

DYNAMIKA ZMIAN DROBNOUSTROJÓW W OSADZIE ŚCIEKOWYM I SŁOMIE, KOMPOSTOWANYCH W BIOREAKTORZE

*Agnieszka Wolna-Maruwka*¹, *Jacek Czekala*², *Jacek Dach*³

¹ Katedra Mikrobiologii Rolnej,
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu

² Katedra Gleboznawstwa,
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu

³ Instytut Inżynierii Rolniczej,
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu

Wstęp

Wzrost stopy życiowej ludności zwiększa ilość osadów ściekowych, będących nieodłącznym elementem procesu oczyszczania ścieków. Zagospodarowanie osadów sprowadza się w Polsce głównie do deponowania ich na składowiskach. Mając na uwadze ich wartość nawozową poszukiwać należy skuteczniejszych metod rolniczego wykorzystania osadów.

Kompostowanie jest jednym z tradycyjnych sposobów przeróbki oraz unieszkodliwiania odpadów organicznych [KRZYWY i in. 2000; MAĆKOWIAK 2000]. Polega na mineralizacji i humunifikacji substancji zawartych w osadach ściekowych, przy wykorzystaniu naturalnych procesów rozkładu i butwienia. W wyniku tego procesu osiągnąć można przekształcenie odpadów zawierających łatwo rozkładalne związki organiczne oraz drobnoustroje na materiał bezpieczny pod względem sanitarnym [NGUYEN THI 2002]. Jest to metoda sprawdzona i powszechnie zalecana [MAĆKOWIAK, ORZECHOWSKA 1993; MAZUR, MALICKI 1993, CZYŻYK i in. 2002].

Celem niniejszej pracy było ilościowe określenie wybranych grup drobnoustrojów, w tym *Salmonella* sp. w kompostach z osadu ściekowego i słomy wyprodukowanych w bioreaktorach.

Materiały i metody badań

Doświadczenie założono w warunkach laboratoryjnych w 2004 roku. W badaniach użyto osadów ściekowych pochodzących z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków i słomy (pszenna i żytnia), a ich mikrobiologiczną analizę przedstawiono w tab. 1. Bioodpady kompostowano w bioreaktorach, służących do badań modelowych, o pojemności 125 dm³ każdej z komór. W doświadczeniu zróżnicowano ilości przepływającego tlenu, które wynosiły 6 dm³·min⁻¹ (kompost A)

i $3 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (kompost B). Masa obu komponentów wynosiła 9 kg s.m. na komorę, z czego 60% stanowił osad ściekowy, a 40% słoma. Przedstawione wyniki są średnimi z dwóch powtórzeń.

Materiał w obu bioreaktorach kompostowano przez 96 godz., zaś próbki kompostów pobierano z komór równocześnie, w zależności od aktualnej temperatury kompostowanego materiału (tab. 1).

Tabela 1; Table 1

Liczba danych grup drobnoustrojów w osadzie ściekowym i słomie
The number of particular microorganism groups in sewage sludge and straw

Grupy mikroorganizmów Groups of microorganisms	jtk-g ⁻¹ s.m. osadu ściekowego cfu-g ⁻¹ DM sewage sludge	jtk-g ⁻¹ s.m. słomy cfu-g ⁻¹ DM straw
<i>Salmonella</i> sp.	646,6	0
Ogólna liczba bakterii Total bacteria number	$87,84 \cdot 10^7$	$30,23 \cdot 10^3$
Grzyby Fungi	$35,38 \cdot 10^4$	$5,37 \cdot 10^4$
Mikroorganizmy termofilne Thermophilic microorganisms	$26,84 \cdot 10^3$	$6,40 \cdot 10^2$

