

INFLUENCE OF AERATION LEVEL ON AMMONIA EMISSIONS INTENSITY DURING COMPOSTING

Summary

Sewage sludge is created in the process of urban waste water purification. Produced by each sewage sludge plant, sewage sludge is mainly stored in dumping ground which is unfavourable due to its composition (high content of organic matter) and will be forbidden after 2012. However, the sewage sludge seems to be very good substrate for composting giving (in optimal conditions) valuable organic fertilizer.

WPŁYW INTENSYWNOŚCI NAPOWIETRZANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH NA EMISJĘ AMONIAKU PODCZAS KOMPOSTOWANIA

Streszczenie

Osady ściekowe powstają w wyniku oczyszczania ścieków. Wytwarzane są w każdej oczyszczalni ścieków i są przede wszystkim wywożone na wysypiska śmieci, co jest niekorzystne, biorąc pod uwagę ich właściwości. Osady są bardzo dobrym materiałem do kompostowania, który w odpowiednich warunkach daje znakomity nawóz organiczny.

1. Wprowadzenie

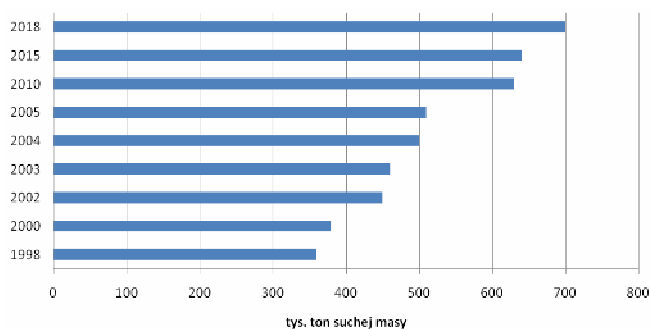
Osady ściekowe powstają jako produkt oczyszczania ścieków. Droga do otrzymania osadów ściekowych o odpowiednich parametrach jest bardzo długa. Składa się na nią wiele procesów fizycznych, fizyczno-chemicznych, biologicznych prowadzonych w oczyszczalniach ścieków.

Osad ściekowy według CEN (Europejski Komitet Normalizacyjny) to mieszanina wody i ciał stałych oddzielonych z różnych typów wody w rezultacie procesów naturalnych lub sztucznych. Również polskie ustawodawstwo w sposób jednoznaczny zwraca uwagę na proces zagospodarowania osadów ściekowych. Jest to ustawa z dnia 27.04.2001 roku (Dz. U. 2002.62.628 z dnia 20.06.2001 roku). Rząd Polski zdając sobie sprawę, jak ważna jest odpowiednia gospodarka osadami, wydał Rozporządzenie z dnia 11.08.1999 roku, w którym zawarł informacje dotyczące warunków, jakie mają być spełnione przy wykorzystaniu osadów na cele nieprzemysłowe. W szczególności dotyczy to zagospodarowania osadów przez producentów rolnych na cele nawozowe na swoich polach, kładąc duży nacisk na wartości progowe metali ciężkich w osadach wykorzystywanych do nawożenia oraz stężenia metali ciężkich w glebach, na których te osady mają być stosowane. Ponadto w wymienionym rozporządzeniu jest szereg informacji dotyczących zakresu oraz częstotliwości badań i poboru próbek do analiz osadów ściekowych i gleb.

Obecnie w Polsce osady ściekowe stanowią bardzo ważny problem społeczny, jak również ekologiczny. Wynika to z braku strategii ich zagospodarowania, w perspektywie kilkunastu najbliższych lat, pomimo że ich ilość drastycznie będzie wzrastała. Na rys. 1. przedstawiono wzrosty masy wytwarzanych osadów w Polsce do 2018 roku.

Na rys. 1 widać znaczną dynamikę wzrostu masy osadów ściekowych. Według prognoz z lat 1990. poziom realnie osiągnięty w 2006 roku miał nastąpić w 2010 roku [1]. Tym faktem nie należy się niepokoić, wręcz przeciwnie.

