

Monika GAŁWA-WIDERA

Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

Unieszkodliwianie osadów ściekowych w procesie kompostowania z zastosowaniem różnych cykli napowietrzania

Osady ściekowe po ich odwodnieniu w procesie technologicznym w oczyszczalni ścieków są substratem, który stanowi zagrożenie dla środowiska i powinien być w dalszym ciągu poddawany obróbce. Jednym z procesów, z kilku możliwych, jest przyrodnicze wykorzystanie po uprzednim poddaniu osadów procesom kompostowania. Jest to uzasadnione ekonomicznie, ponieważ do obiegu materii zostają wprowadzone duże zasoby substancji organicznej, pozwalające na korzystne zmiany w środowisku. Wykorzystanie osadów ściekowych, w tym także pochodzących z oczyszczania ścieków mleczarskich, do celów przyrodniczych może być realizowane poprzez:

- użyźnianie gleb,
- nawożenie roślin,
- produkcję preparatów nawozowych i kompostu,
- rekultywację terenów pozbawionych gleby.

Jedną z takich metod, o których mowa wyżej, jest proces kompostowania. W trakcie kompostowania zazwyczaj otrzymujemy produkt, który może być wykorzystany do celów przyrodniczych. Artykuł zawiera wyniki badań dotyczących możliwości kompostowania osadów ściekowych komunalnych oraz przemysłowych z utrzymaniem jakości pozwalającej na rolnicze wykorzystanie otrzymanego produktu. Aby kompost otrzymany z osadów ściekowych mógł być bezpiecznie wykorzystany na cele rolnicze i przyrodnicze, proces należy przeprowadzić zarówno w kierunku wartości nawozowych, jak i higienizacji. Miernikiem dojrzałości kompostu jako produktu do zastosowania przyrodniczego jest zazwyczaj iloraz węgla organicznego i azotu, zmniejszenie ilości substancji organicznej, a także zmiany odczynu. Badania dotyczyły określenia efektu kompostowania osadów ściekowych w ustalonych proporcjach związanych z dodawaniem materiału strukturotwórczego oraz substancji zielonych. Badania prowadzono w warunkach stałego napowietrzania wyrażonego w ilości doprowadzanego powietrza $Q = 60$ l/h oraz napowietrzania okresowego. Eksperyment prowadzono przy stałych udziałach osadów ściekowych (35%), materiału strukturotwórczego (10%) i odpadów zielonych (55%) w bioreaktorze o pojemności 30 dm^3 w ciągu 30 dni. Analiza wyników dotycząca ilorazu węgla do azotu, ubytku suchej masy organicznej, a także kontrola odczynu pozwala na stwierdzenie, że zarówno przy stałym, jak i okresowym napowietrzaniu otrzymany kompost charakteryzuje się dobrymi wskaźnikami nawozowymi. Przeprowadzono próby napowietrzania okresowego w trzech układach czasowych, a następnie zbadano jakość otrzymanego kompostu na podstawie ilorazu węgla do azotu, ubytku suchej masy organicznej, a także kontroli odczynu. Efektem tych zmian był spadek zawartości materii organicznej oraz duża emisja CO_2 oraz NH_3 . Podczas procesu kompostowania stwierdzono również zmianę wartości pH z 5,6 do 6,8. Przeprowadzone badania wskazują na konieczność dalszych analiz i prób, gdyż otrzymany produkt posiada właściwości nawozu jedynie do wykorzystania przyrodniczego.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, kompostowanie, dojrzałość kompostu, napowietrzanie okresowe

Wstęp

W dniu 23 stycznia 2013 r. wprowadzono w życie ustawę o odpadach (DzU z 2013 r., poz. 21), która zastąpiła obowiązującą w tym zakresie wcześniejszą ustawę (tekst jedn.: DzU z 2010 r., Nr 185, poz. 1243 ze zm.). Ustawa ta ma na celu wdrożenie w Polsce regulacji unijnych, w tym w szczególności Dyrektywy 2008/98/WE, określającej m.in. pożądaną hierarchię postępowania z odpadami, które sprowadza się do pięciu działań:

- zapobieganie powstawaniu,
- przygotowywanie do ponownego użycia,
- recykling,
- inne metody odzysku, np. odzysk energii,
- unieszkodliwianie.

