

BADANIA NAD OSTATECZNYM
WYKORZYSTANIEM ODWODNIONYCH
OSADÓW ŚCIEKOWYCH
DO NIEPRZEMYSŁOWEGO
WYKORZYSTANIA

Dariusz **Boruszko** Andrzej **Butarewicz** Wojciech **Dąbrowski** Lech **Magrel**

Białystok 2005

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA
Instytut Inżynierii i Ochrony Środowiska
Katedra Technologii Wody, Ścieków i Osadów
Katedra Biologii Sanitarnej i Biotechnologii

Realizatorzy badań:

Dariusz Boruszko
Andrzej Butarewicz
Wojciech Dąbrowski
Lech Magrel
Elżbieta Tarasiuk

Temat badawczy i opracowanie sfinansowano ze środków
Komitetu Badań Naukowych
w ramach projektu Nr 4 TO9D 024 22

Copyright © by:
Politechnika Białostocka

Białystok 2005

projekt okładki:
Krystyna Krakówka

przygotowanie:
Pracownia Składu Komputerowego i Usług Edytorskich
Andrzej A. Poskrobko

Spis treści

Wstęp	5
1. Przepisy prawne dotyczące gospodarki osadami ściekowymi	7
2. Charakterystyka osadów ściekowych, możliwości ich zastosowania do nieprzemysłowego wykorzystania	11
2.1. Charakterystyka osadów generowanych w oczyszczalniach ścieków mleczarskich	14
2.2. Właściwości biologiczne osadów ściekowych	16
3. Higienizacja osadów ściekowych	24
3.1. Przeróbka osadów powstających na oczyszczalni w Mońkach	25
3.2. Opis systemu oczyszczania i przeróbki osadów po modernizacji w oczyszczalni w Łapach	37
4. Kompostowanie jako metoda ostatecznego unieszkodliwiania osadów ściekowych	44
4.1. Rys historyczny i kierunki rozwoju	45
4.2. Wartość użytkowa kompostu i parametry prowadzenia procesu kompostowania	46
4.3. Technologie kompostowania	53
4.4. Porównanie metod kompostowania	59
4.5. Wykorzystanie dżdżownicy kalifornijskiej	60
4.6. Zalety procesu kompostowania	61
5. Prezentacja systemu kompostowania w oczyszczalni ścieków w Sokółce	64
5.1. Zakres i metodyka badań biologicznych	66
5.2. Wyniki badań sanitarnych osadów i kompostu	67
6. Prezentacja systemu kompostowania w Nadleśnictwie Rudka	69
7. Zapotrzebowanie na kompost w szkółkach leśnych na przykładzie Nadleśnictwa Rudka ...	74
8. Wyniki badań procesu kompostowania	77
8.1. Wyniki badań sanitarnych	77
8.2. Temperatura jako czynnik wpływający na przebieg procesu kompostowania	86
8.3. Wyniki badań fizyczno-chemicznych kompostu	92
Podsumowanie	103
Publikacje związane z realizacją grantu	105
Literatura wykorzystana w opracowaniu	106

Wstęp

W latach 1990–2004 nastąpił znaczny rozwój systemów oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych w oczyszczalniach komunalnych i przemysłowych działających na terenie Polski. Nowe jak i modernizowane systemy opierają się o intensywne biologiczne oczyszczanie metodą osadu czynnego. Większość oczyszczalni stosuje także metody chemiczne. Oczyszczanie metodą złożeń biologicznych stanowi jedynie niewielki procent, z reguły małych oczyszczalniach. Znaczący postęp zaobserwowano także w rozwoju gospodarki osadowej, duże czyszczalnie stabilizują osady w warunkach beztlenowych, mniejsze obiekty stosują stabilizację tlenową symultaniczną, bądź w wydzielonych komorach. Powszechnie stosowane są urządzenia do mechanicznego odwadniania osadów. Pomimo znacznego postępu w tej dziedzinie konieczne jest prowadzenie badań nad wykorzystaniem osadów do celów nieprzemysłowych. Bezpieczny recykling osadu do środowiska wymaga stosowania szeregu procesów, odpowiednich technologii i urządzeń. Szereg oczyszczalni ma problemy z uzyskaniem stabilizacji osadów, która niezbędna jest do późniejszego wykorzystania osadów do celów rolniczych, np. jako nawozu. Osad ściekowy powinien być traktowany jako surowiec, a nie odpad trafiający na wysypisko.

Celem naukowym projektu zrealizowanego w Instytucie Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Białostockiej było określenie parametrów procesów higienizacji oraz kompostowania osadów ściekowych w warunkach rzeczywistych oraz poznanie mechanizmów kinetyki tych procesów. Zrealizowany on był z zastosowaniem odwodnionych osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni ścieków zlokalizowanych na terenie województwa podlaskiego. Autorzy prowadzili badania osadów w ramach tego projektu, jak i skorzystali z badań własnych prowadzonych w latach 1996–2004, kiedy to wykonano bilans ścieków i osadów z oczyszczalni województwa podlaskiego, ze szczególnym uwzględnieniem metod przeróbki osadów i ich finalnego wykorzystania.

Higienizacja osadów była prowadzona przy użyciu różnych dawek wapna, oprócz efektu higienizacji autorzy chcieli określić wpływ wapnowania na zawartość metali ciężkich w osadach oraz stan sanitarny w zależności od czasu składowania badanych osadów, jego stanu wyjściowego, warunków atmosferycznych, zróżnicowania przeżywalności różnych grup mikroorganizmów i możliwości wtórnego skażenia.

Głównym elementem badań było kompostowanie wybranych osadów ściekowych z zastosowaniem powszechnie dostępnej na obszarze Zielonych Płuc Polski biomasy w postaci słomy, trocin i zrębków. Rolniczo-przemysłowa specyfika regionu, charakter powstających osadów, dostępna biomasa, niska klasa gleb warunkują konieczność stosowania procesów higienizacji i kompostowania osadów ściekowych na terenach województwa podlaskiego. Prezentowane w opracowaniu badania prowadzono w oparciu o działającą kompostownię osadów zlokalizowaną w oczyszczalni ścieków w Sokółce, oraz w oparciu o rzeczywistą instalację zbudowaną na potrzeby projektu w Nadleśnictwie Rudka, zlokalizowaną w powiecie bielskim. Nadleśnictwo Rudka posiada odpowiednie zaplecze techniczne i kadrowe do prowadzenia badań. Podstawowym celem tych badań było uzyskanie

kompostu wymaganego do produkcji leśnej. Lasy Państwowe i nadleśnictwa prowadzące działalność produkcyjną są potencjalnym odbiorcą kompostu w nieograniczonej ilości. Według Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Białymstoku globalne roczne zużycie kompostu jej potrzeby można oszacować na poziomie 15–20 tys. metrów przestrzennych. Ze względu na to, iż zasoby torfu są ograniczone, a zarazem mają ogromny wpływ na utrzymanie bilansu wodnego istnieje potrzeba poszukiwania innych komponentów niezbędnych do procesu kompostowania, np. osadów ściekowych bogatych w mikroelementy i pierwiastki niezbędne do produkcji roślinnej. Głównym komponentem przyzmi kompostowych były osady ściekowe z oczyszczalni ścieków mleczarskich należącej do firmy „Mlekovi-ta” w Wysokiem Mazowieckiem. Oczyszczalnia ta należy do największych w województwie.

Do wymiernych korzyści dla ochrony środowiska naturalnego regionu północno-wschodniego wynikających z realizacji projektu należą między innymi:

- bezpieczny recykling osadów do środowiska naturalnego,
- zmniejszenie ilości osadów składowanych na terenie oczyszczalni i wysypiskach,
- powstanie bezpiecznego produktu do rekultywacji i nawożenia gleb w rolnictwie i produkcji leśnej,
- minimalizacja ryzyka zdrowotnego związanego z nieprzemysłowym stosowaniem osadów ściekowych.

Autorzy projektu pragną szczególnie podziękować zaangażowanej w realizację projektu badawczego dyrekcji i kadrze technicznej Nadleśnictwa w Rudce, jak również osobom odpowiedzialnym za ochronę środowiska i eksploatację systemu oczyszczania ścieków w firmie „Mlekovi-ta” w Wysokiem Mazowieckiem.

1. Przepisy prawne dotyczące gospodarki osadami ściekowymi

Do 2002 roku obowiązywało w Polsce Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe (Dz.U. Nr 72 poz. 813 z 1999 r.). Wprowadzona w 2001 roku ustawa o odpadach (Dz.U. Nr 62, poz 628) wraz z późniejszymi zmianami wprowadziła konieczność opracowania nowego rozporządzenia dotyczącego osadów ściekowych. Obecnie najważniejszym aktem prawnym dotyczącym wykorzystania osadów ściekowych, jest **Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych** (Dz.U. Nr 134 poz. 1140 z 27 sierpnia 2002 r.). Rozporządzenie z dnia 1 sierpnia 2002 r. określa:

- warunki, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu komunalnych osadów ściekowych;
- dawki osadów ściekowych, które można stosować na gruntach;
- zakres, częstotliwość i metody referencyjne badań komunalnych osadów ściekowych i gruntów, na których osady te mają być stosowane.

Według powyższego rozporządzenia komunalne osady ściekowe mogą być stosowane, jeżeli:

- zawartość w nich metali ciężkich nie przekracza ilości przedstawionych w tabeli 1;
- w komunalnych osadach ściekowych stosowanych w rolnictwie i do rekultywacji gruntów na cele rolne nie wyizolowano bakterii z rodzaju *Salmonella* – w 100 g przeznaczonych do badań osadów;
- łączna liczba żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* w 1 kg suchej masy osadów stosowanych:
 - w rolnictwie wynosi 0;
 - do rekultywacji terenów jest nie większa niż 300;
 - do dostosowania gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu jest nie większa niż 300;
 - do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu jest nie większa niż 300;
 - do uprawy roślin nie przeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz jest nie większa niż 300;
- zawartość metali ciężkich w wierzchniej (0–25 cm) warstwie gruntu, na którym komunalne osady ściekowe mają być stosowane, nie przekracza ilości ustalonych:

- w tabeli 2 – przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne;
- w tabeli 3 – przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych do rekultywacji terenów na cele nierolne, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nie przeznaczonych do spożycia i produkcji pasz oraz przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu;
- odczyn pH gleby na terenach użytkowanych rolniczo jest nie mniejszy niż 5,6;
- działanie to nie powoduje pogorszenia jakości gleby oraz wód powierzchniowych i podziemnych.

Tabela 1.

Dopuszczalna ilość metali ciężkich w stosowanych komunalnych osadach ściekowych

Metale	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy osadu nie większa niż:		
	przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych:		
	w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne	do rekultywacji terenów na cele nierolne	przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nie przeznaczonych do spożycia i produkcji pasz
Ołów (Pb)	500	1000	1500
Kadm (Cd)	10	25	50
Rtęć (Hg)	5	10	25
Nikiel (Ni)	100	200	500
Cynk (Zn)	2500	3500	5000
Miedź (Cu)	800	1200	2000
Chrom (Cr)	500	1000	2500

Tabela 2.

Dopuszczalna ilość metali ciężkich w wierzchniej warstwie gruntu przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych do rekultywacji gruntów na cele rolne

Metale	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy gruntu nie większa niż:		
	przy gruntach:		
	lekkich	średnich	ciężkich
Ołów (Pb)	40	60	80
Kadm (Cd)	1	2	30
Rtęć (Hg)	0,8	1,2	1,5
Nikiel (Ni)	20	35	50
Cynk (Zn)	80	120	180
Miedź (Cu)	25	50	75
Chrom (Cr)	50	75	100

Tabela 3.

Dopuszczalna ilość metali ciężkich w wierzchniej warstwie gruntu przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych do rekultywacji terenów na cele nierolne

Metale	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy gruntu nie większa niż:		
	przy gruntach:		
	lekkich	średnich	ciężkich
Ołów (Pb)	50	75	100
Kadm (Cd)	3	4	5
Rtęć (Hg)	1	1,5	2
Nikiel (Ni)	30	45	60
Cynk (Zn)	150	220	300
Miedź (Cu)	50	75	100
Chrom (Cr)	100	150	200

Przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie dawkę osadu ściekowego ustala się dla każdej partii osadu osobno. Wielkość dawki komunalnego osadu ściekowego zależy od rodzaju gruntu, sposobu jego użytkowania, jakości komunalnego osadu ściekowego i zapotrzebowania roślin na fosfor i azot. Dawki zawarte w rozporządzeniu prezentuje tabela 4.

Tabela 4.

Dawki komunalnych osadów ściekowych

Cel wykorzystywania komunalnych osadów ściekowych		Dawka komunalnych osadów ściekowych [mg s.m./ha]	Uwagi
Rolnictwo		do 10 – dawka w ciągu 5 lat	zabieg jednokrotny lub dwukrotny
Rekultywacja:	gruntów na cele rolne	200 – zależnie od pożądanej zawartości substancji organicznej w gruncie (do 3%)	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
	terenów na cele nierolne	do 200	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
Dostosowanie do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu		do 200	zabieg jednokrotny z jedno- lub wielorazowym wprowadzaniem osadu do gruntu
Uprawa roślin przeznaczonych do produkcji kompostu		do 250 – dawka na pierwsze 3 lata	zabiegi wielokrotne
		do 10 – dawka w kolejnych dalszych latach	
Uprawa roślin nie przeznaczonych do spożycia i produkcji pasz		do 250 – dawka na pierwsze 3 lata	zabiegi wielokrotne
		do 10 – dawka w kolejnych dalszych latach	

Ilości metali ciężkich, które mogą być wprowadzone z komunalnym osadem ściekowym w ciągu roku do gleby, średnio w okresie 10 lat, nie mogą przekroczyć:

- ołowiu (Pb) – 1000 g/ha/rok;
- kadmu (Cd) – 20 g/ha/rok;
- rtęci (Hg) – 10 g/ha/rok;
- niklu (Ni) – 200 g/ha/rok;
- cynku (Zn) – 5000 g/ha/rok;
- miedzi (Cu) – 1600 g/ha/rok;
- chromu (Cr) – 1000 g/ha/rok.

Komunalne osady ściekowe nie mogą być wykorzystywane podczas wegetacji roślin przeznaczonych do bezpośredniego spożycia przez ludzi.

Badania komunalnych osadów ściekowych przeprowadza się z częstotliwością zależną od obciążenia oczyszczalni, wyrażonego liczbą równoważnych mieszkańców (LRM), nie rzadziej niż:

- raz na sześć miesięcy – przy LRM do 10 000;
- raz na cztery miesiące – przy LRM powyżej 10 000 do 100 000;
- raz na dwa miesiące – przy LRM ponad 100 000.

Reprezentatywną próbkę komunalnego osadu ściekowego do badań uzyskuje się przez połączenie i dokładne zmieszanie próbek pobranych w tym samym czasie, z różnych miejsc przeznaczonego do badań danego osadu ściekowego.

Badania osadu, powinny obejmować oznaczenie: odczynu, zawartości suchej masy, zawartości substancji organicznych, azotu ogólnego (w tym azotu amonowego), fosforu ogólnego, wapnia i magnezu, zawartości metali ciężkich (ołowiu, kadmu, rtęci, niklu, cynku, miedzi i chromu) oraz wskaźników sanitarnych (obecności bakterii chorobotwórczych z rodzaju *Salmonella* i liczby żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.*). Natomiast badania gruntu ograniczają się do oznaczenia: pH, zawartości metali ciężkich oraz fosforu przyswajalnego.

Osady ściekowe nie mogą być wykorzystywane w celach nieprzemysłowych:

- w parkach narodowych i rezerwach przyrody;
- na wewnętrznych terenach ochrony pośredniej stref ochronnych źródeł i ujęć wody;
- w pasach gruntu o szerokości 50 m bezpośrednio przylegających do brzegów jezior i cieków;
- na terenach zalewowych i bagiennych;
- na terenach zamrzniętych i pokrytych śniegiem;
- na gruntach o bardzo dużej przepuszczalności, tj. piaskach luźnych i słabogliniastych oraz na piaskach i glinach lekkich, w których maksymalnie wysoki poziom wód gruntowych sięga do 1,5 m od powierzchni terenu;
- na terenach objętych innymi formami ochrony przyrody, niż wymienione wyżej, jeżeli osady ściekowe zostały wytworzone poza tymi terenami;
- w odległości mniejszej niż 50 m od ujęć wody, domów mieszkalnych i zakładów produkcji żywności;
- na glebach, na których uprawiane są owoce i warzywa, z wyjątkiem drzew owocowych;
- na gruntach przeznaczonych pod uprawę owoców i warzyw, które bezpośrednio stykają się z ziemią i spożywane są w stanie surowym, w ciągu 10 miesięcy poprzedzających zbiory i w czasie samych zbiorów;
- na terenach pastwisk i łąk użytkowanych rolniczo, jeżeli wypas zwierząt ma nastąpić przed upływem jednego miesiąca;
- do nawożenia gleby pod osłonami.

2. Charakterystyka osadów ściekowych, możliwości ich zastosowania do nieprzemysłowego wykorzystania

Charakterystyka osadów ściekowych generowanych w oczyszczalniach zależy od wielu czynników. Do najważniejszych należy zaliczyć rodzaj ścieków, technologię ich oczyszczania oraz sposób przeróbki osadów. W chwili obecnej na terenie województwa podlaskiego działa niemal 100 oczyszczalni stosujących różne metody oczyszczania ścieków i przeróbki osadów. Według danych uzyskanych podczas realizacji w Instytucie Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Białostockiej projektu p.t. „Bilans ścieków i osadów ściekowych w oczyszczalniach województwa podlaskiego” całkowita ilość ścieków wynosiła niemal 140 tysięcy metrów sześciennych na dobę, natomiast ilość osadów generowanych przez oczyszczalnię to niemal 20 tysięcy ton suchej masy w ciągu roku. Dane te uzyskane w roku 2000 nie odbiegają zasadniczo od sytuacji panującej w chwili obecnej to jest na koniec roku 2004. Zaobserwowano zmniejszenie się ilości ścieków w dużych obiektach co nie było równoznaczne ze spadkiem ładunków ścieków oczyszczanych. Podobnie dzieje się z osadami, których ilość wzrasta wraz z wprowadzaniem intensywnego biologicznego i chemicznego oczyszczania ścieków. Działające w województwie podlaskim obiekty można podzielić na trzy grupy pod względem ilości oczyszczanych ścieków i ładunków zanieczyszczeń. Największe obiekty to oczyszczalnie komunalne pracujące w Białymstoku, Łomży, Suwałkach i Augustowie oraz oczyszczalnię ścieków z przemysłu mleczarskiego w Wysokiem Mazowieckiem oraz mięsnego w Czyżewie. Wymienione obiekty generują ponad 75% ogólnej ilości osadów ściekowych. Wśród największych obiektów dominują systemy przepływowe z intensywnym usuwaniem związków węgla azotu i fosforu na drodze biologicznej jak i z chemicznym strącaniem fosforu. Przeróbka osadów w tych obiektach (z wyjątkiem oczyszczalni w Wysokiem Maz. i Augustowie) oparta jest o stabilizację beztlenową, zagęszczanie i odwadnianie oraz higienizację wapnem, a pozyskiwany biogaz używany jest do produkcji energii cieplnej niezbędnej do ogrzania komór fermentacyjnych.

Druga pod względem wielkości grupa oczyszczalni to obiekty o przepustowości od około tysiąca do kilku tysięcy metrów sześciennych na dobę. Wśród nich szereg obiektów działa w oparciu o reaktory sekwencyjne z symultanicznym strącaniem fosforu na drodze chemicznej. Stosują one niemal wyłącznie stabilizację tlenową zachodzącą łącznie z procesem oczyszczania ścieków. W większości obiektów do odwadniania osadów ściekowych stosowane są prasy filtracyjne. Na uwagę zasługuje jedyny zlokalizowany w Zambrowie obiekt stosujący trzciniowisko do odwadniania osadów.

Najmniejsze oczyszczalnie w regionie to w głównej mierze obiekty stosujące osad czynny w układzie semiperiodycznym. W obiektach tych zaobserwowano najwięcej problemów ze stabilną pracą układu, co w dużej mierze wynika z tego, iż większość ścieków

trafiających do oczyszczalni pochodzi ze zbiorników bezodpływowych. Układy przepływowe według doświadczeń autorów radzą sobie znacznie lepiej z tymi problemami. Przeróbka osadów to wyłącznie symultaniczna stabilizacja tlenowa oraz odwadnianie na poletkach bądź przy użyciu pras workowych. Proces odwadniania zachodzi w dwóch etapach, pierwszy to doprowadzenie osadu do instalacji workownicy i odwadnianie w specjalnych workach z tworzywa hydrofobowego do uwodnienia 80–85%, druga faza odwadniania zachodzi na powietrzu, gdzie uwodnienie powinno zmniejszyć się do około 30%.

Proces kompostowania osadów ściekowych prowadzą w pełnej skali jedynie oczyszczalnia w Zambrowie, gdzie osad przerabiany jest przy użyciu wermikultury, jak i w Sokółce gdzie prowadzi się kompostowanie przyzmoze z dodatkiem biomasy.

Skład osadów ściekowych, oraz ich stan sanitarny to dwa podstawowe elementy decydujące o możliwości ich recyklingu zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Badania osadów ściekowych województwa białoostockiego, suwalskiego, łomżyńskiego, a następnie podlaskiego prowadzone są systematycznie od roku 1996. Tabela 1 przedstawia wartości maksymalne stężeń metali w osadach z oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych zlokalizowanych na terenie województwa podlaskiego w kontekście wartości dopuszczalnych dla rolniczego wykorzystania. W tabeli 2 zestawiono analogiczne wyniki badań dotyczące azotu, fosforu, wapnia, magnezu i substancji organicznych.

Tabela 1.

Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych z oczyszczalni przemysłowych i komunalnych województwa podlaskiego

Typ oczyszczalni, okres badań	Zawartości metali ciężkich [mg/kg s.m. – wartości maksymalne]						
	Ołów	Cynk	Miedź	Kadm	Nikiel	Chrom	Rtęć
Oczyszczalnie mleczarskie 1998–2002	19,0	348	26	0,80	12,0	19,0	0,38
Oczyszczalnia przemysłu mięsnego 1999–2001	7,0	780	136	1,4	19,0	21	0,2
Oczyszczalnia województwa podlaskiego 1998–2000	194	2436	136	4,9	25	1000	5,15
Wartość maksymalna przy rolniczym wykorzystaniu	500	2500	800	10	100	500	5

Tabela 2.

Wartości maksymalne związków biogenych w osadach ściekowych badanych w latach 1998–2002

Typ oczyszczalni, okres badań	Zawartość pierwiastków [g/kg s.m.]				Substancje organiczne [%]
	Azot ogólny	Fosfor ogólny	Magnez	Wapń	
Oczyszczalnie mleczarskie 1998–2002	93,6	48,6	6,9	61,9	83,0
Oczyszczalnia przemysłu mięsnego 1999–2001	91,0	38,0	6,59	551	11,2
Oczyszczalnia woj. podlaskiego 1998–2000	86,2	36,9	19,9	551	81,1

Przeprowadzone badania miały charakter kompleksowy, ze względu na to, iż objęty one praktycznie wszystkie oczyszczalnie działające na terenie województwa podlaskiego i dlatego mogą one służyć jako punkt odniesienia w stosunku do badań planowanych w przyszłości. Oprócz charakterystyki osadów pod względem fizyczno chemicznym i sanitarnym monitorowano sposób finalnego ich wykorzystania – przedstawia to rysunek 1 oraz tabela 3. Duża zawartość cynku w osadach komunalnych jest charakterystyczna dla dużych ośrodków miejskich, natomiast przytoczona w tabeli 3 ilość chromu wynika z tego, iż do jednej z oczyszczalni dopływają duże ilości ścieków garbarskich. Pozostałe obiekty charakteryzują się zawartością chromu w osadach na poziomie kilkudziesięciu mg/kg s.m. osadu. Niska zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych pochodzących z oczyszczalni województwa podlaskiego wynika z rolniczego charakteru tego regionu, a także braku rozwiniętego przemysłu.

Rysunek 1.

Sposób zagospodarowania osadów ściekowych w oczyszczalniach województwa podlaskiego

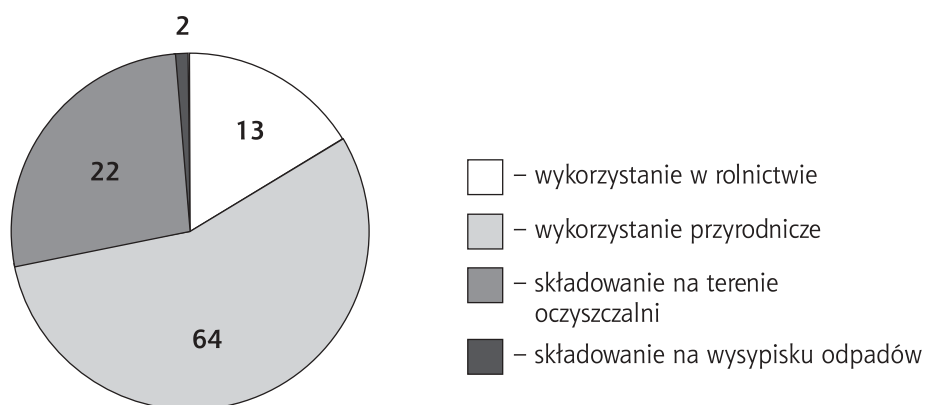


Tabela 3.

Sposób zagospodarowania osadów ściekowych w oczyszczalniach województwa podlaskiego

Sposób zagospodarowania	Ilości osadów zagospodarowane w dany sposób w tonach suchej masy na rok w oczyszczalniach o różnej przepustowości					Procentowy udział oczyszczalni [%]
	Poniżej 200 m ³ /d	200–2000 m ³ /d	2000–10000 m ³ /d	Powyżej 10000 m ³ /d	ogółem	
WYKORZYSTANIE						
• w rolnictwie	47,2	520	1730	–	2297,2	11,7
• przyrodnicze	37,0	401	1360	10698	12496	63,8
SKŁADOWANIE						
• na terenie oczyszczalni	71,2	51	2100	2015	4237,2	21,6
• na wysypisku	186,8	381,2	–	–	568	2,9
Razem	342,2	1353,2	5190	12713	19598,4	100

2.1.

Charakterystyka osadów generowanych w oczyszczalniach ścieków mleczarskich

Ze względu na charakter realizowanego projektu dotyczącego możliwości finalnego zagospodarowania osadów ściekowych szczególną uwagę poświęcono badaniom osadów generowanych przez oczyszczalnie ścieków mleczarskich. Sposób oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych wraz z określeniem ilości ścieków i osadów przedstawia tabela 4. Są to dane z lat 2002–2004, a więc z okresu, w którym realizowano projekt badawczy. Tabele 5 i 6 prezentują wyniki badań prowadzonych w opisanych obiektach.

Należy zwrócić uwagę na ilości ścieków i osadów generowanych w poszczególnych obiektach. Zauważono, iż tam gdzie dokonano gruntownej modernizacji wprowadzając intensywne biologiczne usuwanie azotu i fosforu wzrosła ilość osadów ściekowych. Przykładem może być oczyszczalnia należąca do firmy „Mlekovita” w Wysokiem Mazowieckiem, gdzie ilość osadów przed jej modernizacją wynosiła około 600 ton s.m. w ciągu roku. Po rozruchu zmodernizowanego obiektu ilość ta wzrosła do 1100 w 2001 roku i 1500 ton suchej masy w roku 2004. Wynika to także ze wzrostu ładunku ścieków oczyszczanych w tym obiekcie, wartości BZT₅ sięgają 3000 mgO₂/l. Inny obiekt należący także do „Mlekovity” zlokalizowany w Bielsku Podlaskim generuje znacznie mniej osadów, stężenie BZT₅ nie przekracza 1000 mgO₂/l, ścieki oczyszczane są wyłącznie w rowach cyrkulacyjnych przystosowanych do usuwania związków węgla.

Tabela 4.

Ilość ścieków i osadów ściekowych wytwarzanych w wybranych oczyszczalniach ścieków mleczarskich wraz ze sposobem ich oczyszczania

Lokalizacja zakładu	Przepływ ścieków [m ³ /d]	Ilość osadów [ton s.m./r]	Sposób oczyszczania ścieków i przeróbki osadu
Wysokie Mazowieckie	3200	1500	Intensywne biologiczne oczyszczanie, doczyszczanie chemiczne. Stabilizacja tlenowa w wydzielonej komorze, odwadnianie przy użyciu prasy filtracyjnej
Mońki	420	52	Oczyszczalnia wielofazowa, symultaniczna stabilizacja tlenowa, odwadnianie na poletku filtracyjnym oraz przy użyciu prasy filtracyjnej
Dolistowo	80	12	Oczyszczalnia tlenowa, osad dwustopniowy. Symultaniczna stabilizacja tlenowa, odwadnianie przy użyciu prasy workowej
Bielsk Podlaski	600	90	Rowy cyrkulacyjne, wstępne napowietrzanie, regeneracja osadu Symultaniczna stabilizacja tlenowa, odwadnianie na poletku filtracyjnym
Zambrów	800	160	Reaktory tlenowe. Wydzielona stabilizacja tlenowa i zagęszczanie, odwadnianie na poletku filtracyjnym
Piątnica	480	180	Reaktor tlenowo beztlenowy. Stabilizacja tlenowa w wydzielonej komorze, odwadnianie przy użyciu poletka filtracyjnego

Tabela 5.

Zawartość metali ciężkich w osadach oczyszczalni ścieków mleczarskich

Lokalizacja	Ilość metali ciężkich [mg/kg s.m. – wartości maksymalne]						
	Ołów	Cynk	Miedź	Kadm	Nikiel	Chrom	Rtęć
Wysokie Mazowieckie	8,9	164	17,9	0,4	1,5	1,5	0,010
Mońki	3,2	157	21	0,11	6,8	11,4	0,20
Dolistowo	3,9	180	8	0,1	2,0	6,8	0,12
Bielsk Podlaski	5,0	167	10	0,35	4,0	3,0	0,12
Zambrów	8,1	230	28	0,60	9,1	9,6	0,23
Piątnica	17,5	1021	65	0,84	14,0	8,8	0,07
Wartość max. przy rolniczym wykorzystaniu	500	2500	800	10	100	500	5

Tabela 6.

Wybrane wskaźniki w osadach oczyszczalni ścieków mleczarskich

Lokalizacja	Wybrane wskaźniki charakterystyczne – wartości maksymalne				
	Azot ogólny [g/kg s.m.]	Fosfor ogólny [g/kg s.m.]	Magnez [g/kg s.m.]	Wapń [g/kg s.m.]	Substancje organiczne [%]
Wysokie Mazowieckie	45,3	60,6	5,9	72,9	66,5
Mońki	60,0	8,2	2,1	18,0	64
Dolistowo	35,0	5,1	2,6	14,6	71
Bielsk Podlaski	20,8	5,35	4,57	47,8	74,2
Zambrów	93,5	48,8	5,73	41,3	74
Piątnica	62,7	36,0	24,7	73,3	82,8

Badane w ostatnich latach osady z oczyszczalni ścieków mleczarskich charakteryzują się niską zawartością metali ciężkich w stosunku do osadów generowanych w oczyszczalniach komunalnych. Wyniki otrzymane w latach 1998–2002, jak i na koniec roku 2004 są zbliżone. Osady te charakteryzują się dużą zawartością azotu i fosforu, co obok tego, iż są one nie zanieczyszczone pod względem sanitarnym pretenduje je do wykorzystania jako nawozu bądź do procesu kompostowania. W tabeli 7 i 8 przedstawiono zawartość metali ciężkich w typowych nawozach stosowanych w rolnictwie, jak i porównano zawartość związków biogenych w osadzie i oborniku.

Tabela 7.

Zawartość metali ciężkich w wybranych nawozach stosowanych w rolnictwie

Rodzaj nawozu	Ołów	Kadm	Chrom	Miedź	Nikiel	Rtęć	Cynk
Saletrzak	38	0,4	4	7	3	–	64
Gnojowica bydłęca	11	0,46	5,4	45	3,8	0,05	222
Gnojowica świńska	11	0,82	9	294	11	0,04	896
Obornik bydłęcy	17	0,1	22	27	16	0,1	190

Tabela 8.

Składniki nawozowe w osadzie ściekowym S.M. Mlekovića i oborniku

Składnik nawozowy	Obornik [g/kg s.m.]	Osad ściekowy [g/kg/s.m.]	
		Bez wapnowania	Osad po wapnowaniu
Azot	15	45,3	32
Fosfor	3,9	60,9	47
Potas	15	–	–
Wapń	12	73	210
Magnez	3	5,9	5,6

2.2.**Właściwości biologiczne osadów ściekowych**

Ustabilizowane osady ściekowe mają korzystny skład chemiczny, doskonałe własności glebotwórcze i na ogół dobrze oddają wodę. Jednak obok tych pożądaných właściwości, są one siedliskiem mikrofauny i mikroflory, w skład której wchodzi m.in. bakterie, wirusy, robaki pasożytnicze, grzyby, pierwotniaki. Wśród wymienionych mikroorganizmów znajdują się organizmy patogenne groźne dla ludzi i zwierząt oraz saprofityczne (sanitarnie obojętne). Dostają się one do oczyszczalni wraz ze ściekami zawierającymi odchody ludzkie i zwierzęce, a w efekcie kumulują się w dużych ilościach w osadach ściekowych. Z uwagi na powyższe stwierdzenie badania mikrobiologiczne i helmintologiczne stanowią ważne kryterium niezbędne do oceny sanitarnej osadów ściekowych.

Osadami budzącymi największe zastrzeżenia higieniczno-sanitarne są osady surowe pochodzące z oczyszczania wstępnego, natomiast najmniejsze obawy dotyczą osadów ustabilizowanych i poddanych procesowi higienizacji.

Ze względu na dużą liczbę organizmów patogennych, które mogą pojawić się w osadach ściekowych nie ma możliwości oznaczania wszystkich organizmów uznanych za niebezpieczne z sanitarnego punktu widzenia. W wielu krajach, w tym w Polsce ustalono listę organizmów, które są organizmami wskaźnikowymi i które bezwzględnie muszą być oznaczane przy badaniu osadów ściekowych pochodzących z komunalnych oczyszczalni ścieków. Do nich zaliczamy bakterie należące do rodzaju *Salmonella* oraz pasożyty, a ściślej żywe jaja pasożytów jelitowych ludzi i zwierząt należących do rodzajów *Ascaris*, *Trichuris* i *Toxocara*. Poniżej przedstawiono rozszerzoną listę organizmów patogennych występujących w osadach i omówiono wybrane organizmy wskaźnikowe istotne z sanitarnego punktu widzenia.

Bakterie

Do najliczniejszej grupy drobnoustrojów występujących w osadach ściekowych należą bakterie. Ich liczebność jest uzależniona od struktury osadu, odczynu, temperatury, wilgotności, a przede wszystkim od ilości substancji organicznych, które stanowią główne źródło pokarmu niezbędnego do rozwoju bakterii heterotroficznych (Butarewicz, 1999). W związku z powyższym, ogólna liczba bakterii może wynosić od kilku tysięcy nawet do

kilku miliardów komórek na gram suchej masy osadu. Dużą grupę bakterii występujących w osadach stanowi typowa mikroflora przewodu pokarmowego człowieka i zwierząt, wśród której występują również formy patogenne. Najgroźniejszymi bakteriami chorobotwórczymi występującymi w ściekach i osadach są bakterie powodujące zatrucia przewodu pokarmowego, oraz wywołujące choroby np. leptospirozę, gruźlicę, tyfus, czerwonkę i cholere. W wypadkach drastycznych zaniedbań w usuwaniu nieczystości z niektórych gałęzi przemysłu, a zwłaszcza przy niedostatecznym odkażeniu ścieków pochodzących ze szpitali, sanatoriów i rzeźni, bakterie patogenne mogą być przyczyną występowania epidemii poszczególnych chorób.

Liczne prace krajowe i zagraniczne dotyczące analizy bakteriologicznej ścieków i osadów ściekowych pozwoliły na ustalenie listy najczęściej wykrywanych rodzajów i gatunków bakterii istotnych z sanitarnego punktu widzenia (tabela 1). Spośród wymienionych w tabeli 1 organizmów patogennych najbardziej niebezpieczne są organizmy należące do trzeciej kategorii, które mogą stanowić poważne zagrożenie dla człowieka, choć zazwyczaj dostępna jest skuteczna profilaktyka i terapia. Z drugiej strony ryzyko zakażenia niektórymi gatunkami bakterii patogennych jest w Polsce niewielkie i wynika z faktu ograniczonej możliwości występowania ich w ściekach, jak również niewielkiej możliwości przeżycia poza organizmem gospodarza.

Tabela 9.

