

Władysław ROGIŃSKI, Piotr WICHOWSKI

Katedra Budownictwa Wiejskiego
Department of Rural Architecture

Ewa JASIŃSKA

Zakład Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska
Department of Sanitary Engineering and Environmental Protection

Badania procesów biologicznych zachodzących podczas kompostowania bioodpadów i osadów ściekowych

Research on biological processes during composting of biological waste and sewage sludge

Wstęp

Nieodłącznym produktem, powstającym w procesie oczyszczania ścieków są osady ściekowe. Są one odpadem procesu oczyszczania, a ich przeróbka i unieszkodliwianie stanowi część procesową każdej oczyszczalni. Niestety, gospodarka osadowa w wielu oczyszczalniach nie jest prowadzona właściwie i często sprowadza się do wywożenia osadów na wysypisko. Tymczasem osady ściekowe są substancją, która może być wykorzystywana do nawożenia gleb. Decyduje o tym zawartość w osadach: substancji organicznych, substancji nawozowych, metali ciężkich, szkodliwych i toksycznych związków organicznych, organizmów chorobotwórczych (Bernacka, Pawłowska 1994).

Osady ściekowe zawierają w porównaniu z innymi nawozami organicznymi znacznie więcej azotu i fosforu, natomiast zawartość potasu jest w nich wyraźnie mniejsza. Osady ściekowe mogą zawierać różne ilości metali ciężkich. Ich stężenie w osadzie jest ważnym czynnikiem przy rolniczym wykorzystaniu, stanowi bowiem potencjalne zagrożenie dla upraw. Niektóre z metali zawarte w osadach mogą stanowić mikroelementy niezbędne do życia roślin i zwierząt, zwłaszcza przy wykorzystywaniu osadów na glebach o małej zawartości metali. Z tych powodów dodaje się niekiedy osadów do nawozów nieorganicznych. W wyniku wielokrotnego nawożenia gleby osadem ściekowym lub kompostem zawierającym nadmierne stężenia składników toksycznych może nastąpić przekroczenie naturalnej zdolności asymila-

cyjnej roślin i oprócz kumulacji tych związków w roślinach następuje stopniowa kumulacja ich w glebie. W konsekwencji substancje te oddziałują hamująco na rozwój roślin, a także na procesy biochemicznego rozkładu związków zawartych w glebie. Należy przy tym liczyć się z ciągłym wzrostem tych ilości w związku z narastającym uprzemysłowieniem kraju.

Obecne w ściekach wirusy, bakterie, pierwotniaki, grzyby i jaja helmintów w znacznym stopniu przechodzą do osadów. Z tej liczby organizmów tylko nieznaczny procent stanowią organizmy chorobotwórcze. Zniszczenie lub zmniejszenie ich liczebności może być oszacowane na podstawie zmniejszenia liczby organizmów wskaźnikowych (np. bakterii *Coli* typu kałowego). Jednak takie organizmy jak helminty nie są w dostatecznym stopniu zredukowane podczas przeróbki najczęściej stosowanymi metodami (Bernacka, Pawłowska 1994).

Technologią, która może doprowadzić do przetworzenia osadu w materiał bezpieczny dla środowiska jest kompostowanie. Jest to metoda właściwa dla osadów o małej koncentracji metali ciężkich, gdyż nie wpływa ona znacząco na ich redukcję. Jako materiał strukturalny w złożu można wykorzystać bioodpady. Do badań przedstawionych w tym artykule użyto słomy, która jest często spotykanym bioodpadem w warunkach wiejskich.