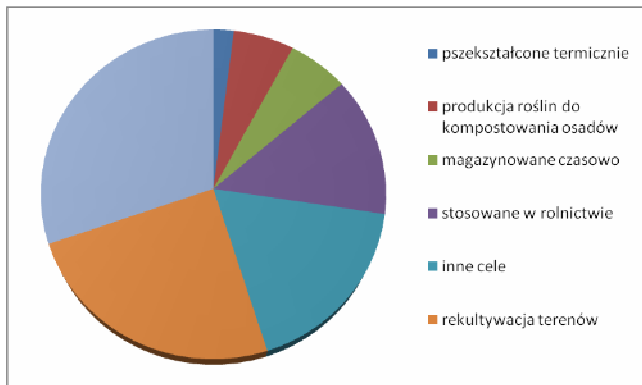
Świadczy to o intensywnym rozwoju infrastruktury związanej z oczyszczaniem ścieków i budową nowych oczyszczalni. Ponadto, na szeroką skalę wprowadzono nowoczesne technologie oczyszczania ścieków, oparte głównie na metodach biologicznych. Metody biologiczne oczyszczania ścieków są bardzo skuteczne i generują większe ilości osadów [2]. Zwracając szczególną uwagę na ochronę środowiska bardzo ważne jest właściwe zagospodarowanie osadów pod kątem ich właściwości i składu chemicznego.



Rys. 1. Ilość wytworzonych osadów ściekowych w Polsce w kilku ostatnich latach i w perspektywie najbliższych lat; 1998-2005 - według GUS (1997-2007), natomiast prognoza na przyszłe lata za Sadecką 2007

Fig. 1. Mass of produced sewage sludge in Poland in last years and in close perspective 1998-2005 - according to GUS (1997-2007), prognosis on future by Sadecka 2007

Obecnie osady ściekowe najczęściej zagospodarowywane są przez rolnictwo lub składowane na wysypiskach śmieci, a w skrajnych przypadkach, ale dość często, zalegają na terenach oczyszczalni. Na rys. 2 przedstawiono udział sposobów zagospodarowania osadów ściekowych najbardziej popularnych w Polsce.



Rys. 2. Udział metod zagospodarowania osadów ściekowych stosowane w Polsce [4]

Fig. 2. Share of methods of sewage sludge management used in Poland [4]

W związku z intensywną produkcją osadów ściekowych w Polsce problem ich zagospodarowania będzie narastał, a przepisy Komisji Europejskiej od 2012 roku zabronią składowania odpadów na wysypiskach śmieci o zawartości materii organicznej (straty na żarzeniu) powyżej 5%. Wywoła to prawdziwą rewolucję w gospodarce osadami ściekowymi w kraju.

Dlatego też godne uwagi są wszelkiego rodzaju próby utylizacji osadów ściekowych. Analizując sytuację oczyszczalni ścieków w Polsce należy podkreślić, że często są to firmy nie podlegające żadnym ogólnopolskim programom polityki zagospodarowania osadów ściekowych. Każdy samorząd lokalny jest zdany na siebie i prowadzi programy w ramach obowiązującego prawa. Ponadto absurdem legislacyjnym jest to, że najczęściej otrzymywany produkt z osadów ściekowych, którym jest kompost - sprawia często jego właścicielom więcej problemów niż sam osad. Wiąże się to z restrykcyjnymi przepisami prawnymi dopuszczającymi taki kompost do stosowania rolniczego.

Chcąc sprostać wymaganiom Unii Europejskiej w zakresie odpowiedniego zagospodarowania osadów ściekowych należy w Polsce wybudować kompostownię w prawie każdej oczyszczalni ścieków przy niewielkich nakładach finansowych. Alternatywą pozostają spalarnie osadów ściekowych, które pochłaniają ogromne nakłady finansowe i są poza zasięgiem finansowym większości gmin czy nawet związków międzygminnych.

