

**Władysław ROGIŃSKI**

Katedra Budownictwa Wiejskiego SGGW

**Ewa JASIŃSKA**

Zakład Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska  
WBiMR Politechniki Warszawskiej w Płocku

## **Badania procesów biologicznych przerabiania bioodpadów w systemie zwielokrotnionego kompostowania**

### **Wstęp**

Intensyfikacja produkcji polowej spowodowała konieczność stosowania nawożenia mineralnego. Duża efektywność takiego nawożenia ukształtowała przeświadczenie o podrzędnej roli nawozów organicznych w produkcji roślinnej. Badania wykazały, że stosowanie tylko nawozów mineralnych dostarczających azot, fosfor i potas zmusza rośliny do pobierania z gleby pozostałych składników (mikroelementów) niezbędnych do życia i plonowania. Toteż często zdarza się, że w glebie może występować niedobór tych składników, co ujawnia się w stagnacji plonów oraz pogorszeniu się pokarmowej jakości roślin.

Wzbogacenie gleby w związki próchnicze jest trudne. Aby próchnica mogła powstać, trzeba nie tylko dostarczyć materiału organicznego w postaci obornika, nawozów zielonych bądź kompostu, ale należy stworzyć korzystne warunki wodne i powietrzne, które nie powodowałyby zbyt szybkiego rozkładu próchnicy. Tak więc wykorzystanie bioodpadów powstających w gospodarstwach wiejskich do wytwarzania obornika i kompostu jest wysoce zasadne ze względu na ich wartość nawozową i pozytywny wpływ na glebę, a także na ochronę środowiska.

W wielu gospodarstwach zajmujących się produkcją roślinną i zwierzęcą powstają duże ilości odpadów (Wasiak, Siuta 1991). Odpady te należy więc wykorzystać jako surowiec do produkcji obornika i kompostu. W gospodarstwach przy chowie bezściółkowym w splawianej wodą gnojowicy nie występują procesy termiczne, co powoduje przeżywanie w niej wielu drobnoustrojów także patogennych i różnych larw pasożytów. W źle przechowywanej gnojowicy, przy nie kontrolowanej fermentacji powstają produkty o szkodliwym działaniu ubocznym (Nebikier 1973).

Kombinowane stosowanie bioodpadów z gnojowicy w formie kompostu jest najkorzystniejszym sposobem nawożenia organicznego, gdyż następuje biotermiczne odkażenie gnojowicy, a część azotu rozpuszczonego w gnojowicy zostaje okresowo unieruchomiona i nie podlega wymywaniu w głąb gleby (Kutera 1977, 1994). Sama gnojowica jest nawozem organicznym o dużej zawartości substancji nawozowych, ma jednak niezbyt korzystny stosunek węgla do azotu, fosforu, potasu (Ratyński 1974). Bioodpady z gospodarstw wiejskich stanowią o strukturze kompostu. Zawarte w nich substancje organiczne ulegają wolnemu rozkładowi biochemicznemu w czasie kompostowania.

Celem podjętych badań było ustalenie przydatności bioodpadów z gospodarstw wiejskich i gnojowicy do produkcji kompostu w warunkach sztucznych. Wyniki tych badań posłużą do wdrożenia nowej technologii utylizacji bioodpadów i gnojowicy.

Zakres pracy obejmował badania procesów zwielokrotnionego kompostowania bioodpadów i gnojowicy w komorach zamkniętych w możliwie optymalnych warunkach. Podstawowe elementy badawcze to: czas trwania procesu, temperatura powietrza i masy kompostowej, odczyn pH mieszaniny, objętość dozowanego powietrza, wilgotność surowego kompostu oraz stosunek węgla do azotu.

