

## Opracowanie metod redukcji tlenków azotu z obornika bydła mlecznego

Joanna Pawłowska<sup>1</sup>, Agata Szewczyk<sup>2</sup>, Jacek Walczak<sup>1</sup>, Wojciech Krawczyk<sup>1</sup>

*Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, <sup>1</sup>Zakład Systemów i Środowiska Produkcji, <sup>2</sup>Zakład Hodowli Bydła, 32-083 Balice k. Krakowa*

Aktywność rolnicza to źródło niemal 11% światowej emisji gazów cieplarnianych (GHG) (Rotz, 2017). Sektor produkcji zwierzęcej uwalnia do środowiska znaczne ilości dwutlenku węgla, metanu, amoniaku i podtlenku azotu. Wydawałoby się, że szkodliwość tych gazów ma charakter lokalny. Jednak, ze względu na rozmiar i intensyfikację współczesnej produkcji zwierzęcej ilość uwalnianych gazów i procesów zachodzących w trakcie przechowywania odchodów ma istotne znaczenie dla środowiska w skali globalnej. Do grupy zwierząt produkujących znaczące ilości gazów cieplarnianych należy bydło mleczne. Szacuje się, że na całym świecie bydło produkuje 5,335 Mt ekwiwalentu CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e), co stanowi 11% całkowitej emisji antropogenicznej (Smith i in., 2014). Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że źródłem GHG w chowie bydła są procesy fermentacji jelitowej i przemiany biologiczno-chemiczne zachodzące podczas przechowywania obornika. Dla pełnego zrozumienia tych procesów i możliwości dokładnego szacowania emisji gazów zaprojektowano model „Molly”, który symuluje trawienie i metabolizm krowy. Na podstawie tego modelu badacze z Nowej Zelandii stworzyli dokładną prognozę produkcji metanu od krów mlecznych, utrzymywanych na pastwiskach (Gregorini i in., 2014). Inwentaryzacją gazów cieplarnianych zajmuje się szereg instytucji naukowych i organizacji rządowych. Jednostką odpowiedzialną za kalkulację emisji gazów cieplarnianych w Polsce jest Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE), który zgodnie z zaleceniami IPCC do szacowania emisji GHG wykorzystuje metodologię *Tier 2*. Jednocześnie, w przedstawionych założeniach metodycznych brak jest danych dotyczących dotychczasowego efektu redukcji GHG w rolnictwie. Dlatego według Walczaka (2017),

w kontekście wspomnianych działań powstaje zapotrzebowanie na opracowanie krajowej metodyki szacowania redukcji gazów cieplarnianych.

Obornik powstający z produkcji zwierzęcej jest potencjalnym źródłem gazów cieplarnianych, ponieważ zawiera znaczne ilości azotu (większość w formie nieorganicznej), węgla i wody – czyli trzech istotnych składowych ditlenku azotu i metanu (Chadwick, 2011). Prawidłowe zarządzanie obornikiem wpływa na wielkość strat gazowych oraz możliwości ich redukcji. Gospodarowanie obornikiem jest etapem ciągłym i rozpoczyna się w momencie wytworzenia odchodów przez zwierzęta, poprzez przechowywanie, obróbkę aż po nawożenie. Każdy z tych etapów, z uwagi m.in. na odmienne warunki środowiska fizykochemicznego, charakteryzuje się własnym potencjałem redukcyjnym. W miejscu bytowania zwierząt powstają szkodliwe domieszki gazowe, które wraz z wentylowanym powietrzem są emitowane do środowiska zewnętrznego. Ograniczenie i redukcja emisji tych gazów z chowu zwierząt są możliwe dzięki zastosowaniu różnych zabiegów technologicznych, zoohigienicznych czy żywieniowych (Szewczyk i Pawłowska, 2017). W przypadku nawożenia jedną z metod, charakteryzującą się stosunkowo dużym potencjałem redukcyjnym, jest dogłębowa iniekcja gnojownicy (Hansen i in., 2003; Rodhe i in., 2004). Z kolei, przy przechowywaniu obornika ograniczenie emisji gazów jest również możliwe poprzez zastosowanie tradycyjnych lub nowoczesnych technik redukcyjnych (kompostowanie, przykrywanie przym, zakwaszanie obornika) (Portejoie i in., 2003; Bicudo i in., 2004; Guarino i in., 2006).