2. Badania nad osadem ściekowym jako substratem do produkcji kompostu

W Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu od wielu lat prowadzi się badania związane z kompostowaniem różnych substratów organicznych. W ostatnich latach szczególnie zainteresowanie wśród naukowców wzbudza osad ściekowy jako materiał organiczny z przeznaczeniem na kompostowanie. W literaturze jest wiele informacji dotyczących kompostowania odpadów biodegradowalnych, które jednak często znacząco różnią się od osadów parametrami fizycznymi i chemicznymi. Utylizując osady ściekowe należy zwrócić uwagę na emisje gazowe zachodzące podczas kompostowania, a w szczególności opracować technologie utylizacji osadów ściekowych, które są niskoemisyjne i wiążą duże ilości amoniaku i węgla w tworzonych związkach organicznych.

Definicja kompostowania to „biologiczna dekompozycja i stabilizacja surowców organicznych w warunkach tlenowych, które pozwalają na występowanie temperatur termofilnych jako wynik biologicznej produkcji ciepła, z końcowym produktem dostatecznie stabilnym do magazynowania i wykorzystywania do użyźniania gleb bez niekorzystnych skutków w środowisku” [5]. Procesy te intensyfikuje się, stwarzając optymalne warunki do przemian metabolicznych mikroorganizmów [6].

Tworząc odpowiednie warunki dla kompostowania osadów ściekowych można w znacznym stopniu ograniczyć niepożądane emisje gazów do atmosfery, a w końcowym efekcie otrzymać dobrej jakości nawóz organiczny. Stosując metody zagospodarowania osadów ściekowych metodą kompostowania rozwiązuje się problem utylizacji osadów, a ponadto uzyskuje pełnowartościowy nawóz. Otrzymany produkt może w znaczący sposób przyczynić się do odrodzenia gleb Wielkopolski, które w znacznej części są ubogie w próchnicę. Kompost ma bardzo dobre właściwości nawozowe oraz może przeciwdziałać wymywaniu składników mineralnych dzięki wysokiemu poziomowi kompleksu sorpcyjnego. Przemiany zachodzące w prawidłowo prowadzonym kompostowaniu powodują, że kompost jest zawsze lepszym materiałem od substratów wejściowych. Jednak odpowiednio modyfikując pewne parametry procesu można jeszcze bardziej zwiększyć zalety otrzymywanego kompostu. Do najczęściej sterowanych czynników optymalizacyjnych wykorzystywanych w procesie kompostowania należą: liczba aeracji oraz jej intensywność, stosunek C:N, proporcja substratów oraz ostateczna gęstość, która przedkłada się bezpośrednio na strukturę kompostowanego materiału i stopień jego natlenienia.

3. Cel aeracji – natlenianie pryzm jako jeden z głównych parametrów wpływających na właściwości otrzymanego kompostu

Prawidłowa ilość tlenu w procesie kompostowania gwarantuje otrzymanie kompostu o bardzo dobrych parametrach nawozowych. Odpowiednie napowietrzanie ma za zadanie utrzymać aktywność biologiczną mikroorganizmów oraz usunąć nadmierną ilość wody występującą początkowo w kompostowanym materiale. Brak odpowiedniego poziomu tlenu (powyżej 5%) skutkuje obumieraniem organizmów tlenowych, których miejsce zajmują beztlenowce. Optymalne stężenie tlenu zawartego w powietrzu powinno być na poziomie od 10 do 21%. Dostarczanie tlenu odbywa się poprzez aerację pryzm. Napowietrzanie musi być zróżnicowane w zależności od materiału, który podlega kompostowaniu [7, 8].

W fazie wzrostu temperatury napowietrzanie powinno być szczególnie intensywne. Jest to związane z bardzo dynamicznym rozmnażaniem bakterii tlenowych. Tlen zapewnia bakteriom aerobowym możliwość życia i rozmnażania się oraz możliwość prawidłowego „przewodzenia” procesu kompostowania.

4. Cel badań

Celem badań było określenie wpływu niedostatecznej aeracji materiału na wielkość emisji amoniaku w czasie kompostowania osadów ściekowych. Brak dostatecznej aeracji jest bowiem jednym z największych zagrożeń dla prawidłowego prowadzenia procesu, dając w konsekwencji

kompost o złych parametrach i prowadząc do nadmiernych emisji gazowych, zwłaszcza amoniaku, metanu i siarkowodoru. Badania przeprowadzono na bazie osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków w Szamotułach, które przetwarzano w 4-komorowym bioreaktorze według standardowej procedury, w celu uzyskania na jego bazie kompostu, który mógłby być wykorzystany jako nawóz organiczny bez ryzyka przeniesienia niebezpiecznych chorób i z zachowaniem norm ochrony środowiska.