Bakterie patogenne występujące w osadach ściekowych i wywoływane przez nie choroby

Gatunek bakterii	Kategoria*	Nazwa jednostki chorobowej
<i>Escherichia coli</i> (szczepy patogenne)	II	Zapalenie jelit
<i>Salmonella typhi</i>	III	Tyfus
<i>Salmonella spp.</i>	II	Zapalenie jelit
<i>Shigella dysenteriae</i>	II	Biegunka, czerwonka bakteryjna
<i>Shigella spp.</i>	II	Biegunka
<i>Clostridium botulinum</i>	III	Botulizm
<i>Clostridium perfringens</i>	III	Zapalenie jelit, zgorzel gazowa
<i>Vibrio cholerae</i>	III	Cholera
<i>Vibrio parahemolyticus</i>	II	Zapalenie jelit
<i>Leptospira spp.</i>	II	Leptospiroza
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	III	Gruźlica
<i>Yersinia enterocolitica</i>	II	Zapalenie jelit, artretyzm
<i>Staphylococcus spp.</i>	II	Choroby: skóry, różnych narządów, posocznice
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	II	Zapalenie dróg moczowych, zakażenia dolnych dróg oddechowych
<i>Bacillus anthracis</i>	III	Wąglik
<i>Enterococcus faecalis</i>	II	Posocznice, zakażenia dróg moczowych
<i>Campylobacter spp.</i>	II	Biegunka, ostre bóle żołądka

* kategoria zgodna z listą organizmów patogennych dla człowieka (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002 r. – Dz.U. Nr 212, poz. 1798)

Głównym wskaźnikiem zanieczyszczenia sanitarnego osadów jest obecność bezwzględnie chorobotwórczych Gram-ujemnych pałeczek z rodzaju *Salmonella*, reprezentujących rodzinę *Enterobacteriaceae*. Bakterie należące do tego rodzaju są powodem licznych zakażeń u ludzi, a ich udział jako czynnika zakaźnego jest w dalszym ciągu wysoki. W przypadku zatruc pokarmowych spowodowanych pałeczkami *Salmonella sp.* okres ich inkubacji do wystąpienia objawów chorobowych jest krótki i wynosi od 16 do 36 godzin.

Kolejnym istotnym z sanitarnego punktu widzenia drobnoustrojem, występującym w osadach ściekowych są pałeczki okrężnicy, czyli *Escherichia coli*, jak również spokrewnione z nimi pałeczki grupy *coli*. Do grupy tej zaliczane są wszystkie nieprzetwarzające lub beztlenowe pałeczki Gram-ujemne, które posiadają zdolność do fermentacji laktozy z wytworzeniem produktów kwaśnych i gazowych podczas 48-godzinnej hodowli w temperaturze 37°C. Do bakterii grupy *coli* należą, oprócz gatunku *Escherichia coli*, także pałeczki z rodzajów *Enterobacter*, *Klebsiella* i *Citrobacter*, które zaliczane są do rodziny *Enterobacteriaceae*, a także laktozo-dodatnie szczepy pałeczek z rodzaju *Aeromonas*, reprezentujące rodzinę *Vibrionaceae*.

Pałeczki okrężnicy *Escherichia coli* są stałymi mieszkańcami jelita grubego i dlatego zawsze występują w fekaljach oraz ściekach z gospodarstw domowych. Niektóre szczepy *E.coli*, np. *E.coli* H7 O:157 są chorobotwórcze i w przypadku zarażenia mogą powodować zgony zwłaszcza u ludzi o osłabionej odporności ustrojowej.

Ważne ze względów sanitarnych są także beztlenowe bakterie przetrwalnikujące z rodzaju *Clostridium*. Bakterie te należą do rodziny *Bacillaceae*, mają kształt łaseczek, redukują siarczan(IV) i wytwarzają przetrwalniki. Są to łaseczki Gram-dodatnie, lecz w starych kulturach niekiedy zmieniają się w Gram-ujemne. Wykazują w zasadzie ujemny test na katalazę. Wiele ich gatunków fermentuje węglowodany z wydzieleniem kwasu i gazu. Wykazują one zdolność do redukcji siarczków, co wykorzystuje się do celów diagnostycznych.

Bakterie z rodzaju *Clostridium* powszechnie występują w glebie, kale ludzkim i zwierzęcym oraz w wodzie i ściekach. Dzięki zdolności do wytwarzania przetrwalników są bardziej odporne na znaczne wahania wartości czynników abiotycznych w środowisku niż pałeczki grupy *coli* oraz cechuje je większa odporność na działanie chloru i jego związków oraz innych środków dezynfekcyjnych. Obecność ich w próbce wskazuje na możliwość zanieczyszczenia pochodzenia fekalnego, a wykrycie tych drobnoustrojów przy równoczesnej nieobecności pałeczek *Escherichia coli* świadczy o dawno powstałym zanieczyszczeniu. W osadach ściekowych najczęściej spotykane są bakterie z gatunku *Clostridium perfringens*. Bakterie należące do tego gatunku mogą być odpowiednim indykatozem występowania wirusów i pasożytniczych pierwotniaków, jeśli podejrzewa się, że czynnikiem zanieczyszczenia są ścieki lub osady ściekowe.

Ważną grupę bakterii występujących w osadach ściekowych stanowią paciorkowce kałowe. Należą one do rodzaju *Enterococcus*, są Gram-dodatnie, o kształcie kulistym lub owalnym. W preparatach mikroskopowych układają się w pary lub łańcuszki. Bakterie te nie posiadają zdolności ruchu ani nie wytwarzają przetrwalników. Większość gatunków należy do tlenowców, a tylko nieliczne są beztlenowcami. Naturalnym środowiskiem bytowania enterokoków jest przewód pokarmowy ludzi i zwierząt ciepłokrwistych. Do ścieków, a zatem i osadów ściekowych, przedostają się wraz z kałem wspomnianych organizmów wyższych. Z rozpoznanych 29 gatunków paciorkowców kałowych u ludzi wykryto co najmniej 10. Najczęściej izolowane w kale człowieka gatunki to: *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, w niektórych przypadkach *Enterococcus durans*. Oznaczenie tych bakterii, podobnie jak oznaczenie bakterii grupy *coli*, pozwala określić stopień skażenia

próbki fekaliami. Bakterie te zazwyczaj charakteryzują się dłuższą przeżywalnością w środowisku oraz większą odpornością na działanie chloru niż bakterie grupy *coli*.

Głównym przedstawicielem tego rodzaju jest gatunek *Enterococcus faecalis*. Gatunek ten tworzą bakterie należące do mikroflory przewodu pokarmowego człowieka. Są wydalane z kałem. Nie wytwarzają toksyn. Dopiero gdy dostaną się do innych miejsc w organizmie niż przewód pokarmowy, stają się chorobotwórcze. Mogą wówczas wywoływać zakażenia dróg moczowych, zakażenia opon mózgowo-rdzeniowych, ogólne posocznice lub zatrucia.

Wirusy

Dokładne rozpoznanie i określenie ilościowe wirusów w ściekach i osadach trafia na trudności związane z ich izolowaniem i oznaczaniem. Wirusy namnażają się wyłącznie w żywych, wrażliwych komórkach, co w warunkach laboratoryjnych wiąże się z zastosowaniem żywych hodowli tkankowych.

Wirusy stanowią istotny czynnik zakaźny. Są to stosunkowo małe cząstki patogenne zbudowane z jednego typu kwasu nukleinowego RNA lub DNA oraz białek tworzących kapsyd. Mają zdolność do odtwarzania swojej struktury wewnątrz komórek różnych organizmów żywych i są lub mogą się stać chorobotwórcze lub zakaźne dla gospodarza. Wykazują bezwzględne pasożytnictwo i doprowadzają do zmian metabolicznych oraz śmierci komórki gospodarza. W zależności od organizmu, w którego komórkach się namnażają, wyróżniamy wirusy zwierzęce (zoofagi), roślinne (fitofagi), bakteryjne (bakteriofagi), wirusy sinic (cyjanofagi) oraz wirusy grzybów (mykofagi). Oddzielną grupę stanowią nietypowe wirusy pozbawione otoczki białkowej (wiroidy). Naturę wirusową przejawiają także plazmidy bakteryjne.

Zawartość wirusów w osadach może się znacznie różnić zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym. Obecnie znanych jest ponad 100 wirusów, które mogą się znaleźć w wydalonym przez człowieka kale, a tym samym w osadach ściekowych (Podgórski, 1997). Najczęściej spotykane w osadach wirusy przedstawiono w tabeli 10.

Zachorowanie po infekcji oraz jego przebieg zależy od rodzaju organizmu. Najczęściej spotykanymi objawami zarażenia są biegunka, wymioty oraz gorączka, które zazwyczaj mają łagodny przebieg. Infekcja wywołana u osoby starszej, niemowlęcia bądź osoby o obniżonej odporności immunologicznej może być znacznie groźniejsza. Do innych chorób wywoływanych przez wirusy należą m.in. zapalenie mięśnia sercowego i osierdzia (wirusy *Coxsackie*), uszkodzenie wątroby (*Hepatitis A*). Są to choroby, których zakażenie następuje drogą pokarmową.

Ze względów sanitarnych najgroźniejsze wirusy to te, które należą do grupy *Enterowirusów*, ponieważ cechuje je duża odporność na działanie środków dezynfekcyjnych oraz długa zdolność infekcyjna w środowisku. Do najgroźniejszych należą wirusy *Polio* rozprzestrzeniające się przez wydaliny chorych i nosicieli, i wywołujące chorobę Heinego-Medina. Wirusy te zachowują zdolność infekcyjną w środowisku przez 3 miesiące.

W trakcie oczyszczania mechanicznego i biologicznego ścieków wirusy są likwidowane w nieznacznym stopniu. W związku z ich niewielkimi rozmiarami, mogą łatwo wnikać do gleby i wody. Stąd też przyrodnicze zastosowanie osadów ściekowych, nie przebadanych pod względem zawartości wirusów, stanowi duże zagrożenie sanitarne. W Polsce, jak i w wielu innych krajach brak jest przepisów nakazujących określenie liczebności wirusów w osadach ściekowych. W USA w 1997 roku opracowano wytyczne i wprowadzono konieczność oznaczania enterowirusów w osadach ściekowych w przypadku ich przyrodnicze-

go wykorzystania. Należałoby się zastanowić nad wprowadzeniem tych badań również w Polsce. Pozostaje tylko pytanie jak szybko uda się nam to osiągnąć i jakie będzie nasze przygotowanie nie tylko w zakresie metodycznym, lecz także legislacyjnym.

Tabela 10.

Wirusy jelitowe najczęściej występujące w ściekach i osadach

Grupa wirusów	Nazwa jednostki chorobowej
Enterowirusy	
– <i>Poliowirus</i>	Paraliż dziecięcy, zapalenie opon mózgowych
– <i>Coxsackiewirus A</i>	Wady serca, choroby dróg oddechowych
– <i>Coxsackiewirus B</i>	Zapalenie opon mózgowych, wrodzone wady serca
– <i>Echowirus</i>	Wysypka, biegunka
– bliżej nieokreślone wirusy	Ostre krwotoki, zapalenia opon mózgowych, choroba dróg oddechowych
<i>Adenowirus</i>	Infekcje oczu, choroby dróg oddechowych
<i>Reowirus</i>	Dokładnie nieokreślone
<i>Hepatitis typ A</i>	Zakaźne zapalenie wątroby
<i>Rotawirus</i>	Wymioty, biegunka, zapalenie żołądka i jelit
<i>Calciwirus</i>	Wymioty, biegunka
<i>Coronawirus</i>	Dreszcze
<i>Parowirus</i>	Dokładnie nieokreślone, ale występują przy chorobach dróg oddechowych u dzieci

Jak dotąd badania nad występowaniem i zachowaniem się wirusów w środowisku przyrodniczym w Polsce są stosunkowo nieliczne. Należy dążyć do przyspieszenia rozwoju tych badań ze szczególnym uwzględnieniem metod izolacji wirusów, hodowli oraz rozpoznania powodowanego przez nie zagrożenia zdrowia.

Grzyby

W biosferze grzyby występują powszechnie, zajmując wszystkie jej części tj. środowisko powietrzne, wodne i lądowe. Swoistym środowiskiem dla grzybów jest również człowiek i wiele zwierząt. Stąd dostają się do ścieków, a następnie po procesie oczyszczania wydzielają się w osadach. Są one organizmami heterotroficznymi, dlatego też zasobne w składniki pokarmowe osady są dogodnym środowiskiem ich rozwoju. Część grzybów może także stanowić zagrożenie sanitarne. Wiele z nich wywołuje różne choroby m.in. alergiczne. Coraz częściej w trakcie badań mikrobiologicznych osadów zwraca się uwagę na pleśnie i grzyby. Do tej pory jednak nie opracowano metodyki kompleksowych badań mykologicznych, co przyczynia się do niepełnej oceny zagrożeń związanych z obecnością grzybów w osadach ściekowych.

Grzyby chorobotwórcze poza organizmem żywiciela często żyją w stadium saprofitycznym, a tylko niektóre gatunki należy uznać za typowo antropofilne. Osobną grupę stanowią grzyby saprofityczne, mające zdolności toksynotwórcze. Liczne szczepy grzybów pleśniowych, jak np. *Aspergillus flavus* i *Aspergillus fumigatus* wytwarzają tzw. aflatoksyny – trujący komórkowe o największym biologicznym działaniu. Wyizolowane gatunki dermatofitów to w większości grzyby patogenne, a wywoływane przez nie zakażenia skóry są

bardzo powszechne dzięki łatwości z jaką przenoszą się z człowieka na człowieka. Drożdżaki z rodzaju *Candida*, które w prawidłowych warunkach są saprofitami zasiedlającymi błonę śluzową oraz skórę człowieka i zwierząt, wywołują ciężkie schorzenia błony śluzowej oraz narządów wewnętrznych w przypadku zaburzeń mechanizmów obronnych organizmu.

Chorobotwórcze grzyby i drożdże spotykane w ściekach i osadach ściekowych zaprezentowano w tabeli 11.

Tabela 11.

Drożdże i grzyby występujące w ściekach i osadach ściekowych

Mikroorganizmy patogenne	
Drożdże	Grzyby
<i>Candida albicans</i>	<i>Aspergillus sp.</i>
<i>Candida krusei</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>Candida tropicalis</i>	<i>Phialophora richardsii</i>
<i>Candida guillemontii</i>	<i>Geotrichum candidum</i>
<i>Cryptococcus neoformans</i>	<i>Trichophyton sp.</i>
<i>Trichosporon</i>	<i>Epidermophyton sp.</i>

Oprócz zagrożeń sanitarnych, spowodowanych obecnością w osadach ściekowych grzybów chorobotwórczych i toksynotwórczych, niektóre z tych drobnoustrojów mogą oddziaływać destrukcyjnie na równowagę biologiczną biocenoz glebowych, zwłaszcza w przypadku zastosowania osadów do nawożenia gleb.

Robaki pasożytnicze i pierwotniaki

Robaki pasożytnicze nie stanowią jednorodnej grupy taksonomicznej. Helminy należą do różnych grup zwierząt różniących się budową komórkową lub budową ciała, cyklami rozwojowymi, rozmieszczeniem geograficznym i chorobotwórczością.

Ludzie oraz zwierzęta pełnią bardzo ważną rolę w rozwoju osobniczym pasożytów, będąc ich pośrednimi i końcowymi żywicielami. Wraz z kałem do ścieków oraz osadów mogą przedostawać się formy przejściowe pasożytów, jak również ich dorosłe osobniki. Wśród pasożytów przewodu pokarmowego znaczenie epidemiologiczne mają przede wszystkim tasiemce (*Cestoda*), nicienie (*Nematoda*) i przywry (*Trematoda*) oraz niektóre pierwotniaki pasożytnicze. Człowiek jest żywicielem około 150 gatunków robaków pasożytniczych i najczęściej zaraża się przez zanieczyszczoną glebę oraz spożycie zakażonych produktów pochodzenia zwierzęcego.

W czasie przepływu ścieków przez urządzenia oczyszczające następuje osadzanie się jaj pasożytów i deponowanie ich w osadach. W czasie sedymentacji w osadnikach oraz przepływu przez urządzenia oczyszczające ścieki – ilość jaj pasożytów może redukować się w granicach od 78 do 100%. Część z nich trafia jednak do osadów ściekowych.

Najczęściej występujące w ściekach i osadach ściekowych pasożyty oraz choroby, które mogą wywoływać zaprezentowane zostały w tabeli 12.

Zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami, przy wykorzystaniu osadów do celów nieprzemysłowych należy prowadzić badania zmierzające do określenia obecności za-

płodzonych jaj: glisty ludzkiej (*Ascaris lumbricoides*), włosogłówki ludzkiej (*Trichuris trichiura*), glisty kociej (*Toxocara cati*) oraz glisty psiej (*Toxocara canis*).

Tabela 12.

Pasożyty występujące w ściekach i osadach komunalnych oraz wywoływane przez nie choroby

Organizm	Nazwa jednostki chorobotwórczej
Pierwotniaki	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidioza
<i>Entamoeba histolytica</i>	Petzakowica jelitowa
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Kryptosporydioza
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplazmoza
<i>Giardia lamblia</i>	Lamblioza
Nicienie	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Askarydoza ludzka
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Ankylostomatoza
<i>Necator americanus</i>	Ankylostomatoza
<i>Enterobius vermicularis</i>	Owsica
<i>Strongyloides stercoralis</i>	Węgorzycza
<i>Toxocara</i>	Toksokarozja
<i>Trichuris trichiura</i>	Włosogłówczyca
Tasiemce	
<i>Taenia solium</i>	Tasiemczyca wieprzowa
<i>Taeniarhynchus saginata</i>	Tasiemczyca
<i>Hymenolepis nana</i>	Hymenolepidoza
<i>Echinococcus granulosus</i>	Bąblowica
<i>Diphyllobothrium latum</i>	Difiloborioza
Przywry	
<i>Schistosoma haematobium</i>	Bilharzioza
<i>Opisthorchis felineus</i>	Opistorchidoza
<i>Dicrocoelium</i>	Schorzenia dróg żółciowych
<i>Paragonimus westermani</i>	Paragonimoza
<i>Fasciola hepatica</i>	Fascjiozoza
<i>Clonorchis sineusis</i>	Klonorchidoza
<i>Fasciolopsis buski</i>	Fascjolopsydoza

Ascaris lumbricoides jest pospolitym pasożytem wewnętrznym organizmu człowieka, który najczęściej pasożytuje u dzieci w wieku do 10 lat. W celu podtrzymania gatunku samice produkują dziennie nawet do 250 tys. jaj, które wydostają się na zewnątrz z kałem żywiciela. Aby jaja mogły się rozwijać muszą trafić do środowiska zawierającego tlen i od-

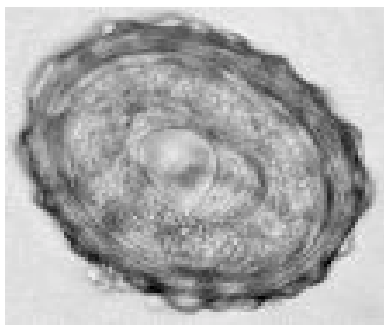
powiednią temperaturę. Powstałe w wyniku rozwoju zarodków larwy nie ujawniają się w środowisku zewnętrznym z osłon jajowych, a w ziemi czy też osadach mogą przetrwać do 5 lat. Pełny rozwój glisty w organizmie ludzkim trwa około 2 miesięcy, a dojrzałe osobniki żyją około 18 miesięcy.

Trichuris trichiura jest kosmopolitycznym nicieniem żyjącym w jelicie grubym i ślepym człowieka. Po zapłodnieniu samica zaczyna produkować dziennie od 1000 do 6000 jaj. Składane jaja zawierają wczesne, niezdolne jeszcze do inwazji zarodki. Pełny rozwój zarodka do stadium inwazyjnego zachodzi w środowisku zewnętrznym i trwa od 17 dni w temperaturze 30°C do 21 dni w temperaturze 24°C. W zanieczyszczonej kałem ziemi jajo z inwazyjną larwą może przeżyć nawet rok. Do zarażenia dochodzi poprzez przewód pokarmowy.

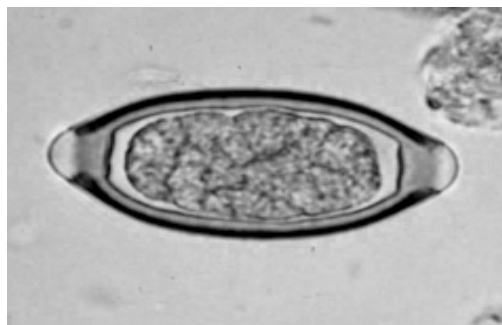
Toxocara cati i *Toxocara canis* są to nicienie posiadające bardzo podobny cykl rozwojowy jak glista ludzka. Człowiek może być przypadkowym żywicielem np. glisty psiej, której jaja występują w glebie lub osadach. Po przedostaniu się jaja do jamy ustnej i dalej do jelit wylęgają się larwy. W jelicie człowieka nie ma sprzyjających warunków do rozwoju larw. Najczęściej larwy wnikają przez ściany przewodu pokarmowego do krwioobiegu i osiedlają się w różnych narządach wewnętrznych, np. w wątrobie powodując stany zapalne.

Poniższe fotografie przedstawiają przykładowy wygląd jaj.

Fot. 1. Zapłodnione jajo *Ascaris lumbricoides*



Fot. 2. Zapłodnione jajo *Trichuris trichiura*



Fot. 3. Zapłodnione jajo *Toxocara canis*



3. Higienizacja osadów ściekowych

Celem przeprowadzonych badań było określenie warunków higienizacji osadów ściekowych, które powstają w trakcie oczyszczania ścieków na miejskiej oczyszczalni w Mońkach i w Łapach. Odpowiednio dobrane parametry higienizacji tj. dawka wapna, niezbędny czas działania, a także odczyn oraz temperatura warunkować będą możliwość bezpiecznego wykorzystania osadu w rolnictwie do nawożenia bądź też rekultywacji gleb. Zastosowanie optymalnej dawki środka higienizującego to także wymierne korzyści ekonomiczne, a tym samym obniżenie kosztów pracy oczyszczalni.

Ze względu na charakter ścieków, na który bezpośredni wpływ mają ścieki, oraz biorąc pod uwagę iż biologiczna ich stabilizacja może nie zapewnić otrzymania bezpiecznego produktu końcowego, konieczne jest indywidualne podejście do każdego rodzaju osadów, szczególnie przy ustalaniu warunków procesu stabilizacji lub higienizacji.

Wapnowanie należy do najbardziej rozpowszechnionych metod higienizacji osadów – dużym atutem jest niski koszt urządzeń jak i nieskomplikowana technologia.

Wapno dodane do osadu ściekowego powoduje:

- zmniejszenie ilości organizmów chorobotwórczych.
- zmniejszenie ilości związków organicznych oraz wody.
- zwiększenie suchej masy osadu.
- unieruchomienie niektórych metali w osadzie.
- zmniejszenie uciążliwych zapachów.
- ułatwienie transportu osadów.

Proces ten jest szeroko rozpowszechniony w krajach Unii Europejskiej jak i w USA. Wapno palone bądź też hydratyzowane może być dodawane do osadu uwodnionego jak i odwodnionego – co zwiększa skuteczność higienizacji. Ze względu na wysoką cenę wapna jego dawka musi być ustalana indywidualnie w powiązaniu z takimi parametrami procesu jak odczyn osadu, temperatura, czy czas higienizacji. Duże znaczenie ma uwodnienie osadu (im niższe tym lepszy efekt higienizacji), stąd też odpowiednią uwagę należy zwrócić na pracę urządzeń do odwadniania osadów ściekowych.

Podczas stabilizacji i higienizacji osadu należy tak dobrać parametry procesu by doprowadzić odczyn osadu do 12–12,5 pH i utrzymywać go przez około 2 h. Temperatura osadu rośnie przez około 30 minut do około 70°C. Dawka wapna musi być wystarczająca by utrzymać odczyn nie mniejszy niż 11,5 pH przez okres jednej doby. Gwarantuje to unieszkodliwienie jaj pasożytów, o ile takie występują w osadzie.

Stabilizacja wapnem palonym (CaO) osadu odwodnionego polega na kontakcie proszkowanego wapna z osadem – w konsekwencji następuje gaszenie wapna, wzrost pH i temperatury. Znając suchą masę osadu oraz dawkę wapna można określić teoretyczny wzrost temperatury. Rzeczywiste parametry procesu, którego głównym celem jest skuteczne unieszkodliwienie jaj pasożytów można ustalić na podstawie badań przeprowadzonych

przez autorów jak i podczas bieżącej eksploatacji oczyszczalni poprzez stałą kontrolę skuteczności procesu higienizacji.

3.1.

Przeróbka osadów powstających w oczyszczalni w Mońkach

Miejska oczyszczalnia ścieków w Mońkach działa w oparciu o reaktory biologiczne typu Bioblok PS, projektowana przepustowość oczyszczalni to 2600 m³/d, a w chwili obecnej dopływa do niej około 1800 m³ ścieków na dobę. Są to w większości ścieki bytowo-gospodarcze. Ze względu na charakter regionu brak jest ścieków przemysłowych z wyjątkiem ścieków pochodzących z masarni. Ilość ścieków dowożonych jest niewielka i kształtuje się na poziomie 20 m³/dobę.

Po procesie biologicznego oczyszczania ścieki wraz z osadem czynnym odprowadzane są do osadnika skąd osad zawracany jest do reaktora, a jego część w postaci osadu nadmiernego podlega następującej przeróbce:

- zagęszczaniu w zagęszczaczu grawitacyjnym.
- fermentacji w otwartej komorze fermentacyjnej z okresowym mieszaniem przy użyciu pomp.
- odwadnianiu ustabilizowanego osadu przy użyciu taśmowej prasy filtracyjnej z użyciem polielektrolitu.
- higienizacji wapnem (CaO), w automatycznej stacji dozowania.

Tak przetworzony osad trafiał na poletka, a następnie na wysypisko. Ze względu na charakter osadów powstających na oczyszczalni w Mońkach niezbędne jest zawracanie ich do środowiska naturalnego. Osady te nie powinny trafiać na wysypiska. Wskazują na to otrzymane wyniki badań własnych prowadzonych w latach 1998–2004. Opracowanie, które zostało wykonane na podstawie cytowanych badań miało na celu wskazanie bezpiecznego unieszkodliwiania osadów jak i możliwość ich późniejszego wykorzystania.

Do podstawowych czynników warunkujących rolnicze wykorzystanie osadów można zaliczyć ich skład fizyko-chemiczny (chodzi tu o zawartość metali ciężkich) jak i zawartość takich pierwiastków jak azot, fosfor, potas, magnez, które to zwiększają „atrakcyjność” osadu dla potencjalnych odbiorców. Poniższe tabele przedstawiają skład chemiczny osadu odwodnionego (wartości maksymalne zaobserwowano w okresie realizacji projektu).

Tabela 1.

Zawartość wybranych metali ciężkich w osadzie odwodnionym – oczyszczalnia miejska w Mońkach

Ołów [mg/kg s.m.]	Miedź [mg/kg s.m.]	Kadm [mg/kg s.m.]	Nikiel [mg/kg s.m.]	Chrom [mg/kg s.m.]	Cynk [mg/kg s.m.]	Rtęć [mg/kg s.m.]	Uwodn. [%]
41	78	2,23	10,7	125	1254	1,1	75

Tabela 2.

Zawartość azotu, fosforu, i potasu

Azot [g/kg s.m.]	Fosfor [g/kg s.m.]	Potas [g/kg s.m.]
38,5	18,1	2,2

Przedstawiona powyżej charakterystyka składu osadu potwierdza iż jest to produkt, który powinien być traktowany jako surowiec, a nie odpad który trafia na miejskie wysypisko.

Skład sanitarny osadów ściekowych jest zmienny i warunkowany przez wiele czynników. Zależy on od charakteru ścieków doprowadzanych do oczyszczalni, ten z kolei wynika ze stanu zdrowotnego mieszkańców i standardu życia. Z pewnym uproszczeniem można stwierdzić iż skład osadów ściekowych odzwierciedla obraz epidemiologiczny obszaru z którego dopływają ścieki. Duży wpływ na stan sanitarny osadu mają też stosowane w oczyszczalni metody ich przeróbki.

Koncepcja oraz metodyka badań technologicznych i analitycznych – oczyszczalnia w Mońkach

Do badań pobrano próbę osadu bezpośrednio po odwodnieniu na prasie filtracyjnej. Określono skład i charakter osadu odwodnionego tzw. „wyjściowego”, a następnie wymieszano go z wapnem palonym, które jest stosowane w instalacji zamontowanej w oczyszczalni. W badaniach zastosowano następujące dawki wapna:

- 0.2 kg CaO /kg s.m.
- 0.4 kg CaO /kg s.m.
- 0.6 kg CaO /kg s.m.
- 0.8 kg CaO /kg s.m.
- 1.0 kg CaO /kg s.m.

Przyjęte do badań dawki wapna wynikały w głównej mierze z uzyskanych w latach 90-tych doświadczeń własnych autorów związanych z realizacją kompleksowych badań dotyczących przeróbki i unieszkodliwiania osadów ściekowych powstających w oczyszczalniach regionu północno-wschodniego Polski. Wzięto także pod uwagę efektywność procesów i urządzeń związanych z przeróbką osadu nadmiernego w Mońkach, jak i uwagi i wnioski przedstawione autorom przez osoby odpowiedzialne za eksploatację oczyszczalni. Dostępne krajowe i zagraniczne dane literaturowe potwierdzają prawidłowy zakres ustalanych dawek wapna użytego do badań nad higienizacją osadu. W celu pełnego scharakteryzowania przemian zachodzących w osadzie zdecydowano się na określanie następujących wskaźników fizyczno-chemicznych w osadzie „wyjściowym” jak i po okresie 1, 3, 7, 14, i 28 dni:

- uwodnienie.
- sucha masa
- substancje lotne
- pozostałość mineralna.
- odczyn (roztwór wodny)
- temperatura otoczenia.

Określenie powyższych składników w osadzie „wyjściowym” i w osadach z różnymi dawkami wapna miało i scharakteryzować zachodzące w nich przemiany, co w połączeniu z badaniami mikrobiologicznymi było niezbędne do ostatecznego określenia parametrów procesu higienizacji osadów ściekowych powstających w miejskiej oczyszczalni w Mońkach. Najważniejsze informacje otrzymano z analizy zmiany uwodnienia, odczynu jak i temperatury mieszanki osadu i wapna w okresie pierwszej doby od rozpoczęcia doświadczenia.

Ze względu na niską zawartość metali ciężkich w osadzie „wyjściowym” nie zdecydowano się na analizę wpływu procesu higienizacji na ich zawartość w osadzie wapnowanym.

Wszystkie oznaczenia fizyczno-chemiczne wykonano zgodnie z obowiązującymi normami i zaleceniami w odniesieniu do badań osadów ściekowych. Równoległe z badaniami fizyko-chemicznymi określano stan sanitarny osadów zgodnie z wyżej opisanym harmonogramem badań.

Uzyskane wyniki oraz ich interpretacja

Wyniki badań własnych osadów ściekowych poddanych procesowi higienizacji przedstawiono w tabelach 3–15. Uzyskane wyniki badanych parametrów pozwoliły na określenie współzależności pomiędzy parametrami prowadzonego procesu.

W tabelach 3–9 zestawiono wyniki badań wskaźników fizyczno-chemicznych uzyskanych w trakcie prowadzenia procesu.

Tabela 3.

Zmiany badanych parametrów w zależności od dawki wapna i czasu trwania procesu

Dzień higienizacji	Oznaczenie	Jednostka	Dawka wapna [kg CaO/kg s.m.]				
			0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1 dzień	Uwodnienie	%	85,5	80,8	76,6	74,9	71,0
	Sucha masa	g/dm ³	145,2	191,5	234,1	251,1	289,6
		%	14,5	19,2	23,4	25,1	29,0
	Substancje lotne	g/dm ³	56,8	86,4	111,4	103,2	124,3
		%	5,7	8,6	11,1	10,3	12,4
		%s.m.	39,1	45,1	47,6	41,1	42,9
	Pozostałość mineralna	g/dm ³	88,4	105,1	122,7	147,9	165,3
%		8,8	10,5	12,3	14,8	16,5	
%s.m.		60,9	54,9	52,4	58,9	57,1	
Odczyn	pH	11,40	12,20	12,30	12,32	12,32	
Temperatura	°C	16,0	16,3	16,2	16,4	16,5	
3 dzień	Uwodnienie	%	84,9	77,4	77,2	72,8	70,1
	Sucha masa	g/dm ³	151,3	226,1	228,4	272,2	299,4
		%	15,1	22,6	22,8	27,2	29,9
	Substancje lotne	g/dm ³	53,3	90,3	124,5	140,5	122,7
		%	5,3	9,0	12,4	14,0	12,3
		%s.m.	35,2	39,9	54,5	51,6	41,0
	Pozostałość mineralna	g/dm ³	98,0	135,8	103,9	131,7	176,7
%		9,8	13,6	10,4	13,2	17,7	
%s.m.		64,8	60,1	45,5	48,4	59,0	
Odczyn	pH	12,00	12,10	12,09	12,17	12,27	
Temperatura	°C	17,6	18,0	18,0	18,6	18,4	

7 dzień	Uwodnienie	%	77,5	74,6	76,3	73,7	67,9
	Sucha masa	g/dm ³	225,3	241,1	250,1	258,1	321,1
		%	22,5	24,1	25,0	25,8	32,1
	Substancje lotne	g/dm ³	66,0	72,6	74,8	77,8	111,7
		%	6,6	7,3	7,5	7,8	11,2
		%s.m.	29,3	30,1	29,9	30,1	34,8
	Pozostałość mineralna	g/dm ³	159,3	168,5	175,3	180,3	209,4
%		15,9	16,8	17,5	18,0	20,9	
%s.m.		70,7	69,9	70,1	69,9	65,2	
Odczyn	pH	10,90	11,32	11,82	12,30	12,30	
Temperatura	°C	16,9	16,2	15,6	16,3	15,8	
14 dzień	Uwodnienie	%	79,0	73,2	67,9	65,1	60,2
	Sucha masa	g/dm ³	210,3	268,0	321,1	349,1	397,6
		%	21,0	26,8	32,1	34,9	39,8
	Substancje lotne	g/dm ³	59,0	105,0	146,3	129,9	160,6
		%	5,9	10,5	14,6	13,0	16,1
		%s.m.	28,1	39,2	45,6	37,2	40,4
	Pozostałość mineralna	g/dm ³	151,3	163,0	174,8	219,2	237,1
%		15,1	16,3	17,5	21,9	23,7	
%s.m.		71,9	60,8	54,4	62,8	60,2	
Odczyn	pH	11,01	11,45	11,65	12,15	12,25	
Temperatura	°C	17,2	17,3	17,6	18,0	17,8	
28 dzień	Uwodnienie	%	84,6	79,6	66,2	62,0	58,5
	Sucha masa	g/dm ³	154,1	204,0	238,1	280,1	315,0
		%	15,4	20,4	23,8	28,0	31,5
	Substancje lotne	g/dm ³	55,3	102,6	101,9	82,1	112,5
		%	5,5	10,3	10,2	8,2	11,2
		%s.m.	35,9	50,3	42,8	29,3	35,7
	Pozostałość mineralna	g/dm ³	98,8	101,4	136,2	198,0	202,5
%		9,9	10,1	13,6	19,8	20,2	
%s.m.		64,1	49,7	57,2	70,7	64,3	
Odczyn	pH	11,05	11,72	11,93	12,04	12,20	
Temperatura	°C	16,7	16,8	16,9	17,2	17,7	

% – g/100g uwodnionego osadu

Tabela 4.

Wyniki analiz osadu „wyściowego” odwodnionego poddawanego procesowi higienizacji wapnem

Oznaczenie	Jednostka	Wartość
Uwodnienie	%	87,1
Sucha masa	g/dm ³	129,2
	%	12,9
Substancje lotne	g/dm ³	31,9
	%	3,2
	%s.m.	24,6
Pozostałość mineralna	g/dm ³	97,3
	%	9,7
	%s.m.	75,4
Odczyn	pH	7,59

Tabela 5.

Zmiany uwodnienia osadu [%] w zależności od dawki wapna w poszczególnych dniach procesu higienizacji

Dzień higienizacji	Dawka wapna [kg CaO/kg s.m.]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1 dzień	85,5	80,8	76,6	74,9	71,0
3 dzień	84,9	77,4	77,2	72,8	70,1
7 dzień	77,5	74,6	76,3	73,7	67,9
14 dzień	79,0	73,2	67,9	65,1	60,2
28 dzień	84,6	79,6	66,2	62,0	58,5

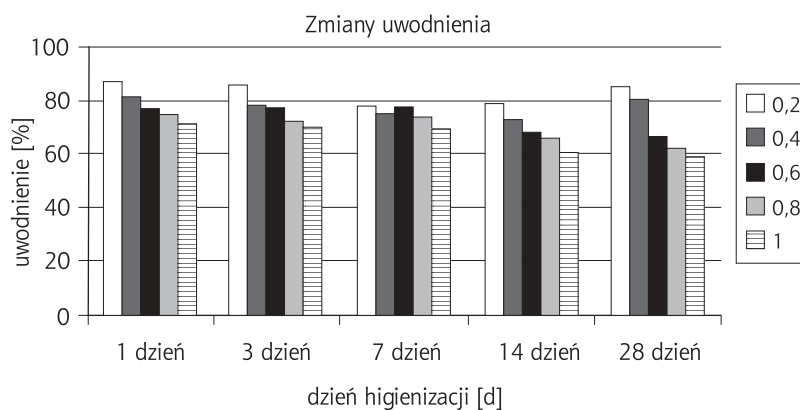


Tabela 6.

Zmiany suchej masy osadu w zależności od dawki wapna w poszczególnych dniach procesu higienizacji

Dzień higienizacji	Jednostka	Dawka wapna [kg CaO/kg s.m.]				
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	g/dm ³	145,2	191,5	234,1	251,1	289,6
	%	14,5	19,2	23,4	25,1	29,0
3	g/dm ³	151,3	226,1	228,4	272,2	299,4
	%	15,1	22,6	22,8	27,2	29,9
7	g/dm ³	225,3	241,1	250,1	258,1	321,1
	%	22,5	24,1	25,0	25,8	32,1
14	g/dm ³	210,3	268,0	321,1	349,1	397,6
	%	21,0	26,8	32,1	34,9	39,8
28	g/dm ³	154,1	204,0	238,1	280,1	315,0
	%	15,4	20,4	23,8	28,0	31,5

Tabela 7.