Na mikrobiologicznych podłożach wybiórczych metodami konwencjonalnymi oznaczano liczebność jednostek tworzących kolonie (jtk) grzybów, ogólną liczbę bakterii, drobnoustrojów termofilnych oraz bakterii z rodzaju *Salmonella* sp. Ogólną liczbę bakterii oznaczono na pożywce z wyciągiem glebowym po 14 dniach inkubacji w temperaturze 27°C [MERCK-POLSKA 2004]. Grzyby hodowano na pożywce Martina w temperaturze 28°C przez 5 dni [MARTIN 1950]. *Salmonella* sp. oznaczono na podłożu firmy Merc po 24 godzinach w temperaturze 37°C [RAMBACH 1990]. W celu upewnienia się, że są to bakterie z rodzaju *Salmonella* sp., postępowano zgodnie z Polską Normą PN-Z-19000-1, wykonując identyfikację potwierdzającą [POLSKI KOMITET NORMALIZACYJNY 2001]. Mikroorganizmy termofilne oznaczano na wybiórczym podłożu po 36–48 godzinnej inkubacji w temperaturze 55°C [DIFCO LABORATORIES 1968]. Zastosowane w doświadczeniu analizy statystyczne, polegające na obliczeniu średniej liczby drobnoustrojów w danym kompoście i terminie analiz, przedziałów ufności oraz NIR-ów, przeprowadzono w oparciu o program Statistica 6.1.

Wyniki i dyskusja

Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 2 stwierdzono, że dynamika rozwoju bakterii z rodzaju *Salmonella* sp. w kompostach A i B kształtowała się na zbliżonym poziomie, zaś higienizację kompostów osiągnięto przy wzroście temperatur powyżej 50°C, czyli po 48–56 godzinach. Również TIOUJA in. [1998] oraz NGUYEN THI [2002] wykazali, że *Salmonella* sp. uległa wyginięciu w warunkach termofilnych. PALUSZAK [1998] doniósł o trzykrotnym spadku liczebności tego patogena w ciągu 150 minut w bioreaktorze z gnojowicą, po osiągnięciu tem-

peratury 51°C–51,5°C. NICHOLSON i in. [2005] podają, że liczebność bakterii z rodzaju *Salmonella* sp. w oborniku o temperaturze 55°C systematycznie zmniejszała się, osiągając wartość zerową po niecałym miesiącu. Wyniki badań własnych, jak i cytowane doniesienia literaturowe dowodzą, że temperatura może być głównym czynnikiem redukującym liczebność patogenów w kompostach. Jednakże SIDHU i in. [2001] zmniejszenie liczebności salmonelli w kompoście przypisują obecności rodzimej, antagonistycznej mikroflory.

Tabela 2; Table 2

Dynamika rozwoju *Salmonella* sp. (jtk·g⁻¹ s.m.) w kompostach
Dynamics of *Salmonella* sp. development (cfu·g⁻¹ DM) in composts

Czas (h) Time (h)	Kompost Compost		pH (H ₂ O)		Kompost A Compost A		Kompost B Compost B	
	A	B	A	B	średnia medium	przedział ufności interval of confidence	średnia medium	przedział ufności interval of confidence
	T (°C)							
0	19	18	6,7	6,7	38,4	0–83,5	219,5	13,9–425,5
24	39	35	6,6	6,5	1478,2	0–3995,6	735,53	0–2124,0
32	41	36	6,9	6,7	159,1	0–387,3	8,80	0–33,3
48	59	47	7,2	6,6	0	–	357,8	0–790,6
56	65	54	7,3	7,0	0	–	0	–
72	73	71	8,0	7,9	0	–	0	–
80	59	51	8,3	8,3	0	–	0	–
96	28	23	8,4	8,5	0	–	0	–
NIR _{0,01} ; LSD _{0,01}			1170,0			692,0		
NIR _{1,05} ; LSD _{0,05}			800,1			473,0		

A 6 dm³ O₂·min⁻¹

B 3 dm³ O₂·min⁻¹

W przypadku ogólnej liczby bakterii początkowo zaobserwowano tendencję wzrostową (tab. 3), co potwierdzono analizami statystycznymi. Po 32 godzinach, kiedy nastąpił wzrost temperatury w kompostach (do 41°C w kompoście A i 36,6°C w kompoście B) odnotowano znaczne zmniejszenie liczby komórek w stosunku do stanu wyjściowego. Podobne wyniki w badaniach uzyskali WATANABE i in. [1997] oraz HASSEN i in. [2001]. Zdaniem autorów wysoka temperatura kompostu (50–60°C) powoduje istotne zmiany w środowisku mikrobów, przejawiające się spadkiem ich liczebności. DROFFNER i in. [1995] informują jednakże o możliwości przetrwania niektórych mezofili w warunkach termofilnych, nawet w temperaturze powyżej 60°C. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że proces kompostowania spowodował 45% zmniejszenie ogólnej liczby bakterii w przypadku kompostu A i 25% w kompoście B, w stosunku do stanu początkowego. Badania dowiodły również, że kompostowanie osadu ściekowego ze słomą, niezależnie od ilości przepływającego tlenu, spowodowało redukcję grzybów (tab. 4). Podobne wyniki przedstawiła między innymi NGUYEN THI [2002]. Drugim obok temperatury czynnikiem ograniczającym rozwój grzybów w kompostach mógł być odczyn kompostów, który kształtował się w granicach 6,7–8,4 (tab. 2).