W ramach powyższego celu przyjęto następujące zadania do wykonania:

- zbadanie możliwości kompostowania osadu ściekowego z dodatkiem materiału strukturalnego (słomy zbożowej i trocin) i z niezmiennym napowietrzaniem w całym procesie kompostowania w wariantach 2, 3, 4 i 5 l/min, w aspekcie intensywności emisji amoniaku;
- zbadanie intensywności emisji amoniaku w czasie kompostowania osadu ściekowego z dodatkiem materiału strukturalnego (słomy zbożowej i trocin) w zależności od różnej intensywności napowietrzania, zmiennej w czasie;
- zbadanie intensywności emisji amoniaku w czasie kompostowania osadu ściekowego z czasowym zatrzymaniem procesu intensywnego natleniania w różnych odstępach czasu i na różną długość.

5. Metodyka badań

Badania przeprowadzono w skali ćwierć technicznej z wykorzystaniem 4-komorowego bioreaktora do badań modelowych procesów rozkładu tlenowego i beztlenowego w Laboratorium Eko-technologii Instytutu Inżynierii Rolniczej UP w Poznaniu. Budowa bioreaktora (rys. 3), duża jak na warunki laboratoryjne objętość komór (165 dm³), a zwłaszcza ich izolacja termiczna, pozwalały na uzyskanie warunków procesu bardzo zbliżonych do przebiegu kompostowania w warunkach rzeczywistych, co było wykazane również w innych badaniach [10]. Z kolei dzięki systemowi

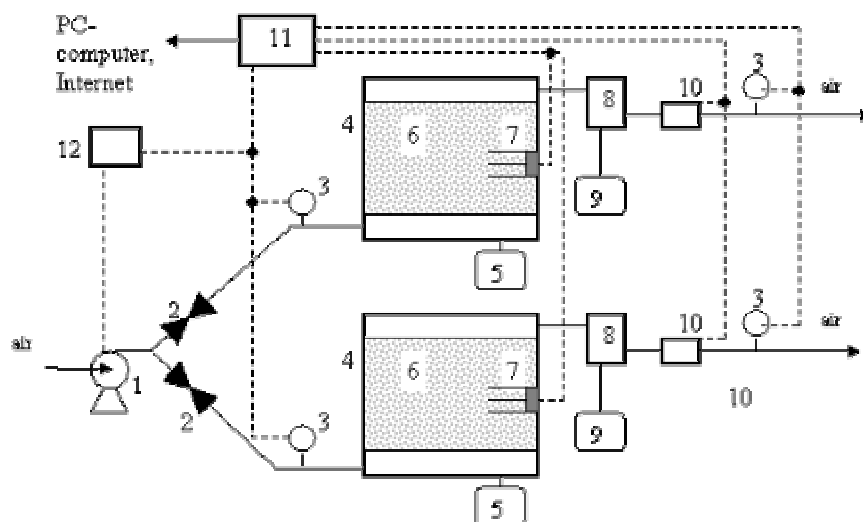
czujników podłączonych do centrali sterująco-rejestrującej współpracującej z komputerem, możliwa była pełna i ciągła kontrola parametrów procesu (przepływ powietrza do komór, temperatura w komorach, ilość i stężenie gazów wychodzących). Zapewniało to uzyskanie szerokiego spektrum danych pomiarowych, które dodatkowo były wzbogacane wykonywaniem ręcznym pomiarów i analiz suchej masy, zmian masy wsadu, gęstości, pH, konduktywności, materii organicznej, azotu całkowitego, amonowego i C:N.

Nadrzędnym celem doświadczeń była minimalizacja emisji amoniaku przy zachowaniu standardowej długości i intensywności przebiegu fazy termofilnej. Nagrzewanie się materiału jest bowiem niezbędnym czynnikiem pasteryzacji osadu ściekowego i zniszczenia drobnoustrojów chorobotwórczych w wyprodukowanym kompoście [9].