Celem przeprowadzonych badań było określenie możliwości redukcji emisji tlenków azotu z miejsc przechowywania odchodów po-

chodzących od wysoko wydajnych, nisko wydajnych i zasuszonych krów mlecznych.

### Materiały i metody

Materiał doświadczalny stanowił obornik w ilości 5 t/pryzmę, pochodzący od 158 krów mlecznych rasy czb (z udziałem 70% hf). Krowy mleczne zostały podzielone na podstawie wydajności mlecznej (zasuszone, średnia wydajność – 7 tys. kg mleka, wysoka wydajność – 10 tys. kg mleka). W skład obornika, poza odchodami, wchodziły w zależności od zastosowanego systemu utrzymania zwierząt także trociny oraz nie cięta słoma pszenna wykorzystywane w pomieszczeniach gospodarskich jako ściółka.

Zwierzęta były żywione zgodnie z obowiązującymi normami IZ INRA (2009), przy stałym dostępie do wody. Obornik krów mlecznych był przechowywany na płycie gnojowej w 5 przyzmach – odpowiadających poszczególnym grupom technologicznym – o wymiarach 3,0 x 2,0 x 1,5 m przez okres 3 miesięcy w okresie wiosenno-letnim (od maja do lipca).

Doświadczenie wykonano w 3 powtórzeniach, a przyzmy obornika poddano odpowiednim modyfikacjom. Pierwsza stanowiła grupę kontrolną bez modyfikacji, a pozostałe 4 zostały pokryte odpowiednio: folią kiszonkarską, słomą pszenną, filmem olejowym oraz poddane wapnowaniu (schemat doświadczenia zamieszczono poniżej).

Układ doświadczenia – *Experimental design*

Wyszczególnienie <i>Item</i>	Liczba powtórzeń <i>Number of repetitions</i>	Obornik – <i>Manure</i>		
		krowy (7 tys. kg mleka) <i>cows (7,000 kg of milk)</i>	krowy (10 tys. kg mleka) <i>cows (10,000 kg of milk)</i>	krowy zasuszone <i>dry cows</i>
Kontrola – <i>Control</i>	3	15 t	15 t	15 t
Folia kiszonkarska – <i>Silage wrap</i>	3	15 t	15 t	15 t
Olej roślinny – <i>Vegetable oil</i>	3	15 t	15 t	15 t
Wapnowanie – <i>Liming</i>	3	15 t	15 t	15 t
Słoma pszenna – <i>Wheat straw</i>	3	15 t	15 t	15 t

Podczas wykonywania poszczególnych pomiarów przyzmy były pokryte tunelami aerodynamicznymi własnego pomysłu, tzw. *climatic tunnel*. Wlot zastosowanych tuneli był szczelnie połączony z wolnoobrotowym wentylatorem o średnicy 1,0 m oraz wydajności przepływu 1 m/s. Dopływ „świeżego” i usuwanie „zużytego” powietrza były w pełni sterowane poprzez mechaniczny system wentylacji. Dzięki temu szczegółowy monitoring obejmował zarówno skład powietrza wlotowego, jak i wylotowego. Szczegółowe dane pomiarowe dotyczące mikroklimatu (temperatury zewnętrznej, wilgotności względnej, ruchu powietrza) oraz temperatury wewnętrznej przyzmy zostały zebrane przy pomocy miernika elektronicznego firmy Testosterm – Testo 9610, natomiast poziom emisji tlenków azotu w powietrzu został określony za pomocą fotojonizacyjnego miernika gazowego (MEXA-1170HCLD) firmy Horiba. Emisja wspomnianych

tlenków w jednostce czasu, w przeliczeniu na tonę, została obliczona z objętości przepływu powietrza i występującego w nim stężenia gazu podzielonej przez ilość ton obornika.

Zebrane dane opracowano statystycznie przy użyciu pakietu komputerowego Statgraphics 6.0 z zastosowaniem jednoczynnikowej analizy wariancji. Istotność różnic pomiędzy średnimi ustalono testem Duncana.