Tabela 3; Table 3

Dynamika rozwoju ogólnej ilości bakterii ($\text{jtk}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m.) w kompostach
 Dynamics of total bacteria number development ($\text{cfu}\cdot\text{g}^{-1}$ DM) in composts

Czas (h) Time (h)	Kompost Compost		Kompost A Compost A		Kompost B Compost B	
	A	B	średnia medium	przedział ufności interval of confidence	średnia medium	przedział ufności interval of confidence
	T (°C)					
0	19	18	480,0·10 ⁶	425,1–534,8	596,1·10 ⁶	466,0–726,2
24	39	35	1331,9·10 ⁶	931,6–1732,4	2034,4·10 ⁶	1436,4–2632,1
32	41	36	7942,2·10 ⁵	7770,0–8113,9	6457,1·10 ⁵	2392,2–10523,1
48	59	47	594,6·10 ⁶	515,6–674,3	4568,4·10 ⁶	4013,3–5123,5
56	65	54	229,9·10 ⁶	1,9–457,8	3543,3·10 ⁶	3271,6–3815,0
72	73	71	44,5·10 ⁶	21,9–67,2	50,8·10 ⁶	39,0–62,69
80	59	51	54,0·10 ⁵	41,2–67,0	639,1·10 ⁵	494,5–782,1
96	28	23	2642,2·10 ⁵	1568,1–3735,3	5089,2·10 ⁵	3610,2–6567,1
NIR _{0,01} ; LSD _{0,01}			569,9		2079,0	
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}			384,9		1422,2	

A, B objaśnienia jak w tabeli 2; explanations see Table 2

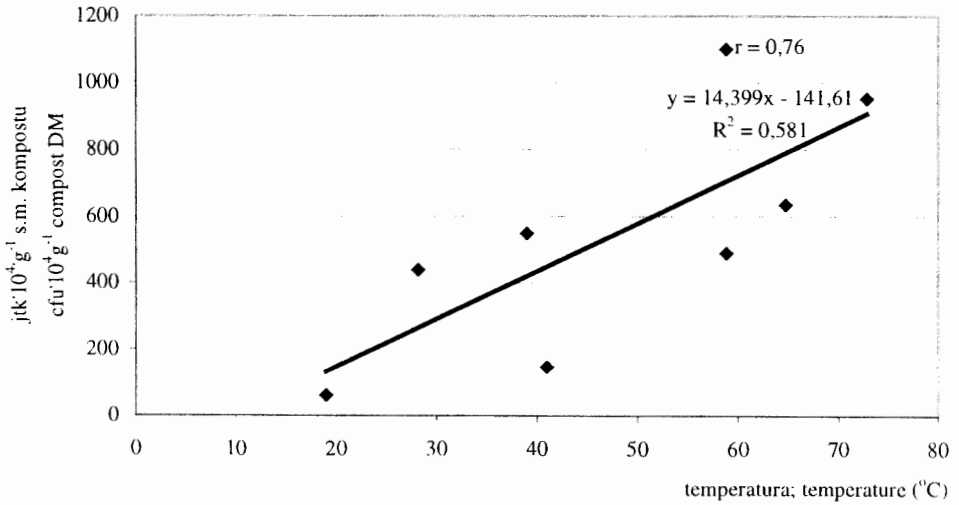
Tabela 4; Table 4

Dynamika rozwoju grzybów ($\text{jtk}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m.) w kompostach
 Development dynamics of fungi ($\text{cfu}\cdot\text{g}^{-1}$ DM) in composts