Substancje organiczne zawarte w słomie (tab. 1) ulegają wolnemu rozkładowi biochemicznemu w czasie kompostowania. Procesy te są kontynuowane

TABELA 1. Skład chemiczny (%) słomy *Poradnik Papiernika*
TABLE 1. Chemical composition (%) of straw according *Poradnik papiernika*

Składnik Constituent	Zawartość w słomie (%) Contents in straw (%)
Celuloza Cellulose	48
Pozostałe węglowodany i substancje pektynowe Other carbohydrates and pectin substances	28,7
Substancje białkowe i zawierające azot Albumen substances and containing nitrogen	2,0
Tłuszcze i woski Greases and waxes	1,5
Popiół Ash	5,5

po zastosowaniu kompostu do gleby, przyczyniając się w znacznym stopniu do powstawania próchnicy glebowej (Kempa 1983). W warunkach naturalnych w słomie występują śladowe ilości mikroelementów (mg/kg s.m.): kadm 0,05; arsen 0,1; nikiel 0,5; bor 2; ołów 2; fluor 9; cynk 30; mangan 50; żelazo 100. Charakteryzuje się też dużą chłonnością wodną, która zależnie od rozdrobnienia waha się 200–290%.

O wartości nawozowej substancji organicznej decyduje stosunek C/N, który w słomie wynosi 80:1. Bezpośrednie nawożenie słomą jest niekorzystne ze względu na dużą zawartość w niej węglowodanów, które stają się pożywką dla mikroorganizmów glebowych zabierających azot i składniki mineralne roślinom wyższym.

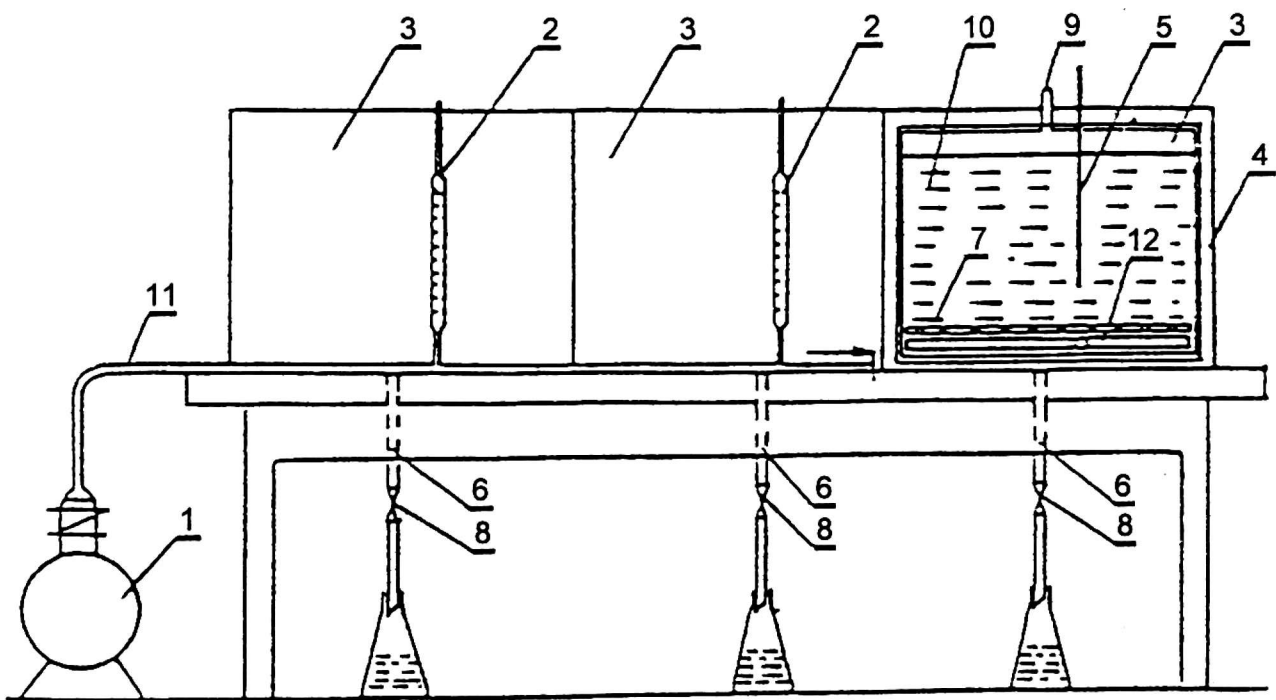
Metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone w laboratorium Zakładu Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska Politechniki Warszawskiej w Płocku na stanowisku badawczym, przedstawionym na rysunku 1. Użyto do tego celu komór zamkniętych, tzw. bioboksów z wymuszonym przewietrzaniem i pełną kontrolą powietrza odbieranego z komory (Rogiński, Jasińska 1995). Przewietrzanie odbywało się przez perforowany ruszt podtrzymujący.

