



AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

ROZPRAWY NR 118

Bożena Szejniuk

**SANITARNO-HIGIENICZNE ASPEKTY
KOMPOSTOWANIA ODPADÓW**

3.4/5

Szejniuk, Bożena.
Sanitarно-higieniczne aspe

BYDGOSZCZ – 2005



AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

ROZPRAWY NR 118

Bożena Szejniuk

**SANITARNO-HIGIENICZNE ASPEKTY
KOMPOSTOWANIA ODPADÓW**

Biblioteka Główna ATR w Bydgoszczy



000000125695

BYDGOSZCZ – 2005

REDAKTOR NACZELNY
prof. dr hab. Lucyna Drozdowska

OPINIODAWCY
prof. dr hab. Józef Koc
prof. dr hab. Leon Saba

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE
mgr Dorota Ślachciak, inż. Edward Gołata



N 88093

© Copyright
Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej
Bydgoszcz 2005

ISSN 0209-0597

Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej
ul. Ks. A. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz, tel. (052) 3749482, 3749426
e-mail: wydawucz@atr.bydgoszcz.pl <http://www.atr.bydgoszcz.pl/~wyd>

Wyd. I. Nakład 120 egz. Ark. aut. 5,15. Ark. druk. 6,0. Zamówienie nr 17/2005
Oddano do druku i druk ukończono w listopadzie 2005 r.
Uczelniany Zakład Małej Poligrafii ATR Bydgoszcz, ul. Ks. A. Kordeckiego 20

06016/1

Spis treści

1. WSTĘP	5
2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA	6
3. CEL BADAŃ	11
4. MATERIAŁ I METODY	12
4.1. Miejsce i czas badań	12
4.2. Technologia utylizacji odpadów	12
4.3. Pomiary cech fizykochemicznych	13
4.4. Sanitarno-higieniczna ocena kompostu	14
4.4.1. Ogólna liczba bakterii i ich identyfikacja gatunkowa	14
4.4.2. Zawartość bakterii z rodziny <i>Enterobacteriaceae</i>	15
4.4.3. Określanie zawartości <i>Escherichia coli</i> , paciorkowców grupy-D i bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	16
4.4.4. Oznaczanie ogólnej liczby grzybów i ich identyfikacja gatunkowa	16
4.5. Ocena sanitarno-higieniczna procesu utylizacji odpadów na podstawie tempa eliminacji wybranych drobnoustrojów wskaźnikowych (<i>Salmo- nella senftenberg</i> , <i>Enterococcus faecium</i> , <i>Escherichia coli</i>)	17
4.6. Analiza stanu fitosanitarnego i sanitarno-higienicznego gleb użyźnionych kompostem	18
4.7. Matematyczne opracowanie wyników doświadczeń	19
5. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA	21
5.1. Cechy fizykochemiczne odpadów i kompostu	21
5.1.1. Temperatura	21
5.1.2. Odczyn	22
5.1.3. Sucha masa	24
5.1.4. Zawartość składników nawozowych w odpadach i kompoście	26
5.2. Ocena sanitarno-higieniczna odpadów i kompostu	28
5.2.1. Ogólna liczba bakterii i skład gatunkowy drobnoustrojów	29
5.2.2. Liczba bakterii z rodziny <i>Enterobacteriaceae</i>	35
5.2.3. Zawartość <i>Escherichia coli</i> , paciorkowców grupy-D i bakterii z rodzaju <i>Salmonella</i>	42
5.2.4. Analiza mikologiczna	55
5.2.5. Ocena zachowania się bakterii wskaźnikowych w czasie kompo- stowania odpadów	62
5.3. Stan fitosanitarny i sanitarno-higieniczny gleb użyźnionych kompostem	77
6. WNIOSKI	83
LITERATURA	84
STRESZCZENIA	93

1. WSTĘP

Racjonalne zagospodarowanie ciągle wzrastającej ilości różnych odpadów jest obecnie najważniejszym zadaniem każdego społeczeństwa. W Polsce aktem prawnym dotyczącym kwestii zagospodarowania odpadów jest obowiązująca od kwietnia 2001 r. „Ustawa o odpadach”, określająca sposób postępowania z nimi, zapewniający ochronę życia i zdrowia ludzi oraz ochronę środowiska naturalnego, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju [Ustawa o odpadach 2001]. Odpadami są wszelkie niespożytkowane produkty lub przedmioty tracące swoją użyteczność, pochodzące z bytowej i gospodarczej działalności człowieka [Siuta 2001]. Z powodu powstawania i nagromadzenia coraz większej ilości odpadów, istotną rolę odgrywa ekologiczny sposób ich unieszkodliwiania. Działanie to dotyczy poddania odpadów procesom fizycznych, chemicznych lub biologicznych przekształceń w taki sposób, aby nie stwarzały zagrożenia dla środowiska.

Właściwy sposób zagospodarowania odpadów polega na działaniach zmierzających do ponownego ich wykorzystania lub maksymalnego odzysku surowców. Jest to zagadnienie trudne do realizacji ze względu na wiele ograniczeń natury ekologicznej i finansowej. Na szczególną uwagę zasługuje problem właściwego zagospodarowania odpadów komunalnych. Istniejący obecnie w Polsce system gospodarki tymi odpadami nie jest w pełni zadowalający. W 2003 roku wytworzono ogółem 9925 tys. ton odpadów komunalnych, z czego aż 9609 tys. ton zdeponowano na składowiskach [Rocznik Statystyczny 2004]. Ze względów ekologicznych jednym z najbardziej pożądanых działań zmierzających do recyklingu surowców wtórnych znajdujących się w odpadach jest między innymi kompostowanie zawartej w nich frakcji organicznej. Gromadzenie i utylizacja odpadów biologicznych jest ważnym czynnikiem prowadzącym do prawidłowego funkcjonowania gospodarki recyklingowej jako czynnika składowego nowoczesnych planów gospodarki odpadami. Umiejętna gospodarka produktami powstającymi w wyniku przetworzenia odpadów, czyli kompostami, musi iść w parze z analizą skażeń nie tylko chemicznych, ale także sanitarnych. Frakcje organiczne zawarte w odpadach mogą zawierać drobnoustroje chorobotwórcze, wirusy, jaja pasożytów i grzyby, które stanowią zagrożenie dla człowieka, zwierząt i roślin. Z tego względu powinny być unieszkodliwione w produktach końcowych powstających z odpadów biologicznych. Warunkiem niezbędnym dla rozpowszechniania kompostu jako wartościowego środka stosowanego w rekultywacji terenów zdegradowanych lub wykorzystywanego do użyźniania gleb powinna być wiarygodna weryfikacja jego jakości, między innymi pod względem sanitarno-higienicznym.

2. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA

W wielu krajach wysokoprzemysłowych, w tym również w Polsce, w ostatnich latach nastąpiło wyraźne zainteresowanie problemami związanymi z właściwym zagospodarowaniem odpadów. Wynika to z wyższej świadomości ekologicznej mieszkańców oraz troski o jakość środowiska dla przyszłych pokoleń. W państwach Europy Środkowej i Wschodniej zainteresowanie kwestią racjonalnej gospodarki odpadami wiąże się z przystąpieniem do Unii Europejskiej i koniecznością dostosowania polityki ekologicznej kraju do wymogów stawianych przez Wspólnotę Europejską. Szczególnie ważnym zagadnieniem jest sposób unieszkodliwiania, utylizacji i zagospodarowania odpadów. W wielu gałęziach przemysłu, rolnictwie i obiektach gospodarki komunalnej, szczególnie w oczyszczalniach ścieków, powstają ogromne ilości odpadów i osadów, które powinny być poddane prawidłowej utylizacji. Przykładowo przed zastosowaniem osadów do celów nawozowych proponuje się poddawanie ich procesom uaktywniającym rozkład [Koc 1979]. W wielu przypadkach istnieją możliwości przyrodniczego wykorzystania odpadów organicznych do nawożenia gleb, szczególnie dotyczy to odpadów pochodzących z produkcji zwierzęcej lub innej działalności [Koc 1985, 1986, Balloni i wsp. 1987, Coppola i Villani 1987, Strauch i Ballarini 1994, Saba i wsp. 1995, Trawińska i wsp. 1997, Lee i wsp. 2004].

Kolejnym czynnikiem wpływającym na wzrost zainteresowania problemem racjonalnego zagospodarowania odpadów jest fakt wyraźnego wzrostu ich ilości, szczególnie w dużych aglomeracjach miejskich. Według danych statystycznych [Rocznik Statystyczny 2004], w naszym kraju w 2002 roku wytworzono 275 kg odpadów na jednego mieszkańca, co stanowi łącznie 10509 tys. ton rocznie. Przyczyną powstawania dużych mas odpadowych jest zwiększający się poziom konsumpcji, nieracjonalna gospodarka produktami odpadowymi, wprowadzenie do obiegu substancji charakteryzujących się długim okresem biodegradacji, wzrost uprzemysłowienia oraz ciągle postępujący proces urbanizacji kraju [Rosik-Dulewska 2003]. W Polsce niestety największą ilość odpadów deponuje się na składowiskach, jedynie około 1,7% poddaje się procesowi kompostowania lub spalania.

Polskie przepisy prawne określają zasady postępowania z odpadami [Ustawa o odpadach, Ustawa o utrzymaniu czystości], z kolei prawo UE w dziedzinie ochrony środowiska zakłada, że państwa członkowskie mają obowiązek utworzenia zintegrowanego i stosowanego systemu urządzeń technicznych do usuwania odpadów [Gorski 1998]. Ponadto wymogiem UE jest konieczność ograniczania składowania odpadów nie przetworzonych i nie zneutralizowanych [Dyrektywa UE]. W związku z tym w najbliższej przyszłości wymagane będzie powszechniejsze stosowanie różnych metod ich utylizacji. Oprócz tego ważnym elementem ochrony środowiska jest również zapobieganie zanieczyszczeniom wody, powietrza i gleby.

Do tej pory najstarszą i najbardziej rozpowszechnioną metodą unieszkodliwiania odpadów jest składowanie na wysypiskach. Jednak w przypadku nieprawidłowego zabezpieczenia miejsca ich deponowania i wadliwej eksploatacji wysypisk (powstawanie odcieków zagrażających wodom gruntowym, zanieczyszczenia wód powierzchniowych, emisja gazu, pyłu, aerozoli biologicznych i substancji odorotwórczych) może dojść do skażenia środowiska naturalnego, a w związku z tym do negatywnego oddziaływania na zdrowie ludzi i zwierząt [Czernomysy-Furowicz i Furowicz 1995, Bożko i wsp. 1999, Kluczek 1999a]. Poza tym wiele drobnoustrojów chorobotwórczych znajduje w odpadach dobre środowisko dla swojego rozwoju, stanowiąc jednocześnie źródło zagrożeń

epidemiologicznych [Strauch i de Bertoldi 1987, Strauch 1993a,b, 1995]. Membrany zabezpieczające dno wysypisk często się rozpadają, szczególnie wówczas, gdy zawarte w wysypisku odpady są wciąż aktywne [Allen 2001].

Z uwagi na skład i zawartość dużej ilości azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu i innych pierwiastków, odpady mogą być włączone do recyklingu [Baran i Turski 1999, Bergs 1999] i wykorzystywane do różnych celów, również rolniczych [Winiarska i Lekan 1991, Stuczyński 1994, Kluczek i wsp. 1996, Szejniuk 1997].

Wśród różnych metod utylizacji odpadów na szczególną uwagę zasługuje kompostowanie [De Nardo i Bottai 1987, Hall i wsp. 1993, Maćkowiak i Orzechowska 1993, Anatolak 1995, Kikiewicz i Białkowski 1996, Bidlingmaier 1999, Kluczek i Szejniuk 1999, Tuomela i wsp. 2000]. W Polsce jest ono dotychczas słabo rozpowszechnione, natomiast w innych krajach stosuje się je od wielu lat i traktuje jako dobry sposób odzyskania cennych składników zawartych w odpadach [Boutin i wsp. 1987, Manios i wsp. 1987, Bidlingmaier 2000]. Przydatność kompostowania jako alternatywnego sposobu utylizacji warunkują właściwości technologiczne oraz skład morfologiczny odpadów [Diaz i wsp. 1987, Szejniuk 2000a]. Ponadto kompostowanie umożliwia wykorzystanie produktu finalnego jako składnika nawozowego [Fischer i wsp. 1993, Baran i Martyn 1996] przeznaczonego do zagospodarowania przyrodniczego [Baran i Turski 1999], przede wszystkim do użyźniania gleb i rekultywacji terenów zdegradowanych [Rosik-Dulewska i Karwaczyńska 1999], zagrzewania podłoża w szklarniach, nawożenia gleb w uprawach roślin ozdobnych, w winnicach i sadach, kształtowania i utrzymania placów zieleni w miastach [Pudelski 1987]. Liczni autorzy podają, że racjonalne stosowanie kompostu jako czynnika nawozowego wpływa korzystnie na wzrost plonów testowanych roślin oraz na kształtowanie środowiska naturalnego [Kropisz 1983, Winiarska i Lekan 1991, Szejniuk 1997].

Czynnikiem ograniczającym stosowanie produktu finalnego wytworzonego w procesie kompostowania do celów przyrodniczych jest często zbyt duża zawartość zanieczyszczeń mechanicznych (2,0-2,6% s.m.) w połączeniu ze znaczną ilością metali ciężkich [Chwastowska i wsp. 1993, Rosik-Dulewska 2001]. Jednak doświadczenia wegetacyjne dowodzą, że dodatek kompostu do ziemi uprawnej wpływa korzystnie na wzrost niektórych roślin testowych [Stuczyński 1994, Szejniuk 1997, Rosik-Dulewska i Karwaczyńska 1999].

Niski wskaźnik zastosowania technologii kompostowania odpadów w Polsce wynika ze znacznej kapitałochłonności budowy obiektów przeznaczonych do ich unieszkodliwiania, jednak efekty tych metod utylizacji są uznawane w świecie za pozytywne.

Najważniejszymi czynnikami warunkującymi właściwy przebieg procesu kompostowania są [Zucconi i Bertoldi 1987, Grabbe 1988, Déportes i wsp. 1995, Siuta 1999]:

- skład fizyczny, chemiczny i morfologiczny materiału wyjściowego,
- napowietrzanie materiału kompostowanego,
- temperatura kompostowania,
- wilgotność materiału wyjściowego,
- stosunek C/N,
- pH masy kompostowej.

Wśród zalet metody kompostowania wymienia się:

- uzyskanie wartościowego produktu w postaci kompostu,
- pełne zhigienizowanie odpadów w efekcie biospalania węgla organicznego, czyli reakcji egzotermicznej (dezaktywacji organizmów mezofilnych beztlenowych – zwykle chorobotwórczych),

- zmniejszenie o ponad 50% wyjściowej objętości odpadów (po oddzieleniu balastu, który może być wykorzystany jako surowce wtórne, np. metale, szkło, plastiki),
- relatywnie małą energochłonność [Żygadło 1999].

Pod względem biochemicznym kompostowanie polega na rozkładzie materii organicznej zawierającej węgiel, cukry, białka, tłuszcze, hemicelulozę i ligninę. Jest ono najbardziej ekologiczną metodą utylizacji odpadów stałych, gdyż eliminuje niekorzystne skutki gromadzenia i przechowywania odpadów na wysypiskach. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na właściwy przebieg tego procesu jest zawartość tlenu i wody. Jednym z efektów przemian biochemicznych i mikrobiologicznych zachodzących podczas rozkładu substancji organicznej znajdującej się w odpadach jest wzrost temperatury kompostowanej masy [Banse i wsp. 1996, Epstein 1997].

Proces kompostowania przebiega w dwóch fazach: wzrostowej i stabilizacji. W fazie pierwszej następuje gwałtowne podwyższenie temperatury (nawet do 70°C) i wzrost wartości pH, z uwagi na zwiększoną produkcję amoniaku w wyniku dezaminacji aminokwasów w procesie proteolizy. Organizmami dominującymi stają się bakterie mezofilne, które rozpoczynają rozkład związków organicznie trudno rozkładalnych – hemicelulozy i błonnika. Po 28-30 dniach tempo mineralizacji ulega obniżeniu, co wynika ze zmniejszania się ilości węgla oraz łatwo utleniających się związków azotu na rzecz opornych na ten proces celulozy i ligniny [Baran i Martyn 1996, Drozd i wsp. 1996a i b]. Kolejną fazą jest stabilizacja, czyli ochładzanie, charakteryzujące się stopniowym obniżeniem zarówno temperatury, jak i wartości pH [Ferrari 1987, Epstein 1997]. Następują wówczas intensywne procesy mineralizacji substancji organicznej na skutek obniżenia ilości węgla ogólnego, wzrostu zawartości popiołu oraz makro- i mikroelementów [Drozd i wsp. 1996a]. W końcowym etapie procesu kompostowania rozwijają się bakterie termofilne i promieniowce oraz różne gatunki grzybów.