Istotnym elementem zarządzania odpadami jest ograniczenie ich wytwarzania, a także odzysk substancji w nich zawartych, w tym substancji organicznej. Jedną z metod, która umożliwi odzysk materii organicznej, jest kompostowanie odpadów w połączeniu z ich selektywną zbiórką [1, 2]. Polska jest jednym z krajów, który rocznie produkuje w Europie największą ilość odpadów (około 12 mln ton wg danych statystycznych z roku 2012). Według obowiązującej w Polsce ustawy o odpadach, do kategorii odpadów komunalnych zalicza się odpady stałe i ciekłe, powstające w gospodarstwach domowych, w obiektach użyteczności publicznej i obsługi ludności. W skład odpadów komunalnych wchodzi głównie trzy frakcje:

- ulegająca biodegradacji, jak odpady kuchenne, papier i tektura, odpady zielone,
- palna, jak opakowania, tworzywa sztuczne, odpady tekstylne,
- obojętna, jak odpady mineralne, szkło i metale [1, 3, 4].

Całkowita roczna produkcja odpadów biodegradowalnych w UE sięga od 118 do 138 Mt, z których około 88 Mt wywodzi się z odpadów komunalnych, natomiast od 30 do 50 Mt ze źródeł przemysłowych, takich jak przetwórstwo spożywcze (w tym przemysł mleczarski). W UE bioodpady i odpady biodegradowalne stanowią zwykle od 30 do 40% komunalnych odpadów stałych [1, 3, 5].

Przepisy prawne kierują coraz większą ilość odpadów do procesów ich biologicznego przetwarzania, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia ilości odpadów trafiających na składowiska [4].

W 2012 roku ilość odpadów trafiająca do recyklingu lub kompostowania w krajach Unii Europejskiej wynosiła łącznie dla obu procesów ok. 40% [6-8].

Odpady przeznaczone do biologicznego przetwarzania muszą spełniać określone wymagania pod względem składu chemicznego i właściwości fizycznych. Powinny one być bogate w substancję organiczną, zawierać poszczególne frakcje w odpowiednich proporcjach, właściwe musi być ich uwodnienie i pH. Za wartość graniczną udziału substancji organicznej w odpadach, umożliwiającą poddanie ich biologicznemu przetwarzaniu, przyjmuje się straty podczas prażenia powyżej 30%. Istotnym elementem odpadów przeznaczonych do kompostowania jest również ich struktura. W procesie kompostowania wykorzystuje się odpady o strukturze poro-

watej, z dużą ilością wolnej przestrzeni, dzięki czemu istnieje możliwość utworzenie masy kompostowej, tworzącej dobrze natlenione środowisko o wystarczającej ilości wody (50÷60%) [5-7].

W celu uzyskania odpowiedniego składu mieszaniny kompostowej możliwe jest mieszanie ze sobą różnych odpadów. W taki sposób uzyskuje się optymalny skład przetwarzanej mieszanki oraz materiał o odpowiedniej jakości. Mieszanie ze sobą różnych rodzajów odpadów w celu poprawy warunków prowadzenia procesów biologicznych daje możliwość uzyskania produktu spełniającego wymagania ustawy o odpadach.

Biodopady i odpady biodegradowalne, w tym i te wydzielone z odpadów komunalnych, najczęściej poddaje się odzyskowi zarówno na drodze kompostowania, jak i rozproszania na polach jako nawóz lub ulepszacz gleby, a w mniejszym stopniu przetwarzane są w procesie fermentacji metanowej na biogaz [6].

Osady ściekowe z przemysłu mleczarskiego stanowią doskonałą bazę nawozową z uwagi na łatwo rozkładalne związki organiczne. Przemysł mleczarski stanowi w naszym kraju jedną z głównych gałęzi przemysłu. Na terenie zakładów mleczarskich powstają dwa rodzaje ścieków: ścieki produkcyjne i nie pochodzące z produkcji. Ścieki produkcyjne charakteryzują się wysokim stężeniem zanieczyszczeń organicznych. W ich składzie znajdują się resztki mleka i jego przetworów produkowanych w zakładzie, a także środki stosowane do mycia zbiorników i aparatury. Ścieki mleczarskie oczyszczane są głównie metodami biologicznymi na złożach biologicznych oraz metodą osadu czynnego. Wykorzystuje się również metody beztlenowe, jak oczyszczanie w beztlenowym reaktorze przepływowym ze złożem osadu lub fermentację mieszaną. Ścieki te są wysokoobciążone.