Zmiany zawartości substancji lotnych w osadzie w zależności od dawki wapna w poszczególnych dniach procesu higienizacji

Dzień higienizacji	Jednostka	Dawka wapna [kg CaO/kg s.m.]				
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	g/dm ³	56,8	86,4	111,4	103,2	124,3
	%	5,7	8,6	11,1	10,3	12,4
	%s.m.	39,1	45,1	47,6	41,1	42,9
3	g/dm ³	53,3	90,3	124,5	140,5	122,7
	%	5,3	9,0	12,4	14,0	12,3
	%s.m.	35,2	39,9	54,5	51,6	41,0
7	g/dm ³	66,0	72,6	74,8	77,8	111,7
	%	6,6	7,3	7,5	7,8	11,2
	%s.m.	29,3	30,1	29,9	30,1	34,8
14	g/dm ³	59,0	105,0	146,3	129,9	160,6
	%	5,9	10,5	14,6	13,0	16,1
	%s.m.	28,1	39,2	45,6	37,2	40,4
28	g/dm ³	55,3	102,6	101,9	82,1	112,5
	%	5,5	10,3	10,2	8,2	11,2
	%s.m.	35,9	50,3	42,8	29,3	35,7

Tabela 8.

Zmiany zawartości pozostałości mineralnej w osadzie w zależności od dawki wapna w poszczególnych dniach procesu higienizacji

Dzień higienizacji	Jednostka	Dawka wapna [kg CaO/kg s.m.]				
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	g/dm ³	88,4	105,1	122,7	147,9	165,3
	%	8,8	10,5	12,3	14,8	16,5
	%s.m.	60,9	54,9	52,4	58,9	57,1
3	g/dm ³	98,0	135,8	103,9	131,7	176,7
	%	9,8	13,6	10,4	13,2	17,7
	%s.m.	64,8	60,1	45,5	48,4	59,0
7	g/dm ³	159,3	168,5	175,3	180,3	209,4
	%	15,9	16,8	17,5	18,0	20,9
	%s.m.	70,7	69,9	70,1	69,9	65,2
14	g/dm ³	151,3	163,0	174,8	219,2	237,1
	%	15,1	16,3	17,5	21,9	23,7
	%s.m.	71,9	60,8	54,4	62,8	60,2
28	g/dm ³	98,8	101,4	136,2	198,0	202,5
	%	9,9	10,1	13,6	19,8	20,2
	%s.m.	64,1	49,7	57,2	70,7	64,3

Tabela 9.

Zmiany odczynu i temperatury osadu w zależności od dawki wapna w poszczególnych dniach procesu higienizacji

Dzień higienizacji	Oznaczenie	Jednostka	Dawka wapna [kg CaO/kg s.m.]				
			0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	Odczyn	pH	11,40	12,20	12,30	12,32	12,32
	Temperatura	°C	16,0	16,3	16,2	16,4	16,5
3	Odczyn	pH	12,00	12,10	12,09	12,17	12,27
	Temperatura	°C	17,6	18,0	18,0	18,6	18,4
7	Odczyn	pH	10,90	11,32	11,82	12,30	12,30
	Temperatura	°C	16,9	16,2	15,6	16,3	15,8
14	Odczyn	pH	11,01	11,45	11,65	12,15	12,25
	Temperatura	°C	17,2	17,3	17,6	18,0	17,8
28	Odczyn	pH	11,05	11,72	11,93	12,04	12,20
	Temperatura	°C	16,7	16,8	16,9	17,2	17,7

Analizując dwa podstawowe parametry procesu higienizacji osadów, a więc temperaturę i odczyn można zauważyć, iż w przypadku omawianych osadów dawka wapna wynosząca 0,4 kg CaO/kg s.m. zapewniała utrzymanie wystarczająco wysokiego odczynu w wymaganym czasie minimum 3 dni. Wyższe dawki wapna utrzymywały odczyn > 11,5

pH przez cały czas prowadzenia badań. Niższa dawka wapna 0,2 kg CaO/kg s.m. osadu nie gwarantowała odpowiednio wysokiego odczynu osadów.

Zmiany uwodnienia i zawartości suchej masy wykazują jednoznacznie, że wzrost dawki wapna powoduje spadek jego uwodnienia. Zaobserwowano, że niskie dawki wapna powodowały wiązanie wody zawartej w „wyjściowym” osadzie tylko przez pewien czas. W przypadku dawki 0,2 kg CaO/kg s.m. osadu po upływie 7 dni obserwowano już wzrost uwodnienia osadu (uwalnianie wcześniej związanej wody). Dawka wapna 0,4 kg CaO/kg s.m. osadu pozwoliła na skuteczne wiązanie cieczy osadowej przez 14 dni. W przypadku wyższych stosowanych dawek wapna przez cały czas trwania badań obserwowano zmniejszenie się uwodnienia osadu. Minimalne osiągnięte uwodnienie osadu w czasie badań wynosiło 58% – uzyskano je przy dawce wapna 1 kg CaO/kg s.m. osadu po 28 dniach procesu higienizacji. Dawka rzędu 0,4 kg CaO/kg s.m. osadu przy odpowiednio długim czasie procesu pozwalała na osiągnięcie uwodnienia na poziomie 73%, przy uwodnieniu osadu wyjściowego 87%. Wykresie po tabeli 5 przedstawia zmiany uwodnienia osadów ściekowych poddanych działaniu różnych dawek wapna (oczyszczalnia w Mońkach).

Zmiany pozostałości mineralnej i substancji lotnych były wskaźnikami pomocniczymi prowadzenia procesu higienizacji. Przeliczono je również na % suchej masy i % masy osadu uwodnionego. Zmiany tych wskaźników w czasie, w zależności od zastosowanej dawki wapna wskazują na udział substancji lotnych oraz innych substancji organicznych, które ulegają spalaniu w temperaturze 550°C. Pozostałość mineralna oznacza substancje, które nie uległy spalaniu w tej temperaturze. Udział substancji mineralnych rośnie wraz ze wzrostem dawki wapna, co jest logiczną konsekwencją wzrostu udziału dodawanego wapna w masie osadu. Można jednak zaobserwować, że różne dawki wapna w różnym okresie procesu w większym lub mniejszym stopniu „wiążą” substancje zawarte w osadach w substancje nie lotne. Ponadto zaobserwować można, że nadmiar dodanego wapna przy zastosowaniu wyższych jego dawek, pozostaje „niewykorzystany” i niezwiązany w osadach. Wyższe dawki wapna zwiększały suchą masę osadu oraz przyspieszały stopień jego mineralizacji.

Wyniki badań mikrobiologiczno-parazytologicznych przedstawiają tabele 10–15.

Tabela 10.

Wyniki analizy mikrobiologicznej i parazytologicznej osadu z oczyszczalni ścieków w Mońkach

Oznaczenie	Osad surowy bez wapna	Osad surowy bez wapna po 30 dniach
Ogólna liczba bakterii psychrofilnych	$8,7 \times 10^6/g$	$3,9 \times 10^6/g$
Ogólna liczba bakterii mezofilnych	$2,6 \times 10^5/g$	$3,0 \times 10^6/g$
Liczba bakterii termofilnych	$8,0 \times 10^3/g$	$5,0 \times 10^3/g$
Liczba bakterii sporowych	$1,8 \times 10^4/g$	$3,8 \times 10^4/g$
Miano <i>coli</i>	0,0004	0,0004
Miano <i>coli</i> typu fekalnego	0,0004	0,002
Ogólna liczba grzybów	$1,1 \times 10^6/g$	$3,0 \times 10^5/g$
Miano bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>	0,005	0,002
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność jaj pasożytów	nie stwierdzono	nie stwierdzono

Tabela 11.

Wyniki analizy mikrobiologicznej i parazytologicznej osadu z oczyszczalni ścieków w Mońkach po 1-dniowym kontakcie z różnymi dawkami wapna

Oznaczenie	Osad z różnymi dawkami wapna po 1-dobowym kontakcie [kg/kg s.m. osadu]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Ogólna liczba bakterii psychrofilnych	$2,8 \times 10^5/g$	$2,4 \times 10^5/g$	$3,3 \times 10^5/g$	$3,1 \times 10^5/g$	$2,6 \times 10^5/g$
Ogólna liczba bakterii mezofilnych	$2,6 \times 10^5/g$	$1,7 \times 10^5/g$	$1,9 \times 10^5/g$	$1,4 \times 10^5/g$	$1,5 \times 10^5/g$
Liczba bakterii termofilnych	$3,5 \times 10^4/g$	$2,8 \times 10^4/g$	$3,8 \times 10^4/g$	$3,2 \times 10^4/g$	$2,7 \times 10^4/g$
Liczba bakterii sporowych	$1,8 \times 10^4/g$	$2,5 \times 10^4/g$	$1,7 \times 10^4/g$	$1,4 \times 10^4/g$	$1,4 \times 10^4/g$
Miano <i>coli</i>	0,04	0,004	0,02	0,004	0,004
Miano <i>coli</i> typu fekalnego	0,04	0,2	0,04	0,04	0,04
Ogólna liczba grzybów	$7,2 \times 10^4/g$	$6,2 \times 10^4/g$	$5,5 \times 10^4/g$	$8,5 \times 10^4/g$	$8,3 \times 10^4/g$
Miano bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność jaj pasożytów	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono

Tabela 12.

Wyniki analizy mikrobiologicznej i parazytologicznej osadu z oczyszczalni ścieków w Mońkach po 3-dniowym kontakcie z różnymi dawkami wapna

Oznaczenie	Osad z różnymi dawkami wapna po 3-dobowym kontakcie [kg/kg s.m. osadu]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Ogólna liczba bakterii psychrofilnych	$3,2 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$
Ogólna liczba bakterii mezofilnych	$1,4 \times 10^5/g$	$1,2 \times 10^5/g$	$8,0 \times 10^4/g$	$5,1 \times 10^4/g$	$6,4 \times 10^4/g$
Liczba bakterii termofilnych	$2,2 \times 10^4/g$	$1,5 \times 10^4/g$	$1,5 \times 10^4/g$	$9,0 \times 10^3/g$	$1,3 \times 10^4/g$
Liczba bakterii sporowych	$3,8 \times 10^4/g$	$5,0 \times 10^3/g$	$4,0 \times 10^3/g$	$2,0 \times 10^3/g$	$1,0 \times 10^3/g$
Miano <i>coli</i>	0,04	0,2	0,04	0,4	0,04
Miano <i>coli</i> typu fekalnego	0,2	0,4	0,4	0,8	2
Ogólna liczba grzybów	$4,0 \times 10^4/g$	$1,4 \times 10^4/g$	$1,0 \times 10^4/g$	$1,6 \times 10^4/g$	$4,2 \times 10^4/g$
Miano bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność jaj pasożytów	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono

Tabela 13.

Wyniki analizy mikrobiologicznej i parazytologicznej osadu z oczyszczalni ścieków w Mońkach po 7-dniowym kontakcie z różnymi dawkami wapna

Oznaczenie	Osad z różnymi dawkami wapna po 7-dobowym kontakcie [kg/kg s.m. osadu]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Ogólna liczba bakterii psychrofilnych	$1,6 \times 10^5/g$	$1,1 \times 10^5/g$	$1,1 \times 10^5/g$	$8,7 \times 10^5/g$	$6,6 \times 10^5/g$
Ogólna liczba bakterii mezofilnych	$1,3 \times 10^5/g$	$1,0 \times 10^5/g$	$7,1 \times 10^4/g$	$6,2 \times 10^4/g$	$5,7 \times 10^4/g$
Liczba bakterii termofilnych	$3,0 \times 10^4/g$	$9,0 \times 10^3/g$	$1,8 \times 10^4/g$	$3,2 \times 10^4/g$	$7,0 \times 10^3/g$
Liczba bakterii sporowych	$6,3 \times 10^4/g$	$2,3 \times 10^4/g$	$1,2 \times 10^4/g$	$2,1 \times 10^4/g$	$2,5 \times 10^4/g$
Miano <i>coli</i>	0,04	0,04	0,2	0,4	20
Miano <i>coli</i> typu fekalnego	0,2	0,4	4	0,4	20
Ogólna liczba grzybów	$4,6 \times 10^4/g$	$5,2 \times 10^4/g$	$7,1 \times 10^4/g$	$1,2 \times 10^5/g$	$6,0 \times 10^4/g$
Miano bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność jaj pasożytów	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono

Tabela 14.

Wyniki analizy mikrobiologicznej i parazytologicznej osadu z oczyszczalni ścieków w Mońkach po 14-dniowym kontakcie z różnymi dawkami wapna

Oznaczenie	Osad z różnymi dawkami wapna po 14-dobowym kontakcie [kg/kg s.m. osadu]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Ogólna liczba bakterii psychrofilnych	$1,5 \times 10^5/g$	$6,1 \times 10^4/g$	$5,6 \times 10^4/g$	$5,0 \times 10^4/g$	$3,4 \times 10^4/g$
Ogólna liczba bakterii mezofilnych	$3,2 \times 10^4/g$	$2,8 \times 10^4/g$	$2,5 \times 10^4/g$	$2,0 \times 10^4/g$	$2,0 \times 10^4/g$
Liczba bakterii termofilnych	$1,4 \times 10^4/g$	$1,0 \times 10^4/g$	$6,0 \times 10^3/g$	$9,0 \times 10^3/g$	$1,2 \times 10^4/g$
Liczba bakterii sporowych	$3,0 \times 10^4/g$	$8,0 \times 10^3/g$	$7,0 \times 10^3/g$	$4,0 \times 10^3/g$	$6,0 \times 10^3/g$
Miano <i>coli</i>	0,02	0,2	0,2	4	5
Miano <i>coli</i> typu fekalnego	0,4	4	4	> 20	> 20
Ogólna liczba grzybów	$6,6 \times 10^4/g$	$4,1 \times 10^4/g$	$2,5 \times 10^4/g$	$3,2 \times 10^4/g$	$2,8 \times 10^4/g$
Miano bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność jaj pasożytów	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono

Tabela 15.

Wyniki analizy mikrobiologicznej i parazytologicznej osadu z oczyszczalni ścieków w Mońkach po 30-dniowym kontakcie z różnymi dawkami wapna

Oznaczenie	Osad z różnymi dawkami wapna po 30-dobowym kontakcie [kg/kg s.m. osadu]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Ogólna liczba bakterii psychrofilnych	$1,3 \times 10^5/g$	$5,1 \times 10^4/g$	$4,4 \times 10^4/g$	$8,0 \times 10^3/g$	$6,0 \times 10^3/g$
Ogólna liczba bakterii mezofilnych	$3,0 \times 10^4/g$	$3,2 \times 10^4/g$	$2,7 \times 10^4/g$	$5,0 \times 10^3/g$	$2,0 \times 10^3/g$
Liczba bakterii termofilnych	$1,7 \times 10^4/g$	$1,5 \times 10^4/g$	$2,0 \times 10^4/g$	$4,0 \times 10^3/g$	$4,0 \times 10^3/g$
Liczba bakterii sporowych	$2,0 \times 10^3/g$	$1,0 \times 10^3/g$	$1,0 \times 10^3/g$	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Miano <i>coli</i>	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
Miano <i>coli</i> typu fekalnego	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
Ogólna liczba grzybów	$8,6 \times 10^4/g$	$8,0 \times 10^3/g$	$7,0 \times 10^3/g$	$4,0 \times 10^3/g$	nie stwierdzono
Miano bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność jaj pasożytów	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono

Przed przystąpieniem do zasadniczych badań, a także po ich zakończeniu wykonano analizę osadu surowego w celu określenia podstawowych wskaźników mikrobiologicznych oraz helmintologicznych.

Zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem badany osad spełnił podstawowe kryteria i mógł być wykorzystany na potrzeby rolnicze i nierolnicze oraz do rekultywacji gruntów, gdyż z badanych próbek osadu nie wyizolowano bakterii z rodzaju *Salmonella*, a także nie stwierdzono obecności żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.* oraz *Toxocara sp.* Pozostałe wskaźniki mikrobiologiczne nie odbiegały od wartości uzyskiwanych w przypadku badań osadów z innych oczyszczalni ścieków i mieściły się w ogólnie przyjętych granicach.

Zgodnie z przyjętym harmonogramem badań oznaczenia podstawowych parametrów mikrobiologicznych i helmintologicznych w osadach poddanych procesowi higienizacji z różnymi dawkami wapna przeprowadzono po 1 dniu, 3 dniach, 7 dniach, 14 dniach oraz 30 dniach.

W porównaniu do próby osadu surowego liczebność bakterii psychrofilnych zredukowała się z 8 700 000 do 240 000 komórek/g osadu po 1-dniowym kontakcie przy zastosowanej dawce wapna 0,4 kg/kg s.m. osadu. Podobne, lecz nieco wyższe wyniki uzyskano przy zastosowaniu pozostałych dawek wapna. Przy wydłużającym się czasie kontaktu próbek osadu z wapnem liczebność bakterii psychrofilnych zmniejsza się nadal, lecz już nie tak drastycznie jak po 24 godzinach. Skokowy spadek liczebności bakterii psychrofilnych (redukcja o 93%) spowodowany był zmianą warunków, a zwłaszcza podwyższeniem temperatury i podniesieniem wartości pH. Przy dłuższym działaniu (7 dni) temperatura procesu mogła się obniżyć i liczebność bakterii ulegała pewnym nieznacznym wahaniom. Najniższą liczebność bakterii psychrofilnych odnotowano przy zastosowaniu najwyższej dawki wapna po 30-dniowym czasie kontaktu – 6000 komórek/g osadu.

Liczebność bakterii mezofilnych kształtowała się nieco inaczej po 1-dniowym kontakcie z wapnem niż liczebność bakterii psychrofilnych. Praktycznie uzyskano bardzo zbliżone wyniki w próbie osadu surowego, jak i w próbkach w których zastosowano badane dawki wapna. Liczba bakterii mezofilnych nieznacznie się obniżyła pomiędzy 3, a 7 dniem we wszystkich badanych próbkach osadów.

Liczebność bakterii mezofilnych redukowała się bardziej zdecydowanie po 14 dniach i utrzymywała się na mniej więcej podobnym poziomie przez kolejne 14 dni przy zastosowanych dawkach wapna 0,2; 0,4 i 0,6 kg/kg s.m. osadu. Wyższe dawki wapna powodowały dalszą redukcję liczebności bakterii mezofilnych do 2000 komórek/g osadu (po 30 dniach przy dawce wapna 1 kg/kg s.m. osadu).

Liczebność bakterii termofilnych w okresie pierwszego tygodnia ulegała podwyższeniu w stosunku do osadu surowego i przez cały okres badań utrzymywała się na prawie niezmienionym poziomie, co było związane z podwyższeniem temperatury procesów stabilizacji i higienizacji osadów.

Zróżnicowane wyniki, a także podlegające pewnym wahaniom otrzymano podczas oznaczania liczebności bakterii sporowych. W przypadku najniższych dawek w początkowym okresie nastąpiło podwyższenie liczebności bakterii sporowych, a po 7 dniach spadek. Dawki 0,8 i 1 kg/kg s.m. osadu powodowały po 30-dniowym kontakcie redukcję liczebności bakterii sporowych prawie do zera.

Bardzo wrażliwe na działanie wszystkich zastosowanych dawek wapna okazały się bakterie z rodzaju *Clostridium*. W osadzie surowym stwierdzono obecność tych bakterii w liczbie 20 000 komórek/g osadu. Praktycznie 1-dniowy czas kontaktu osadu z badanymi dawkami wapna spowodował redukcję liczebności tych bakterii do zera.

W przypadku interpretacji otrzymanych wyników miana *coli* oraz bakterii z rodzaju *Clostridium* można posłużyć się schematem zaproponowanym do oceny sanitarnej próbek gleby opartej o miano bakterii grupy *coli* i miano bakterii z rodzaju *Clostridium*.

Miano przetrwalnikujących bakterii z rodzaju *Clostridium* wynosiło w przypadku osadu surowego 0,005, co klasyfikowało osad do gleb umiarkowanie zanieczyszczonych.

Tabela 16.

Rodzaj gleby	Miano bakterii grupy <i>coli</i>	Miano bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>
Silnie zanieczyszczona	< 0,001	< 0,0001
Umiarkowanie zanieczyszczona	0,01 – 0,001	0,001 – 0,0001
Słabo zanieczyszczona	1,0 – 0,01	0,01 – 0,001
Czysta	> 1	> 0,1

W osadzie surowym miano *coli* wynosiło 0,0004, a więc badany osad należy zaliczyć do gleby silnie zanieczyszczonej. W badanym osadzie surowym znajdowało się dużo bakterii pochodzenia fekalnego, gdyż miano *coli* typu fekalnego kształtowało się na tym samym poziomie i wynosiło również 0,0004. Świadczyło to o dużej liczebności pałeczek potencjalnie chorobotwórczych w badanych osadach, a więc pod względem bakteriologicznym osad surowy był silnie zanieczyszczony.

Uzyskane wyniki wskazują, że po 3 dniach kontaktu z wapnem niezależnie od zastosowanej dawki liczebność pałeczek grupy *coli* redukuje się i badany osad spełnia kryteria gleby słabo zanieczyszczonej. W przypadku miana *coli* typu fekalnego już po 3 dniach kontaktu uzyskuje się osad, który spełnia kryteria czystej gleby nawet po zastosowaniu naj-

mniejszej dawki wapna wynoszącej 0,2 kg/kg s.m. osadu, a więc pałeczki *E. coli* są bardzo wrażliwe na działanie wapna.

Liczba grzybów i pleśni w osadzie surowym kształtowała się na dość wysokim poziomie i wynosiła 1 100 000 komórek / gram osadu. Po 1-dniowym procesie higienizacji wapnem liczebność grzybów na skutek wzrostu pH oraz temperatury redukowana się do wartości od 85 000 komórek przy zastosowanej dawce 0,8 kg/kg s.m. osadu oraz do 55 000 przy dawce 0,6 kg/kg s.m. osadu. Niezależnie od zastosowanej dawki wapna liczebność grzybów i pleśni redukowana się ponad 10 krotnie już po 1 dniu i utrzymywała się na mniej więcej podobnym poziomie przez pozostały czas trwania doświadczeń. Optymalna dawka wapna która powodowała redukcję liczby grzybów po 30-dniowym kontakcie to 0,4 kg/kg s.m. osadu.

Na podstawie przeprowadzonych badań biologicznych stwierdzono, że jakość badanego osadu z oczyszczalni ścieków w Mońkach spełnia kryteria dotyczące warunków, jakie zostały określone przy wykorzystaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe. Badana próbka osadu nie zawierała **bakterii z rodzaju *Salmonella*, a także nie stwierdzono obecności żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.* oraz *Toxocara sp.***

Pomimo nieobecności ww. organizmów w badanej próbce osadu należy zachować szczególną ostrożność, gdyż zawartość organizmów chorobotwórczych w powstających w oczyszczalni osadach podlega zmianom w czasie. Otrzymanie negatywnego wyniku w jednej próbie nie daje gwarancji, że badany osad jest bezpieczny. Jak podaje Oleszkiewicz powszechnie panuje błędna opinia, że osady które zostały poddane stabilizacji są bezpieczne pod względem sanitarnym. Stabilizacja osadu nie koniecznie musi zapewniać pełną jego higienizację, która zachodzi w tym procesie niejako przy okazji.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń ustalono dawkę optymalną wapna, która skutecznie redukuje liczebność drobnoustrojów w badanym osadzie. Dawka wapna 0,4 kg/kg s.m. badanego osadu powoduje nie tylko redukcję bakterii, lecz również redukuje liczbę grzybów. Po zastosowaniu takiej dawki zarówno miano coli jak i miano coli typu fekalnego redukuje się do wartości przyjętych dla gleby słabo zanieczyszczonej już po 3 dniach kontaktu. Można przyjąć, że optymalny czas kontaktu badanego osadu z wapnem przy zastosowaniu dawki 0,4 kg/kg s.m. osadu powinien wynosić 7 dni co powinno zapewnić higienizację badanego osadu. Według Oleszkiewicza dawka wapna 0,3–0,4 kg CaO/kg s.m. osadu odwodnionego do ponad 20% s.m. prowadzi do uzyskania produktu stabilnego i z higienizowanego wskutek dodatkowego efektu podwyższonej temperatury.

Istotnym czynnikiem mającym wpływ na prawidłowy przebieg procesu higienizacji osadów ściekowych jest temperatura otoczenia. Lepszy efekt uzyskuje się przy dodatniej temperaturze zewnętrznej, a optymalny przy około 20°C.

3.2.

Opis systemu oczyszczania i przeróbki osadów po modernizacji w oczyszczalni w Łapach

W technologii wykorzystanej w oczyszczalni w Łapach zastosowano oczyszczanie mechaniczno-biologiczne z dwustopniowym oczyszczaniem biologicznym opartym o metodę osadu czynnego oraz końcowym lub symultanicznym strącaniem fosforu przy użyciu

koagulanta PDC. Przeróbkę osadu i jego ostateczne unieszkodliwienie prowadzi się poprzez zastosowanie procesów zagęszczania, fermentacji, mechanicznego odwadniania oraz higienizacji przy użyciu wapna.

Ścieki doptywające grawitacyjnie do przepompowni głównej są oczyszczane na kracie schodkowej z praską do skratek. Skratki gromadzone są w pojemniku, przysypywane wapnem a następnie wywożone na wysypisko śmieci w Uhowie. Tak oczyszczone ścieki tłoczone są pompami do piaskownika. W komorach osadu czynnego I-go stopnia (I^o) ścieki i osad napowietrzane są aeratorami powierzchniowymi. Osad czynny po komorach I^o doptywa do osadników pośrednich skąd jest recyrkulowany do tych komór za pomocą pomp znajdujących się w pompowni recyrkulacyjnej I^o. Oczyszczone częściowo ścieki w osadnikach I^o doptywają do komór osadu czynnego II-go stopnia (II^o). Wyposażenie komór (aeratory i mieszadła) oraz narzucone warunki ich pracy pozwalają na realizację nie tylko procesu nityfikacji, ale również denityfikacji. Po komorach osadu czynnego II^o ścieki wptywają do osadników II^o gdzie następuje oddzielenie osadu od oczyszczonych ścieków. Zatrzymany osad czynny w osadniku za pomocą pomp jest recyrkulowany z powrotem do komór osadu II^o (przepompownia II^o). Ze względu na wysokie wymagania dotyczące jakości ścieków odpływających z oczyszczalni do odbiornika, zamontowane są instalacje do podczyszczania ścieków w budynku filtrów obrotowych.

Celem uzyskania wymaganej jakości ścieków oczyszczonych szczególnie w odniesieniu do stężenia fosforu ogólnego ($\leq 1,5\text{gP/m}^3$) wartości BZT₅ ($\leq 15\text{g/m}^3$) oraz stężenia zawiesiny ogólnej ($\leq 25\text{g/m}^3$) zaprojektowano dawkowanie koagulantu PIX do komory rozdziału przed osadnikami wtórnymi.

Osady powstające w trakcie oczyszczania ścieków w istniejącej zmodernizowanej oczyszczalni to osady nadmiernie powstające w komorach osadu czynnego I i II stopnia. Powstające osady doprowadzone są z pompowni recyrkulacyjnej I^o do mechanicznej zagęszczarki umieszczonej w budynku odwadniania osadu.

Po zagęszczeniu uwodnienie osadu obniża się. Uwodnione osady są przetłoczone do istniejących otwartych basenów fermentacyjnych (OBF), gdzie poddane są procesom fermentacji. Do mieszania zawartości OBF zastosowano mieszadła firmy Redor po trzy w każdej komorze. W zbiornikach zamontowano sondy ultradźwiękowe do pomiaru poziomu cieczy z sygnalizacją alarmową poziomów maksymalnych i minimalnych. Wody osadowe powstające w OBF są przesyłane grawitacyjnie do studni zbiorczej pompowni recyrkulacyjnej I^o. Osady przefermentowane z OBF poddawane są mechanicznemu odwadnianiu na prasie taśmowej firmy Teknofangi umieszczonej w budynku odwadniania osadu. Działanie prasy powoduje obniżenie uwodnienia osadu do poziomu około 80%. Odwodniony osad poddany jest procesowi higienizacji wapnem.

Kompleksowe rozwiązanie gospodarki osadowej w oczyszczalni w Łapach pozwala na przygotowanie osadu do przyrodniczego wykorzystania.

Ilość osadów generowanych w oczyszczalni w latach 1988–2004 wynosi:

- rok 1988 – 400 ton s.m. / rok
- rok 2003 – 600 ton s.m. / rok
- rok 2004 – 540 ton s.m. / rok (szacunkowo)

Ilość osadów generowanych w oczyszczalni jest funkcją ilości ścieków, stężeń charakterystycznych oraz technologii stosowanej w oczyszczaniu ścieków i przeróbce osadów. Należy przyjąć iż docelowo ilość osadów generowanych w oczyszczalni wynosić będzie do 600 ton s.m. w ciągu roku.

Tabele 17–24 prezentują badania osadów wytwarzanych po modernizacji oczyszczalni. Ostatnie wyniki pochodzą z połowy roku 2004. Prezentowane wyniki umożliwiają

porównanie podstawowych parametrów jakości osadów, zarówno przed jak i po modernizacji systemu oczyszczania ścieków i przeróbki osadów w oczyszczalni w Łapach. Wysoki efekt oczyszczania ścieków w połączeniu z prawidłową przeróbką osadów to w efekcie ochrona środowiska wodnego i glebowego gminy Łapy i województwa podlaskiego. Na podkreślenie zasługuje to, iż oczyszczalnia ma bezpośredni wpływ na rzekę Narew i teren Narwiańskiego Parku Narodowego.

Tabela 17.

Wyniki analiz zawartości metali ciężkich w osadzie ściekowym z oczyszczalni w Łapach – czerwiec 2002

Ołów [mg/kg s.m.]	Rtęć [mg/kg s.m.]	Miedź [mg/kg s.m.]	Kadm [mg/kg s.m.]	Nikiel [mg/kg s.m.]	Cynk [mg/kg s.m.]	Chrom [mg/kg s.m.]
64,5	0,96	115	1,71	17,7	1184	< 3,0

Tabela 18.

Wyniki analiz wartości nawozowych oraz uwodnienia osadu ściekowego z oczyszczalni w Łapach – czerwiec 2002

	Jednostka	Wartość
Wapń	g/kg s.m.	66,0
	% CaO s.m.	9,23
Magnez	g/kg s.m.	3,87
	% MgO s.m.	0,64
Azot ogólny	g/kg s.m.	18,7
	% s.m.	1,87
Azot amonowy	g/kg s.m.	4,67
	% s.m.	0,47
Fosfor ogólny	g/kg s.m.	3,85
	% P ₂ O ₅ s.m.	1,76
Odczyn	pH	7,56
Uwodnienie	%	80,2
Sucha masa	%	19,8
Subst. organiczne	% s.m.	56,0

Tabela 19.

Wyniki analiz zawartości metali ciężkich w osadzie ściekowym z oczyszczalni w Łapach – lipiec 2003

Ołów [mg/kg s.m.]	Rtęć [mg/kg s.m.]	Miedź [mg/kg s.m.]	Kadm [mg/kg s.m.]	Nikiel [mg/kg s.m.]	Cynk [mg/kg s.m.]	Chrom [mg/kg s.m.]
50	0,87	90	1,21	6,0	884	16,0

Tabela 20.

Wyniki analiz wartości nawozowych oraz uwodnienia osadu ściekowego z oczyszczalni w Łapach – lipiec 2003

	Jednostka	Wartość
Wapń	g/kg s.m.	46,4
	% CaO s.m.	6,49
Magnez	g/kg s.m.	3,39
	% MgO s.m.	0,56
Azot ogólny	g/kg s.m.	20,1
	% s.m.	2,01
Azot amonowy	g/kg s.m.	4,50
	% s.m.	0,45
Fosfor ogólny	g/kg s.m.	4,20
	% P ₂ O ₅ s.m.	1,92
Odczyn	pH	7,20
Uwodnienie	%	82,0
Sucha masa	%	18,0
Subst. organiczne	% s.m.	37,2

Tabela 21.

Wyniki analiz na zawartość metali ciężkich w osadzie ściekowym z oczyszczalni w Łapach – grudzień 2003

Ołów [mg/kg s.m.]	Rtęć [mg/kg s.m.]	Miedź [mg/kg s.m.]	Kadm [mg/kg s.m.]	Nikiel [mg/kg s.m.]	Cynk [mg/kg s.m.]	Chrom [mg/kg s.m.]
18,8	0,71	75	1,40	< 4,0	735,4	< 3,0

Tabela 22.

Wyniki analiz wartości nawozowych oraz uwodnienia osadu ściekowego z oczyszczalni w Łapach – grudzień 2003

	Jednostka	Wartość
Wapń	g/kg s.m.	169,1
	% CaO s.m.	23,66
Magnez	g/kg s.m.	4,73
	% MgO s.m.	0,78
Azot ogólny	g/kg s.m.	18,0
	% s.m.	1,8
Azot amonowy	g/kg s.m.	2,0
	% s.m.	0,20
Fosfor ogólny	g/kg s.m.	3,60
	% P ₂ O ₅ s.m.	1,64
Odczyn	pH	7,20
Uwodnienie	%	76,1
Sucha masa	%	23,9

	Jednostka	Wartość
Subst. organiczne	% s.m.	29,9

Tabela 23.

Wyniki analiz zawartości metali ciężkich w osadzie ściekowym z oczyszczalni w Łapach – sierpień 2004 (osad zmieszany)

Ołów [mg/kg s.m.]	Rtęć [mg/kg s.m.]	Miedź [mg/kg s.m.]	Kadm [mg/kg s.m.]	Nikiel [mg/kg s.m.]	Cynk [mg/kg s.m.]	Chrom [mg/kg s.m.]
26,7	0,62	66,3	0,60	10,8	582	12,6

Tabela 24.

Wyniki analiz wartości nawozowych oraz uwodnienia osadu ściekowego z oczyszczalni w Łapach – sierpień 2004 (osad zmieszany)

	Jednostka	Wartość
Wapń	g/kg s.m.	50,6
	% CaO s.m.	7,1
Magnez	g/kg s.m.	3,30
	% MgO s.m.	0,55
Azot ogólny	g/kg s.m.	18,0
	% s.m.	1,8
Azot amonowy	g/kg s.m.	2,0
	% s.m.	0,20
Fosfor ogólny	g/kg s.m.	3,60
	% P ₂ O ₅ s.m.	1,64
Odczyn	pH	7,20
Uwodnienie	%	85,1
Sucha masa	%	14,9
Subst. organiczne	% s.m.	69,0

Ustalenie dawki wapna niezbędnego do procesu higienizacji osadów ściekowych

Osady ściekowe powstające w różnych etapach oczyszczania ścieków charakteryzują się dużą różnorodnością występujących organizmów przy czym najliczniej reprezentowane są w nich bakterie. Ich liczebność uzależniona jest od struktury osadu, odczynu, temperatury, wilgotności, a przede wszystkim od ilości substancji organicznych, które stanowią główne źródło pokarmu niezbędnego do rozwoju bakterii heterotroficznych. Ogólna liczba bakterii może zawierać się w bardzo szerokich granicach np. od kilku tysięcy do kilku miliardów komórek na gram suchej masy osadu. W osadach ściekowych mogą występować także inne drobnoustroje w tym bakterie chorobotwórcze i potencjalnie chorobotwórcze, wirusy, grzyby, cysty i jaja pasożytów. Mogą one przedostawać się do oczyszczalni wraz z odchodami ludzkimi i zwierzęcymi. Z uwagi na powyższe stwierdzenie badania mikrobi-

logiczne i helmintologiczne stanowią ważne kryterium niezbędne do oceny sanitarnej osadów. Szczególnie ten ostatni aspekt nabiera ogromnego znaczenia w przypadku koncepcji uwzględniającej wykorzystanie osadów np. do celów rolniczych.

W ramach przeprowadzonych badań wykonano analizy mikrobiologiczne i parazytologiczne osadu surowego mieszanego oraz pochodzącego z osadnika, a następnie zbadano osady po 14-dniowym kontakcie z zastosowaną dawką wapna 0,3 kg/kg s.m.o. Uzyskane wyniki zostały zaprezentowane w tabelach 25 i 26. Wszystkie wyniki parametrów mikrobiologicznych odnoszą się do wilgotnej masy osadu.

Tabela 25.

Wyniki analizy mikrobiologicznej i parazytologicznej osadu z osadnika oczyszczalni ścieków w Łapach

Oznaczenie	Osad z osadnika (bez wapna)	Osad z osadnika po procesie wapnowania po 14 dniach kontaktu
Ogólna liczba bakterii psychrofilnych	$3,0 \times 10^7/g$	nie stwierdzono
Ogólna liczba bakterii mezofilnych	$2,8 \times 10^7/g$	nie stwierdzono
Liczba bakterii termofilnych	nie stwierdzono	$1,0 \times 10^2$
Liczba bakterii sporowych	$2,0 \times 10^3/g$	nie stwierdzono
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	$2,3 \times 10^6$	nie stwierdzono
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	$2,3 \times 10^6$	nie stwierdzono
NPL enterokoków	$2,3 \times 10^5$	nie stwierdzono
NPL bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>	$6,2 \times 10^4$	nie stwierdzono
Ogólna liczba grzybów	$1,3 \times 10^7/g$	$2,0 \times 10^2$
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	obecne	nie stwierdzono
Obecność jaj pasożytów	nie stwierdzono	nie stwierdzono

Tabela 26.

