

Metody zmniejszania emisji odorów w budynkach inwentarskich i ich otoczeniu

Małgorzata Kunowska-Słószarz, Justyna Gurdała,
Marcin Gołębiowski, Tomasz Przysucha

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Szczegółowej Hodowli Zwierząt,
ul. Ciszewskiego 8, 02-786 Warszawa*

W dzisiejszych czasach mieszkańcy wsi w krajach wysoko cywilizowanych nie chcą już być postrzegani jako ludzie z niższych sfer. W większości mają oni już swobodny dostęp do internetu, nie mówiąc o energii elektrycznej, telefonach komórkowych czy kanalizacji. Życie na wsi stało się równie wygodne jak w mieście. Część mieszkańców miast wyprowadza się dzięki temu na tereny wiejskie, gdzie życie wydaje się im tańsze, a poprzez kontakt z przyrodą także przyjemniejsze (stanowią 9% mieszkańców wsi, z czego 18% zajmuje się rolnictwem; Komunikat badań CBOŚ, 2013). Praca w rolnictwie, dzięki nowoczesnym maszynom i technologiom, także stała się łatwiejsza i bardziej efektywna. Nic więc dziwnego, że coraz większą uwagę zwraca się też na poprawę jakości powietrza, gdyż aż 17% skarg na odory związane jest z chowem i hodowlą zwierząt (Kośmider i in., 2002). Występowanie tych problemów spowodowało rozwój badań nad zmniejszeniem uciążliwości zapachowej. Duża różnorodność opracowanych metod umożliwia hodowcom dobór takiej, która spełni ich oczekiwania zarówno w zakresie skuteczności, jak i kosztów jej wdrożenia i eksploatacji.

Intensyfikacja produkcji zwierzęcej spowodowała wzrost zainteresowania różnych organizacji, zajmujących się ochroną środowiska i wpływem tego działu gospodarki na środowisko. Gospodarstwa małe wywierają pozytywny wpływ na środowisko: nawozy naturalne z produkcji zwierzęcej są wykorzystywane do nawożenia pól, wypasanie zwierząt jest sposobem na rekultywację nieużytków, płodozmian zapobiega wyjąławianiu gleby. W obecnych czasach go-

spodarstwa stają się bardziej specjalistyczne. Zazwyczaj zajmują się chowem jednego gatunku zwierząt. To, co do tej pory było plusem, staje się negatywnym aspektem rolnictwa. Fermi nie mają wystarczającej powierzchni gruntów na zagospodarowanie produkowanych przez nie nawozów naturalnych, zwierzęta są utrzymywane najczęściej w systemie alkierzowym, bez możliwości korzystania z pastwisk. Ujednolicona produkcja zwierzęca spowodowała także zmiany w uprawie roślin, które coraz częściej są uprawiane w monokulturze. Organizacje chroniące środowisko, biorąc te wszystkie czynniki pod uwagę, zaczęły wywierać naciski na rządy krajów wysoko cywilizowanych w celu stworzenia przepisów, określających warunki funkcjonowania ferm zwierzęcych. W dużych skupiskach zwierząt wzrasta wydzielanie nieprzyjemnych zapachów. Także ten parametr jest uwzględniany w prawodawstwie, którego rozwój w krajach europejskich rozpoczął się we wczesnych latach 80. dwudziestego wieku.

W Polsce wśród ustaw i rozporządzeń, dotyczących zanieczyszczeń powietrza, należy wymienić następujące:

- Dyrektywa Rady 96/61/WE z 24 września 1996 r. w sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń (tzw. Dyrektywa IPPC),
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. Nr 62, poz. 627),
- Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U., 2007, nr 147, poz. 1033),
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa

i Rozwoju Wsi z dnia 1 czerwca 2001 r. w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania (Dz. U., 2001, nr 60, poz. 616),

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 26 lipca 2002 r. w sprawie rodzajów instalacji, mogących powodować znaczne zanieczyszczenie poszczególnych elementów przyrodniczych albo środowiska jako całości (Dz. U., 02.122.1055),
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, alarmowych poziomów niektórych substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji (Dz. U. Nr 87, poz. 796).

Żaden z wymienionych aktów prawnych nie dotyczy jednak zapachowej jakości powietrza. Wśród skarg, dotyczących zanieczyszczenia powietrza, 30% odnosi się do uciążliwości zapachowej, z czego 17% – odorów, pochodzących z chowu i hodowli zwierząt. Gazowe zanieczyszczenia powietrza są mierzone ilościowo, co nie ma przełożenia na ich wężchową wyczuwalność. Kontrole nie wykazują przekroczenia dopuszczalnych norm zawartości zanieczyszczeń w powietrzu, przez co organy kontrolujące nie mogą podjąć żadnych działań. W polskim prawodawstwie już kilkakrotnie podejmowano próby stworzenia ustawy o przeciwdziałaniu uciążliwości zapachowej. Ostatni taki projekt powstał w 2008 r. Do tej pory ustawa ta jednak nie została przyjęta do legalizacji. W jej zamyśle uciążliwość zapachowa byłaby mierzona z zastosowaniem olfaktometrii dynamicznej lub statycznej. Podmiot odpowiedzialny za nadmierną emisję odorów, w przypadku nie podjęcia działań zmierzających do zmniejszenia własnej szkodliwości, mógłby zostać ukarany ograniczeniami swojej działalności, całkowitym jej zakazem oraz sankcjami pieniężnymi.