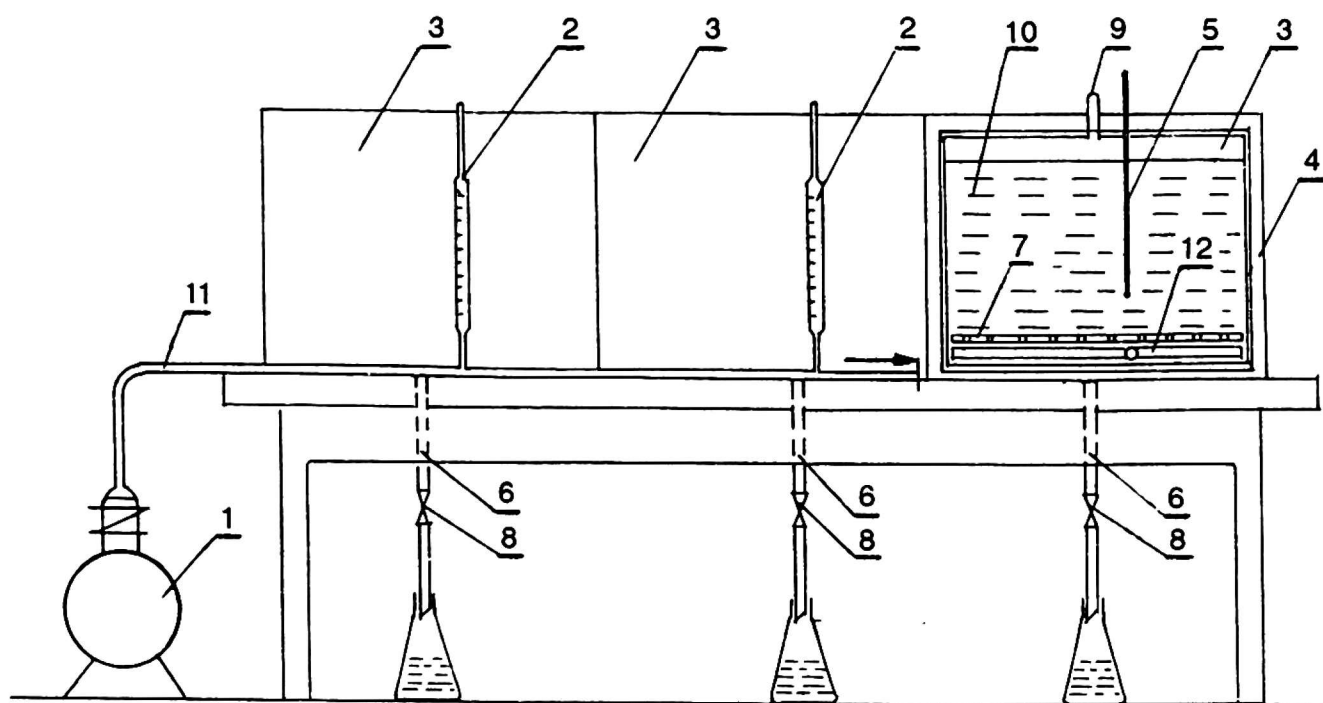
### Metodyka badań

Badania zwielokrotnionego wytwarzania kompostu z bioodpadów zagrodowych i gnojowicy prowadzone są w Filii Politechniki Warszawskiej w Płocku (por. stanowisko badawcze rys. 1). Użyto do tego celu

komór zamkniętych, tzw. bioboksów z wymuszonym przewietrzaniem i pełną kontrolą powietrza odbieranego z tej komory. Przewietrzanie odbywa się przez perforowaną podłogę. Gnojowica użyta do badań pobierana była z fermy w Łącku, która posiadała duże uwodnienie (s.m. = 1,47%). Wielkość cząsteczek niestrawionej paszy oraz kału wynosiła 0,5–30 mm.

Bioodpady były dobrze wysuszone, pochodziły z gospodarstwa oddalonego 20 km od Płocka, nie były więc zanieczyszczone bezpośrednio przez przemysł. Gnojowica i bioodpady zagrodowe użyte do kolejnych serii doświadczeń były pobierane z tych samych miejsc. Kompostowanie przebiegało trójstopniowo.