Czas (h) Time (h)	Kompost Compost		Kompost A Compost A		Kompost B Compost B	
	A	B	średnia medium	przedział ufności interval of confidence	średnia medium	przedział ufności interval of confidence
	T (°C)					
0	19	18	366,7·10 ⁴	274,5–458,9	411,6·10 ⁴	350,0–472,3
24	39	35	1755,3·10 ³	139,9–211,1	2083,5·10 ⁴	1140,1–3026,8
32	41	36	1524,0·10 ²	1414,9–1633,1	1428,5·10 ²	1333,6–1523,4
48	59	47	13,07·10 ²	1,9–24,23	142,1·10 ²	98,8–185,4
56	65	54	3,0·10 ²	0,8,8	237,6·10 ²	219,9–255,3
72	73	71	2,0·10 ²	0–8,0	0	–
80	59	51	0	–	0	–
96	28	23	9,7·10 ²	1,1–18,39	7,2·10 ²	0–15,6
NIR _{0,01} ; LSD _{0,01}			562,9		448,2	
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}			384,9		306,4	

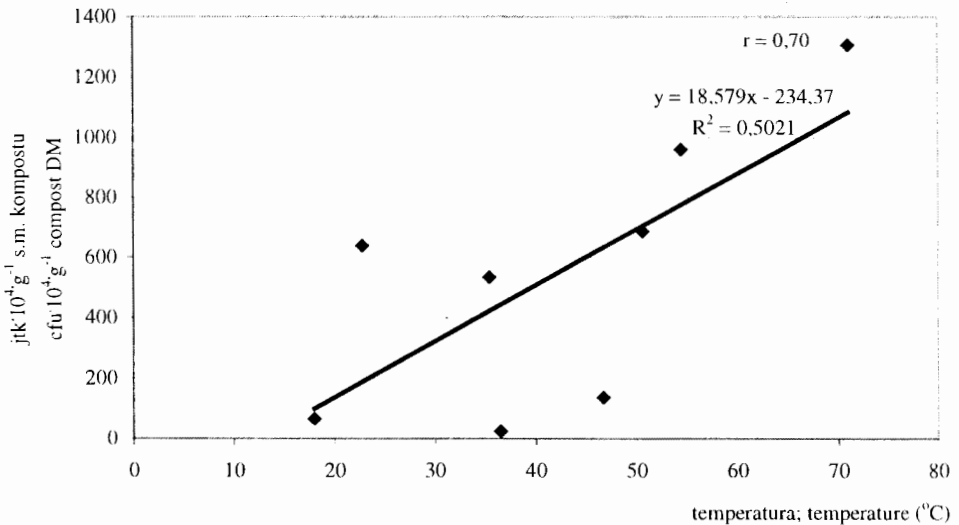
A, B objaśnienia jak w tabeli 2; explanations see Table 2

Analizując wyniki dotyczące drobnoustrojów termofilnych (tab. 5) stwierdzono, że mikroorganizmy te ulegały silnemu namnażaniu się, skorelowanemu dodatnio ze wzrostem temperatury w kompostach (rys. 1 i 2). Ujemną korelację



Rys. 1. Zależność pomiędzy liczbą organizmów termofilnych a temperaturą w kompoście A

Fig. 1. Relationship between the number of thermophilic microorganisms and temperature in compost A



Rys. 2. Zależność pomiędzy liczbą organizmów termofilnych a temperaturą w kompoście B

Fig. 2. Relationship between the number of thermophilic microorganisms and temperature in compost B

Tabela 5; Table 5

Dynamika rozwoju mikroorganizmów termofilnych ($\text{jtk}\cdot\text{g}^{-1}\text{ s.m.}$) w kompostach
 Development dynamics of thermophilic microorganisms ($\text{cfu}\cdot\text{g}^{-1}\text{ DM}$) in composts