Metody zmniejszania emisji odorów

Żywienie

Odory w produkcji zwierzęcej pochodzą głównie z odchodów. Rozkład przez bakterie beztlenowe zawartych w nich niestrawionych

białek powoduje powstawanie nieprzyjemnej mieszaniny zapachowej. Jej skład jest różny w zależności od tego, jaki jest skład aminokwasowy wydalonych białek. Z rozpadu tryptofanu i tyrozyny powstają indol, skatol i fenol. Metionina odpowiada za pojawienie się w powietrzu siarkowodoru, a cystyna za benzaldehyd. Jednak, w największej ilości pojawia się amoniak. W celu zmniejszenia emisji substancji złoonych należy zatem skupić się na zbilansowaniu dawki pokarmowej zwierząt. Nadmiar białka w paszy nie jest wskazany, ponieważ nie może być w pełni wykorzystany, a jest to najdroższy ze składników odżywczych. Niestety, zadowalające efekty z tego rozwiązania występują jedynie w hodowli trzody chlewnej. Pasze o zredukowanej zawartości białka są wzbogacane o niektóre aminokwasy egzogenne w formie krystalicznej, takie jak: lizyna, metionina, cysteina, tyrozyna, tryptofan, arginina, leucyna. Dodatek tych aminokwasów musi być odpowiednio dobrany dla poszczególnych grup technologicznych zwierząt. Zależnie od wieku, zwierzęta mają różne zapotrzebowanie na poszczególne aminokwasy bądź mogą przekształcać jedne aminokwasy w inne i tym samym zaburzać równowagę składu białek (National Research Council, 1998).

Przeprowadzono wiele badań, w których zwierzęta były żywione paszą o zredukowanej zawartości białka, lecz wzbogaconą o aminokwasy egzogenne, a także zawierającą dodatkowe składniki, poprawiające strawność i wykorzystanie składników odżywczych. Celem eksperymentu, przeprowadzonego przez Cho i in. (2008), było zbadanie wpływu diety na parametry wzrostu i emisję odorów z gnojowicy u warchlaków. Pasza podstawowa zawierała 19,5% białka ogólnego, natomiast druga pasza zawierała 16% białka ogólnego, lecz była wzbogacona o lizynę, metioninę, treoninę i tryptofan. W efekcie uzyskano zmniejszenie emisji amoniaku z 34,8 do 25,8 ppm (redukcja o 26%), siarkowodoru z 5,3 do 3,8 ppm (redukcja o 28,3%) oraz merkaptanów z 6,3 do 5,5 ppm (redukcja o 12,7%). Niestety, prosięta żywione paszą eksperymentalną przyrastały wolniej od osobników żywionych mieszanką tradycyjną. Średnio na kilogram zjedzonej paszy przyrastały 0,426 kg. Warchlaki żywione paszą tradycyjną przyrastały natomiast 0,465 kg na 1 kg zjedzonej paszy (Cho i in., 2008). W badaniach Hayesa

i in. (2004) zastosowano cztery dawki pokarmowe o zawartości białka ogólnego na poziomie 130, 160, 190 i 220 g/kg. Żywiono nimi tuczniaki w ostatnim okresie tuczu. Największe stężenie odorantów ($115,8 \text{ ou}_e\text{s}^{-1}/1 \text{ SD}$) występowało w grupie, żywionej paszą zawierającą 190 g białka na 1 kg paszy, a nie przy 220 g/kg, co było jednak tłumaczone zachwianiem równowagi C:N bądź niedoborem węglowodanów. W grupie żywionej paszą o najmniejszej ilości białka – emisja odorów w przeliczeniu na 1 SD wynosiła $77,64 \text{ ou}_e\text{s}^{-1}$, czyli była mniejsza o 33% w stosunku do najwyższego stężenia, stwierdzonego w tym doświadczeniu. W przypadku paszy o zawartości 160 g/kg paszy było to odpowiednio $80,03 \text{ ou}_e\text{s}^{-1}$ (mniej o 31% w stosunku do najwyższego stężenia odnotowanego w tym eksperymencie).

Coraz częściej stosowaną metodą jest żywienie czterofazowe tuczniaków. W każdym okresie tuczu zapotrzebowanie zwierząt na białko jest inne, a przy odpowiednim jego doborze poprawia się retencja azotu, co również ma wpływ na intensywność odorów. Skuteczność żywienia trzody chlewnej paszą o zmniejszonej zawartości białka w redukowaniu odorów z odchodów zależy od kilku czynników. Każda grupa technologiczna reaguje na taki system żywienia inaczej: najwięcej korzyści osiąga się u tuczniaków w pierwszym okresie tuczu. Dodatek aminokwasów egzogennych zapewnia ich niezbędną ilość w organizmie, co wpływa na lepsze zbilansowanie dawki pokarmowej i w konsekwencji – efektywniejszy wzrost. Żywiąc zwierzęta paszą o zredukowanej zawartości białka, warto zadbać o dodatki, poprawiające jego strawność, dzięki którym można mieć pewność, że dostarczane białko jest wykorzystywane w maksymalnym zakresie.