### Wyniki i ich omówienie

Średnie wartości parametrów mikroklimatycznych otoczenia z okresu przechowywania obornika bydlęcego w okresie wiosenno-letnim przedstawia tabela 1. Prawidłowe przechowywanie obornika pozwala na ograniczenie emisji gazowych, ponadto istnieje wiele zabiegów agrotechnicznych, które mają potencjał redukcyjny. W przeprowadzonych badaniach własnych wykorzystano modyfikacje lub dodatki, charaktery-

zujące się łatwą dostępnością i stosunkowo niską ceną. Dane dotyczące redukcji tlenków azotu

z miejsc przechowywania odchodów od krów mlecznych przedstawia tabela 2.

Tabela 1. Średnie wartości parametrów mikroklimatycznych otoczenia w trakcie trzymiesięcznego przechowywania przyzmu obornika bydła mlecznego  
Table 1. Mean outdoor climate values during manure heaps storage

Temperatura <i>Temperature (°C)</i>	Prędkość ruchu powietrza <i>Rate of air movement (m/s)</i>	Wilgotność zewnętrzna <i>Outdoor humidity (%)</i>
17,67	2,97	64,55

Tabela 2. Średnia emisja dobową tlenków azotu z trzymiesięcznego okresu przechowywania obornika bydła mlecznego (kg/t)

Table 2. Mean daily emission of nitrogen oxides from dairy cattle manure stored for a three-month period (kg/t)

Wyszczególnienie <i>Item</i>	Grupa technologiczna – <i>Technological group</i>								
	krowy (7 tys. kg mleka) <i>cows (7,000 kg of milk)</i>			krowy (10 tys. kg mleka) <i>cows (10,000 kg of milk)</i>			krowy zasuszone <i>dry cows</i>		
	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Kontrola <i>Control</i>	0,0261 a	0,0152 Aa	0,0413 Aa	0,0227 a	0,0142 Aa	0,0369 Aa	0,0196	0,0079 Aa	0,0275 a
Folia									
kiszonkarska <i>Silage wrap</i>	0,0204 b	0,0058 Bb	0,0262 Bb	0,0195 b	0,0061 Bb	0,0256 Bb	0,0181	0,0052 Bb	0,0232 ab
Olej roślinny <i>Vegetable oil</i>	0,0243 a	0,0046 Bc	0,0289 ABb	0,0231 a	0,0060 Bb	0,0291 BCbc	0,0184	0,0052 Bb	0,0236 ab
Wapnowanie <i>Liming</i>	0,0260 a	0,0071 Cd	0,0331 ABab	0,0226 a	0,0067 Bb	0,0293 BCbc	0,0159	0,0055 BCbc	0,0214 bc
Słoma									
pszenna <i>Wheat straw</i>	0,0240 a	0,0080 Cd	0,0320 ABab	0,0225 a	0,0103 Cc	0,0328 ACac	0,0169	0,0041 Cc	0,0211 bc
SEM	0,002	0,0002	0,002	0,001	0,0002	0,001	0,001	0,0001	0,001

a, b – wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ( $P \leq 0,05$ ).

A, B – wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie wysoce istotnie ( $P \leq 0,01$ ).

a, b – values in columns with different letters differ significantly ( $P \leq 0,05$ ).

A, B – values in columns with different letters differ highly significantly ( $P \leq 0,01$ ).

Przykrycie przyzmu obornikowych folią kiszonkarską spowodowało istotne statystycznie zmniejszenie emisji NO we wszystkich grupach technologicznych z wyjątkiem obornika od krów zasuszonych, gdzie redukcja NO była najmniejsza i statystycznie nieistotna. Wykorzystanie folii kiszonkarskiej pozwoliło na ograniczenie emisji NO z obornika krów o średniej wydajności o 22%, o wysokiej natomiast o 14%. Zastosowanie zabiegów modyfikujących redukcję tlenków azotu z przyzmu obornika bydłowego okazało się bardziej skuteczne w przypadku emisji NO<sub>2</sub>. Folia kiszon-

karska, olej roślinny, wapnowanie i słoma pszenna wysoce istotnie ograniczyły emisję ditlenku azotu z obornika wszystkich grup technologicznych bydła. Najskuteczniejszą metodą redukcji emisji tego gazu w przypadku obornika krów o średniej i wysokiej wydajności okazało się przykrycie przyzmu warstwą filmu olejowego, co ograniczyło emisję odpowiednio o 70 i 58% ( $P \leq 0,01$ ). Zabieg ten ograniczył istotnie ( $P \leq 0,01$ ) emisję NO<sub>2</sub> także z obornika krów zasuszonych, ale największą redukcję z obornika tej grupy technologicznej, sięgającą 48%, stwierdzono w przyzmu przykry-