Główne cechy ścieków mleczarskich to:

- wysoki ładunek ChZT (tłuszcze, cukry, białka),
- duża zawartość tłuszczów,
- konieczność usuwania azotu i fosforu,
- duża zmienność w ilości i jakości ścieków (fazy mycia linii produkcyjnych),
- obecność tzw. odpadu serwatkowego.

Skład ścieków zależy w dużej mierze od typu produkcji (sery, masło, jogurty, mleko itp.) [9].

Z uwagi na charakter osadów pochodzących z przemysłu mleczarskiego i możliwość ich stosowania przyrodniczego podjęto w badaniach próbę wykorzystania tych własności do uzyskania wartościowego kompostu. Ponadto mleczarskie osady ściekowe, chociaż w większości mogą być stosowane bezpośrednio jako nawóz, to w okresie wzrostu roślin trudno je przechować ze względu na łatwość zagniwania. Kompostowanie przedłuża trwałość nawozu oraz wpływa na zapach i konsystencję.

1. Materiał i metody badawcze

Do badań użyto osadów komunalnych z oczyszczalni ścieków WARTA w Częstochowie (pochodzących z mechaniczno-biologicznej technologii oczyszczania

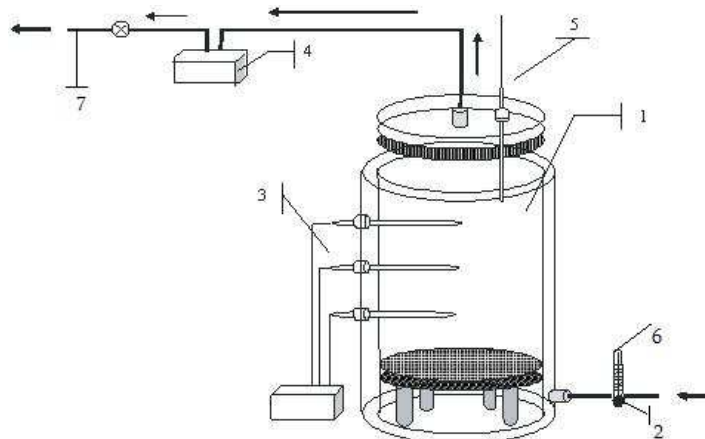
nia ścieków) i osadów pochodzących z przemysłu mleczarskiego (oczyszczanie ścieków z użyciem osadu czynnego) z przyzakładowej oczyszczalni ścieków we Włoszczowej. Do badań wykorzystano osady ściekowe ustabilizowane i odwodnione mechanicznie na prasach. Odpady zielone, pochodzące z przedsiębiorstwa zajmującego się zielenią miejską, stanowiły uzupełnienie węgla organicznego, azotu i fosforu. Skład stanowiły głównie ścięte trawy przed okresem dojrzewania (w celu uniknięcia przetrwania nasion chwastów). Jako materiał strukturalny wykorzystano trociny oraz zrębki drewniane. Proporcje dobrano na podstawie wcześniej prowadzonych badań w zakresie kompostowania i wynosiły one: 35% osady ściekowe komunalne i przemysłowe w stosunku 1:1, 55% odpady zielone, 10% materiał strukturotwórczy. Poszczególne oznaczenia przeprowadzono według polskich norm.

Dla ustalenia efektywności procesu skupiono się głównie na oznaczeniu zawartości azotu, węgla (oznaczenie zostało wykonane metodą Tiurina - metoda ta należy do grupy metod objętościowych, które polegają na spalaniu (utlenianiu) materii organicznej na mokro), pozostałości mineralnej, oraz odczynu określonego wartością pH.

Kontrolnie określono również zawartość fosforu według normy i suchą masę w poszczególnych etapach procesu, czyli mieszaniny kompostowej oraz otrzymanego kompostu.