**Etap I.** Gnojowicę w poszczególnych próbach mieszano z bioodpadami w różnych proporcjach (tab. 1). Bioodpady odpowiednio pocięto (tab. 1), zalewano gnojowicą i mieszano, następnie odpowiednio zagęszczano i komorę zakrywano. Po stwierdzeniu zainicjowania procesu



RYSUNEK 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – sprężarka, 2 – rotometr, 3 – komora kompostowa, 4 – ocieplenie, 5 – termometr, 6 – odpływ odcieku, 7 – ruszt podtrzymujący, 8 – zawór odcinający, 9 – odpowietrzenie, 10 – zagęszczona masa kompostowa, 11 – przewód doprowadzający powietrze do komór kompostowych, 12 – przewód napowietrzający komorę kompostową

TABELA 1. Program badań wielokrotnionego kompostowania bioodpadów zagrodowych i gnojowicy trzody chlewnej

Seria badań	Skład masy kompostowej		Charakterystyka							
	gnojowica	bio-odpady	gnojowica od trzody chlewnej							
	[l]	[kg]	BZT <sub>5</sub> [mg/dm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> ]	pH	CHZT [mg/dm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> ]	sucha masa [mg/dm <sup>3</sup> ]	N <sub>og</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	K <sub>2</sub> O [mg/dm <sup>3</sup> ]	CaO [mg/dm <sup>3</sup> ]
nr 1 1.07–27.07.94	11	5,7	7040	7,8	11 440	14 680	2840	2300	2200	809
	masa zagęszczona g = 405 kg/m <sup>3</sup>									
nr 2 1.07–27.07.94	11	5,6	7040	7,8	11 440	14 680	2840	2300	2200	809
	masa zagęszczona g = 401 kg/m <sup>3</sup>									
nr 3 1.07–27.07.94	11	5,7	7040	7,8	11 440	14 680	2840	2300	2200	809
	masa zagęszczona g = 405 kg/m <sup>3</sup>									
nr 1 1.08–27.08.94	11	5,6	7492	7,7	12 176	14 520	2640	2500	2600	943
	masa zagęszczona g = 401 kg/m <sup>3</sup>									
nr 2 1.08–27.08.94	11	5,7	7492	7,7	12 176	14 520	2640	2500	2600	943
	masa zagęszczona g = 401 kg/m <sup>3</sup>									
nr 3 1.08–27.08.94	11	5,7	7492	7,7	12 176	14 520	2640	2500	2600	943
	masa zagęszczona g = 401 kg/m <sup>3</sup>									

Wszystkie bioodpady zagrodowe były pocięte na 2–2,5 cm i wysuszone do wilgotności około 8%. Masa kompostowa w trakcie całej serii wielokrotnionego kompostowania była wstępnie wymieszana, polewana gnojowicą, ubijana i napowietrzana. W I etapie użyto 11 l gnojowicy, w II etapie dodano 4 l gnojowicy i odciek z I etapu, w III etapie dodano 5 l gnojowicy i odciek z II etapu. Razem użyto 20 l gnojowicy. Po 28 dniach masa kompostowa zostaje przetrzucona na pryzmę kompostową i tam dalej zachodzi proces kompostowania. Pryzma podlewana jest codziennie gnojowicą w celu sprawdzenia jej chłonności.