Głównymi procesami związanymi z wytwarzaniem kompostu jest mineralizacja i humifikacja materii organicznej [Gomez 1998]. Mineralizacja polega na biochemicznym utlenianiu substancji organicznej do produktów końcowych w postaci dwutlenku węgla, wody, azotanów, siarczanów i innych. W procesie wydzielą się ciepło, a wzrost temperatury w pryzmach niszczy mikroorganizmy chorobotwórcze znajdujące się w odpadach. Humifikacja jest długotrwałym i niezbędnym procesem polegającym na wykorzystaniu związków wielkocząsteczkowych poddanych działaniu czynników fizykochemicznych i fermentacyjnych. Szczególnie duże znaczenie odgrywa w czasie rozpadu trudno rozkładających się szczątków roślinnych, takich jak celuloza i ligniny. W niskotemperaturowej fazie kompostowania następuje eliminacja mikroorganizmów poprzez substancje antybiotyczne wytwarzane w czasie rozwoju pleśni. W zależności od warunków powietrzno-wodnych w procesie mineralizacji następuje butwienie substancji organicznej w warunkach aerobowych. Kolejnym etapem jest dojrzewanie kompostu, które w warunkach naturalnych przebiega bardzo długo i z tego powodu nie jest wykorzystywane przemysłowo. Ze względów ekonomicznych czas niezbędny do przebiegu procesu kompostowania musi być kontrolowany i zredukowany do minimum. Z drugiej strony skrócenie czasu trwania tego procesu wiąże się z kontrolą skuteczności utylizacji odpadów z uwagi na obecność drobnoustrojów chorobotwórczych [Knopp i wsp. 1996, Weinrich i wsp. 1996]. W przypadku niewłaściwego przebiegu procesu technologicznego i zmian parametrów kompostowania mikroorganizmy patogenne mogą być powodem zakażenia ludzi i zwierząt [Strauch 1993b]. Jak podają Epstein [1997] i Pahren [1987], największym źródłem czynników chorobotwórczych w odpadach jest kał zwierząt domowych (kotów, psów), odpady żywności (jaja, części tusz kurzych) i środki higieny

osobistej. Wynika stąd, że odpady stwarzają zagrożenie dla środowiska naturalnego pod względem epidemicznym i sanitarno-higienicznym. Do przerobu na kompost najlepiej nadają się odpady bogate w substancję organiczną oraz zawierające odpowiednią ilość innych składników nawozowych [Balloni i wsp. 1987, Zaujec 1993]. Jakość kompostu powstałego w wyniku utylizacji odpadów komunalnych jest odpowiednia wówczas, gdy spełnia on kryteria dotyczące niezbędnej zawartości składników pokarmowych (N, P, K), minimalnej ilości metali ciężkich i nie budzi zastrzeżeń pod względem sanitarno-epidemiologicznym [Kabata-Pendias i wsp. 1987, Grabbe i Schchuardt 1993, Szejniuk i wsp. 1997].

Od wielu lat w Polsce i za granicą prowadzi się badania nad technologią oraz jakością kompostu uzyskiwanego z różnych substancji odpadowych [Bardos i Lopez-Real 1988, Gostkowska i wsp. 1996, Barth i Kroeger 1998, Czyżyk i Kozdraś 2004, Lee i wsp. 2004]. Na podstawie tych danych opracowano wymogi, jakim powinien odpowiadać kompost przeznaczony do wykorzystania przyrodniczego. Często wśród surowców dostarczanych do kompostowania znajdują się materiały nie rozkładające się podczas tego procesu, np. metale, plastik, ceramika i szkło, które w znacznej mierze obniżają jakość powstającego produktu finalnego [Diaz i wsp. 1987]. Aby temu zapobiec, należałoby wprowadzić selektywną zbiórkę odpadów z podziałem na trzy grupy: I – kompostowe, II – do spalania i III – odpady niebezpieczne [Baran i Turski 1999]. Warunkiem uzyskania dobrej jakości produktu końcowego jest zapewnienie jak najlepszych surowców wprowadzanych do procesu kompostowania.

Prawidłowy proces kompostowania odpadów oraz możliwość uzyskania kompostu o dobrych cechach użytkowych zależy od wstępnej segregacji odpadów miejskich. Byłoby najkorzystniej, gdyby segregacja odbywała się u źródła ich powstawania – w gospodarstwach domowych. Często zaleca się również segregację w zakładach unieszkodliwiania [Żygadło 1999]. Obecnie już w niektórych kompostowniach prowadzi się wstępną segregację przywożonych odpadów w celu eliminacji nadmiaru zbędnych substancji, zaś część organiczną poddaje się dalszemu przerobowi [Kikiewicz i Białkowski 1996, Rosik-Dulewska 2000]. Gdy kompostowanie nie jest poprzedzone segregacją wstępną, wówczas masa po procesie zawierać będzie znaczne ilości „balastu” (substancji nie poddających się biodegradacji, jak: szkło, kamienie, plastiki), a przede wszystkim metale ciężkie z odpadowych puszek, baterii, świetlówek itp. [Żygadło 1999].

Odpady, z uwagi na zawartość różnych zanieczyszczonych i skażonych substancji, są materiałem umożliwiającym szybki wzrost i długi okres przeżywalności wielu mikroorganizmów. Ciepło uwalniane w czasie kompostowania jest jednym z głównych czynników powodujących inaktywację drobnoustrojów patogennych [Bardos i Lopez-Real 1988, Strauch 1995, Banse i wsp. 1996, Szejniuk i Kluczek 1996, Szejniuk i Paluszak 1997, Szejniuk i wsp. 1999, Hassen i wsp. 2001]. Ważnym elementem kontroli rozprzestrzeniania się drobnoustrojów chorobotwórczych podczas utylizacji odpadów jest współzawodnictwo mikroorganizmów. Różnorodne drobnoustroje saprofityczne biorące udział w procesach kompostowania mogą być uznane za miejscową lub naturalną mikroflorę kompostu. Miejscowa flora saprofityczna, inaczej zwana autochtoniczną, ma znaczną przewagę nad innymi populacjami organizmów patogennych z uwagi na konkurencyjność o składniki pokarmowe [Reddy i wsp. 1981]. Podczas kompostowania związki organiczne pochodzące z odpadów są wykorzystywane przez bakterie i grzyby jako źródło składników pokarmowych. W tym czasie daje się zauważyć zjawisko zwiększonej aktywności mikroorganizmów odpowiedzialnych za przetworzenie kompostowanej masy [Epstein 1997]. Według Straucha [1993a] oraz Straucha i de Bertoldiego [1987] źródłem

izolowanych drobnoustrojów chorobotwórczych są również odpady pochodzące z obiektów, gdzie przebywają chorzy. Mikroorganizmy patogenne występujące w takich odpadach są wrażliwe na działanie wysokich temperatur. Temperatura 55-60°C, panująca przynajmniej przez 3 dni, powoduje inaktywację większości patogennych mikroorganizmów. Z badań wstępnych [Szejniuk i Kluczek 1995], prowadzonych w Katedrze Higieny Zwierząt i Mikrobiologii Środowiska ATR w Bydgoszczy nad eliminacją pałeczek *Salmonella* spp. w kompoście wynika, że cel ten można osiągnąć również poprzez stosowanie różnych czynników higienizujących, między innymi dodatku tlenku wapnia. W czasie dojrzewania kompostu istnieje prawdopodobieństwo powtórnego rozwoju drobnoustrojów chorobotwórczych, gdyż mikroorganizmy te mogą często przeżywać poza żywicielem. Ponowny wzrost liczby tych drobnoustrojów w kompoście może być spowodowany powtórny skażeniem przez mikroorganizmy, które przeżyły w chłodniejszych częściach przyzmy. Jak podają Strauch i wsp. [1993], krytyczne są zewnętrzne strefy kopca, które również powinny być poddane działaniu wysokich temperatur w celu unieszkodliwienia drobnoustrojów chorobotwórczych.

Dotychczasowe metody oceny skuteczności utylizacji odpadów, polegające na kontroli jakości produktu finalnego, podawane w Normie Branżowej [Norma Branżowa BN-89/9103-09] nie uwzględniają wszystkich etapów produkcji kompostu. Brak do tej pory jednoznacznych danych wskazujących na znaczenie różnych czynników biorących udział w wytwarzaniu kompostu z produktów odpadowych w celu uzyskania kompostu bezpiecznego dla środowiska. Przytoczone przykłady były inspiracją do podjęcia niniejszych badań, których celem było prześledzenie zachowania się drobnoustrojów uczestniczących w procesie utylizacji odpadów metodą kompostowania. Aspekt praktyczny badań dotyczył wykorzystania wyprodukowanego kompostu do celów nawozowych pod užitki zielone. Uzyskane w trakcie badań wyniki pozwalają rozszerzyć wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie właściwego recyklingu substancji odpadowych pochodzenia miejskiego. Podjęcie badań w kierunku sprawdzenia skuteczności utylizacji odpadów w celu określenia ryzyka sanitarno-epidemicznego, wynikającego z przyrodniczego stosowania produktu finalnego, czyli w przypadku niniejszych badań – kompostu z odpadów komunalnych, jest obecnie czynnikiem aktualnym i bardzo istotnym.

3. CEL BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań była:

- ocena parametrów fizykochemicznych kompostów,
- analiza cech jakościowych kompostów dojrzałych, przeprowadzona na podstawie tradycyjnych, standaryzowanych metod stosowanych w czasie utylizacji odpadów metodą kompostowania,
- kompleksowa ocena stanu sanitarno-higienicznego odpadów, kompostu świeżego i dojrzałego, uwzględniająca analizę jakościową i ilościową oraz redukcję bakterii i grzybów występujących w czasie przetwarzania odpadów,
- walidacja mikrobiologiczna procesu kompostowania odpadów na podstawie tempa eliminacji introdukowanych drobnoustrojów wskaźnikowych *Salmonella senftenberg*, *Enterococcus faecium* i *Escherichia coli* w czasie kompostowania odpadów w pryzmach,
- ocena stopnia przeżywalności aplikowanych drobnoustrojów testowych i kinetyka ich zmian ilościowych w czasie unieszkodliwiania odpadów w biostabilizatorze,
- weryfikacja dotychczasowego sposobu oceny sanitarno-higienicznej przebiegu procesu kompostowania odpadów w odniesieniu do metody zaproponowanej na podstawie badań własnych,
- ustalenie wpływu dodatku kompostu z odpadów komunalnych na żyzność, stan fitosanitarny i sanitarno-higieniczny gleb.

4. MATERIAŁ I METODY¹

4.1. MIEJSCE I CZAS BADAŃ

Doświadczenia wykonano w 3 kompostowniach wykorzystujących technologię opracowaną przez Pomorski Zakład Budowy Maszyn „Makrum” w Bydgoszczy. Obiekty badawcze były zlokalizowane w następujących regionach Polski: obiekt A – na terenie północnym, B – w rejonie Polski środkowej oraz obiekt C – we wschodnim rejonie kraju. Doświadczenia przeprowadzono w każdym obiekcie w dwóch okresach badawczych: wiosenno-letnim (I) i jesienno-zimowym (II) w latach 1996-1999, zgodnie z przedstawionym schematem terminów badań (tab. 1).

Tabela 1. Terminy badań

Table 1. Examination time

Wyszczególnienie Specification	Symbole kompostowni – Symbols of the composting plant					
	A		B		C	
Okres badań Examination period	I	II	I	II	I	II
Rok badań Examination year	1996	1996/97	1997	1997/98	1998	1998/99

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

W poszczególnych okresach doświadczeń przeprowadzono w każdej kompostowni kompleksową analizę przebiegu procesu kompostowania odpadów podczas 4 miesięcy każdego sezonu badawczego. Badania eksperymentalne wykonano w trzech powtórzeniach w każdym okresie, zaś wynik podano jako średnią z danego sezonu badawczego.

4.2. TECHNOLOGIA UTYLIZACJI ODPADÓW

Zasadniczym elementem wybranej do badań technologii utylizacji odpadów metodą kompostowania jest biostabilizator, czyli komora rotacyjna o długości 32 i średnicy 3,6 m. Zdolność przetwórcza zależy od podaży odpadów i waha się w granicach 100-120 ton na dobę. Biostabilizator jest urządzeniem, którego głównym zadaniem jest rozdrobnienie odpadów, ich higienizacja i homogenizacja oraz zapoczątkowanie biochemicznego i mikrobiologicznego rozkładu kompostowanej masy. Posiada on stalowy płaszcz wyposażony w płytę czołową, przez którą następuje zasyp odpadów, oraz płytę zamykającą z zasuwami umożliwiającymi spust materiału po zakończeniu procesu. Odpady komunalne wypełniają najczęściej 2/3 objętości biostabilizatora. Odpowiednie ich ilości wprowadza się do biostabilizatora za pomocą zespołu urządzeń podających, przy czym równocześnie przetworzona masa zostaje z niego odprowadzana. Biostabilizator obraca się na łożyskach rolkowych z szybkością około jednego obrotu na minutę

¹ Badania wykonano w Katedrze Higieny Zwierząt i Mikrobiologii Środowiska Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy w ramach tematów badań własnych, przy współpracy z Uniwersytetem Hohenheim w Stuttgarcie.

(można ją w dowolny sposób regulować w zależności od potrzeb). Proces ten odbywa się w sposób ciągły, materiał wsadowy przetrzymywany jest w biostabilizatorze przez około 48 godzin. W tych warunkach rozkładowi ulegają jedynie odpady organiczne (roślinne i zwierzęce, a także papier). Materiały takie jak tworzywa sztuczne, szkło oraz metale nie podlegają rozdrobnieniu (muszą być selekcjonowane). Po opuszczeniu biostabilizatora materiał poddany kompostowaniu dostaje się na sito zgrubne o średnicy oczek 60 mm. Następnie odsiew odprowadzany jest na przenośniki, nad którymi znajduje się separator elektromagnetyczny do wychwytywania metali, natomiast pozostały odpad gruby usuwany jest na wysypisko. Przesiew z sita zgrubnego jest przenoszony systemem przenośników taśmowych na sito wstrząsowe o oczkach 25×25 mm. Przed nim znajduje się kolejny separator elektromagnetyczny, który wychwytuje drobne części stałych. Po wydzieleniu tych zanieczyszczeń otrzymuje się surowy kompost przygotowany do procesu dojrzwania, trwającego od 6 do 12 tygodni. Transport na pole kompostowe lub płytę kompostową odbywa się taśmociągami.

Kolejnym etapem kompostowania jest uszlachetnianie, które polega na wydzieleniu z masy kompostowej frakcji drobnej o wielkości do 10 mm oraz usunięciu materiałów o ciężarze właściwym wyższym niż kompost. Dotyczy to szczególnie szkła i ceramiki. Tak przygotowany kompost często jest pakowany w specjalne torebki plastikowe lub worki (konfekcjonowany) i po uprzednim badaniu oraz uzyskaniu atestu sprzedawany jako wysokogatunkowy nawóz.

We wszystkich badanych obiektach zasadnicza technologia kompostowania była jednakowa, a różnice dotyczyły nieznacznych usprawnień polegających na wprowadzeniu wstępnego sortowania odpadów, komputerowej kontroli procesu technologicznego oraz uszlachetnianiu dojrzałego kompostu przed zastosowaniem rolniczym i ogrodniczym. Jednak wprowadzone modernizacje nie miały wpływu na przebieg zasadniczego procesu technologicznego.

4.3. POMIARY CECH FIZYKOCHEMICZNYCH

Pomiar temperatury kompostowanej masy w pryzmach prowadzono za pomocą termometru elektroniczno-cyfrowego typu WB-500. Czynniki te kontrolowano w trakcie pobierania próbek odpadów i kompostu do badań, a dane z rejestru przebiegu procesu technologicznego wykorzystywano w poszczególnych kompostowniach.

Odczyn odpadów i kompostu określono za pomocą pehametru cyfrowego N-517 [Lityński i wsp. 1976] oraz według PN-91/C-04540/05.

Suchą masę próbek odpadów i kompostu określono na podstawie ogólnie przyjętych zasad [Lityński i wsp. 1976] oraz według PN-EN 12879:2004.

W badanych próbkach odpadów i kompostu określono zawartość węgla organicznego metodą kolorymetryczną według Tiurina [Ostrowska i wsp. 1991].

Zawartość ogólnej substancji organicznej w próbkach odpadów i kompostu wykonano w oparciu o PN-75/C-04616/01, a zawartość azotu ogólnego oznaczano według zmodyfikowanej metody Kjeldahla [Ostrowska i wsp. 1991].

W analizowanych próbkach określono zawartość fosforu (P_2O_5 w % s.m.) według PN-C-04537/14:1998 i potasu (K_2O w % s.m.) w oparciu o PN-75/C-04591/05.

W pobranych próbkach kompostu dojrzałego oznaczano zawartość metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) za pomocą atomowego spektrometru absorpcyjnego z atomizacją płomieniową (Flame Atomic Absorption Spectroscopy) według PN-ISO 8288:2002.

4.4. SANITARNO-HIGIENICZNA OCENA KOMPOSTU

W celu przeprowadzenia badań nad dynamiką zmian wybranych mikroorganizmów uczestniczących w procesie utylizacji odpadów z każdej kompostowni pobierano w trzech powtórzeniach po 3 następujące próbki:

- odpadów – materiału wsadowego,
- kompostu świeżego – po przejściu przez biostabilizator,
- kompostu dojrzałego – leżakującego, przeznaczonego do przyrodniczego zagospodarowania.