1.1. Opis stanowiska badawczego

W procesie wykorzystano laboratoryjny bioreaktor do kompostowania o objętości 45 dm³, wyposażony w system czujników, umożliwiający monitoring procesu, oraz pompę ssąco-tłoczącą pracującą z wydajnością 60 dm³/h (rys. 1).



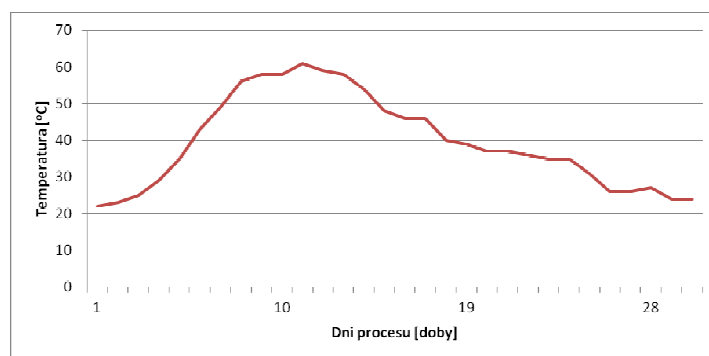
Rys. 1. Schemat bioreaktora do kompostowania z systemem pomiarowym: 1 - izolowana komora stabilizacji, 2 - regulator natężenia przepływu, 3 - system pomiaru temperatury, 4 - zbiornik, 5 - kolumna osuszająca, 6 - miernik przepływu, 7 - system pomiarowy gazów

Fig. 1. Scheme of bioreactor for composting system of measurement: 1 - insulated stability chamber, 2 - control flow, 3 - temperature measurement system, 4 - tank, 5 - drainage column, 6 - flow meter, 7 - gas measurement system

W procesie kompostowania wykorzystano osady ściekowe z Zakładów Mleczarskich Włoszczowa oraz komunalne osady ściekowe OŚ WARTA. Proces kompostowania prowadzono przez okres jednego miesiąca. We wszystkich przypadkach osady przemysłowe i osady komunalne stanowiły 35%, 10% stanowił materiał strukturotwórczy, natomiast odpady zielone pozostałą część (55%). Istotnym elementem zmiany nurtu badań było to, iż w poszczególnych doświadczeniach zastosowano różne periody napowietrzania. Cykl pierwszy badań obejmował proces kompostowania napowietrzany strumieniem stałym o przepływie 60 l/h. Badania prowadzono w 3 powtórzeniach dla każdego cyklu, a wyniki podano jako średnią poszczególnych prób. W pozostałych dwóch przypadkach zastosowano napowietrzanie okresowe. W drugim eksperymencie okres napowietrzania wynosił 7 dni, a następnie zastosowano 7 dni przerwy (okres beztlenowy). Eksperyment był powtarzany trzykrotnie. W trzecim eksperymencie zastosowano napowietrzanie w układzie: 10 dni proces tlenowy/5 dni proces beztlenowy. Wszystkie eksperymenty prowadzono dla porównania w ciągu 30 dni, po których przeprowadzono badania kontrolne.

2. Wyniki badań i ich omówienie

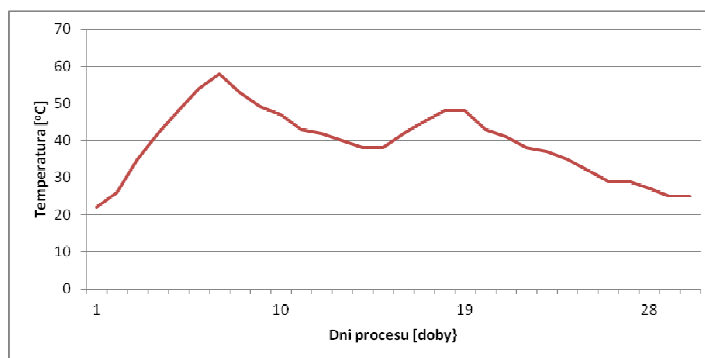
Na rysunkach 2-4 przedstawiono zmiany temperatur kompostu I, II i III w trakcie eksperymentu. Kompost I to produkt otrzymany w procesie kompostowania ze stałym napowietrzaniem. Kompost II to produkt otrzymany w procesie kompostowania osadów ze zmiennym trybem napowietrzania w układzie 7 dni faza aerobowa/7 dni faza anaerobowa. Relatywnie kompost III to produkt otrzymany w procesie kompostowania ze zmiennym trybem napowietrzania w układzie 10 dni napowietrzania/5 dni bez napowietrzania.