Wyniki analizy mikrobiologicznej i parazytologicznej osadu mieszanego z oczyszczalni ścieków w Łapach

Oznaczenie	Osad mieszany (bez wapna)	Osad mieszany po procesie wapnowania po 14 dniach kontaktu
Ogólna liczba bakterii psychrofilnych	$3,6 \times 10^8/g$	$3,2 \times 10^3/g$
Ogólna liczba bakterii mezofilnych	$2,5 \times 10^7/g$	$3,0 \times 10^3/g$
Liczba bakterii termofilnych	$1,0 \times 10^2/g$	nie stwierdzono
Liczba bakterii sporowych	$3,4 \times 10^3/g$	$3,8 \times 10^4/g$
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	$2,3 \times 10^8$	nie stwierdzono
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	$2,3 \times 10^7$	nie stwierdzono
NPL enterokoków	$6,2 \times 10^5$	nie stwierdzono
NPL bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>	$5,0 \times 10^5$	$2,3 \times 10^3$
Ogólna liczba grzybów	$1,2 \times 10^8/g$	$2,3 \times 10^3/g$
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność jaj pasożytów	134/kg s.m.o.	nie stwierdzono

Badany osad z osadnika nie spełnia podstawowych kryteriów jakości i nie może być wykorzystany na potrzeby rolnicze i nierolnicze oraz do rekultywacji gruntów, gdyż w próbce osadu wyizolowano bakterie z rodzaju *Salmonella*. Obecność ww. bakterii została potwierdzona testami biochemicznymi API 20E. W osadzie z osadnika nie stwierdzono natomiast obecności żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.* oraz *Toxocara sp.* Pozostałe wskaźniki mikrobiologiczne nie odbiegały od wartości uzyskiwanych w przypadku badań osadów z innych oczyszczalni ścieków województwa podlaskiego. Na uwagę zasługuje wysoka liczba bakterii mezofilnych, a także wskaźnika *coli* i *E. coli* (typ kałowy), enterokoków i beztlenowych bakterii z rodzaju *Clostridium*. Duże zagrożenie mogą powodować grzyby i pleśnie których liczba w badanym osadzie kształtowała się na bardzo wysokim poziomie.

Bez zastosowania higienizacji osad ten nie nadaje się do wykorzystania nieprzemysłowego w tym w rolnictwie i do rekultywacji gruntów.

Po przeprowadzonej higienizacji zadaną dawką wapna 0,3 kg/kg suchej masy osadu (s.m.o.) wszystkie badane wskaźniki mikrobiologiczne i parazytologiczne po 14 dniach uległy znaczącej redukcji lub nastąpiło wyjąłowanie badanego materiału. Zaobserwowano jedynie niewielką liczbę bakterii termofilnych oraz pleśni i grzybów. Przy zastosowanej dawce wapna stwierdzono pełną higienizację, a osad w tej postaci można wykorzystać zarówno do rekultywacji gruntu jak i do celów rolniczych.

Bardzo podobne wyniki odnotowano w przypadku badania osadu mieszanego. Ze względu na stwierdzenie w badanym osadzie zapłodnionych jaj *Ascaris sp.* w liczbie 134/kg s.m.o. nie można go wykorzystać rolniczo, a jedynie do rekultywacji gruntów. Pomimo że badany osad nie zawierał patogennych pałeczek należących do rodzaju *Salmonella*, to stwierdzono w nim wysoki wskaźnik *coli* oraz enterokoków, a także bakterii z rodzaju *Clostridium*. Liczba pleśni i grzybów w osadzie mieszanym była wyższa niż w osadzie z osadnika, co również stwarza wysoki stopień zagrożenia sanitarnego.

Przeprowadzona higienizacja wykazała znaczącą redukcję badanych parametrów mikrobiologicznych oraz parazytologicznych. Po 14 dniach kontaktu z wapnem w badanym osadzie mieszanym nie stwierdzono obecności zapłodnionych jaj pasożytów. Wszystkie parametry mikrobiologiczne zredukowały się do bardzo niskich wartości, a w przypadku bakterii termofilnych oraz wskaźnika *coli*, *E. coli* i enterokoków nastąpiło wyjąłowanie osadu i zniszczenie tych drobnoustrojów.

Reasumując przeprowadzone badania biologiczne należy stwierdzić, że jakość badanych osadów z oczyszczalni ścieków w Łapach przed procesem higienizacji nie spełnia warunków, jakie zostały określone przy wykorzystaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe. Badana próbka osadu z osadnika zawierała bakterie z rodzaju *Salmonella* co uniemożliwiało jakiegokolwiek wykorzystanie osadu, a próbka osadu mieszanego zawierała żywe jaja pasożytów jelitowych w liczbie 134/kg s.m.o., których obecność uniemożliwiała bezpośrednio wykorzystanie osadów w rolnictwie.

Znaczącą redukcję parametrów mikrobiologicznych i parazytologicznych, a w skrajnym wypadku wyjąłowanie osadu uzyskano poprzez odpowiedni dobór dawki wapna oraz bardzo dokładne wymieszanie osadu z wapnem, a także optymalny czas kontaktu. Do higienizacji zastosowano optymalną dawkę wapna – 0,3 kg/kg s.m. Aby zapewnić margines bezpieczeństwa higienizację należy prowadzić przynajmniej przez 14 dni. Należy również pamiętać o kontrolowaniu podstawowych parametrów tego procesu, a więc pH i temperatury.

4. Kompostowanie jako metoda ostatecznego unieszkodliwiania osadów ściekowych

Kompostowanie jest jedną z najprostszych metod, która odzwierciedla procesy biochemiczne zachodzące w przyrodzie, a polegającą na rozkładzie substancji organicznej. W warunkach naturalnych w glebie rocznie na powierzchni 1 ha rozkłada się i ulega mineralizacji 40–50 ton resztek roślinnych, 7–40 ton organizmów zwierzęcych oraz około 20 ton mikroorganizmów. Po mineralizacji czyli całkowitym utlenieniu podstawowych pierwiastków w warunkach aerobowych – powstaje dwutlenek węgla, azotany, siarczany i fosforany (oraz woda). W procesie humifikacji następuje synteza złożonych związków organicznych, mających szczególną wartość nawozową. Substancje humusowe wprowadzone do gleby z kompostem powodują wzrost kompleksu sorpcyjnego, a tym samym przyczyniają się do poprawy jej urodzajności. Tak więc kompostowanie jest procesem złożonym. Następuje w wyniku licznych zachodzących jednocześnie lub następujących po sobie procesów biochemicznych, chemicznych i fizycznych sterowanych przez bakterie aerobowe.

Technologia kompostowania osadów ściekowych, podobnie jak szereg innych technologii przemysłowych, powinna być oparta na ogólnych zasadach, obowiązujących przy modelowaniu i projektowaniu technologicznym w innych dziedzinach techniki.

Nowocześnie ujęta technologia kompostowania składa się z czterech następujących części:

- opisu stosowanego procesu biochemicznego, w tym omówienia podstaw teoretycznych stosowanego procesu.
- określenia czynników mających istotny wpływ na przebieg procesu kompostowania, w tym przede wszystkim dobrego rozpoznania surowca pod względem jego właściwości technologicznych.
- określenia jakości produktu finalnego.
- metody modelowania oraz projektowania technologii procesu.

Kształtowanie technologii procesu kompostowania wynika z podstawowych praw biochemii, chemii i fizyki. Dalsze szczegółowe rozważania nad tym zagadnieniem wchodzą już w zakres inżynierii systemów i optymalizacji układów złożonych. Pozwalają one na wybór – spośród alternatywnych rozwiązań technologicznych – najbardziej efektywnego i niezawodnego pod względem technicznym oraz uzasadnionego ekonomicznie systemu.

Niewątpliwie, przy kształtowaniu technologii procesu kompostowania osadów ściekowych, istotnym problemem jest wpływ modelowanego obiektu na środowisko. Budowa kompostowni budzi zawsze sprzeciw sąsiadujących z nią mieszkańców, z czym należy się poważnie liczyć.

Wyprodukowana przez przyrodę biomasa zawiera znaczne ilości składników pokarmowych, które powinny do niej wracać w postaci próchnicy i humusu.

Reasumując, kompostowanie umożliwia:

- eliminację zagrożeń sanitarnych wynikających z gromadzenia odpadów.
- zmniejszenia masy i objętości odpadów.
- ograniczenia powierzchni wysypisk.
- zwiększenie produktywności gleb.

4.1.

Rys historyczny i kierunki rozwoju

Kompostowanie ma tradycję tak dawną jak rolnictwo, już w starożytnych Chinach gromadzono odpadki domowe, rolnicze i przerabiano je na kompost. W Polsce pierwsze wskazówki racjonalnego kompostowania spotykamy w książkach: Anzelma Gostowskiego z 1563 r. „Gospodarstwo Rolne”, Jakuba Hama „Ekonomika Ziemiańska” z 1675 r. Krzysztofa Kluka w książce „O Rolnictwie” z 1799 r. podaje co i jak może być kompostowane, po raz pierwszy uwzględniając stronę sanitarną.

Kompostowanie odpadków miejskich rozpoczęto z początkiem XX wieku, od tego czasu obserwujemy stały postęp tej metody. Kompostowanie może odbywać się w pryzmach lub boksach na wolnym powietrzu, w komorach zamkniętych różnego rodzaju, czy też w hermetycznych bębnach. W Polsce kompostowanie na skalę produkcyjną rozpoczął Stobiński w 1953 r. w Bielsku-Białej w oparciu o przedwojenne badania Przyłęckiego. W 1957 r. uruchomiono kompostownię pryzmową w Warszawie. W 1961 r. uruchomiono Zakład Doświadczalny w Kielcach. W latach 60 na podobnej zasadzie pracowały kompostownie we Wrocławiu, Lublinie, Krakowie, Kielcach i Bydgoszczy. W 1981 r. w Warszawie, a następnie w 1988 r. w Katowicach uruchomiono kompostownię w oparciu o technologię firmy DANO-MUT. Ilość odpadów w naszym kraju wzrasta bardzo szybko. Według danych GUS na skalę przemysłową kompostuje się ok. 4,5% ogólnej ilości odpadów komunalnych. Do poprawy tego stanu może przyczynić się krajowy producent, którym są Pomorskie Zakłady Budowy Maszyn „MACRUM” S.A. Firma istnieje od 1886 r. w Bydgoszczy. Pierwsza prototypowa kompostownia powstała w 1994 r. w Kołobrzegu, następna w 1995 r. w Suwałkach. Kompostownie planowane są w Bochni, Zgorzelcu, Ustce, Gorzowie Wielkopolskim, Słupsku, Elblągu. Rozwój kompostowania odpadów komunalnych zależy od zaangażowania i możliwości władz gminnych.

Rozwój technologii i instalacji wykorzystujących do kompostowania osady ściekowe sięga w Polsce lat dziewięćdziesiątych.

4.2.

Wartość użytkowa kompostu i parametry prowadzenia procesu kompostowania

Wartość użytkową kompostu ocenia się na podstawie zawartości w nim substancji organicznej i składników pokarmowych dla roślin oraz dopuszczalnej zawartości metali ciężkich i chorobotwórczych organizmów.

Wartość użytkowa kompostu zależy od:

- jakości surowca użytego do produkcji kompostu (przede wszystkim osadów ściekowych);
- technologii produkcji;
- stanu dojrzałości produktu;

Czynnikami zmniejszającymi wartość użytkową, kompostu lub dyskwalifikującymi jego przydatność są:

- udział szkła;
- ceramiki i innych nierozkładalnych części;
- zawartość nasion roślin zachwaszczających ziemię i uprawne rośliny;

Optymalna zawartość substancji organicznej w kompoście wynosi 40–50% suchej masy. W kompostach bardzo dojrzałych (silnie zmineralizowanych) substancja organiczna może stanowić ok. 30%, a w kompostach młodych z masy roślinnej lub torfu może wynosić ponad 60%.

Stan dojrzałości (mineralizacji biomasy) kompostu znajduje swoje odbicie w przewadze zawartości węgla organicznego nad zawartością azotu (C : N). Wskaźnik C : N zmienia się w miarę dojrzewania kompostu z ok. 25–20 do 15–10.

Przewaga węgla nad azotem w kompoście zależy także w bardzo dużym stopniu od wartości wskaźnika C : N w surowcu kompostowym. Zakłada się jednak, że wartość tego wskaźnika w surowcu kompostowym jest korygowana w przedziale 25–40. Zawartość azotu w suchej masie kompostu dojrzałego wynosi przeważnie 1,0–1.5%.

Zawartość fosforu, potasu, wapnia i magnezu w kompostach zależy od wielu czynników, toteż występują bardzo duże rozpiętości zawartości tych składników.

Odmienność składu mineralnego poszczególnych surowców roślinnych jest wystarczającym powodem zróżnicowanego chemizmu kompostów. Wspólne kompostowanie masy roślinnej z osadami ściekowymi oraz z innymi odpadami organicznymi jeszcze bardziej różnicuje ten produkt. Korekta zawartości składników mineralnych powinna uwzględniać agrochemiczne wymagania użytkowników kompostu.

Powstały w wyniku operacji technologicznych kompost może być wykorzystywany do następujących celów:

- nawożenie gleb i roślin,
- melioracyjne użyźnianie gleb,
- rekultywacja gruntów bez glebowych,
- produkcja podłoży do nie gruntowej uprawy roślin,
- produkcja preparatów nawozowych.

Nawozowe użytkowanie kompostu

Tego rodzaju użytkowanie służy głównie do produkcji roślin przeznaczonych do konsumpcji dla ludzi i zwierząt domowych oraz do celów przemysłowych. Wykorzystanie

kompostu do nawożenia gleb i roślin polega na stosowaniu go w sposób analogiczny jak obornika. Głównym celem nawozowego użytkowania kompostu jest utrzymanie zawartości próchnicy w glebie – a nawet jej zwiększenie. Zawartość próchnicy w glebie warunkuje aktywność biologiczną gleby i jej agrotechniczną sprawność. Dostarczanie makroskładników pokarmowych jest istotne, ale nie najważniejsze, chyba, że nawożenie gleby sprowadza się wyłącznie do stosowania kompostu.

Nawożenie kompostem nie powinno spowodować wprowadzenia do gleby nadmiernej ilości azotu dostępnego dla roślin. Przepis ustawy o nawozach i nawożeniu stanowi, że dawka roczna azotu na hektar nie może przekraczać 170 kg. Taka ilość azotu można wprowadzić do gleby z kompostem corocznie, pod warunkiem, że nie będą stosowane inne nawozy zawierające azot.

Kompost jest nawozem organicznym, to podobnie jak obornik może być stosowany raz na 3 lub 4 lata. Mnożąc dopuszczalną dawkę roczną azotu 170 kg N przez liczbę lat między kolejnym nawożeniem (3 lub 4) otrzymamy ilość azotu, która może być wprowadzona do gleby co 3–4 lata. tj. 510 lub 680 kg N/ha. Przy zawartości azotu w kompoście równej 1% możemy zastosować 17 ton s.m. kompostu na hektar rocznie. Maksymalna dawka trzyletnia wyniesie ponad 50 ton s.m./ha. Biorąc pod uwagę około 50-procentowy udział wody w kompoście świeżym całkowita masa kompostu wyniesie około 100 t/ha w ciągu trzech lat. Trudno będzie pozyskać tak duże ilości kompostu do nawożenia upraw polowych zajmujących wiele hektarów, można jednak stosować nawożenie kompostem w uprawie warzyw.

Barierę w stosowaniu kompostu do nawożenia gleb stanowi zawartość metali ciężkich. Według Mayer'a kompost może zawierać maksimum:

- 150 mg Pb/kg s.m.
- 1,5 mg Cd/kg s.m.
- 100 mg Cr/kg s.m.
- 100 mg Cu/kg s.m.
- 50 mg Ni/kg s.m.
- 1,0 mg Hg/kg s.m.
- 400 mg Zn/kg s.m.

Wymienione wartości ustalono dla kompostów zawierających 30% substancji organicznej w suchej masie. Oznacza to, że kompost o zawartości substancji organicznej 45% może zawierać o 50% więcej metali ciężkich niż podane wyżej. W nawozowym i melioracyjnym użytkowaniu kompostu liczy się najbardziej próchnicotwórcza substancja organiczna.

Według projektu rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu kompost może być dopuszczony do obrotu, jeżeli zawiera nie więcej niż:

- 50 mg arsenu (As) w kg s.m.
- 14 mg kadmu (Cd) w kg s.m.
- 140 mg ołowiu (Pb) w kg s.m.
- 2 mg rtęci (Hg) w kg s.m.

Projekt rozporządzenia nie określa natomiast dopuszczalnych zawartości pozostałych metali ciężkich.

Melioracyjne użyczenie gleby kompostem

Melioracja to podnoszenie żyzności gleby przez regulację stosunków wodnych (osuszanie błot, sztuczne nawadnianie). Kompost wykorzystuje się na cele melioracyjne wówczas gdy zachodzi potrzeba wydatnego polepszenia warunków wzrostu roślin na terenach zieleni miejskiej, rekreacyjnej, przemysłowej w czasie jej urządzania. Melioracyjnie użyźnia się gleby:

- w ogrodach przydomowych i działkowych;
- w uprawie warzyw, krzewów i roślin ozdobnych;
- w szkółkach produkujących sadzonki drzew i krzewów różnego przeznaczenia;
- na gruntach ornych, łąkach i pastwiskach słabej jakości;
- w leśnym i nieleśnym zadrzewianiu gleb jałowych (do zaprawiania dołków).

Zależnie od jakości gleby oraz jej przeznaczenia stosuje się różne sposoby melioracyjnego użyczenia kompostem. Wielkość dawki kompostu na jednostkę powierzchni należy dostosować do jej melioracyjnej funkcji. Zależać więc będzie ona od stanu gleby, potrzeby zwiększenia jej żyzności oraz od jakości kompostu. Miernikiem melioracyjnej jakości kompostu jest zawartość w nim substancji organicznej i wskaźnik C : N.

Kompost stosowany do użyczenia gleb przeznaczonych pod uprawę roślin do produkcji żywności powinien spełniać te same wymogi dotyczące dopuszczalnych zawartości metali ciężkich, jak określono w odniesieniu do kompostu użytkowanego do nawożenia. W kompoście przeznaczonym do nawożenia terenów zieleni miejskiej, rekreacyjnej i przemysłowej, szkółek drzew i krzewów, do sadzeń drzew i krzewów nie owocowych dopuszcza się znacznie większe zawartości metali ciężkich.

Melioracyjna dawka kompostu powinna zawierać co najmniej 25 ton suchej masy organicznej na hektar. Przy 50% zawartości substancji organicznej stanowi to ok. 50 t s.m. kompostu na hektar (ok. 100 t świeżej masy). Kompost wysiewa (rozrzuca) się równomiernie na wyznaczoną powierzchnię ziemi, a następnie miesza się go z próchniczną warstwą gleby (która może być pogłębiona) przy użyciu stosownego sprzętu agrotechnicznego. Łączna dawka zastosowanego kompostu nie powinna spowodować przekroczenia dopuszczalnych zawartości metali ciężkich w wierzchniej (25 cm) warstwie gleby.

W punktowym użyczeniu gleb, wokół sadzonych drzew i krzewów, zużywa się znacznie mniej kompostu oraz wprowadza się go do podpróchnicznej warstwy, co tworzy korzystne warunki pokarmowe i wodne do rozwoju sadzonek, a jednocześnie chroni je przed nadmierną konkurencją chwastów.

Rekultywacyjne użytkowanie kompostu

Zabieg ten różni się od nawożenia melioracyjnego tym, że dotyczy gruntów bezglebowych, które trzeba przysposobić (użyźnić) do zagospodarowania roślinnego. Rekultywacyjna dawka kompostu na jednostkę powierzchni zależy od wielu czynników, głównie od jakości i przeznaczenia rekultywowanego gruntu oraz od dostępności i jakości kompostu. Minimalna dawka kompostu powinna stworzyć warunki do życia roślin na zrekultywowanym gruncie. W tym celu trzeba wprowadzić do gruntu co najmniej 25 ton substancji organicznej. Jeżeli kompost zawiera jej 50 t, to należy zastosować co najmniej 50 t suchej masy na hektar (ok. 100 m³). Dopuszczalne poziomy zawartości metali ciężkich w kompoście stosowanym na gruntach rekultywowanych są takie same jak przy melioracyjnym użyczeniu gleb.

Coraz większe zastosowanie w produkcji sadzonek, warzyw, kwiatów ma niegruntowa uprawa roślin. Kompost jest doskonałym składnikiem podłoża do takiej uprawy, stosowany w mieszankach z mineralnymi (szkieletowymi) tworzywami (komponentami). Musi on być jednak dobrze dojrzały oraz spełniać wymagania tych roślin, dla których przeznaczona jest podłoża, dotyczące właściwości chemicznych, biologicznych i odczynu. Uprawy roślin jadalnych powinny być kontrolowane ze względu na zawartość metali ciężkich i organizmów chorobotwórczych w celu zapewnienia dobrej jakości plonów.

Wiele różnych firm stosuje komposty do produkcji preparatów nawozowych według własnych receptur. Preparaty nawozowe to wieloskładnikowe nawozy organiczno-mineralne o stałej lub płynnej konsystencji. Płynne preparaty nawozowe mają szczególnie duże zastosowanie w uprawie warzyw i roślin ozdobnych.

Preparaty nawozowe zawierają przeważnie określone (regulowane) kompleksy makro- i mikroskładników oraz nieokreślone kompleksy biologicznie czynnych związków organicznych.

Do produkcji preparatów nawozowych o szczególnym przeznaczeniu mogą być stosowane komposty zawierające duże ilości mikroelementów (metali ciężkich) pokarmowych (np. cynku i miedzi). Dotyczy to również osadów ściekowych oraz innych odpadów obfitujących w mikroelementy pokarmowe.

Należy oczekiwać znacznego postępu w badaniach i technologiach produkcji organiczno-mineralnych preparatów nawozowych oraz ich użytkowania.

Biochemiczne przemiany substancji organicznej w procesie kompostowania są podobne jak w glebie. Rozkład ten może przebiegać na drodze tlenowej i beztlenowej. Mimo, że kompostowanie to głównie rozkład tlenowy złożonych związków organicznych (tłuszczów, białek i węglowodanów). Przebiega on według cyklu Krebsa w 3 fazach, przy czym ostatnia jest już cyklem kwasów trójkarboksylowych. Rozkład powodują mikroorganizmy, w tym termofilowe, promieniowce i grzyby. W kompoście stwierdza się różne odmiany grzybów, w tym należące do rodzajów *Penicilinum*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Mucor* itp. Bakterie mezofilne występują tylko przy niższych temperaturach, w pierwszej fazie procesu, natomiast w dalszym etapie przeważają bakterie termofilne warunkujące właściwy przebieg kompostowania, a także bakterie przetrwalnikujące.

W kompostowaniu zachodzą dwa równoległe procesy biochemiczne:

- Mineralizacja czynnej substancji organicznej prowadzona w warunkach tlenowych powoduje utlenienie podstawowych składników biomasy, tj.: związków węgla, wodoru, azotu, siarki i fosforu. Jako produkty ostateczne tego procesu uzyskuje się: dwutlenek węgla, wodę, azotany, siarczany oraz fosforany. Produkty te, a zwłaszcza azotany i fosforany, to wartościowe substancje, z których powstaje w roślinach i mikroorganizmach substancja komórkowa. Mineralizacja w warunkach tlenowych jest procesem egzotermicznym. W trakcie tego procesu wydzielą się energia cieplna w takiej samej ilości jak przy spalaniu w palenisku. Energia ta, w wyniku kumulacji w materiale, mającym dobre właściwości izolacyjne, powoduje wzrost temperatury nawet do 70°C.
- Humifikacja jest to proces syntezy bardzo złożonych związków organicznych, mających właściwości jonowymienne. Powodują one w środowisku glebowym wzrost kompleksu sorpcyjnego i tym samym przyczyniają się do wzrostu urodzajności gleby. Związki humusowe, łącznie z przetworzoną pozostałą substancją organiczną oraz składnikami mineralnymi, tworzą stabilną próchnicę glebową i stanowią o wartości kompostu jako nawozu organicznego.

Można zatem jednoznacznie stwierdzić, że zbyt daleko idący proces mineralizacji składników biomasy powodujeubożenie finalnego produktu w związki humusowe, a zatem zmniejsza wartość kompostu jako nawozu organicznego. Mineralizacja ma jednak istotne znaczenie dla higienizacji wytworzonego kompostu.

Zasadniczymi parametrami wpływającymi na szybkość i efektywność procesu kompostowania są:

- Optymalne pH = 6,5–7,5. Utrzymanie odpowiedniego pH w masie kompostowej zapewnia właściwe warunki środowiska do rozwoju mikroorganizmów oraz chroni przed stratą azotu;
- Temperatura kompostowania 55–60°C. Przyjmuje się, że co najmniej 10-dniowy okres temperatury w granicach 50°C gwarantuje pełną higienizację kompostu – zniszczenie organizmów chorobotwórczych;
- Odpowiedni stosunek osadu do materiału strukturotwórczego;
- Stosunek C : P optimum 100;
- Dostawa powietrza może wynosić do 300 m³/t s.m. na godzinę w czasie największej aktywności i temperaturze 60°C. Praktycznie średnia wartość nie przekracza 90–160 m³/t na godzinę;
- Długość kompostowania – przyjmują się 10–30 dni;
- Jakość kompostowania ustabilizowanego – przyjmują się, że zapotrzebowanie tlenu powinno być mniejsze od 1–1,5 g O₂/kg s.m. na godzinę;
- Odpowiedni skład fizyczny chemiczny odpadów poddawanych kompostowaniu (min. ilość substancji organicznej > 30%, brak substancji toksycznych ; właściwa struktura materiału kompostowanego, ułatwiająca napowietrzanie);
- Napowietrzanie 0,6–1,9 m³/kg s.m.o. na dobę. Właściwe napowietrzanie masy kompostowej gwarantuje prawidłowy przebieg procesu rozkładu i budowy związków organicznych, w których biorą udział przede wszystkim mikroorganizmy aerobowe – potrzebujące do życia tlenu;
- Rozdrobnienie odpadów (optymalna wielkość cząstek w kompostowaniu naturalnym 25–40 mm, przy mechanicznym ok. 12 mm);
- Wilgotność (w %) masy kompostującej zawierająca się w przedziale 40–60% wody. Mniejsza wilgotność powoduje zahamowanie przemian biochemicznych, większa zmniejsza powierzchnie przenikania tlenu;
- Odpowiedni stosunek zawartości węgla organicznego do azotu organicznego we wprowadzanym materiale (optymalny stosunek C : N powinien wynosić 25–30:1), utrzymanie odpowiedniego odczynu w masie kompostowanej (w granicach 6,6–7,5).

Chcąc otrzymać dobrej jakości produkt finalny, proces kompostowania wymaga stałej kontroli i wykwalifikowanej obsługi. Do prawidłowego kompostowania są niezbędne takie czynniki jak:

- odpowiednia jakość kompostowanej masy;
- optymalna zawartość wody w kompostowanej masie, zwana wilgotnością;
- dostęp powietrza atmosferycznego, zapewniający rozwój mikroorganizmów tlenowych w kompostowej masie;
- temperatura zapewniająca rozwój mikroorganizmów pożądaných i destrukcję patogenów.

Wszystkie wymienione parametry mogą być kształtowane technicznie w stopniu optymalnym lub częściowo regulowane. Nowoczesne technologie stosowane w ostatnich latach optymalizują wszystkie parametry oraz intensyfikują proces kompostowania.

Wymagają jednak dużych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Wiele prostych technologii kompostowania nie wymaga kosztownych inwestycji, dają oczekiwane efekty produkcyjne i ekologiczne.

Masa roślinna jest podstawowym surowcem wykorzystywanym do procesu kompostowania. Może być jednak bardzo zróżnicowana pod względem: podatności (odporności) na rozkład biologiczny, składu chemicznego, wymiaru części elementarnych, konsystencji i zawartości wody. Do kompostowania przeznaczają się zwykle poprodukcyjne i poużytkowe odpady biomasy. Zależnie od warunków miejscowych odpady te wykazują znaczne zróżnicowanie ilościowe i jakościowe, zmienne także w poszczególnych porach sezonu wegetacyjnego. Różnorodność źródeł oraz zmienność w czasie właściwości odpadów biologicznych do zagospodarowania sprawiają, że dla każdego obszaru pozyskiwania surowców należy opracować stosowną technologię kompostowania.

Zawartość substancji organicznej w surowcu przeznaczonym do produkcji kompostu powinna wynosić ponad 50% suchej masy. Wtedy kompost dojrzały będzie zawierał ponad 30% humusu.

W przypadku gdy głównym celem kompostowania jest pomniejszenie szkodliwości osadów to zawartość części organicznych może być mniejsza.

Stosunek węgla do azotu może być uregulowany poprzez odpowiedni dobór składowych części masy kompostowanej lub przez dodatek substancji obfitujących w związki azotu. Sporządzenie mieszanki (surowca kompostowego) o żądanym wskaźniku C : N nie jest łatwe ponieważ w praktyce rzadko dysponujemy możliwością dokładnego określenia zawartości suchej masy w komponentach o zmiennych zawartościach wody i azotu w suchej masie. Zmienne są też ciężary objętościowe poszczególnych składników takiej mieszanki.

Struktura surowca kompostowanego powinna tworzyć pokarmowe, wodne i powietrzne warunki do intensywnego rozwoju mikroorganizmów tlenowych w całej masie kompostowanej. Oznacza to, że poszczególne składniki surowca powinny być rozdrobnione i wymieszane na etapie jego przygotowania (zwłaszcza do kompostowania w pryzmach) lub w bioreaktorze zmechanizowanym.

Rozdrobnienie masy roślinnej, zwłaszcza drewna oraz zdrewniałych części pozostałych roślin, jest niezbędne:

- do zwiększania ich podatności na mikrobiologiczny rozkład;
- wymieszania ich z pozostałymi składnikami masy kompostowanej o odmiennych właściwościach;
- zwiększenia i wyrównania dostępności powietrza atmosferycznego do wszystkich miejsc masy kompostowanej;

Pożądane jest, aby rozdrobnienie drzewnych i zdrewniałych części roślin polegało nie tylko na cięciu, lecz także na miażdżeniu i szarpaniu, co zwiększa wydajność powierzchni mikrobiologicznej aktywności.

Optymalna zawartość wody (50–60%) w masie kompostowanej powinna być utrzymana od początku do końca procesu kompostowania. Warunkuje ona:

- napowietrzanie i wilgotność masy niezbędnej do rozwoju mikroflory tlenowej
- prawidłowy wzrost i przebieg temperatury w poszczególnych fazach kompostowania

Optymalną zawartość wody zapewnia się poprzez uzupełnianie jej niedoboru i mieszanie (uśrednianie) kompostowanej masy. Przesuszenie spowalnia biochemiczny rozkład i humifikację masy organicznej. Nadmierna zawartość wody ogranicza napowietrzanie masy, tworzy warunki beztlenowego rozkładu substancji organicznej, utrudnia przyrost temperatury do wysokości optymalnej.

Napowietrzanie masy jest niezbędne w każdej technologii kompostowania. Bioreaktory zmechanizowane mają odpowiednie systemy napowietrzania masy w pierwszej fazie jej kompostowania. W drugiej fazie (zwanej dojrzewaniem kompostu) jest prowadzone przeważnie w pryzmach, gdzie masa może być napowietrzana mechanicznie lub tylko samoczynnie. Kilkukrotne przekładanie (przerzucanie) pryzmy jest bardzo ważne dla samoczynnego napowietrzania masy kompostowanej. Napowietrza to masę bezpośrednio w toku jej przekładania oraz tworzy warunki do samoczynnej wymiany powietrza pomiędzy rozluźnioną strukturą kompostowanej masy z atmosferą.

Stosuje się różne sposoby mechanicznego napowietrzania masy oraz różne technologie przekładania masy kompostowej w pryzmach.

Dynamika temperatury w masie kompostowania jest efektem (wskaźnikiem) biochemicznych (energetycznych) przemian substancji organicznej. W warunkach korzystnego składu chemicznego i rozdrobnienia surowca oraz odpowiedniej jego wilgotności i napowietrzania masy w pryzmach, temperatura bardzo szybko osiąga 60–75°C.

W bioreaktorach zmechanizowanych (zamkniętych) dynamika wzrostu temperatury masy kompostowanej do poziomu optymalnego jest dużo większe niż w komorach otwartych i w pryzmach, gdzie pora roku i przebieg pogody mają bardzo duże znaczenie. W całym cyklu kompostowania wyróżnia się trzy fazy biotermiczne:

- Faza I – bardzo intensywnego rozkładu substancji organicznej powodującego wzrost temperatury do 60–75°C,
- Faza II – intensywnego, malejącego w czasie, rozkładu substancji organicznej, powodującego sukcesywnie spadek temperatury do 40–30°C
- Faza III – spowolnionego rozkładu substancji organicznej i sukcesywnego spadku temperatury do poziomu otoczenia.

Do zaistnienia I fazy muszą być spełnione wszystkie warunki intensywnego rozkładu biomasy. Nadmierne zawartości wody lub jej niedostatek w masie kompostowanej może stanowić barierę w osiągnięciu temperatury optymalnej (dla fazy I), co zdarza się nawet w bioreaktorach zmechanizowanych. Czas trwania I i II fazy termicznej zależą od technologii kompostowania. W bioreaktorach zmechanizowanych faza I jest kilkakrotnie dłuższa niż w pryzmach.

W pryzmach o małej masie i prowadzonych nieprawidłowo, temperatura masy kompostowanej nie osiąga poziomu właściwego dla fazy I, a nierzadko też dla fazy II. Warunkiem niezbędnym do powstawania wysokiej temperatury w kompostowanej masie jest zasobność jej w łatwo rozkładalne węglowodany. Takiego wzrostu temperatury nie można osiągnąć w procesie kompostowania osadu ściekowego bez określonej ilości masy roślinnej lub łatwo rozkładalnej substancji organicznej.

Wysoka temperatura właściwa dla I fazy kompostowania pełni dwie zasadnicze funkcje:

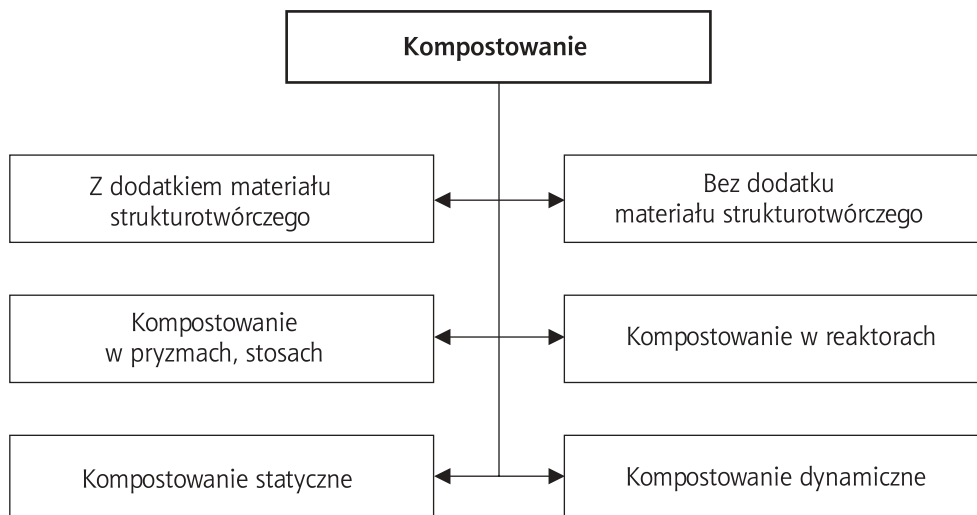
- intensyfikuje biochemiczne procesy destrukcji masy roślinnej;
- niszczy chorobotwórcze organizmy i nasiona, czyli higienizuje surowiec i kompost;

Ma więc ona zasadnicze znaczenie w higienizacji osadów z oczyszczania ścieków bytowych kompostowanych z masą roślinną.

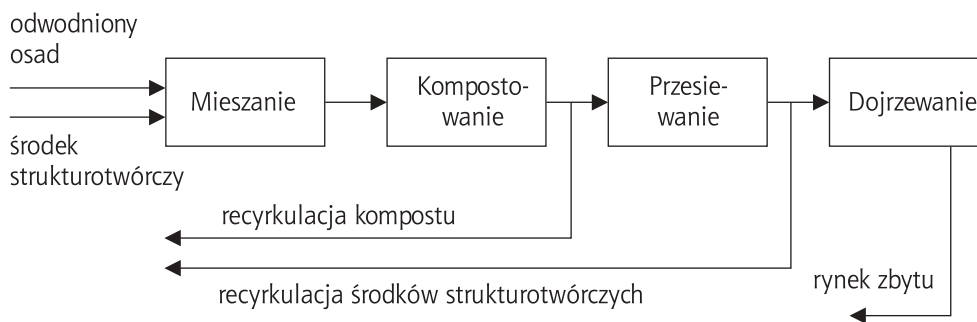
4.3. Technologie kompostowania

Wszystkie metody kompostowania mają ten sam ogólny schemat przedstawiony na rysunkach 1 i 2.

Rysunek 1.
Rodzaje metod kompostowania



Rysunek 2.
Niezbędne elementy każdej kompostowni osadu



Kompostowanie osadu wymaga wymieszania go ze środkiem strukturotwórczym np. trocinami, wiórami.