W żywieniu przeżuwaczy natomiast, aby zmniejszyć ilość amoniaku, powstającego w odchodach zwierząt, jak podaje Pietrzak (2009), należy dążyć do zmniejszenia dawek podawanych zielonek na rzecz pasz objętościowych o mniejszej zawartości białka, takich jak kiszonka z kukurydzy, siano, słoma itp., a także spasać ruń łąkową w późniejszej fazie wzrostu lub ograniczać ilość skarmianej zielonki łąkowej i jednocześnie zwiększać podawanie wysoko energetycznych pasz treściwych. Co ciekawe, ważne jest również utrzymywanie zwierząt od-

znaczających się wysoką wydajnością, co daje dobre efekty w ograniczeniu wydalania azotu przez przeżuwacze, ponieważ zwierzęta wysoko produkcyjne wydalają w odchodach mniejsze ilości azotu w przeliczeniu na jednostkę produktu (np. mleka) niż zwierzęta o gorszych cechach użytkowych (Pietrzak, 2009).

Efektywne mikroorganizmy

Za rozkład substancji organicznych, w tym także odchodów zwierzęcych, odpowiadają mikroorganizmy. W licznych badaniach wykazano, że są to głównie bakterie z rodzaju *Streptococcus*, *Peptostreptococcus*, *Staphylococcus*, *Lactobacillus*, *Escherichia* (produkuje indol – gaz o bardzo intensywnym, nieprzyjemnym zapachu), *Bacillus*, *Eubacterium sp.*, *Clostridium sp.*, *Propionibacterium* (jeden gatunek wytwarza indol), *Peptococcus* i *Megasphaera* (Zhu, 2000).

W wyniku ich działalności powstają lotne związki chemiczne o charakterystycznym nieprzyjemnym zapachu. Paradoksem jest jednak fakt, że do zmniejszenia emisji odorantów można także wykorzystać określone gatunki bakterii. W badaniach, przeprowadzonych przez Matusiak i in. (2013), zastosowano bakterie wyizolowane z: gleby – *Bacillus subtilis subsp. spizizenii*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas sp.*, *Streptomyces violaceoruber*, *Candida inconspicua*; kiszonek – *Leuconostoc mesenteroides*; pomiotu kurzego – *Psychrobacter faecalis*. Bakterie te są tlenowcami, a ich optymalna temperatura rozwoju mieści się w granicach od 22 do 37°C. Autorzy skupili się na wpływie wymienionych bakterii na usuwanie odorowych związków lotnych, takich jak kwas izomasłowy, dimetyloaminy, trimetyloaminy oraz siarkowodór (tab. 1). Spośród wymienionych bakterii najlepiej sprawdziły się *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* i *Pseudomonas fluorescens*, które zmniejszają zawartość związków odorowych w pomiole kurzym nawet o 49,58% (tab. 1). Tylko w przypadku kwasu izomasłowego widoczna redukcja nastąpiła już w drugim dniu od zastosowania bakterii. W pozostałych przypadkach lepsze efekty uzyskano po czterech dniach.

W badaniach Durka i in. (2010) rozszerzono ich zakres i dodatkowo porównano skuteczność działania zawiesiny mikroorganizmów w wodzie destylowanej, zawiesiny wodnej z lio-

filizatów i preparatu handlowego. Z analizy porównawczej wynika, że najlepsze wyniki dało zastosowanie własnej mieszaniny liofilizatów, która usuwała związki lotne w zakresie od 10,5 do 24%. EM (efektywne mikroorganizmy) można stosować na kilka sposobów, m.in. jako dodatek do paszy lub wody, co zapobiega występowaniu procesów gnilnych w układzie pokarmowym, poprawia strawność paszy i neutralizuje mykotoksyny.

Stosowanie ich w postaci oprysku oraz jako dodatek do obornika lub gnojowicy pozwala na szybki rozkład odchodów do postaci nie wydzielającej tak bardzo intensywnych woni. Wśród dodatkowych korzyści należy wymienić ujednoczenie frakcji gnojowicy, zmniejszenie wilgotności ściółki, a w konsekwencji zapobieganie jej gniciu i ograniczenie zagrzewania przy kompostowych.

Systematyczne i wielotorowe stosowanie preparatów z mikroorganizmami zwiększa odporność zwierząt, a w przypadku wystąpienia np. zatruc pokarmowych łagodzi ich przebieg, przyspiesza powrót do zdrowia, ułatwia gojenie ran. Wśród ekonomicznych korzyści dla hodowcy warto wymienić lepsze wykorzystanie składników z pasz, poprawę kondycji zwierząt i ich lepsze przyrosty. U kur niosek powoduje zwiększenie znoszonych przez nie jaj oraz pogrubienie ich skorupy, a co za tym idzie zredukowanie liczby jaj pękniętych.

Dużym utrudnieniem może być brak możliwości zapewnienia optymalnych warunków rozwoju dla Efektywnych Mikroorganizmów. Przykładem jest zbyt niska temperatura obornika z chlewni, beztlenowe warunki panujące w lagunach z gnojowicą (podczas, gdy bakterie usuwające odory są głównie tlenowcami), zbyt niskie pH w nowym środowisku. Jak wykazują najnowsze badania, można usprawnić ich pracę dzięki zastosowaniu zestawu mikroorganizmów żyjących w synergii i symbiozie.