Do badań laboratoryjnych pobierano próbki o masie 1000 g, a następnie przeprowadzono analizę jakości dojrzałego kompostu na podstawie zawartości substancji organicznych, węgla, azotu, fosforu, potasu, kadmu, chromu, miedzi, niklu, ołowiu i cynku, zgodnie z wymogami atestu dla kompostu z odpadów komunalnych określonymi w Normie Branżowej BN-89/9103-09 [Norma Branżowa]. Zawartość drobnoustrojów określono na podstawie analiz odpadów, kompostu świeżego i dojrzałego. W tym celu każdorazowo wykonywano rozcieńczenie podstawowe badanego materiału z zachowaniem warunków sterylności; do kolby o pojemności 250 cm³ odważano 20 g rozdrobnionej na homogenizatorze (Homogenizer typ 302) reprezentatywnej próbki, pobranej z różnych miejsc i dodawano 180 cm³ jałowego płynu fizjologicznego. Próbkę homogenizowano na wstrząsarce laboratoryjnej typu Alpan 358S przez 30 minut przy 150 obrotach na minutę. Z otrzymanego homogenatu, w zależności od rodzaju wykonywanych badań, przygotowano 3 rzędy rozcieńczeń od 10⁻¹ do 10⁻⁹, z których wykonywano posiewy na odpowiednie podłoża mikrobiologiczne. Ilościowe oznaczenie mikroorganizmów prowadzono na podstawie najbardziej prawdopodobnej liczby drobnoustrojów (NPL). W tym celu oznaczono liczbę charakterystyczną, składającą się z trzech cyfr. Pierwsza cyfra oznaczała wynik dodatni z ostatniego rozcieńczenia próbki we wszystkich powtórzeniach. Druga i trzecia cyfra były liczbą prób z wynikiem dodatnim z dwóch kolejnych rozcieńczeń. W przypadku gdy wzrost drobnoustrojów występował w następnych rozcieńczeniach, liczbę wyników pozytywnych dodawano do ostatniej cyfry. Po ustaleniu liczby charakterystycznej określono NPL bakterii, stosując tablice McCrady'ego [Pawlaczyk-Szpilowa 1980, Zmysłowska 2003].

4.4.1. Ogólna liczba bakterii i ich identyfikacja gatunkowa

Celem określenia ogólnej liczby bakterii badany materiał rozcieńczony w soli fizjologicznej pipetowano równolegle (po 0,1 cm³) na dwie płytki Petriego zawierające podłoże Standard-I Agar (Standard I-Nähragar, Merck Nr 7881) i rozprowadzano za pomocą sterylnego platynowego lub szklanego trójkąta. Następnie po 24-godzinnej inkubacji w 37°C uwzględniano te wyniki, w których liczba kolonii bakteryjnych utrzymywała się w granicach od 30 do 300, a do liczenia wybierano płytki Petriego z 2 kolejnych rozcieńczeń. Liczbę drobnoustrojów w 1 g odpadów lub kompostu określano za pomocą wzoru [Grzybowski i Reiss 2001]:

$$L = \frac{\sum C}{(n_1 + 0,1 \times n_2) \times d} \quad (1)$$

gdzie:

- L – ogólna liczba bakterii w 1 g badanego materiału,
 $\sum C$ – suma kolonii we wszystkich liczonych płytkach,
 n_1 – liczba płytek w pierwszym liczonym rozcieńczeniu,
 n_2 – liczba płytek w drugim liczonym rozcieńczeniu,
d – wskaźnik rozcieńczenia odpowiadający pierwszemu liczonemu rozcieńczeniu.

Obliczoną według wzoru liczbę zaokrąglono do dwóch cyfr znaczących, zaś wynik wyrażono jako liczbę między 1,0 a 9,9 pomnożoną przez 10^x , w którym x jest wykładnikiem potęgi.

W celu przeprowadzenia identyfikacji gatunkowej drobnoustrojów znajdujących się w pobranych odpadach i kompoście, próbki z odpowiednich rozcieńczeń wysiewano na podłoża agarowe z krwią i inkubowano przez 24 godziny w temperaturze 37°C. Po tym czasie przeprowadzono wstępną identyfikację wyrosłych bakterii i poszczególne kolonie przesiewano na płynne podłoże odżywcze (Standard I Nahr-Bouillon, Merck, Nr 107882), a po namnożeniu ich przez 24 godziny w temperaturze 37°C wykonano przesiew na podłoża wybiórcze:

- 1) Mac Conkey-Agar (Merck, Nr 5465),
- 2) Streptokokken-Selektivagar (Merck, Nr 5453),
- 3) Staphylokokken-Selektivagar nach Baird-Parker [Basis] (Merck, Nr 5406).

Po potwierdzeniu wzrostu kolonii bakteryjnych na podłożach wybiórczych przeprowadzono identyfikację gatunkową drobnoustrojów, opierając się na systemie ATB i API [Kluczek 1999b] za pomocą mikrotestów:

- ID 32 E i API 20E do identyfikacji bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* i innych pałeczek Gram-ujemnych [Edwards i Ewik 1972, Hart i Kite 1977],
- Rapid ID 32 STREP i API 20 STREP do identyfikacji paciorkowców [Tillotson 1982, Colman i Ball 1984],
- ID 32 STAPH i API STAPH do identyfikacji gronkowców [Brun i wsp. 1978, Radebold i Essers 1980, Ellen i Myrick 1982, Marples i Richardson 1982].

Odczyty testów ATB wykonywano za pomocą mikroanalizatora do identyfikacji gatunkowej mikroorganizmów ATB Expression, działającego przy wykorzystaniu programu komputerowego ATB Plus V 2.6.8.

4.4.2. Zawartość bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*

Z każdego wcześniej wykonanego rozcieńczenia próbki pobierano w 3 powtórzeniach po 1 cm³ płynu i rozpuszczano w 9 cm³ podłoża płynnego według Mac Conkey'a (Mac Conkey-Bouillon, Merck Nr 5396). Pożywkę płynną inkubowano przez 24 godziny w temperaturze 37°C, a następnie z poszczególnych rozcieńczeń wykonywano posiew na stałe podłoże wybiórcze Mac Conkey Agar (Merck, Nr 5465). Płytki z posiewami inkubowano przez 24 godziny w temperaturze 37°C. O pozytywnym wzroście drobnoustrojów świadczyło różowo-fioletowe zabarwienie bakterii. W przypadkach wątpliwych kolonię przenoszono na agar zwykły i hodowano czystą kulturę oraz prowadzono

rozpoznanie opierając się na biochemicznych metodach identyfikacji bakterii [Kluczek 1999b] na podstawie wyników mikrotestów API 20E [Edwards i Ewik 1972, Hart i Kite 1977].

4.4.3. Określanie zawartości *Escherichia coli*, paciorkowców grupy-D i bakterii z rodzaju *Salmonella*

W celu określenia zawartości bakterii *Escherichia coli* w pierwszym etapie po 1 cm³ każdej rozcieńczonej próbki w trzech powtórzeniach rozpuszczono w 9 cm³ podłoża płynnego według Mac Conkey'a (Mac Conkey-Bouillon, Merck Nr 5396). Pożywkę płynną inkubowano w temperaturze 43°C przez 24 godziny, zaś do dalszych badań wybrano takie próbki, w których stwierdzano rozkład laktozy potwierdzony zmianą barwy bulionu z fioletowej na żółtą. Wytypowane próbki przesiano na podłoże stałe z tergitolem (Tergitol-7 Agar, Merck Nr 5471) z dodatkiem 1% roztworu TTC (2,3,5-Triphenyl-Tetrazolium Chloride, Merck Nr 8380). Płytki z posiewami inkubowano przez 24 godziny w temperaturze 37°C. Żółte zabarwienie kolonii oraz zmieniona barwa podłoża z zielonej na żółtą świadczyły o wzroście bakterii. W celu odróżnienia *E. coli* od innych pałeczek z grupy coli wykorzystywano test na obecność dekarboksylazy kwasu glutaminowego. W przypadkach wątpliwych identyfikację bakterii potwierdzano opierając się na testach API 20E (Klein i Casida 1976). W celu ilościowego określenia paciorkowców grupy-D w badanych próbkach każdy przygotowany rozcieńczony roztwór przenoszono w 3 powtórzeniach (po 1 cm³) do 9 cm³ podłoża płynnego z zawartością glukozy z azydkiem (Azid-Glucose-Bouillon, Merck Nr 1590). Podłoże inkubowano przez 24 godziny w temperaturze 37°C, a następnie próbki przesiewano na podłoże stałe z kanamycyną i eskuliną (Kanamycin-Asculin-Azid-Agar, Merck Nr 5222), stanowiące podłoże wybiórcze dla paciorkowców grupy-D. Posiewy inkubowano przez 24 godziny w temperaturze 37°C. O wzroście drobnoustrojów świadczyło pojawienie się drobnych, charakterystycznych kolonii i ciemne zabarwienie podłoża, jako wynik hydrolizy eskuliny. W przypadkach wątpliwych stosowano testy odwoławcze API 20 STREP [Tillotson 1982, Colman i Ball 1984]. W analogiczny sposób wykonywano oznaczenia zawartości bakterii *Salmonella* spp. W tym celu z rozcieńczonych próbek kompostu i odpadów pobierano po 1 cm³ płynu w 3 powtórzeniach i przenoszono do 9 cm³ 1% wody peptonowej (Pepton Wasser, Merck Nr 7228). Po 24 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C przenoszono po 0,1 cm³ każdej próbki do 10 cm³ selektywnie namnażającego podłoża płynnego według Rappaporta (*Salmonella* Anreicherungsbouillon nach Rappaport, Merck Nr 10236), które inkubowano przez 24-48 godzin w temperaturze 37 i 43°C. Następnie próbki przenoszono na podłoże stałe BPLA i XLD (Beillantgrün-Phenolrol-Lactose-Agar nach Kauffmann, Merck Nr 7236; Xylose-Lysin-Desoxycholat Agar, Merck Nr 5387), które inkubowano przez 24 godziny w temperaturze 37°C. Drobnoustroje przyjmowały postać czarnych lub blad różowych kolonii, wokół których agar zmieniał zabarwienie. Końcową diagnozę przeprowadzano serologicznie za pomocą surowicy poliwalentnej Hm.

4.4.4. Oznaczenie ogólnej liczby grzybów i ich identyfikacja gatunkowa

Do oznaczenia grzybów w odpadach i kompoście wykorzystano następujące podłoża agarowe: Sabouraud z chloramfenikolem, Sabouraud z 2% i 4% glukozą (Sabouraud 4% Glucose Agar, Merck nr 4538; Sabouraud 2% Glucose Agar, Merck Nr 7315)

oraz Czapek (Czapek-Dox-Agar, Merck Nr 5460). Posiewy inkubowano w temperaturze $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ przez okres 3-5 dni. Wyrosłe na płytkach kolonie liczono, a wynik podano w postaci ogólnej liczby grzybów w 1 gramie kompostu. Grzyby pleśniowe zidentyfikowano opierając się na obserwacjach makro- i mikroskopowych kolonii wyrosłych na podłożach selektywnych, na podstawie ogólnie przyjętych metod stosowanych w laboratoriach mikologicznych oraz posługując się opracowaniami systematycznymi [Fassatiowa 1983, Larone 1987]. Grzyby drożdżopodobne zidentyfikowano za pomocą systemu ATB i API następującymi mikrotestami: ID 32 C i API 20 C AUX [Dermoumi 1979, Land i wsp. 1979, Dickgisser i Pieringer 1980]. Odczytów testów ATB dokonywano za pomocą mikroanalizatora do identyfikacji gatunkowej mikroorganizmów ATB Expression, działającego przy wykorzystaniu programu komputerowego ATB Plus V 2.6.8.

4.5. OCENA SANITARNO-HIGIENICZNA PROCESU UTYLIZACJI ODPADÓW NA PODSTAWIE TEMPA ELIMINACJI WYBRANYCH DROBNOUSTROJÓW WSKAŹNIKOWYCH (*Salmonella senftenberg*, *Enterococcus faecium*, *Escherichia coli*)

Analizę skuteczności utylizacji produktów odpadowych i ich ocenę sanitarną powszechnie przeprowadza się na podstawie zawartości wybranych mikroorganizmów wskaźnikowych w produkcie finalnym (ściekach, osadach ściekowych itp.) [Sroczyńska-Sikorska 1993]. Tę metodę należy uznać za właściwą w przypadku utylizacji odpadów o niskiej lub średniej zawartości substancji biologicznie skażonej. Ze względu na to, że właśnie odpady mogą stanowić duże zagrożenie dla środowiska naturalnego, a sposób ich utylizacji nie zawsze jest wystarczający, zaproponowano w niniejszej pracy metodę oceny skuteczności utylizacji na podstawie przeżywalności następujących bakterii: *Salmonella senftenberg*, *Enterococcus faecium* i *Escherichia coli*. Wybór tych bakterii wynikał z faktu, iż są one przedstawicielami patogennych mikroorganizmów zidentyfikowanych najczęściej w bioodpadach i należą do grupy drobnoustrojów najbardziej termotolerancyjnych. Użyte do badań szczepy drobnoustrojów wskaźnikowych otrzymano z kolekcji Instytutu Higieny Weterynaryjnej Uniwersytetu Hohenheim w Stuttgarcie. W celu sprawdzenia przebiegu utylizacji odpadów w przyzmacz wprowadzono do nich powyższe drobnoustroje wskaźnikowe w następujących stężeniach: *S. senftenberg* $1,1 \times 10^9$, *E. coli* $2,5 \times 10^9$ i *E. faecium* $1,1 \times 10^{10}$. Próbkę umieszczano w przyzmacz o wymiarach $15 \times 4 \times 1,5$ m, zlokalizowanych na placu dojrzewania kompostu. Mikroorganizmy wskaźnikowe mieszano z kompostem i umieszczano w workach cebulowych (15×25 cm), które przedtem odkażano promieniami ultrafioletowymi za pomocą lampy kwarcowej typu L-8/59. Każdy worek zawierał: 300 g kompostu i 30 cm^3 zawiesiny z drobnoustrojami wskaźnikowymi. Stopień redukcji drobnoustrojów wskaźnikowych określano raz w miesiącu na podstawie ilościowej analizy mikrobiologicznej, charakterystycznej dla każdego gatunku bakterii wskaźnikowych. Oprócz kontroli przebiegu utylizacji odpadów w przyzmacz kompostowych podobne badania przeprowadzono w biostabilizatorze. Wynika to z faktu, iż w czasie utylizacji odpadów według technologii PZBM „Makrum” z Bydgoszczy zapoczątkowanie przemian biochemicznych i mikrobiologicznych odbywa się w biostabilizatorze. W czasie badań nad stopniem eliminacji bakterii wskaźnikowych w samych przyzmacz zachodziła wątpliwość, czy faza wstępna – mieszanie i rozdrabnianie oraz zagrzewanie kompostowanej masy w biostabilizatorze – przyczynia się do szybszego tempa redukcji bakterii wskaźnikowych. Aby sprawdzić przebieg całkowitej utylizacji odpadów, wprowadzono do biostabilizatora perforowane, metalowe i zamknięte

naczynie cylindryczne z umieszczonymi drobnoustrojami wskaźnikowymi (*S. senftenberg*, *E. coli* i *E. faecium*). Po 2 dniach z biostabilizatora wyjmowano próbki testowe do analiz mikrobiologicznych, resztę zaś umieszczano w pryzmach kompostowych. Stopień redukcji tych bakterii określano analogicznie jak w przypadku kontroli eliminacji drobnoustrojów w pryzmach kompostowych.

4.6. ANALIZA STANU FITOSANITARNEGO I SANITARNO-HIGIENICZNEGO GLEB UŻYŹNIONYCH KOMPOSTEM

Wyprodukowany w poszczególnych obiektach kompost zastosowano jako nawóz pod użytki zielone w systemie umiarkowanie intensywnym. W tym celu przeznaczone do badań naturalne stanowisko nawieziono ziemią kompostową. Na podstawie składników pokarmowych w kompostach i przeznaczonych do nawożenia glebach ustalono dawkę kompostu w poszczególnych obiektach w wysokości od 35 do 50 t·ha⁻¹. Przygotowane gleby obsiano mieszkanką traw darniowych w ilości 15 g·m⁻². Po upływie 3 lat od założenia doświadczenia pobrano do badań próbki gleby z warstwy 0-20 cm według PN-R-04031 i kontrolowano w nich zawartość substancji organicznej, węgla organicznego i azotu ogólnego (zgodnie z pomiarami opisanymi w podrozdziale 4.3). Określano zawartość makroskładników gleby: fosforu (P₂O₅) na podstawie PN-R-04023:1996, potasu (K₂O) wg PN-R-04022:1996 i magnezu (Mg) w oparciu o PN-R-04020:1994. W celu określenia wpływu kompostu na stan fitosanitarny gleb pobrano próbki według PN-ISO-10381-6 i ustalono mikrobiologiczne wskaźniki fitosanitarne według Myśkowa [1981]. W glebach poddanych badaniu określono ogólną liczbę bakterii na pożywce Standard-I Agar (Standard I-Nähragar, Merck Nr 7881) metodą zalewową, które inkubowano przez 5 dni w temperaturze 25°C. Promieniowce określano na podłożu wybiórczym według Pochona z dodatkiem nystatyny [Williams i Davis 1965], prowadząc inkubację w temperaturze 26°C przez 7-14 dni [Grabińska-Loniewska i wsp. 1999]. Ogólną populację grzybów określano na podłożu Sabouraud z 4% glukozą i maltozą z dodatkiem antybiotyków hamujących wzrost bakterii. Liczebność bakterii, promieniowców i grzybów podano w logarytmach dziesiętnych jednostek tworzących kolonie w przeliczeniu na 1 gram suchej masy gleby (log jtk·g⁻¹). Ponadto przeprowadzono badania dotyczące liczebności bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* i pałeczek *Salmonella* sp. według metod przyjętych w ocenie odpadów i kompostu (podrozdział 4.4). Oznaczenia liczebności drobnoustrojów (bakterii, promieniowców i grzybów) oraz bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* posłużyły do określenia wskaźników: fitosanitarnego [Myśków 1981] i sanitarno-higienicznego obrazujących zależność między badanymi mikroorganizmami:

$$WF = \frac{OLB + P}{OLG} \quad (2)$$

gdzie:

- WF – wskaźnik fitosanitarny,
- OLB – ogólna liczba bakterii (log jtk·g⁻¹),
- P – promieniowce (log jtk·g⁻¹),
- OLG – ogólna liczba grzybów (log jtk·g⁻¹).