Tabela 1.

Przykłady materiałów strukturotwórczych w kompostowaniu osadów

Materiał	Stosunek C : N
Odpady komunalne	20–80
Wióry drewniane	270
Trociny	442
Słoma	80
Słoma z pszenicy	128
Świeże liście	40–80

Tabela 2.

Porównanie metod przeróbki frakcji organicznej odpadów

	Metoda tlenowa, prosta technologia	Metoda tlenowa, wyższy standard techniczny	Metoda beztlenowa
Koszty eksploatacyjne wraz z amortyzacją	Bardzo niskie 40–50 PLN/Mg	Niskie do średnich 600–100 PLN/Mg	Najczęściej wysokie 120–200 PLN/Mg
Nakłady techniczne	Niskie, ew. napowietrzana płyta	Średnie, zadaszenie, oczyszczanie powietrza wymagające wyższych nakładów	Wysokie
Nakłady eksploatacyjne	Bardzo niskie, przetrzucanie pryzm, zastosowanie ładowarki	Średnie do wysokich, załadunek kontenerów/wież/tuneli wymaga nakładu pracy	Wysokie, skomplikowana technika regulacyjna
Zapotrzebowanie miejsca	Duże, ok. 5 ha dla obiektu 20 000 Mg/rok	Duże, ok. 4 ha dla obiektu 20 000 Mg/rok	Nie duże, przy dojrzwaniu w pryzmach ok. 2 ha dla obiektu 20 000 Mg/rok
Jakość kompostu	Dobra, zależy od wsadu	Dobra, zależy od wsadu	Różna jakość kompostu
Higienizacja	Temperatura ponad 65°C, dobre efekty higienizacji	Temperatura ponad 65°C, dobre efekty higienizacji	Faza termofilna wymaga doprowadzenia energii z zewnątrz, najczęściej konieczne dojrzwanie w pryzmach
Bilans energetyczny	Produkowane ciepło nie znajduje zastosowania	Produkowane ciepło nie znajduje zastosowania	Uzysk metanu, wykorzystane w elektrociepłowniach, produkcja prądu

Rola materiału strukturotwórczego polega na tym, że:

- nadaje osadowi strukturę i pozwala na lepszy przepływ powietrza,
- jest źródłem węgla, poprawiającym stosunek C : N, który powinien wynosić 25–60:1; idealnie ok. 30:1. Za niski stosunek (poniżej 20) powoduje produkcję niestabilnego kompostu. Za wysoki stosunek (powyżej 80) hamuje proces i obniża temperaturę,
- podnosi zawartość związków rozkładających się z wydzielaniem ciepła – sprzyjają suszeniu: utrzymuje temperaturę blisko 50–60°C
- nadaje kompostowi odpowiednią charakterystykę i strukturę ułatwiającą zagospodarowanie.

Proces kompostowania może być prowadzony w sposób dynamiczny lub statyczny.

- Kompostowanie prowadzone w sposób dynamiczny przebiega w pryzmach na polu kompostowym w wyniku regularnego przrzućania materiału (w celu zapewnienia dopływu tlenu i wilgoci). Czas kompostowania trwa 6–12 tygodni w zależności od warunków klimatycznych;
- Kompostowanie prowadzone w sposób statyczny polega na pozostawieniu masy kompostowej na płycie fermentacyjnej lub w boksach roboczych, a zapewnienie właściwej ilości tlenu i wilgotności dokonuje się w sposób wymuszony. Płyta, na której spoczywa masa kompostowa, ma kanały ssące, a powietrze jest zasysane poprzez ułożoną warstwę materiału. W procesie tym rozróżnia się fermentację intensywną, która trwa 20 dni, i fermentację wtórną – 60 dni.

Metody pryzmowe i w stosie napowietrzonym

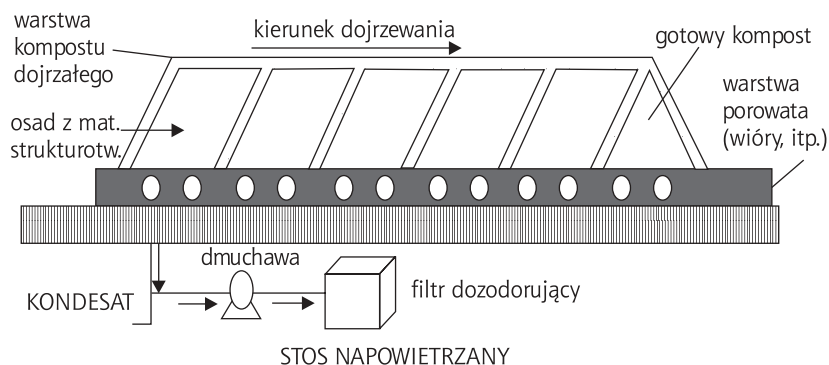
Metoda pryzmowa polega na usypaniu pryzm z osadu zmieszanego z materiałem strukturotwórczym i okresowym przewracaniu tych pryzm celem napowietrzania. Przewracanie pryzm może być wykonywane ładowarką lub specjalną maszyną na olbrzymich kołach z pomostem poruszającym się ponad pryzmą – tzw. przrzućarką kompostu. Opcjonalnie można także (lub dodatkowo) stosować napowietrzanie dmuchawą poprzez rurę perforowaną, umieszczoną w płycie podłoża, tak by nie uszkodziła jej maszyna mieszająca.

Przy wyborze metody pryzmowej należy pamiętać o jej zasadniczych cechach:

- największe zapotrzebowanie terenu ze względu na małe wysokości pryzm,
- wydzielanie niekontrolowanych zapachów,
- zależność od warunków atmosferycznych,
- trudności z utrzymaniem wymaganej temperatury,
- trudności z utrzymaniem stałej jakości kompostu.

Rysunek 3.

Kompostowanie w stosie napowietrzonym – rozwinięty



Metoda w stosie napowietrzanym jest stosowana od lat 70-tych XX wieku do osadów i odpadów komunalnych. Obecnie jest to ciągle jeszcze najczęściej stosowana metoda w USA, gdzie w 1993 r. na 201 kompostowni 93 pracowały metodą stosu napowietrzanego. Stosy o wysokości 2–2,5 m, ułożone na warstwie porowatej 0,3 m wiórów drzewnych mogą mieć kształt długich pryzm lub być w planie rozwinięte, jest to jakby złączenie szeregu pryzm w jeden duży stos. Stos rozwinięty zajmuje mniej miejsca i łatwiej utrzymuje temperaturę, niż stosy indywidualne.

Stos jest już rodzajem reaktora otwartego, w którym poprzez napowietrzanie kontroluje się:

- temperaturę,
- natlenianie,
- wilgotność kompostującej biomasy,
- suszenie ustabilizowanego kompostu.

Dmuchawy pracują z przerwami, przez co zawartość tlenu w stosie waha się od 18% do 1% O₂. Warunki beztlenowe następują po ok. 20 min od wyłączenia dmuchawy. Dostawa, a właściwie zasysanie powietrza (90–130 m³/t s.m. na godzinę) odbywa się perforowanymi rurami rozmieszczonymi, co 1,2–2,4 m.

Stos pracuje w systemie porcjowo-ciągłym. Oznacza to, że mieszanina osadu z materiałem strukturotwórczym doprowadzana jest z jednej strony, a kompost dojrzały odbierany jest z drugiej strony. Na rysunku zaznaczono kierunek przesuwania się indywidualnych porcji. W każdym momencie, w stosie znajdują się porcje osadu surowego, dojrzewającego i dojrzałego.

Zalety stosu napowietrznego:

- ekonomiczne w stosunku do innych metod,
- niski koszt w stosunku do kompostowania w reaktorze,
- przyjmuje osad z różnym materiałem strukturotwórczym i dodatkami,
- ekonomicznie uzasadnione dla obiektów od 0,5 do ponad 100 t s.m./d,
- pełne napowietrzanie stosu powoduje, że zapachy są mniejsze niż z pryzm,
- dają dobrą higienizację i stabilizację osadu,
- stos może być wykonany na zewnątrz lub w budynku, zależnie od wymogów ograniczenia zapachów.

Wady stosu napowietrzanego:

- większe zapotrzebowanie terenu niż dla systemu reaktorowego,
- zagrożenie zapachowe z obiektów źle zaprojektowanych i eksploatowanych,
- wpływ warunków klimatycznych na stosy bez zadaszenia.

Kompostowanie tlenowe w reaktorach

Trudności z kontrolą zapachów w kompostowniach otwartych oraz usprawnienia technologii mieszania powodują, że ostatnio powstają coraz częściej kompostownie w reaktorach. Kompostownie reaktorowe budowane są na czas przetrzymania 10–30 d. Historycznie (lata sześćdziesiąte XX wieku) pierwsze pojawiły się reaktory tłokowe pionowe (siloosowe), po czym wprowadzono tłokowe poziome, tzw. tunelowe. Obecnie w USA połowa wszystkich kompostowni reaktorowych pracuje z mieszaniem. W Europie pracuje ponad 100 kompostowni tunelowych, niektóre wyposażane są w urządzenia mierzące i sterujące temperaturą oraz wilgotnością.

Początkowo reaktory pracowały jako zbiorniki otwarte, przez które tłoczono było powietrze (w przeciwieństwie do stosu czy pryzmy). Obecnie z zasady przykrywa się te reaktory dla pełnej dezodoryzacji gazów odlotowych.

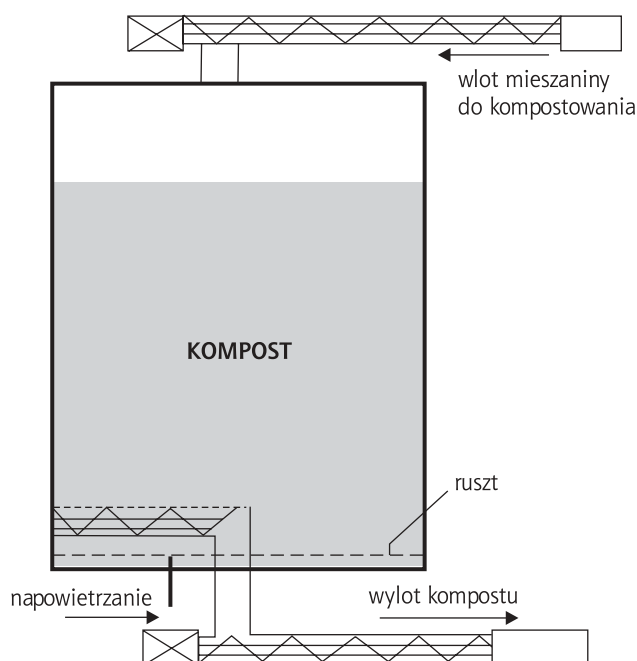
Większość operacji związanych z transportem masy kompostującej, mieszaniem czy mieleniem w kompostowniach reaktorowych jest zmechanizowanych i zautomatyzowanych. Na ogół nie odzyskuje się materiału strukturotwórczego – staje się on częścią produktu.

Kompostowanie tłokowe pionowe

Schemat jednego reaktora z kilku w układzie seryjnym przedstawiono na poniższym rysunku. Pierwszy reaktor w układzie jest często nazywany „bioreaktorem”, gdyż zachodzą tam najintensywniejsze procesy rozkładu związków organicznych w osadzie. Drugi reaktor służyć może do dojrzewania, choć zazwyczaj dojrzewanie prowadzone jest na zewnątrz w układzie pryzmowym. Ze względu na zapachy pryzmowe dojrzewanie prowadzi się często w budynkach, z wymuszoną dostawą powietrza i dezodoryzacją. W Guelph powietrze z budynku pryzm i technologiczne z reaktorów jest kierowane do napowietrzania osadu czynnego, gdzie następuje dezodoryzacja.

Rysunek 4.

Schemat reaktora tłokowo-pionowego



Kompostownie reaktorowe są stosowane, gdy niezbędna jest dobra kontrola zapachów z przeróbki osadów, oraz gdy zależy nam na stałej i wysokiej jakości sanitarnej kompostu. Z wybudowanych w USA 49 takich kompostowni większość pracuje dwustopniowo.

W pierwszym stopniu pracuje zwykle więcej reaktorów równoległych niż w drugim. Kompostownie budowane po roku 1990 posiadają często dwa bioreaktory I stopnia i jeden reaktor 2 stopnia. Największa kompostownia tłokowa w Portland na 54 t s.m./d (wybudowana w 1985 r.); na cztery reaktory w pierwszym stopniu oraz dwa drugim stopniu. Najmniejsza kompostownia tłokowa – w Musconetcong, NJ – na 2,7 t s.m./d, składa się z jednego zbiornika w każdym z dwóch stopni.

Kompostowanie tłokowe poziome

Jest to tzw. system tunelowy, gdzie z jednej strony stalowego lub betonowego tunelu o prostokątnym przekroju, wielki tłok przepycha masę kompostującą w kierunku wylotu. Są to urządzenia jednostopniowe.

Kompostowanie z mieszaniem

Kompostownie te mają kształt prostokątnego tunelu, w którym w różnych miejscach umieszczone są systemy napowietrzania i mieszania. Mogą to też być reaktory wielokomorowe. Budowane są najczęściej jako otwarte reaktory o głębokości 2–3 m, umieszczone w budynkach.

Układ prostokątny wyposażony jest w wózek, który przewraca mieszaninę kompostującą oraz usuwa gotowy kompost z reaktora. Układ okrągły ma obrotowy pomost z podwieszonymi śrubowymi mieszadłami. Dostawa powietrza jest regulowana komputerowo łącznie z kontrolą temperatury.

Kompostowanie beztlenowe w reaktorach

Beztlenowa przeróbka organicznej frakcji odpadów komunalnych (OFOK) jest przedstawiana jako technologia mokrej fermentacji, na wzór beztlenowej fermentacji osadów. Ze względu na dodawanie wody do odpadów by doprowadzić je do 3–5% s.m. nie jest to chyba technologia przyszłości. Przyjęła się natomiast i jest stosowana w Europie technologia beztlenowego kompostowania w temperaturze 55–60°C i przy zawartości suchej masy rzędu 35–40%. W Europie działa już cały szereg kompostowni beztlenowych różnych typów, m.in. dla miast Amiens we Francji i Ghent w Belgii.

Wdrożenia kompostowania beztlenowego (w skali technicznej i pilotowej) odpadów OFOK z osadem surowym w Davis USA i w Portage la Prairie Kanada dowiodły, że jest możliwość uzyskiwania wysokich efektów stabilizacji i higienizacji mieszaniny tych materiałów.

Kompostowanie z innymi odpadami

Wspólnie kompostowanie osadu z odpadami komunalnymi jest naturalnym wynikiem zapotrzebowania na materiał strukturotwórczy – którym może być organiczna frakcja odpadów komunalnych.

Doprowadzenie do realizacji kompostowni odpadów i osadów w mieście jest procesem powolnym, wymagającym dobrych *public relations* ponieważ:

- nie wiadomo jakie kryteria jakości powinien mieć kompost tak produkowany,
- jest obawa, że osady wprowadzą metale ciężkie do mieszaniny kompostującej,
- kompostowanie osadu jest droższe od przyrodniczego wykorzystania osadów,
- kompostowanie jest jeszcze mało popularnym procesem,

- zapachy z procesu spowodowały zamknięcie wielu obiektów przyzwoitych i stosów – proces ma złą prasę,
- negatywny stosunek użytkownika do produktu pochodzącego z odpadów.

Wspólne kompostowanie osadu z odpadami komunalnymi w Polsce startuje powoli. Wydaje się, że najwłaściwsze będzie produkowanie kompostu z jakościowo pewnych materiałów wyjściowych. Dla osadów oznacza to pełną kontrolę zrzutów przemysłowych do kanalizacji w mieście, co da zmniejszenie zawartości metali w osadach. Dla odpadów oznacza to preselekcje – użycie np. odpadów zielonych czy odpadów selektywnie wybieranych w drodze recyklingu. Tylko wtedy uzyska się kompost o stałej i pewnej jakości i tylko wtedy można z czystym sumieniem reklamować jego walory konsumentowi.

4.4. Porównanie metod kompostowania

Tabela 3.
Porównanie metod kompostowania

Zalety	Wady
Przmy	
• elastyczna zmiana przepustowości	• pracochłonne i produkują zapachy
• proste urządzenia	• bardzo duża powierzchnia terenu
	• kontakt operatora z kompostem
Stos napowietrzany	
• elastyczna zmiana przepustowości	• pracochłonne
• proste urządzenia	• duża powierzchnia terenu
	• kontakt operatora z kompostem
Reaktor tłokowy-pionowy	
• kontrola zapachów	• stała objętość: brak elastyczności
• brak kontaktu z osadem	• trudność z utrzymaniem natleniania
• mała powierzchnia	• stosunkowo pracochłonne
Reaktor tłokowy-poziomy	
• kontrola zapachów	• stała objętość: brak elastyczności
• brak kontaktu z osadem	• dosyć pracochłonne
• mała powierzchnia	• ograniczony wybór materiału struktur
Reaktor mieszany	
• pełne natlenianie mieszaniny	• stała objętość: brak elastyczności
• pełne wymieszanie kompostu	• większa powierzchnia terenu
• przyjmie różne materiały struktur.	• operator ma kontakt z przymami
Reaktor beztlenowy (35–40% s.m.)	
• nie musi być intensywnie mieszany	• konieczność tlenowego dojrzewania
• przyjmie każdy materiał struktur.	• mało znana technologia w Polsce
• odzysk biogazu	

Systemy pryzmowe stosowane mogą być do mniejszych instalacji, gdzie nie ma zbyt dużych wymagań co do jakości kompostu. Stos napowietrzany jest bardziej wszechstronny niż kompostowanie pryzmowe, zajmuje jednak dużo miejsca w porównaniu z kompostowaniem w reaktorach. Miasta i gminy będą w przyszłości coraz częściej wybierały kompostowanie w reaktorach ze względu na estetykę zautomatyzowanego urządzenia i możliwość pełnej hermetyzacji zapachowej. Główne zalety i wady różnych metod kompostowania osadów ściekowych porównano poniżej.

4.5.

Wykorzystanie dżdżownicy kalifornijskiej

Populacje dżdżownic wykorzystywane są na świecie już około 50 lat. Znajdują zastosowanie przy recyklingu odpadów organicznych, z których produkują wermikompost. Utylizuje się w ten sposób osady ściekowe i ścieki z oczyszczalni, odchody drobiowe, świńskie bydlęce, owcze i końskie, resztki poźniwne, odpad pieczarkowy, a także wysegregowane komunalne odpady organiczne. Inną możliwością wykorzystania wermikultury jest produkcja dużej ilości białka worów powłokowo mięśniowych dżdżownic, introdukcja ich zagęszczonych populacji do zdegradowanych gleb, czy zastosowanie dżdżownic do produkcji leków, detergentów i środków kosmetycznych.

W Polsce także prowadzi się badania nad możliwościami zastosowania hodowli dżdżownic i zainteresowanie nią rośnie. Na bazie doświadczeń laboratoryjnych zaczęto między innymi stosować wermikulturę w oczyszczalniach ścieków. Stosowanie zagęszczonych populacji dżdżownic do przyspieszonego kompostowania osadów ściekowych datuje się w Polsce od połowy lat 90-tych XX wieku, choć pierwsza udana próba ich zastosowania do utylizacji osadów została poczyniona w oczyszczalni w Pырzycach znacznie wcześniej. Otrzymywane z osadów ściekowych wermikomposty miały właściwości dobrych nawozów do zastosowania przyrodniczego, a często rolniczego.

Stosowanie dżdżownic na skalę techniczną w oczyszczalniach ścieków napotyka jednak na trudności. Obok nieuregulowanego do końca problemu przepisów i norm dla możliwości przyrodniczego zastosowania osadów ściekowych (także wermikompostów z nich produkowanych) problemy pojawiać się mogą również w samych oczyszczalniach, decydujących się na ten sposób proekologicznego działania.

W warunkach polskich zastosowanie dżdżownic do utylizacji osadów ściekowych na skalę techniczną przeprowadzono z sukcesem np. w oczyszczalniach w Kluczborku, Praszce, Wrocławiu, Gryfnie, Zambrowie i Brzesku.

Wymagania bytowe dżdżownicy *Eisenia fetida* w stosunku do wybranych parametrów środowiska są następujące:

- **TEMPERATURA.** Temperatura otoczenia decyduje o aktywności dżdżownicy kompostowej *Eisenia fetida* w podłożu. Bytuje ona zwykle w bardzo szerokim przedziale temperatury, a najwyższą aktywność wykazuje w zakresie 12–28°C. Za optymalną można uznać temperaturę 22,5°C. Przy temperaturze 5,6°C dżdżownice zatrzymują swoją zdolność do wzrostu i rozmnażania. Z kolei przy temperaturach powyżej 30°C zahamowany jest wzrost dżdżownic, a przy 35°C giną. Według innych źródeł temperatura środowiska nie powinna przekraczać 30°C, przy czym optymalny zakres temperatur waha się w granicach 10–28°C. W temperaturze poniżej 10°C dżdżownice przestają żerować, a poniżej 0°C giną.

- **WILGOTNOŚĆ.** Wilgotność należy utrzymywać na stałym poziomie, zraszając powierzchnię w sposób przypominający naturalne opady deszczu. Zalecana wilgotność wynosi 70–80%. Przy wilgotności powyżej podanego zakresu dżdżownice absorbują wodę, stają się słabsze, mniej jędrne i ospałe. Wilgotność podłoża nie powinna być niższa od 30% i nie powinna przekraczać 90%.
- **STRUKTURA I SKŁAD CHEMICZNY POKARMU.** Wymagania pokarmowe dżdżownicy *Eisenia fetida* nie zostały dotychczas w pełni określone. Przy wyborze pokarmu dla dżdżownic należy zwracać uwagę, żeby rozkładany materiał organiczny — biomasa — był jak najbardziej różnorodny. Biomasa powinna zawierać jak najwięcej celulozy i innych węglowodanów, a mniej białek. Pożywieniem dżdżownic mogą być wszelkiego rodzaju odpady organiczne, w tym również odpady komunalne, osady ściekowe, odpady z pielęgnacji zieleni, odpady z zakładów ziemniaczanych, słoma oraz przekompostowane trociny. Według niektórych autorów optymalna zawartość celulozy wynosi około 60%, a związków białkowych 10–20%. Przy zbyt wysokiej zawartości białek w pożywieniu dżdżownice ulegają zatruciu i często giną.
- **ZASOLENIE PODŁOŻA.** Zbyt wysokie negatywnie działa na rozwój dżdżownic. Przy zawartości soli rozpuszczonych powyżej 0,5% dżdżownice giną.
- **ODCZYN PODŁOŻA.** Optymalne pH podłoża dla rozwoju dżdżownic wynosi 5,0–6,0, a najlepsze efekty hodowlane osiągnąć można przy pH w granicach 6,8–7,2. Niektórzy autorzy podają szerszy zakres pH, tzn. 6,5–7,5.
- **NATLENIE.** Dżdżownice *Eisenia fetida*: wymagają dobrze natlenionego siedliska są wówczas bardziej żywotne i lepiej się rozmnażają.

Wykorzystanie dżdżownic *Eisenia fetida* w procesie kompostowania osadów ściekowych stwarza możliwości otrzymywania kompostu II generacji. Procesowi można poddać zimny dojrzały kompost otrzymany zarówno z biomasy, jak również z bioodpadów. W wyniku wtórnego przetworzenia i przesiania przez sito 3 mm można uzyskać wartościowy nawóz organiczny. Nawóz ten stosuje się bezpośrednio do nawożenia gleby lub po rozcieńczeniu wodą w odpowiednim stosunku, również jako preparat do użyźniania gleby lub preparat chroniący rośliny uprawne przed zachorowalnością na choroby, powodowane przez grzyby oraz bakterie.

4.6.

Zalety procesu kompostowania

Osady ściekowe bogate są w substancje pochodzenia biologicznego. Frakcja organiczna stanowi od 55 do 90% ich ogólnej masy. Przywrócenie tych substancji środowisku glebowemu powinno być celem gospodarczym i ekonomicznym. Kompostowanie jest procesem, podczas którego odzyskuje się materię organiczną w postaci bardzo żynnego materiału. Kompost z odpadów może być użyty do wzbogacania gleby w składniki odżywcze. Ponadto charakteryzuje się on dobrymi właściwościami fizycznymi, poprawiającymi strukturę nawożonej gleby.

Kompostowanie ma także wiele pozytywów, które ważne są dla osób prowadzących ten proces w oczyszczalniach ścieków:

- stężenie suchej masy w osadzie odprowadzanym z mechanicznego odwadniania wynoszące ok. 20–25% jest wystarczająco wysokie – redukcja ilości wprowadzanych środków wspomagających koagulację w procesie odwadniania,
- nie jest wymagane ani pożądane wtórne kondycjonowanie wapnem osadu odwodnionego,
- możliwość ciągłego to znaczy przez całą dobę i przez cały rok wprowadzania osadu ściekowego do instalacji kompostującej – nie jest wymagane magazynowanie pośrednie,
- z uwagi na to że kompostowanie jest uznane za technologię stabilizującą i odkażającą kompostowany materiał, kompost wyprodukowany może być wykorzystywany do celów rolniczych,
- kompost wyprodukowany z osadu ściekowego może być stosowany nie tylko w rolnictwie, ale również do kształtowania krajobrazu (rekułtywacja)

Kompost oddziałuje w różny sposób jako mieszanina związków biogennych:

- posiada pozytywny wpływ na żyzność gleby,
- wpływa na polepszenie struktury gleby,
- powoduje zmniejszenie zamulenia gleby,
- zapewnia ciągłe dostarczanie substancji biogennych,
- powoduje wspomaganie rozwoju życia w glebie oraz aktywności biologicznej,
- wpływa na polepszenie natlenienia gleby.

Wpływ kompostu na środowisko naturalne również jest przekonujący:

- kompostowanie przekształca odpady organiczne kierowane na składowisko odpadów w substancje produktywne w rolnictwie i ogrodnictwie,
- kompostowanie redukuje emisje gazów wywołujących efekt cieplarniany zatrzymując węgiel w glebie,
- powoduje redukcję emisji metanu i tlenków azotu,
- powoduje redukcje skażenia azotem wód gruntowych.

W krajach uprzemysłowionych kompostowanie przestaje być tylko jedną z metod unieszkodliwiania odpadów komunalnych i osadów ściekowych, a staje się przemysłową produkcją nawozów organicznych. W krajach Europy Zachodniej oraz w Stanach Zjednoczonych obserwuje się stopniowe odchodzenie od kompostowania całej masy odpadów na rzecz kompostowania jedynie frakcji biologicznej odpadów komunalnych, otrzymanej podczas selektywnej ich zbiórki. Bez wątplenia, po uwzględnieniu właściwości technologicznych odpadów komunalnych należy uznać celowość stosowania metody kompostowania.

Jest ona jedną z najlepszych metod zagospodarowania odpadów (w tym osadów ściekowych). Motywy stosowania tej metody to, między innymi:

- oszczędności związane z zachowaniem znacznych obszarów pod wysypiska,
- produkcja kompostu o wysokiej jakości.

Za niewłaściwe należy uznać uruchamianie technologii przestarzałych i prymitywnych. Winno się wdrażać technologie bazujące na kompostowaniu w komorach zamkniętych. Technologie te umożliwiają przyspieszenie procesu, możliwość jego regulowania, a także zapewniają hermetyzację, dzięki której zmniejsza się w znacznym stopniu negatywny wpływ procesu na środowisko naturalne.

W krajach rozwiniętych o wysokim stopniu świadomości ekologicznej najbardziej rozpowszechnionymi (a jednocześnie sprawdzonymi) technologiami kompostowania są systemy, takie jak: Mut-Dano oraz Mut-Herhoff, polegający na kompostowaniu jedynie frakcji biologicznej. Wdrożenie tych systemów wymaga jednak prowadzenia selektywnej zbiórki odpadów, tylko segregacja u źródła umożliwi otrzymanie kompostu o wysokiej jakości i pozbawionego związków toksycznych.

Warto zauważyć, że nawet niezupełnie czyste komposty mogą być użyteczne, np. w rekultywacji wysypisk i innych obszarów, na których nie zagrażą skażeniem żywności czy środowiska (np. terenu upraw przemysłowych).

5. Prezentacja systemu kompostowania w oczyszczalni ścieków w Sokółce

Mechaniczno biologiczna oczyszczalnia ścieków w Sokółce oczyszcza ścieki bytowo gospodarcze i przemysłowe – głównie mleczarskie. Jest ona przykładem oczyszczalni w której część biologiczna oparta jest o działanie reaktorów sekwencyjnych typu SBR. Przepustowość oczyszczalni wynosi 6000 m³/d, a ilość wytwarzanych osadów wynosi około 330 ton s.m./rok. Godny podkreślenia jest fakt, że oczyszczalnia ścieków w Sokółce należy do nielicznych tego typu obiektów położonych na terenie województwa podlaskiego, w których kompleksowo rozwiązano problem gospodarki osadowej. Na terenie oczyszczalni prowadzi się kompostowanie osadu. W skrócie proces ten opiera się na następującej technologii: odwodniony osad podawany jest taśmociągiem do zadaszonoego boksu, gdzie następuje jego mieszanie z nośnikami węgla i trocinami. Tak przygotowana mieszanka służy do usypywania pryzm kompostowych. Pryzmy zostają usypane w specjalnych halach. W trakcie usypywania do wnętrza pryzm wkładane są ruszty odciągające gazy które powstają w procesie kompostowania. Po zakończeniu pierwszej fazy kompostowania pryzmy przykrywa się folią i pozostawia na trzy tygodnie. W tym czasie zachodzą intensywne procesy fermentacji osadów z równoczesnym wzrostem temperatury w pryzmie do 60°C. Po tym okresie do ułożonych wcześniej rusztów podłączony jest wentylator w celu wytworzenia warunków tlenowych w pryzmie (napowietrzanie trwa około 14–20 dni). Wytworzony kompost jest przetrzymywany w pryzmach (do około 2,5 miesiąca), a następnie może być bezpośrednio sprzedawany lub wykorzystywany do produkcji trawników darniowych. Obecnie całość wytworzonego w oczyszczalni kompostu przeznaczona jest do produkcji trawników, co wydaje się rozwiązaniem najbardziej racjonalnym zwłaszcza z ekonomicznego punktu widzenia.

Widok kompostowni i stosu napowietrzanego przedstawiono na fotografiach 1 i 2.

Fot. 1. Widok na budynek kompostowni



Fot. 2. Stos napowietrzany



5.1. Zakres i metodyka badań biologicznych

Celem przeprowadzonych badań była rozszerzona w stosunku do obowiązujących kryteriów ocena stanu sanitarnego osadów ściekowych oraz kompostu wytwarzanego w miejskiej oczyszczalni ścieków w Sokółce.

Zakres pracy obejmował przeprowadzenie trzech serii badań, które wykonano w 2002 r. Ze względu na możliwość występowania w osadach drobnoustrojów patogenicznych każda seria obejmowała wykonanie następujących analiz mikrobiologicznych i parazytologicznych:

- ogólnej liczby bakterii psychrofilnych i mezofilnych jako wskaźników ilości substancji organicznych
- ogólnej liczby bakterii termofilnych
- bakterii sporowych jako wskaźnika stopnia mineralizacji związków organicznych zawartych w osadach lub w kompoście
- najbardziej prawdopodobnej liczby (NPL) bakterii grupy coli i NPL *Escherichia coli* jako wskaźników zanieczyszczenia fekaliami
- miana beztlenowych bakterii przetrwalnikujących z rodzaju *Clostridium* jako wskaźnika dawnego zanieczyszczenia fekaliami
- bakterii z rodzaju *Salmonella*.

Oprócz ww. badań przeprowadzono także oznaczenia ogólnej liczby grzybów oraz zgodnie z obowiązującymi kryteriami – badania helmintologiczne polegające na stwierdzeniu liczebności zapłodnionych jaj pasożytów należących do rodzajów *Ascaris*, *Trichuris* oraz *Toxocara*.

Badania mikrobiologiczne osadów i kompostu z oczyszczalni ścieków w Sokółce przeprowadzono zgodnie z metodyką zawartą w Polskich Normach. Analizy zmierzające do wyizolowania z badanych próbek bakterii z rodzaju *Salmonella* prowadzono na podłożach wybiórczo różnicujących, stosując technikę wstępnego namnażania na podłożu bulionowym z seleninem wg Leifsona. Bakterie izolowano na podłożach wybiórczo różnicujących SS i Rambacha. Do identyfikacji szczepów wykorzystano testy API 20E.

Badania helmintologiczne prowadzono stosując metodę flotacyjną oraz metodę Quinn i wsp., a także metodykę zalecaną przez EPA. Oznaczenia wybranych organizmów parazytologicznych prowadzono w próbkach osadów o masie 100 g. W badanych osadach oznaczano żywe jaja pasożytów jelitowych należących do *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, oraz *Toxocara sp* (wyznaczano tzw. wskaźnik ATT).

5.2. Wyniki badań sanitarnych osadów i kompostu

Wyniki badań mikrobiologiczno-parazytologicznych osadu i kompostu z oczyszczalni ścieków w Sokółce uzyskane w trzech seriach pomiarów zaprezentowano w tabeli 1.

Tabela 1.

Wyniki badań mikrobiologiczno parazytologicznych osadów ściekowych i kompostu z oczyszczalni w Sokółce

Oznaczenie	Osad odwodniony po prasie [na g wilgotnej masy]	Kompost z przyzmy* [na gram]	Osad odwodniony po prasie [na g wilgotnej masy]	Kompost z przyzmy* [na gram]	Osad odwodniony po prasie [na g wilgotnej masy]	Kompost z przyzmy* [na gram]
	I seria		II seria		III seria	
Ogólna liczba bakterii psychrofilnych	8,7 E+07	2,8 E+06	1,7 E+07	1,4 E+06	2,1 E+07	2,4 E+06
Ogólna liczba bakterii mezofilnych	2,6 E+06	1,1 E+06	1,6 E+07	2,1 E+07	1,9 E+06	1,2 E+06
Liczba bakterii termofilnych	8,0 E+03	3,4 E+04	3,3 E+04	3,4 E+04	1,3 E+03	8,0 E+04
Liczba bakterii sporowych	1,8 E+03	4,3 E+04	1,1 E+02	3,3 E+04	2,8 E+03	2,1 E+05
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	2,5 E+05	5,0 E+05	2,5 E+06	5,0 E+05	2,5E+07	2,5 E+06
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	2,5 E+05	2,5 E+04	5,0 E+05	2,5 E+04	5,0E+05	2,5 E+05
Ogólna liczba grzybów	1,1 E+05	2,0 x 10 ³ /g	1,6 E+04	8,0 E+03	7,0 E+03	4,3 E+04
NPL bakterii z rodzaju <i>Clostridium</i>	2,3 E+03	4,7 x 10 ⁵ /g	1,0 E+04	4,7 E+05	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Obecność jaj pasożytów należących do ATT	60/kg s.m.o.	nie stwierdzono	80/kg s.m.o.	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Sucha masa	21,2%	60,5%	24,2%	59,0%	22,3%	61,0%

* osad z przyzmy po 2,5 miesięcznym okresie kompostowania

Osad odwodniony po prasie charakteryzował się wysoką liczebnością bakterii psychrofilnych i mezofilnych, natomiast zawierał niewiele komórek wytwarzających przetrwalniki (spory). Pomimo nieobecności w badanych osadach bakterii bezwzględnie chorobotwórczych należących do rodzaju *Salmonella* zawierają one dużą liczbę pałeczek z grupy coli i *E.coli*. Zwłaszcza duża liczebność jelitowych pałeczek okrężnicy wśród których mogą być obecne szczepy *E.coli* H7 O:157 świadczy o potencjalnym zagrożeniu sanitarnym. Według przepisów obowiązujących w krajach Unii Europejskiej większość organizmów występujących w osadach ściekowych zaliczono do 2 grupy ryzyka za wyjątkiem bakterii z ga-

tunku *Salmonella typhi*, *E.coli* H7 0:157 i kilku mykobakterii, które zaliczono do 3 grupy podwyższonego ryzyka.

Na podwyższony stopień zagrożenia sanitarnego badanych osadów bezpośredni wpływ ma obecność zapłodnionych i nie zapłodnionych jaj pasożytów. W przypadku dwóch prób stwierdzono obecność zapłodnionych jaj pasożytów należących do rodzajów *Ascaris* i *Toxocara*, których liczba zawierała się średnio pomiędzy 60 a 80/kg s.m. osadu. W trzeciej próbie osadu obecne były nie zapłodnione jaja *Ascaris sp.* Zgodnie z obowiązującym w Polsce rozporządzeniem odwodniony osad z oczyszczalni w Sokółce może być wykorzystany jedynie do rekultywacji gruntów. Aby wyeliminować lub ograniczyć zagrożenie sanitarne należy bezwzględnie poddać badane osady procesowi higienizacji. Pozostałe wskaźniki mikrobiologiczne nie odbiegały od wartości uzyskiwanych w przypadku badań osadów z innych oczyszczalni ścieków województwa podlaskiego.

Wytworzone w oczyszczalni osady po wymieszaniu z trocinami podlegają procesowi kompostowania i jednocześnie higienizują się. Proces ten jest prowadzony w przyzmacach, które funkcjonuje się w specjalnych zadaszonych halach.

