazany w przypadku żywienia na pastwiskach gorszej jakości i dużej obsadzie zwierząt.

Przy wydajności 15-18 kg mleka, dla uniknięcia spadku masy ciała i wydajności krów, wskazany jest jednak dodatek ok. 2-3 kg/szt. niskobiałkowej paszy treściwej.

Dodatek węglowodanowych pasz treściwych lub innych pasz objętościowych (sianokiszonki, kiszonki z kukurydzy) niezbędny jest przede wszystkim dla utrzymania wydajności powyżej 18 kg oraz zachowania dobrej kondycji krów.

Dla krów o wydajności powyżej 20 kg mleka stosuje się uproszczony sposób podawania paszy treściwej – na każdy kg mleka wyprodukowanego powyżej 20 kg podawane jest 0,33 kg mieszanki treściwej. Dodatek ten musi być stosowany przez cały sezon pastwiskowy, ponieważ obniża się ilość i jakość zielonki pastwiskowej.

Dawka paszy treściwej w okresie pastwiskowym nie powinna przekraczać 6 kg, powyżej tej ilości krowa znacznie ogranicza pobieranie runi pastwiskowej.

Żywienie pastwiskowe w każdym z przypadków musi być uzupełnione lizawkami i mieszankami mineralno-witaminowymi, a zwierzętom należy zapewnić stały dostęp do czystej wody pitnej.

Wielkość redukcji emisji oraz jej koszt krańcowy obliczony na podstawie obliczeń IZ PIB ilustruje tabela 1.

Tabela 1. Wielkość redukcji emisji amoniaku w wydłużonym czasie pastwiskowania

Metoda	Ilość zredukowanego NH ₃ kg/szt./okres
Pastwiskowanie - <u>z 4 na 8</u> godzin /dzień - wypas 210 dni	1,75
Pastwiskowanie - <u>z 8 na 12</u> godzin /dzień - wypas 210 dni	1,75
Pastwiskowanie - <u>z 12 na 24</u> godzin /dzień - wypas 210 dni	5,24
Pastwiskowanie - <u>z 4 na 8</u> godzin /dzień - wypas 170 dni	1,41
Pastwiskowanie - <u>z 8 na 12</u> godzin /dzień - wypas 170 dni	1,41
Pastwiskowanie - <u>z 12 na 24</u> godzin /dzień - wypas 170 dni	4,24
Wydłużenie pastwiskowania 170 dni - 210 dni	6,11

Źródło: IZ PIB

* Ujemna wartość kosztu oznacza korzyść (zysk) dla rolnika

2. Precyzyjne bilansowanie dawki pokarmowej

Opis metody

W żywieniu przeżuwaczy wydalanie związków azotu silnie uzależnione jest od koncentracji białka ogólnego w dawce pokarmowej oraz proporcji traw, sianokiszonki i siana, do zbóż i koncentratów. Nadwyżka białka ogólnego i wynikające z niej wydalanie azotu i emisja NH₃ są najwyższe w przypadku pastwiskowania młodą trawą lub skarmiania mieszanki traw i strączkowych. Aby zredukować emisję amoniaku należy zmniejszyć nadwyżkę podaży białka poprzez zapewnienie zaleceń żywieniowych zawartych w tabeli 2.

Dla zapewnienia lepszej strawności białka w sianokiszonkach, należy natomiast zadbać o jak najszybsze zakiszenie ściętej masy. W przypadku zakiszania w silosach powinno się jak najszybciej usunąć pozostałości powietrza poprzez zagęszczenie, ubicie masy. W końcu unikać należy procesów samozagrzewania się kiszonek.

Dla użytków zielonych użytkowanych kośnie lub pastwiskowo, unikać należy przenawożenia azotem. Należy zawsze równoważyć stosunek białka do energii, a także skarmiać bardziej wyrośniętą trawą o większej zawartości włókna. Powyższe zalecenia wskazane są dla bydła mlecznego, o wydajności powyżej 7 000 kg mleka/laktację, nie korzystającego z pastwiska albo dla żywienia zimowego. Przy takim uwarunkowaniu należy generalnie zadbać, aby zielonkę zastępować innymi paszami objętościowymi o niższej koncentracji białka, jak kiszonka z kukurydzy, siano, słoma itp.

Przewidywany efekt wdrożenia metody skutkuje obniżeniem emisji NH₃ o 20%. Zalecana metoda obejmuje jedynie organizację żywienia bydła, stąd jej efekt wyceniany jest na 0 €/1kg zredukowanej emisji NH₃.

Tabela 2. Orientacyjny poziom białka (BO) dla przeżuwaczy o standardowej zawartości 88% SM

Grupa technologiczna	Faza produkcji	Poziom BO (%)
Krowy mleczne	Początek laktacji	15-16
	Koniec laktacji	12-14
Jałówki	---	12-13
Opasy	Cielęta rzeźne	17-19
	Bydło mięsne do 3 miesięcy	15-16
	Bydło mięsne 3-6 miesięcy	13-14
	Bydło mięsne powyżej 6 miesięcy	12

Źródło: IZ PIB

3. Precyzyjne bilansowanie dawki pokarmowej w oparciu o zastosowanie białka chronionego przed rozkładem w żwaczu

Opis metody

Optymalizacja żywienia polegająca na wyeliminowaniu nadmiaru białka w dawce pokarmowej, zapobiega jego rozpraszaniu do środowiska. Ze względu na różnice w strawności różnych materiałów paszowych, bilansowanie dawki do potrzeb pokarmowych zwierzęcia, realizowane jest standardowo z uwzględnieniem właśnie takiej nadwyżki białka. Wysoko strawne białko dostarczone wprost do jelita i tu wchłonięte wprost do organizmu, eliminuje takie środowiskowe zagrożenie. Białko pobierane jest przez bydło z pokarmem roślinnym, a następnie rozkładane w różnym stopniu w żwaczu przez jego mikroflorę. **Istotna w tym względzie jest jakość skarmianego białka, a o jego wartości odżywczej dla krów, decyduje stopień rozkładu w żwaczu, strawność jelitowa i skład aminokwasowy.** Ponieważ im większa produkcja mleka, tym trudniej pokryć potrzeby białkiem mikrobiologicznym, syntetyzowanym w żwaczu, udział białka nieulegającego degradacji w tej części przewodu pokarmowego w puli białka ogólnego, powinien wynosić 35–40%. W tym celu stosowane są wysokobiałkowe komponenty paszowe, poddane uprzednio odpowiednim procesom technologicznym, takim jak oddziaływanie temperaturą i ciśnieniem, reaktywnym cukrem – ksylozą, czy otoczkowaniu. Najlepsze źródło białka chronionego dostarczają aminokwasy w proporcjach, które w połączeniu z białkiem mikrobiologicznym najbardziej odpowiadają profilowi aminokwasów w mleku krowy. Zadaniem białka chronionego jest zwiększenie puli aminokwasów wchłanianych w jelicie cienkim krów, co prowadzi do ograniczenia strat azotu

z niestrawionego na poziomie żwacza białka, wydalanego z kałem i moczem.

Do pasz zawierających białko chronione zaliczamy ekstrudowane i ekspandowane formy poekstrakcyjnej śruty sojowej, rzepakowej i makuchu rzepakowego, ekstrudowaną śrutę słonecznikową, suszony wywar gorzelniany (DDGS), ekstrudowany len pełnotłusty, suszone młóto browarniane.

Wykorzystanie białka chronionego w żywieniu bydła mlecznego wymaga stosowania systemu TMR lub PMR, podziału na grupy technologiczne oraz bardzo dokładnego zbilansowania dawek pokarmowych, monitorowania ich składu z każdym zmieniającym się komponentem paszowym (łącznie z zastosowaniem kiszzonek/sianokiszzonek z nowo otwartego silosu).

Jak wynika z wyników badań naukowych, precyzyjne żywienie bydła mlecznego z zastosowaniem systemów TMR i PMR oraz białka chronionego, ogranicza emisję NH_3 na poziomie do 25%. Według obliczeń IZ PIB wielkość ta wynosi 4,6 kg NH_3 kg/szt./okres.

4. Żywienie wielofazowe bydła

Opis metody

Metoda ta może być traktowana jako część precyzyjnego bilansowania dawki pokarmowej opisanego w punkcie 2. Jednak ze względu na stosowanie tylko w przypadku intensywnego opasu bydła, potraktowana została jako osobny sposób redukcji emisji amoniaku.

Żywienie wielofazowe to strategia zarządzania żywieniem, w której komponenty dawki oraz jej skład chemiczny zmieniają się z czasem, tak aby jej skład ściśle i precyzyjnie pokrywał aktualne zapotrzebowanie pokarmowe zwierząt w określonych fazach cyklu produkcyjnego.

Metoda ta polega na zmniejszeniu nadmiaru białka w diecie, która zazwyczaj ustalana jest jednorazowo na cały czas opasu. W uproszczonej metodzie żywienia fazowego bydła mięsnego zwierzęta żywione są dwoma rodzajami dawek zadawanych w postaci TMR-u zadawanego 2-krotnie w ciągu dnia.

Pierwsza dawka zawierająca 13-13,5% białka ogólnego skarmiana jest przez okres do 120-180 dni opasu, dawka druga – w ostatnich 28-56 dniach, zawiera 9-11% białka ogólnego. W skład dawki, oprócz kiszzonki z kukurydzy i sianokiszzonki z traw, wchodzi gniecione ziarno kukurydzy.

Metoda ta może mieć zastosowanie do dużych stad z intensywnym opasem bydła mięsnego w budynkach lub na feedlotach, bez udziału pastwiskowania. Bezpośrednie koszty żywienia fazowego są wysoce zależne od kosztów poszczególnych komponentów paszowych, tempa przyrostu zwierząt, wagi początkowej i końcowej bydła oraz genetycznych predyspozycji do efektywnego wykorzystania składników dawki pokarmowej przez zwierzę.

Badania wskazują, że żywienie fazowe pozwala na ograniczenie emisji amoniaku do 10%.

5. Zastosowanie w żywieniu bydła skondensowanej taniny

Opis metody

Metoda polega na uzupełnieniu dawki pokarmowej specjalistycznymi fitogenicznymi dodatkami paszowymi zawierającymi w składzie wyciągi, ekstrakty lub hydrolizaty tanin. Taniny są naturalnymi, zróżnicowanymi roślinnymi substancjami należącymi do związków fenolowych. Obecne są m.in. w nasionach roślin bobowatych, sorgo, ziarnie jęczmienia, liściach lucerny i komonicy (wysoki poziom kondensacji tanin), owocach i korze kasztanowca jadalnego, liściach wierzby, dębu, akacji. W czasie wzrostu roślin, taniny w połączeniu z białkami, chronią je przed patogenami grzybowymi i owadami. Paszom nadają zwykle gorzkawy smak. Wskazując lub zalecając materiały paszowe czy dodatki paszowe, jako komponenty pasz należy mieć na uwadze fakt, że w żywieniu zwierząt można stosować jedynie dodatki paszowe, które spełniają wymogi rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie dodatków stosowanych w żywieniu zwierząt i na mocy tego rozporządzenia zostały zatwierdzone i wpisane do Rejestru Dodatków Paszowych Unii Europejskiej.

Taniny dodane lub dostępne w naturalnej formie (w odpowiednich materiałach paszowych) wiążą się z białkiem w postaci kompleksów w treści żwacza. Połączenia te nie są rozkładane przez mikroflorę żwacza i dopiero pod wpływem kontaktu z treścią kłosa i enzymów trzustkowych w jelicie cienkim, ulegają takiemu rozdzieleniu. Uwolnione w ten sposób aminokwasy podlegają wchłanianiu w jelicie.

Wyniki wielu badań wskazują również na pozytywny wpływ dodatku tanin na zwiększenie ilości metioniny dostępnej jelitowo. Efektem jest wyższa mleczność oraz zwiększenie zawartości białka w mleku. Taniny wywierają również wpływ na florę bakteryjną. Zarówno na poziomie żwacza jak i jelit ograniczają rozwój mikroflory patogennej oraz pasożytniczych nicieni z gatunku *Haemonchus contortus*, co powoduje obniżenie występowania zaburzeń trawienia i procesów fermentacyjnych. Ponadto, taniny działają ściągająco – uszczelniają śluzówkę jelit i łagodzą jej podrażnienia, neutralizują toksyny. Zapobiegają więc chorobom jelitowym, wpływają na poprawę przemiany materii, poprawiają produktywność zwierząt, zapobiegają rozwojowi bakterii chorobotwórczych i wirusów.

Z punktu widzenia ograniczenia emisji gazów szkodliwych istotny jest ich wpływ na poprawę gospodarki azotem, zmniejszenie produkcji amoniaku w przewodzie pokarmowym (już na poziomie żwacza – nie ulegają one rozkładowi żwaczowemu) oraz lepsze wykorzystanie energii dzięki mniejszej produkcji metanu. Według danych pochodzących z różnych badań naukowych, zastosowanie związków taninowych w żywieniu bydła pozwala na redukcję emisji amoniaku od 24 do 56%, w zależności od źródła ich pochodzenia oraz docelowej grupy produkcyjnej zwierząt.

Metoda ta zasadniczo jest skierowana do dużych, wysokoprodukcyjnych gospodarstw o wydajności > 10 000 kg mleka/laktację oraz gospodarstw średnich (8 000 – 10 000 kg). Preparaty mogą być stosowane dla wszystkich grup produkcyjnych, ale głównie dla krów dojnych oraz cieląt w okresie odsadzenia. Zgodne z zaleceniami producentów, dawka zależy od źródła pochodzenia substancji czynnej, zwykle w ilości 0,15-0,20 g/kg m.c. Droga podania – zgodnie z zaleceniami producenta, m.in. doustne po wymieszaniu z wodą lub jako dodatek do TMR-u.

B. Świnie

1. Zmniejszenie poziomu remontu stada (poprawa długowieczności) loch

Opis metody

Redukcja emisji amoniaku dla tej metody wynika ze zmian założeń organizacji stada rodzicielskiego, a dokładnie z efektu wydłużenia użytkowania loch stadnych tzn. wykorzystania efektu długowieczności loch. Lochy pozostające dłużej w użytkowaniu, redukują ogólną liczbę sztuk stada zarodowego, pozostającą najczęściej w użytkowaniu. Punktem wyjścia do oszacowania różnic w produkcji amoniaku był aktualny stan pogłowia loch stada podstawowego w kraju wynoszący 900 000 szt. przy poziomie brakowania wynoszącym 40%. Przewidywane zmniejszenie emisji NH₃ wynika z wydłużenia użytkowania loch, a tym samym zmniejszenia poziomu brakowania do 30%. Zmianie ulega struktura wiekowa loch, natomiast ogólna liczba zwierząt w stadzie pozostaje bez zmian. Różnica w produkcji amoniaku wynika z faktu zmniejszenia zapotrzebowania na loszki remontowe, które do momentu wprowadzenia ich do stada podstawowego są utrzymywane o około 4 miesiące dłużej niż tuczniaki.

Przy wskaźniku brakowania wynoszącym 40% rocznie w krajowej hodowli i produkcji świń potrzeba około 356 000 loszek remontowych, natomiast wydłużając użytkowanie loch, a tym samym redukując wskaźnik brakowań do poziomu 30%, zapotrzebowanie to spada do poziomu około 266 000 loszek. Wynikająca z tych założeń różnica 90 000 loszek będzie przeznaczona do tuczu, a więc czas ich życia będzie o ok. 4 miesiące krótszy. Przyczyni się to do redukcji ilości produkowanego amoniaku.

Metoda ta może mieć zastosowanie w dużych, towarowych fermach działających w cyklu zamkniętym lub otwartym ze sprzedażą warchlaków.

Ograniczenie remontu o 10% równoznaczne jest z takim samym poziomem redukcji amoniaku.

2. Zastosowanie obniżonego poziomu białka w żywieniu świń

Opis metody

Żywienie świń oparte jest ściśle na ich potrzebach, wyliczonych na zapotrzebowanie bytowe i produkcyjne. Do obliczania dawki pokarmowej, tak pod względem koncentracji białka, energii, jak i makro i mikroelementów, służą Normy żywienia świń, opracowane przez PAN Jabłonna. Bilans uzupełnia się o wyszczególnienie aminokwasów egzogennych. Przyjmując ograniczoną strawność, poszczególnych pasz, tak pod względem energii, jak i białka w składzie poszczególnych mieszanek paszowych, składowe bilansu pozostają w nadmiarze, który sięgać może nawet +20% zapotrzebowania świń. Rezerwa taka wynika z braku dokładnej informacji o koncentracji składników w posiadanych w gospodarstwie paszach. Jest to swoiste zabezpieczenie przed ewentualnym brakiem zbilansowania dawki.

W odróżnieniu od żywienia wielofazowego metoda ta polega na generalnym obniżeniu poziomu białka ogólnego w paszy, przy jednoczesnym pokryciu potrzeb żywieniowych świń każdej grupy technologicznej. W praktyce, precyzyjne bilansowanie i obniżenie koncentracji białka w paszy wymaga zmiany składu paszy, ale również jej strawności. Dostosowanie koncentracji białka w paszy do zapotrzebowania świń według tabeli 3, oznacza 10-15% redukcję zawartości BO w dawce pokarmowej.

Tabela 3. Zalecana koncentracja białka w paszy dla świń, obniżająca emisję amoniaku

Grupa technologiczna	Masa ciała (kg)	Koncentracja białka (%)
Prosięta	Poniżej 10	19-21
Warchlaki	10-20	17-19
	25-30	15-17
Tuczniki	30-50	15-17
	50-110	14-15
	Powyżej 110	11-12 z aminokwasami synt. 13-15 bez aminokwasów synt.
Lochy prośne	-	13-15
Lochy karmiące	-	15-17

Źródło: IZ PIB

Do precyzyjnego bilansowania dawki na poziom N, zazwyczaj używa się dodatku aminokwasów syntetycznych, takich jak metionina, lizyna, treonina, arginina, tryptofan. Możliwe jest również dodawanie enzymów rozkładających niedostępne zazwyczaj dla świń, związki białkowe paszy. Podobną rolę spełniają niektóre kwasy organiczne wykorzystywane jako dodatek paszowy. Taka pasza jest oczywiście droższa, ale jej zużycie jest mniejsze, co w dużym stopniu kompensuje wzrost kosztów żywienia. Wyższa jest tu też produktywność.