Czas (h) Time (h)	Kompost Compost		Kompost A Compost A		Kompost B Compost B	
	A	B	średnia medium	przedział ufności interval of confidence	średnia medium	przedział ufności interval of confidence
	T ($^{\circ}\text{C}$)					
0	19	18	$46,0\cdot 10^3$	36,7–55,3	$65,8\cdot 10^3$	52,5–79,1
24	39	35	$549,1\cdot 10^3$	166,8–931,9	$536,2\cdot 10^3$	0–1140,9
32	41	36	$146,74\cdot 10^4$	0–366,7	$24,7\cdot 10^4$	0–58,0
48	59	47	$489,4\cdot 10^4$	353,0–625,8	$137,1\cdot 10^4$	78,8–195,5
56	65	54	$624,0\cdot 10^4$	398,4–849,6	$0,96\cdot 10^7$	0–3,6
72	73	71	$872,2\cdot 10^4$	501,6–1242,7	$1307,6\cdot 10^4$	1220,8–1394,4
80	59	51	$1074,5\cdot 10^4$	1017,4–1131,7	$687,2\cdot 10^4$	636,9–737,5
96	28	23	$629,5\cdot 10^4$	555,0–704,0	$877,2\cdot 10^4$	745,4–1008,9
NIR _{0,01} ; LSD _{0,01}			301,8		297,2	
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}			206,3		203,2	

A, B objaśnienia jak w tabeli 2; explanations see Table 2

między liczbą komórek a temperaturą wykazano z kolei w przypadku *Salmonella* sp., grzybów i ogólnie bakterii. Na podstawie uzyskanych wyników badań obliczono procent wzrostu liczebności mikroorganizmów termofilnych w kompostach A i B, w stosunku do znajdujących w osadzie ściekowym wykorzystanym w procesie kompostowania (tab. 1). Stwierdzono, że w obu kompostach wzrost termofili był bardzo dynamiczny i wynosił ponad 2000%. Powyższych obserwacji nie potwierdzają wyniki NGUYEN THI [2000]. Autorka stwierdziła, że po zakończeniu kompostowania osadów ściekowych nastąpiło 50–70% zmniejszenie ilości drobnoustrojów termofilnych.

Wnioski

1. Kompostowanie osadu ściekowego ze słomą sprzyjało namnażaniu się mikroorganizmów termofilnych, korelującym dodatnio ze wzrostem temperatury w kompostach.
2. Wraz z czasem kompostowania i wzrostem temperatury następowało zmniejszanie ogólnej liczby bakterii, grzybów oraz bakterii z rodzaju *Salmonella* sp.
3. Dynamika redukcji badanych grup drobnoustrojów (z wyjątkiem mikroorganizmów termofilnych) w kompostach A i B była przesunięta w czasie, zgodnie ze wzrostem temperatury.

Literatura

- CZYŻYK F., KOZDRAŚ M., SIERADZKI T. 2002. *Wartość nawozowa kompostów z osadów i słomy*. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 484: 117–124.
- DIFCO LABORATORIES 1968. *Difco manual of dehydrated culture media and reagents for microbiological and clinical laboratory procedures*. Michigan: 67.
- DROFFNER M.L., BRINTON JR., WILLIAM F., EVANS E. 1995. *Evidence for the prominence of well characterized mesophilic in thermophilic (50–70°C) composting environments*. Biomass and Bioenergy 8(3): 191–195.
- HASSEN A., BELGUIT K., JEDIDI N., CHERIF A., CHERIF M., BOUDABOUS A. 2001. *Microbial characterization during composting of municipal solid waste*. Bioresource Technology 80(2): 217–225.
- KRZYWY E., WOŁOSZYK CZ., IŻEWSKA A. 2000. *Ocena możliwości rolniczego wykorzystania kompostów z osadów z komunalnych oczyszczalni ścieków*. Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Charakterystyka i zagospodarowanie osadów ściekowych”, Gdańsk, 10–13 IX 2000: 29–35.
- MAĆKOWIAK CZ. 2000. *Skład chemiczny i wartość nawozowa kompostów produkowanych na bazie osadów ściekowych według technologii spółki wodno-ściekowej GWDA Piła-Leszków*. Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Charakterystyka i zagospodarowanie osadów ściekowych”, Gdańsk, 10–13 IX 2000: 22–28.
- MAĆKOWIAK CZ., ORZECZOWSKA K. 1993. *Produkcja, skład chemiczny oraz wartość nawozowa kompostu wyprodukowanego z odpadów miejskich w ciągu technologicznym „Dano”*. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 409: 21–32.
- MARTIN J.P. 1950. *Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi*. Soil Science 69: 215–232.
- MAZUR T., MALICKI M. 1993. *Przetwarzanie osadów ściekowych na komposty*. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 409: 77–82.
- MERCK-POLSKA 2004. *101621 Standard count agar for microbiology*: 1.
- NGUYEN THI B.L. 2000. *Liczebność niektórych grup drobnoustrojów w surowym osadzie i po jego kompostowaniu*. Folia Univ. Agric. Stein 211(84): 335–340.
- NGUYEN THI B.L. 2002. *Charakterystyka mikrobiologiczna i możliwość wykorzystania osadów ściekowych do produkcji kompostów z oczyszczalni ścieków dla miasta Zielenka Góra*. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 484: 401–408.
- NICHOLSON F.A., GROVES S.J., CHAMBERS B.J. 2005. *Pathogen survival during livestock manure storage and following land application*. Bioresource Technology 96: 135–143.
- PALUSZAK Z. 1998. *Microbiological and parasitologic investigations of cattle slurry fermented aerobically in thermophilic conditions*. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Animal Husbandry 1(1): 1–10.
- POLSKI KOMITET NORMALIZACYJNY 2001. *Polska Norma PN-Z-19000-1. Ocena stanu sanitarnego gleby. Wykrywanie bakterii z rodzaju Salmonella*.
- RAMBACH A. 1990. *New plate medium for facilitated differentiation of Salmonella spp. from Proteus spp. and other enteric bacteria*. Applied Environmental Microbiology 56(1): 301–303.