W laboratorium IIR Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu przeprowadzono doświadczenia z kompostowaniem osadów ściekowych ze zmienną intensywnością aeracji w trzech wariantach:

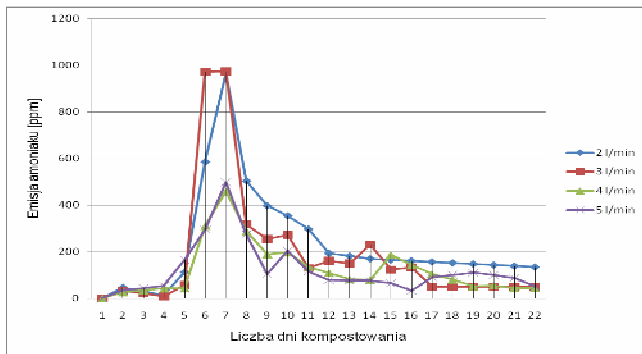
1. Kompostowanie osadu ściekowego z dodatkiem słomy zbożowej i trocin z przepływem powietrza 2, 3, 4 i 5 dm³ min⁻¹.
2. Kompostowanie osadu ściekowego z dodatkiem słomy zbożowej i trocin z jednakowym przepływem 4 l/min powietrza do osiągnięcia 50°C w trzecim dniu, a następnie z przepływem powietrza 2, 3, 4 i 5 dm³ min⁻¹.
3. Kompostowanie osadu ściekowego z dodatkiem słomy zbożowej i trocin z jednakowym przepływem 4 dm³ min⁻¹ i z czasowym (30 min. włączenie / 15, 30, 45 i 60 min. wyłączenie) wyłączaniem przepływu powietrza w czasie intensywnej fazy termofilnej na (łącznie) 8, 16, 24 i 48 h.

Materiał do kompostowania w bioreaktorze przygotowywany był zgodnie z metodami stosowanymi w skali rzeczywistej. Aby zwiększyć chłonność i rozdrobnienie powodowane w realnych warunkach ruchem obrotowym bębna aeratora, słoma zbożowa była cięta ręcznie przed wymieszaniem z osadem ściekowym.

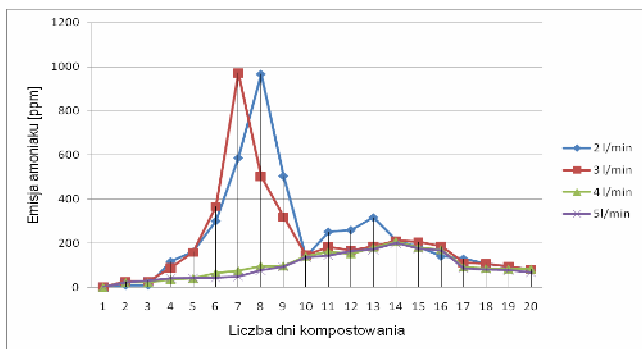


Rys. 3. Schemat 2-komorowej sekcji bioreaktora do badań procesów kompostowania: 1 - pompa powietrzna; 2 - regulatory przepływu; 3 - liczniki gazowe; 4 - izolowane komory bioreaktora; 5 - zbiorniki na odcieki wstępne; 6 - kompostowany materiał; 7 - czujniki elektrotermiczne i elektrotermiczne; 8 - schładzalnik; 9 - skraplacz; 10 - głowica analizatora gazów (NH₃, O₂, CO₂, CH₄, H₂S); 11 - centrala pomiarowa; 12 - pompa powietrza

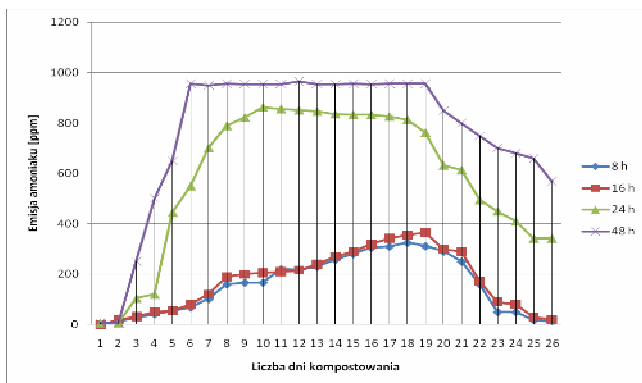
Fig. 3. Schematic diagram of the 2-chamber section bioreactor: 1 - pump, 2 - flow regulator, 3 - flow meter, 4 - isolated chamber, 5 - drained liquids container, 6 - composted mass, 7 - sensors set, 8 - air cooling system, 9 - condensates container, 10 - column of gases content analysis (NH₃, O₂, CO₂, CH₄, H₂S), 11 - 16-channel recorder, 12 - air pump