tej słomą, która okazała się materiałem o niższym potencjale redukującym ditlenek azotu z obornika krów o średniej wydajności, a w najniższym stopniu zredukowała emisję tego gazu z obornika krów o wysokiej wydajności. We wszystkich grupach technologicznych wysokim potencjałem redukcyjnym  $\text{NO}_2$ , w niewielkim stopniu ustępującym olejowi roślinnemu, odznaczała się folia kiszonkarska, która w przypadku obornika krów zasuszonych w takim samym stopniu ograniczyła emisję  $\text{NO}_2$  jak warstwa oleju roślinnego (34%).

Na podstawie przedstawionych w tabeli 2 wartości, dotyczących średniej emisji wszystkich tlenków azotu łącznie ( $\text{NO}_x$ ) z obornika krów mlecznych można wnioskować, że największą, potwierdzoną statystycznie ( $P \leq 0,01$ ) skutecznością redukcji  $\text{NO}_x$  w przypadku obornika krów o średniej wydajności charakteryzowało się przykrycie przyzmy folią kiszonkarską (37%) i warstwą oleju roślinnego (30%), natomiast najmniej skutecznym zabiegiem ograniczającym emisję było wapnowanie (20%). Obornik od krów o wysokiej wydajności przykryty warstwą oleju roślinnego emitował o 21%, a folią kiszonkarską o 31% mniej  $\text{NO}_x$ , natomiast skuteczność redukcji tej frakcji gazowej w przypadku folii i oleju w przyzmych obornika krów zasuszonych była najmniejsza. Największą redukcję emisji  $\text{NO}_x$  w tej grupie technologicznej krów stwierdzono dla przyzmy przykrytych słomą (24%).

Efektywność zastosowanych dodatków czy zabiegów redukcyjnych zależy od wielu czynników, a w przypadku okrywania obornika skuteczność tego zabiegu zależy od właściwości fizykochemicznych użytego materiału organicznego, jego przepuszczalności, degradacji czy porowatości (FAO, 2013). Trociny, ekspandowana glina czy słoma wykorzystywane w opisywanym doświadczeniu charakteryzują się półprzepuszczalnością, zróżnicowaną porowatością i nieznacznie mniejszą skutecznością redukcji emisji szkodliwych domieszek gazowych towarzyszących produkcji zwierzęcej w porównaniu do zastosowanych w badaniach: folii kiszonkarskiej i oleju roślinnego, przy czym należy podkreślić najwyższą skuteczność słomy w redukcji  $\text{NO}_2$  i  $\text{NO}_x$  z obornika krów zasuszonych. Jednym z ograniczeń stosowania jako pokrycia obornika tego materiału organicznego jest stosunkowo krótki czas jego użytkowania, który w zależności od panujących warunków atmosferycznych