Badany kompost pobierany z przyzmy po 2,5-miesięcznym okresie leżakowania spełniał podstawowe kryteria zawarte w obowiązującym w naszym kraju rozporządzeniu. Zarówno w kwietniu i w grudniu 2001 r. jak również w październiku 2002 r. w badanych próbkach kompostu nie wyizolowano bakterii z rodzaju *Salmonella*, a także nie stwierdzono obecności żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.* oraz *Toxocara sp.* Otrzymane wyniki badań są zgodne z ekspertyzą wykonaną przez Zakład Żywnienia Roślin i Nawożenia w Puławach na zlecenie Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Sokółce.

Na uwagę zasługuje fakt, że w badanych osadach pobranych z przyzmy w dwóch seriach zaobserwowano zwiększenie liczebności bakterii przetrwalnikujących, a zwłaszcza bakterii z rodzaju *Clostridium*, przy jednoczesnej redukcji bakterii z grupy *coli* i *E.coli*. Liczebność bakterii z grupy *coli* i *E.coli* jest niższa niż w odwodnionych osadach ściekowych, a rośnie liczba bakterii termofilnych i sporowych. Jest to efektem prawidłowo prowadzonego procesu kompostowania, który wpływa na redukcję organizmów chorobotwórczych i warunkowo chorobotwórczych.

Badania wykazały że w oczyszczalni ścieków w Sokółce otrzymuje się dobrej jakości kompost, który po 2,5-miesięcznym okresie leżakowania spełnia kryteria dotyczące warunków sanitarnych, jakie zostały określone przy wykorzystaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe. Wykorzystane w procesie kompostowania osady higienizują się, a badane próbki kompostu nie zawierają bakterii z rodzaju *Salmonella*, a także nie stwierdzono w nich obecności żywych jaj pasożytów jelitowych należących do *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.* oraz *Toxocara sp.* Kompost ma barwę brunatną, zapach ziemi ogrodowej i odpowiednią strukturę. Ze względu na swoje właściwości fizyczno chemiczne może być wykorzystany do celów rolniczych pod uprawy, a także w gospodarce leśnej, szkółkarstwie, konserwacji nasypów tras, rekultywacji terenów. Ponadto oczyszczalnia ścieków w Sokółce proponuje wyrób w postaci gotowych trawników darniowych na podłożu kompostowym o szerokim zastosowaniu.

Pomimo nieobecności organizmów patogennych w badanych próbkach kompostu należy zachować ostrożność, gdyż zawartość tych organizmów w powstających w oczyszczalni osadach zmienia się sezonowo. Dlatego też należy prowadzić stały nadzór nad procesem oczyszczania ścieków oraz kontrolować parametry kompostowania, a zwłaszcza stanu sanitarnego wytwarzanego kompostu.

6. Prezentacja systemu kompostowania w Nadleśnictwie Rudka

Nadleśnictwo zarządza lasami będącymi własnością Skarbu Państwa o powierzchni 15 484 ha oraz nadzoruje gospodarkę leśną w lasach niepaństwowych na powierzchni 33 770 ha położonych na terenie 2 województw, 5 starostw powiatowych i 21 gmin.

W lasach rudczańskich zdecydowanie przeważają drzewostany liściaste i mieszane stanowiące aż 85,2%, w których dominuje olsza, brzoza i przede wszystkim dąb. Wspaniałe i okazałe dęby rosną na terenie całego Nadleśnictwa, jednak na szczególną uwagę zasługują: 500-letni dąb Rudosław z Podlasia, pierwowzór symbolu Nadleśnictwa, uroczy kompleks parkowo-dworkowy w Siemionach z grupą 57 prawie 400-letnich dębów tworzących zbiorowy pomnik przyrody oraz Rezerwat Przyrody Koryciny. Dzięki wspaniałej przyrodzie i ciężkiej pracy leśników lasy odznaczają się dobrą zdrowotnością, średnią zasobnością wynoszącą 241 m³/ha, a średni wiek drzewostanu ciągle wzrasta i obecnie wynosi 53 lata. Corocznie prowadzi się odnowienia i zalesienia na powierzchni 130 ha, prace pielęgnacyjne na powierzchni 1600 ha. Wieloletnia dobra praca została nagrodzona przyznaniem certyfikatu FSC, dzięki któremu odbiorcy produktów mają gwarancję, że produkt pochodzi z lasu dobrze zagospodarowanego i nie przyczyniają się do niszczenia środowiska naturalnego.

Szkółka leśna „Koryciny” znajduje się w leśnictwie o tej samej nazwie i Nadleśnictwie Rudka położonym wewnątrz malowniczego kompleksu leśnego, pomiędzy wsiami Czaje i Koryciny, w odległości ok. 600 m od drogi publicznej Brańsk – Perlejewo.

Szkółka powstała w 1974 roku. Pierwotnie, na powierzchni 25,73 ha hodowano materiał do odnowień, zalesień i zadrzewień. W wyniku ograniczenia produkcji materiału zadrzewieniowego powierzchnia szkółki została zredukowana i obecnie wynosi 14,09 ha.

Głównym celem działalności gospodarstwa szkółkarskiego jest produkcja wysokiej jakości materiału odnowieniowego i zalesieniowego na potrzeby Nadleśnictwa Rudka, jak również innych odbiorców. Ponadto, w szkółce są produkowane, w szerokim asortymencie gatunkowym i odmianowym, drzewa i krzewy ozdobne z zakrytym systemem korzeniowym – w pojemnikach oraz bezpośrednio z gruntu.

Sadzonki drzew i krzewów, w oparciu o najnowsze technologie, produkowane są na otwartej przestrzeni i w namiotach foliowych. Szkółka wyposażona jest w system nawadniający w postaci półstałej deszczowni polowej oraz nowoczesnego, sterowanego procesorem, systemu deszczowni stałych pod namiotami i automatycznej, stałej deszczowni w dziale produkcji materiału ozdobnego.

Na wyposażeniu szkółki, w celu poprawienia jakości sadzonek dębu szypułkowego, znajduje się nowoczesne urządzenie do termoterapii żółędzi. Zabieg ten ma za zadanie zniszczyć znajdujące się na powierzchni nasion zarodniki grzybów, owady itp. mogące atakować nasiona i młode rośliny. Większość prac pielęgnacyjnych w szkółce wykonywana

jest wysokiej klasy sprzętem mechanicznym. Od szeregu lat nie używa się środków chemicznych do zwalczania chwastów, oraz ogranicza stosowanie nawozów sztucznych na rzecz nawożenia organicznego.

Aby zapewnić najwyższą jakość sadzonek rośliny po wyjęciu z gruntu są natychmiast składowane w chłodni oziębianej lodem lub w specjalnie przygotowanych dołach znajdujących się w cieniu starych dębów. Ponadto, korzenie najbardziej wrażliwych sadzonek są zabezpieczane przed wysychaniem za pomocą specjalnych, do tego przeznaczonych, żeli.

Szczególą rolę w działalności gospodarstwa szkółkarskiego zajmuje produkcja materiału ozdobnego. Jej znaczenie i wielkość wzrasta systematycznie już od kilku lat, wraz ze wzrostem zapotrzebowania na takie sadzonki. Obecnie gospodarstwo produkuje ok. 60 gatunków i odmian krzewów i drzew ozdobnych, zarówno iglastych jak i liściastych.

Produkcja sadzonek nie jest jedyną atrakcją gospodarstwa szkółkarskiego. Jest ono również ciekawym obiektem turystyczno-dydaktycznym, który wraz z sąsiadującym rezerwatem przyrody stanowią elementy ścieżki dydaktycznej. Można tu zapoznać się z różnymi etapami życia lasu, od nasion poprzez siewki i sadzonki do ponad 200-tu letnich drzew.

Na terenie szkółki znajduje się osada leśna zamieszkała przez leśniczego szkółkarza, który służy pomocą przy zwiedzaniu szkółki, oraz fachową poradą przy doborze sadzonek do odnowień, zalesień i do przydomowego ogrodu.

Wiosną i jesienią w szkółce można zakupić sadzonki bardzo wielu gatunków drzew i krzewów leśnych oraz ozdobnych. Sadzonki produkowane z zakrytym systemem korzeniowym sprzedawane są również latem.

Opis sposobu kompostowania osadów ściekowych na terenie szkółki leśnej „Koryciny”

Charakterystyka jakościowa i ilościowa komponentów

Podstawowymi elementami zastosowanymi w procesie kompostowania w instalacji technicznej są trociny, słoma i zrębki, a dodatkiem osady ściekowe pochodzące z oczyszczalni ścieków mleczarskich S. M. MLEKOVITA w Wysokiem Mazowieckiem. Ilość komponentów, niezbędnych w procesie kompostowania przedstawia poniższe zestawienie.

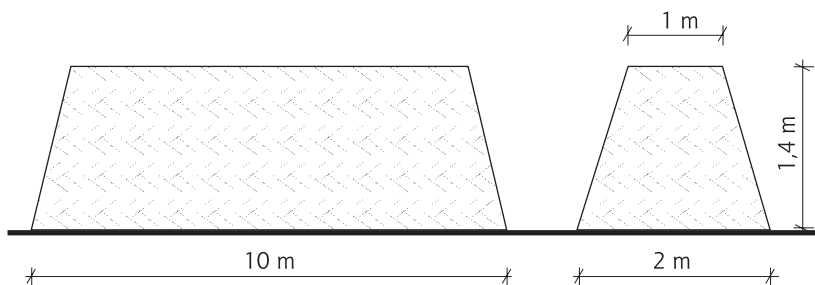
Szacunkowa ilość komponentów: 180 m³ słomy, 180 m³ trocin, 180 m³ zrębków, 100 m³ osadów ściekowych.

Charakterystyka technologii

W Nadleśnictwie Rudka wykonano sześć przyzm, trzy przyzmach w warunkach naturalnych – w lesie i trzy w warunkach sztucznych – na otwartej przestrzeni. Wysokość przyzmy około 1,4 m, szerokość dolnej podstawy około 2,0 m a górnej około 1,0 m (rysunek 1). Przyjęte wymiary warunkowane są powierzchnią dostępną do procesu kompostowania w Nadleśnictwie Rudka, a także możliwością zastosowania urządzenia do mechanicznego przerzucania przyzmy kompostowej. Każda z przyzm podzielona została na trzy jednakowe odcinki o długości około 10 m. Ze względu na ilość materiału: 0,6, 0,4, 0,2 m maksymalne osady będą stanowiły 30% objętości przyzmy. Każda z trzech przyzm jako wypełnienie zawiera inny materiał: słomę, trocinę i zrębki.

Rysunek 1.

Wymiary przyzmu w szkółce leśnej „Koryciny”



Osad ściekowy, który był poddawany kompostowaniu na terenie szkółki leśnej, sprowadzany został z oczyszczalni ścieków mleczarskich „Mlekovita” w Wysokim Mazowieckiem. Spółdzielnia Mleczarska „Mlekovita” to największy zakład mleczarski działający na terenie województwa podlaskiego, a także jeden z największych w kraju. Indywidualna oczyszczalnia ścieków, oczyszczając około 3000 m³ ścieków na dobę, generuje niemal 1100 ton suchej masy osadów, tym samym ma dodatki wpływ na środowisko wodne i glebowe regionu.

W chwili obecnej cała ilość osadów jest poddana recyklingowi do środowiska naturalnego w postaci nawozu. Do 2001 roku oczyszczalnia działała w układzie „Promlecz” z symultaniczną stabilizacją osadów w komorach natleniania. Odwadnianie osadów prowadzone jest na poletkach. Po modernizacji system jest w stanie intensywnie usuwać biogeny na drodze biologicznej, osady są stabilizowane w wydzielonych komorach, a następnie odwadniane i higienizowane. Ze względu na wysokie wymagania odnośnie jakości oczyszczanych ścieków konieczne było wprowadzenie chemicznych metod ich oczyszczania.

Proces kompostowania w szkółce leśnej „Koryciny” zachodził w warunkach:

- „Sztucznych” – kompost dojrzewał na otwartej przestrzeni (nałonecznienie).
- „Naturalnych” – kompost dojrzewał w otoczeniu drzew (w lesie).

„Warunki naturalne” to stara kompostownia we względnym ocienieniu otaczających dębów, a „warunki sztuczne” to oddalone o 50 m otwarte pole, na którym od czasu do czasu zraszano przyzmy w celu utrzymania odpowiedniej wilgotności. Różnica pomiędzy warunkami „sztucznymi” i „naturalnymi” była umowna. Doświadczenie polegało głównie na znalezieniu najlepszego surowca do kompostów szkółkarskich oraz określeniu możliwości wykorzystania osadu ściekowego – szukana jest odpowiednia proporcja dodatku (słomy, zrębków, trocin).

Fot. 1. Widok pryzm w terenie zalesionym



Fot. 2. Widok pryzm w terenie otwartym



Kompostowanie odbywało się w 18 pryzmach z czego 9 pryzm pracuje w warunkach sztucznych i 9 w warunkach naturalnych. Każda pryzma zawierała różną ilość i rodzaj komponentu (20%, 40% lub 60% objętości całej pryzmy):

- pryzma nr 1, warunki sztuczne, z dodatkiem trocin (20%),
- pryzma nr 2, warunki sztuczne, z dodatkiem trocin (40%),
- pryzma nr 3, warunki sztuczne, z dodatkiem trocin (60%),
- pryzma nr 4, warunki sztuczne, z dodatkiem słomy (20%),
- pryzma nr 5, warunki sztuczne, z dodatkiem słomy (40%),
- pryzma nr 6, warunki sztuczne, z dodatkiem słomy (60%),
- pryzma nr 7, warunki sztuczne, z dodatkiem zrębków (20%),
- pryzma nr 8, warunki sztuczne, z dodatkiem zrębków (40%),
- pryzma nr 9, warunki sztuczne, z dodatkiem zrębków (60%),
- pryzma nr 10, warunki naturalne, z dodatkiem trocin (20%),
- pryzma nr 11, warunki naturalne, z dodatkiem trocin (40%),
- pryzma nr 12, warunki naturalne, z dodatkiem trocin (60%),
- pryzma nr 13, warunki naturalne, z dodatkiem słomy (20%),
- pryzma nr 14, warunki naturalne, z dodatkiem słomy (40%),
- pryzma nr 15, warunki naturalne, z dodatkiem słomy (60%),
- pryzma nr 16, warunki naturalne, z dodatkiem zrębków (20%),
- pryzma nr 17, warunki naturalne, z dodatkiem zrębków (40%),
- pryzma nr 18, warunki naturalne, z dodatkiem zrębków (60%),

7. Zapotrzebowanie na kompost w szkółkach leśnych na przykładzie Nadleśnictwa Rudka

Nadleśnictwo Rudka jest położone między rzekami Bug i Narew. Znajduje się w południowej części RDLP Białystok. Obejmuje swoim zasięgiem ponad 240 tys. ha. Prowadzi gospodarkę leśną na powierzchni 15,5 tys. ha lasów państwowych oraz nadzoruje lasy niepaństwowe na powierzchni ok. 33,7 tys. ha położone w 21 gminach w zasięgu 5 powiatów. Składa się z 16 leśnictw, w tym 1 szkółki leśnej o nazwie Koryciny.

Szkółkarstwo leśne jest działem hodowli lasu. Tu po zbiorze i wysiewie nasion ma miejsce początek gospodarki leśnej – stąd nazwa „szkółka”. Początki funkcjonowania szkółki sięgają 1969 r. Długi okres eksploatacji wymusza potrzebę regeneracji gleby – zapobiegania zjawisku tzw. zmęczenia gleby. Objawia się ono nie tylko zubożeniem gleby w składniki mineralne, ale również pogorszeniem swoistych warunków wodnych, powietrznych i termicznych, czyli czynników kształtujących klimat glebowy. Najlepszym rozwiązaniem tego problemu jest uzupełnienie gleby w próchnicę przez nawożenie organiczne.

Powierzchnia manipulacyjna szkółki wynosi 25,08 ha a produkcyjna 14,09 ha. Jej duży areal wynika z konieczności zabezpieczenia w sadzonki nie tylko potrzeb własnych, ale i powierzchniowo przeważających lasów prywatnych. Corocznie produkcja prowadzona jest poprzez uprawę gleby, siew, pielęgnację, szkółkowanie i nawożenie, a jej efektem jest ok. 1,9 mln sadzonek iglastych, 1,7 mln liściastych oraz 130 tys. ozdobnych. W rozbiciu na podstawowe rodzaje produkcja w tys. szt. przedstawia się następująco:

- Sosna 1444
- Świerk 410
- Modrzew 103
- Dąb 1876
- Brzoza 32
- Jesion 13
- Olsza 37
- Klon 20
- Grab 7
- Lipa 3
- Inne leśne 18
- Ozdobne 130

W szkółce przyjęto 5-letni płodozmian, tzn. rok ugor zielony, rok ugor czarny i 3 lata hodowli sadzonek. Na ugorach zielonych sieje i przyoruje się zielonki dwa razy w roku, stosując mieszankę 120 kg tulinu, 60 kg peluski i 20 kg seradeli. Poza zielonka-

mi, w przybliżeniu co trzy lata zasila się glebę w substancję organiczną kompostem w dawce 3 do 5 m³/ar. Potrzeby nawożeniowe określone są przez Zakład Siedliskoznawstwa Instytutu Badawczego Leśnictwa na podstawie próbek gleby z poszczególnych kwater oraz próbek z przyzm kompostowych. Przy własnej produkcji kompostu dąży się do uzyskania stałych jego cech:

- stosunku C : N ok. 20,
- utrzymania wilgotności w granicach 40–50%
- pH poniżej 6,5.

Tabela 1.

Zaopatrzenie w komponenty do kompostu w kolejnych latach [m³]

Rok	Zakup torfu	Zakup kory	Torf własny
1996	–	–	1500
1997	–	–	–
1998	–	–	–
1999	–	100	–
2000	1734	–	–
2001	2180	–	–
2002	1000	–	–
2003	800	–	–
2004	–	–	–

Tabela 2.

Nawożenie w poszczególnych latach

Rok	Powierzchnia [ar]	Kompost [m ³]	Dawka [m ³ /ar]
1996	25	150	6
1997	34	150	4,4
1998	–	–	–
1999	–	–	–
2000	216	1290	6,0
2001	268	2154	8,0
2002	287	1460	5,1
2003	132	661	5
2004	266	940	3,5

Niskie pH wiąże się ze specyfiką produkcji leśnej, szczególnie odnośnie gatunków iglastych, dla których optymalne pH mieści się w granicach 4–5,5. Podobnie przy większości gatunków ozdobnych, gdzie kompost stanowi podstawę substratu do doniczek, nadleśnictwo stara się utrzymać kwaśny odczyn. Nawożąc rokrocznie mniej więcej 1/4 pow. szkółki (1/5 pow. w czarnym ugorze + część powierzchni zwolnionej po wyjęciu sadzonek), zużywa ok. 1500 m³ kompostu. Uzyskanie tak dużych ilości kompostu pociąga za sobą

poważne koszty, jak też trudności systematycznego uzyskiwania komponentów, szczególnie torfu, wynikające z ograniczonej bazy surowcowej. Pokłady torfu powstające przez setki lat i będące substytutem kompostu szybko się zużywają. Stąd poszukiwania alternatywnych rozwiązań, gdyż nawożenie w ujęciu ilościowym nie odpowiada potrzebom nadleśnictwa. Wspólne doświadczenie z Politechniką Białostocką kompostowania trocin, słomy, zrębków z dodatkiem osadu z oczyszczalni może rozwiązać problem zaopatrzenia w kompost.

Obecnie teren do kompostowania ma powierzchnię ocienioną 0,6 ha oraz otwartą z możliwością deszczowania 0,9 ha. Działa urządzenie Pezzolato do przerabiania pryzm oraz jest potencjalna możliwość uzyskania substancji organicznej typu trociny, słoma, zrębki będące w niektórych miejscach odpadem a nawet balastem w procesie produkcji.

Do koniecznego zakwaszania kompostu i polepszenia warunków powietrznych, szczególnie przy mieszaniu substratu do doniczek roślin ozdobnych używano kory z Zakładu Celulozowo Papierniczego Ostrołęka. W ostatnich latach kora staje się materiałem praktycznie niemożliwym do zdobycia. W bieżącym roku zużyto posiadany zapas kory do uzyskania substratu pod rośliny ozdobne. Roczne potrzeby to minimum 10 m³ kory.

*opracował Sylwester Kowalczyk
Nadleśnictwo Rudka*

8. Wyniki badań procesu kompostowania

8.1. Wyniki badań sanitarnych

Przeprowadzone badania wykazały, że żadna z badanych prób kompostu nie zawierała żywych jaj helmintów oraz bakterii z rodzaju *Salmonella*.

Liczebność pozostałych grup badanych drobnoustrojów kształtowała się na dość zróżnicowanym poziomie. Badania wykazały znaczne zmiany liczebności mikroorganizmów w miarę upływu czasu trwania procesu kompostowania.

Uzyskane wyniki badań zaprezentowano w tabelach 1–6. Liczebność bakterii psychrofilnych w próbach kompostu pobranych z kompostowni nr II położonej w lesie lub z kompostowni nr I położonej w terenie odkrytym kształtowała się w podobnych zakresach:

- kompostownia I – od $2,0 \cdot 10^6$ do $1,9 \cdot 10^9$ komórek/g wilgotnej masy próby
- kompostownia II – od $1,2 \cdot 10^6$ do $1,5 \cdot 10^9$ komórek/g wilgotnej masy próby

Ilość bakterii mezofilnych kształtowała się na nieco niższym, niż w przypadku bakterii psychrofilnych, lecz nadal bardzo wysokim poziomie. Uzyskano wyniki w zakresach:

- kompostownia I – od $5,5 \cdot 10^5$ do $8,0 \cdot 10^8$ komórek/g wilgotnej masy próby
- kompostownia II – od $3,0 \cdot 10^5$ do $3,5 \cdot 10^8$ komórek/g wilgotnej masy próby

Tak duża liczebność obu grup badanych drobnoustrojów świadczyła o znacznej ilości materii organicznej w badanym materiale, wykorzystywanym do procesu kompostowania. Najniższe wartości liczebności bakterii psychrofilnych i mezofilnych obserwowano w przypadku kompostów z wypełnieniem trocinami, natomiast najwyższe – zrębkami.

Zakres liczebności bakterii termofilnych zawierał się w przypadku kompostowni II od $4,8 \cdot 10^4$ do $3,8 \cdot 10^7$ komórek/g wilgotnej masy próby, natomiast w kompostowni I od $5,0 \cdot 10^4$ do $1,7 \cdot 10^7$ komórek/g wilgotnej masy próby. Na stosunkowo wysoką liczbę tych bakterii wpływ miały intensywne procesy termiczne zachodzące w kompoście. Najniższe wartości liczebności bakterii termofilnych zaobserwowano w kompostach z zastosowaniem trocin, a najwyższe przy wypełnieniu ze słomy. Ponadto zaobserwowano znaczne wahania w liczbie tych mikroorganizmów w czasie, co było związane również z przrzucaniem pryzmy w trakcie procesu kompostowania.

Najniższą oraz najwyższą liczebność bakterii sporowych zaobserwowano w grupie kompostów o takim samym wypełnieniu. W przypadku kompostów pochodzących z kompostowni I uzyskano wyniki w zakresie od $9,4 \cdot 10^4$ do $3,5 \cdot 10^7$ komórek/g wilgotnej masy próby. Obie wartości dotyczyły kompostu wytworzonego na bazie osadu ściekowego i trocin. Natomiast w kompostowni II graniczne wartości stwierdzono dla kompostu słoma 0,4 i wynosiły one $2,7 \cdot 10^4$ oraz $3,1 \cdot 10^7$ komórek/g wilgotnej masy próby.

Tabela 1.

Zestawienie wyników badań mikrobiologicznych kompostu z Rudki – kompostownia II

Oznaczenie	Liczebność bakterii / g wilgotnej masy osadu lub NPL w 100 cm ³ w poszczególnych seriach		
	04.08.03	23.09.03	12.12.03.
S – 1			
Bakterie psychrofilne	1.4 E+08	1.9 E+08	4.2 E+07
Bakterie mezofilne	3.6 E+07	1.1 E+08	1.3 E+06
Bakterie termofilne	3.6 E+06	9.0 E+06	7.2 E+05
Bakterie sporowe	2.3 E+06	3.5 E+06	1.3 E+06
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	3.0 E+04	4.8 E+04	1.3 E+05
Enterokoki	2.3 E+03	2.3 E+01	1.5 E+02
NPL bakterii grupy coli	6.2 E+04	2.3 E+06	2.3 E+05
NPL bakterii grupy coli typu feralnego	6.2 E+04	6.2 E+05	6.2 E+03
Grzyby i pleśnie	3.0 E+06	1.4 E+06	3.0 E+06
S – 2			
Bakterie psychrofilne	2.9 E+07	1.8 E+07	1.3 E+07
Bakterie mezofilne	8.3 E+06	3.6 E+07	8.3 E+06
Bakterie termofilne	5.6 E+06	3.2 E+06	7.0 E+05
Bakterie sporowe	2.1 E+06	2.7 E+04	3.1 E+07
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	1.2 E+05	4.4 E+03	9.0 E+03
Enterokoki	9.3 E+03	1.5 E+03	2.4 E+02
NPL bakterii grupy coli	2.3 E+07	1.3 E+04	2.3 E+04
NPL bakterii grupy coli typu feralnego	6.2 E+06	1.3 E+04	6.2 E+03
Grzyby i pleśnie	3.1 E+06	1.9 E+06	4.0 E+06
S – 3			
Bakterie psychrofilne	7.9 E+07	6.0 E+07	1.2 E+08
Bakterie mezofilne	6.1 E+07	4.9 E+07	5.0 E+06
Bakterie termofilne	9.7 E+06	1.7 E+07	5.3 E+05
Bakterie sporowe	9.3 E+06	2.9 E+05	7.0 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	3.2 E+04	7.6 E+04	1.0 E+05
Enterokoki	2.3 E+03	9.3 E+04	4.6 E+02
NPL bakterii grupy coli	1,3 E+05	6.2 E+05	6.2 E+04
NPL bakterii grupy coli typu feralnego	2.3 E+04	6.2 E+05	2.3 E+04
Grzyby i pleśnie	1.1 E+07	1.9 E+05	7.7 E+05

Tabela 2.

Zestawienie wyników badań mikrobiologicznych kompostu z Rudki – kompostownia I

Oznaczenie	Liczebność bakterii /g wilgotnej masy osadu lub NPL w 100 cm ³ w poszczególnych seriach			
	06.03	04.08.03	23.0903	12.12.03
T – 1				
Bakterie psychrofilne		1.4 E+07	1.8 E+08	9.0 E+06
Bakterie mezofilne		4.6 E+06	1.5 E+07	2.6 E+06
Bakterie termofilne		1.5 E+06	1.1 E+07	5.1 E+06
Bakterie sporowe		1.2 E+05	3.0 E+05	9.2 E+06
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>		8.0 E+02		8.0 E+02
Enterokoki		4.3 E+02	4.3 E+01	2.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>		6.2 E+01	2.3 E+03	1.3 E+04
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego		2.3 E+01	2.1 E+02	6.2 E+03
Grzyby i pleśnie		2.8 E+06	6.9 E+07	2.5 E+06
T – 2				
Bakterie psychrofilne	2.8 E+08	6.8 E+06	3.9 E+08	8.0 E+06
Bakterie mezofilne	3.7 E+07	3.3 E+06	5.5 E+07	5.4 E+05
Bakterie termofilne	1.7 E+07	4.7 E+06	1.1 E+06	5.0 E+04
Bakterie sporowe	1.1 E+07	3.3 E+05	5.0 E+04	1.7 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	1.5 E+01	6.0 E+02	1.2 E+04	7.4 E+03
Enterokoki	2.4 E+02	2.3 E+01	2.3 E+01	4.0 E+00
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	2.3 E+04	2.3 E+01	2.4 E+02	2.3 E+03
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	2.3 E+04	6.0 E+00	2.4 E+02	6.2 E+02
Grzyby i pleśnie	3.5 E+05	4.6 E+06	1.6 E+07	8.6 E+05
T – 3				
Bakterie psychrofilne		3.8 E+07	2.6 E+08	1.2 E+06
Bakterie mezofilne		1.4 E+07	1.6 E+08	3.0 E+05
Bakterie termofilne		8.9 E+05	9.6 E+06	2.8 E+05
Bakterie sporowe		5.3 E+05	2.0 E+05	5.1 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>		6.0 E+03	9.0 E+02	8.0 E+03
Enterokoki		4.3 E+00	4.3 E+02	2.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>		6.2 E+03	2.3 E+04	6.2 E+03
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego		6.2 E+03	6.2 E+03	2.3 E+03
Grzyby i pleśnie		5.4 E+06	4.9 E+07	9.0 E+05

Tabela 3.

Zestawienie wyników badań mikrobiologicznych kompostu z Rudki – kompostownia II

Oznaczenie	Liczebność bakterii w 1 g wilgotnej masy osadu lub NPL w 100 cm ³ w poszczególnych seriach badań		
	04.08.03.	23.0903	12.12.03.
Z – 1			
Bakterie psychrofilne	1.5 E+08	1.5 E+09	1.5 E+08
Bakterie mezofilne	8.7 E+07	3.5 E+08	1.4 E+08
Bakterie termofilne	1.6 E+06	3.4 E+06	5.6 E+06
Bakterie sporowe	4.0 E+05	1.5 E+06	6.7 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	4.0 E+03	6.0 E+04	3.8 E+03
Enterokoki	4.3 E+04	2.3 E+04	2.3 E+02
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	2.3 E+07	6.2 E+06	2.3 E+06
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	6.2 E+06	2.3 E+06	1.3 E+05
Grzyby i pleśnie	3.1 E+07	3.5 E+07	8.2 E+07
Z – 2			
Bakterie psychrofilne	2.6 E+07	1.4 E+09	8.8 E+06
Bakterie mezofilne	1.7 E+07	3.2 E+08	1.5 E+06
Bakterie termofilne	1.0 E+05	1.1 E+07	1.2 E+06
Bakterie sporowe	1.6 E+05	1.4 E+06	2.6 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	5.0 E+02	3.1 E+05	2.0 E+03
Enterokoki	2.3 E+04	7.5 E+04	4.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	2.3 E+08	2.3 E+07	2.3 E+04
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	2.3 E+07	6.2 E+06	6.2 E+03
Grzyby i pleśnie	1.1 E+07	5.9 E+07	1.2 E+06
Z – 3			
Bakterie psychrofilne	1.9 E+07	7.9 E+08	7.1 E+06
Bakterie mezofilne	4.7 E+06	1.9 E+08	2.4 E+06
Bakterie termofilne	3.9 E+05	1.4 E+07	2.5 E+06
Bakterie sporowe	2.4 E+07	1.0 E+06	2.6 E+06
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	8.0 E+04	1.6 E+04	1.1 E+03
Enterokoki	4.3 E+02	9.3 E+03	9.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	6.2 E+06	2.3 E+06	6.2 E+04
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	1.3 E+05	2.3 E+05	6.2 E+04
Grzyby i pleśnie	1.4 E+07	3.9 E+07	2.4 E+06

Tabela 4.

Zestawienie wyników badań mikrobiologicznych kompostu z Rudki – kompostownia I

Oznaczenie	Liczebność bakterii /g wilgotnej masy osadu lub NPL w 100 cm ³ w poszczególnych seriach				
	06.03.	07.07.03.	13.08.03	14.11.03.	16.01.04.
S – 1					
Bakterie psychrofilne	5.1 E+07	6.5 E+08	1.5 E+08	5.6 E+07	3.4 E+07
Bakterie mezofilne	1.9 E+07	3.5 E+08	4.8 E+07	9.8 E+06	6.4 E+06
Bakterie termofilne	5.2 E+06	2.6 E+06	7.8 E+06	3.4 E+06	2.3 E+06
Bakterie sporowe	2.4 E+05	1.2 E+06	8.4 E+06	7.6 E+06	1.5 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	4.3 E+02	< 3.0 E+00	6.0 E+02	3.0 E+03	1.0 E+04
Enterokoki	2.3 E+02	4.3 E+03	2.3 E+01	4.3 E+01	4.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	2.3 E+05	2.3 E+05	6.2 E+04	2.3 E+05	6.2 E+04
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	6.2 E+04	2.3 E+05	2.3 E+04	2.1 E+05	1.3 E+05
Grzyby i pleśnie	2.7 E+06	9.6 E+07	2.2 E+07	4.9 E+07	3.4 E+05
S – 2					
Bakterie psychrofilne	2.3 E+08	8.5 E+08	5.9 E+07	7.8 E+07	6.5 E+07
Bakterie mezofilne	5.9 E+07	2.4 E+08	5.5 E+06	3.1 E+07	7.5 E+06
Bakterie termofilne	1.1 E+07	3.8 E+07	2.1 E+06	7.2 E+06	2.2 E+06
Bakterie sporowe	2.8 E+06	3.3 E+06	4.1 E+06	4.7 E+06	4.3 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	2.3 E+01	< 3.0 E+00	4.6 E+03	2.6 E+04	1.8 E+04
Enterokoki	9.3 E+02	1.5 E+03	4.0 E+00	4.3 E+01	9.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	2.3 E+04	2.3 E+04	2.3 E+04	2.3 E+04	2.3 E+05
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	2.3 E+04	6.2 E+03	6.2 E+03	2.3 E+04	2.3 E+04
Grzyby i pleśnie	1.0 E+06	2.7 E+07	4.8 E+06	7.3 E+07	5.7 E+05
S – 3					
Bakterie psychrofilne	7.0 E+07	7.0 E+07	1.2 E+08	6.6 E+07	1.6 E+07
Bakterie mezofilne	5.9 E+07	1.1 E+08	5.2 E+07	2.6 E+07	8.6E+06
Bakterie termofilne	2.5 E+07	3.0 E+07	4.8 E+06	2.8 E+06	1.5 E+06
Bakterie sporowe	6.2 E+06	1.9 E+07	2.9 E+06	1.0 E+07	6.9 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	1.5 E+02	2.4 E+02	6.1 E+03	9.0 E+03	6.0 E+03
Enterokoki	2.3 E+04	2.4 E+02	9.3 E+01	9.3 E+01	9.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	2.3 E+04	6.2 E+04	6.2 E+05	6.2 E+04	6.2 E+04
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	2.3 E+04	2.3 E+04	6.2 E+04	6.2 E+04	6.2 E+04
Grzyby i pleśnie	1.1 E+06	1.1 E+07	9.5 E+06	1.1 E+08	1.3 E+06

Tabela 5.

Zestawienie wyników badań mikrobiologicznych kompostu z Rudki – kompostownia II

Oznaczenie	Liczebność bakterii /g wilgotnej masy osadu lub NPL w 100 cm ³ w poszczególnych seriach				
	06.03.	07.07.03.	13.08.03	14.11.03.	16.01.04.
T – 1					
Bakterie psychrofilne	7.9 E+08	5.9 E+07	6.6 E+07	2.0 E+06	4.6 E+06
Bakterie mezofilne	1.4 E+08	3.8 E+07	6.6 E+07	3.0 E+06	2.4 E+06
Bakterie termofilne	3.7 E+05	3.8 E+06	1.5 E+06	6.4 E+05	6.0 E+05
Bakterie sporowe	2.2 E+05	1.2 E+07	3.3 E+05	4.6 E+05	1.4 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	< 3.0 E+00	< 3.0 E+00	< 3 E+00	2.0 E+03	1.0 E+02
Enterokoki	4.3 E+01	1.5 E+02	< 3.0 E+00	2.3 E+01	9.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	6.2 E+05	2.3 E+05	6.2 E+04	6.2 E+03	6.2 E+02
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	2.3 E+04	2.3 E+04	6.2 E+01	2.3 E+03	6.2 E+02
Grzyby i pleśnie	2.3 E+04	7.4 E+07	8.1 E+06	6.8 E+07	1.9 E+07
T – 2					
Bakterie psychrofilne	9.8 E+08	8.6 E+07	4.1 E+06	1.2 E+07	2.2 E+07
Bakterie mezofilne	6.8 E+08	5.5 E+05	8.4 E+05	1.4 E+06	7.7 E+06
Bakterie termofilne	4.3 E+06	5.9 E+05	7.2 E+05	6.9 E+04	2.9E+06
Bakterie sporowe	4.4 E+05	3.2 E+07	2.3 E+05	9.4 E+04	6.1 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	< 3.0 E+00	< 3.0 E+00	2.0 E+01	< 3.0 E+00	1.2 E+04
Enterokoki	2.3 E+01	2.4 E+02	< 3.0 E+00	< 3.0 E+00	7.5 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	2.3 E+04	2.3 E+06	2.3 E+03	2.3 E+03	6.2 E+04
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	2.3 E+04	6.2 E+05	6.2 E+02	2.3 E+02	6.2 E+03
Grzyby i pleśnie	3.3 E+05	6.7 E+06	3.1 E+06	1.3 E+08	1.3 E+07
T – 3					
Bakterie psychrofilne	8.5 E+08	2.9 E+07	1.8 E+07	2.2 E+07	4.3 E+07
Bakterie mezofilne	7.8 E+07	1.5 E+07	4.6 E+06	5.3 E+06	2.0 E+06
Bakterie termofilne	1.1 E+05	2.4 E+07	4.8 E+04	2.4 E+06	1.4 E+06
Bakterie sporowe	1.0 E+07	3.5 E+07	5.1 E+05	1.9 E+06	6.7 E+05
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>	4.3 E+02	2.4 E+02	5.0 E+01	< 3.0 E+00	1.0E+02
Enterokoki	2.3 E+02	2.4 E+02	< 3.0 E+00	< 3.0 E+00	2.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	6.2 E+05	2.3 E+07	6.2 E+02	6.2 E+03	2.3 E+04
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	6.2 E+05	2.3 E+05	2.3 E+02	2.3 E+03	6.2 E+02
Grzyby i pleśnie	6.1 E+04	3.7 E+06	2.0 E+06	2.5 E+07	8.1 E+06

Tabela 6.