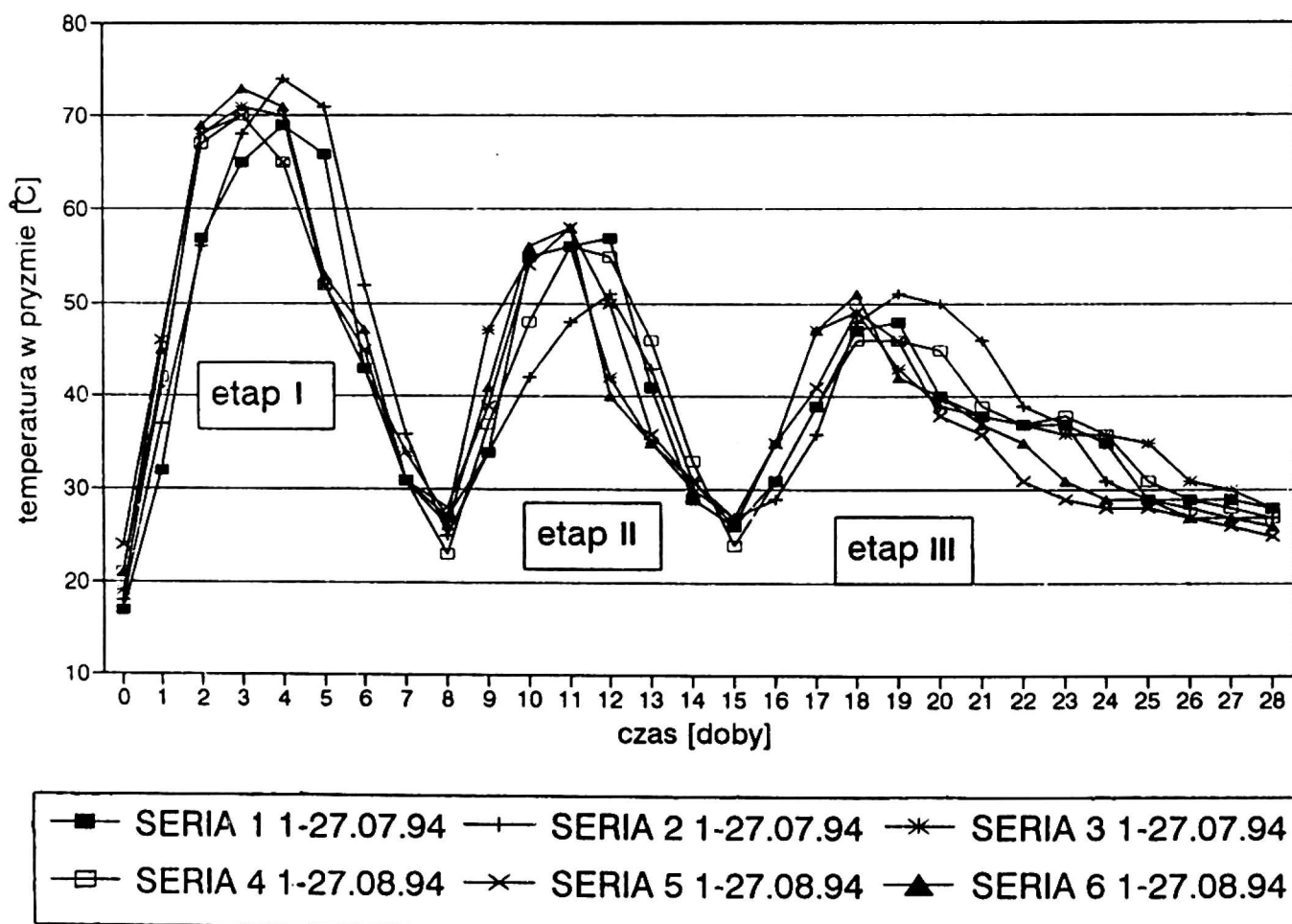
termicznego, masę kompostowaną napowietrzano.

W momencie gdy temperatura w komorze zaczynała się obniżać, masę przerzucano. Proces ten powtarzano do chwili, gdy po przerzuceniu masy nie następował wzrost temperatury (rys. 2). Nadmiar gnojowicy nie wchłonięty przez bioodpady odprowadzany był z komory do zlewki. Po zakończeniu procesów termicznych w komorze (tab. 1) odciek był wykorzystany do utrzymania odpowiedniej wilgoci masy kompostowej. W masie kompostowej badano: temperaturę, wilgotność, suchą masę, odczyn i ilość dostarczonego powietrza. Gnojowica dodawana do kompostu miała za zadanie utrzymanie odpowiedniej ilości wilgoci, substancji pokarmowych, takich jak azot, fosfor, potas, a przy podwyższonej temperaturze uległa termicznemu odkażeniu. Czas trwania tego etapu wynosi około 7 dni (rys. 2).