Mimo, że redukcja BO paszy obniża wydalanie azotu o 10-15%, to DE-FRA, przelicza tą wielkość na 5-7% redukcji amoniaku w stosunku do aktualnych wskaźników. IIASA wycenia jednak tu redukcję emisji na 20% przy zalecanych najniższych koncentracjach białka tzw. wysokiej efektywności metody. Generalnie emisję tą oszacować należy na -10% dla 10% redukcji koncentracji BO w paszy i odpowiednio -15% dla 15% obniżenia koncentracji. Efekty redukcji koncentracji BO w paszy dla świń przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Efektywność redukcji koncentracji BO w paszy dla świń

Grupa technologiczna	Ilość zredukowanego NH ₃ kg/szt./okres	Koszt jednostkowy NH ₃ zredukowanego ^{**)}	
		zł/kg	euro/kg
Warchlaki	1,64	-4,42	-1,02
Tuczniki	2,73	-2,61	-0,60
Lochy	5,47	-1,19	-0,28
Warchlaki ^{*)}	1,64	6,65	1,54
Tuczniki ^{*)}	2,73	5,20	1,21
Lochy ^{*)}	5,47	2,13	0,49

Źródło: IZ PIB

^{*)} z wykorzystaniem suplementacji dawki aminokwasami syntetycznymi

^{**)} Ujemna wartość kosztu oznacza korzyść (zysk) dla rolnika przy zastosowaniu tej metody

3. Zastosowanie żywienia wielofazowego w odchowie warchlaków

Opis metody

Dopasowanie diety do zapotrzebowania w różnych fazach wzrostu - żywienie wielofazowe - szczególnie w żywieniu świń, redukuje ilość wydzielanego azotu, a tym samym i emisję amoniaku, przy zachowaniu produkcji na odpowiednim poziomie. Standardowy system żywienia warchlaków oparty jest o jedną dawkę żywieniową zbilansowaną na poziomie 13 MJ energii metabolicznej i zawartości białka ogólnego na poziomie 180 g. W celu redukcji emisji amoniaku do atmosfery zaleca się w żywieniu tej grupy, zastosowanie dwóch rodzajów pasz o odmiennym poziomie białka i energii. Dla wcześniejszego odsadzania oraz odchovu do wyższej masy ciała (30 kg) powinny to być nawet trzy rodzaje pasz.

W żywieniu dwufazowym, obniżenie poziomu białka ogólnego do 175 g powinno mieć miejsce w początkowym okresie odchovu, gdy zwierzęta osiągają masę ciała od 10 do 20 kg. Natomiast przy masie ciała od 20 do 30 kg warchlaki będą żywione standardową mieszanką. Obniżenie poziomu białka w pierwszej fazie wzrostu warchlaków jest też zabiegiem profilaktycznym zmniejszającym ryzyko zachorowań (choroba obrzękowa) świeżo odsadzonych prosiąt. Przykładową dawkę o powyższych parametrach ilustruje tabela 5.

Tabela 5. Przykładowy procentowy udział składników paszy w mieszance pełnoporcjowej przy żywieniu dwufazowym warchlaków o masie ciała 10-20 kg (I faza) i 20-30 kg (II faza)

Materiał paszowy	I faza %	Materiał paszowy	II faza %
Pszenica	21,0	Pszenica	40,0
Śruta poekst. rzepakowa	8,0	Śruta poekst. rzepakowa	10,0
Jęczmień	50,0	Jęczmień	30,0
Otręby pszenne	5,0	Groch	10,0
Mączka rybna	2,0	Mączka rybna	3,0
Mleko odtłuszczone	11,0	Białko ziemniaczane	3,0
Lizyna	0,1	Olej rzepakowy	1,0
Fosforan	0,8	Fosforan 1 Ca	0,9
NaCl	0,3	NaCl	0,3
Kreda pastewna	0,8	Kreda pastewna	0,8
Premiks	1,0	Premiks	1,0
Energia met. (MJ)	13,0	Energia met. (MJ)	13,1
Białko ogólne (g)	175	Białko ogólne (g)	180
Włókno surowe (g)	40,8	Włókno surowe (g)	42,8
Lizyna (g)	10,4	Lizyna (g)	10,1
Metionina (g)	3,04	Metionina (g)	2,94

Źródło: IZ PIB

Efekt wprowadzenia żywienia wielofazowego szacowany jest w zróżnicowany sposób w zależności od oficjalnego, krajowego źródła. DEFRA wycenia tu redukcję emisji amoniaku na powyżej 5% w stosunku do klasycznej liczby stosowanych typów mieszanek paszowych. Niemieckie KTBL szacuje jednak ten efekt na 15% dla żywienia 2-fazowego i 25% dla 3-fazowego. Uwzględniając opublikowane dotychczas wyniki badań naukowych, przyjęć należy podejście KTBL. Zalecana metoda obejmuje wykorzystanie droższych pasz, jednak przy zwiększeniu przyrostów miesięcznych lub ewentualnym skróceniu czasu odchowu, które obniżają koszty produkcji.

4. Zastosowanie żywienia wielofazowego w tuczu świń

Opis metody

Zasada metody jest identyczna jak w przypadku warchlaków (punkt 3), a zalecane poziomy białka ilustruje tabela 3. W trakcie wzrostu świń zapotrzebowanie na białko, ulega stopniowo obniżeniu, tak jak obniża się tempo ich wzrostu, w tym odkładanie białka w tkankach.

Stosowane obecnie w tuczu pasze, niezbyt precyzyjnie oddają ten stan, zawierając zbyt wysokie koncentracje białka. Klasycznie wykorzystywane są tu 2 poziomy w zależności od typu paszy (starter, finisher). Jako metodę redukcji zalecić należy dla tuczników wykorzystanie 3 pasz (tab. 6).

Tabela 6. Porównanie żywienia klasycznego i wielofazowego tuczników pod względem energii metabolicznej (EM) i białka ogólnego (BO) paszy

Wyszczególnienie	Jednostka	Żywnienie					
		1 fazowe	2 fazowe	3 fazowe			
Dni tuczu	dni	119	49	70	49	28	42
EM	MJ/kg	13,01	12,95	13,05	12,96	12,98	13,03
BO	%	16,4	18,1	14,8	18,1	15,3	13,3

Źródło: IZ PIB

Stosowanie żywienia wielofazowego nie wymaga specjalnych rozwiązań w organizacji żywienia i odbywa się tak jak żywienie klasyczne. Dużo w tej mierze zależy od stosowanej technologii. Możliwe jest także rozdzielanie świń utrzymywanych grupowo, przez odpowiednie stacje ważące do odpowiednich stref odpasu z paszami o różnym składzie. Lżejsze tuczniki kierowane są przez stację do strefy z paszą o wyższej koncentracji białka i energii, cięższe do strefy z uboższą mieszanką. Aktualnie dostępne są już systemy ESF dla tuczników, gdzie zmiana kompozycji dawki pokarmowej odbywa się codziennie w oparciu o pomiar i porównanie masy ciała zwierzęcia. Przykład składu mieszanki o obniżonym poziomie BO dla ostatniej fazy tuczu ilustruje tabela 7.

Efekt wprowadzenia żywienia wielofazowego szacowany jest na 15% dla żywienia 2-fazowego i 25% dla 3-fazowego. Mimo, że metoda wprowadza dodatkowy rodzaj paszy, to jednak żywienie okazuje się być tańsze, ze względu na niższy poziom białka, który to wpływa na cenę. Może to być postrzegane przez zainteresowanych hodowców, jako sposób redukcji kosztów produkcji.

Tabela 7. Udział składników paszy w mieszance pełnoporcjowej o obniżonym poziomie białka w III fazie tuczu dla tuczników o masie ciała 70-120 kg

Składniki paszy	Jednostka	III faza tuczu, zawartość w mieszance
Pszenica	%	30,0
Jęczmień		40,0
Bobik		10,0
Śruta poekst. rzepakowa		8,0
Groch		10,0
Premiks + mineralne		2,0
Energia met.	MJ	12,6
Białko ogólne	g	155
Włókno surowe		48,5
Lizyna		8,82
Metionina		2,49

Źródło: IZ PIB

C. Drób

1. Zastosowanie obniżonego poziomu białka w żywieniu drobiu

Opis metody

Metoda ta polega na generalnym obniżeniu poziomu białka ogólnego w paszy, przy jednoczesnym pokryciu potrzeb żywieniowych drobiu każdej grupy technologicznej. W praktyce, precyzyjne bilansowanie i obniżenie koncentracji białka w paszy wymaga zmiany składu paszy, ale również jej strawności. Dostosowanie koncentracji białka w paszy do zapotrzebowania drobiu według tabeli 8, oznacza 10-15% redukcję zawartości BO w dawce pokarmowej.

Do precyzyjnego bilansowania dawki na poziom N, zazwyczaj używa się dodatku aminokwasów syntetycznych, jak również enzymów rozkładających niedostępne zazwyczaj dla ptaków, związki białkowe paszy. Taka pasza jest oczywiście droższa, ale jej zużycie jest mniejsze, co w dużym stopniu kompensuje wzrost kosztów żywienia. Wyższa jest tu też produktywność drobiu.

Zapotrzebowanie ptaków na białko powinno być pokryte na podstawie zawartości aminokwasów niezbędnych, a szczególnie aminokwasów limitujących, to znaczy tych najczęściej brakujących w mieszance paszowej. Do aminokwasów tych należą przede wszystkim aminokwasy siarkowe (metionina, cystyna) i lizyna, a w dalszej kolejności także treonina, tryptofan oraz arginina. Służą temu zalecane profile aminokwasowe białka paszy, które zostały przedstawione dla różnych grup wiekowych kurcząt brojlerów w Normach Żywienia Drobiu. Stąd w metodzie koniecznym jest bilansowanie receptur mieszanek paszowych z zastosowaniem aminokwasów strawnych, których zawartość oblicza się wykorzystując tabelaryczne współczynniki strawności dla poszczególnych materiałów paszowych.

Tabela 8. Zalecana koncentracja białka w paszy dla drobiu, obniżająca emisję amoniaku

Grupa technologiczna	Okres życia	Koncentracja białka (%)
Brojlery	Do 2 tygodnia życia	20-22
	2-5 tygodnia życia	19-21
	Powyżej 5 tygodnia życia	18-20
Nioski	18-40 tydzień	15,5-16,5
	Powyżej 40 tygodnia	14,5-15,5
Indyki	Poniżej 4 tygodnia	24-27
	5-8 tydzień	22-24
	9-12 tydzień	19-21
	13-16 tydzień	16-19
	Powyżej 16 tygodnia	14-17

Źródło: IZ PIB

Oparty na strawnych aminokwasach system bilansowania powinien być stosowany zwłaszcza w przypadku receptur ze znacznym udziałem alternatywnych źródeł białka, w tym nasion krajowych roślin bobowatych, które często charakteryzują się niską strawnością składników pokarmowych. Bilansowanie receptur z uwzględnieniem jelitowej strawności aminokwasów, daje praktyczną możliwość obniżenia, w pewnym zakresie, poziomu białka ogólnego w mieszankach bez negatywnego wpływu na wskaźniki produkcyjne i uzyskiwane efekty ekonomiczne.

Badania wskazują, że obniżenie zawartości białka w paszy o 1% zmniejsza emisję amoniaku z budynków inwentarskich w zakresie 5-10%. Według danych naukowych, istnieje możliwość, w stosunku do komercyjnych standardów, obniżenia zawartości białka w mieszankach paszowych dla kurcząt brojlerów i kur nieśnych o maksymalnie 2-3%. Jednak nawet przy intensywnej suplementacji diety aminokwasami krystalicznymi, są biologiczne limity takiego zabiegu. Ich przekroczenie prowadzi do pogorszenia wskaźników produkcyjnych.

Do zabiegów zwiększających strawność składników pokarmowych, można zaliczyć hydrotermiczne preparowanie materiałów paszowych, a także optymalny, dostosowany do wieku ptaków, dobór komponentów mieszanek pełnoporcjowych, charakteryzujących się niską zawartością związków antyżywniowych.

Warto w tym miejscu podkreślić, że alternatywne źródła białka, cechujące się obniżoną przyswajalnością aminokwasów, np. mączka guar, nie są zbyt popularne w naszym kraju, co niewątpliwie jest korzystne z punktu widzenia ograniczania negatywnego wpływu produkcji zwierzęcej na środowisko.

Z żywieniowego punktu widzenia liczy się nie tylko ilość dostarczanego w paszy białka, lecz także jego jakość, czyli zawartość i proporcje poszczególnych aminokwasów. Szczególnie ważne są te z nich, które noszą miano egzogennych, a więc nie mogących być syntetyzowanych w organizmach ptaków. Z racji braku odpowiednich enzymów, niektóre rodzaje białka dostarczanego w paszy, nie ulegają strawieniu i wydalane są do środowiska. Dlatego istotnego znaczenia nabierają dodatki paszowe o działaniu zwiększającym rozkład białka i dostępność jego aminokwasów z przewodu pokarmowego, co pozwala na obniżenie poziomu białka ogólnego dawki pokarmowej i ograniczenie w ten sposób wydalania azotu. Skutecznie wykorzystywane w tym celu są tu komercyjne dodatki paszowe o charakterze enzymów proteolitycznych pochodzenia mikrobiologicznego. Podobną rolę spełniać mogą niektóre paszowe kwasy organiczne, dostępne w postaci komercyjnych preparatów. Należy pamiętać, że praktyczne efekty dodatków paszowych, bywają zmienne i najlepiej stosować gotowe pasze pełnodawkowe z takimi komponentami poprawiającymi strawność.

Generalnie redukcję emisji amoniaku oszacować należy w tej metodzie na 10-15%.

2. Zastosowanie żywienia wielofazowego w odchowie brojlerów i indyków

Opis metody

Dopasowanie diety do zapotrzebowania w różnych fazach wzrostu drobiu redukuje ilość wydzielanego azotu, a tym samym i emisję amoniaku, przy zachowaniu efektywności produkcji na odpowiednim poziomie. w trakcie wzrostu ptaków zapotrzebowanie na białko, ulega stopniowo obniżeniu, tak jak obniża się samo tempo ich wzrostu, w tym odkładanie białka w tkankach.

Aktualnie w żywieniu drobiu rzeźnego, stosowane jest powszechnie żywienie 3-fazowe. Zostało ono wprowadzone w sposób samoistny dla obniżenia kosztów żywienia i poprawy opłacalności produkcji. Dlatego oczekiwać należy, że wprowadzenie dodatkowych rodzajów pasz, przyniesie nie tylko obniżenie emisji, ale również kosztów produkcji. Jako metodę redukcji zalecić należy wprowadzenie 4-5 fazowego żywienia brojlerów kurzych, 4-6 fazowego żywienia brojlerów indyckich i 3-fazowego żywienia kaczek oraz gęsi.

W aktualnie obowiązujących Normach Żywienia Drobiu (2005) nie uwzględniono w odpowiednio szerokim zakresie wielofazowego żywienia kur, zalecając, między innymi stosowanie jedynie trzech typów mieszanek paszowych w trakcie odchovu kurcząt rzeźnych (starter, grower, finisz). Obecnie przygotowywane, z udziałem pracowników Instytutu Zootechniki PIB, nowe Normy Żywienia Drobiu w znacznym stopniu uwzględniają problematykę wielofazowego żywienia kur, zarówno ptaków nieśnych, jak i kurcząt brojlerów.

W przypadku kur nieśnych zaproponowano podział okresu odchovu kurcząt na 4 okresy odpowiadające zmieniającym się potrzebom rosnącego organizmu (mieszanki na 1-4, 5-8, 9-16 oraz 17-18 tydzień życia).

Dla dorosłych niosek przewidziano trzy rodzaje mieszanek paszowych. Od pojawienia się pierwszych jaj stosowana powinna być mieszanka przeznaczona na i okres nieśności (nieśność powyżej 90%), a następnie dwa rodzaje mieszanek zalecanych dla kur po szczycie nieśności: o nieśności w zakresie 85-90% (około 46-60 tydzień życia) i poniżej 85% (po około 60 tygodniu życia).

W przypadku odchovu kurcząt brojlerów nowe normy zalecają stosowanie pięciu rodzajów mieszanek, obejmujących odpowiednio: 1-10, 11-24, 25-35, 36-42 i >42 dzień życia.

Nowym rozwiązaniem zastosowanym w przygotowywanych normach jest przedstawienie zapotrzebowania wszystkich grup wiekowych/ technologicznych kur na aminokwasy w postaci ich koncentracji w przeliczeniu na jednostkę (1 MJ) energii metabolicznej. Zachowana zostanie w ten sposób optymalna równowaga energetyczno-białkowa w poszczególnych fazach produkcji, co również przyczyni się do bardziej efektywnego wykorzystania białka zawartego w paszy i ograniczenia ilości azotu wydalanego w odchodach.

D. Owce i kozy

1. Precyzyjne bilansowanie białka w żywieniu owiec i kóz

Opis metody

Ze względu na specyfikę i różnorodność chowu owiec w Polsce na obecnym etapie bardzo trudno jest zaproponować rolnikowi ściśle programy żywieniowe. Można jedynie uwzględnić pewne ogólne zalecenia, jako że są one wykorzystywane, do poprawy efektywności produkcji.

W warunkach klimatycznych Polski owce można utrzymywać systemem alkiezowo-pastwiskowym. Umożliwia to wykorzystanie pastwisk/użytków zielonych od wczesnej wiosny do późnej jesieni, co w istotnym stopniu obniża koszty żywienia/produkcji. Jednym z najważniejszych aspektów żywienia małych przeżuwaczy, z punktu widzenia zdrowotności zwierząt, jak również emisji amoniaku, jest wystarczające ich zaopatrzenie we włókno strukturalne. W porównaniu z innymi przeżuwaczami gospodarskimi owca w stosunku do swojej masy ciała posiada najdłuższy trakt trawienny – jelita, co predysponuje do dobrego wykorzystania również pasz ekstensywnych. Przy zachowaniu odpowiedniego zabezpieczenia zwierzęcia w białko i energię oraz włókno, w przypadku żywienia przeżuwaczy bardzo ważnym aspektem jest odpowiednia struktura paszy.

Przy układaniu dawki pokarmowej udział włókna surowego w suchej masie dawki powinien wynosić między 18 a 35%. Dlatego też zaleca się w sezonie pastwiskowym, a szczególnie w jego początkowym okresie, przed wypędzeniem owiec zadawać im słomę paszową lub starsze siano. Dzięki temu uzyskuje się obniżenie prędkości pasażowania treści pokarmowej, co określa maksymalną możliwość pobrania suchej masy przez przeżuwacza. I tak owca przy 30% udziale włókna surowego w paszy może pobrać w ciągu doby suchą masę w paszy równą 2% jej masy ciała. Przy zawartości włókna surowego 18-20% wielkość pobrania suchej masy w paszy może dojść do 4% masy ciała. Może więc być ona pewnym „regulatorem” ilości pobranej paszy i zawartego w niej białka oraz szybkości jego trawienia, a w konsekwencji emisji amoniaku. Taki sposób żywienia może obniżyć emisję amoniaku o 10%.