Badania prowadzono na osadzie przefermentowanym, pobranym z Oczyszczalni Ścieków w Maszewie koło Pło-

cka. Osad nieodwodniony pochodził ze zbiornika uśredniającego, znajdującego się bezpośrednio po wydzielonych komorach fermentacyjnych. Posiadał on płynną konsystencję z niewielką ilością części stałych o wielkości od 0,5 do 5,0 mm. Osad odwodniony uzyskano przy pomocy wirówki szwedzkiej firmy ALFA-LAVAL. Charakteryzował się on jednolitą, ciastowatą konsystencją.

Słoma użyta do badań była materiałem najbardziej dostępnym, co spowodowało użycie właśnie tego materiału. Była ona dobrze wysuszona i pocięta na odcinki długości od 1 do 3 cm w celu zwiększenia powierzchni kontaktu z osadem. Pochodziła z gospodarstwa rolnego znajdu-



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do badań wieloetapowych: 1 – sprężarka, 2 – rotametr, 3 – zamknięta komora kompostowa $V = 40 \text{ dm}^3$, 4 – izolacja termiczna, 5 – termometr, 6 – odpływ cieku, 7 – ruszt, 8 – zawór odcinający, 9 – odpowietrzenie, 10 – zagęszczona masa kompostowa, 11 – przewód doprowadzający powietrze, 12 – przewód napowietrzający komorę kompostową

Fig. 1. Outline of the research stand for multistage research: 1 – compressor, 2 – rotameter, 3 – closed composting chamber $V = 40 \text{ dm}^3$, 4 – thermal insulation, 5 – thermometer, 6 – outflow, 7 – grate, 8 – check-valve, 9 – venting, 10 – condensed composting mass, 11 – main aeration, 12 – main aeration composting chamber

jącego się w pobliżu oczyszczalni ścieków. Osad nie odwodniony i odwodniony oraz słoma użyta do kolejnych serii badań była pobierana z tych samych miejsc.

Przygotowanie masy kompostowej oraz proces kompostowania osadu nie odwodnionego i odwodnionego ze słomą przebiegały w trzech etapach:

Etap I. Osad nie odwodniony w poszczególnych próbach mieszano ze słomą w ilości 15 litrów na 5 kg słomy (15 kg osadu odwodnionego na 5 kg słomy). Następnie masę kompostową przenoszono do komory zamkniętej, zagęszczano i zakrywano komorę. Po zainicjowaniu procesu termicznego masę kompostową równomiernie napowietrzano. W przypadku kompostowania osadu nie odwodnionego nadmiar osadu nie wchłonięty przez słomę odprowadzany był z komory do zlewki. Po zakończeniu procesów termicznych w komorze odciek wykorzystywany był do utrzymania odpowiedniej wilgotności masy kompostowej. Etap ten kończył się w momencie, gdy temperatura w przyzmi obniżała się do około 25–30°C i trwał średnio 11 dni (w przypadku osadu odwodnionego średnio 7 dni).