**Etap II.** Masę kompostową zalewano powtórnie gnojowicą, mieszano następnie odpowiednio zagęszczano i komorę powtórnie zamykano. Do komory dostarczano również powietrze po stwierdzeniu zainicjowania procesu termicznego. W momencie spadku temperatury w komorze masę przerzucano i proces ten powtarzano do chwili, gdy po przerzuceniu masy nie następował wzrost temperatury. Kompostowanie bioodpadów w etapie drugim trwa także 7 dni (rys. 2).

**Etap III.** Czynności wykonywane są podobnie jak w etapie II, tylko czas trwania tego etapu wynosi 12–14 dni (rys. 2). Cały proces zwielokrotnionego kompostowania słomy żytniej i gnojowicy w komorach zamkniętych przebiega 26–28 dni.

Analizy fizykochemiczne gnojowicy prowadzono zgodnie z normami krajowymi i resortowymi, a oznaczenia fizykoche-



RYSUNEK 2. Zmiany temperatury podczas kompostowania słomy żytniej i gnojowicy

miczne wykonano metodami według polskich norm. Uzyskane wyniki zebrano i opracowano do celów statystycznych zgodnie z ogólnie przyjętymi metodami.

## Wyniki

Z analizy wyników uzyskanych w czasie badań (tab. 2) wynika, że wstępne zwielokrotnione kompostowanie bioodpadów zagrodowych z gnojowicą w zamkniętych komorach kompostowych zmienia te odpady w surowiec, który po okresie dojrzenia (8–14 tygodni) jest cennym nawozem organicznym. W procesie zwielokrotnionego kompostowania temperatura w przyźmie podniosła się do 73°C w etapie pierwszym, 58°C w etapie drugim i 51°C w etapie trzecim (rys. 2, tab. 2), co wskazuje że nastąpiło odkażenie surowców i jednocześnie został przyspieszony rozkład substancji organicznej w komorze.

W trakcie zwielokrotnionego kompostowania odczyn masy przerabianej był zasadowy, wynikał on z przemian azotu zawartego w dużej ilości w gnojowicy. W badaniach skoncentrowano się na przebiegu w czasie 26–28 dni procesu termicznego w bioboksie. Maksymalna wartość temperatury w przyźmie wynosiła 73°C w etapie I, 58°C w II i 51°C w III. Podczas tego kompostowania w warunkach optymalnych rozkład substancji organicznej jest uzależniony od charakterystyki materiałów jakim jest bioodpad zawierający celulozy i ligniny, które są trudno rozkładalne.

Analizując sposób przygotowania masy do kompostowania można stwierdzić, że aby uzyskać temperaturę odpowiednio wysoką, czyli 51–73°C, która zapewnia pasteryzację materiału kompostowanego, należy biomasę zagęścić przez ubicie do około 400 kg/m<sup>3</sup>. Powoduje to małe straty ciepła i jednocześnie szybki wzrost temperatury. Ubita masa kompostowa wymaga ciągłego napowietrzania, aby zachodził proces rozkładu węglowodanów i związany z tym wzrost temperatury. Przy napowietrzaniu wynoszącym 0,09–0,12 dm<sup>3</sup>/g s.m.\*h

mineralizacja rozkładanej substancji organicznej powodowała wzrost temperatury do 73°C po 3 dniach kompostowania w etapie I, 58°C w etapie II i 51°C w III, przy wilgotności masy kompostowanej wynoszącej około 78–80%. Wilgotność ta jest korzystna, ponieważ wykorzystana tu chłonność słomy wynosząca 257% nie wpływa jeszcze ujemnie na przebieg procesu (tab. 1).