Z uwagi na charakter chowu kóz w Polsce jest na obecnym etapie bardzo trudno zaproponować rolnikowi zalecenia dla redukcji amoniaku.

W gospodarstwach tych kładziony jest nacisk na ilość uzyskanego mleka. Dlatego też stosowane są pasze wysoko białkowe i trudno jest bez przeprowadzenia odpowiednich doświadczeń z alternatywnymi paszami zaproponować zmiany żywienia. Ze względu na bardzo małą populację kóz w kraju, gatunek ten nie ma żadnego znaczenia dla pułapu krajowych emisji amoniaku.

E. Konie

1. Precyzyjne bilansowanie białka w żywieniu koni

W przypadku utrzymywania koni w systemie otwartym bardzo istotny jest udział DJP na 1 ha pastwiska. W przypadku pastwiska bezkwaterowego, wykorzystywanego ekstensywnie, przyjmuje się w przypadku koni obciążenie maksymalnie 1 DJP na 1 ha (1 DJP = 500 kg). Dla pastwiska kwaterowego 2-3 do 5-6 kwater obciążenie pastwiska powinno wynosić 2-3 DJP/ha. Chów koni w Polsce w większości nadal prowadzony jest systemem tradycyjnym przy zastosowaniu tradycyjnego żywienia: pasze objętościowe (siano, zielonka, pastwisko) i pasze treściwe (owies, rzadziej jęczmień lub inne komponenty treściwe).

W ostatnim okresie nadal zauważa się tendencję spadkową populacji koni oraz dalej postępującą zmianę ich użytkowania (według danych z PZHK 2010 r. 344 188 szt., w 2016 r. 273 510 szt.). Spośród ras koni występujących w Polsce obecnie rasy prymitywne, konie małe (konik polski, koń huculski) oraz kuce w większości wykorzystywane są do pielęgnacji krajobrazu lub jako konie rekreacyjne, konie ras szlachealnych w większym stopniu wykorzystywane są jako konie rekreacyjne, w sporcie amatorskim, w mniejszym procencie w sporcie wyczynowym jeździeckim i zaprzęgowym. Konie zimnokrwiste w większości wykorzystywane są do produkcji materiału rzeźnego z wykorzystaniem ekstensywnego żywienia i utrzymana koni na pastwiskach.

Ciągle pogłębiająca się zmiana sposobu użytkowania koni z typowo roboczego na zaspakajającego inne potrzeby kulturowo-społeczne współczesnego społeczeństwa spowodowała, że większość koni utrzymywana jest bez wykonywania dużego wysiłku, do którego byłoby konieczne wykorzystanie oprócz pasz wysokoenergetycznych, również pasz wysokobiałkowych. Taka zmiana tym bardziej daje możliwość wprowadzenia lub zwiększenia czasu wypasu koni. Oprócz korzyści wynikających ze zmniejszenia emisji amoniaku o 10%, daje to również możliwość zwiększenia dobrostanu koni. W tabeli 9 przedstawiono zalecane dawki pokarmowe.

Tabela 9. Zalecana dawka pokarmowa dla koni

Pasza (kg)	Koń sportowy	Koń rekreacyjny	Koń mały, kuc
Siano	8	6-7	4-5
Owies	5-7	4-6	2-3
Otręby, śruta	0,5	0,5	-

Źródło: IZ PIB

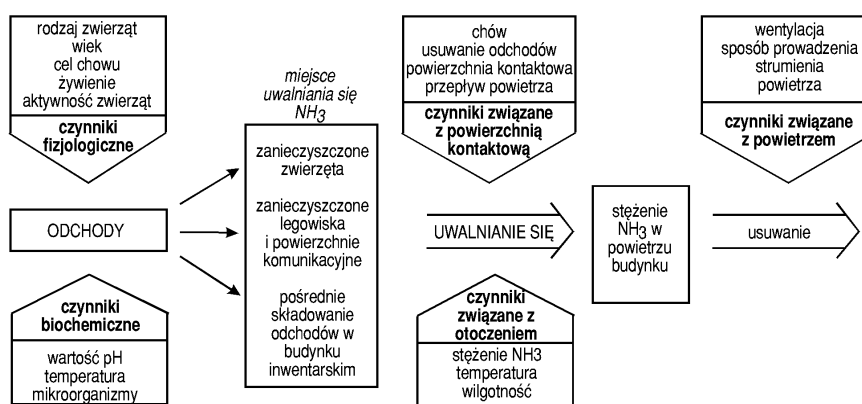
W okresie pastwiskowania przewidzieć należy pobranie 30-40 kg masy zielonej i 2-5 kg słomy. Generalnie zaleca się stosowanie zapotrzebowania koni w fazie wzrostu na białko ogólne wysokości 120 -140 g/kg SM, a dla koni dorosłych 110 -120 g/kg SM.

III. NISKOEMISYJNE SYSTEMY UTRZYMANIA ZWIERZĄT

A. Wprowadzenie

W rolnictwie krajowym, według raportu KOBiZE z 2018 r., 78% emisji amoniaku pochodzi z procesów zachodzących w odchodach zwierząt.

Na rys. 1. przedstawiono schemat powstawania, uwalniania się i rozprzestrzeniania amoniaku w budynku inwentarskim.



Źródło: ITP

Rys. 1. Schemat powstawania, uwalniania się i rozprzestrzeniania amoniaku w budynku inwentarskim

Jeżeli prześledzi się drogę azotu w budynku inwentarskim, pod kątem powstawania, uwalniania i rozprzestrzeniania się amoniaku, wówczas okaże się, że istotne są następujące fazy związane z:

- ilością azotu wprowadzanego do budynku przez zwierzęta i paszę,
- wykorzystaniem i zatrzymaniem azotu przez zwierzęta,
- wydzielaniem azotu w odchodach,
- procesami przemiany azotu w odchodach i powstawaniem amoniaku,
- uwalnianiem się amoniaku do powietrza w budynku,
- rozprzestrzenianiem się amoniaku w pomieszczeniu,
- transportem amoniaku na zewnątrz budynku w strumieniu powietrza wentylacyjnego.

W budynku inwentarskim można wyróżnić trzy różne miejsca uwalniania się amoniaku:

- zwierzęta zanieczyszczone odchodami,

- powierzchnie zanieczyszczone odchodami (np. posadzka, ściany i wyposażenie budynku),
- przestrzenie pośredniego magazynowania odchodów w budynku, w postaci gnojowicy lub obornika.

Przepływające nad odchodami powietrze powoduje przejście amoniaku z roztworu wodnego do formy gazowej i jego przemieszczenie poza obszar emisji. W pewnym uproszczeniu można przyjąć, że uwalnianie się amoniaku z odchodów jest tym większe im większa jest:

- zawartość związków azotu (azotu amonowego) w odchodach,
- wielkość kontaktowej powierzchni odchodów z powietrzem,
- prędkość ruchu powietrza nad powierzchnią z odchodami,
- temperatura obornika lub gnojowicy.

Jeżeli uwolniony amoniak zostanie odprowadzony z nad emitującej powierzchni, wówczas zachodzi proces dostarczania kolejnych ilości amoniaku z odchodów.

Przedstawione w dalszej części rozdziału metody ograniczenia emisji amoniaku do atmosfery z budynków inwentarskich, opracowane przez międzynarodowy zespół specjalistów na podstawie wieloletnich badań (UN 2014; UN 2015; UNECE 2014), zostały adaptowane do warunków krajowych. Są to metody naukowo uzasadnione i sprawdzone w praktyce. Ograniczenie emisji amoniaku przez te metody opiera się na wykorzystaniu jednej lub więcej następujących zasad:

- zmniejszenie powierzchni zanieczyszczonej nawozem naturalnym,
- szybkie usuwanie moczu; szybki rozdział kału i moczu,
- zmniejszenie prędkości i temperatury powietrza na styku z nawozem naturalnym,
- zmniejszenie pH i temperatury nawozu naturalnego,
- suszenie nawozu naturalnego (dotyczy pomiotu),
- redukcja NH_3 z powietrza usuwanego z budynku inwentarskiego przy pomocy filtracji.

B. Niskoemisyjne systemy utrzymania bydła

W Polsce obserwuje się wzrost udziału wolnostanowiskowych systemów utrzymania bydła. Wypierają one system uwięziowy, niekorzystny z uwagi na dobrostan i zdrowie zwierząt.

Możliwości zmniejszenia emisji amoniaku z naturalnie wentylowanych budynków są ograniczone. Jednak istnieją pewne sposoby redukcji emisji tego gazu poprzez:

- prawidłowe zbilansowanie diety uwzględniające zapotrzebowanie zwierząt (patrz. rozdz. II);

- zwiększenie czystości podłóg w oborach np. częstsze usuwanie odchodów lub zastosowanie robotów czyszczących (fot. 2);
- ograniczenie ruchu powietrza nad powierzchniami stanowiącymi źródło emisji, w oborach z wentylacją naturalną (np. modyfikacja otworów wlotowych, zastosowanie siatek osłaniających przed wiatrem itp.).



fot.: W. Rzeźnik

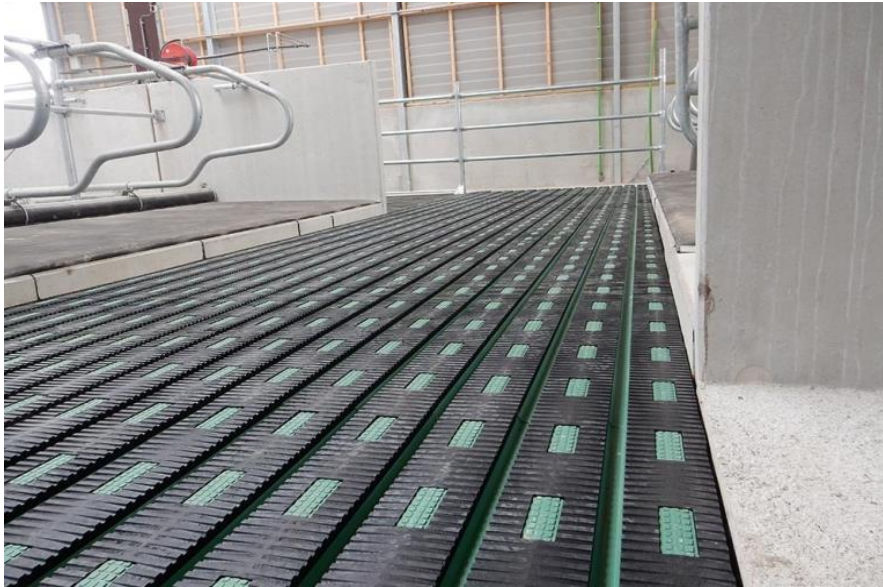
Fot. 2. Robot do czyszczenia podłóg szczelinowych

Obniżenie temperatury powietrza w oborze z podłogą szczelinową (szczególnie latem) po zastosowaniu izolacji termicznej dachu oraz systemu automatycznego sterowania wentylacją naturalną, który powoduje zmniejszony przepływ powietrza wewnątrz pomieszczenia, ogranicza emisję amoniaku o około 20%.

W przypadku bydła utrzymywanego w systemie wolnostanowiskowym na ściółce, znaczne zwiększenie ilości ściółki (o około 50%) przypadającej na jedno zwierzę, może prowadzić do redukcji emisji amoniaku, zarówno z budynku, jak i przy magazynowaniu obornika.

W celu ograniczenia emisji amoniaku z chowu bydła mlecznego i mięsnego można również zastosować metody opisane poniżej:

- Dobre praktyki hodowlane polegające na utrzymaniu przejść oraz miejsc przebywania bydła w stanie maksymalnej czystości;
- System z podłogą szczelinową rowkową i zgarniakiem (tzw. „zabkowym”) pozwala na ograniczenie emisji NH_3 od 25 do 40% w porównaniu z systemem konwencjonalnym. Rowki muszą być wykonane tak, aby umożliwiały odprowadzanie moczu (fot. 3).



fot.: J.Walczak

Fot. 3. System z podłogą szczelinową rowkową

C. Niskoemisyjne systemy utrzymania świń

Bezściółkowe systemy utrzymania świń

W systemach bezściółkowych odchody świń magazynowane są w zbiornikach (kanałach) głównie pod podłogą szczelinową. Emisję amoniaku można zmniejszyć stosując następujące metody:

- (1) **Redukcja powierzchni zabrudzonej odchodami.** Występuje przy stosowaniu podłóg częściowo szczelinowych. Materiał z którego wykonana jest podłoga szczelinowa powinien w maksymalnym stopniu ułatwiać przedostawanie się frakcji stałej i płynnej odchodów do kanałów, a podłoga pełna powinna być lekko nachylona tak, aby zapewnić spływ moczu. Kanały powinny być regularnie opróżniane do zbiorników znajdujących się poza budynkiem najczęściej przy użyciu zgarniaczy lub systemu podciśnieniowego. Systemy częściowo szczelinowe (50% podłoga szczelinowa) emitują 15-20% mniej amoniaku niż systemy całkowicie szczelinowe, zwłaszcza w przypadku, gdy stosuje się podłogi szczelinowe z metalu lub tworzywa sztucznego (wtedy do beleczek przywiera mniej odchodów niż do podłóg betonowych);
- (2) **Redukcja powierzchni kontaktu odchodów z powietrzem pod podłogą szczelinową.** Jest możliwa poprzez zastosowanie kanałów o przekroju poprzecznym w kształcie litery V. Ściany tych kanałów powinny być wykonane z materiału utrudniającego przywieranie frakcji stałej odchodów. Ograniczenie powierzchni emisji dzięki zastosowaniu

plytkich kanałów w kształcie litery V (maks. 60 cm szerokości i 20 cm głębokości) powoduje zmniejszenie emisji amoniaku z chlewni o 40-65%, w zależności od grupy produkcyjnej świń oraz udziału podłogi szczelinowej w całej powierzchni kojca. W przypadku macior karmiących, można uzyskać redukcję emisji do 65% ograniczając powierzchnię emisji poprzez umieszczenie zbiornika (tzw. misy) pod podłogą szczelinową kojca. Misa jest to pochyła podłoga (co najmniej 3°) z odpływem mieszaniny kału i moczu w najniższym punkcie;

- (3) **Obniżenie temperatury odchodów.** W istniejących obiektach temperaturę odchodów w kanałach można obniżyć, stosując wymienniki ciepła na powierzchni mieszaniny kału i moczu. Jako czynnik chłodzący najczęściej wykorzystuje się wodę gruntową. Powierzchniowe chłodzenie odchodów przy pomocy wymiennika ciepła może prowadzić do redukcji emisji o 45-75%, w zależności od grupy produkcyjnej świń. Odzyskane ciepło odpadowe może być wykorzystane np. do ogrzewania innych obiektów, takich jak pomieszczenia dla prosiąt, co zwiększa opłacalność tej metody;
- (4) **Poprawa zachowania zwierząt oraz układu kojców.** Świnie wykazują tendencje do dzielenia kojca na strefę wypróżniania się, strefę żywieniową, strefę odpoczynku oraz aktywności fizycznej. Zwierzęta wypróżniają się najczęściej w miejscach najniżej położonych, rogach kojca, miejscach chłodniejszych, w części, gdzie umiejscowione są poidła oraz wzdłuż sąsiadujących kojców, co związane jest ze znaczeniem terenu. Natomiast strefa legowiskowa powinna być sucha i ciepła. Dlatego ważne jest właściwe ustalenie podziału funkcyjnego kojca oraz zapewnienie odpowiedniej jego powierzchni, w celu uniknięcia stresu i walk między zwierzętami o swobodną przestrzeń do wypoczynku. Dzięki temu część podłogi pełnej może pozostać, na tyle na ile to możliwe, wolna od odchodów i moczu, co sprzyja redukcji emisji NH_3 . Istotne w tym aspekcie jest również zapewnienie optymalnej temperatury i wilgotności powietrza oraz ruchu powietrza;
- (5) **Ograniczenie wentylacji w kanałach pod podłogą szczelinową.** Większa emisja NH_3 z powierzchni gnojowicy gromadzonej w kanałach występuje przy zwiększonym przepływie powietrza. Sposobem na ograniczenie prędkości przepływu powietrza nad powierzchnią gnojowicy jest zapewnienie odpowiednio dużej przestrzeni między podłogą szczelinową, a powierzchnią gnojowicy;
- (6) **Wychwytywanie amoniaku z powietrza usuwanego z chlewni przy pomocy płuczki wodnej/kwaśnej lub filtrów ze złożem biologicznym (biofiltrów).** Takie rozwiązania zapewniają największą (do 90%) redukcję amoniaku w powietrzu usuwanym z budynku inwentarskiego przez wentylację mechaniczną, są jednak kosztowne. Ich stosowanie jest zasadne, gdy w danym regionie lub okolicy konieczność redukcji emisji NH_3 jest wyjątkowo duża i dla ferm podlegających obowiązkowi posiadania tzw. pozwolenia zintegrowanego, dla których stanowi Najlepszą Dostępną Technikę (ang. BAT).

Uwaga

Wiele metod redukcji emisji amoniaku w chlewniach z bezściółkowym systemem chowu może być wykorzystywane również w bezściółkowym chowie bydła, tam gdzie możliwe jest zmniejszenie powierzchni styku mieszaniny moczu i kału z powietrzem, obniżenie temperatury oraz zmniejszenie prędkości przepływu powietrza nad tą powierzchnią.

Ściółkowe systemy utrzymania świń

W ściółkowych systemach utrzymania świń należy stosować świeże, czyste, suche i higieniczne podłoże. Ilość podłoża powinna być wystarczająca do całkowitego wchłonięcia moczu. Ściółka powinna być regularnie wymieniana, a w przypadku chowu na głębokiej ściółce - też uzupełniana. Jeżeli całkowite wchłanianie moczu nie jest możliwe należy stosować podłogi pochylone, które umożliwiają jego szybki odpływ. Należy również zapobiegać wyciekom wody z systemów pojenia, aby uniknąć niepotrzebnego moczenia ściółki.

Nie wykazano dużo wyższych strat azotu z chowu świń opartego na dobrze zarządzanym systemie ściółkowym, przy założeniu, że powierzchnia przypadająca na jedno zwierzę jest w systemach ściółkowych i bezściółkowych zbliżona. Systemy ściółkowe znacznie poprawiają dobrostan zwierząt oraz redukują negatywny wpływ utrzymania zwierząt na środowisko przy założeniu, że zwierzęta przebywające w kojcu odróżniają powierzchnię wypoczynkową od miejsc wypróżniania się. Wynika to z naturalnych zachowań tych zwierząt, a jednocześnie powoduje redukcję emisji. Zarządzanie systemem ściółkowym wymaga jednak zwiększonych nakładów pracy niż w przypadku systemów bezściółkowych.