Biorąc pod uwagę fakt, iż rozwój promieniowców warunkuje równowagę biologiczną w glebie i w ekosystemach glebowych pełnią one rolę fitosanitarną oraz na podstawie zależności między $\log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ promieniowców i liczbą bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* ($\log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$) ustalono relację między tymi mikroorganizmami, wyrażoną w postaci wskaźnika sanitarno-higienicznego:

$$\text{WSH} = \frac{P}{E} \quad (3)$$

gdzie:

- WSH – wskaźnik sanitarno-higieniczny,
- P – liczba promieniowców ($\log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$),
- E – liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* ($\log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$).

4.7. MATEMATYCZNE OPRACOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

Zależność liczby poszczególnych drobnoustrojów w badanych próbkach odpadów, kompostu świeżego i dojrzałego od wybranych czynników fizykochemicznych rejestrowanych w czasie kompostowania określono w postaci trójmianu kwadratowego [Kacprzyński 1974, Sobczyk 2000]:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (4)$$

gdzie:

- y – logarytm liczby bakterii,
- a, b – współczynniki kierunkowe trójmianu kwadratowego,
- x – badane czynniki niezależne,
- c – wyraz wolny.

Zależność liczby drobnoustrojów w badanych próbach kompostu dojrzałego od różnych parametrów towarzyszących procesowi kompostowania odpadów przedstawiono w postaci równań liniowej regresji wielokrotnej [Kacprzyński 1974, Polański 1978, Kała 2002]:

$$y = a_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7 + b_8x_8 \quad (5)$$

gdzie:

- y – liczba badanych bakterii,
- a_0 – wyraz wolny równania regresji,
- b_1 - b_8 – współczynniki regresji wielokrotnej,
- x_1 - x_8 – badane czynniki przyjęte dla danej funkcji jako niezależne.

Szybkość eliminacji bakterii testowych introdukowanych do procesu technologicznego kompostowania odpadów określono na podstawie pochodnej funkcji ich liczebności względem czasu [Tchobanoglous 1991]:

$$\frac{dC}{dx} = -K_B \cdot C \quad (6)$$

gdzie:

- C – liczba bakterii wskaźnikowych,
- dC – elementarny spadek liczby bakterii wskaźnikowych,
- dx – przyrost czasu eliminacji bakterii,
- K_B – wskaźnik eliminacji bakterii wskaźnikowych.

Eliminację bakterii wskaźnikowych w czasie dojrzewania kompostu w pryzmach, z uwzględnieniem wstępnej fazy unieszkodliwiania w biostabilizatorze oraz bez jego udziału, określono na podstawie funkcji wykładniczej [Sobczyk 2000]:

$$C = C_0 \cdot e^{-K_B \cdot x} \quad (7)$$

gdzie:

- C – liczba bakterii wskaźnikowych,
- C_0 – wartość początkowa liczby bakterii wskaźnikowych,
- e – podstawa logarytmów naturalnych ($e = 2,718$),
- K_B – wskaźnik eliminacji bakterii wskaźnikowych,
- x – czas (dni).

Eliminację bakterii wskaźnikowych dla okresów badawczych przedstawiono w postaci funkcji liniowej [Sobczyk 2000]:

$$y = ax + b \quad (8)$$

gdzie:

- y – logarytm liczby bakterii wskaźnikowych ($y = \log C$),
- a – współczynnik kierunkowy funkcji ($a = -K_B/2,303$),
- b – wyraz wolny ($b = \log C_0$),
- x – czas (miesiące).

Uzyskane wyniki badań poddano podstawowej analizie statystycznej, w celu ustalenia istotności różnic między średnimi parametrami w obiektach i okresach badawczych wykorzystując test Duncana przy poziomie istotności $p < 0,05$ i $0,01$. Obliczenia statystyczne przeprowadzono za pomocą programu komputerowego Statistica wersja 6,0.

5. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

5.1. CECHY FIZYKOCHEMICZNE ODPADÓW I KOMPOSTU

Przebieg technologicznego procesu kompostowania substancji organicznej zależy od wielu parametrów, wśród których dominującą rolę pełnią czynniki fizykochemiczne (odczyn, zawartość suchej masy i temperatura). Zależności między tymi wskaźnikami warunkują przebieg procesów biochemicznych, mikrobiologicznych, mineralizacji i humifikacji.

5.1.1. Temperatura

Kompostowanie prowadzi do samozagrzewania się przeznaczonej do przerobu materii organicznej. Jest procesem termodynamicznym, który zachodzi w czasie oddychania mikroorganizmów. Część uzyskanej energii jest emitowana do otoczenia, a pozostała ogrzewa kompostowane złoże, prowadząc do wzrostu temperatury [Bardos i Lopez-Real 1988, Roth 1994, Weinrich 1996]. Najważniejszy wpływ wywiera ona na populację mikroorganizmów biorących udział w procesie kompostowania [Strauch i wsp. 1993]. Z badań własnych wynika (tab. 2), że wartości temperatury w pryzmach kompostowych w poszczególnych miesiącach eksperymentu były wyrównane. Najwyższą średnią temperaturę (61°C) zanotowano w kompostowni C w okresie wiosenno-letnim, najniższa zaś wystąpiła w jesienno-zimowym okresie badań w kompostowni B (51°C).

Tabela 2. Temperatura (°C) w pryzmach kompostowych w poszczególnych okresach badań
Table 2. Temperature (°C) in the compost piles in each examination period

Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Miesiąc badań Examination month				Średnia dla okresu badań Mean for examination period
		1.	2.	3.	4.	
A	I	63	64	58	47	58
	II	59	60	47	51	54
B	I	62	60	55	50	57
	II	55	52	51	46	51
C	I	65	62	59	56	61
	II	59	63	56	49	57
Średnia dla miesięcy badań Mean for examination months	Zakres – Range \bar{x} Sx	55-65 60,5 ^a 3.3	52-64 60,2 ^b 4.0	47-59 54,3 4.2	46-56 49,8 ^{a,b} 3.3	56,2

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

\bar{x} – średnia – mean

Sx – odchylenie standardowe – standard deviation

Wartości w wierszach oznaczone małymi literami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0.05$)

Values in lines marked with lower-case letters are significantly different ($p < 0.05$)

Nie potwierdzono statystycznych zależności między temperaturami rejestrowanymi w badanych obiektach (tab. 3), jedynie istotne różnice ($p < 0,05$) wystąpiły między miesiącami badań (tab. 2).

Tabela 3. Istotność różnic temperatury ($^{\circ}\text{C}$) w pryzmach w poszczególnych kompostowniach
 Table 3. Significant differences in piles temperature ($^{\circ}\text{C}$) in each composting plant

Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Wartości średnie Mean value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variability coefficient %
A	56.13	6.55	11.67
B	53.88	5.04	9.36
C	58.63	4.82	8.22
Wartości ogólne – Total value	56.21	5.78	10.29

Porównanie średnich wartości temperatur w okresie wiosenno-letnim i jesienno-zimowym wskazuje, że we wszystkich pryzmach kompostowych nieznacznie niższe wskazania notowano w jesienno-zimowym sezonie badań. Z kolei w początkowym okresie badań we wszystkich pryzmach kompostowych obserwowano nieco wyższe wskazania temperatury w pierwszych dwóch miesiącach. W tym okresie rejestrowano temperatury w zakresie od maksimum 65°C w okresie wiosenno-letnim w pryzmach pochodzących z kompostowni C do 52°C w pryzmach pochodzących z kompostowni B w okresie jesienno-zimowym. Większe wartości, rejestrowane szczególnie w okresie wiosenno-letnim, były spowodowane zarówno wyższymi temperaturami zewnętrznymi, jak i wzmożoną działalnością mikroorganizmów mezofilnych, a następnie termofilnych, uczestniczących w pierwszych fazach procesu kompostowania.

Przywarska i Pszczołka [1994] podają, że w czasie kompostowania stałych odpadów komunalnych temperatura wzrastała od pierwszego do trzeciego dnia eksperymentu, następnie stopniowo obniżała się, maksymalna wartość tego czynnika wynosiła 59°C . W badaniach własnych uzyskane wysokie parametry temperatury w pierwszym miesiącu badań zależały głównie od przebiegu innych elementów procesu technologicznego w kompostowniach (zawartości wody w odpadach, przewietrzania pryzm kompostowych, odczynu, suchej masy).

Niezmiernie ważnym czynnikiem kompostowania jest przewietrzanie pryzm, bowiem brak tlenu może ograniczać właściwy przebieg tego procesu [Epstein 1997] oraz redukcję liczebności drobnoustrojów patogennych [Pereira-Neto i wsp. 1987]. Wymagania tlenowe są bardzo wysokie podczas początkowej fazy dekompozycji z powodu gwałtownego zwiększenia populacji mikroorganizmów, wzrostu temperatury i dużego wskaźnika aktywności biochemicznej. Zaleca się, aby w tym stadium koncentracja tlenu była utrzymana na poziomie minimalnej wartości, zgodnej z warunkami tlenowymi w danym systemie kompostowania. Zapotrzebowanie na tlen zmniejsza się podczas fazy stabilizacji i dojrzewania kompostu. Nadmiar tlenu w czasie ostatniej fazy mógłby prowadzić do mineralizacji substancji próchnicotwórczej. Wyniki badań własnych (tab. 2) potwierdzają spostrzeżenia innych autorów, ponieważ w końcowej fazie dojrzewania kompostu (w 4. miesiącu) w pryzmach stwierdzono najniższe temperatury ($46\text{--}56^{\circ}\text{C}$; średnio $49,8^{\circ}\text{C}$) we wszystkich okresach badawczych.

5.1.2. Odczyn

Kolejnym czynnikiem w zdecydowany sposób wpływającym na skuteczność utylizacji odpadów metodą kompostowania jest odczyn substancji biorącej udział we wszyst-

kich etapach tego procesu. Z badań własnych wynika, że odpady poddane analizie charakteryzowały się niskim pH – w granicach średnio od 4,64 do 6,16 (tab. 4).

Tabela 4. Odczyn (pH) poszczególnych próbek odpadów i kompostów
Table 4. pH values of each waste and compost sample

Wyszczególnienie Specification	Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Miesiąc badań Examination month				Średnia Mean
			1.	2.	3.	4.	
Odpady Waste	A	I	4.28	4.89	5.11	4.28	4,64
		II	5.17	4.92	5.29	5.17	5,14
	B	I	5.19	5.17	7.02	5.19	5,64
		II	5.98	5.92	6.01	5.98	5,97
	C	I	5.89	6.50	6.37	5.89	6,16
		II	5.99	5.97	6.53	5.99	6,12
Kompost świeży Fresh compost	A	I	6.92	6.26	6.27	6.92	6,59
		II	7.28	7.14	7.12	7.28	7,21
	B	I	6.82	6.62	7.10	6.82	6,84
		II	6.96	6.98	6.96	6.96	6,97
	C	I	7.14	6.20	7.18	7.14	6,92
		II	6.94	6.72	7.52	6.94	7,03
Kompost dojrzały Matured compost	A	I	7.80	7.35	7.92	7.80	7,72
		II	7.20	8.14	8.18	7.20	7,68
	B	I	7.85	7.56	7.44	7.85	7,68
		II	7.23	7.46	7.25	7.23	7,29
	C	I	8.12	8.08	7.78	8.12	8,03
		II	7.50	7.92	7.72	7.50	7,66

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Roth [1994] podaje, że odczyn odpadów przed ich kompostowaniem jest z reguły kwaśny, chociaż rozpiętość wyników dla prób oznaczanych przez tę autorkę była znaczna i wynosiła od 3,77 do 7,37. Wyniki badań własnych (tab. 4) wskazują, iż w próbkach kompostu świeżego następowało również podwyższenie wskaźnika pH do wartości średnich 6,59-7,21. Analizy kompostu dojrzałego wskazały, że odczyn we wszystkich przypadkach był zasadowy i wynosił 7,29-8,03. Stwierdzono istotną statystyczną różnicę ($p < 0,05$) między średnimi dla badanych próbek odpadów i kompostu dojrzałego (tab. 5). Jak podają Kern i Fack [1993], odczyn kompostu dojrzałego utrzymuje się w granicach od 7,15 do 8,22 i jest dobrym wskaźnikiem przebiegu procesu dojrzewania. Drozd i wsp. [1996a] podają, że w czasie badań prowadzonych nad kompostowaniem odpadów komunalnych następuje stopniowe zwiększanie się tego wskaźnika w zależności od czasu trwania eksperymentu. W próbkach wyjściowych po przetworzeniu odpadów w komorze biostabilizatora pH wynosiło 7,0, zaś w czasie dojrzewania w pryzmach ulegało zwiększeniu do wartości 7,8. Autorzy podają, że zmiany w składzie chemicznym uwarunkowane są procesami transformacji materii organicznej w czasie dojrzewania kompostu.

Tabela 5. Istotność różnic odczynu badanych próbek
 Table 5. Significance of differences in pH values of the samples examined

Wyszczególnienie Specification	Wartości średnie Mean value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variability coefficient %
Odpady Waste	5,61 ^a	0.70	12.39
Kompost świeży Fresh compost	6.92	0.33	4.70
Kompost dojrzały Matured compost	7,68 ^a	0,33	4,35
Wartości ogólne Total value	6,74	0,98	14,57

Wartości w kolumnach oznaczone małymi literami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0.05$)
 Values in columns marked with lower-case letters are significantly different ($p < 0.05$)

Wyniki badań własnych świadczą o tym, że w próbkach kompostu dojrzałego pochodzącego z kompostowni B odnotowano najniższe wartości pH. W czasie dojrzewania kompostu w pryzmach obserwowano tendencję wzrostu wskaźnika pH. Natomiast w okresie jesienno-zimowym (II) w próbkach kompostu dojrzałego pochodzącego z badanych trzech kompostowni odnotowano nieznaczne obniżenie się pH.

5.1.3. Sucha masa

Właściwy proces przemian biochemicznych i mikrobiologicznych w czasie kompostowania zależy również od zawartości suchej masy substancji organicznej. Według Pfirrmanna i Schmidta [1993] odpady posiadają niską zawartość suchej masy (średnio 37,4%). Zawartość wilgoci uzależniona jest w dużym stopniu od składu materiałów wyjściowych poddanych temu procesowi. Badania własne (tab. 6) wskazują, że zawartość suchej masy ulegała zwiększeniu w czasie trwania doświadczenia.

Niskie średnie wartości tego wskaźnika (36,03-42,33%) stwierdzano w odpadach, zaś w końcowej fazie w kompoście dojrzałym notowano wyższą zawartość suchej masy – średnio od 62,55 do 70,65%. Analizując wartości tego czynnika w zależności od okresu badawczego, można stwierdzić, iż w kompoście dojrzałym zarysowała się tendencja do zwiększania się zawartości suchej masy w porównaniu z odpadami, co potwierdziły obliczenia statystyczne (tab. 7).

Tabela 6. Zawartość suchej masy (%) w poszczególnych próbkach odpadów i kompostów
Table 6. Dry matter content (%) in respective waste and compost samples

Wyszczególnienie Specification	Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Miesiąc badań Examination month				Średnia Mean
			1.	2.	3.	4.	
Odpady Waste	A	I	39.6	32.8	42.1	38.6	38.28
		II	37.9	47.1	48.4	35.9	42.33
	B	I	31.2	42.3	39.4	34.2	36.78
		II	36.9	41.6	38.4	38.9	38.95
	C	I	34.2	33.8	39.7	36.4	36.03
		II	48.6	39.2	34.3	46.6	42.18
Kompost świeży Fresh compost	A	I	61.6	62.8	64.8	52.6	60.45
		II	59.9	69.4	63.2	56.8	62.33
	B	I	56.6	61.8	59.2	54.6	58.05
		II	62.9	54.8	55.7	63.4	59.20
	C	I	63.6	69.2	60.4	62.4	63.90
		II	67.8	71.6	62.6	64.6	66.65
Kompost dojrzały Matured compost	A	I	70.6	69.2	69.2	73.6	70.65
		II	60.4	60.8	62.6	66.4	62.55
	B	I	74.4	66.4	70.2	67.4	69.60
		II	70.6	72.2	69.4	65.8	69.50
	C	I	68.6	72.1	69.6	66.6	69.23
		II	60.3	64.6	68.8	61.3	63.75

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Tabela 7. Istotność różnic suchej masy (%) badanych próbek

Table 7. Significance of differences in the dry matter content (%) of the samples examined

Wyszczególnienie Specification	Wartości średnie Mean value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variability coefficient %
Odpady Waste	32.50 ^{AB}	4.35	13.40
Kompost świeży Fresh compost	60.93 ^A	5.46	8.96
Kompost dojrzały Matured compost	67.96 ^B	3.16	4.66
Wartości ogólne Total value	53.80	16.04	29.82

Wartości w kolumnach oznaczone dużymi literami różnią się wysoko istotnie statystycznie ($p < 0,01$)
Values in columns marked with capital letters are highly significantly different ($p < 0.01$)

W celu zwiększenia wilgotności kompostowanego materiału w praktyce proponuje się stosowanie dodatku ścieków lub osadów ściekowych, co znacznie poprawia stosunki wilgotnościowe. Jak podają Grabbe i Schuardt [1993], optymalna wilgotność odpadów biologicznych poddanych procesowi kompostowania powinna wynosić 50-55%.