Etap II. Masę kompostową wyjmowano ze zbiornika w celu obniżenia jej temperatury do temperatury otoczenia. Następnie dodawano 6 litrów osadu nie odwodnionego (6 kg osadu odwodnionego), mieszano, przerzucano do komory, zagęszczano i zamykano komorę. Po zainicjowaniu procesu termicznego masę kompostową równomiernie napowietrzano. Po zakończeniu procesów termicznych w komorze odciek wykorzystywany był do utrzymania odpowiedniej

wilgotności masy kompostowej. Podobnie jak pierwszy, etap drugi kończył się w chwili obniżenia temperatury do około 25–30°C i trwał średnio 7 dni (w przypadku osadu odwodnionego średnio 11 dni).

Etap III. Czynności w tym etapie wykonywane były podobnie jak w poprzednich etapach. Do masy kompostowej dodawano 5 litrów osadu nie odwodnionego (5 kg osadu odwodnionego). Etap ten trwał średnio 9 dni w obydwu przypadkach. Cały proces wieloetapowego kompostowania nie odwodnionych i odwodnionych osadów ściekowych z siewką ze słomy pszennej trwał średnio 27 dni.

Wyniki badań

Przeprowadzone badania nad przydatnością nie odwodnionych i odwodnionych osadów ściekowych do kompostowania wspólnie z siewką ze słomy pozwoliły na określenie optymalnych warunków prowadzenia procesu, z jednoczesnym uzyskaniem jak najlepszych wartości nawozowych kompostu. Wyniki analizy fizykochemicznej substratów użytych do kompostowania przedstawiono w tabelach 2, 3.

Wyniki badań wieloetapowego kompostowania odwodnionych i nieodwodnionych osadów z siewką przedstawiają tabele 4, 5. W wyniku przeprowadzonych badań wieloetapowego kompostowania nieodwodnionych osadów ściekowych z siewką ze słomy pszennej maksymalna temperatura w przyzmi kom-

TABELA 2. Parametry substratów użytych do kompostowania słomy z nieodwodnionym osadem ściekowym
 TABLE 2. Parameters of substrates used in composting of straw with non-dehydrated sewage sludge

Seria badań Research serie	Skład Composition		Charakterystyka masy kompostowej Composting substance characteristics					Słoma Straw			
	osad Sludge	słoma Straw	Nie odwodniony osad ściekowy Non-dehydrated sewage sludge	Wilgotn. % H ₂ O	s.m. org. % s.m.	K ₂ O % s.m.	C _{org} % s.m.	BZT ₅ MgO ₂ /dm ³	ChZT mgO ₂ /dm ³	pH	Wilgotn. % H ₂ O
Seria nr-1 23.11-19.12.96	25	5	96,7	98,7	0,15	1,61	11 990	14 120	6,9	8,3	94,1
Seria nr-2 27.01-24.02.97	25	5	96,7	98,6	0,15	1,61	11 990	14 120	6,9	8,3	94,1
Seria nr-3 24.02-22.03.97	25	5	96,7	98,6	0,15	1,61	11 990	14 120	6,9	8,3	94,1
Seria nr-4 25.03-21.04.97	25	5	95,6	97,9	0,18	2,26	12 576	15 534	6,8	7,8	94,6
Seria nr-5 27.04-25.05.97	25	5	95,2	97,9	0,18	2,26	12 576	15 534	6,8	7,8	94,6

TABELA 3. Parametry substratów użytych do kompostowania słomy z odwodnionym osadem ściekowym
 TABLE 3. Parameters of substrates used in composting of straw with dehydrated sewage sludge

Seria badań Research serie	Skład Composition		Charakterystyka masy kompostowej Composting substance characteristics					słoma straw			
	osad sludge	słoma straw	odwodniony osad ściekowy dehydrated sewage sludge	Wilgotn. % H ₂ O	s.m. org. % s.m.	K ₂ O % s.m.	C _{org} % s.m.	BZT ₅ MgO ₂ /dm ³	ChZT mgO ₂ /dm ³	pH	Wilgotn. % H ₂ O
Seria nr-1 23.11-19.12.96	25	5	77,5	90,2	0,22	4,55	13 240	16 960	6,8	8,3	94,1
Seria nr-2 27.01-24.02.97	25	5	77,5	90,2	0,22	4,55	13 240	16 960	6,8	8,3	94,1
Seria nr-3 24.02-22.03.97	25	5	77,5	90,2	0,22	4,55	13 240	16 960	6,8	8,3	94,1
Seria nr-4 25.03-21.04.97	25	5	75,8	89,7	0,2	4,83	14 400	18 130	7,0	7,8	94,6
Seria nr-5 27.04-25.05.97	25	5	75,8	89,7	0,2	4,83	14 400	18 130	7,0	7,8	94,6