W chlewniach, w których łączy się systemy naturalnej wentylacji z podziałem funkcjonalnym przestrzeni, emisję NH_3 można w nich zredukować o 20%. Takie rozwiązanie wymaga jednak większej przestrzeni niż w budynkach z wentylacją mechaniczną. Koszty w obydwu przypadkach są podobne.

D. Niskoemisyjne systemy utrzymania drobiu

W przypadku emisji amoniaku z kurników ważną kwestią jest zawartość suchej masy w pomocie. Prowadzone w tym zakresie badania wskazują, że najmniejsza emisja NH_3 występuje przy 60% zawartości suchej masy w pomocie. W takich warunkach nie dochodzi do rozpadu kwasu moczowego i uwalniania się amoniaku. Dlatego metody ograniczania emisji amoniaku z pomiotu związane są przede wszystkim z wprowadzaniem mechanizmów suszących, które pozwalają na utrzymanie zawartości suchej masy powyżej 60%. Istotne jest również zapobieganie wyciekom wody, które powodują zwiększenie wilgotności pomiotu.

Metody obniżania emisji amoniaku w kurnikach dla kur niosek obejmują:

- (a) **Podsuszanie pomiotu w systemie klatkowym.** Wstępne suszenie pomiotu odbywa się na przenośniku taśmowym, bezpośrednio pod klatkami. Pod spodem każdego z poziomów rzędu klatek pomiot jest gromadzony na taśmie przenośnika, powyżej której umieszczone są przewody doprowadzające ciepłe i suche powietrze. Świeże powietrze wprowadzane jest przez otwory do klatek i na wentylowaną taśmę. Pomiot zostaje na taśmach średnio około 7 dni. W tym czasie zawartość SM wzrasta do około 50-60%. Następnie przenośnik taśmowy transportuje wstępnie osuszony pomiot na przenośnik zbiorczy, gdzie ulega on dalszemu podsuszeniu, aż do osiągnięcia zawartości około 80% suchej masy. Tak uzyskany nawóz może zostać przeniesiony do przykrytego magazynu zewnętrznego. Innym rozwiązaniem jest wydzielenie oddzielnego pomieszczenia do suszenia pomiotu. W tej części kurnika montuje się wielopoziomowe przenośniki taśmowe, po których przemieszcza się pomiot. Powietrze używane do procesu suszenia pobierane jest z hali produkcyjnej kurnika. W zależności od jego temperatury i wilgotności może być ono bezpośrednio wykorzystane do suszenia lub dopiero po podgrzaniu i osuszeniu;
- (b) **Częstotliwość usuwania pomiotu.** Częstsze usuwanie pomiotu przyczynia się do ograniczenia emisji NH_3 ;
- (c) **System bezklatkowy (wolierowy) z przenośnikami taśmowymi.** W systemach tych zbieranie i częste usuwanie pomiotu do zamkniętych zbiorników jest możliwe dzięki zastosowaniu przenośników taśmowych. Redukcja emisji wynosi nawet 70% w porównaniu z chowem podłogowym (ściółkowym).

W celu ograniczenia emisji amoniaku można również oczyszczać powietrze usuwane z budynków dla drobiu. Można do tego wykorzystać płuczki wodne/kwaśne lub filtry ze złożem biologicznym (biofiltry). Przy zastosowaniu tych rozwiązań redukcja emisji NH_3 może sięgać nawet 70-90%. Z uwagi na znaczne zapylenie panujące w kurnikach, co może przyczyniać się do zapychania filtru, zaleca się stosowanie filtrów wieloetapowych, gdzie w pierwszym etapie oczyszczania powietrza usuwane są cząstki pyłu o dużych średnicach. Są one jednak kosztowne. Dlatego ich stosowanie jest zasadne, gdy w danym regionie lub okolicy konieczność redukcji emisji NH_3 jest wyjątkowo duża i dla ferm podlegających obowiązkowi posiadania tzw. pozwolenia zintegrowanego, dla których stanowi Najlepszą Dostępną Technikę (ang. BAT)

W budynkach dla brojlerów kurzych i indyków czynnikiem wpływającym na emisję NH_3 jest przede wszystkim jakość ściółki. Istotna jest tutaj kwestia rodzaju materiału stosowanego do ścielenia. Dobra jest słoma żytnia, która charakteryzuje się wysoką chłonnością wilgoci, co zmniejsza emisję amoniaku. Ważna jest również grubość ściółki, która minimalnie powinna wynosić 10 cm dla piasku, 15 cm dla kory drzew oraz 25 cm dla słomy. Ponadto należy minimalizować wycieki wody, a systemy wentylacyjne powinny być tak zaprojektowane, aby zapewnić usuwanie nadmiaru pary wodnej w każdych warunkach pogodowych.

F. Koszty stosowania niskoemisyjnych systemów utrzymania zwierząt

W tabeli 10 przedstawiono orientacyjne koszty stosowania poszczególnych metod redukcji emisji amoniaku.

Tabela 10. Koszty stosowania niskoemisyjnych systemów utrzymania zwierząt

Metoda redukcji emisji	Koszt jednostkowy euro/kg NH ₃ zredukowanego ^{*)}
Adaptacja pomieszczeń	
Bydło	4-8
Świnie	4-8
Drób	4-8
Płuczka	8
Biofiltr	8
Częste usuwanie odchodów - system podciśnieniowy	0
Flushing system (system spłukiwania)	23
Schładzanie (wymienniki w kanale)	12
Pochylone ściany kanału	10
Płuczka, biofiltr	8-10
Lochy karmiące	
Schładzanie (wymienniki kanał)	15
Dodatkowy kanał wodny	0,5
Podpodłoga pod rusztem	9
Płuczka, biofiltr	7-10
Warchlaki	
Podłoga częściowo-szczelinowa	0
Częste usuwanie odchodów - system podciśnieniowy	0
Schładzanie (wymienniki kanał)	7-10
Pochylone ściany kanału	5-6
Tuczniki	
Podłoga częściowo-szczelinowa	0
Częste usuwanie odchodów (system podciśnieniowy)	0
Schładzanie (wymienniki kanał)	4-6
Pochylone ściany kanału	2-3
Częste usuwanie odchodów - system podciśnieniowy	5-9
Flushing system (system spłukiwania)	10-15
Przenośnik podrusztowy/wstępna separacja	0-3
Pokrycie zbiornika kulkami; tuczniki	4
Nioski	
Płuczka, biofiltr	1-4
Podsuszanie pomiotu; system klatkowy	0
Szybkie usuwanie i podsuszanie; system klatkowy	0-3
Płuczka; system klatkowy	2-5

Tabela 10 – c.d.

System wolierowy	1-5
Przeñośnik pomiotu, napowietrzany; system wolierowy	1-7
Płuczka; system wolierowy	6-9
Przeñośnik pomiotu; system ściółkowy, system częściowo-rusztowy	3-5
Podsuszanie ściółki	1-5
Brojlery	
Podsuszanie; system ściółkowy	2-4
Płuczka, biofiltr	10-15
System Combideck	6

¹⁾ Koszt jednostkowy euro/kg NH₃ zredukowanego, (25-75% redukcji) średnio dla EU-28 (opr. niepubl. J. Walczak, IZ PIB)

IV. NISKOEMISYJNE SYSTEMY PRZECHOWYWANIA NAWOZÓW NATURALNYCH

A. Wprowadzenie

Jednym z etapów produkcji, w którym dochodzi do znacznych strat amoniaku jest magazynowanie nawozów naturalnych. Przy intensywnej produkcji zwierzęcej powstają tak znaczne ilości nawozów, że ich bieżące wykorzystanie na polach nie jest możliwe. Ponadto przechowywanie nawozów naturalnych daje możliwość ich wykorzystania w odpowiednim czasie, biorąc pod uwagę wzrost upraw, zapotrzebowanie roślin na składniki pokarmowe oraz ryzyko zanieczyszczenia wód. Emisja amoniaku podczas magazynowania uzależniona jest od wielu czynników, między innymi sposobu układania i formowania przy użyciu 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. 2–30% zawartości azotu przed magazynowaniem nawozów (Marcinkowski i Sapek 1999; Marcinkowski 2002; Pietrzak 2006).

B. Przechowywanie gnojowicy i innych nawozów płynnych

Nawozy naturalne płynne, 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. Nawozów naturalnych płynnych zasadniczo nie wolno stosować na gruntach ornych w okresie od 16, 21 lub 26 października, w zależności od gminy - zgodnie z podrozdziałem 1.3. Programu Azotanowego – aż do końca lutego. Ponadto nawozów naturalnych płynnych nie wolno stosować na uprawach trwałych, uprawach wieloletnich oraz trwałych użytkach zielonych w okresie od 1 listopada do końca lutego. Zakaz stosowania nawozów w tych okresach wymusza zapewnienie odpowiedniej pojemności zbiorników na nawozy naturalne płynne. Zgodnie z wymaganiami zawartymi w Programie Azotanowym zbiorniki te powinny posiadać szczelne ściany i dno oraz muszabyć przykryte (w szczególności osłoną elastyczną lub osłoną pływającą).

Emisje NH_3 ze zbiorników gnojowicy można zmniejszyć poprzez:

1. Właściwe zaprojektowanie wielkości i proporcji zbiornika:

- Pojemność zbiorników na nawozy naturalne płynne powinna umożliwiać ich przechowywanie przez okres co najmniej 6 miesięcy. Szczegółowe informacje dotyczące obliczania potrzebnej wielkości zbiorników opisano w Programie Azotanowym, natomiast zalecenia

w zakresie niektórych rozwiązań technicznych zawarte są w ZZDPR;

- Dla ustalonej pojemności zbiornika zwiększenie jego wysokości skutkuje zmniejszeniem powierzchni styku gnojowicy z powietrzem (powierzchni, od której zależy wielkość emisji amoniaku). Przykładowo, dla zbiornika o pojemności 1000 m³, powierzchnia może zostać zredukowana o ponad jedną trzecią, jeżeli zwiększy się wysokość ścian bocznych o 2 m (z 3 do 5 m).

2. Ograniczenie przepływu powietrza nad powierzchnią gnojowicy poprzez zainstalowanie osłon stałych lub pływających. Rodzaje osłon zostały opisane poniżej:

- **OSŁONY STAŁE.** Najczęściej są to sztywne pokrywy, dach lub konstrukcje namiotowe. Ważne jest, aby pokrywy tego typu były szczelne, jednocześnie należy jednak zapewnić odpowietrzanie, w celu zapobiegania gromadzenia się łatwopalnych gazów zwłaszcza metanu. Zastosowanie osłon stałych jest najskuteczniejszym sposobem redukcji emisji NH₃.
- **OSŁONY PŁYWAJĄCE.** Materiał pokryw pływających może stanowić tworzywo sztuczne, płótno, tkanina geotekstylna lub inny odpowiedni materiał. Rozwiązania tego typu uznaje się za skuteczne i dobrze zbadane (kategoria 1 zgodnie z wytycznymi UNECE z 2014 roku – UN 2014) tylko w przypadku małych lagun z wałami ziemnymi. Osłony pływające mogą być często trudne do zastosowania na zbiornikach, zwłaszcza tych wysokich, ze względu na znaczny ruch pionowy potrzebny podczas napełniania i opróżniania. Przykłady osłon pływających:
 - **Pływające plandeki z folii PVC.** Przeznaczone są dla małych lagun z wałami ziemnymi lub okrągłych niewysokich zbiorników na gnojowicę. W przypadku lagun, gnojowica znajduje się w przestrzeni między folią ułożoną na dnie laguny, a folią pływającą, dzięki czemu powstaje przestrzeń całkowicie zamknięta. W zależności od rocznej wielkości opadów efektywna pojemność magazynowa może zostać zwiększona do 30% dzięki zastosowaniu tego rozwiązania. Wody opadowe gromadzące się na powierzchni folii mogą być w łatwy sposób odpompowywane. W przypadku zbiorników na gnojowicę pływająca plandeka jest lekko naprężona na specjalnie skonstruowanym, dostosowanym do powierzchni zbiornika pierścieniu. Jej zaletą jest możliwość przesuwania się wraz z poziomem napełniania zbiornika gnojowicą. Dodatkowo specjalne pływaki umieszczone pod plandeką zapewniają odgazowywanie. Tego typu rozwiązanie najłatwiej jest zastosować w przypadku zbiorników, w których napełnianie i opróżnianie odbywa się przez rurociąg umieszczony na dnie. W przypadku opróżniania nad ścianą zbiornika albo przez ścianę również jest możliwe zastosowanie tego rozwiązania, jednak wymaga to odpowiedniego zamontowania przewodu do napełniania i opróżniania.

- **Pływające geometryczne elementy z tworzyw sztucznych.** Specjalnie zaprojektowane kafle (płytki) tworzą zamkniętą, pływającą powłokę na powierzchni zbiornika. Mogą być one stosowane tylko w przypadku płynnych nawozów naturalnych, które nie tworzą naturalnego kożucha (SM<7%, przykładowo gnojowica świńska). Rozwiązanie to może mieć zastosowanie zwłaszcza w przypadku starszych zbiorników, których wiek i zastosowana technologia nie gwarantują wytrzymałości konstrukcji do zamocowania osłony stałej.

Pływające pokrywy z materiałów przepuszczalnych np. różnego rodzaju granulaty (np. keramzyt). Zastosowanie tych materiałów do okrycia powierzchni gnojowicy zgromadzonej w zbiorniku jest bardzo łatwe. Jednak muszą być one odpowiednio zabezpieczone przed wiatrem i umożliwiać ruch pionowy gnojowicy podczas napełniania i opróżniania zbiornika.

Zakres stosowania i możliwość wdrożenia

Zgodnie z Programem Azotanowym, wszyscy rolnicy zobowiązani są do przykrywania zbiorników na nawozy naturalne płynne. Jednocześnie pojemność zbiorników na nawozy naturalne płynne musi wystarczyć na ich przechowywanie przez okres co najmniej 6 miesięcy.

Konsekwencje wdrożenia

Zastosowanie różnego rodzaju osłon dla zbiorników na gnojowicę (w szczególności osłon stałych – sztywnych lub elastycznych) przyczynia się do ograniczenia objętości gnojowicy powstającej w okresie przechowywania dzięki eliminacji wód opadowych. Tym samym możliwe jest również zmniejszenie objętości zbiorników do przechowywania gnojowicy.

3. Powstawanie naturalnego kożucha (skorupy). Rozwiązanie to jest możliwe jedynie w przypadku gnojowicy o odpowiedniej zawartości suchej masy (> 7%), co umożliwia tworzenie się naturalnego kożucha z unoszących się na powierzchni materiałów organicznych. Ponadto należy ograniczyć mieszanie przechowywanej gnojowicy oraz wprowadzać nową gnojowicę do zbiornika poniżej powierzchni, aby zapobiec uszkodzeniu kożucha. Skuteczność ograniczenia emisji amoniaku przez kożuch zależy od jego grubości, stopnia pokrycia powierzchni gnojowicy oraz czasu potrzebnego na jego wytworzenie (fot. 4).



fot.: W. Rzeźnik

Fot. 4. Naturalny kożuch na powierzchni gnojowicy

4. **Zastępowanie istniejących lagun zbiornikami.** Redukcja emisji NH_3 z lagun jest dość trudna, dlatego zastępowanie istniejących lagun zbiornikami można uznać za technikę ograniczania emisji. Emisje zostaną proporcjonalnie zredukowane ze względu na zmniejszoną powierzchnię na jednostkę objętości. Może to być skuteczny (choć kosztowny) sposób redukcji NH_3 , zwłaszcza, jeśli zbiorniki będą przykryte.
5. **Zakwaszanie gnojowicy w zbiorniku.** Metoda polega na dodawaniu 96% kwasu siarkowego do gnojowicy w celu uzyskania pH poniżej 6. Zmiana pH powoduje zatrzymanie procesów odpowiedzialnych za powstawanie amoniaku. Zakwaszanie gnojowicy w zbiornikach odbywa się przy użyciu specjalnej pompy współpracującej z ciągnikiem (fot. 5 i 6). Pompa zasysa surową gnojowicę z góry zbiornika, a przez dodatkową dyszę kwas, który jest mieszany z gnojowicą. Podczas dozowania kwasu siarkowego do gnojowicy zachodzi reakcja chemiczna, w wyniku której powstaje duża ilość piany. Dlatego też należy zwrócić uwagę, aby zbiornik, w którym znajduje się gnojowica, był wypełniony maksymalnie w 2/3 swojej objętości.

Piana wraz z zakwaszoną gnojowicą unosi się na powierzchni zbiornika. w przypadku wydzielenia się zbyt dużej ilości piany dozowanie kwasu zostaje przerwane do czasu jej opadnięcia. W trakcie procesu musi być kontrolowany poziom pH gnojowicy. Proces zakwaszania gnojowicy w zbiorniku powinien być realizowany z zachowaniem wszelkich środków bezpieczeństwa, tak aby uniknąć narażenia pracowników, zwierząt i środowiska. UNECE określa efekt redukcji emisji amoniaku do 60%

w stosunku do emisji z niezakwaszonej gnojowicy z otwartego zbiornika.

Zakres stosowania i możliwość wdrożenia

W Polsce metoda ta została w ostatnich latach przebadana w ramach realizacji projektu INTERREG Baltic Sea Region pod nazwą „Redukcja strat azotu z rolnictwa poprzez promocję zastosowania technik zakwaszania gnojowicy w regionie Morza Bałtyckiego”. Możliwość wdrożenia tej praktyki dotyczy tylko gospodarstw utrzymujących zwierzęta w systemach bezściółkowych. Jej zastosowanie wiąże się z kosztami inwestycyjnymi. Należy podkreślić, że metoda powinna być stosowana przez przeszkolone osoby w tym zakresie, z uwagi na niebezpieczeństwo procesu związane z użyciem stężonego kwasu.