Rys. 2. Rozkład temperatur w trakcie procesu kompostowania - doświadczenie nr I (stały przepływ powietrza przez masę kompostową)

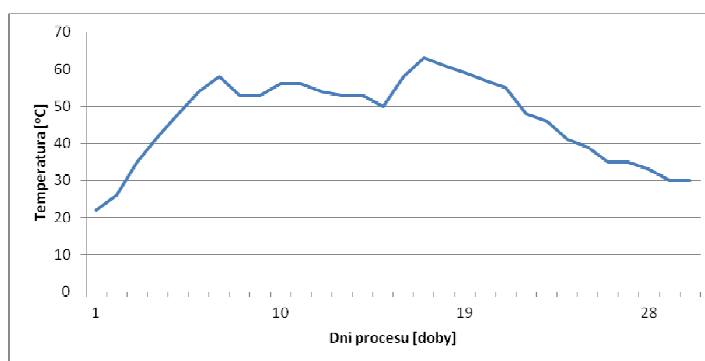
Fig. 2. The distribution of temperatures during the composting process and experiment number I (constant flow of air through the compost mass)

Rysunek 2 przedstawia wykres zmiany temperatury przy stałym przepływie powietrza przez masę kompostową. Na rysunkach 3 i 4 zaprezentowano zmiany temperatury procesu kompostowania przy czasowym przepływie powietrza odpowiednio 7 dni z napowietrzaniem/ 7 dni faza anaerobowa oraz 10 dni napowietrzania/5 dni bez napowietrzania.



Rys. 3. Rozkład temperatur w trakcie procesu kompostowania - doświadczenie nr II (cykl napowietrzania 7 dni faza aerobowa/7 dni anaerobowa)

Fig. 3. The distribution of temperatures during the composting process, the experiment II (aeration cycle 7 days aerobic phase/7 days anaerobic)



Rys. 4. Rozkład temperatur w trakcie procesu kompostowania - doświadczenie nr II (cykl napowietrzania 10 dni faza aerobowa/5 dni anaerobowa)

Fig. 4. The distribution of temperatures during the composting process, the experiment II (aeration cycle 10 days aerobic phase/5 days anaerobic)

We wszystkich przypadkach zaobserwowano wzrost temperatury w pierwszych dniach trwania procesu. W przypadku kompostu I najwyższa wartość temperatury wynosiła 61°C, dla kompostu II - 58°C, natomiast dla III próby - 61°C. W kolejnych dniach następował systematyczny spadek temperatury. W przypadku ostatniej próby, mimo iż osiągnięta maksymalna temperatura, tak jak w pierwszym doświadczeniu, wyniosła 61°C, okres wysokich temperatur utrzymano przez dłuższy czas.

2.1. Parametry fizykochemiczne

Substraty wykorzystane w pracy i uzyskane produkty poddano analizie fizykochemicznej. Badania prowadzone były głównie pod kątem zawartości węgla, fosforu i azotu, oraz określenia stosunku C/P i C/N, parametrów charakteryzujących efektywność procesu oraz jakość kompostu. Oznaczono procentową zawartość suchej masy i suchej masy organicznej, parametry te świadczą o stopniu dojrzałości produktu.

W tabeli 1 zestawiono wyniki badań fizykochemicznych mieszaniny poddawanej procesowi kompostowania oraz uzyskanych kompostów. Mieszanina kompostowa stanowi substrat wyjściowy, natomiast komposty I, II i III to produkty otrzymane odpowiednio z doświadczeń nr I, II i III.