Kluczem do minimalizowania emisji odorów ze ściółki przy użyciu Efektywnych Mikroorganizmów (EM) jest właściwy ich dobór do środowiska. Preparaty obecnie dostępne na rynku nie zawsze spełniają ten wymóg w stu procentach. Niezbędna jest także podstawowa wiedza o procesach fizycznych, chemicznych i biologicznych, zachodzących w oborniku, które mogą mieć wpływ na działanie EM.

Biogazownie

Biogazownie rolnicze są reklamowane jako instalacje, produkujące odnawialną energię oraz stanowiące dodatkowe źródło dochodu dla rolnictwa, jednak oprócz tego mogą także posłużyć jako metoda utylizacji odorów. Fermentacja metanowa jest procesem biochemicznym, podczas którego mikroorganizmy w procesie beztlenowym przekształcają związki organiczne w potrzebną dla nich energię oraz metan jako produkt uboczny. Jest to proces dość skomplikowany, zachodzący w czterech etapach, a w każdym z nich bierze udział inna grupa bakterii o odmiennych wymaganiach mikroklimatycznych. Poszczególne fazy są następujące:

- faza hydrolityczna – białka, tłuszcze i węglowodany są rozkładane do aminokwasów, kwasów tłuszczowych, gliceryny i cukrów. Biomasa przechodząca do następnego etapu nazywana jest już pulpą;
- faza kwasowa – produkty z fazy pierwszej są zamieniane w kwas octowy, propionowy i masłowy, wydzielane są też niewielkie ilości wodoru, dwutlenku węgla, alkoholu i kwasu mlekowego;
- faza octowa – lotne kwasy tłuszczowe zostają tutaj przekształcone w kwas octowy, wodór i dwutlenek węgla; ta oraz następna faza wymagają bezwzględnie warunków beztlenowych;
- faza metanowa – metan i dwutlenek węgla są tu produkowane przez archebakterie metanowe, najbardziej wrażliwe na warunki życia.

Wyprodukowany biogaz zawiera: 50–75% metanu, 20–45% dwutlenku węgla oraz niewielkie ilości pary wodnej, siarkowodoru i amoniaku. Podział substratów wykorzystywanych w biogazowni jest następujący (Myczko i in. 2011):

- inokulujące, inaczej zaszczepiające, np. gnojowica krów mlecznych, bydła i świń; zawierają odpowiednie grupy bakterii fermentacji metanowej, dzięki czemu ułatwiają rozpoczęcie procesu fermentacji;
- adhezyjne;
- łatwo fermentujące: do tej grupy zaliczane są komponenty pasz dla bydła, np. kiszonka z kukurydzy, resztki roślinne z produkcji rolnej, pozostałości przemysłu rolno-spożywczego, a także odchody zwierząt gospodarskich;

- trudno fermentujące i niebezpieczne, których udział w masie całej partii odpadów nie może przekroczyć 10%. Można tu zaliczyć obornik kurzy, odpady z rzeźni II i III kategorii, część odpadów z przemysłu rolno-spożywczego.

Jak się okazuje, biogazownie, które mają być rozwiązaniem problemu odorów z ferm, bardzo często są przyczyną protestów mieszkańców. W ponad 19% powodem sprzeciwu jest obawa o nadmierną emisję substancji złownonych (Curkowski i in., 2014).

Biogazownie rolnicze, których głównym substratem w produkcji gazu powinny być odchody zwierzęce (obornik, gnojowica, pomiot kurzy) w dodatni sposób wpływają na zmniejszenie ilości odorantów pochodzących z tych właśnie źródeł. W ciągu pierwszej godziny po zastosowaniu świńskiej gnojowicy na polu stężenie zapachowe może wynosić $500 \text{ ou}_E/\text{m}^3$. Przefermentowana gnojowica bądź kompost pochodzący z biogazowni odznaczają się znaczną redukcją uciążliwości zapachowej, a także krótszym czasem jej odczuwania, tak jak przedstawia to wykres 1. Ich woń można porównać z zapachem bogatej w humus ziemi ogrodniczej.

W celu minimalizacji możliwości powstawania odorów przy produkcji biogazu konieczne jest przestrzeganie kilku podstawowych zasad (Curkowski i in., 2014):

- odległość od budynków mieszkalnych powinna być odpowiednia (w niektórych przypadkach może to być jedynie 100 m, przy stosowaniu odpadów z rzeźni odległość należy zwiększyć);
- biogazownię należy zlokalizować jak najbliżej miejsca powstawania głównego substratu;
- czas magazynowania substratu powinien być możliwie jak najkrótszy (z wyjątkiem kiszonek);
- substraty płynne w miarę możliwości należy wprowadzić bezpośrednio do hermetycznego zbiornika lub przetransportować je rurociągami z miejsca wytworzenia;
- środki transportu wykorzystywane do przewozu substratów muszą być hermetyczne oraz utrzymywane w czystości, a ich trasy wyznaczone w taki sposób, by omijać tereny o gęstej zabudowie;

- należy utrzymywać odpowiednie parametry projektowych instalacji (czas retencji, odpowiedni poziom pH, odpowiednia temperatura i inne).

Istotną wadą biogazowni jest koszt jej budowy, przez co jest to instalacja dostępna tylko dla bardzo dużych ferm bądź przedsiębiorstw. Niektórzy oponenci wskazują też na fakt, że nie da się wyprodukować biogazu z samej gnojowicy i obornika, niezbędny jest dodatek słomy i kiszonki z kukurydzy. Przez to zmniejsza się powierzchnia gruntów, przeznaczona na produkcję paszy dla zwierząt.