Rys. 4. Wpływ natężenia przepływu powietrza (przepływ ciągły) na emisję amoniaku
Fig. 4. Influence of intensity of air flow (continuous flow) on emission of ammonia



Rys. 5. Wpływ natężenia przepływu powietrza (przepływ identyczny do 3 dnia napowietrzania 4 l/min) na emisję amoniaku
Fig. 5. Influence of intensity of air flow (the identical flow till the 3rd day of the airing 4 l/min) on emission of ammonia



Rys. 6. Wpływ natężenia przepływu powietrza (z jednakowym, ale czasowym wyłączeniem przepływu) na emisję amoniaku
Fig. 6. Influence of intensity of air flow (at equal, but temporary switching off the flow) on emission of ammonia

Materiały wchodzące w skład kompostowanej masy były dokładnie odważane (dokładność wagi 0,05 kg) i mieszane w proporcji 45% osad ściekowy, 50% trociny i 5% słoma (liczone w suchej masie). Przygotowana mieszanka umieszczana była w komorach bioreaktora. Przy starcie doświadczenia komory napełniane były masą ok. 44 kg mieszanki, co dawało początkową gęstość materiału ok. 360 kg/m³. Taka gęstość jest optymalna dla prawidłowego rozpoczęcia procesu kompostowania [3]. Na rys. 4-6 przed-

stawiono wpływ natężenia przepływu powietrza na proces kompostowania w aspekcie emisji amoniaku.

6. Wyniki badań

We wszystkich przeprowadzonych doświadczeniach (zadanie 1-3) uzyskano intensywną fazę termofilną i temperaturę powyżej 60°C.

6.1. Zadanie badawcze nr 1

Niedostateczny przepływ powietrza (2 i 3 l/min) skutkował znacząco wyższą koncentracją amoniaku w okresie największego natężenia fazy termofilnej (między piątym a dziesiątym dniem procesu). Może to być związane ze słabszą dynamiką rozwoju mikroorganizmów i w konsekwencji mniej dynamicznym procesem immobilizacji N-NH₄ za azot organiczny (białka komórek bakterii).

Jak widać na rys. 5, osady kompostowane w czasie pierwszych trzech dni badań z tą samą intensywnością aeracji wykazywały podobny poziom emisji osiągając temperaturę ok. 50°C (+/- 4°). Wówczas jednak, po zróżnicowaniu przepływu nastąpiło bardzo wyraźne zróżnicowanie poziomu stężenia amoniaku w emitowanym z komór bioreaktora powietrzu. W przypadku prowadzonego doświadczenia widać wyraźnie ogromny wzrost emisji po spadku poziomu natlenienia z 4 na 3 l/min.

6.2. Zadanie badawcze nr 2

Także w wariancie doświadczenia ze stałym początkowym przepływem powietrza i jego zmianą po wejściu materiału w wyraźną, termofilną fazę kompostowania (temperatura pow. 50°C) zaobserwowano bardzo silną różnicę w przebiegu zmian stężenia amoniaku. Wsad w komorach o porównywalnej o masie ok. 45 kg napowietrzany na poziomie poniżej 4 dm³ min⁻¹ gwałtownie zwiększał ilość emitowanego amoniaku. Poziom emisji dochodzący w czasie najwyższej intensywności fazy termofilnej (temperatura w przedziale 70-82°C) nawet do blisko 1000 ppm w słabo napowietrzanych mieszankach był 10-14 krotnie wyższy niż w przypadku mieszanek napowietrzanych bardziej intensywnie. Świadczy to o bardzo dużym znaczeniu odpowiedniego natleniania kompostowanych osadów ściekowych w aspekcie zmniejszenia emisji amoniaku.