Zestawienie wyników badań mikrobiologicznych kompostu z Rudki – kompostownia I

Oznaczenie	Liczebność bakterii /g wilgotnej masy osadu lub NPL w 100 cm ³ w poszczególnych seriach				
	06.03.	07.07.03.	13.08.03	14.11.03.	16.01.04.
Z – 1					
Bakterie psychrofilne	1.5 E+09	1.9 E+09	4.7 E+08	8.3 E+08	7.7 E+07
Bakterie mezofilne	8.0 E+08	1.8 E+08	4.7 E+08	1.4 E+08	1.0 E+06
Bakterie termofilne	1.4 E+06	3.8 E+07	5.0 E+05	6.2 E+06	5.4 E+06
Bakterie sporowe	1.2 E+07	1.3 E+07	6.4 E+06	3.1 E+06	1.1 E+06
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>		< 3.0 E+00	1.0 E+01	< 3.0 E+00	1.2 E+03
Enterokoki	2.3 E+01	4.3 E+02	< 3.0 E+00	4.3 E+01	1.1 E+03
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	2.3 E+07	2.3 E+06	2.3 E+06	2.3 E+06	6.2 E+04
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	2.3 E+06	6.2 E+05	6.2 E+05	2.3 E+05	2.3 E+04
Grzyby i pleśnie	4.9 E+07	8.3 E+07	2.5 E+08	3.5 E+08	1.7 E+07
Z – 2					
Bakterie psychrofilne	1.7 E+09	2.1 E+08	9.7 E+07	8.8 E+07	2.8 E+07
Bakterie mezofilne	2.8 E+08	1.5 E+08	1.1 E+08	9.6 E+06	1.5 E+07
Bakterie termofilne	5.2 E+04	1.1 E+06	7.0 E+04	1.7 E+06	1.7 E+06
Bakterie sporowe	1.9 E+06	3.3 E+06	3.0 E+05	5.6 E+05	1.2 E+06
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>		< 3.0 E+00	1.0 E+01	< 3.0 E+00	7.0 E+02
Enterokoki	2.3 E+02	2.3 E+04	4.0 E+00	2.3 E+01	4.3 E+01
NPL bakterii grupy <i>coli</i>	6.2 E+05	6.2 E+06	6.2 E+05	6.2 E+05	6.2 E+04
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego	2.3 E+04	2.3 E+05	2.3 E+05	2.3 E+04	2.3 E+03
Grzyby i pleśnie	6.5 E+05	7.2 E+07	6.4 E+07	2.0 E+08	1.3 E+07
Z – 3					
Bakterie psychrofilne		1.8 E+09	3.9 E+08	8.7 E+08	6.7 E+07
Bakterie mezofilne		1.7 E+08	3.7 E+08	4.8 E+07	5.2 E+07
Bakterie termofilne		3.2 E+06	9.3 E+05	5.0 E+06	1.0 E+06
Bakterie sporowe		2.9 E+06	1.4 E+06	2.2 E+06	2.2 E+06
Bakterie z rodz. <i>Clostridium</i>		< 3.0 E+00	< 3.0 E+00	< 3.0 E+00	6.0 E+03
Enterokoki		4.6 E+02	< 3.0 E+00	2.3 E+01	1.5 E+02
NPL bakterii grupy <i>coli</i>		6.2 E+06	1.3 E+06	6.2 E+04	2.3 E+03
NPL bakterii grupy <i>coli</i> typu fekalnego		2.3 E+05	1.3 E+05	6.2 E+04	6.2 E+03
Grzyby i pleśnie		3.2 E+07	1.2 E+08	3.4 E+08	1.9 E+07

Legenda

Kompostowania I – zlokalizowana na terenie otwartym

Kompostowania II – zlokalizowana na terenie zadrzewionym

S – 1 – udział osadu ściekowego w pryzmie w ilości około 20% objętości, reszta wypełnienia to słoma

S – 2 – udział osadu ściekowego w pryzmie w ilości około 40% objętości, reszta wypełnienia to słoma

S – 3 – udział osadu ściekowego w pryzmie w ilości około 60% objętości, reszta wypełnienia to słoma

T – 1 – udział osadu ściekowego w pryzmie w ilości około 20% objętości, reszta wypełnienia to trociny

T – 2 – udział osadu ściekowego w pryzmie w ilości około 40% objętości, reszta wypełnienia to trociny

T – 3 – udział osadu ściekowego w pryzmie w ilości około 60% objętości, reszta wypełnienia to trociny

Z – 1 – udział osadu ściekowego w pryzmie w ilości około 20% objętości, reszta wypełnienia to zrębki

Z – 2 – udział osadu ściekowego w pryzmie w ilości około 40% objętości, reszta wypełnienia to zrębki

Z – 3 – udział osadu ściekowego w pryzmie w ilości około 60% objętości, reszta wypełnienia to zrębki

Badania ogólnej liczebności grzybów oraz pleśni wykazały, iż większą ich liczebność stwierdzono w pryzmach usypanych w odkrytym terenie w kompostowni I. W tych warunków zakres liczby grzybów i pleśni w pryzmach zmieniał się w szerszych granicach od $2,3 \cdot 10^4$ do $3,5 \cdot 10^8$ komórek/g wilgotnej masy próby. Wpływ na to miały warunki meteorologiczne, a zwłaszcza nasłonecznienie, które powodowało parowanie wody z pryzmy. W kompostowni II uzyskano mniejszą rozpiętość wyników od $1,9 \cdot 10^5$ do $8,2 \cdot 10^7$ komórek/g wilgotnej masy próby.

Po półrocznym okresie kompostowania w kompostowni I najniższą liczbę grzybów oraz pleśni zaobserwowano badając próby kompostów powstałe z osadu i słomy. W przypadku wypełnień trocinami oraz zrębkami liczebność tych mikroorganizmów kształtowała się na podobnym poziomie, lecz wyższym niż w przypadku słomy.

W kompostowni II w początkowym okresie badań najniższą wartością liczebności grzybów i pleśni charakteryzowały się komposty z trocinami. W miarę upływu czasu kompostowania zaobserwowano również wyraźne zmniejszenie liczby tych mikroorganizmów w produktach ze słomą. Najwięcej grzybów oraz pleśni zawierały komposty, w których jako materiał strukturotwórczy zastosowano zrębki.

Wskaźniki sanitarne wykorzystane w badaniach obejmowały oznaczenie bakterii grupy *coli* oraz pałeczek *E.coli*, a także enterokoków i bakterii z rodzaju *Clostridium*.

Badania wykazały, iż najbardziej prawdopodobna liczba bakterii grupy *coli* mieściła się w bardzo rozległych granicach i wynosiła odpowiednio:

- kompostownia I od $6,2 \cdot 10^2$ do $2,3 \cdot 10^7$ komórek/g wilgotnej masy próby
- kompostownia II od $2,3 \cdot 10^1$ do $2,3 \cdot 10^8$ komórek/g wilgotnej masy próby

W okresie badań najbardziej prawdopodobna liczba bakterii grupy *coli* typu fekalnego kształtowała się w zakresach:

- kompostownia I od $6,2 \cdot 10^1$ do $2,3 \cdot 10^6$ komórek/g wilgotnej masy próby
- kompostownia II od $6,0 \cdot 10^0$ do $6,2 \cdot 10^6$ komórek/g wilgotnej masy próby

Wyniki badań liczebności bakterii grupy *coli* w próbkach kompostów pochodzących z kompostowni I kształtowały się na podobnym poziomie dla wszystkich zastosowanych rodzajów materiałów strukturotwórczych. Najmniejszą liczebność pałeczek *E.coli* odnotowano w próbach kompostów wytworzonych ze zmieszania osadów z trocinami.

W kompostach pochodzących z kompostowni II stwierdzono największą liczbę bakterii grupy *coli* oraz pałeczek *E.coli* w przypadku badania kompostów powstałych na bazie osadu i zrębek, a najmniejszą – w kompoście z trocinami. Warto nadmienić, że w niektórych krajach oznaczanie pałeczek *E.coli* jest podstawowym, lub równoważnym do bakterii z rodzaju *Salmonella* wskaźnikiem stanu sanitarnego osadów i kompostu. W Stanach Zjednoczonych problematyką zagrożeń wynikających z przyrodniczego wykorzystania osadów zajmuje się EPA która w 1997 r. wydała wymogi i zasady przyrodniczego (w tym rolniczego) użytkowania osadów. Przepisy amerykańskie oprócz określenia maksymalnych dopuszczalnych ładunków metali ciężkich szczególną uwagę zwróciły na aspekt sanitarny wykorzystywanych osadów. Według w/w kryteriów w osadach limituje się takie wskaźniki jak miano *coli* typu fekalnego lub liczebność bakterii z rodzaju *Salmonella*, enterowirusy oraz jaja helmintów.

W przypadku wyników uzyskanych w trakcie trwania eksperymentu zarówno w próbkach pobranych z kompostowni II jak i z kompostowni I nastąpiła znacząca redukcja fekalnych pałeczek z grupy *coli* (tabela 7). Jedynie w przypadku słomy wykorzystanej jako materiał strukturotwórczy w pryzmach położonych w kompostowni I oraz trocin przy 20% ich udziale w pryzmie położonej w kompostowni II nastąpił ponowny wzrost liczby tych pałeczek. Takie zjawisko jest obserwowane dość często w osadach ściekowych, niektórzy autorzy twierdzą nawet, że kompost modyfikowany przez różne składniki przyczynia się do wzrostu liczby bakterii i grzybów w odniesieniu do kompostu nie modyfikowanego. Zjawisko to jest ściśle związane z poziomem składników odżywczych zawartych w kompoście.

Tabela 7.

Redukcja liczby pałeczek *E.coli* w trakcie trwania procesu kompostowania

Wypełnienie	Redukcja fekalnych pałeczek z grupy <i>coli</i> wyrażona w [%]	
	Kompostownia I	Kompostownia II
Słoma S – 1	ponowny wzrost	90
Słoma S – 2	ponowny wzrost	99,9
Słoma S – 3	ponowny wzrost	b.z
Trociny T – 1	98	ponowny wzrost
Trociny T – 2	86	97
Trociny T – 3	99	63
Zrębki Z – 1	99	98
Zrębki Z – 2	90	100
Zrębki Z – 3	97	53

Liczebność enterokoków w próbach kompostu z kompostowni I niejednokrotnie była niższa niż 3,0 komórki/g wilgotnej masy próby. Dotyczy to głównie badań mieszanek osadów z trocinami oraz zrębkami, wykonanych w sierpniu 2003r, a więc bezpośrednio po intensywnych procesach termicznych zachodzących w pryzmach. W całym okresie badań

kompostu z kompostowni I liczba enterokoków nie przekroczyła wartości $2,3 \cdot 10^4$ komórek/g wilgotnej masy próby. W kompoście z kompostowni I liczebność tych bakterii zawierała się w granicach od 4,0 komórek do $9,3 \cdot 10^4$ komórek/g wilgotnej masy próby. Najmniejszą liczebnością tych bakterii charakteryzowały się komposty z wypełnieniem trocinami, natomiast najwyższą w początkowym okresie badań stwierdzono w kompostach z dodatkiem zrębek, a w późniejszym okresie – ze słomą.

Dolna granica liczebności bakterii z rodzaju *Clostridium* w badanym kompoście pochodzącym z kompostowni I, podobnie jak w przypadku enterokoków jest niższa niż 3,0 komórki/g wilgotnej masy próby. Podobne wyniki uzyskano w większości prób badanych w lipcu oraz listopadzie 2003 roku. Największą liczbę bakterii należących do tego rodzaju stwierdzono w próbach kompostu z 40% udziałem słomy i wynosiła ona $2,6 \cdot 10^4$ komórek/g wilgotnej masy próby. Rozpiętość wyników w przypadku badania kompostów z kompostowni II była nieznacznie większa i mieściła się w zakresie od $5,0 \cdot 10^2$ do $3,1 \cdot 10^5$ komórek/g wilgotnej masy próby. Obie graniczne wartości uzyskano w przypadku badania kompostu z 40% zawartością zrębek.

8.2.

Temperatura jako czynnik wpływający na przebieg procesu kompostowania

Jednym z podstawowych parametrów mających wpływ na proces kompostowania jest temperatura. Stwierdzenie to dotyczy zarówno temperatury otoczenia jak również temperatury samego procesu kompostowania. W tabeli 8 przedstawiono wyniki pomiarów wybranych parametrów meteorologicznych w tym temperatury otoczenia, które mierzone były w pierwszym okresie po usypaniu pryzm. W okresie od 30 maja do 29 lipca 2003 r. zaobserwowano niewielką ilość opadów oraz dość wysoką maksymalną temperaturę dobową. Niewielka ilość opadów miała bezpośredni wpływ na przebieg procesu kompostowania. W terenie odkrytym dodatkowo zraszano pryzmy, aby zapobiec nadmiernej utracie wilgoci.

Bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na redukcję organizmów patogennych jest utrzymanie wysokiej temperatury w pryzmie. EPA zaleca w dyrektywie 503, aby w przypadku kompostowania osadów w pryzmach napowietrzanych utrzymana była temperatura 55°C lub wyższa przez trzy kolejne dni. W przypadku kompostowania w pryzmie bez napowietrzania wymagana temperatura powinna utrzymać się przez kolejne 15 dni, przy czym pryzma musi być co najmniej 5-krotnie przerzucona. Europejska Komisja ds. Środowiska zaleca w przypadku każdej porcji osadu wymieszanej z materiałem spęczniającym wykorzystanym w procesie kompostowania utrzymanie temperatury 55°C przez przynajmniej 4 godziny pomiędzy trzema kolejnymi przerzuceniami pryzmy. Dla prawidłowego przebiegu procesu kompostowania niezbędnym elementem jest kontrolowanie temperatury. Powinna ona być mierzona zarówno wewnątrz pryzmy jak i na jej obrzeżach zwykle w tej samej porze dnia. Ze względu na to, że cała masa pryzmy musi uzyskać wymaganą temperaturę w określonym czasie należy kontrolować ją wykonując profile termiczne pryzmy. Punkty do głębokości 0,3 m od powierzchni napowietrzanej pryzmy nie są zdolne do wytworzenia wysokiej temperatury jaka panuje w rdzeniu pryzmy. Dlatego tak ważnym elementem jest, aby warstwa zewnętrzna pryzmy była często mieszana z pozostałym kom-

postem, a także utrzymany był odpowiedni reżim czasowo-temperaturowy, który niezbędny jest do higienizacji kompostu.

Rysunek 1.

Schemat przekroju pryzmy kompostowej

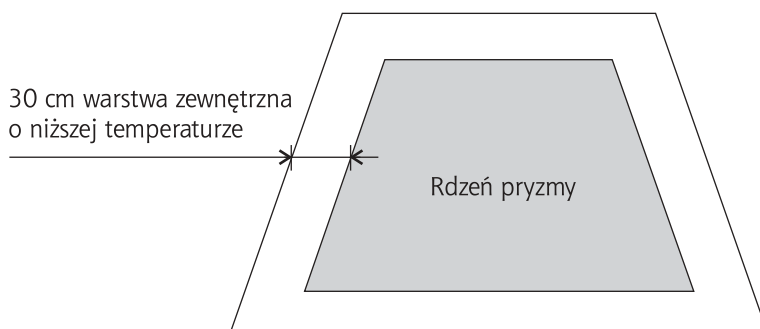


Tabela 8.

Wyniki pomiarów wybranych parametrów meteorologicznych w okresie prowadzenia eksperymentu

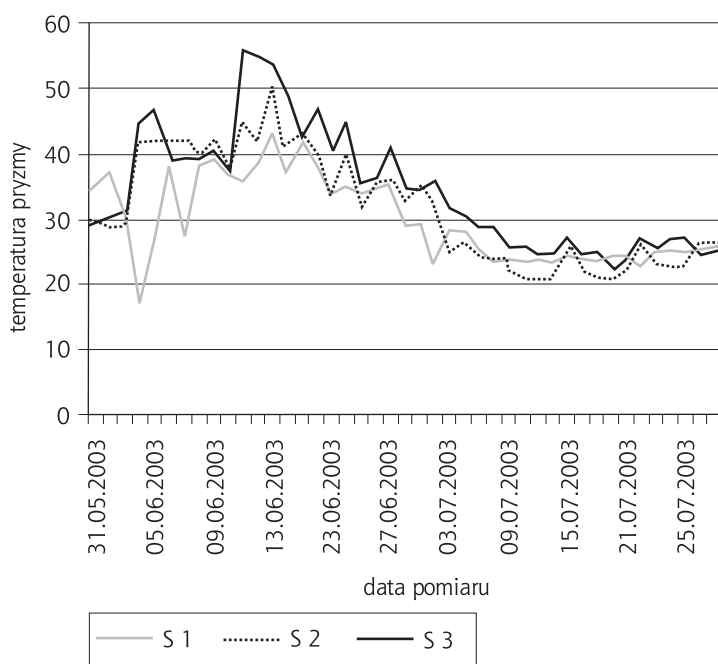
Data pomiaru	Temperatura otoczenia [°C]		Opad [mm]	Data pomiaru	Temperatura otoczenia [°C]		Opad [mm]
	min	max			min	max	
30.05.2003	7	28	0,0	30.06.2003	12	27	0,0
31.05.2003	5	28	0,0	01.07.2003	12	21	5,2
02.06.2003	5	30	0,0	02.07.2003	17	28	11,7
03.06.2003	7	25	0,0	03.07.2003	17	23	0,3
04.06.2003	7	26	0,8	04.07.2003	16	28	0,3
05.06.2003	8	29	0,0	07.07.2003	13	22	7,2
06.06.2003	15	33	0,0	08.07.2003	14	21	0,3
07.06.2003	9	31	2,7	09.07.2003	11	23	0,0
08.06.2003	11	31	0,0	10.07.2003	13	27	0,0
09.06.2003	10	34	0,0	11.07.2003	11	24	0,0
10.06.2003	11	30	0,0	14.07.2003	15	25	0,0
11.06.2003	10	30	0,0	15.07.2003	13	28	0,0
12.06.2003	13	30	9,1	16.07.2003	15	28	0,0
13.06.2003	13	27	1,1	17.07.2003	15	35	0,0
16.06.2003	8	26	7,0	18.07.2003	18	32	0,0
17.06.2003	8	19	2,1	21.07.2003	15	32	0,5
18.06.2003	10	22	0,0	22.07.2003	15	32	0,0
23.06.2003	13	26	18,8	23.07.2003	18	33	5,2
24.06.2003	14	25	7,0	24.07.2003	15	31	0,0
25.06.2003	13	22	0,0	25.07.2003	14	33	0,0
26.06.2003	12	20	4,9	28.07.2003	16	32	0,0
27.06.2003	11	23	0,0	29.07.2003	18	36	0,0

Kompost charakteryzuje się samoczynną regulacją temperatury. W pryzmie kompostowej ważnym czynnikiem biotycznym są bakterie termofilne. Przyjmuje się, że temperatura 55°C jest granicą powyżej której bakterie termofilne tworzą spory. Podwyższona liczebność bakterii przetrwalnikujących wpływa na obniżenie temperatury wewnątrz pryzmy. Praktycznie przy obniżeniu tej temperatury należy pryzmę przerzucić. Nastąpi wtedy ponownie szybki wzrost temperatury, gdyż regeneracja mikroflory termofilnej następuje bardzo szybko.

W przypadku prowadzonego eksperymentu pomiary temperatury prowadzono w rdzeniu pryzmy. Wyniki tych pomiarów dotyczą wszystkich wariantów pryzm usypanych w kompostowni II położonej w lesie jak i kompostowni I położonej w terenie odkrytym. Wyniki tych pomiarów zaprezentowano w tabelach 9 i 10 oraz na rysunkach 2–4. Zdecydowanie wyższe temperatury zaobserwowano w pryzmach usypanych w kompostowni II. Najwyższą temperaturę bliską procesowi pasteryzacji wynoszącą 69°C stwierdzono w pryzmie zawierającej 40% zrębek jako wypełnienie, a jedynie o stopień niższą przy 60% udziale zrębek. Zrębki są dobrym materiałem sprzyjającym powstawaniu wysokich temperatur w kompoście wytwarzanym na bazie osadów ściekowych. Podobne temperatury uzyskano w przypadku zastosowania trocin jako materiału wypełniającego. Słoma jest materiałem, który w połączeniu z osadem generował najniższą temperaturę. Jedynie w przypadku 60% udziału słomy jako materiału strukturotwórczego po prawie dwóch tygodniach kompostowania uzyskano w pryzmie temperaturę 55°C, która w dalszym etapie kompostowania obniżała się.

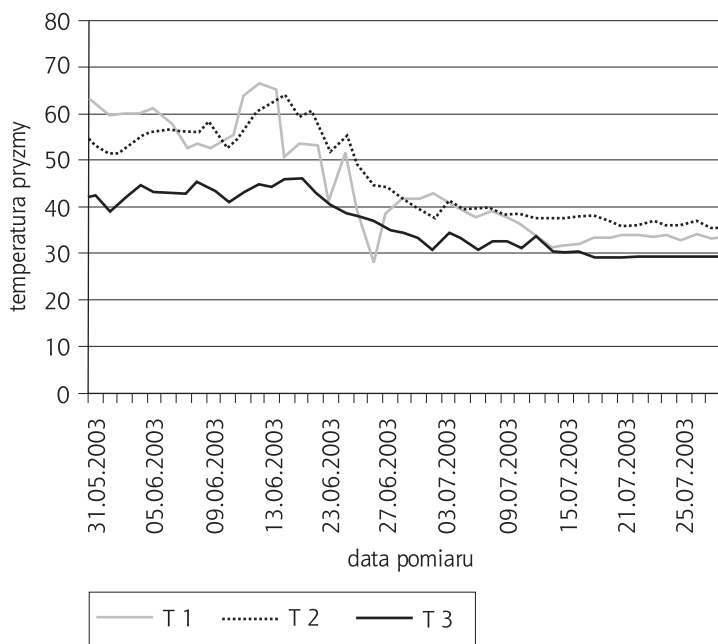
Rysunek 2.

Zmiany temperatury w pryzmach ze słomą w kompostowni II



Rysunek 3.

Zmiany temperatury w pryzmach z trocinami w kompostowni II



Rysunek 4.

Zmiany temperatury w pryzmach ze zrębkami w kompostowni II

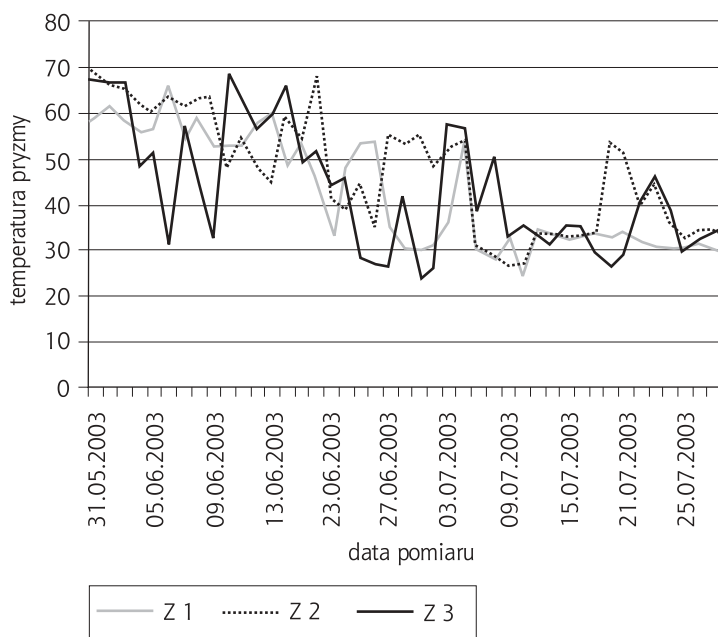


Tabela 9.

Wyniki pomiarów temperatury wewnątrz pryzm zlokalizowanych na terenie kompostowni II

Data pomiaru	Temperatura pryzmy								
	S - 1	S - 2	S - 3	T - 1	T - 2	T - 3	Z - 1	Z - 2	Z - 3
31.05.2003	35	30	30	63	54	43	59	69	68
02.06.2003	37	29	31	60	52	40	62	66	67
03.06.2003	31	29	32	60	51	43	58	65	67
04.06.2003	17	42	45	60	55	45	56	62	49
05.06.2003	27	42	47	61	55	44	57	60	52
06.06.2003	38	42	40	58	56	44	66	63	32
07.06.2003	27	42	40	53	56	44	54	62	57
08.06.2003	38	40	40	54	56	46	59	63	45
09.06.2003	39	42	41	53	58	44	53	63	33
10.06.2003	37	38	38	56	53	42	53	48	69
11.06.2003	36	45	56	64	54	44	53	54	63
12.06.2003	39	42	55	67	60	45	58	48	57
13.06.2003	43	50	54	65	62	45	60	45	60
16.06.2003	37	41	49	51	63	47	49	59	66
17.06.2003	42	43	43	54	59	47	53	55	50
18.06.2003	38	40	47	53	60	44	46	68	52
23.06.2003	34	34	41	41	52	41	33	41	45
24.06.2003	35	40	45	52	55	40	48	39	47
25.06.2003	34	32	36	40	49	39	53	44	29
26.06.2003	36	36	37	28	45	38	53	35	28
27.06.2003	35	36	41	39	44	36	35	55	27
30.06.2003	29	33	35	42	41	35	30	53	42
01.07.2003	29	35	35	42	40	34	30	55	25
02.07.2003	23	33	36	43	38	32	31	48	27
03.07.2003	28	25	32	41	41	35	36	52	58
04.07.2003	28	26	31	40	40	34	53	54	57
07.07.2003	25	24	29	38	40	32	30	31	39
08.07.2003	24	24	29	39	40	33	28	29	51
09.07.2003	24	22	26	38	39	33	33	27	34
10.07.2003	24	21	26	37	39	32	25	28	36
11.07.2003	24	21	25	34	38	34	34	34	34
14.07.2003	24	21	25	32	38	31	33	33	32
15.07.2003	24	26	27	32	38	31	32	33	36
16.07.2003	24	22	25	32	38	31	33	33	36
17.07.2003	24	21	25	33	38	30	33	34	30
18.07.2003	24	21	23	33	37	30	33	53	28
21.07.2003	24	22	24	34	36	30	34	51	30
22.07.2003	23	26	27	34	36	30	32	40	41
23.07.2003	25	23	26	34	37	30	31	44	47
24.07.2003	25	23	27	35	36	30	30	36	39
25.07.2003	25	23	27	33	36	30	30	33	30
28.07.2003	26	26	25	34	37	30	31	34	33
29.07.2003	25	26	25	34	36	30	30	34	35

Tabela 10.

Wyniki pomiarów temperatury wewnątrz pryzm zlokalizowanych na terenie kompostowni I

Data pomiaru	Temperatura pryzmy								
	S - 1	S - 2	S - 3	T - 1	T - 2	T - 3	Z - 1	Z - 2	Z - 3
30.05.2003	50	57	41	44	48	49	45	46	47
31.05.2003	51	54	45	45	47	48	57	62	51
02.06.2003	48	50	45	50	55	46	49	60	44
03.06.2003	52	50	38	47	49	46	49	60	55
04.06.2003	46	50	45	43	48	51	43	56	32
05.06.2003	48	50	48	47	47	47	47	55	30
06.06.2003	45	50	40	44	45	46	36	57	31
07.06.2003	43	50	39	45	44	45	30	55	30
08.06.2003	44	50	41	43	47	47	30	56	31
09.06.2003	44	49	37	44	43	47	29	53	31
10.06.2003	44	52	34	46	44	41	30	61	35
11.06.2003	58	56	39	54	49	43	26	53	27
12.06.2003	57	48	35	51	50	46	26	44	26
13.06.2003	50	57	35	54	49	47	30	48	32
16.06.2003	47	46	33	50	41	41	26	50	31
17.06.2003	47	50	29	48	39	40	18	57	22
18.06.2003	44	50	30	47	38	39	23	58	25
23.06.2003	41	42	24	38	31	31	26	48	24
24.06.2003	42	39	30	43	35	36	27	48	25
25.06.2003	34	36	24	36	30	30	29	54	24
26.06.2003	39	40	23	36	29	29	28	47	30
27.06.2003	40	40	23	36	29	29	30	56	32
30.06.2003	38	39	22	34	30	30	28	49	29
01.07.2003	42	41	22	35	32	32	28	49	29
02.07.2003	35	36	23	30	28	28	28	38	27
03.07.2003	33	27	27	34	31	30	29	47	24
04.07.2003	29	35	21	33	32	29	33	48	31
07.07.2003	30	29	21	31	34	31	22	47	25
08.07.2003	29	28	21	31	34	29	20	48	21
09.07.2003	28	29	20	30	34	30	25	50	21
10.07.2003	28	28	20	31	33	29	24	32	24
11.07.2003	27	28	20	30	30	28	24	47	25
14.07.2003	25	27	20	30	20	27	24	51	25
15.07.2003	26	25	19	29	28	26	26	47	27
16.07.2003	26	25	19	29	28	26	26	47	27
17.07.2003	26	26	20	30	28	26	29	51	30
18.07.2003	25	26	20	30	28	27	30	51	31
21.07.2003	24	25	21	30	28	26	27	48	28
22.07.2003	26	27	21	30	28	27	29	51	30
23.07.2003	26	27	21	30	28	28	28	40	29
24.07.2003	27	26	21	30	28	28	26	40	24
25.07.2003	27	25	23	30	28	28	26	49	23
28.07.2003	27	26	22	30	27	27	27	48	24
29.07.2003	27	26	22	29	27	27	27	49	26

W kompostowni I uzyskano zdecydowanie niższe temperatury. Jedynie w przypadku kompostu z udziałem 40% zrębek temperatura osiągnęła 62°C i utrzymywała się przez cały okres wykonywania pomiarów na wysokim poziomie. W pozostałych dwóch przyzmach z 20% lub 60% udziałem zrębek tylko w pierwszych dniach temperatura zbliżyła się do 50°C lub nieznacznie ją przekroczyła, lecz w bardzo szybkim czasie nastąpiło wychłodzenie przyz.

Dość dobre rezultaty uzyskano w przypadku wykorzystania 40% udziału słomy jako materiału strukturotwórczego. Przez blisko trzy tygodnie temperatura kompostu w odkrytych warunkach terenowych oscylowała wokół 50°C.

Trociny, które są bardzo dobrym wypełnieniem w początkowym okresie przyczyniły się również do wytworzenia wysokiej temperatury, która z czasem systematycznie spadała. W przypadku kompostowni I, która zlokalizowana była w terenie odkrytym, narażonym na wpływ promieni słonecznych oraz wiatru następowało szybsze parowanie wody, co bezpośrednio wpływało na obniżenie temperatury procesu kompostowania pomimo okresowego zraszania przyz.

8.3. Wyniki badań fizyczno-chemicznych kompostu

Wyniki badań fizyczno-chemicznych kompostu przedstawiono w tabelach 11–31.

Tabela 11.

Wyniki analiz materiału wyjściowego na zawartość metali ciężkich

Substrat	Ołów [mg/kg s.m.]	Rtęć [mg/kg s.m.]	Miedź [mg/kg s.m.]	Kadm [mg/kg s.m.]	Nikiel [mg/kg s.m.]	Cynk [mg/kg s.m.]	Chrom [mg/kg s.m.]
Osad	9,0	0,63	31,0	0,46	6,2	273	22,0
słoma	9,0	0,018	10,0	0,18	4,5	20,0	4,0
trociny	10,0	0,06	4,8	0,20	5,0	12,5	2,3
zrębki	25,0	0,14	18,0	0,80	6,0	118	12,0
Wartości dopuszczalne przy zastosowaniu osadu w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne							
	500	5	800	10	100	2500	500

Tabela 12.

Wyniki analiz materiału wyjściowego – wartości nawozowe

Wskaźnik	Jednostka	Substrat			
		osad	słoma	trociny	zrębki
Wapń	g/kg s.m.	51,4	6,6	6,7	2,9
	% CaO s.m.	7,20	0,92	0,94	0,4
Magnez	g/kg s.m.	6,37	0,6	0,63	0,55
	% MgO s.m.	1,05	0,10	0,10	0,09
Azot ogólny	g/kg s.m.	53,6	7,14	4,28	12,3
	% s.m.	5,36	0,71	0,43	1,23
Azot amonowy	g/kg s.m.	1,58	0,61	1,30	0,80
	% s.m.	0,16	0,061	0,13	0,08
Fosfor ogólny	g/kg s.m.	22,5	5,36	1,85	1,43
	% P ₂ O ₅ s.m.	11,2	2,46	0,85	0,65
Potas	g/kgs.m.	7,1	5,2	0,5	3,9
TOC	g/kgs.m.	376,7	375,9	444,6	350,4
	%	37,7	37,6	44,5	35,0

Tabela 13.

Wyniki analiz materiału wyjściowego –uwodnienie, sucha masa, substancje organiczne, odczyn

Wskaźnik	Jednostka	Substrat			
		osad	słoma	trociny	zrębki
Odczyn	pH	7,46	5,51	5,68	6,36
Uwodnienie	%	84,0	2,2	32,0	22
Sucha masa	%	16,0	97,8	68,0	78
Subst. organiczne	% s.m.	48,1	95,5	94,5	92,0

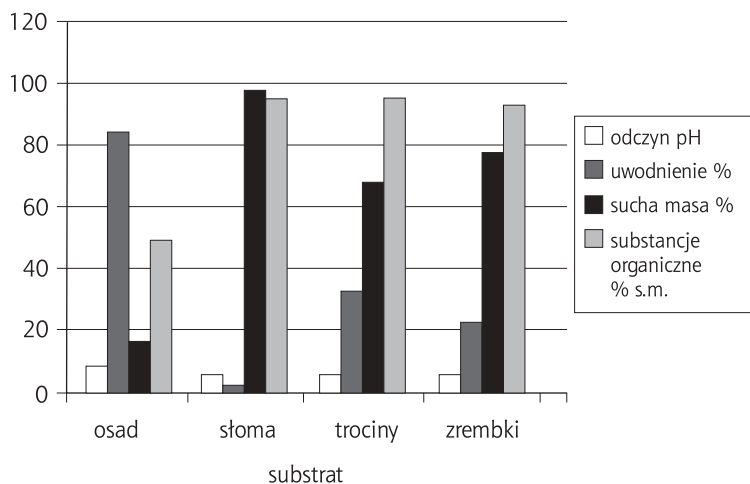


Tabela 14.

Zawartość metali ciężkich w kompoście – początek procesu kompostowania – kompostownia I

Rodzaj pryzmy	Zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.]						
	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni	Zn	Hg
S-1	11,0	40,4	0,42	10,1	9,6	267	0,59
S-2	10,0	32,7	0,34	10,6	7,7	206	0,33
S-3	9,8	48,0	0,45	10,9	10,0	328	0,77
T-1	14,0	30,0	0,38	8,2	6,0	138	0,19
T-2	23,9	13,0	0,26	8,4	5,0	71	0,11
T-3	16,7	20,8	0,36	8,7	4,9	117	0,12
Z-1	19,2	25,0	1,04	11,0	9,6	179	0,22
Z-2	22,0	24,0	0,51	11,5	22,0	152	0,17
Z-3	20,0	22,0	0,82	11,9	10,0	184	0,66

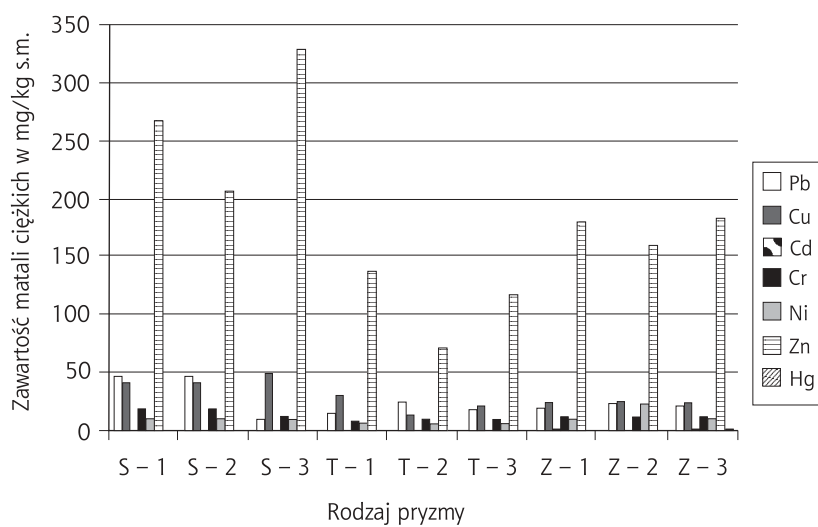


Tabela 15.

Zawartość metali ciężkich w kompoście – początek procesu kompostowania – kompostownia II

Rodzaj przymy	Zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.]						
	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni	Zn	Hg
S-1	14,0	40,0	0,40	15,0	7,9	210	0,49
S-2	12,0	36,6	0,38	12,0	8,2	212	0,40
S-3	12,0	49,8	0,41	11,7	11,0	324	0,80
T-1	15,0	26,0	0,39	13,0	6,0	129	0,18
T-2	21,0	18,0	0,28	14,0	7,0	96	0,15
T-3	22,0	28,9	0,36	14,0	7,0	111	0,15
Z-1	19,4	26,0	1,02	13,0	12,2	152	0,30
Z-2	20,0	25,0	0,96	12,0	20,0	160	0,46
Z-3	26,1	26,0	0,90	14,0	18,0	195	0,56

Tabela 16.