Chociaż przepisy Unii Europejskiej zmuszają nas do pozyskiwania coraz większej części energii ze źródeł odnawialnych, to rząd polski do niedawna nie tylko nie wprowadzał żadnych uproszczeń w zakładaniu biogazowni rolniczych, lecz wręcz przeciwnie, mnożyło trudności. Główne wsparcie krajowe dla producentów biogazu jest oparte na systemie zielonych certyfikatów. Dopłata jest przyznawana do każdej wyprodukowanej jednostki energii elektrycznej bez względu na koszt pozyskania surowca, przez co biogazownie rolnicze są mniej konkurencyjne w porównaniu np. do biogazowni produkujących biogaz wysypiskowy. Według Popczyka i in. (2011) przyjęcie przez polski rząd dokumentów, takich jak:

- Polityka Energetyczna Polski do 2030 r. (Polityka przyjęta przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 r.);
- Krajowy Plan Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych (Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 7 grudnia 2010 r.);
- Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010–2020 (Program przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 13 lipca 2010 r.);
- oraz przeprowadzenie kampanii informacyjno-edukacyjnej może być szansą na zwiększenie liczby biogazowni oraz poprawę ich rentowności.

Pasy zieleni

Kolejną metodą, stosowaną w celu ograniczenia uciążliwości odorowej w najbliższym otoczeniu ferm zwierząt, jest zastosowanie ochronnych pasów zieleni jako strefy buforowej. Inną ich nazwą jest VEB (Vegetative Environ-

mental Buffers), czyli Roślinne Bufory Środowiska. Ich pierwotnym przeznaczeniem była ochrona przed wiatrem, jednak z czasem zauważono także inne zalety tego rozwiązania. Zastosowanie ich wokół miejsc intensywnego chowu zwierząt pozwala zmniejszyć maksymalną odległość rozprzestrzeniania się odorów (MODD), inaczej nazywaną też odległością separacyjną, wyznaczoną prawnie między budynkami fermowymi a sąsiednimi zabudowaniami (Tyndall i Colletti, 2006).

Pierwotną funkcją ochronnych pasów zieleni było zmniejszanie siły i kierunku wiatru. Ich dodatkowymi zaletami są: powstrzymywanie erozji wietrznej i wodnej gleby, filtrowanie zawieszin wpływających z pól, ograniczanie hałasu, tworzenie miejsca życia dla wielu dzikich zwierząt, zastosowanie jako bariery przeciwnieźne, poprawa wyglądu estetycznego fermy i wreszcie ograniczanie nieprzyjemnych woni pochodzących z fermy (Lin, 2006; Tyndall i Colletti, 2000). Mechanizm działania VEB polega na (Tyndall i Colletti, 2000):

- rozcieńczaniu stężenia odorantów poprzez transportowanie powietrza wraz z odorantami z dolnej do wyższej części atmosfery (mała prędkość wiatru sprawia, że odory zatrzymują się nisko przy powierzchni w niewielkiej odległości od źródła, a zadrzewienia powodują turbulencje i unoszenie powietrza i odorantów do góry i ich rozproszenie);
- pobudzaniu kurzu i aerozoli do odkładania się po nawietrznej stronie wiatrochronów (pasów zieleni);
- fizycznym przechwytywaniu kurzu i innych aerozoli na powierzchni liści;
- pochłanianiu lotnych związków organicznych, w tym także substancji zapachowych, na drodze absorpcji, adsorpcji, a także dzięki znajdujących się na liściach mikroorganizmom, które potrafią je metabolizować.

Chemikalia mogą wejść do rośliny na trzy sposoby: na zasadzie dyfuzji gazowej poprzez otwarte szparki liściowe; jeżeli substancje chemiczne są rozpuszczalne mogą wejść przez szparki w postaci rozpuszczonej; mogą być wchłaniane i adsorbowane do tkanek roślinnych.

Wyniki doświadczenia, przeprowadzonego w 2003 r. na terenach fermowych w poł-

udniowo-zachodnim Montrealu w prowincji Quebec, pokazują wpływ zastosowania VEB na jakość zapachową powietrza (Lin i in., 2007). Wykorzystano w tym celu cztery pasy zieleni zróżnicowane względem siebie kilkoma cechami, przedstawionymi w tabeli 2. Jako wartości kontrolne wykorzystano pomiary, wykonane na wolnej przestrzeni, bez drzew, gdzie mierzono także drogę rozprzestrzeniania się odorów. Źródłem odorów w tym doświadczeniu była gnojowica z chlewni, znajdująca się w mobilnym generatorze odorów. Wartości MODD były mierzone dla dwóch stężeń odorantów: 2 OU/m³ i 1 OU/m³.