Tabela 1. Wyniki badań fizykochemicznych mieszaniny kompostowej oraz uzyskanego kompostu w poszczególnych cyklach,

Table 1. The results of physico-chemical tests of compost mixture and compost obtained in each cycle

Badany parametr	Jednostka	Mieszanina kompostowa	Kompost I	Kompost II	Kompost III
Sucha masa	% s.m.	36	41	43	43
Sucha masa organiczna	% s.m.	74	64	64	59
pH		6,62	7,28	8,1	8,4
Wilgotność	%	64	59	53	49
C organiczny	% s.m.	53	33	31	28
C całkowity	% s.m.	54	34	32	30
N całkowity	% s.m.	1,42	0,85	0,74	0,69
P ogólny	% s.m.	0,46	0,39	0,37	0,38
C/P		194,7	87,17	86,49	78,9
C/N		38,03	40	59,26	43,4

Otrzymane wyniki badań fizykochemicznych wskazują, że podczas prowadzenia procesu stabilizacji we wszystkich przypadkach nastąpił spadek wilgotności kompostu w stosunku do wartości początkowej, spowodowany utratą wody poprzez parowanie. Zaobserwowano także spadek stężenia azotu, fosforu i węgla organicznego oraz zmniejszenie się wartości suchej masy organicznej. Biorąc pod uwagę zawartość substancji organicznych i węgla organicznego, uzyskany kompost w próbie I można zaliczyć do klasy I. Stężenie azotu ogólnego i fosforu ogólnego w kompoście dojrzałym pozwala stwierdzić, iż dalsze prowadzenie procesu stwarza możliwość uzyskania kompostu o pełnowartościowych parametrach. Przewidywał, w jakim powinien być iloraz C/N, to 25÷60/1. Stosunek C/P wskazuje na niską zawartość fosforu. Optymalna wartość na początku procesu powinna wynosić C/P = 100.

Proces z okresowym napowietrzaniem daje dobre efekty rozkładu substancji organicznej. Wskazują na to parametry procesowe. Podobne rezultaty w procesie prowadzonym ze stałym napowietrzaniem uzyskują również inni autorzy [10]. Doświadczenia te wskazują słuszny kierunek badań i w każdym przypadku otrzymano materiał spełniający wymogi do wykorzystania przyrodniczego. Również badania prowadzone przez innych autorów [10, 11] kierunkują wykorzystanie osadów ściekowych komunalnych oraz z przemysłu rolno-spożywczego do celów rolniczych czy przyrodniczych jako cennego źródła związków mineralnych i organicznych. Osady pochodzące z przemysłu mleczarskiego zawierają wyższy poziom zanieczyszczeń organicznych w stosunku do komunalnych, o czym mówią również inni autorzy [11], co w znacznym stopniu wpływa na jakość kompostu.

2.2. Badania mikrobiologiczne i parazytologiczne

Badania mikrobiologiczne prowadzono kontrolnie w warunkach laboratoryjnych metodą posiewów na odpowiednio spreparowanych podłożach. Higienizacja jest spowodowana wzrostem temperatury powyżej 60°C i utrzymującej się przez ok. 3 dni. Większość bakterii patogennych jest nieodporna na wysokie temperatury. W trakcie procesu faza wysokotemperaturowa utrzymująca się przez kilka dni to wystarczający czas do uzyskania higienizacji osadów użytych do eksperymentu. Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tabeli 2. W żadnej próbce kompostu nie stwierdzono obecności żywych jaj pasożytów.

Tabela 2. Posiewy mikrobiologiczne i badania parazytologiczne kompostu uzyskanego w trzech cyklach badań

Table 2. Microbiological cultures and parasitological tests of compost obtained in three cycles of research

Parametr	Kompost I	Kompost II	Kompost III
Bakterie termofilne - ilość żywych bakterii w 1 ml próbki	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$
Bakterie psychrofilne - ilość żywych bakterii w 1 ml próbki	$4 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$
miano <i>E. coli</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
<i>Salmonella</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Żywe jaja <i>Ascaris</i> , liczba jaj/kg s.m.	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Żywe jaja <i>Toxocara</i> , liczba jaj/kg s.m.	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Żywe jaja <i>Trichuris</i> , liczba jaj/kg s.m.	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono

Badania prowadzone były kontrolnie w celu określenia stopnia higienizacji. Stosowanie w rolnictwie nawozów organicznych i organiczno-mineralnych zawierających jaja nicieni - pasożytów przewodu pokarmowego stanowi zagrożenie skażeniem środowiska (gleby i wody) formami inwazyjnymi tych pasożytów. Rygorystyczne przestrzeganie wymogów sanitarnych we wszystkich typach nawozów

wprowadzanych do obrotu może zmniejszyć zapadalność ludzi na robaczyce przewodu pokarmowego. W związku z zagrożeniem epidemiologicznym istotne jest, by kompost otrzymywany z osadów ściekowych był pozbawiony patogenów.