TABELA 4. Przebieg wieloetapowego kompostowania słomy z nieodwodnionym osadem ściekowym (między 3 a 6 dniem każdego etapu)

Składnik Constituent	Etap Stage	Czas trwania procesu Timing of			
		Seria nr-1 23.11.–19.12.96		Seria nr-2 27.01.–24.02.97	
		zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results	zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results
pH	I	7,4–7,5	7,4	7,4–7,5	7,4
	II	7,4–7,8	7,5	7,4–7,8	7,5
	III	7,4–7,9	7,5	7,4–7,9	7,5
Temperatura Temperature [°C]	I	15–59	55	15–64	61
	II	28–52	50	29–56	51
	III	15–51	44	15–57	48
Wilgotność Humidity [%]	I	68,8–75,7	71,4	68,8–75,7	71,8
	II	72,2–79,4	76,4	72,2–79,4	76,7
	III	75,1–79,8	77,2	75,1–79,8	77,1
Ilość powietrza Air quantity [dm ³ g s.m.*d]	I	0,145–0,154	0,15	0,145–0,154	0,15
	II	0,149–0,153	0,15	0,149–0,153	0,15
	III	0,145–0,156	0,15	0,145–0,156	0,15
Sucha m. org. Dry organic subst. [% s.m.]	I	55–70	62	54–69	57
	II	51–59	57	50–58	54
	III	46–51	48	45–50	47
Temp. otoczenia Outside temperature [°C]	I	10–13	12	10–13	12
	II	11–14	12	11–14	12
	III	11–13	12	11–13	12

postowej wynosiła 64°C w etapie pierwszym, 56°C w etapie drugim i 57°C w etapie trzecim, a z odwodnionymi osadami temperatura w przyłomie kompostowej wynosiła 66°C w etapie pierwszym, 64°C w etapie drugim i 54°C w etapie trzecim.

Wilgotność masy kompostowej z nieodwodnionym osadem wynosiła odpowiednio: 65,8–76,5% w etapie pierwszym, 65,8–79,4% w etapie drugim oraz 71,2–80,1% w etapie trzecim, a z osadem odwodnionym wahała się odpo-

wiednio: 46,2–62,4% w etapie pierwszym, 46,2–68,9% w etapie drugim oraz 48,8–64,8% w etapie trzecim.

W trakcie procesu obniżeniu uległa zawartość suchej masy organicznej w przyłomie kompostowej z osadem nieodwodnionym z średniej wartości początkowej 70% s.m. do średnio 61% s.m. w etapie pierwszym, 54% s.m. w etapie drugim i 47% s.m. w etapie trzecim, a z osadem odwodnionym z średniej wartości początkowej 68% s.m. do średnio 62% s.m. w etapie pierwszym, 54% s.m. w etapie drugim i 44% s.m. w etapie trzecim.