Zawartość metali ciężkich w kompoście – po procesie kompostowania – kompostownia I

Rodzaj przymy	Zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.]						
	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni	Zn	Hg
S-1	7,8	31,0	0,36	9,3	8,5	201	0,58
S-2	10,0	32,8	0,31	9,6	7,2	189	0,43
S-3	9,2	36,0	0,28	7,5	6,0	290	0,60
T-1	9,0	26,3	0,36	8,7	5,2	140	0,18
T-2	16,5	18,0	0,27	8,0	3,9	130	0,14
T-3	11,0	19,6	0,29	7,2	3,6	99	0,12
Z-1	16,2	19,6	0,98	5,6	8,5	118	0,21
Z-2	9,0	22,8	0,53	6,8	14,0	160	0,20
Z-3	11,5	19,0	0,63	6,7	6,5	157	0,70

Tabela 17.

Zawartość metali ciężkich w kompoście – po procesie kompostowania – kompostownia II

Rodzaj przymy	Zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.]						
	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni	Zn	Hg
S-1	12,0	42,0	0,34	10,2	7,2	230	0,50
S-2	9,4	36,9	0,33	9,0	6,4	218	0,55
S-3	9,4	47,2	0,32	9,1	8,9	305	0,80
T-1	4,2	18,3	0,40	6,2	2,9	110	0,20
T-2	7,9	21,0	0,29	5,9	4,0	98	0,20
T-3	9,5	22,3	0,30	5,9	4,5	112	0,22
Z-1	17,1	20,0	1,00	7,1	4,1	167	0,40
Z-2	17,8	25,2	0,81	7,4	7,0	195	0,45
Z-3	20,0	28,2	0,82	9,2	9,3	205	0,50

Tabela 18.

Zawartość metali ciężkich w kompoście – po procesie dojrzewania kompostu – kompostownia I

Rodzaj pryzmy	Zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.]						
	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni	Zn	Hg
S-1	6,2	23,0	0,25	4,7	3,5	121	0,55
S-2	9,0	43,3	0,27	8,0	5,9	239	0,42
S-3	8,6	32,4	0,21	6,9	5,3	191	0,55
T-1	5,8	19,2	0,29	5,0	3,2	142	0,16
T-2	5,4	21,5	0,28	4,9	3,1	136	0,15
T-3	4,1	14,3	0,24	3,6	2,8	96	0,12
Z-1	3,4	15,9	0,69	3,2	2,4	114	0,20
Z-2	6,3	22,9	0,58	5,7	3,9	185	0,25
Z-3	6,3	18,5	0,22	5,6	4,2	119	0,80

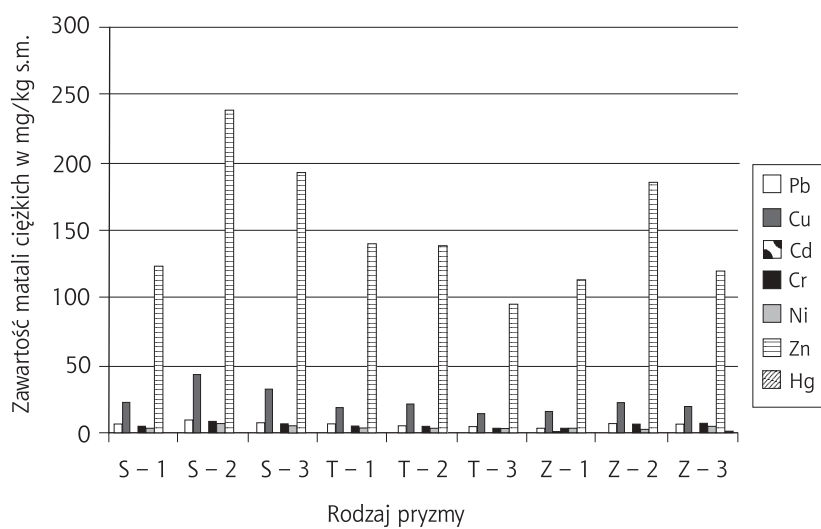


Tabela 19.

Zawartość metali ciężkich w komposcie – po procesie dojrzewania kompostu – kompostownia II

Rodzaj przymy	Zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.]						
	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni	Zn	Hg
S-1	9,6	44,4	0,31	8,2	6,6	255	0,59
S-2	8,3	37,8	0,31	7,1	5,6	231	0,63
S-3	9,5	44,4	0,30	8,4	6,6	272	0,84
T-1	3,4	10,7	0,57	2,3	2,2	72	0,24
T-2	5,4	25,1	0,30	4,3	3,5	123	0,25
T-3	6,0	17,5	0,20	4,7	3,9	111	0,30
Z-1	4,5	16,9	0,95	3,9	3,2	179	0,49
Z-2	6,7	25,8	0,72	6,5	4,6	227	0,45
Z-3	7,9	33,1	0,74	7,0	5,2	220	0,38

Tabela 20.

Zawartość komponentów nawozowych – początek procesu kompostowania – kompostownia I

Rodzaj przymy	Ca		Mg		Azot ogólny		Azot amon.		Fosfor ogólny		C		K
	g/kg s.m.	% CaO	g/kg s.m.	% MgO	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% P ₂ O ₅	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.
S-1	42,0	5,91	5,10	0,85	18,1	1,81	5,83	0,58	4,6	2,07	362	36,2	7,4
S-2	39,1	5,5	4,28	0,71	22,3	2,23	2,72	0,27	5,1	2,29	359	35,9	6,1
S-3	49,1	6,9	6,10	1,01	25,8	2,58	8,33	0,83	6,2	2,79	374	37,4	7,8
T-1	24,6	3,4	3,25	0,54	14,4	1,44	6,76	0,68	4,3	1,93	420	42,0	4,4
T-2	15,0	2,1	2,13	0,35	16,2	1,62	2,96	0,30	4,8	2,16	404	40,4	3,0
T-3	20,9	2,9	2,82	0,47	17,1	1,71	3,26	0,33	5,4	2,43	388	38,8	4,3
Z-1	17,5	2,4	2,09	0,35	19,6	1,96	4,20	0,42	3,9	1,75	359	35,9	4,4
Z-2	34,0	4,8	4,51	0,75	20,1	2,01	5,80	0,58	4,4	1,98	340	34,0	5,2
Z-3	25,5	3,6	3,88	0,64	23,2	2,32	3,20	0,32	4,7	2,11	326	32,6	6,1

Tabela 21.

Zawartość komponentów nawozowych – początek procesu kompostowania – kompostownia II

Rodzaj przymy	Ca		Mg		Azot ogólny		Azot amon.		Fosfor ogólny		C		K
	g/kg s.m.	% CaO	g/kg s.m.	% MgO	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% P ₂ O ₅	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.
S-1	55,2	7,72	6,20	1,08	17,1	1,71	4,80	0,48	4,5	2,07	370	37,0	7,2
S-2	41,4	5,79	5,30	0,92	22,8	2,28	2,80	0,28	5,0	2,3	360	36,0	6,9
S-3	49,8	6,97	6,30	1,03	23,8	2,38	7,00	0,70	6,4	2,94	378	37,8	7,3
T-1	26,0	3,64	3,75	0,62	14,0	1,40	6,20	0,62	4,4	2,02	410	41,0	4,6
T-2	19,0	2,66	3,13	0,52	15,2	1,52	2,4	0,24	4,9	2,25	401	40,1	3,8
T-3	20,9	2,92	2,80	0,46	16,1	1,61	3,10	0,31	5,7	2,62	380	38,0	4,5
Z-1	16,5	2,31	2,90	0,48	19,0	1,90	4,00	0,40	3,9	1,79	350	35,0	4,5
Z-2	31,0	2,94	4,00	0,66	22,1	2,21	5,10	0,51	4,8	2,21	346	34,6	5,0
Z-3	29,5	0,41	3,50	0,58	24,4	2,44	3,90	0,39	5,0	2,3	336	33,6	6,2

Tabela 22.

Zawartość komponentów nawozowych – po procesie kompostowania – kompostownia I

Rodzaj przyzmy	Ca		Mg		Azot ogólny		Azot amon.		Fosfor ogólny		C		K
	g/kg s.m.	% CaO	g/kg s.m.	% MgO	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% P ₂ O ₅	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.
S-1	29,6	4,1	6,2	1,0	12,6	1,26	0,60	0,06	4,6	2,11	290,1	29,1	3,6
S-2	50,1	7,0	5,0	0,8	12,0	1,2	0,70	0,07	8,1	3,72	210,2	21,02	5,3
S-3	46,0	6,44	4,9	0,78	16,6	1,66	0,20	0,02	5,1	2,32	320,0	32,0	4,9
T-1	25,0	3,5	2,9	0,46	10,1	1,01	0,13	0,01	8,1	3,72	360,6	36,06	2,8
T-2	16,2	2,27	2,2	0,35	9,9	0,99	1,02	0,1	10,0	4,62	396,1	39,6	2,7
T-3	20,1	2,81	2,6	0,42	11,6	1,16	1,28	0,12	11,0	5,06	360,5	36,05	2,6
Z-1	20,8	2,91	2,8	0,45	12,6	1,26	0,60	0,06	7,0	3,22	280,0	28,0	3,8
Z-2	39,2	5,49	4,6	0,74	17,4	1,74	0,10	0,01	9,6	4,41	310	31,0	5,2
Z-3	29,0	4,06	4,0	0,64	20,0	2,0	0,10	0,01	9,5	4,37	340	34,0	5,0

Tabela 23.

Zawartość komponentów nawozowych – po procesie kompostowania – kompostownia II

Rodzaj przyzmy	Ca		Mg		Azot ogólny		Azot amon.		Fosfor ogólny		C		K
	g/kg s.m.	% CaO	g/kg s.m.	% MgO	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% P ₂ O ₅	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.
S-1	49,0	6,8	8,0	1,28	12,0	1,2	0,47	0,047	8,73	4,02	218,0	21,8	6,0
S-2	43,2	6,0	6,10	0,97	21,0	2,1	0,36	0,036	10,03	4,61	280,1	28,0	5,9
S-3	50,2	7,0	6,12	0,97	23,6	2,4	0,26	0,026	11,4	5,24	310,6	31,1	6,4
T-1	14,2	1,9	3,88	0,62	9,6	0,96	0,20	0,02	7,00	3,22	320,1	32,0	1,9
T-2	20,2	2,8	4,20	0,67	8,1	0,8	0,20	0,02	6,1	2,80	265,8	26,6	2,2
T-3	26,1	3,7	3,00	0,48	3,6	0,36	0,36	0,036	6,45	2,96	308,4	30,8	3,6
Z-1	32,0	4,5	3,10	0,49	12,6	1,3	0,48	0,05	7,3	3,36	289,5	28,9	4,4
Z-2	32,6	4,6	4,12	0,65	23,0	2,3	1,90	0,19	6,15	2,82	290,0	29,0	4,4
Z-3	40,1	5,6	3,92	0,62	24,0	2,4	0,18	0,02	10,6	4,87	309,0	30,9	4,0

Tabela 24.

Zawartość komponentów nawozowych – po procesie dojrzewania kompostu – kompostownia I

Rodzaj przyzmy	Ca		Mg		Azot ogólny		Azot amon.		Fosfor ogólny		C		K
	g/kg s.m.	% CaO	g/kg s.m.	% MgO	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% P ₂ O ₅	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.
S-1	22,5	3,1	1,80	0,30	8,9	0,89	0,03	0,003	4,81	2,20	260,6	26,1	1,9
S-2	51,2	7,2	5,70	0,95	8,1	0,81	0,03	0,003	12,14	5,56	195,4	19,5	4,8
S-3	44,3	6,2	4,50	0,75	7,4	0,74	0,11	0,011	3,48	1,60	282,1	28,2	3,4
T-1	26,5	3,7	2,20	0,36	8,6	0,86	0,12	0,012	3,00	1,38	315,4	31,5	2,0
T-2	19,6	2,7	1,90	0,32	9,4	0,94	0,99	0,1	6,45	2,96	270,7	27,0	1,8
T-3	18,4	2,6	2,20	0,36	9,5	0,95	1,20	0,12	7,05	3,23	301,4	30,1	2,0
Z-1	30,8	4,3	3,20	0,53	9,6	0,96	0,057	0,006	4,08	1,87	242,6	24,2	3,2
Z-2	47,8	6,7	5,20	0,86	16,8	1,68	0,03	0,003	6,46	2,96	252,5	25,2	5,5
Z-3	34,4	4,8	4,20	0,70	11,0	1,10	0,07	0,007	5,55	2,54	259,3	25,9	2,1

Tabela 25.

Zawartość komponentów nawozowych – po procesie dojrzewania kompostu – kompostownia II

Rodzaj przyzmy	Ca		Mg		Azot ogólny		Azot amon.		Fosfor ogólny		C		K
	g/kg s.m.	% CaO	g/kg s.m.	% MgO	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.	% P ₂ O ₅	g/kg s.m.	% s.m.	g/kg s.m.
S-1	47,0	6,6	5,50	0,91	7,3	0,73	0,36	0,04	8,44	3,87	187,3	18,7	5,0
S-2	57,5	8,0	6,40	1,06	14,3	1,43	0,27	0,03	12,32	5,65	256,6	25,6	5,6
S-3	55,6	7,8	6,00	0,99	8,6	0,86	0,07	0,007	12,52	5,74	287,0	28,7	6,0
T-1	12,2	1,7	1,60	0,27	7,1	0,71	0,079	0,008	7,10	3,25	296,8	29,7	1,2
T-2	26,6	3,7	5,20	0,86	4,9	0,49	0,11	0,011	7,33	3,36	246,6	24,6	1,7
T-3	30,3	4,2	3,10	0,51	2,9	0,29	0,048	0,005	7,26	3,33	262,0	26,2	1,8
Z-1	43,5	6,1	3,70	0,61	11,9	1,19	0,053	0,005	9,53	4,37	260,4	26,0	4,8
Z-2	38,5	5,4	4,10	0,68	18,1	1,81	1,83	0,18	9,28	4,26	252,2	25,2	3,9
Z-3	45,9	6,4	5,20	0,86	13,3	1,33	0,129	0,013	13,32	6,10	294,0	29,4	4,4

Tabela 26.

Odczyn, uwodnienie, substancje organiczne – początek procesu kompostowania – kompostownia I

Rodzaj przyzmy	Odczyn	Uwodnienie	Sucha masa	Substancje organiczne
	pH	%	%	% s.m.
S-1	7,30	82,6	17,4	70,6
S-2	7,30	80,7	19,3	55,6
S-3	7,67	84,9	15,1	62,7
T-1	7,72	75,9	14,1	76,0
T-2	7,42	63,5	36,5	72,1
T-3	7,68	72,9	27,1	70,8
Z-1	6,72	83,4	16,6	69,5
Z-2	6,68	72,6	17,4	80,8
Z-3	6,45	84,1	15,9	78,7

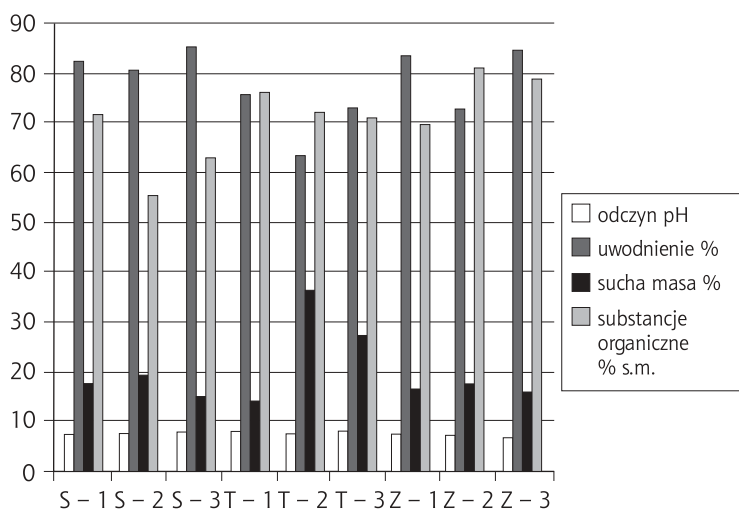


Tabela 27.

Odczyn, uwodnienie, substancje organiczne – początek procesu kompostowania – kompostownia II

Rodzaj pryzmy	Odczyn	Uwodnienie	Sucha masa	Substancje organiczne
	pH	%	%	% s.m.
S – 1	6,95	67,5	32,5	54,4
S – 2	8,39	77,0	13,0	78,0
S – 3	7,08	84,3	15,7	51,8
T – 1	7,04	61,5	38,5	87,0
T – 2	7,39	64,2	35,8	80,9
T – 3	8,27	70,3	29,7	61,8
Z – 1	6,68	68,1	21,9	80,0
Z – 2	6,80	79,0	21,0	62,2
Z – 3	6,90	82,3	17,7	83,2

Tabela 28.

Odczyn, uwodnienie, substancje organiczne – po procesie kompostowania – kompostownia I

Rodzaj pryzmy	Odczyn	Uwodnienie	Sucha masa	Substancje organiczne
	pH	%	%	% s.m.
S – 1	5,43	63,4	36,4	60,2
S – 2	7,86	70,8	29,2	40,5
S – 3	7,56	75,2	24,8	50,2
T – 1	5,32	74,3	25,7	78,3
T – 2	5,87	72,2	27,8	74,9
T – 3	5,69	74,6	25,4	72,3
Z – 1	6,48	72,7	27,3	67,8
Z – 2	6,68	71,3	28,7	74,8
Z – 3	6,97	74,5	25,5	72,3

Tabela 29.

Odczyn, uwodnienie, substancje organiczne – po procesie kompostowania – kompostownia II

Rodzaj pryzmy	Odczyn	Uwodnienie	Sucha masa	Substancje organiczne
	pH	%	%	% s.m.
S – 1	7,11	70,5	29,5	52,8
S – 2	7,68	77,4	22,6	60,6
S – 3	6,98	77,8	22,2	55,2
T – 1	4,85	58,2	41,8	85,9
T – 2	5,88	70,4	29,6	76,8
T – 3	7,82	70,9	29,1	57,6
Z – 1	6,44	71,3	28,7	65,4
Z – 2	6,86	74,9	25,1	65,1
Z – 3	7,06	79,2	20,8	68,6

Tabela 30.

Odczyn, uwodnienie, substancje organiczne – po procesie dojrzewania kompostu – kompostownia I

Rodzaj pryzmy	Odczyn	Uwodnienie	Sucha masa	Substancje organiczne
	pH	%	%	% s.m.
S-1	5,49	59,8	40,2	54,2
S-2	7,23	74,6	25,4	46,7
S-3	7,08	72,2	27,8	48,1
T-1	4,72	71,6	28,4	84,1
T-2	5,11	73,0	27,0	77,6
T-3	5,16	75,0	25,0	72,4
Z-1	6,10	68,5	31,5	65,6
Z-2	6,40	69,1	30,9	70,1
Z-3	7,51	71,8	28,2	68,8

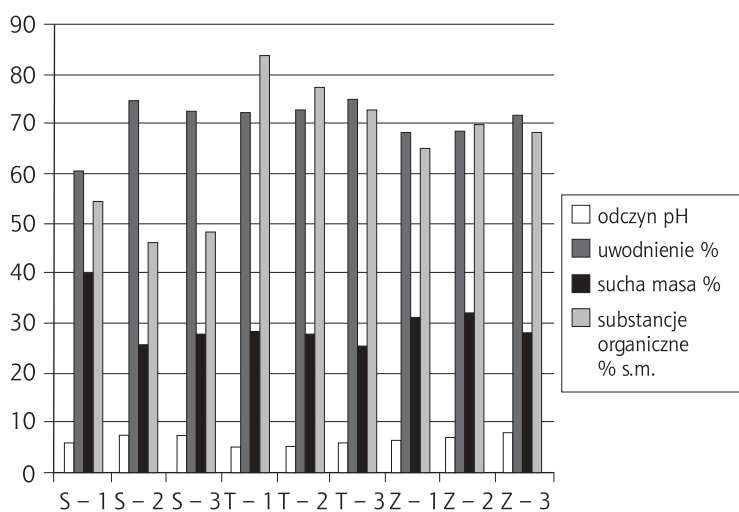


Tabela 31.

Odczyn, uwodnienie, substancje organiczne – po procesie dojrzewania kompostu – kompostownia II

Rodzaj pryzmy	Odczyn	Uwodnienie	Sucha masa	Substancje organiczne
	pH	%	%	% s.m.
S-1	7,26	77,2	22,8	50,3
S-2	7,02	78,2	21,8	56,0
S-3	6,92	74,8	25,2	57,3
T-1	4,68	55,8	44,2	81,0
T-2	5,08	73,7	26,3	70,3
T-3	7,04	71,2	28,8	49,3
Z-1	6,30	72,6	27,4	67,3
Z-2	6,90	71,3	28,7	66,2
Z-3	7,10	75,2	24,8	61,2

Podsumowanie

Problem bezpiecznego przetwarzania i finalnego zagospodarowania osadów ściekowych dotyczy praktycznie wszystkich systemów oczyszczania ścieków pracujących w kraju. Wprowadzenie w latach 90-tych XX wieku intensywnych biologicznych i chemicznych metod oczyszczania spowodowało wzrost ilości powstających osadów generowanych w oczyszczalniach ścieków komunalnych jak i przemysłowych. Dwa podstawowe procesy to jest, higienizacja oraz kompostowanie, którymi zajmowali się autorzy zrealizowanego projektu mają podstawowe znaczenie dla umożliwienia recyklingu osadów do środowiska naturalnego. Celem naukowym projektu było określenie parametrów procesów higienizacji oraz kompostowania osadów ściekowych w warunkach rzeczywistych oraz poznanie mechanizmów kinetyki tego procesu i prędkości jego prowadzenia.

Badania procesu higienizacji zrealizowano w dwóch oczyszczalniach ścieków zlokalizowanych w województwie podlaskim to jest w Mońkach i Łapach. Uzyskane wyniki badań mają wartość uniwersalną i mogą być wykorzystane przez praktycznie wszystkie oczyszczalnie ścieków. Szczególny nacisk położono na określenie dawki środka higienizującego i wykazanie zależności pomiędzy temperaturą, odczynem, czasem trwania procesu i efektem sanitarnym. Prezentowane wyniki są pomocne do optymalizacji dawki środków higienizujących. Monitoring oczyszczalni wykonany w poprzednich latach wykazał iż eksploataccy mają problemy z ustaleniem właściwych parametrów procesu higienizacji. Problem ten jest szczególnie istotny w systemach pracujących na terenach rolniczo-przemysłowych, ze względu na niskie stężenie metali ciężkich. Podstawowym kryterium warunkującym recykling osadów jest ich stan sanitarny.

Badania nad procesem kompostowania osadów ściekowych wynikały z realnego zapotrzebowania na wysokiej jakości kompost produkowany na bazie osadów ściekowych jak i z uregulowań prawnych wymuszających przetwarzanie osadów przed ich recyklingiem. Tak jak w przypadku procesu higienizacji badania prowadzono na obiektach rzeczywistych to jest w miejskiej oczyszczalni ścieków w Sokółce oraz na terenie Nadleśnictwa Rudka. Oczyszczalnia w Sokółce jest jedną z dwóch w województwie podlaskim stosującą kompostowanie osadów ściekowych, a także jedyną stosującą proces kompostowania pryzmowego. Podstawowym celem badań prowadzonych na tym obiekcie było określenie parametrów kompostowania w aspekcie sanitarnym. Szczególną uwagę zwrócono na:

- określenie obecności mikroorganizmów patogennych i wskaźnikowych w osadzie, w rozszerzonym zakresie w stosunku do obowiązujących przepisów sanitarnych w Polsce, a także stosowanych przez EPA,
- wykrywanie zapłodnionych i niezapłodnionych jaj pasożytów.

Badania prowadzone w oczyszczalni w Sokółce potwierdziły iż dobrej jakości kompost otrzymuje się po 2,5-miesięcznym okresie leżakowania. Spełnia on kryteria dotyczące warunków sanitarnych, jakie zostały określone przy wykorzystaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe. Badane próbki kompostu nie zawierają bakterii z rodzaju *Salmonella*,

a także nie stwierdzono w nich obecności żywych jaj pasożytów jelitowych należących do *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.* oraz *Toxocara sp.* Uzyskany kompost ma barwę brunatną, zapach ziemi ogrodowej i odpowiednią strukturę, nie przypomina on wyglądem osadu ściekowego co jest bardzo istotnym czynnikiem w jego postrzeganiu przez ewentualnych odbiorców. Ze względu na swoje właściwości fizyczno chemiczne może być wykorzystany do celów rolniczych pod uprawy, a także w gospodarce leśnej, szkółkarstwie, konserwacji nasypów tras, rekultywacji terenów.

Największą uwagę poświęcono współkompostowaniu osadu ściekowego z materiałem strukturotwórczym w postaci zrębek, trocin i słomy na potrzeby produkcji leśnej. Podkreślić należy bardzo duże zapotrzebowanie na kompost ze strony lasów państwowych do nawożenia w szkółkach działających na terenie nadleśnictw. Badania realizowano na terenie jednego z najlepszych nadleśnictw działających w Polsce północno-wschodniej – Nadleśnictwie Rudka. Na terenie działającej tam kompostowni zbudowano 18 przyrzem badawczych wykorzystujących obok materiału strukturotwórczego ustabilizowane osady z oczyszczalni należącej do Spółdzielni Mleczarskiej „Mlekovita” w Wysokiem Mazowieckiem. Wybór osadów pochodzących z tej oczyszczalni nie był przypadkowy, autorzy prowadzą monitoring ich składu fizyczno-chemicznego i sanitarnego od połowy lat dziewięćdziesiątych kiedy to zrealizowano projekt badawczy na temat „Oczyszczanie ścieków, unieszkodliwianie i przeróbka osadów ściekowych pochodzących z zakładów przetwórstwa mleczarskiego”. Obiekt ten należy do największych i najlepszych w województwie podlaskim, ze względu na ładunek oczyszczanych ścieków i doskonałą obsługę gwarantującą ochronę środowiska wodnego i glebowego regionu. Zrealizowane badania mają duże znaczenie jeśli chodzi o możliwość zagospodarowania osadów generowanych w oczyszczalniach ścieków mleczarskich, w regionie północno-wschodnim działają największe zakłady tej branży korzystające z indywidualnych systemów oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych. W czasie badań skorzystano z zaplecza, infrastruktury technicznej i kadry szkółki Koryciny. Podobnie jak przy procesie higienizacji uzyskane wyniki mają charakter uniwersalny, mogą być wykorzystane na terenie innych nadleśnictw. Największą uwagę poświęcono parametrom sanitarnym kompostu w trakcie prowadzenia procesu. Ze względu na specyfikę produkcji leśnej najlepszy kompost uzyskano w oparciu o zastosowanie trocin, szkółki leśne wymagają kompostu o niskim odczynie. Wykazano iż każdy z zastosowanych materiałów strukturotwórczych nadaje się do współkompostowania z osadami ściekowym, a rodzaj zastosowanych materiałów zależy od ich dostępności na danym terenie.

Komposty wytworzone na bazie osadów ściekowych z przemysłu mleczarskiego oraz wypełnień w postaci słomy, trocin oraz zrębek posiadają dobrą jakość sanitarną. Mogą być one kierowane bezpośrednio do nawożenia upraw rolnych, bądź innego przyrodniczego wykorzystania. Prowadzenie procesu kompostowania metodą przyzomą na terenie osłoniętym przez roślinność leśną daje lepsze efekty higienizacji niż na terenie całkowicie odkrytym, czyli narażonym na silniejsze oddziaływanie warunków klimatycznych (nasłonecznienie i wiatr).

Badania sanitarne potwierdziły iż trociny są najlepszym komponentem. Najkorzystniejsze pod względem sanitarnym efekty otrzymano w przypadku kompostu z zastosowaniem 40% osadów i 60% trocin. W przypadku kompostowania osadów ściekowych do kontroli ich jakości sanitarnej proponuje się wprowadzenie dodatkowych wskaźników obejmujących bakterie grupy *coli*, pałeczki *E.coli*, beztlenowe laseczki z rodzaju *Clostridium* oraz paciorkowce kałowe.

Badania mikrobiologiczno-parazytologiczne powinny być wykonywane przynajmniej dla materiału wyjściowego stosowanego do procesu kompostowania oraz kompostu po zakończeniu tego procesu.

Autorzy planują prowadzenie dalszych badań na procesem kompostowania z zastosowaniem wyłącznie biomasy w postaci trocin i zrębek w innych proporcjach wyjściowych jak i możliwości przyswajania mikro i makroelementów przez rośliny w trakcie ich vegetacji.

Realizacja projektu była możliwa dzięki zaangażowaniu wielu osób, autorzy pragną szczególnie podziękować kierownictwu i kadrze Nadleśnictwa Rudka, osobom odpowiedzialnym za ochronę środowiska i eksploatację w Spółdzielni Mleczarskiej „Mlekovita” w Wysokiem Mazowieckiem jak i eksploatacjom systemów oczyszczania w Sokółce i Łapach. Wyniki badań autorzy wykorzystali w publikacjach krajowych i zagranicznych.

Publikacje związane z realizacją grantu

- Boruszko D., Dąbrowski W., Magrel L., 2002, *Woda, ścieki i odpady w świetle przepisów wynikających z reform administracji państwowej i integracji Polski z Unią Europejską*, (w) Boruszko D, Dąbrowski W., Magrel L., *Woda, ścieki i odpady w małych miejscowościach województwa podlaskiego*, Wyd. Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Białystok
- Boruszko D., Dąbrowski W., Magrel L., 2002, *Oczyszczanie ścieków, przeróbka oraz zagospodarowanie osadów z indywidualnych oczyszczalni ścieków mleczarskich Polski północno-wschodniej*, (w) Boruszko D, Dąbrowski W., Magrel L., *Woda, ścieki i odpady w małych miejscowościach województwa podlaskiego*, Wyd. Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Białystok
- Boruszko D., Dąbrowski W., Niedziałkowski A., 2002, *Osady ściekowe jako element gospodarki odpadami komunalnymi na terenie gmin dolnej Biebrzy*, (w) Materiały VIII Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Gospodarka odpadami komunalnymi”, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin - Kołobrzeg
- Boruszko D., Dąbrowski W., Magrel L., 2002, *Utylizacja osadów ściekowych pochodzących z terenów niezurbanizowanych na przykładzie województwa podlaskiego*, (w) Materiały VIII Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Gospodarka odpadami komunalnymi”, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin-Kołobrzeg
- Boruszko D., Dąbrowski W., Magrel L., 2003, *Kompostowanie biomasy oraz osadów ściekowych na potrzeby produkcji leśnej*, zeszyt naukowy Politechniki Białostockiej nr 16 tom 2, *Gospodarka wodno-ściekowa w regionach rolniczo-przemysłowych*, XII Konferencja Naukowo-Techniczna, Wierzba
- Boruszko D., 2004, *Zastosowanie procesu kompostowania w przeróbce osadów ściekowych*, (w) Materiały X Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Gospodarka odpadami komunalnymi”, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Gdańsk-Helsinki
- Butarewicz A., 2002, *Wpływ higienizacji osadów ściekowych wapnem na redukcję wybranych grup drobnoustrojów*, (w) monografia nr 11, I Kongres Inżynierii Środowiska, Polska Akademia Nauk, Lublin
- Butarewicz A., Wojciechowska E., 2003, *Wpływ promieniowania mikrofalowego na zawartość mikroorganizmów wskaźnikowych w osadach ściekowych*, zeszyt naukowy Politechniki Białostockiej nr 16 tom 2, *Gospodarka wodno-ściekowa w regionach rolniczo-przemysłowych*, XII Konferencja Naukowo-Techniczna, Wierzba
- Butarewicz A., Kowaluk-Krupa A., Matejczyk M., Rosochacki S., 2003, *Zagrożenia związane z występowaniem wirusów w wodzie, ściekach i osadach ściekowych*, zeszyt naukowy Politechniki Białostockiej nr 16 tom 1, *Gospodarka wodno-ściekowa w regionach rolniczo-przemysłowych*, XII Konferencja Naukowo-Techniczna, Wierzba
- Butarewicz A., 2002, *Zagrożenia związane z występowaniem wybranych organizmów patogennych w wodzie, ściekach i osadach ściekowych*, (w) Boruszko D, Dąbrowski W., Magrel L., *Woda, ścieki i odpady w małych miejscowościach województwa podlaskiego*, Wyd. Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Białystok
- Dąbrowski W., Kajurek M., 2003, *Przeróbka i zagospodarowanie osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków mleczarskich na przykładzie S.M. „Mlekovita”*, Materiały II Międzynarodowej i XIII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Nowe spojrzenie na osady ściekowe. Odnawialne źródła energii”, część 1, wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa

- Dąbrowski W., 2004, *Recykling osadów z oczyszczalni ścieków mleczarskich*, (w) Materiały X Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Gospodarka odpadami komunalnymi”, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Gdańsk-Helsinki
- Butarewicz A., 2003, *Higieniczne aspekty procesu kompostowania osadów ściekowych*, Materiały II Międzynarodowej i XIII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Nowe spojrzenie na osady ściekowe. Odnawialne źródła energii”, część 1, wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa

Literatura wykorzystana w opracowaniu

- Bartkiewicz B., 2002, *Oczyszczanie ścieków przemysłowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- Bartoszewski K., Kempa E., Szpadt R., 1981, *Systemy oczyszczania ścieków. Podstawy technologiczne i projektowe*, skrypt Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
- Bernacka J., Pawłowska L., 1996, *Zagospodarowanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa
- Bernacka J., Pawłowska L., 1994, *Zagospodarowanie i wykorzystanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa
- Bernacka J., Pawłowska L., Kurbiel J., 1995, *Usuwanie związków biogennych ze ścieków miejskich*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa
- Belser J., Stein A., Tejchman H., 1997, *Zaawansowane metody oczyszczania ścieków*, „Projprzem – EKO”, Bydgoszcz
- Bień J.B., 2002, *Osady ściekowe – teoria i praktyka*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa
- Bień J.B., Matysiak B., Westalska K., 1999, *Stabilizacja i odwadnianie osadów ściekowych*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa
- Bobrowski M.M., 2002, *Podstawy biologii sanitarnej*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok
- Buraczewski G., 1994, *Biotechnologia osadu czynnego*, PWN, Warszawa
- Butarewicz A., 1999, *Zdrowie a skażenie środowiskowe i jego minimalizacja, cz. II, Techniczno-technologiczne problemy gromadzenia i utylizacji odpadów i osadów ściekowych*, Fundacja „Życie w zdrowiu”, Białystok
- Butarewicz A., Boruszko D., Magrel L., 2001, *Ocena sanitarna osadów ściekowych powstających w oczyszczalniach województwa podlaskiego*, Bień J.B. (red.), Materiały XII Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Osady ściekowe – problem aktualny”, Częstochowa-Ustroń, 26–27 czerwca, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa
- Butarewicz A., 2002, *Zagrożenia związane z występowaniem wybranych organizmów patogennych w wodzie, ściekach i osadach ściekowych*, (w) Boruszko D., Dąbrowski W., Magrel L., *Woda, ścieki i odpady w małych miejscowościach województwa podlaskiego*, Wyd. Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Białystok
- Butarewicz A., Kowaluk-Krupa A., Matejczyk M., Rosochacki S., 2003, *Zagrożenia związane z występowaniem wirusów w wodzie, ściekach i osadach ściekowych*, Zeszyty Naukowe P.B. Inż. Środ. Nr 16
- Cofta J., 1998, *Kompostownia systemu DANO*, Przegląd Komunalny nr 9

- Czapliński B., Kurnatowski P., 1999, *Helminologia lekarska*, (w) Kadłubowski R., Kurnatowska A. (red.), *Zarys parazytologii lekarskiej*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa
- EPA/625/R-92/013, *Environmental Regulations and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*, Cincinnati, Ohio 1999
- EPA 841-R-00-002, 2001, *Protocol for Developing Pathogen TMDLs*
- Hartman L., 1996, *Biologiczne oczyszczanie ścieków*, Instalator Polski, Warszawa
- Imhoff K. i K.R., 1996, *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków*, *Poradnik*, Oficyna Wydawnicza Proj-przem-Eko, Bydgoszcz
- Kiely G., 1996, *Environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York
- Krzywy E., 1999, *Przyrodnicze zagospodarowanie ścieków i osadów ściekowych*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin
- Oleszkiewicz J., 1998, *Gospodarka osadami ściekowymi*, LEM s. c., Kraków
- Pawlaczyk-Szpilowa M., 1997, *Biologia i ekologia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
- Podedworna J., 1991, *Możliwości przeróbki osadów ściekowych w małych i średnich oczyszczalniach ścieków*, cz. I, GWiTS, 4
- Podgórski L., 1997, *Sanitarne aspekty kontroli osadów ściekowych*, Suchy M. (red.), *Materiały Seminarium Krajowego PIOŚ pt. „Gospodarka osadami ściekowymi”*, PIOŚ, Rzeszów, 7–9 kwietnia, Wydawnictwo Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska, Warszawa
- Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*, 1997, praca zbiorowa, PZITS, Poznań
- Poradnik gospodarowania odpadami*, 1998, praca zbiorowa pod redakcją K. Skalmowskiego, Dashofer Holding Ltd. Wydawnictwo Verlag Dashofer sp. z o.o., Warszawa
- Rosik-Dulewska C., 2000, *Podstawy gospodarki odpadami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- U.S.EPA, 1984, *Manual of Methods for Virology*, EPA/600/4-84/013
- Waste Water Technology*, 1989, Edited by Institut Fresenius GmbH, Springer-Verlag