wynosi kilka miesięcy, podczas gdy np. folię kiszonkarską można wykorzystywać nawet kilka lat. Mimo tych ograniczeń, jak już wspomniano, słoma stosowana do przykrywania obornika charakteryzuje się korzystnym potencjałem redukcyjnym. W przypadku obornika krów o średniej wydajności słoma miała wyższy potencjał redukcyjny niż olej roślinny. Podobna zależność występowała w przypadku obornika od krów zasuszonych, na który zastosowano wapnowanie. Nielsen i in. (2010) skłaniają się ku opinii, że zastosowanie półprzepuszczalnych materiałów do okrywania przyzmy stwarza optymalne warunki tlenowe na ich powierzchni dla procesu nityfikacji, którego produktem ubocznym jest ditlenek azotu ( $\text{NO}_2$ ), co potwierdzają badania własne i najmniejsza redukcja emisji tej frakcji gazowej z obornika krów o średniej (48%) i wysokiej wydajności (27%) przy zastosowaniu pokrycia ze słomy. Jednocześnie, zastosowanie tej techniki wpływa korzystnie na emisję innych szkodliwych gazów, tj. amoniak i metan (VanderZaag i in. 2008). Zestawienie wyników uzyskanych przez Guarino i in. (2006) ukazuje także wpływ grubości warstwy słomy na redukcję amoniaku z przechowywanej świńskiej gnojowicy. Na podstawie literatury przedmiotu można stwierdzić, że zastosowanie 70 mm warstwy słomy nie ma istotnego potencjału redukcyjnego, natomiast już przy warstwie o grubości 140 mm redukcja tego gazu wynosi blisko 86%. Tak więc, potencjał redukcyjny słomy i jej efektywność zależą nie tylko od jej rodzaju i właściwości, ale także od grubości warstwy. Zastosowanie szeroko dostępnego wapna nawozowego również sprzyja redukcji tlenków azotu. Według Skowrońskiej i Filipka (2017), aplikacja wapna nawozowego do gleby, poprzez zmianę aktywności denitryfikatorów i nityfikatorów, reguluje ilość wytwarzanego  $\text{N}_2\text{O}$ . Dlatego, na podstawie badań własnych można wysnuć przypuszczenie, że wapnowanie obornika, poprzez wzrost jego pH, ogranicza straty gazowe, co może przyczynić się do zwiększonego wykorzystania azotu z nawozów naturalnych. W prezentowanych badaniach wapnowanie w największym stopniu przyczyniło się do redukcji  $\text{NO}$  z obornika krów zasuszonych (19%) i przewyższyło swoją skutecznością ograniczenie emisji tego gazu za pośrednictwem słomy (14%), folii kiszonkarskiej (8%) i oleju roślinnego (6%) przy  $P \leq 0,05$ . Z kolei, okrywanie obornika kro-

wiego warstwą filmu olejowego w największym stopniu ograniczyło emisję NO<sub>2</sub> z pryzm tego nawozu od krów o średniej i wysokiej wydajności, redukując tę frakcję gazu odpowiednio o 70 i 58%. Źródła literaturowe podają, że zastosowanie warstwy filmu z oleju roślinnego na pryzmach obornika może mieć potencjał redukcyjny na poziomie 90% (Portejoie i in., 2003; Guarino i in., 2006). W przypadku tej substancji płynnej pochodzenia roślinnego na uwagę zasługuje fakt, że pomimo wspomnianej skuteczności jest ona mało praktyczna ze względu na trudności w jej aplikacji i związaną z tym możliwość mieszania się z obornikiem. Folia kiszonkarska okazała się najskuteczniejszym materiałem stosowanym w opisywanym doświadczeniu do redukcji tlenków azotu z badanego obornika. Ograniczyła ona w najwyższym stopniu emisję NO i NO<sub>x</sub> z obornika krów o średniej (odpowiednio: 22 i 37%) i wysokiej wydajności

(odpowiednio: 14 i 31%). Jest ona najdroższym spośród zastosowanych materiałem redukującym tlenki azotu z obornika krów, a koszty poniesione wraz z jej zakupem znacznie przewyższały nakłady związane z użyciem materiałów naturalnych. Jednocześnie, folia poza wysoką skutecznością redukcji wykazuje się także dużą trwałością i odpornością na oddziaływanie warunków zewnętrznych.

W praktyce rolniczej wybór metody magazynowania (zabezpieczenia) obornika zależy w głównej mierze od jej dostępności i uwarunkowań ekonomicznych gospodarstwa. Koszty zastosowania sztucznych, nieprzepuszczalnych materiałów okrywowych znacznie przewyższają koszty surowców naturalnych, a początkowe nakłady finansowe stanowią barierę dla ich powszechnego stosowania, mimo że wykorzystanie materiałów sztucznych zapewnia długotrwałość w ich stosowaniu.

Tabela 3. Średnia temperatura wewnętrzna pryzm obornika bydła mlecznego z trzymiesięcznego okresu jego przechowywania (°C)

Table 3. Mean temperature range inside cattle manure heaps over a three-month storage period (°C)

Wyszczególnienie <i>Item</i>	Grupa technologiczna – <i>Technological group</i>		
	krowy (7 tys. kg mleka) <i>cows (7,000 kg of milk)</i>	krowy (10 tys. kg mleka) <i>cows (10,000 kg of milk)</i>	krowy zasuszone <i>dry cows</i>
Kontrola – <i>Control</i>	45,38 ABb	53,77 a	43,04 a
Folia kiszonkarska – <i>Silage wrap</i>	36,53 BCc	47,57 ab	48,23 ab
Olej roślinny – <i>Vegetable oil</i>	33,16 Cc	45,98 ab	56,56 b
Wapnowanie – <i>Liming</i>	57,77 Aa	44,96 b	48,31 ab
Słoma pszenna – <i>Wheat straw</i>	48,18 Bb	43,43 b	45,11 a
SEM	1,54	1,31	1,53

a, b – wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ( $P \leq 0,05$ ).