TABLE 4. The course of multistage composting of straw with non-dehydrated sewage sludge (between 3rd and 6th day of each stage)

Seria nr -3 24.02–22.03.97		Seria nr-4 25.03.–21.04.97		Seria nr-5 27.04.–25.05.97	
zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results	zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results	zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results
7,4–7,5	7,4	7,4–7,5	7,4	7,4–7,5	7,4
7,4–7,8	7,5	7,4–7,8	7,5	7,4–7,8	7,5
7,4–7,9	7,5	7,4–7,9	7,5	7,4–7,9	7,5
17–53	51	16–56	55	22–64	61
28–51	48	25–53	51	32–55	51
19–50	45	15–52	48	18–52	47
68,8–75,7	71,3	68,8–75,7	71,9	68,8–75,7	71,3
72,2–79,4	76,4	72,2–79,4	76,5	72,2–79,4	76,2
75,1–79,8	77,0	75,1–79,8	77,1	75,1–79,8	77,5
0,145–0,154	0,15	0,145–0,154	0,15	0,145–0,154	0,15
0,149–0,153	0,15	0,149–0,153	0,15	0,149–0,153	0,15
0,145–0,156	0,15	0,145–0,156	0,15	0,145–0,156	0,15
56–71	59	56–72	62	55–69	61
52–56	53	51–58	56	50–57	52
45–49	47	45–48	47	45–49	48
10–17	15	10–16	15	14–18	18
11–16	15	11–16	15	11–16	18
11–18	15	11–18	15	11–18	18

Odczyn pH był zasadowy dla masy z osadem nie odwodnionym jak i odwodnionym i wahał się od 7,4 do 7,9, dzięki czemu zostały zapewnione właściwe warunki dla rozwoju mikroorganizmów oraz zabezpieczone częściowo przed stratą azotu.

Podczas kompostowania osadu nie odwodnionego ze słomą, osad, który nie został wchłonięty przez sieczkę, odciekł z przyzmy i posłużył jako materiał do jej polewania.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania kompostowania nie odwodnionych i odwodnionych osadów ściekowych z sieczką ze słomy pozwoliły na zapoznanie się z efektywnością i dynamiką procesu kompostowania, jak i ze zjawiskiem termicznego odkażenia masy kompostowej. Dzięki badaniom powstała możliwość określenia optymalnych warunków i parametrów prowadzenia procesu oraz odpo-

TABELA 5. Przebieg wieloetapowego kompostowania słomy z odwodnionym osadem ściekowym (między 3 a 6 dniem każdego etapu)

Składnik Constituent	Etap Stage	Czas trwania procesu Timing of			
		Seria nr-1 23.11.–19.12.96		Seria nr-2 27.01.–24.02.97	
		zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results	zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results
pH	I	7,8–7,6	7,7	7,8–7,6	7,7
	II	7,6–7,8	7,7	7,6–7,8	7,7
	III	7,5–7,7	7,6	7,5–7,7	7,6
Temperatura Temperature [°C]	I	28–63	61	31–65	63
	II	44–64	60	50–56	55
	III	27–54	51	30–51	50
Wilgotność Humidity [%]	I	55,4–46,2	52,4	55,4–46,2	52,4
	II	48,8–67,7	62,5	48,8–67,7	62,5
	III	54,2–61,4	59,4	54,2–61,4	59,4
Ilość powietrza Air quantity [dm ³ g s.m.*d]	I	0,142–0,151	0,15	0,142–0,151	0,15
	II	0,139–0,162	0,15	0,139–0,162	0,15
	III	0,1446–0,153	0,15	0,1446–0,153	0,15
Sucha m. org. Dry organic subst. [mg/dm ³]	I	54–69	63	56–68	66
	II	54–60	56	53–61	54
	III	49–51	50	41–46	44
Temp. otoczenia Outside temperat. [°C]	I	11–14	12	11–14	12
	II	12–13	12	12–13	12
	III	13–15	14	13–15	14

wiedniego składu mieszanki kompostowej.