Proces kompostowania nie jest zakłócany zbyt wysoką zawartością wody pod warunkiem, że nie ogranicza się porowatości i wymiany tlenowej w czasie jego trwania. Wymagania wilgotnościowe ulegają zmianie w czasie dojrzewania kompostu, co przede wszystkim wiąże się z działalnością mikroorganizmów i przemianami biochemicznymi zachodzącymi w tym procesie. Według Epsteina [1997] w wyniku tych przemian nie następuje w przyrmach produkcja typowego humusu. Substancje humusowe powstają na skutek długotrwałego rozkładu materii organicznej w glebie. Podczas kompostowania następuje produkcja częściowo rozłożonej już materii organicznej, która dopiero po wprowadzeniu do gleby i w odpowiednich warunkach może ulegać biodegradacji oraz przyczyniać się do powstawania humusu.

5.1.4. Zawartość składników nawozowych w odpadach i kompoście

Udział związków mineralnych i składników organicznych, takich jak: ogólna substancja organiczna, węgiel, azot, potas i fosfor w odpadach miejskich był zróżnicowany między okresami badawczymi w poszczególnych kompostowniach (tab. 8).

Tabela 8. Zawartość substancji organicznej i związków mineralnych (% s.m.) w odpadach komunalnych

Table 8. Content of organic matter and mineral compounds (% d.m.) in municipal waste

Wyszczególnienie Specification	Symbole kompostowni i okresy badań Symbols of the composting plant and examination periods					
	A		B		C	
	I	II	I	II	I	II
Ogólna substancja organiczna Total organic matter	32.2	27.8	38.8	29.4	33.8	46.8
	30.0 ^{Aa}		34.1 ^{ab}		40.3 ^{Ab}	
Węgiel organiczny Organic carbon	14.6	14.2	19.6	12.6	15.6	21.6
	14.4		16.1		18.6	
Azot organiczny Organic nitrogen	0.62	0.54	0.78	0.67	0.52	1.43
	0.58 ^a		0.73		0.98 ^a	
Fosfor P ₂ O ₅ Phosphorus P ₂ O ₅	0.62	0.63	1.36	0.92	0.72	0.81
	0.625 ^A		1.14 ^{Ab}		0.77 ^b	
Potas K ₂ O Potassium K ₂ O	0.34	0.47	0.46	0.38	0.36	1.42
	0.41 ^A		0.42 ^b		0.89 ^{Ab}	

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Wartości w wierszach oznaczone dużymi literami różnią się wysoko istotnie statystycznie ($p < 0.01$)

Values in lines marked with capital letters are highly significantly different ($p < 0.01$)

Wartości w wierszach oznaczone małymi literami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0.05$)

Values in lines marked with lower-case letters are significantly different ($p < 0.05$)

Najwyższą zawartość substancji organicznej w odpadach stwierdzono w kompostowni C i wynosiła ona 40,3% w obu okresach badawczych.

Wyniki obliczeń statystycznych potwierdzają to zróżnicowanie, gdyż wysoko istotną różnicę stwierdzono między wynikami otrzymanymi z kompostowni A i C. Dla próbek pochodzących z obiektu A i B oraz B i C stwierdzono różnicę istotną statystycznie ($p < 0,05$). Ilość związków mineralnych w badanych odpadach nie odbiegała znacznie

od wartości normatywnych podawanych przez Skalmowskiego [1998]. Zawartość azotu organicznego była istotnie zróżnicowana w przypadku próbek pochodzących z kompostowni A i C. Zawartość potasu różniła się wysoko istotnie między próbkami pochodzącymi z obiektu A i C, zaś dla próbek z kompostowni B i C notowano istotne statystycznie różnice. W badanych odpadach stwierdzono również wyższą zawartość potasu w odniesieniu do wartości normatywnych [Baran i Turski 1999].

Biorąc pod uwagę cechy jakościowe kompostu dojrzałego (tab. 9) uzyskiwanego z powyższych odpadów, stwierdzić należy, że zawartość substancji organicznej w kompostach utrzymywała się w granicach od 30,11 do 36,38%. Poziom tego czynnika klasyfikował otrzymywany kompost do II klasy jakościowej [Norma Branżowa].

Tabela 9. Cechy fizykochemiczne kompostu dojrzałego uzyskiwanego w poszczególnych kompostowniach

Table 9. Physicochemical properties of matured compost obtained in respective composting plant

Wyszczególnienie Specification	Symbole kompostowni i okresy badań Symbols of the composting plant and examination periods					
	A		B		C	
	I	II	I	II	I	II
Ogólna substancja organiczna (% s.m.) Total organic matter (% d.m.)	30.62	34.36	30.11	32.7	36.38	31.54
	32.49		31.41		33.96	
Węgiel organiczny (% s.m.) Organic carbon (% d.m.)	15.22	10.28	11.62	14.4	12.59	16.72
	12.75		13.01		14.66	
Azot organiczny (% s.m.) Organic nitrogen (% d.m.)	0.71	0.46	0.58	0.68	0.76	1.14
	0.59 ^a		0.63		0.95 ^a	
Fosfor P ₂ O ₅ (% s.m.) Phosphorus P ₂ O ₅ (% d.m.)	0.45	0.42	0.56	0.54	0.45	0.66
	0.44		0.55		0.56	
Potas K ₂ O (% s.m.) Potassium K ₂ O (% d.m.)	0.62	0.65	0.58	0.64	0.66	0.91
	0.64		0.61		0.79	
Cd (mg·kg ⁻¹ s.m.) Cd (mg·kg ⁻¹ d.m.)	4.3	3.0	0.4	4.5	2.1	2.4
	3.6 ^{ab}		2.4 ^b		2.2 ^a	
Cr (mg·kg ⁻¹ s.m.) Cr (mg·kg ⁻¹ d.m.)	343.5	30.3	51.3	163.5	37.1	21.7
	186.9 ^{AB}		107.4 ^{BC}		29.4 ^{AC}	
Cu (mg·kg ⁻¹ s.m.) Cu (mg·kg ⁻¹ d.m.)	140.3	60.2	137.4	164.5	103.5	89.2
	100.2 ^{ac}		150.9 ^{ab}		96.3 ^{Bc}	
Ni (mg·kg ⁻¹ s.m.) Ni (mg·kg ⁻¹ d.m.)	41.4	20.4	17.7	37.5	14.7	39.5
	30.9		27.6		27.1	
Pb (mg·kg ⁻¹ s.m.) Pb (mg·kg ⁻¹ d.m.)	283.2	350.6	233.7	358.5	150.5	265.2
	316.9 ^{Ab}		296.1 ^b		207.8 ^A	
Zn (mg·kg ⁻¹ s.m.) Zn (mg·kg ⁻¹ d.m.)	528.2	910.4	627.1	742	517.4	672.4
	719.3 ^{Ab}		684.5 ^b		594.9 ^A	

I – okres wiosenno-letni – spring-summer season

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter season

Wartości w wierszach oznaczone dużymi literami różnią się wysoko istotnie statystycznie ($p < 0.01$)

Values in lines marked with capital letters are highly significantly different ($p < 0.01$)

Wartości w wierszach oznaczone małymi literami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0.05$)

Values in lines marked with lower-case letters are significantly different ($p < 0.05$)

Najbardziej istotnym przemianom podczas kompostowania ulegają związki węgla i azotu. Pod względem zawartości tych składników wyniki badań własnych nie są wyraźnie zróżnicowane w poszczególnych obiektach. Najwyższe różnice zaznaczyły się w przypadku analiz dla poszczególnych okresów badawczych. Najniższe ilości tych związków stwierdzono w II (jesiennie-zimowym) okresie badań w próbkach pochodzących z kompostowni A (węgiel organiczny – 10,28% s.m., azot organiczny – 0,46% s.m.), zaś stosunkowo wysokie wartości w tym samym czasie obserwowano w przypadku próbek z obiektu C (węgiel organiczny – 16,72% s.m., azot organiczny – 1,14% s.m.). Z kolei zawartość fosforu i potasu we wszystkich próbkach nie przekraczała 1% s.m., a różnice między obiektami nie zostały potwierdzone statystycznie. Wyniki badań własnych składu chemicznego analizowanych kompostów uzyskiwanych w ciągu technologicznym Dano nie odbiegały znacząco od wyników podanych przez Maćkowiaka i Orzechowską [1993], jedynie poziom fosforu w badanych próbkach był nieznacznie wyższy. Zjawisko to można uzasadnić wyższą zawartością tego pierwiastka w badanych odpadach (tab. 8). Wyniki badań zawartości metali ciężkich w pobranych próbkach kompostu wskazują, że ich ilość nie przekraczała wartości normatywnych [BN-89/9103-09], jednakże powinny być one poddawane ciągłej kontroli. Wysoko istotną różnicę ($p < 0,01$) stwierdzono w przypadku analiz chromu we wszystkich próbkach pochodzących z badanych kompostowni; zróżnicowana statystycznie ($p < 0,01$) była również zawartość ołowiu i cynku.

Zagadnienia dotyczące zawartości metali ciężkich w substancjach odpadowych i powstających z nich kompostach są od wielu lat przedmiotem licznych dyskusji, szczególnie w związku z możliwością ich kumulowania się w glebach po przyrodniczym zastosowaniu. Zbyt wysoki poziom metali ciężkich dyskwalifikuje przydatność kompostu pochodzenia komunalnego do celów rolniczych. Przyswajalność związków tych metali przez rośliny ulega zróżnicowaniu w zależności od pH kompostu i gleby oraz udziału związków organicznych. Ich wymywalność i zdolność absorbowania rośnie wraz z obniżeniem się pH, dlatego jego wartość nie powinna być niższa od 6,5. Ponadto duży udział związków organicznych prowadzi do powstawania połączeń metaloorganicznych, które utrudniają przechodzenie metali do roślin [Szymański 1996]. Jednak w obecnym czasie stwierdza się sukcesywne obniżanie zawartości tych metali w podanych badaniach kompostach, co wynika z częściowo wprowadzanej już selektywnej zbiórki odpadów „u źródła” [Rosik-Dulewska 2003].

5.2. OCENA SANITARNO-HIGIENICZNA ODPADÓW I KOMPOSTU

Odpady są w dużym stopniu zanieczyszczone mikroorganizmami szkodliwymi dla człowieka, zwierząt i roślin (wirusami, bakteriami, grzybami drożdżopodobnymi, pleśniami, jajami pasożytów) [Philipp 1996, Szejniuk i Budzińska 2000]. Stanowią one również zagrożenie pod względem sanitarno-epidemiologicznym, skażając glebę i rośliny uprawne [Szejniuk i Kluczek 1996]. Wysoki poziom organizmów wskaźnikowych i bakterii chorobotwórczych stwierdza się również w odchodach zwierzęcych. Źródłem organizmów patogennych są także odpady żywnościowe, przede wszystkim pochodzące z produkcji drobiarskiej. Różne odpadki zawierające zmienne ilości chorobotwórczych drobnoustrojów wchodzi w skład komunalnych odpadów i zostają poddane dalszemu przetworzeniu. W związku z tym powinny one podlegać właściwej technice kompostowania, która zapewnia inaktywację drobnoustrojów chorobotwórczych w przebiegu całego procesu [Strauch 1995].

5.2.1. Ogólna liczba bakterii i skład gatunkowy drobnoustrojów

Ogólna liczba bakterii w analizowanych odpadach w poszczególnych miesiącach wahała się w dość szerokich granicach od $3,6 \times 10^7$ do $6,0 \times 10^9$ jtk·g⁻¹ (tab. 10).

Tabela 10. Ogólna liczba bakterii (jtk·g⁻¹) w odpadach i kompostach w poszczególnych okresach badań

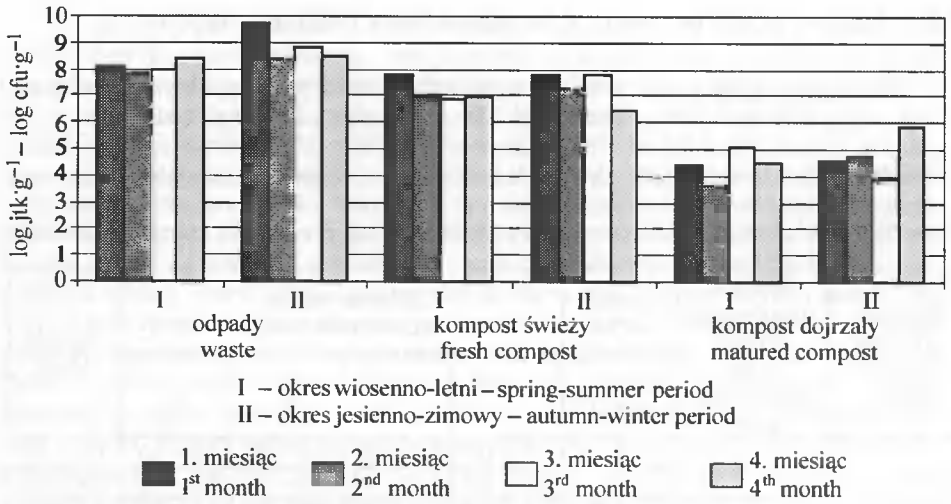
Table 10. Total count of bacteria (cfu·g⁻¹) in waste and compost in respective examination periods

Wyszczególnienie Specification	Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Miesiąc badań Examination month				Średnia Mean
			1.	2.	3.	4.	
Odpady Waste	A	I	$1,5 \times 10^8$	$5,7 \times 10^7$	$8,4 \times 10^7$	$2,5 \times 10^8$	$1,4 \times 10^8$
		II	$6,0 \times 10^9$	$2,3 \times 10^8$	$6,8 \times 10^8$	$2,8 \times 10^8$	$1,8 \times 10^9$
	B	I	$4,3 \times 10^8$	$3,6 \times 10^7$	$7,4 \times 10^8$	$3,8 \times 10^7$	$3,1 \times 10^8$
		II	$1,5 \times 10^9$	$4,7 \times 10^8$	$6,8 \times 10^8$	$2,5 \times 10^8$	$7,3 \times 10^8$
	C	I	$5,7 \times 10^8$	$2,3 \times 10^8$	$7,8 \times 10^7$	$4,2 \times 10^8$	$3,2 \times 10^8$
		II	$4,2 \times 10^9$	$5,4 \times 10^8$	$4,9 \times 10^8$	$3,2 \times 10^8$	$1,4 \times 10^9$
Kompost świeży Fresh compost	A	I	$6,3 \times 10^7$	$9,3 \times 10^6$	$7,6 \times 10^6$	$8,4 \times 10^6$	$2,2 \times 10^7$
		II	$5,8 \times 10^7$	$1,8 \times 10^7$	$6,4 \times 10^7$	$2,9 \times 10^6$	$3,6 \times 10^7$
	B	I	$6,2 \times 10^6$	$1,6 \times 10^7$	$4,6 \times 10^7$	$7,4 \times 10^6$	$1,9 \times 10^7$
		II	$6,8 \times 10^6$	$2,3 \times 10^7$	$1,4 \times 10^7$	$6,9 \times 10^7$	$2,8 \times 10^7$
	C	I	$8,6 \times 10^7$	$4,5 \times 10^6$	$7,8 \times 10^7$	$4,3 \times 10^6$	$4,3 \times 10^7$
		II	$6,9 \times 10^7$	$3,8 \times 10^7$	$3,9 \times 10^7$	$5,2 \times 10^7$	$5,0 \times 10^7$
Kompost dojrzały Matured compost	A	I	$2,6 \times 10^4$	$4,8 \times 10^3$	$1,3 \times 10^5$	$3,2 \times 10^4$	$4,8 \times 10^4$
		II	$3,9 \times 10^4$	$5,2 \times 10^4$	$7,9 \times 10^3$	$6,9 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$
	B	I	$3,6 \times 10^5$	$6,8 \times 10^4$	$4,3 \times 10^3$	$5,2 \times 10^4$	$1,2 \times 10^5$
		II	$3,9 \times 10^4$	$6,8 \times 10^3$	$5,9 \times 10^2$	$7,8 \times 10^4$	$1,8 \times 10^5$
	C	I	$2,9 \times 10^3$	$6,8 \times 10^4$	$6,2 \times 10^2$	$5,6 \times 10^4$	$3,3 \times 10^4$
		II	$2,8 \times 10^4$	$5,2 \times 10^5$	$4,7 \times 10^4$	$9,6 \times 10^4$	$1,7 \times 10^5$

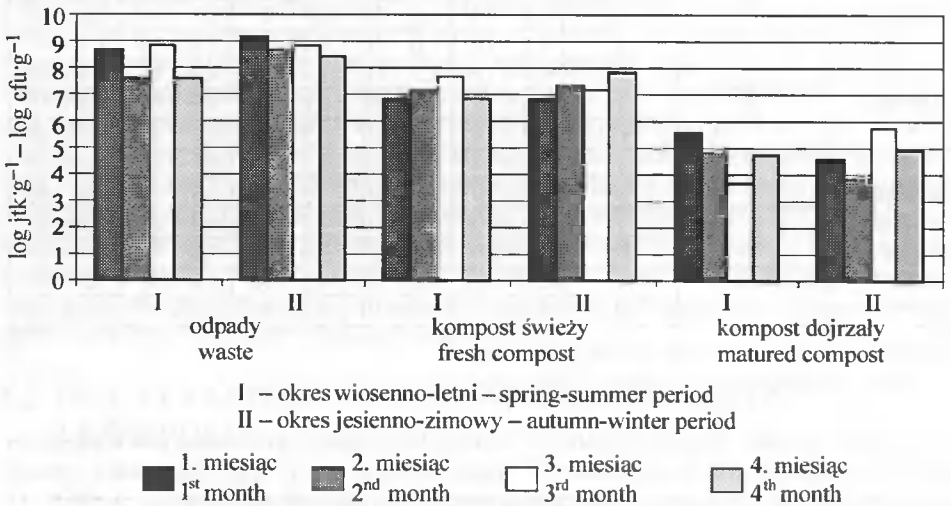
I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