Podsumowanie i wnioski

Badania prowadzono w celu określenia wpływu stopnia napowietrzania na szybkość i jakość procesu kompostowania osadów ściekowych wraz z odpadami zielonymi. W eksperymencie wykorzystano osady ściekowe pochodzące z przemysłu mleczarskiego. Sporządzono trzy próby, które poddano procesowi kompostowania. Zmiennym parametrem był czas napowietrzania w poszczególnych próbach. Próba numer I stanowiła proces kontrolny przy stałym napowietrzaniu o przepływie 60 l/h.

Proces kompostowania pozwala na przetwarzanie osadów ściekowych wraz z odpadami zielonymi na kompost, który może stanowić nawóz organiczny. Może on być wykorzystany do celów rekultywacyjnych. Jakość kompostu, a także zakres jego zastosowania zależą od materiału wyjściowego, który w tym przypadku stanowi mieszanina osadów ściekowych, traw i zrębek drewnianych.

Przedstawione badania ukazują zmiany, jakie nastąpiły po wprowadzeniu różnych sposobów dostarczania powietrza do mieszaniny kompostowej. Otrzymane wyniki wskazują na wyraźną zależność przebiegu pierwszej fazy kompostowania od ilości doprowadzonego powietrza. Doświadczenie pierwsze i trzecie posiadało wystarczająco długi czas doprowadzania powietrza do masy kompostowej, by zakończyć pierwszą fazę kompostowania. W doświadczeniu nr II po siedmiu dniach przerwano doprowadzanie powietrza do masy kompostowej, co skutkowało spadkiem temperatury i brakiem osiągnięcia równie wysokich temperatur co w pozostałych eksperymentach. Najlepszy efekt uzyskano w doświadczeniu III, w którym napowietrzanie prowadzono nieprzerwanie z intensywnością 60 l/h przez okres 10 dni, a następnie prowadzono fazę anaerobową przez okres 5 dni. W okresie braku tlenu doprowadzanego do masy kompostowej może następować miejscowa fermentacja, ale z uwagi na podniesioną temperaturę tylko faza termofilowa. Proces ten stabilizuje osady ściekowe, ułatwiając tym samym kontynuację procesu aerobowego. Badania prowadzono w formie pilotażu. Wymagają one dalszych analiz.

Badania wykonane w ramach doświadczenia prowadzą do sformułowania następujących wniosków:

- W procesie kompostowania istotną rolę odgrywa dobór wskaźników, takich jak: zawartość substancji organicznych, odczyn i wilgotność. Wpływ na te parametry ma udział poszczególnych składników mieszaniny kompostowej. Najlepsze wyniki otrzymuje się, jeśli udział osadów ściekowych nie przekracza 45%.
- Odpowiednia jakość kompostowanej biomasy ma wpływ na przebieg poszczególnych faz kompostowania. Badania wskazują, iż wykorzystanie osadów ściekowych pochodzących z przemysłu spożywczego (w tym przypadku mleczarskiego) wpływa korzystnie na jakość otrzymanego produktu.

- Tworzenie produktu ostatecznego, tzn. humusu, uzależnione jest od udziału takich mikroorganizmów, jak bakterie mezofilne i termofilne, a także promieniowców i grzybów. Należy zatem wprowadzić do mieszaniny węgiel organiczny, fosfor, potas, a także łatwe do rozłożenia przez mikroorganizmy cukry zawarte w roślinach zielonych. Ponadto zastosowane w eksperymencie odpady zielone w postaci traw posiadają zdolność szybkiego samozagrzewania, co ułatwia w znacznym stopniu rozpoczęcie pracy mikroorganizmom termofilowym.
- Wysoka temperatura w granicach 60°C fazy intensywnego kompostowania jest wystarczająca do higienizacji produktu.
- Przepływ powietrza przez masę kompostową ma istotny wpływ na przebieg procesu, doświadczenie wskazuje na możliwość prowadzenia procesu z naporowieniem okresowym, przy czym faza anaerobowa nie może być zbyt długa, by proces fermentacji nie zahamował procesu kompostowania.
- Otrzymany produkt końcowy może być wykorzystany na cele przyrodnicze, co stanowi duży walor ekologiczny, sprzyjający poprawie gospodarki osadowej na oczyszczalni ścieków.