W warunkach wiejskich zaleca się kompostowanie nie odwodnionych osadów ściekowych. Mechaniczne odwodnienie osadów jest ekonomicznie nie uzasadnione. W warunkach miejskich wskazane jest odwadnianie osadu przed procesem kompostowania. Analizując przebieg rozkładu temperatury w poszczególnych etapach stwierdzono, że już po pierwszym etapie dochodzi do termicznego odkażenia. Złoże może wówczas dojrzewać na pryzmach poza

oczyszczalnią, wymaga to jednak dużego terenu. Trzyetapowe kompostowanie celowe jest wówczas, gdy powstały kompost jest przeznaczony do celów handlowych i gdy brak jest rozległych terenów. Trzyetapowe kompostowanie wiąże się jednak z wyższymi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia można sformułować następujące wnioski:

1. Nie odwodnione i odwodnione osady ściekowe można kompostować wspólnie z siewką ze słomy, w wyniku

TABLE 5. The course of multistage composting of straw with dehydrated sewage sludge (between 3rd and 6th day of each stage)

Seria nr -3 24.02.–22.03.97		Seria nr-4 25.03.–21.04.97		Seria nr-5 27.04.–25.05.97	
zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results	zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results	zakres zmienności Range of fluctuations	wartości średnie Mean results
7,8–7,6	7,7	7,8–7,6	7,7	7,8–7,6	7,7
7,6–7,8	7,7	7,6–7,8	7,7	7,6–7,8	7,7
7,5–7,7	7,6	7,5–7,7	7,6	7,5–7,7	7,6
47–59	58	45–62	60	45–66	62
52–58	56	41–59	56	48–56	55
44–52	50	38–51	50	39–54	52
55,4–46,2	52,4	55,4–46,2	52,4	55,4–46,2	52,4
48,8–67,7	62,5	48,8–67,7	62,5	48,8–67,7	62,5
54,2–61,4	59,4	54,2–61,4	59,4	54,2–61,4	59,4
0,142–0,151	0,15	0,142–0,151	0,15	0,142–0,151	0,15
0,139–0,162	0,15	0,139–0,162	0,15	0,139–0,162	0,15
0,1446–0,153	0,15	0,1446–0,153	0,15	0,1446–0,153	0,15
57–62	60	55–61	60	57–61	59
54–57	55	53–57	54	56–53	54
43–48	46	43–48	46	42–49	47
11–19	15	11–17	15	11–18	15
12–16	15	12–19	15	12–17	15
13–17	15	13–18	15	13–16	15

czego otrzymuje się wyjałowienie masy kompostowej.

2. Aby uzyskać optymalne prowadzenie procesu wstępnego kompostowania potrzebne jest zagęszczenie mieszanki kompostowej z osadem nie odwodnionym, jak i odwodnionym do około 400 kg/m³, co spowoduje małe straty ciepła i szybki wzrost temperatury w przyzmię.

3. Kompostowanie odwodnionych osadów ściekowych jest celowe w dużych oczyszczalniach. Zaleca się prowa-

dzenie trzyetapowego kompostowania ze względu na deficyt terenu.

4. W warunkach wiejskich korzystniejsze jest jednoetapowe kompostowanie nieodwodnionych osadów i dojrzewanie złożeń na otwartym terenie.

Literatura

BERNACKA J., PAWŁOWSKA L. 1994: *Zagospodarowanie i wykorzystanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków*. Wydaw. IOŚ, Warszawa.

KEMPA E., 1983: *Przyszłościowa gospodarka osadami*. Materiały z Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej, Częstochowa, 15.

ROGIŃSKI W., JASIŃSKA E. 1995: *Badania procesów biologicznych przerabiania bioodpadów w systemie wielokrotnionego kompostowania*. Przegląd Naukowy Wydz. Mel. i Inżyn. Środ., Warszawa

Summary

Research on biological processes during composting of biological waste and sewage sludge. The amount of sludge in

sewage-treatment plants constantly increases. The solution of rising problems is composting sludge. The investigation which were made showed that the compost received from sludge is suitable for use as manure in agriculture, if it does not contain excessive amount of heavy metals.

Authors' address

W. Rogiński, P. Wichowski
Warsaw Agricultural University – SGGW
02-787 Warszawa
ul. Nowoursynowska 166
E. Jasińska
Warsaw Technical University
(Department in Płock)
Poland