Gnojowica, która nie została wchłonięta przez sieczkę, odciekła z przyźmy i miała podwyższoną temperaturę. Temperatura odcieku wynosiła 70°C, przy temperaturze w przyźmie 73°C, toteż nastąpiło jej całkowite odkażenie. Odciek charakteryzował się zmniejszeniem BZT<sub>5</sub> w porównaniu z gnojowicą użytą do kompostowania o 21,45%, zawartość suchej masy uległa również zmniejszeniu o 58,2%, ilość amoniaku w odcieku zredukowana została o 69%, odczyn odcieku był lekko zasadowy. Te dane świadczą o przydatności odcieku do nawadniania pól uprawnych, bez obawy skażenia środowiska przyrodniczego. Charakter odcieku pozwala na nawadnianie pól w odpowiednich dawkach za pomocą deszczowni, bez obawy zatykania dysz zraszaczy.

Przeprowadzone badania nad efektywnością zwielokrotnionego kompostowania bioodpadów zagrodowych i gnojowicy od trzody chlewnej, pozwoliły na zapoznanie się z dynamiką procesu kompostowania wstępnego, jak i zjawiskiem termicznego odkażania substratów. Dały również możliwość opracowania optymalnych warunków prowadzenia zwielokrotnionego procesu i pozwoliły na wyjałowienie odcieku. W następstwie przeprowadzonych badań laboratoryjnych i uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski.

## Wnioski

1. W toku badań udowodniono słuszność postawionej tezy, że gnojowicę i bioodpady zagrodowe można wspólnie kompostować, gdzie w wyniku procesów termicznych cała masa kompostowana ulega wyjałowieniu. Znajdujące się w gnojowicy

TABELA 2. Przebieg wielokrotnionego kompostowania bioodpadów zagrodowych i gnojowicy trzody chlewnej (między 3 a 6 dniem każdego etapu)

Składnik	Etap	Czas trwania procesu (dni)											
		seria nr 7 1.07-27.07.94		seria nr 8 1.07-27.07.94		seria nr 9 1.07-27.07.94		seria nr 10 1.08-27.08.94		seria nr 11 1.08-27.08.94		seria nr 12 1.08-27.08.94	
		zakres zmienności	wartości średnie	zakres zmienności	wartości średnie	zakres zmienności	wartości średnie	zakres zmienności	wartości średnie	zakres zmienności	wartości średnie	zakres zmienności	wartości średnie
pH	I	7,4-7,8	7,6	7,4-7,8	7,6	7,4-7,8	7,6	7,6-8,0	7,8	7,6-8,0	7,8	7,6-8,0	7,8
	II	7,4-7,8	7,6	7,4-7,8	7,6	7,4-7,8	7,6	7,6-8,0	7,8	7,6-8,0	7,8	7,6-8,0	7,8
	III	7,4-7,8	7,6	7,4-7,8	7,6	7,4-7,8	7,6	7,6-8,0	7,8	7,6-8,0	7,8	7,6-8,0	7,8
Temperatura [°C]	I	65-69	68	68-74	72	68-71	70	67-70	68	68-70	69	69-73	72
	II	55-57	56	56-57	57	55-56	55	48-56	55	54-58	56	56-58	57
	III	47-48	48	48-51	50	47-49	49	39-46	45	46-49	48	47-51	50
Wilgotność [%]	I	76,8-77,6	77,2	77,9-78,3	78,1	79,0-79,4	79,2	79,7-80,6	80,2	78,3-79,5	78,9	79,5-80,5	80
	II	78,3-79,7	78,9	78,1-78,9	78,5	79,7-80,6	80,2	78,9-79,7	79,7	79,1-80,1	79,6	79,1-79,9	79,5
	III	77,9-79,7	79,7	77,9-79,3	78,6	79,5-80,5	80	79,7-80,5	80,1	79,2-80,2	79,7	79,2-80,2	79,7
Ilość powietrza [dm <sup>3</sup> g s.m.h <sup>-3</sup> ]	I	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1
	II	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1
	III	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1	0,096-0,102	0,1
Sucha masa organiczna [g/kg]	I	94,78-95,32	95,05	95,12-95,96	95,54	94,94-94,08	94,51	95,66-94,94	95,13	95,98-95,04	94,51	95,68-95,12	95,4
	II	93,96-94,62	94,29	94,15-94,85	94,5	93,92-93,14	93,53	94,72-94,14	94,43	94,52-94,02	94,27	94,96-94,58	94,77
	III	92,64-94,32	93,48	93,12-93,88	93,5	92,84-93,16	93	93,52-94,02	93,77	93,92-93,46	93,69	93,62-94,08	93,85
Sucha masa [g/kg]	I	200-204	202	206-212	209	206-208	204	204-212	208	208-212	210	198-206	202
	II	184-190	187	187-193	190	184-188	185	194-198	196	190-198	194	187-193	190
	III	165-173	181	186-190	188	172-180	176	175-179	177	174-176	175	172-176	174
Temperatura otoczenia [°C]	I	27-34	30,5	27-34	30,5	28-34	31	28-34	31	28-34	31	28-34	31
	II	27-34	30,5	27-34	30,5	28-34	31	28-34	31	28-34	31	28-34	31
	III	27-34	30,5	27-34	30,5	28-34	31	28-34	31	28-34	31	28-34	31