A, B – wartości w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie wysoko istotnie ( $P \leq 0,01$ ).

*a, b – values in columns with different letters differ significantly ( $P \leq 0.05$ ).*

*A, B – values in columns with different letters differ highly significantly ( $P \leq 0.01$ ).*

Czynnikiem istotnie wpływającym na poziom emisji tlenków azotu w okresie wiosenno-letnim (maj-lipiec) z obornika krów o średniej i wysokiej wydajności oraz zasuszonych, m.in. poprzez regulację procesów zachodzących w przechowywanych odchodach, jest temperatura wewnętrzna pryzm. Analiza średnich wartości temperatury wewnątrz pryzm wykazała różnice między dodatkami w obrębie grup (tab. 3). Największe zróżnicowanie w poziomie średnich temperatur w pryzmach zanotowano w przypad-

ku obornika pochodzącego od krów o średniej wydajności mlecznej. W przypadku tej grupy technologicznej najwyższą średnią temperaturą charakteryzowała się pryzma, która została pokryta wapnem nawozowym. Po zastosowaniu tego pokrycia stwierdzono jej statystycznie wysoko istotny wzrost, kształtujący się na poziomie 57,8°C. Z kolei, w przypadku pryzm pokrytych folią kiszonkarską i olejem roślinnym odnotowano spadek temperatur. Średnia wartość temperatur tych dwóch pryzm kształtowała się na pozio-



mie 34,9°C. Zastosowane czynniki doświadczalne wpłynęły redukująco na temperaturę wewnątrz przyzmy w grupie technologicznej krów o wysokiej wydajności mlecznej. Średnia temperatura przyzmy w grupach z zastosowanymi dodatkami redukującymi kształtowała się na poziomie 45,5°C i była niższa w stosunku do grupy kontrolnej o 20%. W przypadku obornika od krów zasuszonych najwyższą temperaturą wewnątrz przyzmy charakteryzował się obornik pokryty filmem z oleju roślinnego, a najniższą obornik bez zastosowanego neutralizatora. Różnice w obu tych przypadkach były statystycznie istotne. Badania wpływu temperatury wewnętrznej przyzmy na tempo przemian zachodzących w oborniku krów mlecznych oraz wielkość emisji tlenków azotu i rodzaj stosowanych metod redukcyjnych wymagają kontynuacji i przeprowadzenia dodatkowych doświadczeń także w okresie jesiennym i zimowym.

Na podstawie uzyskanych wyników można przedstawić następujące uogólnienia dotyczące skuteczności zastosowanych metod redukcyj-

nych. Po przeprowadzeniu porównania wartości dotyczących średniej emisji wszystkich tlenków azotu łącznie należy stwierdzić, że wszystkie zastosowane pokrycia/surowce posiadały potencjał redukcyjny.

Najsukuteczniejszą metodą redukcji tlenków azotów pochodzących z przechowywania obornika bydłowego było w przypadku krów o średniej wydajności mlecznej przykrycie przyzmy folią kiszonkarską i olejem roślinnym. W przypadku obornika pochodzącego od krów o wysokiej wydajności największą redukcję tlenków azotu także uzyskano stosując folię. Z kolei, emisja tlenków azotu z obornika od krów zasuszonych była najniższa po zastosowaniu dodatku wapna. Z przeprowadzonych badań wynika, że różnice w skuteczności zastosowanych metod/surowców w redukcji tlenków azotu zależą od źródła obornika, a selektywność redukcji jest spowodowana różnicą w zawartości azotu w odchodach zwierzęcych w zależności od kategorii zwierząt gospodarskich oraz technologii ich chowu.