Badania nad wpływem konkretnych czynników na efektywność zastosowania VEB dały następujące wyniki: dzięki zastosowaniu roślinnych stref buforowych można zmniejszyć MODD o co najmniej 21%, zależnie od jego parametrów. Przy pasach zieleni o porowatości 35% MODD może być zmniejszony o 42% w porównaniu do pasów zieleni o porowatości 55%. Pasy zieleni usytuowane bliżej źródła odorów lepiej wychwytyją zapachy niż te, które znajdują się w odległości 60 m; nawet o 34%. Pasy zieleni, składające się z drzew iglastych, w porównaniu z topolami zmniejszyły MODD o 9–32%. Przyczyną tego są ich silnie rozłożyste gałęzie, które stawiają większy opór wiatrom, utrudniając rozproszenie. Drzewa iglaste odznaczają się większą porowatością aerodynamiczną niż drzewa liściaste, przy tej samej porowatości optycznej. Przy niższej temperaturze odory mogą być przenoszone na dalsze odległości. Ciepłe powietrze ma większą lepkość, dlatego odory nie mogą być tak daleko rozprzestrzeniane. Większa prędkość wiatru zmniejszyła MODD nawet o 27%. Kierunek wiatru również wpływa na wielkość MODD, mogąc ją zmniejszyć nawet o 30% (Lin i in., 2007).

Odory powstające podczas manipulacji gnojowicą, składowania jej, przemieszczania, pochodzące z urządzeń wentylacyjnych z budynków gospodarskich mogą zostać powstrzymane przez pasy zieleni. Nie jest to metoda skuteczna w stu procentach, ponieważ wiele zależy od warunków klimatycznych. Nie poprawia ona także warunków panujących w budynkach fermowych.

W tym celu muszą zostać wykorzystane inne sposoby na zmniejszenie uciążliwości zapachowej, tak dla ludzi, jak i dla zwierząt. Można

ją uznać za ostatnią linię obrony przed rozprzestrzenianiem się odorów.

Biofiltracja

Biofiltracja jest technologią, pozwalającą na likwidację lub ograniczanie ilości zanieczyszczeń o charakterze odorowym lub toksycznym w gazach odlotowych (Chmiel i Palica, 2005). Biologiczne oczyszczanie gazów może być przeprowadzane dzięki zastosowaniu biofiltrów lub biofluczki. Działanie biofiltrów jest oparte na rozkładzie złoŃownych substancji przez mikroorganizmy do substancji o neutralnym zapachu. Metoda ta różni się od stosowania EM tym, że tutaj drobnoustroje występują w specjalnym podłożu. Mogą stanowić je: gleba, torf, kompost, kora, włókno kokosowe, czyli substancje naturalne, porowate, zawierające składniki odżywcze. Dzięki temu spełniają warunki dla prawidłowego rozwoju mikroorganizmów. Oczyszczanie przy pomocy biofiltrów jest przeznaczone do usuwania gazów występujących w niewielkich stężeniach, o niskim progu wyczuwalności zapachowej. Początkowo była to metoda stosowana w oczyszczalniach ścieków, przemyśle produkcji żywności i pasz, zakładach utylizacyjnych. Jednak, wraz z powstawaniem ferm zwierząt, generujących duże ilości zanieczyszczeń, wykorzystanie biofiltrów poszerzyło się i o ten dział gospodarki. Zanieczyszczone powietrze z budynków inwentarskich jest tłoczony do nawilżacza, a następnie przechodzi przez złożę biofiltru. W procesie rozkładu gazów odorowych biorą udział organizmy chemoheterotroficzne, pozyskujące energię i węgiel ze związków organicznych. Są to głównie bakterie tlenowe i grzyby mikroskopowe. Rozkładając odory, tworzą nową biomasę bakteryjną, dwutlenek węgla i wodę. W celu osiągnięcia maksymalnej skuteczności należy przestrzegać wymaganych zakresów temperatury (20–40°C), pH (5–7), wilgotności, a prędkość przepływu powietrza powinna wynosić 0,03–0,1 m/s (Kwarciak-Kozłowska i Bańka, 2014). Odpowiednia konserwacja, czyli napowietrzanie bądź dodatek świeżego materiału i jego dokładne wymieszanie, pozwoli korzystać z biofiltru nawet 7 lat (Datta i Allen, 2005). Wadą jest duża powierzchnia, jaką zajmuje biofiltr oraz jego koszt. Choć koszty inwestycyjne i eksploatacyjne w przeliczeniu na ilość metrów sześciennych

oczyszczonego powietrza są dużo niższe niż w przypadku spalania lub absorpcji, to i tak jest to kosztowna inwestycja dla ferm. Skuteczność nowoczesnych biofiltrów wynosi 95–99% zależnie od warunków mikroklimatu (Gao i in., 2001; Chmiel i Palica, 2005). Alternatywą dla biofiltrów są biofluczki. Stosuje się w nich zawieszony mikroorganizmów (osadu czynnego), którą splukiwane jest obojętne złożę. Podczas biologicznego oczyszczania powietrza zanieczyszczenia są początkowo absorbowane w wodzie, a następnie dochodzi do rozkładu substancji pochłoniętych przez mikroorganizmy. W wyniku oczyszczania powietrza z udziałem organizmów powstają proste związki nieorganiczne, które są zawarte w wodzie. Metoda ta nie wymaga dostarczania dużych ilości energii, a dużą jej zaletą jest brak uciążliwych ścieków (Szykowska i in., 2009). Przewagą biofluczki nad biofiltrami jest ich mniejszy rozmiar, możliwość oczyszczania powietrza o większym przepływie z zanieczyszczeń występujących w większym stężeniu oraz prostsza obsługa. Wadą biofluczki jest utrudnione usuwanie gazów słabo rozpuszczalnych w wodzie oraz większy koszt zakupu i eksploatacji. Niezbędny jest także systematyczny napływ zanieczyszczonego powietrza, które jest źródłem składników odżywczych dla drobnoustrojów (maksymalnie kilka dni, tymczasem w biofiltrze może to być nawet 2 miesiące). W działaniu biofluczki można wyróżnić dodatkowy etap, występujący przed biodegradacją przez mikroorganizmy, polegający na absorpcji gazów wylotowych w wodzie (Singh i in., 2005). Biofiltry i biofluczki, oprócz eliminowania odorów, wpływają także na zmniejszenie zapylenia o 85%, usuwają bakterie Gramujemne niemal w 100% oraz endotoksyny w granicach od 11 do 51% (średnio 26,4%). Dzięki temu powietrze po zakończeniu oczyszczania jest mniej szkodliwe i spełnia normy prawne (Tymczyna i in., 2007).