chorobotwórcze drobnoustroje giną, gdyż podwyższona temperatura działa jak podczas pasteryzacji.

2. Dla uzyskania optymalnych warunków prowadzenia procesu wskazane jest cięcie bioodpadów na kawałki maksymalnej długości 25 mm oraz wstępne mieszanie ich z gnojowicą, pozwala to uzyskać wysoką wilgotność bioodpadów, potrzebną do szybkiego prowadzenia wstępnego kompostowania.

3. Optymalne prowadzenie procesu wstępnego kompostowania jest możliwe po zagęszczeniu pociętej masy około 400 kg/m<sup>3</sup>, utrzymaniu wilgotności w granicach 78% i doprowadzeniu powietrza w ilości 0,09–0,12 dm<sup>3</sup>/g s.m.\*h.

4. Po 3–6 dniach w każdym etapie kompostowania w komorach zamkniętych sucha masa organiczna uległa obniżeniu o 1,91% w etapie I, o 0,89% w II i o 1,34% w III, co świadczy o tym, że uzyskany kompost wymaga dalszego dojrzewania w otwartych przyzmach jeszcze 8–14 tygodni.

5. Odciek uzyskiwany w procesie wstępnego kompostowania jest wyjałowiony. W porównaniu do gnojowicy nie oczyszczonej. W odcieku zawartość suchej masy jest mniejsza o ponad 55%, a amoniaku 63%, co wskazuje, że jest to dobry surowiec do nawadniania pól, jak również eliminuje kłopoty wynikające z magazynowania i rozprowadzania gnojowicy na pola

w porównaniu z surową gnojowicą. Badanie procesu zwielokrotnionego kompostowania pozwala na zmniejszenie odcieku około 70%.

## Literatura

- KUTERA J. 1977: *Wykorzystanie odchodów zwierzęcych z ferm dla celów rolniczych*. Bud. Roln. 10; 9–10.
- NEBIKER H. 1973: *Nowa metoda przygotowania nawozu płynnego*. ETH Sissach. Szwajcaria. Tłum. z niem. IMER XLVII, 254.
- RATYŃSKI K. 1974: *Ocena możliwości rolniczego wykorzystania gnojowicy*. Zielona Góra.
- ROGIŃSKI W., JASIŃSKA E. 1994a: *Jak gospodarować odpadami w zagrodzie wiejskiej*. Przeg. Tech. Rol. i Leś. 1; 26.

## Summary

**Research on biological processes of modifying of bio-debris in multiplied composting systems.** The paper presents the research on efficiency of multiplied composting of swine slurry with bio-waste materials formed in farmstead. The time of process continuation, the temperature of air and compost mass, the pH reaction, the volume of added air, as well as humidity of raw compost have been tested. Alkalinity of multiplied composting bio-debris and slurry have been proved in research procedure.

### Author's address:

W. Rogiński, E. Jasińska  
Warsaw Agricultural University – SGGW  
ul. Nowoursynowska 166  
02-787 Warszawa  
Poland