Konsekwencje wdrożenia

W badaniach przeprowadzonych w Dani wykazano, że straty azotu z gnojowicy przechowywanej bez zakwaszania 6 miesięcy (w okresie zimowym) oraz 13 miesięcy (w okresie zimy, wiosny i lata) wynosiły odpowiednio 5% i 45%, podczas gdy straty azotu z gnojowicy zakwaszonej stanowiły mniej niż 1/10 tych strat (Kai i in. 2008). W badaniach przeprowadzonych w Polsce uzyskano podobne wyniki (Kierończyk i in. 2019).



fot.: J. Barwicki

Fot. 5. Mobilne urządzenie do zakwaszania gnojowicy w zbiorniku



fot.: W. Wardal

Fot. 6. Stacjonarne urządzenie do zakwaszania gnojowicy

6. Zastosowanie zbiorników elastycznych wykonanych z tkanin technicznych (tzw. worków na gnojowicę) jest rozwiązaniem pozwalającym na bezemisyjne przechowywanie gnojowicy (fot. 7). Zasadniczo taki sposób magazynowania płynnych nawozów naturalnych może mieć w warunkach krajowych zastosowanie w małych gospodarstwach lub jako magazyny dodatkowe. Związane jest to z konstrukcją zbiornika, a dokładniej z jego niską wysokością, co w sytuacji magazynowania dużych ilości gnojowicy wiązałoby się z zajmowaniem zbyt dużej powierzchni gruntu na terenie gospodarstwa. Na rynku dostępne są zbiorniki o pojemności od 100-7000 m³. Zbiorniki te mogą nie być odpowiednie do magazynowania gnojowicy o wysokiej zawartości suchej masy. Zaletą stosowania zbiorników elastycznych są koszty, relatywnie niższe w porównaniu z kosztami budowy wysokiego zbiornika na

gnojowicę z konstrukcją namiotową. Przybliżony koszt zbiornika elastycznego na gnojowicę o objętości 200 m³ wynosi około 29 tys. zł netto. Ponadto zbiorniki te nie są trwale związane z gruntem, w związku z czym nie wymagają pozwolenia na budowę, można je umieścić w dowolnym, równym miejscu, a kiedy jest taka potrzeba, można je złożyć i przenieść. Jak podają producenci ich zainstalowanie zajmuje zaledwie 30 minut.



fot.: J. Walczak

Fot. 7. Worki na gnojowicę

Zakres stosowania i możliwość wdrożenia

Obecnie zbiorniki elastyczne do przechowywania gnojowicy stosowane są w niewielkim zakresie. Jednak obserwuje się wzrost zainteresowania tym rozwiązaniem, również w dużych gospodarstwach rolnych. Możliwość wdrożenia tego rozwiązania jest stosunkowo łatwa, niemniej jednak z uwagi na uwarunkowania opisane powyżej, jego zastosowanie może być ograniczone do pewnej grupy gospodarstw.

Konsekwencje wdrożenia

Wdrożenie tej praktyki nie będzie powodowało negatywnych skutków zarówno dla rolnictwa, jak i innych sektorów gospodarki.

Tabela 11. Metody zmniejszania emisji amoniaku podczas magazynowania gnojowicy i innych nawozów płynnych

Metoda ograniczania emisji	Redukcja emisji NH ₃ (%)	Zastosowanie	Uwagi	Koszt NH ₃ zredukowanego euro/kg *)
Odkryty zbiornik na gnojowicę	0	technika referencyjna		—
Sztywna pokrywa lub osłona elastyczna (np. konstrukcja namiotowa) na zbiorniku z gnojowicą	80	Zbiorniki betonowe lub stalowe; metoda może nie być odpowiednia dla konstrukcji istniejących	Zbiornik nie wymaga dodatkowej pojemności na wodę deszczową	0,2-2,5
Pływające plandeki z folii PVC	60	Zbiorniki betonowe lub stalowe; małe laguny ziemne	Może wymagać mocowania do ścian zbiornika	b.d.
Pływające elementy z tworzywa sztucznego	ok. 60	Zbiorniki betonowe lub stalowe; małe laguny ziemne	Dla gnojowicy nie tworzącej kożucha na powierzchni	0,5-1,3
Pływająca pokrywa sztuczna - keramzyt, inne granulaty	60	Nieodpowiednia w gospodarstwach z częstym wykorzystaniem gnojowicy do nawożenia	Straty pewnych ilości granulatu podczas wypompowywania	0,17-0,33
Naturalny kożuch na powierzchni gnojowicy	40	Tylko dla gnojowicy tworzącej kożuch (SM>7%). Nieodpowiednia w sytuacji częstego mieszania i wykorzystywania gnojowicy do nawożenia		0
Zastąpienie laguny, itp. na kryty zbiornik lub wysokie, otwarte zbiorniki (głębokość > 3m)	30-60	-	-	1,33-2,56
Zbiorniki elastyczne do magazynowania gnojowicy	100	Dostępne rozmiary o pojemnościach 100-7000 m ³	Dynamiczny wzrost stosowania w krajach UE	0,05-1,08

Źródło: opracowanie własne na podstawie UN 2014, 2015

*) Jednostkowe koszty redukcji emisji amoniaku dla przeciętnych gospodarstw rolnych z Polskiego FADN w 2016 r. (opr. niepubl. M.Zieliński, J.Sobierajewska, IERiGŻ PIB)

Osiągnięty zostanie pozytywny efekt środowiskowy w postaci całkowicie bezemisyjnego sposobu przechowywania gnojowicy, a tym samym ograniczenia strat cennych składników nawozowych. W tabeli 11 przedstawiono skuteczność opisanych powyżej metod w zakresie redukcji emisji amoniaku.

C. Przechowywanie stałych nawozów naturalnych

Nawozy naturalne stałe, 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. Nawozów naturalnych stałych nie wolno stosować na gruntach ornych w okresie od 1 listopada do końca lutego. Natomiast na uprawach trwałych, uprawach wieloletnich oraz trwałych użytkach zielonych nawozów naturalnych stałych nie wolno stosować w okresie od 1 grudnia do końca lutego. Zakaz stosowania nawozów w tych okresach roku powoduje potrzebę zapewnienia odpowiedniej powierzchni nieprzepuszczalnych miejsc do przechowywania nawozów naturalnych stałych.

Powierzchnia miejsc do przechowywania stałych nawozów naturalnych powinna umożliwiać ich przechowywanie przez okres co najmniej 5 miesięcy. Szczegółowe informacje dotyczące wielkości powierzchni do przechowywania nawozów naturalnych przez wymieniony okres przedstawiono w Programie Azotanowym, natomiast przykładowe zalecenia w zakresie rozwiązań technicznych zawarte są w ZZDPR.

Stałe nawozy naturalne (obornik) mogą być przechowywane na szczelnych np. betonowych płytach obornikowych ze ścianami bocznymi i kanałami odprowadzającymi odcieki do specjalnego zbiornika (fot. 8).



fot.: W. Rzeźnik

Fot. 8. Płyta obornikowa ze ścianami bocznymi i odprowadzaniem odcieków

Natomiast wysuszony pomiot ptasi o zawartości SM co najmniej 60-70% (który emituje bardzo mało amoniaku) powinien być przechowywany w stanie suchym i chroniony przed ponownym zawilgoceniem. Najwłaściwszą opcją jest magazynowanie w szczelnych zbiornikach lub w specjalnie do tego przeznaczonych pomieszczeniach.

Przepisy prawne dotyczące miejsc do przechowywania stałych nawozów naturalnych nie określają materiałów z jakich powinna być wykonana powierzchnia na której składowany jest obornik. Rozwiązania techniczne muszą natomiast zabezpieczać przed przedostawaniem się odcieków z obornika do gruntu. Przykładowe rozwiązania betonowych płyt obornikowych oraz alternatywne sposoby składowania obornika zostały przedstawione w ZZDRP.

Dopuszczalne jest czasowe (nie dłużej niż 6 miesięcy) przechowywanie obornika w przyzmach bezpośrednio na gruntach rolnych. Nie dotyczy to pomiotu ptasiego, którego nie można przechowywać bezpośrednio na gruncie przez cały rok. Szczegółowe informacje dotyczące zasad przechowywania obornika w przyzmach opisano w ZZDRP.

Zakres stosowania i możliwość wdrożenia

Dotychczas obowiązek przechowywania obornika na szczelnych płytach obornikowych, zabezpieczonych w taki sposób, aby wycieki nie przedostawały się do gruntu, dotyczył gospodarstw prowadzących chów lub hodowlę drobiu powyżej 40 000 stanowisk, chów lub hodowlę świń powyżej 2000 stanowisk dla świń o wadze ponad 30 kg lub 750 stanowisk dla macior. Zgodnie z obecnymi wymaganiami prawnymi, do dnia 31 grudnia 2021 r. gospodarstwa rolne (prowadzące chów lub hodowlę zwierząt gospodarskich w liczbie większej niż 210 DJP, w tym podmioty prowadzące chów lub hodowlę drobiu powyżej 40 000 stanowisk lub chów lub hodowlę świń powyżej 2000 stanowisk dla świń o wadze ponad 30 kg lub 750 stanowisk dla macior) mają czas na dostosowanie powierzchni nieprzepuszczalnych miejsc do przechowywania nawozów naturalnych. Natomiast dla gospodarstw prowadzących chów lub hodowlę zwierząt gospodarskich w liczbie mniejszej lub równej 210 DJP okres ten jest wydłużony do 31 grudnia 2024 r.

Konsekwencje wdrożenia

Wprowadzenie tej praktyki w połączeniu z prawidłowym formowaniem przyzma obornika skutkuje pozytywnym efektem w postaci ograniczenia emisji amoniaku, jak również gazów cieplarnianych. Ponadto szczelne płyty obornikowe ze zbiornikiem na odcieki zapobiegają przedostawaniu się składników nawozowych do wód gruntowych. Tym samym zastosowane na polach nawozy stanowią lepsze źródło składników pokarmowych dla roślin.

Wytyczne w zakresie magazynowania stałych nawozów naturalnych, mające na celu ograniczenie emisji amoniaku, są następujące:

- **Przykrywanie składowanego obornika.** Przyzmy obornika należy przykrywać szczelnymi tkaninami technicznymi np. nieprzezroczystą folią z tworzywa sztucznego. Ogranicza to znacznie emisję NH_3 , nie zwiększając przy tym znacznie emisji CH_4 i N_2O . Folia powinna być zabezpieczona przed unoszeniem przez wiatr np. przez obciążenie jej powierzchni. Przykrywanie obornika folią można stosować po zakończeniu formowania przyzmy, jak również w trakcie jej układania. Bada-

nia IZ PIB wykazują możliwość uzyskania redukcji na poziomie 60-80%.

- **Etapowe układanie (niejednoczesne na całej powierzchni) i ugniatanie (zagęszczanie) na przyźnie.** Zagęszczanie i przykrycie przyzmy obornika może zmniejszyć emisję NH_3 nawet o 90%, podczas letniego, pierwszego okresu przechowywania (Chadwick 2005).
- **Ograniczanie powierzchni przyzmy poprzez zwiększenie jej wysokości.** Zaleca się układanie przyzmy o przekroju trapezoidalnym o wysokości około 2 m. Wysokość przyzmy może być nawet zwiększona, jeśli środki techniczne na to pozwalają.
- **Stosowanie pełnych osłon stałych.** Zadaszenie miejsc przechowywania obornika pozwala na stworzenie stabilnych temperaturowo warunków składowania obornika, tym samym przeciwdziała zbyt niemu nagrzewaniu się przyzmy. Efektem tego jest obniżona emisja amoniaku, gazów cieplarnianych, jak również odorów. Ponadto zadaszenie zabezpiecza nawóz naturalny przed opadami deszczu, a tym samym nie ma konieczności zwiększania pojemności zbiornika na odcieki z przyzmy.

Zakres stosowania i możliwość wdrożenia

Obecnie praktyki polegające na przykrywaniu lub zadaszaniu miejsc składowania obornika są stosowane w Polsce w niewielkim zakresie. Rozwiązania te mogą być powszechnie wdrożone w gospodarstwach utrzymujących zwierzęta w systemach ściółkowych. Jednak w przypadku zadaszenia wiąże się to z poniesieniem większych kosztów inwestycyjnych, które są o około 25% wyższe od kosztów budowy tradycyjnej płyty obornikowej z niskim murkiem oporowym.

Konsekwencje wdrożenia

Wdrożenie praktyk w postaci przykrywania lub zadaszania miejsc przechowywania obornika niesie ze sobą pozytywny efekt w postaci ograniczenia emisji amoniaku i innych zanieczyszczeń gazowych, ograniczenia objętości gnojówki powstającej w okresie przechowywania (tym samym pozwala na ograniczenie objętości zbiornika na odcieki), a także ograniczenia wymywania z obornika azotu i fosforu.

Koszt jednostkowy redukcji emisji amoniaku podczas przechowywania obornika pod przykryciem wynosi 1-2 euro/kg NH_3 zredukowanego (25-75% redukcji – średnio dla UE – opr. J. Walczak).

V. NISKOEMISYJNE TECHNIKI APLIKACJI NAWOZÓW NATURALNYCH

A. Wprowadzenie

Ostatnim etapem gospodarowania nawozami naturalnymi w gospodarstwie, w którym może dochodzić do znacznej emisji amoniaku jest nawożenie. Szacuje się, że straty azotu w postaci amoniaku na etapie aplikacji nawozów naturalnych na gruntach rolnych wynoszą od około 25% do nawet 95% (Sapek 1995; Kierończyk 2012). Wielkość tej emisji jest uzależniona od wielu czynników, w tym warunków atmosferycznych, rodzaju uprawy i stosowanych nawozów, warunków glebowych, dawki i techniki ich aplikacji (Marcinkowski i Kierończyk 2006; Marcinkowski 2010).

Ograniczanie strat azotu na tym etapie zarządzania jest niezwykle ważne, ponieważ ograniczone uwalnianie NH_3 na wcześniejszych etapach produkcji (utrzymanie zwierząt i magazynowanie nawozów naturalnych), może powodować jego zwiększoną emisję podczas aplikacji nawozów naturalnych na użytkach rolnych. Dlatego niezmiernie ważna jest znajomość zawartości azotu w nawozach naturalnych, tak aby dawka, metoda i czas aplikacji były dostosowane do zapotrzebowania roślin.

Ponadto nawozy naturalne, po ich zastosowaniu na gruntach ornych, powinny być jak najszybciej wymieszane z glebą w celu maksymalnego wykorzystania zawartych w nich składników odżywczych przez rośliny. Przykrycie glebą zapobiega również stratom składników nawozowych w wyniku spływu, erozji lub ulatniania się.

B. Techniki o obniżonej emisyjności dla gnojowicy i innych nawozów płynnych

Szacuje się, że straty amoniaku z płynnych nawozów naturalnych po ich aplikacji na użytkach rolnych są znacznie większe niż z obornika (Hutchings i in. 2001). Tak jak już wcześniej wspomniano ważne jest przykrycie nawozu glebą. W przypadku płynnych nawozów naturalnych (gnojowicy) przykrycie i wymieszanie z glebą powinno nastąpić szybko po ich aplikacji, ponieważ największe straty amoniaku następują zaraz po wykonaniu zabiegu.

Techniki aplikacji płynnych nawozów naturalnych

Płynne nawozy naturalne mogą być stosowane na użytkach rolnych na wiele sposobów, takich jak: rozlewanie na powierzchni pola, aplikacja podpowierzchniowa lub deszczowanie. Najskuteczniejszą metodą ograniczania strat amoniaku w trakcie i po aplikacji płynnych nawozów naturalnych jest

bezpośrednie ich wprowadzenie do gleby lub ich rozprowadzenie za pomocą zespołów rozlewających. Metody te, z agronomicznego punktu widzenia, umożliwiają też bardziej jednolitą i precyzyjną aplikację gnojowicy, ograniczając tym samym ryzyko spływania gnojowicy.

Aplikacja doglebowa zmniejsza emisję amoniaku na skutek ograniczenia kontaktu nawozu z powietrzem i poprawy jego wsiąkania do gleby dzięki bezpośredniemu umieszczeniu nawozu pod powierzchnią. Jednak aplikatory doglebowe mają mniejszą szerokość roboczą, co może powodować większe szkody wynikające z przejazdu maszyn po polu. W przypadku aplikacji doglebowej mogą być stosowane wozy asenizacyjne, wyposażone w różne typy aplikatorów:

- **Płytkie (szczelinowe)** – aplikatory te wyposażone są w różnego rodzaju noże lub redlice tarczowe, które wycinają w glebie wąskie szczeliny (zazwyczaj na głębokość 4-10 cm i w rozstawie 25-30 cm), do których jest wprowadzana gnojowica. Wycięte w glebie szczeliny mogą być otwarte lub zamknięte (wtedy aplikatory wyposażone są w specjalne kółka lub rolki, które przykrywają szczelinę). Aplikatory doglebowe pozostawiające w glebie otwartą szczelinę mogą być wykorzystywane w szerszym zakresie rodzajów gleb i warunków aplikacji niż aplikatory wyposażone w elementy powodujące zamknięcie szczeliny. Niemniej jednak nie mają zastosowania na glebach bardzo kamiennych, jak również bardzo płytkich lub zagęszczonych (nie jest możliwe osiągnięcie jednolitej penetracji na wymaganą głębokość roboczą) oraz na bardzo stromych, pochyłych polach, z uwagi na ryzyko spływu. Natomiast zastosowanie aplikatorów doglebowych z zamykaniem szczeliny jest ograniczone głównie do aplikacji przed siewem na gruntach ornych i w uprawach rzędowych o szerokim rozstawie. Aplikatory doglebowe płytkie najczęściej są zalecane do stosowania na użytkach zielonych. Ponadto przy zastosowaniu płytkich aplikatorów doglebowych wymagana jest duża moc ciągnika.
- **Głębokie** – aplikatory te umożliwiają wprowadzenie płynnych nawozów naturalnych na głębokość 12 do 30 cm za pomocą specjalnych radełek lub talerzy, umieszczonych w rzędzie, co 50 cm. Zapewniają maksymalne ograniczenie emisji amoniaku z jednoczesną uprawą ścierniska. Dodatkowo radełka mogą być wyposażone w skrzydełka boczne, które wspomagają rozprzestrzenianie się gnojowicy w glebie. Dzięki temu możliwe jest wprowadzanie dużych dawek nawozu. Aplikatory tego typu są najbardziej wskazane do gruntów ornych z uwagi na ryzyko mechanicznego uszkodzenia darni traw.

Konsekwencje wdrożenia

Doglebowa aplikacja nawozów naturalnych (płytko lub głęboko) przyczyni się do lepszego wykorzystania składników pokarmowych dostępnych w nawozach naturalnych i ograniczenia emisji NH_3 , ale jednocześnie wiąże się ona z większą energochłonnością (wymagana większa moc ciągnika).

Wprowadzenie gnojowicy do gleby w ciągu kilku minut po zastosowaniu przyczynia się do ograniczenia emisji NH_3 na poziomie 70-90%. W przypadku wymieszania tego nawozu z glebą w czasie 4 godzin od aplikacji redukcja emisji NH_3 szacowana jest na poziomie 45-65%, a w ciągu 24 godzin – na poziomie 30%. Z uwagi na czas, w wielu przypadkach bardziej efektywne może być użycie do tego zabiegu brony zębowej lub talerzowej, zamiast klasycznego pługa.