6.3. Zadanie badawcze 3

Jak widać na rys. 6, w materiale poddanym kompostowaniu z największą liczbą wyłączeń dopływu powietrza (łącznie 24 i 48 h) emisja amoniaku jest bardzo wyraźna i wielokrotnie wyższa niż w przypadku kompostowania z krótkotrwałymi przerwami w napowietrzaniu. Przenosząc to na warunki rzeczywiste – w kompostowniach, gdzie ze względu na warunki organizacyjne (brak sprawnego aeratora lub niedostatek materiałów strukturalnych zapewniających niezbędną porowatość przyzmy) albo pogodowe (intensywne opady powodujące zapadanie się przyzmy) może dochodzić do zaburzeń odpowiedniego natleniania materiału, a w konsekwencji do silnego wzrostu poziomu emisji amoniaku. Tlen jest bowiem niezbędnym czynnikiem potrzebnym bakteriom do immobilizacji amonowej frakcji azotu i jej przekształcenia w azot organiczny, czyli białko komórkowe.

7. Wnioski

1. Zbyt niskie natężenie przepływu powietrza (niedostateczne napowietrzenie pryzm w warunkach laboratoryjnych) powoduje niedostateczne wiązanie amoniaku przez drobnoustroje, co przedkłada się znaczną jego emisją.
2. Optymalne natężenie przepływu powietrza poprzez bioreaktor przyczynia się do minimalnych emisji amoniaku do atmosfery. Wówczas większość amoniaku jest przetwarzana przez bakterie na frakcję organiczną azotu zamiast się ulatniać.
3. Zaniechanie lub niedostateczne napowietrzenie materiału powoduje duże straty azotu amonowego, co skutkuje zwiększoną emisją amoniaku do atmosfery i niekorzystnym oddziaływaniem na środowisko oraz możliwym przekroczeniem norm emisyjnych.
4. Prowadząc proces kompostowania należy szczególnie kontrolować temperaturę, bowiem jej wzrost może wielokrotnie zwiększyć zapotrzebowanie na tlen dla mikroorganizmów w dynamicznie rozkładającej się mieszance osadów i materiału strukturalnego.

8. Literatura

- [1] Bernacka, J., Pawłowska L.: Przeróbka osadów z miejskich oczyszczalni ścieków w kraju. Stan obecny i kierunki modernizacji. [W:] Osady ściekowe. Przeróbka i wyko-

rzystanie. Konf. Nauk.-Techn., Poznań, 13-14 listopada 1997, s. 15-24.

- [2] Bień J.: Osady ściekowe. Teoria i praktyka. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2007, 1-309.
- [3] Dach J., Zbytek Z.: Wpływ intensywności mechanicznego napowietrzania na szybkość kompostowania materiałów organicznych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2001, Vol. 46(2).
- [4] GUS 2005.
- [5] Haug R. T.: The practical hand book of composting engineering. Florida, Lewis Publishers, 1993.
- [6] Kempa E. S.: Gospodarka odpadami miejskimi. Arkady, Warszawa 1983.
- [7] Pilarski K., Pilarska A.: Parametry procesu kompostowania. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2009, nr 1, s. 16-17.
- [8] Shultz K.L.: Rate of oxygen consumption and respiratory quotients during aerobic decomposition of a synthetic garbage. Compost Science 1960, 1: 36-40.
- [9] Stachowiak B., Czarniecki Z., Trojanowska K., Gulewicz K.: Komposty i możliwość ich wykorzystania w biologicznej ochronie roślin. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2006, Vol. 51(2).
- [10] Wolna-Maruwka A., Dach J.: Effect of Type and Proportion of Different Structure-Creating Additions on the Inactivation Rate of Pathogenic Bacteria in Sewage Sludge Composting in a Cybernetic Bioreactor. Archives of Environmental Protection. 2009, Vol. 35 no. 387-11.

Praca została zrealizowana w ramach projektu N N310 2250 33 „Emisja amoniaku i gazów cieplarnianych w czasie kompostowania i nawożenia osadami ściekowymi”.