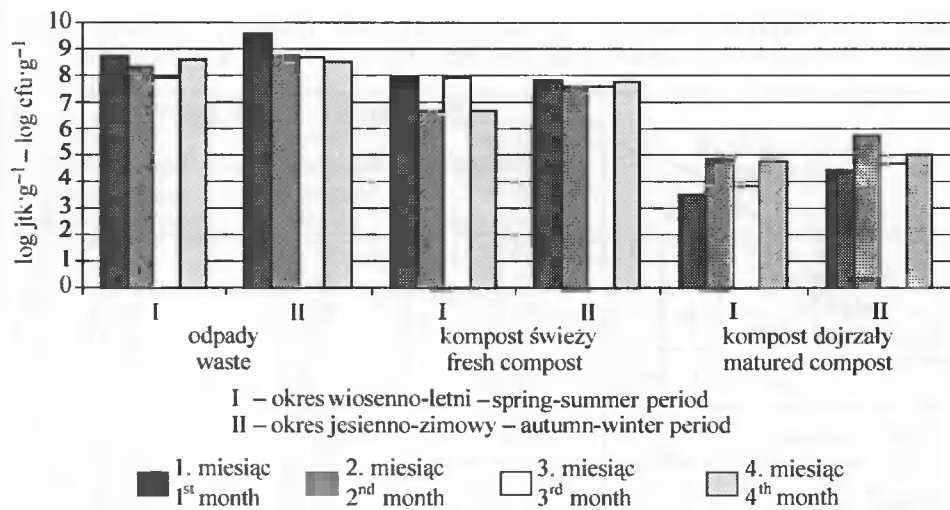
Różnice między średnimi liczbami bakterii w próbkach pochodzących z poszczególnych kompostowni były nieznaczne i sięgały rzędu jednej potęgi. Najwyższą średnią liczbę bakterii stwierdzono w odpadach pochodzących z kompostowni A (rys. 1) w jesienno-zimowym (II) okresie badawczym. Roth [1994] wykazała, że w próbkach odpadów biologicznych poddanych analizie ogólna liczba bakterii mieściła się w granicach od 10^6 do 10^{10} jtk·g⁻¹. W następnym etapie badań własnych w kompoście świeżym, otrzymanym po wstępnej utylizacji w biostabilizatorze, obserwowano nieznaczne obniżenie się ogólnej liczby bakterii (tab. 10). We wszystkich przypadkach średnie wartości nie przekraczały rzędu 10^8 kolonii na gram. Jak wynika z graficznego przedstawienia danych na rysunkach 1-3, najmniej bakterii izolowano z kompostu dojrzałego w obiektach A, B i C w obu okresach badawczych.



Rys. 1. Ogólna liczba bakterii w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni A
 Fig. 1. Total count of bacteria in the waste and compost samples from composting plant A



Rys. 2. Ogólna liczba bakterii w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni B
 Fig. 2. Total count of bacteria in the waste and compost samples from composting plant B



Rys. 3. Ogólna liczba bakterii w próbkach odpadów i kompostu z kompostowni C
 Fig. 3. Total count of bacteria in the waste and compost samples from composting plant C

Analiza statystyczna (tab. 11) wykazała wysoko istotne różnice ($p < 0,01$) między wartościami średnimi dla ogólnej liczby bakterii w badanych próbkach odpadów, kompostu świeżego i dojrzałego.

Tabela 11. Istotność różnic ogólnej liczby bakterii ($\log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$) w zależności od badanych próbek
 Table 11. Significance of differences the total count of bacteria ($\log \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) depending on the sample examined

Wyszczególnienie Specification	Wartości średnie Mean value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variability coefficient %
Odpady Waste	8,52 ^A	0,55	6,51
Kompost świeży Fresh compost	7,31 ^B	0,48	6,51
Kompost dojrzały Matured compost	4,63 ^{AB}	0,68	14,63
Wartości ogólne Total value	6,82	1,73	25,38

Wartości w kolumnach oznaczone dużymi literami różnią się wysoko istotnie statystycznie ($p < 0,01$)
 Values in columns marked with capital letters are highly significantly different ($p < 0.01$)

W badaniach stwierdzono inaktywację analizowanych drobnoustrojów między kompostem świeżym otrzymanym po wstępnej utylizacji a odpadami (tab. 12). Była ona najniższa (9,68%) w kompostowni A w pierwszym okresie badawczym. Wynika z tego, iż pierwsza faza utylizacji w biostabilizatorze nie przyczyniła się do znacznej eliminacji flory bakteryjnej. Jest to uwarunkowane faktem, iż w czasie rotacji biostabilizatora następuje wstępne rozdrobnienie, mieszanie odpadów oraz zaszczepienie drobnoustrojami rozpoczynającymi rozkład materii organicznej. Zasadniczy proces biologicznego obumierania drobnoustrojów odbywa się w przyzmacz na placu dojrzewania kompostu.

Tabela 12. Redukcja (%) ogólnej liczby drobnoustrojów ($\log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$) podczas prowadzonych badań
 Table 12. Reduction (%) in the total count of bacteria ($\log \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) during the examinations

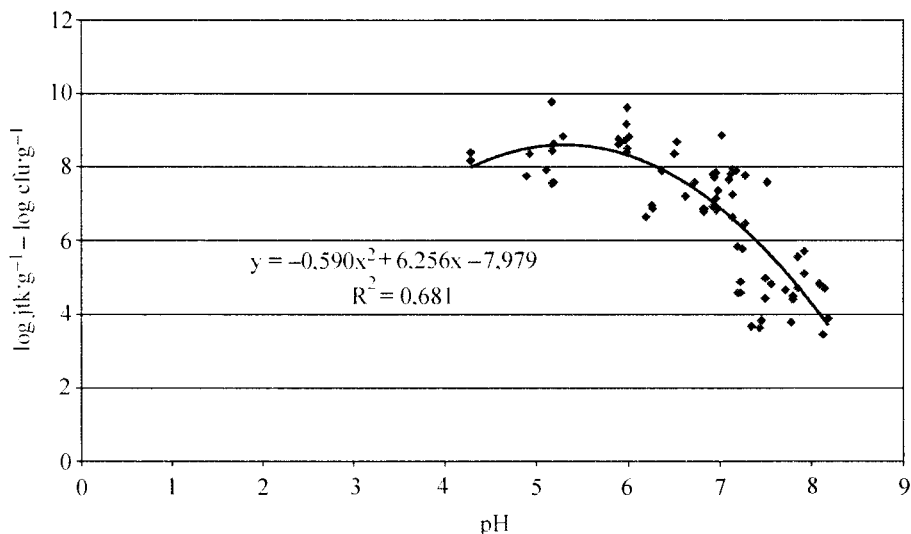
Wyszczególnienie Specification			Rodzaj próbki – Type of sample		
			kompost świeży/odpady fresh compost/waste	kompost dojrzały/odpady matured com- post/waste	kompost dojrzały/świeży matured com- post/fresh compost
Obiekt i okres badawczy Experimental object and examination period	A	I	9.68	42.41	36.23
		II	18.39	42.79	29.90
	B	I	14.32	40.15	30.14
		II	15.91	40.73	29.51
	C	I	10.29	46.87	40.77
		II	15.83	42.71	31.93
Obiekt badawczy Experimental object	A	14.32	42.61	33.02	
	B	15.13	40.45	29.82	
	C	13.16	44.72	36.34	
Okres badawczy Examination period	I	11.46	43.15	35.80	
	II	16.73	42.09	30.46	

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Porównując kompost dojrzały z odpadami, we wszystkich analizowanych obiektach stwierdzono wysoką efektywność (40,15-46,87%) eliminacji drobnoustrojów tlenowych (tab. 12). Okazało się, że w procesie dojrzewania kompostu w pryzmach następowało znacznie większe obumieranie bakterii niż w przypadku analogicznych porównań dotyczących kompostu świeżego z materiałem wsadowym. Biorąc pod uwagę redukcję ogólnej liczby drobnoustrojów autochtonicznych w kompoście dojrzałym i świeżym, obserwowano wyższe wartości w I okresie badawczym – 35,80% niż w II – 30,46%. Świadczy to o tym, iż w procesie dojrzewania kompostu w pryzmach następowały znacznie większe zmiany ilościowe bakterii porównując kompost świeży z materiałem wsadowym. Również czynniki sezonowe determinują kształtowanie się flory bakteryjnej w kompoście, ponieważ od nich często zależy temperatura w pryzmach. Jak podają Hankin i wsp. [1976], w początkowym okresie kompostowania odpadów (podczas pierwszych 10 dni) następuje wzrost liczby bakterii od 10^8 do $10^{10} \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$. W tym czasie temperatury w pryzmach wynosiły od 17 do 36°C . Po 10 dniach kompostowania liczba bakterii ulegała obniżeniu do wartości 10^7 do $10^9 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, co było bezpośrednio związane z namnażaniem się w tych warunkach bakterii przyczyniających się do rozkładu substancji organicznej. Dużo mezofilnych bakterii ulega destrukcji przy wzroście temperatury z 40 do 58°C , która jest z kolei konieczna do unieszkodliwienia organizmów patogennych.

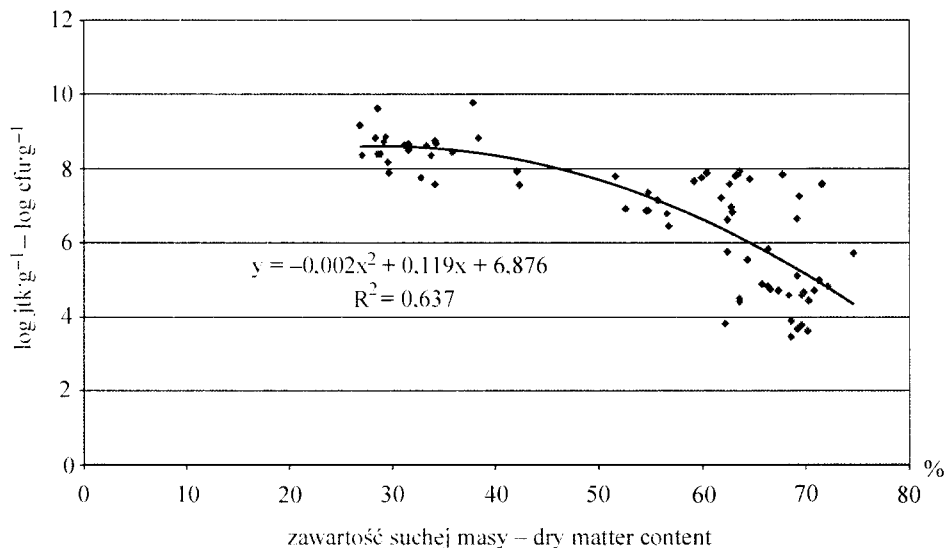
Znaczący wpływ na zachowanie się drobnoustrojów w czasie kompostowania odpadów wywierają czynniki bezpośrednio z tym procesem związane. Współzależność między odczynem badanych próbek a ogólną liczbą drobnoustrojów je zasiedlających przedstawia krzywa $y = -0,590x^2 + 6,256x - 7,979$ (rys. 4), wskazująca, iż w zakresie pH od 4,0 do 5,0 następował powolny wzrost liczby badanych drobnoustrojów. Z kolei przy pH od 6,0 do 8,0, szczególnie w środowisku alkalicznym, obserwowano znaczne obniżenie liczebności badanych bakterii.



Rys. 4. Zależność pomiędzy ogólną liczbą bakterii a pH badanych próbek

Fig. 4. Relation between the total count of bacteria and pH of the samples examined

Podobne, lecz bardziej jednoznaczne tendencje analizowanych drobnoustrojów stwierdzono w przypadku oceny przebiegu krzywej regresji $y = -0,002x^2 + 0,119x + 6,876$, charakteryzującej wpływ suchej masy na ogólną liczbę bakterii (rys. 5).



Rys. 5. Zależność pomiędzy ogólną liczbą bakterii a zawartością suchej masy w badanych próbkach

Fig. 5. Relation between the total count of bacteria and the content of dry matter in the samples examined

W tym przypadku odnotowano stałe tempo zmniejszania się liczby badanych drobnoustrojów przy wyższej zawartości suchej masy w pobieranych próbkach.

Analizując wartości współczynników regresji obrazujących tempo eliminacji ogólnej liczby drobnoustrojów (tab. 13), należy stwierdzić wyraźną tendencję spadkową zarówno dla I, jak i II okresu badawczego. Miesięczne tempo eliminacji liczby bakterii wynosiło od 1,70 do 1,99 log jtk·g⁻¹. Dane te wskazują, że w czasie dojrzewania kompostu następuje obniżenie ogólnej liczby bakterii na skutek zachodzących przemian metabolicznych i biochemicznych. Abesser [1995] podaje, że ogólna liczba bakterii w odpadach i kompoście ulegała redukcji z wartości 10⁸ jtk·g⁻¹ w odpadach do 10⁴ jtk·g⁻¹ w kompoście dojrzałym. Dane te korespondują z wynikami badań własnych, chociaż stwierdzano również nieco wyższe wartości średnie dla kompostu dojrzałego w poszczególnych okresach badawczych w granicach 10⁴-10⁵ jtk·g⁻¹ (tab. 10).

Tabela 13. Współczynniki regresji i maksymalny czas przeżycia ogólnej liczby bakterii w poszczególnych okresach badań

Table 13. Regression coefficients and the maximum survival time of the total count of bacteria in respective examination periods

Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Współczynnik a Coefficient a	Współczynnik b Coefficient b	Maksymalny czas przeżycia (miesiąc) Maximum survival time (month)	Błąd standardowy Standard error
A	I	-1.72 ± 0.54	10.17 ± 1.17	5.90	0.76
	II	-1.98 ± 0.16	11.33 ± 0.35	5.72	0.23
B	I	-1.70 ± 0.28	10.36 ± 0.61	6.08	0.40
	II	-1.80 ± 0.21	10.80 ± 0.49	5.98	0.32
C	I	-1.99 ± 0.65	10.88 ± 1.39	5.45	0.91
	II	-1.95 ± 0.29	11.26 ± 0.63	5.77	0.41

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Na podstawie uzyskanych danych dla ogólnej liczby bakterii oraz czynników towarzyszących procesowi dojrzewania kompostu w pryzmach ustalono równanie regresji wielokrotnej, przyjmującej postać:

$$y = 1372490 - 0,04x_1 - 0,28x_2 + 0,03x_3 + 0,80x_4^{**} - 0,05x_5 - 0,03x_6 + 0,04x_7 - 0,06x_8$$

gdzie:

x_1 – pH prób,

x_2 – sucha masa,

x_3 – temperatura,

x_4 – liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*,

x_5 – liczba bakterii *E. coli*,

x_6 – zawartość paciorkowców grupy-D,

x_7 – liczba pałeczek *Salmonella* spp.,

x_8 – ogólna liczba grzybów,

** wartość wysoko istotna statystycznie.

Równanie wskazuje, iż przy stałych wartościach $x_2 \div x_8$, jeżeli pH badanych próbek wzrośnie o jedną wartość, ogólna liczba bakterii obniży się jednocześnie o $0,04 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$. Rozpatrując łączne oddziaływanie wszystkich czynników biorących udział w czasie dojrzewania kompostu ustalono, iż najbardziej istotne statystycznie zależności wystąpiły między ogólną liczbą drobnoustrojów a liczbą bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* ($p < 0,01$).

Szczegółowa analiza mikrobiologiczna odpadów i kompostu wykazała, że w badanych próbkach identyfikowano przede wszystkim bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* (tab. 14).

Próbki odpadów i kompostu charakteryzowały się różnorodnością składu gatunkowego mikroorganizmów. Najczęściej identyfikowanymi gatunkami bakterii były: *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Proteus vulgaris*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas* spp. i inne. Izolowano również bakterie należące do innych rodzin. Wśród paciorkowców identyfikowano *Streptococcus faecalis* i *S. faecium*. Z bakterii należących do rodziny *Micrococcaceae* obecne były *Staphylococcus lentus* i *Micrococcus* spp. Jak podaje Epstein [1997] kompost zasiedla wiele gatunków drobnoustrojów, w tym licznie reprezentowane są *Actinomycetes*, wiele gatunków grzybów, a nawet glonów i jaj pasożytów. W procesie kompostowania identyfikowane mikroorganizmy występowały w zmiennych proporcjach w zależności od czynników fizykochemicznych. W warunkach tlenowych najważniejszym czynnikiem determinującym typy mikroorganizmów, ich różnorodność gatunkową i stopień aktywności mikrobiologicznej jest temperatura [Hassen i wsp. 2001].