### Literatura

- Bicudo J., Schmidt D., Jacobson L. (2004). Using covers to minimize odor and gas emissions from manure storages. University of Kentucky, Cooperative Extension Service, College of Agriculture ([www.ca.uky.edu](http://www.ca.uky.edu)).
- Chadwick D., Sommer S., Thorman R., Fanqueiro R. (2011). Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 166–167: 514–531.
- FAO (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production. A review of technical options for non-CO<sub>2</sub> emissions. Rome.
- Gregorini P., Beukes P., Hanigan M., Waghorn G., Muetzel S. (2014). Comparison of updates to the Molly cow model to predict methane production from dairy cows fed pasture. *J. Dairy Sci.*, 96: 5046–5052.
- Guarino M., Fabbri C., Brambilla M., Valli L., Navarotto P. (2006). Evaluation of simplified covering systems to reduce gaseous emissions from livestock manure storage. *T. ASABE*, 49 (3): 737–747.
- Hansen M.N., Sommer S.G., Madsen N.P. (2003). Reduction of ammonia emission by shallow slurry injection: injection efficiency and additional energy demand. *J. Environ. Qual.*, 32: 1099–1104.
- IZ PIB-INRA (2009). Normy żywienia przeżuwaczy. Wartość pokarmowa francuskich i krajowych pasz dla przeżuwaczy. Praca zbiorowa, J. Strzetelski (red.), IZ PIB, Kraków.
- Nielsen D., Schramm A., Revsbech N. (2010). Oxygen distribution and potential ammonia oxidation in floating liquid manure crusts. *J. Environ. Qual.*, 39: 1813–1820.
- Portejoie S., Martinez J., Guiziou F., Coste M.C. (2003). Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission process. *Bioresource Tech.*, 87 (3): 199–207.
- Rodhe L., Rydberg T., Gebresenbet G. (2004). The influence of shallow injector design on ammonia emissions and draught requirement under different soil conditions. *Biosyst. Eng.*, 89: 237–251.
- Rotz C.A. (2017). Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 101: 1–16.
- Skowrońska M., Filipek T. (2017). Wpływ wapnowania na emisję CO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>O. Aktualny stan problematyki ochrony środowiska i zmian klimatu w sektorze rolnictwa. Opracowanie monograficzne. Kraków, ss. 93–113.
- Smith P., Clark H., Dong H., Elsiddig E.A., Haberl H., Harper R., House J., Jafari M. i in. (2014). Rozdział 11 – Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate*

- Change. IPCC Working Group III Contribution to AR5. Cambridge University.
- Szewczyk A., Pawłowska J. (2017). Opracowanie metod redukcji tlenków azotu z produkcji zwierzęcej. Najefektywniejsze metody redukcji niekorzystnych oddziaływań rolnictwa w zakresie środowiska naturalnego i zmian klimatu oraz możliwości szacowania ich efektów. Opracowanie monograficzne. Kraków, ss. 49–66.
- VanderZaag A.C., Gordon R., Glass V., Jamieson R. (2008). Floating covers to reduce gas emissions from liquid manure storages: a review. *Appl. Eng. Agric.*, 24: 657–671.
- Walczak J. (2017). Możliwości odzwierciedlania w krajowych raportach emisji efektu redukcyjnego. Opracowanie metod redukcji tlenków azotu z produkcji zwierzęcej. Najefektywniejsze metody redukcji niekorzystnych oddziaływań rolnictwa w zakresie środowiska naturalnego i zmian klimatu oraz możliwości szacowania ich efektów. Opracowanie monograficzne, Kraków, ss. 88–101.

## DEVELOPMENT OF METHODS TO REDUCE NITROGEN OXIDES FROM STORED DAIRY MANURE

### Summary

Given the current knowledge about greenhouses gas emission from agriculture, the aim of this study was to determine the reduction potential of nitrogen oxides from livestock manure storage. The study was aimed at evaluating the efficiency of four treatments in reducing nitrogen oxides from manure coming from various technological groups of dairy cattle. The coverings included: wheat straw, silage film, vegetable oil and liming. Gas emissions were measured according to the “climatic tunnel”, using the gas meter. All the treatments proved effective in reducing nitrogen oxides from dairy manure. Silage film, vegetable oil and liming were the most effective materials. It was observed that effectiveness of nitrogen oxides emission reduction treatments depends on technological group of dairy cattle.

**Key words:** cattle manure, nitrogen oxide, reduction of emissions



Fot.: archiwum Redakcji