Podziękowania

Badania zostały sfinansowane w ramach BS/PB-401-301/11.

Literatura

- [1] Bień J.B., Osady ściekowe, Teoria i praktyka, Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
- [2] Bień J.B., Bień J.D., Matysiak B., Gospodarka odpadami w oczyszczalniach ścieków, Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1999.
- [3] Bień J., Milczarek M., Neczaj E., Worwąg M., Okwiet T., Kowalczyk M., Composting process as an alternative method for the disposal of sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste, Civil and Environmental Engineering Reports 2011, 6, 127-136.
- [4] Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M., Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013, Engineering and Protection of Environment 2011, 14, 4, 375-384.
- [5] Wieland E., Wytwarzanie kompostu i humusu, Przegląd Komunalny 2008, 40-44, 4.
- [6] Sidelko R., Kompostowanie - optymalizacja procesu i prognoza jakości produktu, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2005.
- [7] Jastrzębska M., Stelmachowski M., Bujnowicz-Pilecka K., Zarzycki R., Badania procesu kompostowania osadów ściekowych razem z odpadami zielonymi oraz pochodzącymi z selektywnej zbiórki odpadów, Inżynieria i Ochrona Środowiska 2000, 3, 1-2, 63-72.
- [8] Bień J., Gałwa-Widera M., Kamizela T., Okwiet T., Współkompostowanie osadów ściekowych z przemysłu celulozowo-papierniczego, Wydawnictwo FENIKS, Gospodarka odpadami komunalnymi, T. 6, Monografia pod red. K. Szymańskiego, 2010, 133-141.
- [9] Anielak A.M., Chemiczne i fizykochemiczne oczyszczania ścieków, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2002.
- [10] Boruszko D., Intensyfikacja niskonakładowych metod przeróbki komunalnych osadów ściekowych, Inżynieria Ekologiczna 2011, 25.

- [11] Dąbrowski W., Określenie zmian stężenia zanieczyszczeń w profilu oczyszczalni ścieków mleczarskich na przykładzie S.M. Mlekovita w Wysokiem Mazowieckiem, Inżynieria Ekologiczna 2011, 24.
- [12] Dach J., Kompostowanie trawy i liści, Przegląd Komunalny 2008, 10, 36-40.

Disposal of Sewage Sludge in the Process of Composting with the Use of Different Cycles Aeration

Sewage sludge after its dehydration in the technological process of wastewater treatment plants is the substrate which poses a threat for the environment and should still be processed. One of the several possible treatments is natural the use of after having been subjected of sludge composting processes. This is economically justified because the cycle of matter are introduced large deposits of organic matter enabling for positive changes in the environment. The use of sewage sludge including wastewater treatment coming from dairy for nature conservation can be realized by:

- Soil fertilization,
- Fertilization of plants,
- The production of fertilizer and compost preparations,
- Reclamation of soilless areas.

One of these methods referred to above is the process of composting. In the composting process we typically get a product that can be used for wildlife. However, to enable it to fulfill its mission should be also as mature. The measure of maturity the compost as a product to be used is usually a the quotient the natural organic carbon and nitrogen to reduce the amount of organic matter and changes in acidity. Conducted research concerned the determining effect of sewage sludge composting in a fixed ratio related to the addition of the material forming the structure and substance of green. Studies were carried out under constant aeration, expressed in the amount of supplied air $Q = 60$ l/h and periodic aeration. The experiment was conducted at constant proportions of sewage sludge (35%), the structure-forming material (10%) and green waste (55%) in a bioreactor having a capacity of 30 dm^3 within 30 days. Analysis of results for the ratio of carbon to nitrogen, organic dry matter loss and control of pH leads to the conclusion that both permanent and periodic aeration resulting compost is characterized by good indicators of fertilizer. The study made under three time the air flow systems. In all trials, a decrease in C: N ratio. The result of these changes was the decline in organic matter and high CO_2 and NH_3 . During the composting process also has been found to change the pH from 5.6 to 6.8.

Keywords: sewage sludge, composting, compost maturity, periodic aeration