5.2.2. Liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*

Kolejnym etapem badań była ocena liczby bakterii należących do rodziny *Enterobacteriaceae*. Drobnoustroje te są Gram-ujemnymi pałeczkami o wielkości $0,3\text{-}1 \times 1\text{-}6 \mu\text{m}$, występującymi pojedynczo lub w parach i posiadającymi duże znaczenie sanitarno-higieniczne oraz wykorzystywane są w badaniach eksperymentalnych [Schlegel 2000, Singleton 2000]. Liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w poszczególnych badanych próbkach odpadów i kompostu była dość zróżnicowana (tab. 15, rys. 6-8).

Najwyższą średnią liczbę tych bakterii ($8,5 \times 10^8 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$) zawierały odpady pochodzące z kompostowni A w II okresie badawczym. Po wstępnej utylizacji odpadów w biostabilizatorze średnia liczebność tych bakterii zmniejszyła się do $10^6\text{-}10^7$ kolonii na gram kompostu. Wyniki obliczeń statystycznych średniej zawartości bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w odpadach, kompoście świeżym i dojrzałym wykazały wysoko istotne różnice ($p < 0,01$) między badanymi próbkami (tab. 16).

Z kolei dynamika inaktywacji tych drobnoustrojów, obliczona na podstawie wartości logarytmicznych dla kompostu świeżego i odpadów w I i II okresie badawczym, była najniższa w próbkach pochodzących z kompostowni B i wynosiła odpowiednio 17,24 i 9,10% (tab. 17). Dla próbek pobranych z kompostowni A i C wartości te były znacznie wyższe. Stosunkowo wysokie tempo eliminacji tych bakterii obserwowano w przypadku kompostu dojrzałego.

Tabela 14. Identyfikacja gatunkowa bakterii izolowanych z próbek odpadów i kompostów
 Table 14. Identifying species of bacteria isolated from waste and compost samples

Wyszczególnienie Specification	Symbol Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Gatunki izolowanych bakterii Species of bacteria isolated
Odpady Waste	A	I	<i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Enterobacter sakazakii</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Xanthomonas mullotrophila</i>
		II	<i>Citrobacter freundii</i> , <i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus vulgaris</i>
	B	I	<i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i>
		II	<i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>
	C	I	<i>Aerococcus viridans</i> , <i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Staphylococcus xylosum</i> , <i>Sireptococcus faecalis</i>
		II	<i>Acinetobacter spp.</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>
Kompost świeży Fresh compost	A	I	<i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Proteus mirabilis</i>
		II	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>
	B	I	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>
		II	<i>Micrococcus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>
	C	I	<i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>
		II	<i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>
Kompost dojrzały Matured compost	A	I	<i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i>
		II	<i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>
	B	I	<i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i>
		II	<i>Micrococcus spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>
	C	I	<i>Escherichia coli</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus vulgaris</i>
		II	<i>Micrococcus spp.</i> , <i>Staphylococcus lentus</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Pseudomonas cepacia</i>

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

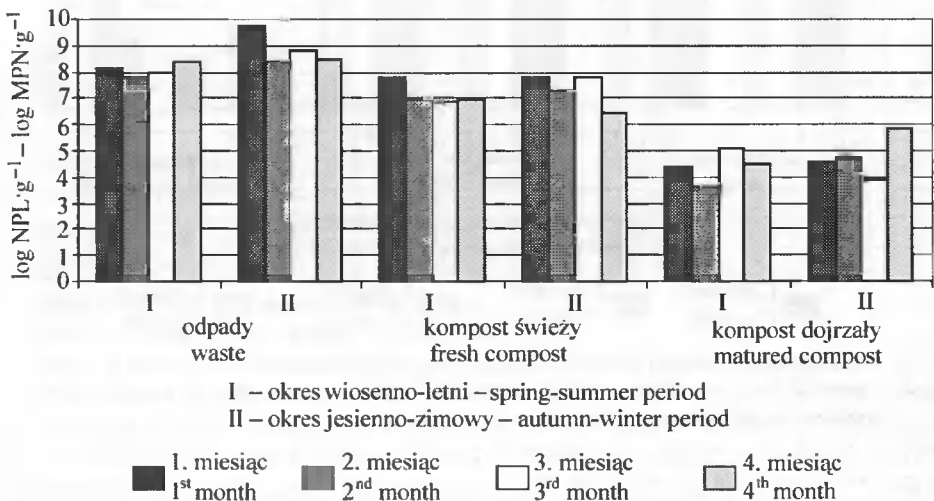
II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Tabela 15. Liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* (NPL·g⁻¹) w odpadach i kompostach
 Table 15. Count of bacteria of *Enterobacteriaceae* family (MPN·g⁻¹) in the waste and compost

Wyszczególnienie Specification	Symbol Symbol of the composting plant	Okres Okres Exami- nation period	Miesiąc badań Examination month				Średnia Mean
			1.	2.	3.	4.	
Odpady Waste	A	I	$6,8 \times 10^7$	$3,0 \times 10^8$	$7,5 \times 10^7$	$2,0 \times 10^7$	$1,2 \times 10^8$
		II	$1,4 \times 10^9$	$2,5 \times 10^8$	$2,5 \times 10^8$	$1,5 \times 10^9$	$8,5 \times 10^8$
	B	I	$9,4 \times 10^7$	$3,0 \times 10^7$	$1,4 \times 10^7$	$3,0 \times 10^7$	$4,2 \times 10^7$
		II	$1,6 \times 10^8$	$1,5 \times 10^8$	$1,7 \times 10^7$	$3,0 \times 10^7$	$8,9 \times 10^7$
	C	I	$4,0 \times 10^7$	$2,0 \times 10^8$	$1,5 \times 10^6$	$3,0 \times 10^8$	$1,4 \times 10^8$
		II	$1,6 \times 10^8$	$7,5 \times 10^7$	$2,0 \times 10^8$	$1,6 \times 10^8$	$1,5 \times 10^8$
Kompost świeży Fresh compost	A	I	$8,6 \times 10^6$	$4,0 \times 10^6$	$3,5 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$4,3 \times 10^6$
		II	$2,2 \times 10^7$	$9,5 \times 10^6$	$1,6 \times 10^7$	$2,5 \times 10^6$	$1,3 \times 10^7$
	B	I	$2,5 \times 10^6$	$6,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^6$	$3,5 \times 10^6$	$2,0 \times 10^6$
		II	$1,5 \times 10^6$	$2,0 \times 10^7$	$1,0 \times 10^7$	$3,6 \times 10^7$	$1,7 \times 10^7$
	C	I	$6,0 \times 10^5$	$2,5 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$4,5 \times 10^5$	$1,2 \times 10^6$
		II	$1,5 \times 10^6$	$1,1 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$	$1,5 \times 10^7$	$1,3 \times 10^7$
Kompost dojrzały Matured compost	A	I	$4,5 \times 10^3$	$9,5 \times 10^2$	$6,5 \times 10^3$	$9,5 \times 10^3$	$5,4 \times 10^3$
		II	$2,0 \times 10^4$	$4,0 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	$7,0 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$
	B	I	$3,0 \times 10^3$	$4,5 \times 10^3$	$2,5 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$3,4 \times 10^3$
		II	$1,4 \times 10^2$	$2,5 \times 10^2$	$1,1 \times 10^4$	$1,4 \times 10^2$	$2,9 \times 10^3$
	C	I	$2,0 \times 10^2$	$1,4 \times 10^3$	$1,6 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$4,7 \times 10^2$
		II	$2,5 \times 10^3$	$7,5 \times 10^4$	$2,0 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$	$2,0 \times 10^4$

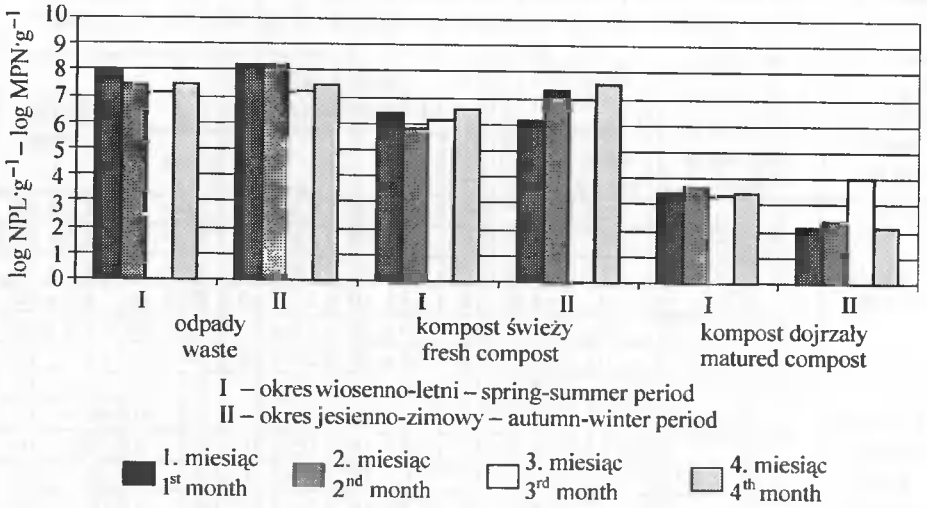
I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period



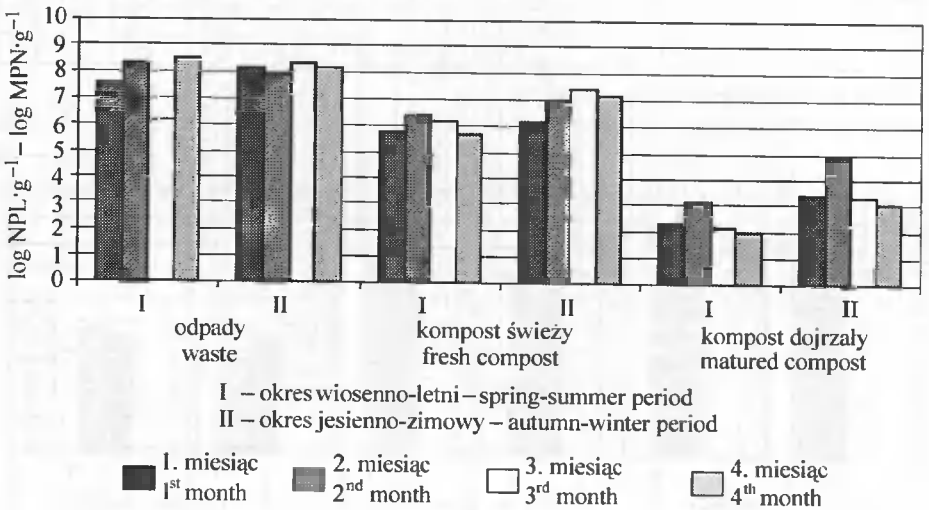
Rys. 6. Liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w próbkach odpadów i kompostów pobranych z obiektu A

Fig. 6. Count of *Enterobacteriaceae* family bacteria in the waste and compost samples collected from composting plant A



Rys. 7. Liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w próbkach odpadów i kompostów z obiektu B

Fig. 7. Count of *Enterobacteriaceae* family bacteria in the waste and compost samples collected from composting plant B



Rys. 8. Liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w próbkach odpadów i kompostów z obiektu C

Fig. 8. Count of *Enterobacteriaceae* family bacteria in the waste and compost samples collected from composting plant C

Tabela 16. Istotność różnic liczby bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* (log NPL·g⁻¹) w zależności od badanych próbek

Table 16. Significance of differences the count of bacteria of *Enterobacteriaceae* family (log MPN·g⁻¹) depending of the samples examined

Wyszczególnienie Specification	Wartości średnie Mean value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variability coefficient %
Odpady Waste	7.87 ^A	0.55	6.98
Kompost świeży Fresh compost	6.62 ^{AB}	0.56	8.50
Kompost dojrzały Matured compost	3.31 ^{AB}	0.81	24.50
Wartości ogólne Total value	5.93	2.04	34.42

Wartości w kolumnach oznaczone dużymi literami różnią się wysoko istotnie statystycznie ($p < 0.01$)
Values in columns marked with capital letters are highly significantly different ($p < 0.01$)

Tabela 17. Redukcja liczby mikroorganizmów (%) z rodziny *Enterobacteriaceae* (log NPL·g⁻¹) w czasie prowadzonych badań

Table 17. Reduction in the count (%) of bacteria of *Enterobacteriaceae* family (log MPN·g⁻¹) during the examinations

Wyszczególnienie Specification		Rodzaj próbki – Type of sample			
		kompost świeży/odpady fresh compost/waste	kompost dojrzały/odpady matured com- post/waste	kompost dojrzały/świeży matured com- post/fresh compost	
Obiekt i okres badawczy Experimental object and examination period	A	I	17.73	53.75	43.78
		II	20.52	50.97	38.31
	B	I	17.24	53.93	44.34
		II	9.10	56.48	52.13
	C	I	25.08	67.20	56.22
		II	12.90	47.33	39.52
Obiekt badawczy Experimental object	A	19.20	52.29	40.95	
	B	13.08	55.23	48.50	
	C	18.97	57.24	47.22	
Okres badawczy Examination period	I	20.08	58.40	47.95	
	II	14.41	51.53	43.37	

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Porównując procentową redukcję drobnoustrojów z rodziny *Enterobacteriaceae* w kompoście świeżym i dojrzałym należy stwierdzić, że była ona wyższa w odniesieniu do wartości charakteryzującej spadek liczby tych bakterii w odpadach. Najmniej bakterii stwierdzono w I okresie badawczym w kompoście dojrzałym (tab. 15), pochodzącym z kompostowni C (średnio $4,7 \times 10^3$). W tym przypadku obliczono także wysoką eliminację omawianych drobnoustrojów, wynoszącą średnio 67,20%. W próbkach pochodzących z kompostowni A i B wartości te były nieco niższe, zarówno w I, jak i II okresie badawczym (tab. 17). W sezonie wiosenno-letnim eliminacja tych bakterii, porównując

kompost dojrzały z materiałem wyjściowym, wynosiła 58,40%, zaś dla okresu jesienno-zimowego była niższa i przyjmowała wartość 51,53%.

Współczynniki regresji (tab. 18), wynikające z obliczeń równań prostych regresji charakteryzujących zmiany ilościowe bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, również wskazują na stosunkowo szybką ich redukcję.

Tabela 18. Współczynniki regresji i maksymalny czas przeżycia bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w poszczególnych okresach badań

Table 18. Regression coefficients and the maximum survival time of bacteria of *Enterobacteriaceae* family in respective examination periods

Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Współczynnik a Coefficient a	Współczynnik b Coefficient b	Maksymalny czas przeżycia (miesiąc) Maximum survival time (month)	Błąd standardowy Standard error
A	I	-2.17 ± 0.43	10.48 ± 0.92	4,83	0,60
	II	-1.96 ± 0.44	10.51 ± 0.95	5,36	0,62
B	I	-2.06 ± 0.43	9.93 ± 0.92	4,83	0,61
	II	-2.25 ± 0.89	10.70 ± 1.90	4,77	1,24
C	I	-2.73 ± 0.40	11.09 ± 0.86	4,06	0,57
	II	-1.93 ± 0.51	10.40 ± 1.10	5,38	0,72

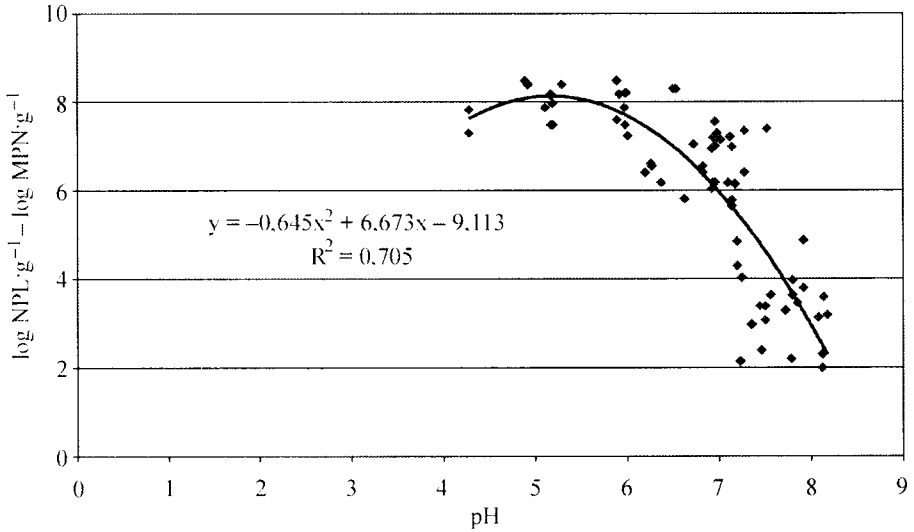
I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

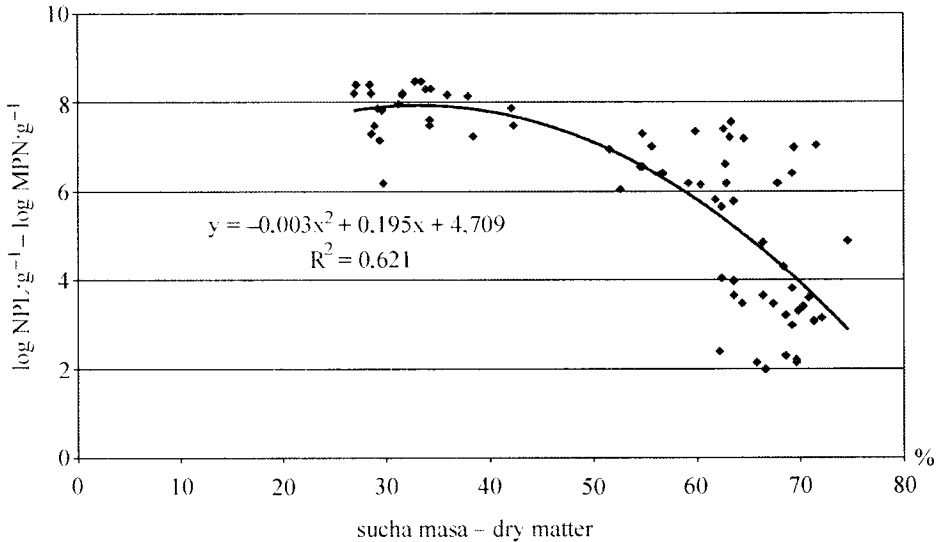
Miesięczne tempo spadku liczby bakterii w okresie wiosenno-letnim wynosiło od 2,06 do 2,73 log jtk·g⁻¹. Z kolei w okresie jesienno-zimowym tempo spadku liczby bakterii było niższe i utrzymywało się w granicach od 1,93 do 2,28 log jtk·g⁻¹ w ciągu miesiąca. Maksymalny czas przeżycia bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* utrzymywał się w granicach od 4,06 do 4,80 log jtk·g⁻¹ w ciągu miesiąca w próbkach pochodzących z wiosenno-letniego okresu badań. Z kolei w II okresie badawczym (jesienno-zimowym) wartość maksymalnego czasu przeżycia tych bakterii wynosiła od 4,77 do 5,38 miesięcy.