Aplikacja naglebowa przy użyciu zespołów rozlewających zmniejsza emisję amoniaku z płynnych nawozów naturalnych poprzez zmniejszenie oddziaływania powietrza atmosferycznego na nawozy. W przypadku aplikacji naglebowej mogą być stosowane wozy asenizacyjne z dwoma rodzajami przystawek (ramp) do pasmowego rozlewania płynnych nawozów naturalnych:

- **Przystawka z węzami wleczonymi** – w tej metodzie płynne nawozy naturalne rozprowadzane są na gruncie lub nieco ponad poziomem gruntu przez elastyczne węże, które są ciągnięte po powierzchni gleby (fot. 9).



fot.: W. Rzeźnik

Fot. 9. Wóz asenizacyjny z przystawką z węzami wleczonymi

Możliwa jest również aplikacja między rzędami uprawianych roślin. Szerokość robocza wynosi zazwyczaj od 9 do 18 m, choć dostępne są również większe jednostki o szerokości do 30 m. Rozstaw między węzami wynosi zazwyczaj od 25 do 35 cm. Technika ta może być stosowana zarówno na użytkach zielonych, jak i gruntach ornych. w użytkowaniu może dochodzić do zatykania węży przy stosowaniu gnojowicy z większą zawartością suchej masy (> 7-10%) lub gnojowi-

cy, która zawiera duże cząstki stałe. Jednak zazwyczaj możliwe jest włączenie układu rozdrabniania i dystrybucji, co jednak może zwiększać koszty utrzymania urządzenia.

- **Przystawka z węzami zakończonymi płozami (redlicami)** – w tej metodzie przesuwające się po powierzchni gleby płozy (redlice) rozdzielają rośliny w taki sposób, że płynne nawozy naturalne są aplikowane bezpośrednio na powierzchnię gleby. Dodatkowo mogą one wycinać w glebie płytkie bruzdy poprawiające wsiąkanie nawozu. zastosowanie węży z płozami w przypadku większych roślin skutkuje mniejszym ich zanieczyszczeniem w porównaniu z samymi węzami wleczonymi.

Konsekwencje wdrożenia

Naglebowa aplikacja nawozów naturalnych (przy użyciu węży wleczonych lub węży zakończonych redlicami) przyczyni się do lepszego wykorzystania składników pokarmowych dostępnych w nawozach naturalnych i ograniczenia emisji NH_3 , ale jednocześnie wiąże się z większą energochłonnością (wymagana większa moc ciągnika).

Poza opisanymi niskoemisyjnymi technikami aplikacji płynnych nawozów naturalnych straty amoniaku podczas ich stosowania można ograniczać poprzez:

- **Rozcieńczanie gnojowicy** – rozcieńczona gnojowica łatwiej infiltrowuje do gleby, w związku z czym emisja NH_3 jest mniejsza. Minusem tego rozwiązania jest znaczne zwiększenie objętości rozprowadzanej cieczy. Dlatego zasadniczo zalecane jest rozcieńczanie gnojowicy do stosowania w systemach nawadniających. W metodzie tej gnojowica jest wypompowywana z magazynów, wtryskiwana do rurociągu wodnego układu nawadniania i doprowadzana do zraszacza niskiego ciśnienia lub mobilnego urządzenia nawadniającego, który rozpyla mieszkankę na gruncie. Wodę i gnojowicę można rozcieńczać nawet w stosunku 50:1, jednak co najmniej 1:1, aby osiągnąć szacunkową redukcję emisji na poziomie 30%. Przykładowo gnojowicę o zawartości SM 4% należy rozcieńczyć do <2% zawartości SM.
- **Mechaniczne frakcjonowanie gnojowicy (separacja)** – metoda polega na rozdzieleniu frakcji stałej i płynnej gnojowicy. Podobnie jak w przypadku rozcieńczonej gnojowicy stosowanie odseparowanej frakcji płynnej gnojowicy (fot. 10) może przyczyniać się do zmniejszenia emisji amoniaku podczas aplikacji z uwagi na łatwiejsze wsiąkanie do gleby. Z kolei odseparowana frakcja stała (fot. 11) może być stosowana jako ściółka dla zwierząt lub zostać poddana procesowi peletowania i sprzedawana jako nawóz ogrodniczy lub jako pelet do kotłów CO (fot. 12). Określony przez UNECE efekt redukcyjny może sięgać nawet 70% przy sprzedaży peletu.

Zakres stosowania i możliwość wdrożenia

Obecnie separacja gnojowicy jest stosowana w ograniczonym zakresie. Możliwość wdrożenia tej praktyki jest stosunkowo łatwa. Jednak

z uwagi na koszty inwestycyjne może mieć zastosowanie jedynie w większych gospodarstwach, które utrzymują zwierzęta w systemach bezściółkowych.

Konsekwencje wdrożenia

Wśród korzyści wymienić można możliwość wykorzystania frakcji stałej do celów energetycznych (spalanie) lub jako materiał ściółkowy dla zwierząt. Z punktu widzenia środowiska naturalnego wystąpi efekt synergii z ograniczeniem rozpraszania związków azotu i fosforu. Ponadto zastosowanie frakcji płynnej gnojowicy może przyczynić się do zmniejszenia emisji amoniaku podczas aplikacji z uwagi na łatwiejsze wsiąkanie do gleby.



fol.: W. Rzeźnik

Fot. 10. Odseparowana frakcja płynna gnojowicy przeznaczona do nawadniania pól



fol.: W. Rzeźnik

Fot. 11. Odseparowana frakcja stała gnojowicy



fot.: W. Rzeźnik

Fot. 12. Pelet z frakcji stałej gnojowicy

- **Zakwaszanie gnojowicy** – podobnie jak w przypadku zakwaszania w zbiorniku magazynowym metoda polega na dodawaniu 96% kwasu siarkowego do gnojowicy w celu uzyskania pH poniżej 6. Zmiana pH powoduje zatrzymanie procesów odpowiedzialnych za powstawanie amoniaku. W przypadku zakwaszania gnojowicy w systemie „*in field*” jest to rozwiązanie mobilne, a jednocześnie jedna z bardziej bezpiecznych metod dozowania gnojowicy (fot. 13). System ten tworzą: wóz asenizacyjny wyposażony w pompę oraz zestaw węży wleczonych do aplikacji, pH-metr oraz ciągnik, który jest integralną częścią systemu. Zasada działania polega na uzupełnianiu wozu asenizacyjnego gnojowicą za pomocą pompy. Następnie odbywa się dozowanie kwasu siarkowego za pomocą specjalnie przystosowanej do tego celu pompy, która umożliwia jego przepływ z bardzo dużą dokładnością. Wtryskiwacz kwasu siarkowego jest umieszczony w tylnej części wozu asenizacyjnego i bezpośrednio połączony ze statycznym mieszalnikiem gnojowicy. Ze względu na zachodzące reakcje chemiczne wymieszanie kwasu i gnojowicy odbywa się bardzo szybko, a wtrysku kwasu dokonuje się jak najbliżej dystrybutora, co umożliwia swobodny wypływ zakwaszonej gnojowicy przez węże wlezione (Majchrzak 2017).

Zakres stosowania i możliwość wdrożenia

W Polsce metoda została w ostatnich latach przebadana w ramach realizacji projektu INTERREG Baltic Sea Region pod nazwą „Redukcja strat azotu z rolnictwa poprzez promocję zastosowania technik zakwaszania gnojowicy w regionie Morza Bałtyckiego”. Możliwość wdrożenia tej praktyki ograniczona tylko do gospodarstw stosujących gnojowicę do nawożenia. Zastosowanie tej metody wiąże się z kosztami inwestycyjnymi.

Konsekwencje wdrożenia

Wyniki duńskich badań wskazują, że straty amoniaku z zakwaszonej gnojowicy po jej zastosowaniu są mniejsze przeciętnie o 50% w porównaniu z gnojowicą niezakwaszoną (Birkmose i Vestergaard 2013).

- **Wybór odpowiedniego terminu aplikacji** – emisja amoniaku jest największa w ciepłych, suchych i wietrznych warunkach. Może ona zostać ograniczona poprzez optymalizację harmonogramu aplikacji. Zaleca się między innymi stosowanie nawozów w chłodnych i wilgotnych warunkach, wieczorami, gdy prędkość wiatru i temperatura są niższe, przed lub podczas lekkiego deszczu, jak również unikania aplikacji podczas ciepłych warunków pogodowych, szczególnie podczas okresów, w których słońce jest najwyżej, a więc promieniowanie słoneczne największe. W nowoczesnej formie może być to realizowane przez systemy zarządzania czasem aplikacji (ATMS – *application timing management systems*). Są to modele komputerowe, które obliczają ilości składników nawozowych traconych podczas i w następstwie stosowania nawozów naturalnych na podstawie średnich regionalnych warunków środowiskowych. Potencjalne korzyści w ograniczeniu emisji osiągalne przy wykorzystaniu tego rozwiązania różnią się w zależności od regionalnych i lokalnych warunków glebowych oraz klimatycznych (Bittman i in. 2014).



źródło: projekt INTERREG Baltic Slurry Acidification

Fot. 13. Zakwaszanie gnojowicy w systemie „in field”

C. Techniki o obniżonej emisyjności dla nawozów stałych

Szacuje się, że straty amoniaku ze stałych nawozów naturalnych (obornika) po ich aplikacji na użytkach rolnych mogą wynosić do 15% (Hutchings i in. 2001). Podobnie jak w przypadku płynnych nawozów naturalnych ważne jest przykrycie nawozu glebą. Najlepsze efekty ograniczenia

emisji można osiągnąć wprowadzając obornik do gleby niezwłocznie, co umożliwia uzyskanie redukcji emisji na poziomie 60% (w przypadku bezorkowej uprawy) do 90% (w przypadku orki).

Szacuje się, że przy wymieszaniu z glebą w ciągu 4 godzin redukcja wynosi 45-65%, w ciągu 12 godzin – rzędu 50%, a w ciągu 24 godzin redukcja wynosi 30%.

Na fotografii 14 przedstawiono przykładowe modułowe narzędzie do aplikacji i bezpośredniego przykrywania stałego nawozu naturalnego lub organiczno-mineralnego, które zostało zaprojektowane i wykonane przez Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, w ramach projektu BIOGAS&EE. Umożliwia ono maksymalne wykorzystanie właściwości nawozowych zastosowanego nawozu.



fol.: W. Rzeźnik

Fot. 14. Modułowy zestaw do aplikacji i bezpośredniego przykrywania obornika

D. Koszty stosowania niskoemisyjnych technik aplikacji nawozów naturalnych

Czynniki takie jak wymagania prawne, koszty, skuteczność redukcji emisji oraz możliwości zastosowania są niezmiernie istotne przy wyborze metod redukcji emisji NH_3 z nawożenia.

Tabela 12 prezentuje informacje dotyczące skuteczności oraz możliwości zastosowania opisanych powyżej technik ograniczania emisji NH_3 w zakresie aplikacji płynnych nawozów naturalnych.

Tabela 12. Zestawienie technik redukcji emisji amoniaku podczas aplikacji gnojowicy i innych rodzajów płynnych nawozów naturalnych

Technika ograniczania emisji	Wykorzystanie terenu	Typowa redukcja emisji (%)	Ograniczenia możliwości zastosowania
Wóz asenizacyjny z węzami wleczonymi	Użytki zielone i pola uprawne	30–35%	<ul style="list-style-type: none"> Nachylenie, wymiary i kształt pola. Nieodpowiednie w przypadku gnojowicy o większej gęstości i lepkości. Szerokość ścieżek technologicznych w przypadku rosnących zbóż. Na polu uprawnym redukcja emisji rośnie wraz ze wzrostem wysokości upraw.
Wóz asenizacyjny z węzami wleczonymi z redlicami	Użytki zielone i pola uprawne (przed siewem) oraz uprawy rzędowe	30–60%	<ul style="list-style-type: none"> Jak wyżej. Zazwyczaj nieodpowiednie w przypadku roślin uprawnych, może mieć jednak zastosowanie w stadium rozet w uprawach rzędowych.
Aplikacja doglebowa płytka	Użytki zielone i pola uprawne, również rosnące zboża	70% (otwarte szczeliny) 80% zamknięte szczeliny)	<ul style="list-style-type: none"> Jak wyżej, z wyjątkiem gleb bardzo suchych, kamienistych lub bardzo zwartych.
Aplikacja doglebowa głęboka	Pola uprawne	90%	<ul style="list-style-type: none"> Jak wyżej. Wymaga ciągnika o dużej mocy. Nieodpowiednie na glebach płytkich, glebach z wysoką zawartością gliny (>35%), w bardzo suchych warunkach, na glebach torfowych (> 25% materii organicznej) oraz glebach drenowanych, które są podatne na wymywanie.
Aktywne rozcieńczanie gnojowicy do stosowania w systemach nawadniających	Pola uprawne i użytki zielone	30% (dla rozcieńczenia gnojowicy wodą w stosunku 1:1)	<ul style="list-style-type: none"> Wyłącznie w przypadkach, gdy stosuje się nawadnianie. Wyłącznie w niskociśnieniowych systemach nawadniania.
Systemy zarządzania terminami aplikacji	Pola uprawne i użytki zielone	Zmienna	<ul style="list-style-type: none"> Technika ta wymaga potwierdzenia w warunkach lokalnych.

Źródło: UN 2015

W tabeli 13 przedstawiono efektywność redukcji emisji NH₃ w zależności od czasu, jaki upłynął od aplikacji nawozu naturalnego (obornika, gnojowicy) do momentu jego wymieszania z glebą. Redukcja NH₃ została wyrażona jako procent redukcji w odniesieniu do metody referencyjnej.

Tabela 13. Efektywność redukcji emisji NH₃ przy wprowadzaniu nawozów naturalnych do gleby

Technika ograniczenia emisji	Rodzaj nawozu	Wykorzystanie terenu	Typowa redukcja emisji amoniaku (%)	Ograniczenia możliwości zastosowania
Wprowadzenie do gleby	Płynny nawóz naturalny	Pola uprawne, w tym nowe uprawy, trawy, zasiewy	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	Pola w trakcie uprawy
Wprowadzenie do gleby	Obornik	Pola uprawne, w tym nowe uprawy, trawy	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	Pola w trakcie uprawy

Źródło: UN 2015

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 14 przedstawia jednostkowe koszty redukcji amoniaku przy stosowaniu niskoemisyjnych technik aplikacji płynnych nawozów naturalnych.

Tabela 14. Koszty jednostkowe redukcji amoniaku przy stosowaniu niskoemisyjnych technik aplikacji płynnych nawozów naturalnych

Metoda aplikacji	Pochodzenie gnojowicy	Koszt jednostkowy euro/kg NH ₃ zredukowanego ^{*)}
Wóz asenizacyjny z wężami wleczonymi	Krowy mleczne	2,22
	Świnie	4,41
	Produkcja wielostronna	4,31
Aplikacja gnojowicy w otwartą szczelinę	Krowy mleczne	0,60
	Świnie	1,19
	Produkcja wielostronna	1,17
Aplikacja gnojowicy w zamkniętą szczelinę	Krowy mleczne	1,24
	Świnie	2,48
	Produkcja wielostronna	2,42
Aktywne rozcieńczanie gnojowicy do stosowania w systemach nawadniających	Krowy mleczne	2,85
	Świnie	6,45
	Produkcja wielostronna	6,33
Wóz asenizacyjny z wężami wleczonymi z redlicami	b.d.	-0,5-1,5 ^{**)}
Aplikacja dogłębowa , UZ	b.d.	-0,5-1,5 ^{**)}
Przyorywanie natychmiastowe	b.d.	-0,5-1 ^{**)}
Mieszanie z glebą natychmiastowe (bezorkowo)	b.d.	-0,5-1 ^{**)}
Mieszanie z glebą do 4 godzin	b.d.	-0,5-1 ^{**)}
Nawadnianie fazą ciekłą z separacji	b.d.	-0,5-1 ^{**)}

^{*)} Jednostkowe koszty redukcji emisji amoniaku dla przeciętnych gospodarstw rolnych z Polskiego FADN w 2016 r. (opr. niepubl. M.Zieliński, J.Sobierajewska, IERiGŻ PIB)

^{**)} Jednostkowe koszty redukcji emisji amoniaku, (25-75% redukcji), średnio dla EU-28. Ujemna wartość kosztu oznacza korzyść (zysk) dla rolnika przy zastosowaniu tej metody (opr. niepubl. J.Walczak, IŻ PIB)

VI. OGRANICZENIE EMISJI AMONIAKU PODCZAS STOSOWANIA NAWO- ZÓW MINERALNYCH

A. Wprowadzenie

Nawozy mineralne należą do najważniejszych czynników plonotwórczych w produkcji roślinnej pod warunkiem, że ich stosowanie ma charakter zrównoważony. Nieumiejętne stosowanie nawozów niesie za sobą zagrożenia w postaci zakwaszenia gleb, przenawożenia roślin azotem, wymywania składników odżywczych i emisji związków azotu do atmosfery.

Azot jest najbardziej plonotwórczym składnikiem pokarmowym. Zarówno niedobór jak i nadmiar azotu szkodzi plonom. Niedobór hamuje wzrost roślin, natomiast nadmiar powoduje obniżenie mrozoodporności i nierównomierne dojrzewanie.

Straty azotu w formie amoniaku z mineralnych nawozów azotowych mogą zawierać się w szerokim przedziale w zależności od warunków glebowo-klimatycznych, techniki aplikacji oraz rodzaju zastosowanego nawozu. Straty z nawozów azotowych takich jak: fosforan amonu, siarczan amonu, mocznik i roztwory mocznika szacuje się w zależności od warunków na 5-40%. Natomiast straty z azotanu amonu są mniejsze, rzędu 0,5-5% całkowitej ilości stosowanego azotu.

B. Mocznik

W nawozach azot występuje w formie amonowej, azotanowej (salertranej) i amidowej. Forma amidowa azotu zawarta jest w moczniku, który jest uważany za nawóz uniwersalny. Działa wolniej, gdyż musi ulec rozkładowi do formy amonowej, a następnie do azotanowej – dostępnych dla roślin.

W wyniku oddziaływań enzymu ureazy pochodzenia mikrobiologicznego, a także ureazy pozaustrojowej, związanej z glebą, zachodzi dynamiczny proces hydrolizy wniesionego do gleby mocznika, w wyniku czego powstaje nietrwały węglan amonu. Związek ten bardzo szybko ulega rozkładowi do NH_3 i dwutlenku węgla. Jeśli rozkład mocznika następuje na powierzchni gleby oba te gazy trafiają do atmosfery.