Nawożenie gnojowicą

Ważnym etapem produkcji zwierzęcej, podczas którego dochodzi do emisji odorantów, jest rozwożenie na pola nawozów organicznych. W szczególności jest to związane z wywożeniem gnojowicy, ponieważ obornik z reguły charakteryzuje się mniej intensywną wonią, a dodatkowo sposób jego stosowania uniemożliwia nam ja-

kierunkowe znaczące modyfikacje w tym zakresie. Inną sytuacją jest w przypadku gnojowicy. Powszechnie stosowaną metodą rozlewania gnojowicy jest zastosowanie wozów asenizacyjnych. Coraz rzadziej natomiast używane są w tym celu rurociągi do deszczowania zakończone armatkami. Wyróżnia się trzy sposoby rozlewu gnojowicy na polu: rozbryzgowy, powierzchniowy, doglebowy. Każdy z nich posiada zarówno wady, jak i zalety. W metodzie rozbryzgowej gnojowica swobodnie wypływająca z wozu jest rozbijana na jednej lub dwóch płytkach rozbryzgowych. Pokrycie gleby wynosi około 2–3 m, co wiąże się z dużą liczbą przejazdów. Szerokość tę można zwiększyć, stosując specjalne przystawki, pompy wirowe lub kompresory, niestety zwiększa to jednocześnie emisję amoniaku i odorów. Jest to metoda najczęściej stosowana i najtańsza, gdyż wymaga jedynie posiadania wozu asenizacyjnego.

W Holandii, gdzie powstają duże ilości gnojowicy z intensywnego chowu trzody chlewnej, rozbryzgowy rozlew gnojowicy został prawnie zakazany. Rozlew powierzchniowy następuje dzięki specjalnym przystawkom z węzami wleczonymi o szerokości roboczej nawet ponad 20 m. Wiąże się to z zastosowaniem rozdzielacza oraz zbiorników o pojemności 20–28 m³. Zaletą jest to, że gnojowica jest rozprządzana po glebie, przez co zmniejsza się emisja odorów; umożliwia to także zastosowanie nawożenia pogłównego w międzyrzędziach bez obawy o spalanie roślin (Dach, 2006).

Najnowszą, najlepszą i niestety najkosz-

towniejszą metodą rozlewania gnojowicy jest zastosowanie aplikacji doglebowej na głębokość 5–15 cm. Na użytkach zielonych stosuje się w tym celu aplikatory talerzowe. W przypadku gruntów ornych istnieje więcej możliwości, gdyż aplikator może być połączony z kultywatorem z zębami sztywnymi lub elastycznymi, broną talerzową, wałem oponowym, sekcjami gwiazdowymi. Ta metoda rozlewu gnojowicy zapewnia dokładne przykrycie lub/i wymieszanie z glebą, co zmniejsza straty azotu o 95%, emisję odorów i daje oszczędność czasu. Następuje też eliminacja czynnika pogodowego, tak bardzo istotnego w poprzednich metodach. Wadą jest cena aplikatora doglebowego, która może być równa cenie wozu asenizacyjnego oraz konieczność posiadania ciągnika o mocy co najmniej 200 KM (Zbytek i Łowiński, 2009).

Podsumowanie

Współczesne badania dostarczają hodowcom wielu skutecznych metod zwalczania odorów w budynkach inwentarskich i w ich otoczeniu. Zależnie od gatunku i ilości utrzymywanych zwierząt, posiadanych budynków i zastosowanych tam systemów można wybrać odpowiedni sposób usuwania substancji złośliwych. Zastosowanie odpowiednio dobranych metod zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza odorantami pozwoli osiągnąć obustronne zadowolenie – zarówno ze strony okolicznych mieszkańców, jak i ze strony hodowców, a także będzie miało pozytywny wpływ na dobrostan utrzymywanych zwierząt.