SIDHU J., GIBBS R.A., HO G.E., UNKOVICH I. 2001. *The role of indigenous microorganisms in suppression of Salmonella regrowth in composted biosolids*. Water Research 35(4): 913–920.

TIQUIA S.M., TAM N.F.Y., HODGKISS I.J. 1998. *Salmonella elimination during composting of spent pig litter*. Bioresource Technology 63(2): 193–196.

WATANABE H., KITAMURA T., OCHI S., OZAKI M. 1997. *Inactivation of pathogenic bacteria under mesophilic and thermophilic conditions*. Water Science and Technology 36(6–7): 25–32.

Słowa kluczowe: osad ściekowy, słoma, kompost, mikroorganizmy, temperatura

Streszczenie

Praca przedstawia charakterystykę mikrobiologiczną osadu ściekowego z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków oraz wyprodukowanych z niego kompostu A i B. Komposty sporządzono z osadu ściekowego i słomy i umieszczono w bioreaktorach o różnych przepływach tlenu (6 dm^3 i $3 \text{ dm}^3 \text{ O}_2 \cdot \text{min}^{-1}$). W osadzie i kompostach metodą płytkową, na wybiórczych podłożach oznaczano liczebność: *Salmonella* sp., ogólnie bakterii, grzybów oraz mikroorganizmów termofilnych. Badania wykazały, że proces kompostowania spowodował całkowitą eliminację *Salmonella* sp. oraz redukcję ogólnej ilości bakterii i grzybów. W trakcie doświadczenia zaobserwowano również wzrost mikroorganizmów termofilnych, skorelowany ze wzrostem temperatury w badanych kompostach.

DYNAMICS OF THE MICROBIAL CHANGES IN SEWAGE SLUDGE AND STRAW COMPOSTED IN BIOREACTOR

Agnieszka Wolna-Maruwka¹, Jacek Czekąła², Jacek Dach³

¹Department of Agricultural Microbiology, Agricultural University, Poznań

²Department of Soil Science, Agricultural University, Poznań

³Institute of Agricultural Engineering, Agricultural University, Poznań

Key words: sewage sludge, straw, compost, microorganisms, temperature

Summary

Paper presents the microbiological characteristics of sewage sludge from a mechanical-biological sewage treatment plant and the composts A and B produced from that sewage sludge. The sewage based composts contained an addition of straw.

The composts were placed into bioreactors of different oxygen circulation (6 dm^3 i $3 \text{ dm}^3 \text{ O}_2 \cdot \text{min}^{-1}$). Numbers of examined microorganisms (*Salmonella* sp., total bacteria, fungi and thermophilic microorganisms) from sewage sludge and composts cultured by plate method on selective media were determined. The

experiment showed that composting eliminated *Salmonella* sp. while the total numbers of bacteria and fungi decreased.

The results proved that the number of thermophilic microorganisms increased and their quantity was correlated with the temperature rise in composts.

Mgr inż. Agnieszka **Wolna-Maruwka**
Katedra Mikrobiologii Rolnej
ul. Wołyńska 35
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego
60-637 POZNAŃ
e-mail: amaruwka@interia.pl