Poziom strat zależy głównie od właściwości gleby (struktury, zawartości substancji organicznej, zawartości wody, pH), dawki nawozu, warunków klimatycznych (temperatury, prędkości wiatru, opadów) oraz obecności roślin. W celu zmniejszenia emisji NH_3 z mocznika zaleca się jak najszybsze wymieszanie go z glebą oraz stosowanie inhibitorów procesu amonifikacji.

1. Przykrycie mocznika glebą

W celu zminimalizowania emisji NH_3 z mocznika należy dostosować dawki do potrzeb nawozowych roślin oraz jak najszybciej wymieszać go z glebą. Jeśli rozkład mocznika następuje po jego wymieszaniu z glebą - NH_3 jest wiązany przez il koloidalny lub materię organiczną gleby lub tworzy nielotne związki chemiczne pozostające w glebie. Skuteczność tego zabiegu może być mniejsza na glebach lekkich, które z natury zawierają zbyt mało ilu koloidalnego oraz/lub materii organicznej, charakteryzują się więc małą sorpcją amoniaku. Gleby węglanowe (mimo wysokiego pH, co zwiększa emisję NH_3) mogą emitować mniej tego gazu, ponieważ zazwyczaj mają dostatecznie dużo ilu koloidalnego. Emisję NH_3 z mocznika stosowanego w warunkach posusznych mogą być większe na użytkach zielonych niż gruntach ornych. Emisje z roztworów wodnych mocznika są zazwyczaj tego samego rzędu, co ze stałych jego form, ponieważ ilości wody w cieczy roboczej są niewystarczające do wymycia nawozu w głąb gleby. Można jednak liczyć się z tym, że absolutne straty NH_3 będą małe, jeśli dawka mocznika będzie mała.

Aby uzyskać wysoką efektywność nawożenia mocznikiem, trzeba pamiętać o tym, że:

- nie należy stosować mocznika na suchą glebę, gdyż szczególnie przy wyższych temperaturach mogą temu towarzyszyć duże straty azotu do atmosfery;
- na stanowiskach o pH powyżej 7,0 lub świeżo wapnowanych również mogą wystąpić duże straty azotu do atmosfery, gdyż warunki te sprzyjają przekształcaniu się mocznika w amoniak (NH_3);
- nie stosować mocznika pogłównie, po wysianiu granул bezpośrednio na powierzchnię, gdy mocznika nie miesza się z glebą nawet 40% powstałego amoniaku w warunkach suchej wiosny ulatnia się do atmosfery. W warunkach odpowiedniego uwilgotnienia straty są mniejsze, ale związki azotowe wytworzone w procesie nityfikacji łatwo ulegają wypłukaniu z gleby;
- nadmierne nawożenie mocznikiem krótko przed lub po siewie nasion może pogorszyć wschody i zmniejszyć obsadę roślin (dawka mocznika może być tym większa, im cięższa jest gleba i lepsze wymieszanie nawozu).

Przykrycie mocznika glebą natychmiast po zastosowaniu daje obniżenie emisji o ok. 50-80%. Praktyka nie może być stosowana w nawożeniu pogłównym, stąd wniosek, że należy dążyć do rezygnacji z pogłównego nawożenia mocznikiem. Do przykrycia można wykorzystać pługi lub kultywatory talerzowe i sprężynowe, w zależności od rodzaju gleby i jej stanu. Nawozy przykrywa się glebą zazwyczaj w trakcie oddzielnej operacji.

Zalecana praktyka powinna być powszechnie stosowana w rolnictwie polskim. Szacuje się, że obecnie jest stosowana w około 70% ogółu gospodarstw. Szersze jej upowszechnienie obniżać będzie emisję amoniaku

w gospodarstwach i w całym rolnictwie, przyczyniając się jednocześnie do poprawy efektywności wykorzystywania azotu.

2. Iniekcja mocznika w głąb gleby

Mocznik jest higroskopijny („pobiera” wodę z powietrza), już niewielkie ilości wody powodują „mazanie się” lub zbrylanie, co niekorzystnie wpływa na równomierność jego wysiewu. Równomierne rozsianie nawozu rozsiewaczem talerzowym na danej powierzchni jest tym trudniejsze, im wyższa jest w nim procentowa zawartość czystego składnika. Mocznik jest jednym z bardziej skoncentrowanych nawozów, gdyż zawiera 46% N. Ponadto niewielka masa i mała średnica ziaren (granul) mocznika dodatkowo skracają odległość, na jaką może być rozsiewany nawóz. Należy o tym pamiętać, regulując maszynę, gdyż na polach, na których był stosowany mocznik, często występują pasowe przebarwienia roślin, co świadczy o ich miejscowym niedożywieniu azotem. Mocznik musi być zaaplikowany w odpowiedniej odległości od nasion w celu uniknięcia hamowania kiełkowania nasion i rozwoju roślin w początkowych fazach wzrostu. Stosowany pasmowo może powodować zwiększone emisje, ponieważ powoduje lokalnie wzrost pH. Można tego uniknąć stosując siewniki wyposażone dodatkowo w redlice do aplikacji nawozów stałych lub wtrysk nawozów płynnych, które wprowadzają nawóz w głąb gleby, bądź też aplikować mocznik przy użyciu iniekcji.

Siewnik, mający redlice nasienne w normalnej rozstawie, jest dodatkowo wyposażony w redlice do aplikacji nawozów mineralnych, umieszczone między rzędami redlic nasiennych. Redlice nawozowe umieszczają nawozy o kilka centymetrów głębiej niż nasiona. Wprowadzanie nawozów mineralnych na większą głębokość niż nasiona zapewnia dobre warunki kiełkującym siewkom roślin poprzez dostarczenie składników nawozowych. Oprócz oszczędności czasu i lepszej efektywności wykorzystania składników nawozowych, jednoczesny siew i nawożenie zmniejsza konkurencję chwastów o składniki pokarmowe i zmniejsza ryzyko spływu powierzchniowego tych składników. W przypadku jednoczesnego wysiewu nasion i nawozów zalecana dawka azotu w warunkach danego poziomu plonowania może być zmniejszona o 10 kg N na hektar.

Iniekcja mocznika (stałego lub w roztworze) w głąb gleby, może ograniczyć emisję nawet o 90%. Jeśli zabieg jest źle wykonany może wzrosnąć pH, co doprowadzi do wzrostu emisji, dlatego należy stosować mocznik z inhibitorem ureazy.

Zalecana praktyka jest obecnie stosowana w około 10% gospodarstw. Szersze jej upowszechnienie może się wydatnie przyczynić do ograniczenia emisji amoniaku w gospodarstwach i rolnictwie, przyczyniając się jednocześnie do zwiększenia efektywności wykorzystywania azotu.

3. Stosowanie inhibitorów ureazy

Zwiększenie udziału mocznika w mineralnym żywieniu roślin pozwala na zastosowanie mocznika z inhibitorem ureazy. Rozpad mocznika jest pożądany dopiero po przeniknięciu mocznika do profilu glebowego. Inhibito-

ry ureazy zapobiegają lub hamują na pewien okres przemianę azotu amonowego w mocznika do wodorotlenku amonowego i amoniaku poprzez hydrolityczne działanie enzymu ureazy. Powodują one wydłużenie dostępności azotu dla roślin z 6-8 tygodni do 8-16 tygodni. Poprzez spowolnienie stopnia hydrolizy mocznika w glebie, straty ulatniania się amoniaku z wypłukiwania jonu azotanowego są zredukowane. Ograniczony jest także nadmierny wzrost pH, zwłaszcza przy stosowaniu pasmowym. Stąd efektywność mocznika z inhibitorem oraz nawozów azotowych zawierających mocznik jest podwyższona, a wszelki negatywny wpływ na środowisko, związany z ich stosowaniem jest zmniejszony.

Na rynku UE są dostępne różne inhibitory ureazy, jednak zdaniem wielu autorów spośród inhibitorów spowalniających rozkład mikrobiologiczny mocznika najbardziej efektywny jest NBPT – N-(n-butylo)trójamid tiofosforowy. NBPT jest jedynym obecnie inhibitorem ureazy, liczącym się ze względu na dostępność na rynku i praktyczną wartość dla rolnictwa. Inhibitor NBPT jest dodatkiem do mocznika nawozowego, który czasowo spowalnia jego enzymatyczną przemianę dzięki hamowaniu aktywności ureazy. Może być dodawany do stopu mocznika przed granulacją, nanoszony na powierzchnie granulek w procesie ciągłym, lub szarżowym, jak również dodawany do roztworu saletrano-mocznikowego (RSM). NBPT jest związkiem nietoksycznym i bezwonny.

Badania wskazują, że redukcja emisji gazowego amoniaku pod wpływem niewielkiego dodatku NBPT kształtuje się nawet na poziomie około 40% w przypadku roztworu saletrano-mocznikowego (RSM) oraz około 70% w przypadku mocznika w postaci stałej. W Polsce do niedawna w praktyce rolniczej w zasadzie nie wykorzystywano inhibitorów ureazy do celów nawozowych. Jednak ostatnio coraz częściej stosowany jest mocznik o zawartości 46% azotu zaopatrzony w dodatek wzmiankowanego inhibitora zwany moNolith46. Stosowanie moNolith 46 pozwala uprawianym roślinom otrzymać tyle azotu, ile potrzebują. Również ogranicza jego straty w trakcie pierwszych tygodni po zastosowaniu. Rezultatem jest otrzymanie wyższego plonu, wskutek lepszego wykorzystania azotu zawartego w nawozie.

Należy przypuszczać, że udział moczników z dodatkiem inhibitorów ureazy w rynku moczników będzie rósł. Asortymenty te mogą być nieco droższe od typowych moczników. Winny one zapewnić co najmniej ograniczenie emisji amoniaku o 40%, co powodować będzie ograniczenie emisji w gospodarstwach i rolnictwie oraz zwiększenie efektywności wykorzystywania azotu.

4. Stosowanie mocznika otoczkowanego polimerami

Składniki pokarmowe z nawozów otoczkowanych polimerem uwalniane są na drodze dyfuzji, która zależy przede wszystkim od grubości otoczki, jej przepuszczalności dla wody oraz temperatury. Na migrację azotu przez polimerową membranę nie mają wpływu właściwości gleby, a jedynie warunki fizyczne i przepuszczalność wody. Przepuszczalność tę można kontrolować na drodze optymalizowania składu polimerów. Uwalnianie azotu z mocznika otoczkowanego polimerami jest więc przewidywalne. W badaniach stwierdzano także, że cienka warstwa otoczki może negatyw-

nie wpływać na jakość gleby, jeśli nie ulega ona degradacji równoległe z uwalnianiem składnika pokarmowego.

Stosowanie mocznika otoczkowanego polimerami może ograniczać emisję o ok. 30%. Jednak, mimo rozległej literatury na temat otoczkowania i nowych form mocznika - ciągle brak w tej dziedzinie wystarczającej wiedzy w zakresie efektywności w praktyce rolniczej.

5. Zastąpienie mocznika saletrą amonową

Zastąpienie mocznika saletrą amonową może ograniczyć emisję NH_3 nawet o 90%. Jednak negatywną stroną takiego rozwiązania może być wzrost emisji N_2O , zwłaszcza w przypadku gleb wilgotnych i o drobnej teksturze. Ponadto nawozy saletrzane są nieco droższe, co nie jest w zasadzie istotne, ponieważ straty azotu są z nich mniejsze.

Szersze zastosowanie tej praktyki miałyby znaczący wpływ na przemysł nawozowy w Polsce, który musiałby zmienić produkcję poszczególnych asortymentów nawozów. W gospodarstwach i rolnictwie przyczyniłaby się ona w sposób znaczący do ograniczenia emisji amoniaku oraz zwiększenia efektywności wykorzystywania azotu.

C. Nawozy na bazie siarczanu amonu, fosforanu i azotanu

Straty gazowe (emisje) NH_3 z siarczanu amonu i fosforanu amonu w dużym stopniu zależą od pH gleby. Będą one mniejsze, jeżeli nawozy te będą stosowane na glebach o $\text{pH} < 7,0$. Praktyki ograniczania emisji z mocznika mogą być również stosowane w przypadku tych nawozów, a nawet saletry amonowej.

Praktyka przyczyniłaby się do ograniczenia emisji amoniaku w gospodarstwach. Jednakże ze względu na stosunkowo niewielki udział tych nawozów w całym asortymencie nawozów azotowych miałyby mały udział w ograniczeniu emisji amoniaku z rolnictwa.

Stosowanie w praktyce rolniczej węglanu amonu może prowadzić do dużych strat gazowych NH_3 , które tuż po zastosowaniu mogą wynosić nawet 50% ilości zastosowanego N. W dodatku amoniak może się uwalniać podczas magazynowania tego nawozu. Z tego względu zgodnie z tzw. *Protokołem z Göteborga* stosowanie tego nawozu w UE jest zakazane.

D. Kalkulacje kosztów dla praktyk redukujących emisję amoniaku z nawozów mocznikowych

Kalkulacje praktyk redukujących emisję amoniaku sporządzono na podstawie opracowania Europejskiej Komisji Gospodarczej pt. „Wytyczne dotyczące zapobiegania i redukcji amoniaku ze źródeł rolniczych”, danych Zakładu Rachunkowości Rolnej i Zakładu Badań Rynkowych IERiGŻ – PIB, Zachodniopomorskiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Barzkowicach oraz polskich i zagranicznych danych literaturowych. Kalkulacje wykonano dla

gospodarstw z uprawami polowymi, ogrodniczymi i z uprawami trwałymi prowadzących rachunkowość dla Zakładu Rachunkowości Rolnej IERiGŻ – PIB w 2016 r. W analizie uwzględniono praktyki kategorii 1, gdyż na obecną chwilę tylko one mają naukowo potwierdzony wysoki potencjał ograniczenia emisji amoniaku. Celem było wskazanie dla każdej wyróżnionej praktyki jej kosztu w przeliczeniu na kg ograniczonej emisji NH₃-N i na 1 ha.

Kalkulacje praktyk mitygujących emisję amoniaku opisano dokładnie w odniesieniu do gospodarstw z uprawami polowymi. Biorąc pod uwagę, że schemat obliczeń dla gospodarstw ogrodniczych i z uprawami trwałymi był identyczny, stąd też w ich przypadku zdecydowano się przedstawić jedynie dane wynikowe. Na podstawie danych Polskiego Systemu Zbierania i Wykorzystywania Danych Rachunkowych z Gospodarstw Rolnych (FADN) za 2016 r. ustalono, że przeciętne gospodarstwo z uprawami polowymi, ogrodniczymi i z uprawami trwałymi posiadało powierzchnię UR wynoszącą odpowiednio 76; 7 i 13,9 ha i w praktyce referencyjnej stosowało azot w czystym składniku (**z mocznika**) w ilości odpowiednio 28,6; 44,2 i 18,6 kg N/ha.

1. Inhibitory mocznika

Na podstawie danych Polskiego FADN z 2016 r. ustalono, że w przeciętnym gospodarstwie specjalizującym się w uprawach polowych (typ 1) zużycie azotu w czystym składniku (z mocznika) wyniosło 28,6 kg/ha, a jego koszt – 92,4 zł/ha (28,6 kg/ha*3,23 zł). Stosując inhibitor mocznika (moNolith 46) gospodarstwo jest w stanie ograniczyć straty azotu o 8,6 kg/ha. Pomimo, że inhibitor mocznika jest środkiem droższym (cena 1kg azotu wynosi 3,7 zł) gospodarstwo poniesie mniejszy koszt nawozu i wyniesie on 74,0 zł/ha (20 kg/ha*3,7 zł).

Gospodarstwo stosując inhibitor mocznika poniesie mniejszy koszt o 18,4 zł/ha tj. o 4,22 euro/ha (18,4 zł/ha; 4,36 zł/euro) i o **0,49 euro na kilogram zaoszczędzonego NH₃-N** (4,22 euro/ha; 8,6 kg/ha). Kwota -0,49 euro na kilogram zaoszczędzonego NH₃-N zawiera się w granicach od -0,5 do 2 euro na kilogram zaoszczędzonego NH₃-N podanych w opracowaniu Europejskiej Komisji Gospodarczej.

Tabela 15. Kalkulacja kosztów redukcji emisji amoniaku przy zastosowaniu praktyki – **inhibitory mocznika** dla gospodarstw z uprawami polowymi, ogrodniczymi i z uprawami trwałymi

Rodzaj uprawy	Koszt euro/ha ¹⁾	Koszt euro/kg zaoszczędzonego NH ₃ -N ¹⁾
Uprawy polowe	-4,22	-0,49
Uprawy ogrodnicze	-6,50	-0,49
Uprawy trwałe	-2,74	-0,49
Średnio	-4,48	-0,49

Źródło: IERiGŻ PIB

¹⁾ Ujemna wartość kosztu oznacza korzyść (zysk) dla rolnika przy zastosowaniu tej metody

2. Granulki nawozu w polimerowej powłoce

Gospodarstwo specjalizujące się w uprawach polowych i stosujące mocznik, zużywa azot w czystym składniku w ilości 28,6 kg/ha, którego koszt wynosi 92,4 zł/ha (28,6 kg/ha*3,23 zł). Gospodarstwo decydując się na stosowanie tego nawozu w formie granulek ograniczy straty azotu o 8,6 kg, ale jego koszt wyniesie 160 zł/ha (20 kg/ha*8 zł/kg)¹.

Gospodarstwo stosując nawóz w formie granulek z polimerową powłoką poniesie zatem większy koszt o 67,6 zł/ha tj. o 15,5 euro/ha (67,6 zł/ha; 4,36zł/euro) i o **1,8 euro na kilogram zaoszczędzonego NH₃-N** (15,5 euro/ha; 8,6 kg/ha).