Literatura

- Chmiel K., Palica M. (2005). Modelowanie procesu biofiltracji. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 7: 143–171.
- Cho J.H., Chen Y.J., Minb J., Yoo J.S., Wang Y., Kim I.H. (2008). Effects of reducing dietary crude protein on growth performance, odor gas emission from manure and blood urea nitrogen and IGF-1 concentrations of serum in nursery pigs. *Anim. Sci. J.*, 79 (4): 453–459.
- Curkowski A., Oniszk-Popławska A., Michałowska-Knap K., Wiśniewski G. (2014). Studium przypadku akceptacji społecznej i oceny ryzyka uciążliwości odorowej dla biogazowni rolniczych. Warszawa, Instytut Energetyki Odnawialnej.
- Dach J. (2006). Jak rozlewać gnojowicę? *Bydło*, 5: 58–60.
- Datta I., Allen D.G. (2005). *Biofilter Technology*. W: *Biotechnology for odor and air pollution*. Praca zbior. Red. Shareefdeen Z., Singh A. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Durka K., Gutarowska B., Borowki S., Pielech-Przybylska K., Irzyniec Z., Korczyński M., Kołacz R. (2010). Ocena efektywności usuwania związków odorowych z pomiotu kurzego przez aktywną mikroflorę. *Ekologia i Technika*, 1 (104): 12–20.
- Gao L., Keener T.C., Zhuang L., Siddiqui K.F. (2001). A technical and economic comparison of biofiltration

- and wet chemical oxidation (scrubbing) for odor control at wastewater treatment plants. *Environ Eng. Policy*, 2: 203–212.
- Hayes E.T., Leek A.B.G., Curran T.P., Dodd V.A., Carton O.T., Beattie V.E., O'Doherty J.V. (2004). The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses. *Biores. Technol.*, 91: 309–315.
- Komunikat badań. Wieś polska – rdzenni i nowi mieszkańcy (2013). Warszawa. Centrum Badania Opinii Społecznej.
- Kośmider J., Mazur-Chrzanowska B., Wyszyński B. (2002). *Odory*. PWN, Warszawa.
- Kwarciak-Kozłowska A., Bańka B. (2014). Biofiltracja jako metoda unieszkodliwiania odorów powstających podczas kompostowania frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych i przemysłowych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 17 (4): 631–645.
- Lin X.J. (2006). Simulation of odour dispersion around natural windbreaks. Department of Bioresource Engineering Macdonald Campus of McGill University Ste-Anne-de-Bellevue, Quebec, Canada.
- Lin X.J., Barrington S., Nicell J., Choinière D. (2007). Effect of natural windbreaks on maximum odour dispersion distance (MODD). *Canadian Biosystems Engineering*, 49: 621–632.
- Matusiak K., Gutarowska B., Borowski S. (2013). Charakterystyka mikroorganizmów zdolnych do usuwania odorowych związków lotnych z pomiotu kurzego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 13, 1 (41): 89–101.
- Myczko A., Myczko R., Kołodziejczyk T., Golimowska R., Lenarczyk J., Janas Z., Kliber A., Karłowski J., Dolska M. (2011). Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. Wyd. ITP.
- National Research Council (1998). *Nutrient Requirement of Swine*. Tenth Revised Edition. Washington D.C., USA.
- Pietrzak S. (2009). Dobre praktyki w zakresie ograniczania emisji amoniaku z nawozów. *Mat. instr.*, 133/17, IMUZ, Falenty.
- Popczyk J., Chrzanowski D., Tazarek R., Cwil M., Grochowski J., Myczko A., Grządzielski I., Szczepaniak M., Hołyszewski G., Józwiak M. (2011). Biogazownie rolnicze – mity i fakty. Praca zbiorowa pod red. Józwiak M. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa.
- Singh A., Shereefdeen Z., Ward O.P. (2005). Bioscrubber technology. W: *Biotechnology for odor and air pollution*. Praca zbiorowa pod redakcją Shareefdeen Z., Singh A., Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Szynkowska M., Wojciechowska E., Węglińska A., Paryjczak T. (2009). Odory. Aktualny problem w ochronie środowiska. *Przem. Chem.*, 88 (6): 712–720.
- Tymczyzna L., Chmielowiec-Korzeniowska A., Drabik A. (2007). The effectiveness of various biofiltration substrates in removing bacteria, endotoxins, and dust from ventilation system exhaust from a chicken hatchery. *Poultry Sci.*, 86: 2095–2100.
- Tyndall J., Colletti J. (2000). Air quality and shelterbelts: Odor mitigation and livestock production. – A literature review. Final project report, Forestry Department, Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A.
- Tyndal J., Colletti J. (2006). Mitigating swine odor with strategically designed shelterbelt systems: a review. *Agroforest Syst.*, 69: 45–65.
- Zbytek Z., Łowiński Ł. (2009). Techniki aplikacji gnojowicy. *Technika Rolnicza, Ogrodnicza i Leśna*, 3.
- Zhu J. (2000). A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 78: 93–106.

METHODS FOR REDUCING ODOR EMISSIONS IN LIVESTOCK BUILDINGS AND THEIR SURROUNDINGS

Summary

In the article the most important methods for removing odors from livestock buildings and their surroundings were presented. Odor nuisance is an increasingly common cause of complaints. The establishment of large farms also contributes to an increase in the odor emissions. A search for ways to minimize the negative effects of excessive concentration of animals such as air pollution is therefore one of the most important issues examined not only by scientists involved in the protection of the environment, but also environmental engineers, farmers and breeders. The basic methods of combating excessive emission of odors is: proper feeding of animals, the use of biogas, green belts, biofilters, bioscrubbers and new technologies of slurry application. The working methods have been successfully used in Europe and in the world. Also in Poland, some of them are already operating successfully, bringing benefits to farmers and local residents.

Key words: odorus, windbreaks, biofilter, biogas