Tabela 16. Kalkulacja kosztów redukcji emisji amoniaku przy zastosowaniu praktyki-**granulki nawozu w polimerowej powłoce** dla gospodarstw z uprawami polowymi, ogrodnictwami i z uprawami trwałymi

Rodzaj uprawy	Koszt euro/ha	Koszt euro/kg zaoszczędzonego NH ₃ -N
Uprawy polowe	15,50	1,8
Uprawy ogrodnicze	23,87	1,8
Uprawy trwałe	10,04	1,8
Średnio	16,47	1,8

Źródło: IERiGŻ PIB

3. Aplikacja doglebowa w szczelinę

Gospodarstwo specjalizujące się w uprawach polowych stosując praktykę doglebowej aplikacji mocznika w szczelinę może zdecydować się na skorzystanie z usługi, za którą zapłaci 170 zł/ha² lub na zakup agregatu uprawowo-siewnego z możliwością aplikacji nawozów mineralnych w szczelinę, którego koszt wyniesie 421,9 zł/ha [300000 zł³/(15 lat⁴*76 ha/rok)⁵+79,9 zł/ha⁶+78,9 zł/ha⁷]. Biorąc pod uwagę, że dla przeciętnego gospodarstwa z uprawami polowymi prowadzącego rachunkowość dla Polskiego FADN w 2016 roku uzasadnione ekonomiczne jest stosowanie praktyki doglebowej aplikacji mocznika w szczelinę z wykorzystaniem usługi, stąd też w poniższej kalkulacji uwzględniano tylko tę możliwość⁸. Gospodarstwo z uprawami polowymi dotychczas stosowało azot w czystym składniku zawarty w moczniku w ilości 28,6 kg/ha, który kosztuje 92,4 zł/ha (28,6 kg/ha*3,23 zł).

¹ W nawozie Azoslow cena 1kg azotu wynosi 8 zł.

² Dane ZODR w Barzkowicach.

³ Cena agregatu.

⁴ Umownie przyjęty okres użytkowania agregatu.

⁵ Średnia wielkość gospodarstwa wyspecjalizowanego w uprawach polowych prowadzącego w 2016 r. rachunkowość dla Polskiego FADN.

⁶ Koszt zainwestowanego kapitału, wg oprocentowania netto 10-letnich obligacji skarbowych w 2016 r.

⁷ Koszty przechowywania i konserwacji agregatu. Koszt przechowywania i konserwacji przyjęto na poziomie 2% rocznie w stosunku do ceny zakupu agregatu.

⁸ Ta sama sytuacja miała miejsce w przypadku gospodarstw ogrodnictwami.

Stosując praktykę doglebowej aplikacji mocznika w szczelinę gospodarstwo jest w stanie ograniczyć straty azotu o 22,9 kg/ha.

Gospodarstwo stosując praktykę doglebowej aplikacji mocznika w szczelinę z wykorzystaniem usługi poniesie dodatkowy koszt 96,0 zł/ha (170 zł/ha – 22,9 kg/ha*3,23 zł), tj. 22,01 euro/ha (96,0 zł/ha; 4,36 zł/euro) i **0,96 euro na kilogram zaoszczędzonego NH₃-N** (22,01 euro/ha; 22,9 kg/ha).

Tabela 17. Kalkulacja kosztów redukcji emisji amoniaku przy zastosowaniu praktyki - **aplikacja doglebowa w szczelinę** dla gospodarstw z uprawami polowymi, ogrodnictwami i z uprawami trwałymi

Rodzaj uprawy	Koszt euro/ha	Koszt euro/kg zaoszczędzonego NH ₃ -N
Uprawy polowe	22,01	0,96
Uprawy ogrodnicze	12,73	0,36
Uprawy trwałe	- ¹⁾	- ¹⁾
Srednio	17,37	0,66

¹⁾ brak danych

Źródło: IERiGŻ PIB

4. Aplikacja doglebowa mocznika poprzez uprawę

Gospodarstwo specjalizujące się w uprawach polowych stosując praktykę doglebowej aplikacji mocznika poprzez uprawę może zdecydować się na skorzystanie z usługi, której koszt wyniesie 160 zł/ha⁹ lub zakup agregatu uprawowego, którego roczny koszt wyniesie 74,22 zł/ha [(52845 zł/(15 lat*76 ha/rok)+13,97 zł/ha¹⁰+13,9 zł/ha¹¹].

Biorąc powyższe pod uwagę, należy stwierdzić, że dla gospodarstwa uzasadniony ekonomicznie jest zakup agregatu¹².

Gospodarstwo z uprawami polowymi dotychczas stosowało azot w czystym składniku zawarty w moczniku w ilości 28,6 kg/ha, który kosztuje 92,4 zł/ha (28,6 kg/ha*3,23 zł). Stosując praktykę doglebowej aplikacji mocznika poprzez uprawę gospodarstwo jest w stanie ograniczyć straty azotu o 14,3 kg/ha.

Gospodarstwo stosując praktykę doglebowej aplikacji mocznika poniesie dodatkowy koszt 28,03 zł/ha (74,22 zł/ha – 14,3 kg/ha*3,23 zł), tj. 6,42 euro/ha (28,03 zł/ha; 4,36 zł/euro) i 0,45 euro na kilogram zaoszczędzonego NH₃-N (6,42 euro/ha; 14,3 kg/ha).

⁹ Dane ZODR w Barzkowicach.

¹⁰ Koszt zainwestowanego kapitału, wg oprocentowania netto 10-letnich obligacji skarbowych w 2016 r.

¹¹ Koszty przechowywania i konserwacji agregatu. Koszt przechowywania i konserwacji przyjęto na poziomie 2% rocznie w stosunku do ceny zakupu agregatu.

¹² W przypadku gospodarstwa z uprawami ogrodnictwami (7 ha) i uprawami trwałymi (13,9 ha) uzasadnione ekonomicznie jest skorzystanie z usługi.

Tabela 18. Kalkulacja kosztów redukcji emisji amoniaku przy zastosowaniu praktyki: **aplikacja dogłębowa poprzez uprawę** dla gospodarstw z uprawami polowymi, ogrodnictwami i z uprawami trwałymi

Rodzaj uprawy	Koszt euro/ha	Koszt euro/kg zaoszczędzonego NH ₃ -N
Uprawy polowe	6,42	0,45
Uprawy ogrodnicze	20,33	0,92
Uprawy trwałe	29,76	3,20
Średnio	18,83	1,52

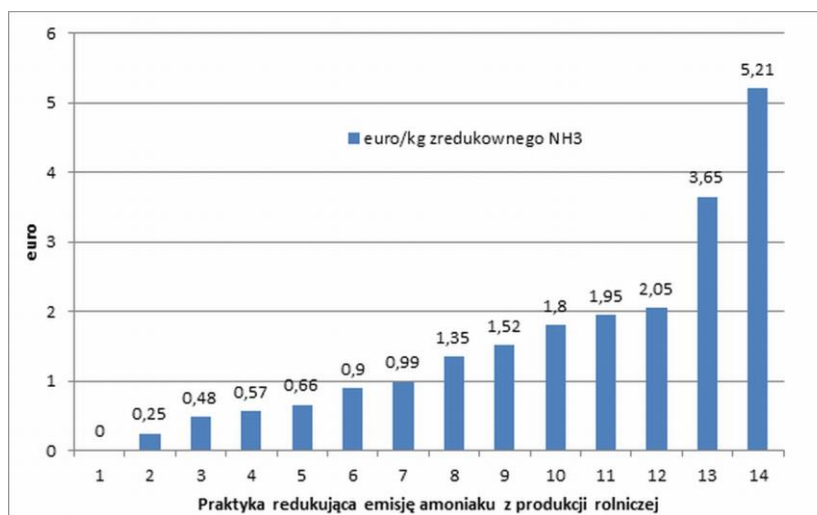
Źródło: IERiGŻ PIB

PODSUMOWANIE

W Kodeksie zaprezentowano wiele metod redukcji emisji amoniaku, które mogą być zastosowane na różnych etapach produkcji rolniczej, począwszy od chowu zwierząt, poprzez magazynowanie nawozów naturalnych, a skończywszy na aplikacji nawozów naturalnych i mineralnych.

Przy wyborze metod redukcji emisji NH_3 istotne dla rolnika są przede wszystkim koszty oraz możliwości zastosowania danej metody. Jednocześnie producent rolny musi uwzględniać obowiązujące wymagania prawne w tym zakresie.

Na wykresie 1 przedstawiono krzywą kosztów krańcowych wybranych praktyk redukujących emisję amoniaku z produkcji rolniczej dla gospodarstw rolnych. Umożliwia ona w pewnym stopniu identyfikację praktyk, których ostateczny efekt redukcyjny będzie największy, przy założeniu poniesienia minimalnych kosztów przez rolników, co pozwoli na ekonomiczną optymalizację ich stosowania.



Źródło: opracowanie własne IERGiŻ, 2019¹³

Wykres 1. Krzywa kosztów krańcowych wybranych praktyk redukujących emisję amoniaku z produkcji rolniczej dla gospodarstw rolnych (koszty wyrażone w euro/kg zredukowanego NH_3)¹⁴

¹³ Na podstawie wytycznych Europejskiej Komisji Gospodarczej pt. Wytyczne dotyczące zapobiegania i redukcji amoniaku ze źródeł rolniczych, danych Zakładu Rachunkowości Rolnej Instytutu Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – PIB (IERIGŻ-PIB) za 2016 r., Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) oraz polskich i zagranicznych danych literaturowych.

¹⁴ Analizie kosztów poddano 15 wybranych praktyk redukujących emisję amoniaku z produkcji rolniczej. Niemniej jednak na wykresie ujęto tylko 14. Pominięto bowiem praktykę inhibitorów mocznika ponieważ efekty stosowania inhibitorów mocznika są nadal nie w pełni poznane w różnych przyrodniczych i klimatycznych warunkach gospodarowania, stąd też wymagają dalszych badań. Trzeba jednak dodać, że w gospodarstwach rolnych w perspektywie 2025+ mogą one być szerzej stosowane.

Wykres 1 - Oznaczenia praktyk redukujących emisję amoniaku z produkcji rolniczej

- | | |
|--|--|
| 1 – Naturalny kozuch na powierzchni gnojowicy (niskoemisyjna metoda magazynowania) | 9 – Aplikacja doglebowa nawozów na bazie mocznika |
| 2 – Pływająca pokrywa sztuczna - keramzyt i inne granulaty (niskoemisyjna metoda magazynowania) | 10 – Granulki nawozu w polimerowej powłoce (niskoemisyjna metoda stosowania nawozów mocznikowych) |
| 3 – Pływająca pokrywa sztuczna - słoma (sieczka) (niskoemisyjna metoda magazynowania) | 11 – Zastąpienie laguny na kryty zbiornik lub wysokie, otwarte zbiorniki (głębokość >3 m) (niskoemisyjna metoda magazynowania) |
| 4 – Zbiorniki elastyczne do magazynowania gnojowicy (niskoemisyjna metoda magazynowania) | 12 – Aplikacja doglebowa gnojowicy w zamkniętą szczelinę (niskoemisyjna metoda aplikacji nawozów naturalnych) |
| 5 – Aplikacja mocznika doglebowo w szczelinę (niskoemisyjna metoda stosowania nawozów mocznikowych) | 13 – Wóz asenizacyjny z wężami wleczonymi (niskoemisyjna metoda aplikacji nawozów naturalnych) |
| 6 – Pływające elementy z tworzywa sztucznego (niskoemisyjna metoda magazynowania) | 14 – Aktywne rozcieńczanie gnojowicy do stosowania w systemach nawadniających (niskoemisyjna metoda aplikacji nawozów naturalnych) |
| 7 – Aplikacja doglebowa gnojowicy w otwartą szczelinę (niskoemisyjna metoda aplikacji nawozów naturalnych) | |
| 8 – Sztywna pokrywa lub osłona elastyczna (np. konstrukcja namiotowa) na zbiorniku z gnojowicą (niskoemisyjna metoda magazynowania) | |

Na podstawie analizy wszelkich dostępnych danych oraz przeprowadzonych kalkulacji uznano, że praktykami ograniczającymi emisję NH_3 z produkcji rolniczej, które są najbardziej efektywne i pozwolą na osiągnięcie docelowych poziomów redukcji emisji wyznaczonych dla Polski na 2030 rok, a jednocześnie ich wdrożenie w małym stopniu obciążą rolników, są:

- **Aplikacja doglebowa nawozów na bazie mocznika (redukcja 80%).** Natychmiastowe wymieszanie mocznika z glebą daje najlepsze efekty redukcyjne. Do tego celu wykorzystać można pługi lub kultywatory talerzowe i sprężynowe, w zależności od rodzaju gleby i jej stanu. Należy jednak pamiętać, że praktyka ta nie może być stosowana w nawożeniu pogłównym. Innym sposobem na doglebową aplikację mocznika jest jednoczesny wysiew nasion i nawozu z wykorzystaniem siewników wyposażonych dodatkowo w redlice do aplikacji nawozów stałych lub wtrysk nawozów płynnych. Redlice nawozowe umieszczają nawozy o kilka centymetrów głębiej niż nasiona, co zapewnia dobre warunki kiełkującym siewkom roślin poprzez dostarczenie składników nawozowych. Jednoczesny siew i nawożenie zapewnia oszczędność czasu i lepszą efektywność wykorzystania składników nawozowych.
- **Rozlewanie gnojowicy innymi metodami niż rozbrygowo (redukcja 60%).** Aplikacja tego typu może być wykonana wozami asenizacyjnymi z wężami wleczonymi (z redlicami lub

bez). Urządzenia te mogą być stosowane zarówno na użytkach zielonych, jak i polach uprawnych. Do niskoemisyjnego nawożenia gnojowicą można również wykorzystać aplikatory płytke (szczelinowe), które mają zastosowanie zazwyczaj na użytkach zielonych lub aplikatory głębokie, których stosowanie jest ograniczone do gruntów ornych z uwagi na ryzyko mechanicznego uszkodzenia darni traw.

- **Przyorywanie 90% obornika w ciągu 12 godzin od aplikacji (redukcja 50%).** W praktyce 90% obornika wykorzystywane jest na gruntach ornych, a pozostałe 10% na użytkach zielonych. Szybkie wymieszanie nawozu z glebą gwarantuje ograniczenie emisji NH_3 , a jednocześnie zapewnia lepsze wykorzystanie składników nawozowych przez rośliny. Czas 12 godzin został wybrany jako optymalny, który pozwoli rolnikowi na wykonanie tego zabiegu bez zbędnych problemów i angażowania dodatkowych środków, a jednocześnie gwarantuje pożądany poziom redukcji emisji NH_3 .
- **Przykrywanie zbiorników na gnojowicę (redukcja 80%).** Sztywne pokrywy, jak również osłony elastyczne i pływające gwarantują najlepsze efekty w ograniczaniu emisji NH_3 . Zgodnie z Programem Azotanowym, wszyscy rolnicy zobowiązani są do przykrywania zbiorników na płynne nawozy naturalne, w szczególności osłoną elastyczną lub osłoną pływającą. Zbiorniki te powinny posiadać szczelne dno i ściany.

LITERATURA

- Birkmose T., Vestergaard A. 2013. Acidification of slurry in barns, stores and during application: review of Danish research, trials and experience. Proceedings from the 15th RAMIRAN Conference, 10-13 June 2013, Versailles, France.
- Bittman S., Dedina M., Howard C.M., Oenema O., Sutton M.A. (eds). 2014. Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen. Centre for Ecology and Hydrology, Edynburg, UK.
- Chadwick D.R. 2005. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. Atmospheric Environment, Volume 39, Issue 4, s. 787-799.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 2003/35/WE oraz uchynienia dyrektywy 2001/81/WE (Dz. Urz. UE L344 z 17.12.2016 str.1).
- 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.
- Kai P., Pedersen P., Jensen J.E., Hansen M.N., Sommer S.G. 2008. a whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *Eur. J. Agron.*, 28, s. 148-154.
- Kierończyk M. 2012. Analiza wybranych czynników kształtujących emisję amoniaku podczas przechowywania obornika w warunkach eksploatacyjnych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 12 z. 3 (39), s. 93-102.
- Kierończyk M., Mazur K., Barwicki J., Wiśniewska R., Fligel B. 2019. Report of Institute of Technology and Life Sciences. Results of ammonia emission in 2017 during field trials on permanent grassland; pp. 102-119 [w:] Final report of activity WP4 Field Trials: Methodology, collection of results and Partners' practical experiences 2016-2018. Project "Baltic Slurry Acidification" – Promoting the implementation of slurry acidification techniques throughout the Baltic Sea Region. March 2016 – February 2019. "Interreg" Programme, pp. 206. [<http://balticsslurry.eu>]
- Majchrzak M. 2017. Jak zatrzymać azot w gnojowicy? *Rolniczy Przegląd Techniczny*, 3(217), s. 34-37.
- Marcinkowski T. 2010. Emisja gazowych związków azotu z rolnictwa. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 10 z. 3 (31), s. 175-189.
- Marcinkowski T. 2002. Identyfikacja strat azotu w towarowych gospodarstwach rolnych Żuław Wiślanych. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie*, nr 1, ss. 80.

- Marcinkowski T., Kierończyk M. 2006. Emisja amoniaku z wybranych nawozów naturalnych i mineralnych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 512, s. 411-419.
- Marcinkowski T., Sapek A. 1999. Estimation of ammonia emissions from agricultural source in Poland. W: Nitrogen cycle and balance in Polish agriculture. Conf. Proc. Falenty/Nadarzyn near Warsaw 1–2 December. Falenty: IMUZ Publ., s. 140-148.
- Pietrzak S. 2006. Metoda inwentaryzacji emisji amoniaku ze źródeł rolniczych w Polsce i jej praktyczne zastosowanie. Woda Środowisko Obszary Wiejskie, t. 6 z. 1(16), s. 319-334.
- Rozporządzenie (WE) nr 1831/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22 sierpnia 2003 r. w sprawie dodatków stosowanych w żywieniu zwierząt. *Dziennik Urzędowy L 268*, 18/10/2003 P. 0029 – 0043.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”. Dz. U. 2018, poz. 1339.
- Sapek A. 1995. Emisja amoniaku z produkcji rolnej. Postępy Nauk Rolniczych, nr 2, s. 3-23.
- UN, 2014. Guidance document on preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources. Economic Commission for Europe, document nr ECE/ EB.AIR/120. Wyd. 7 luty 2014. Dostęp: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2012/EB/ECE_EB.AIR_120_ENG.pdf.
- UN, 2015. Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions. United Nations Economic Commission for Europe, document nr ECE/ EB.AIR/129. Wyd. 24 marzec 2015 Dostęp: <http://www.unece.org/environmentalpolicy/conventions/envlrapwelcome/publications.html>.
- UNECE, 2014. Możliwości ograniczania emisji amoniaku. Wytyczne Grupy Zadaniowej UNECE ds. Azotu Reaktywnego. Opublikowane przez Centre for Ecology and Hydrology (CEH), Edynburg UK, w imieniu Grupy Zadaniowej ds. Azotu Reaktywnego Konwencji UNECE w sprawie transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń powietrza na dalekie odległości. ISBN: 978-1-906698-46-1, © Centre for Ecology and Hydrology, 2014. Dostęp: www.clrtap-tfrn.org.