Zależności między liczbą bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* a czynnikami fizykochemicznymi potwierdzają wykresy przedstawione na rysunkach 9 i 10. W przypadku oceny wpływu odczynu badanych próbek na liczbę drobnoustrojów z omawianej rodziny przedstawiono zależność w postaci krzywej $y = -0,645x^2 + 6,673x - 9,113$ (rys. 9).

Z danych wynika, iż w środowisku kwaśnym (pH 4-5,5) następował wzrost liczby tych bakterii, dopiero podwyższenie pH do alkalicznego spowodowało zaznaczenie się wyraźnej tendencji do zmniejszania liczby badanych drobnoustrojów. Zawartość suchej masy w badanych próbkach miała znaczący wpływ na kształtowanie się analizowanych drobnoustrojów (rys. 10). Przy wzroście zawartości suchej masy rejestrowano również wyraźne obniżanie się liczby bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*.



Rys. 9. Zależność pomiędzy liczbą bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* a pH badanych próbek
 Fig. 9. Relation between the count of *Enterobacteriaceae* family bacteria and pH of the samples examined



Rys. 10. Zależność pomiędzy liczbą bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* a zawartością suchej masy badanych próbek
 Fig. 10. Relation between the count of *Enterobacteriaceae* family bacteria and the content of dry matter in samples examined

Wilgotność jest jednym z ważniejszych czynników wpływających na przeżywalność drobnoustrojów w środowisku. Jak podaje Epstein [1997], drobnoustroje należące do rodziny *Enterobacteriaceae* najdłużej przeżywały w glebie w okresie pory deszczowej, charakteryzującej się wysoką wilgotnością powietrza, z kolei, w środowisku o niskiej zawartości wody (np. glebie piaszczystej), ich czas przeżycia znacznie się skracał.

W celu ustalenia zależności między liczebnością drobnoustrojów z rodziny *Enterobacteriaceae* a pozostałymi analizowanymi czynnikami wpływającymi na przebieg procesu dojrzewania kompostu obliczono następujące równanie regresji wielokrotnej:

$$y = -144964 + 0,03x_1 + 0,28x_2 + 0,09x_3 + 0,66x_4^{**} - 0,15x_5 + 0,07x_6 + 0,37x_7 - 0,16x_8$$

gdzie:

- x_1 – pH prób,
- x_2 – sucha masa,
- x_3 – temperatura,
- x_4 – ogólna liczba bakterii,
- x_5 – liczba bakterii *E. coli*,
- x_6 – zawartość paciorkowców grupy-D,
- x_7 – liczba pałeczek *Salmonella* spp.,
- x_8 – ogólna liczba grzybów,

**wartość wysoko istotna statystycznie.

Z danych wynika, iż przy łącznej analizie czynników biorących udział w czasie dojrzewania kompostu w pryzmach, przy jednakowych wartościach x_2 - x_8 oraz przy wzroście pH o jedną wartość, następowało również zwiększenie liczby drobnoustrojów z rodziny *Enterobacteriaceae* o wartość $0,03 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$. Wysoko istotne zależności wykazano analizując zawartość bakterii z tej rodziny w powiązaniu z ogólną liczbą drobnoustrojów ($p < 0,01$).

Przeprowadzone badania nad wpływem wybranych czynników zewnętrznych, warunkujących zachowanie się drobnoustrojów z rodziny *Enterobacteriaceae* w czasie kompostowania odpadów, wskazują, że przy przestrzeganiu procedur technologicznych uzyskuje się oczekiwane efekty w postaci eliminacji analizowanych bakterii.

5.2.3. Zawartość *Escherichia coli*, paciorkowców grupy-D i bakterii z rodzaju *Salmonella*

Czynnikiem decydującym o stanie sanitarno-higienicznym kompostu jest zawartość w nim bakterii *Escherichia coli*. Analizując liczebność tych bakterii w badanych próbkach odpadów i kompostu należy stwierdzić, że analogicznie jak w poprzednich przypadkach, największą ilość tych drobnoustrojów notowano w odpadach komunalnych, zaś niższą w kompoście świeżym i dojrzałym (tab. 19, rys. 11-13).

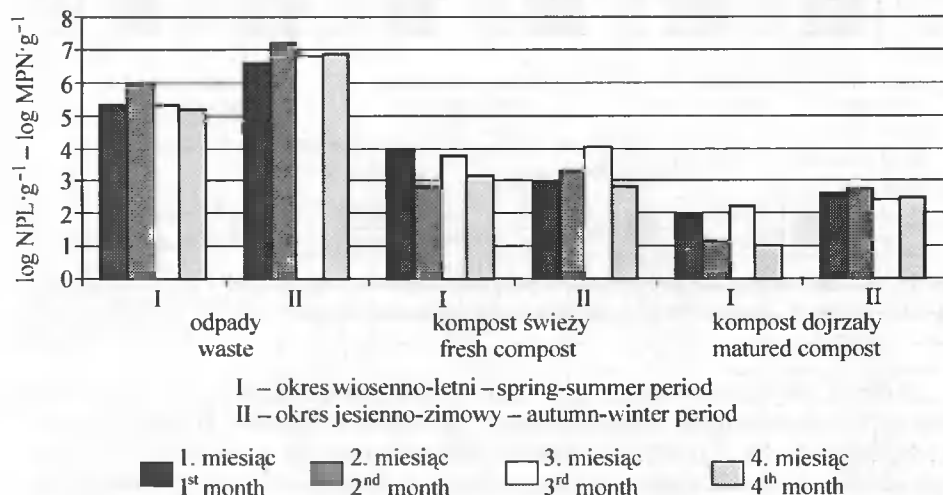
Średnie wartości uzyskane z poszczególnych próbek odpadów wskazują na dość duże zróżnicowanie tych wyników – od $8,0 \times 10^6 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ w II okresie badawczym w próbkach pobieranych z kompostowni A do $1,2 \times 10^5 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ w próbkach pochodzących z kompostowni C w I (wiosienno-letnim) okresie badań. Bardziej wyrównaną liczbę tych bakterii notowano w próbkach kompostu świeżego i dojrzałego (rys. 11-13).

Tabela 19. Liczba bakterii *E. coli* (NPL·g⁻¹) w poszczególnych okresach badań
 Table 19. Count of *E. coli* bacteria (MPN·g⁻¹) in respective examination periods

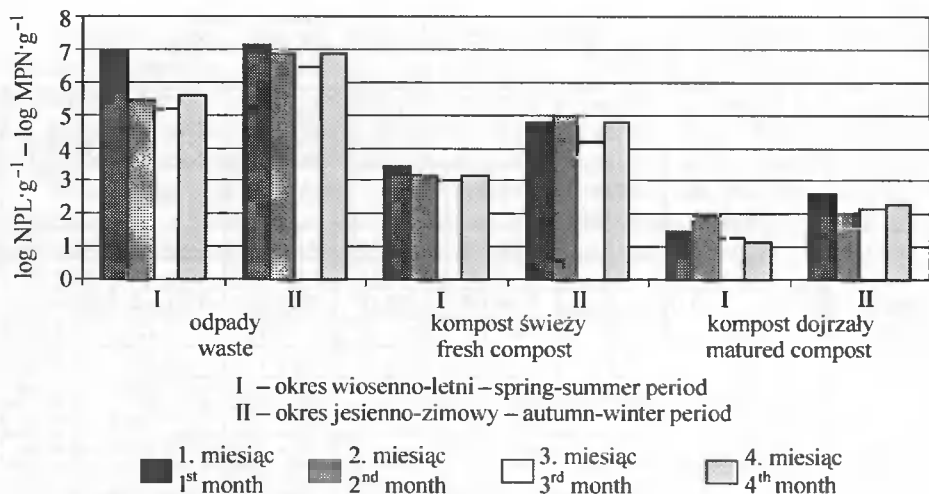
Wyszczególnienie Specification	Symbol Symbol of the composting plant	Okres Okres Examination period	Miesiąc badań Examination month				Średnia Mean
			1.	2.	3.	4.	
Odpady Waste	A	I	$2,1 \times 10^5$	$9,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$3,6 \times 10^5$
		II	$4,0 \times 10^6$	$1,5 \times 10^7$	$6,0 \times 10^6$	$7,0 \times 10^6$	$8,0 \times 10^6$
	B	I	$9,0 \times 10^6$	$2,9 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$4,0 \times 10^5$	$2,5 \times 10^6$
		II	$1,4 \times 10^7$	$7,0 \times 10^6$	$2,9 \times 10^6$	$7,0 \times 10^6$	$7,7 \times 10^6$
	C	I	$1,5 \times 10^5$	$9,0 \times 10^4$	$1,2 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$1,2 \times 10^5$
		II	$4,0 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$	$1,6 \times 10^6$	$4,0 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$
Kompost świeży Fresh compost	A	I	$9,0 \times 10^3$	$7,0 \times 10^2$	$6,0 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	$4,3 \times 10^3$
		II	$9,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^3$	$1,1 \times 10^4$	$7,0 \times 10^2$	$3,6 \times 10^3$
	B	I	$2,8 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$
		II	$6,0 \times 10^4$	$9,0 \times 10^4$	$1,5 \times 10^4$	$6,0 \times 10^4$	$5,6 \times 10^4$
	C	I	$1,1 \times 10^3$	$2,9 \times 10^4$	$2,1 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	$8,5 \times 10^4$
		II	$2,0 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	$4,0 \times 10^4$	$2,8 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$
Kompost dojrzały Matured compost	A	I	$9,0 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$	$1,6 \times 10^2$	$1,1 \times 10^1$	$6,9 \times 10^1$
		II	$4,0 \times 10^2$	$6,0 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$	$2,9 \times 10^2$	$3,9 \times 10^2$
	B	I	$2,9 \times 10^1$	$9,0 \times 10^1$	$2,0 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$	$3,9 \times 10^1$
		II	$4,0 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$	$1,4 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	$2,1 \times 10^1$
	C	I	$1,5 \times 10^2$	$7,0 \times 10^1$	$1,1 \times 10^1$	$9,0 \times 10^1$	$8,0 \times 10^1$
		II	$2,1 \times 10^2$	$1,4 \times 10^2$	$1,6 \times 10^2$	$1,4 \times 10^2$	$1,6 \times 10^2$

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

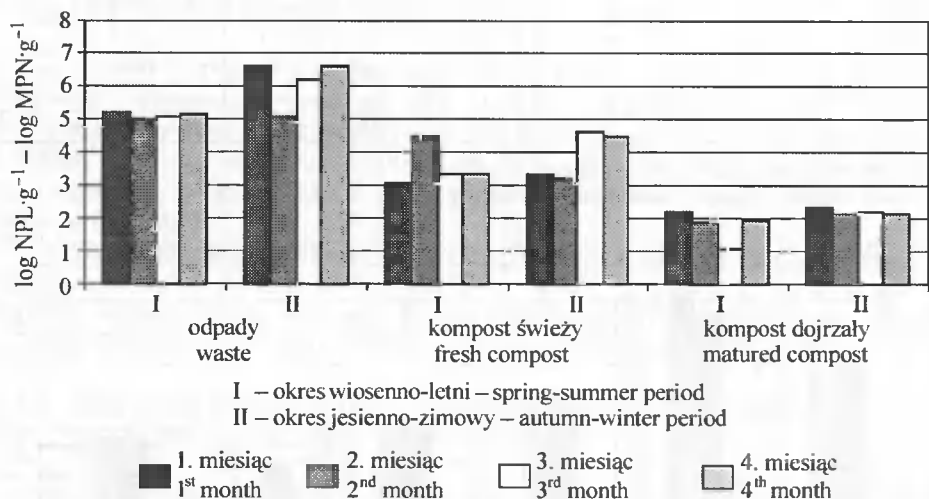
II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period



Rys. 11. Liczba bakterii *Escherichia coli* w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni A
 Fig. 11. Count of *Escherichia coli* bacteria in the waste and compost samples from composting plant A



Rys. 12. Liczba bakterii *Escherichia coli* w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni B
 Fig. 12. Count of *Escherichia coli* bacteria in the waste and compost samples from composting plant B



Rys. 13. Liczba bakterii *Escherichia coli* w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni C
 Fig. 13. Count of *Escherichia coli* bacteria in the waste and compost samples from composting plant C

Analiza statystyczna wykazała wysoko istotne różnice między średnimi wartościami tych drobnoustrojów, identyfikowanych w próbkach odpadów, kompostu świeżego i dojrzałego ($p < 0,01$) (tab. 20). Zawartość bakterii grupy coli w kompoście dojrzałym może stanowić wskaźnik sanitarnego bezpieczeństwa dla przyrodniczego stosowania produktu finalnego. Podaje się, że górna granica liczby bakterii *E. coli* w takich przypadkach może wynosić do $5,0 \times 10^2$ jtk·g⁻¹ [Epstein 1997]. Potwierdzają te dane wyniki badań własnych (tab. 19), gdyż maksymalną średnią zawartość bakterii *E. coli* stwierdzono w próbkach pochodzących z kompostowni A w jesienno-zimowym okresie badań ($3,9 \times 10^2$)

i była ona niższa od zalecanych norm. Na tej podstawie można stwierdzić, iż pod względem liczebności bakterii grupy coli typu kałowego kompost dojrzały pochodzący z analizowanych obiektów nie budzi zastrzeżeń.

Tabela 20. Istotność różnic liczby bakterii *E. coli* (log NPL·g⁻¹) w zależności od badanych próbek
Table 20. Significance of differences the count of *E. coli* bacteria (log MPN·g⁻¹) depending on the samples examined

Wyszczególnienie Specification	Wartości średnie Mean value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variability coefficient %
Odpady Waste	6.02 ^{A a}	0.80	13,31
Kompost świeży Fresh compost	3.66 ^{a b}	0.68	18,66
Kompost dojrzały Matured compost	1.48 ^{A b}	0.37	25,22
Wartości ogólne Total value	3.72	1.97	53,01

Wartości w kolumnach oznaczone dużymi literami różnią się wysoko istotnie statystycznie ($p < 0,01$)
Values in columns marked with capital letters are highly significantly different ($p < 0,01$)

Wartości w kolumnach oznaczone małymi literami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0,05$)
Values in columns marked with lower-case letters are significantly different ($p < 0,05$)

Eliminacja bakterii *E. coli* między kompostem świeżym a odpadami była najwyższa (49,45%) w przypadku próbek pochodzących z kompostowni B, z kolei w próbkach pobieranych z kompostowni C była stosunkowo niska i wynosiła 22,86% (tab. 21).

Tabela 21. Redukcja liczby bakterii (%) *E. coli* (log NPL·g⁻¹) w czasie prowadzonych badań
Table 21. Reduction in the count (%) of *E. coli* bacteria (log MPN·g⁻¹) during the examinations

Wyszczególnienie Specification			Rodzaj próbki – Type of sample		
			kompost świeży/odpady fresh compost/waste	kompost dojrzały/odpady matured com- post/waste	kompost dojrzały/świeży matured com- post/fresh compost
Obiekt i okres badawczy Experimental object and examination period	A	I	34.72	66.94	49.36
		II	48.40	62.42	27.19
	B	I	49.45	75.19	50.92
		II	31.04	66.21	51.00
	C	I	22.86	62.64	51.57
		II	33.39	65.38	48.01
Obiekt badawczy Experimental object	A		42.29	64.44	38.38
	B		39.90	70.53	50.97
	C		28.72	64.16	49.72
Okres badawczy Examination period	I		68.75	36.69	50.63
	II		64.65	37.72	43.24

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Podobnie jak w poprzednich badaniach najmniej pałeczek *E. coli* występowało w kompoście dojrzałym. Średnie wartości *E. coli* w tych próbkach wynosiły od $2,1 \times 10^1$ do $3,9 \times 10^2$ (tab. 19). Z kolei redukcja tych bakterii między kompostem dojrzałym a świeżym dla okresów badawczych mieściła się w granicach od 43,24 do 50,63%. Wyrównaną eliminację tych drobnoustrojów obserwowano w przypadku porównania próbek kompostu dojrzałego oraz odpadów; wynosiła ona odpowiednio dla obiektu A – 64,44%, B – 70,53% i C – 64,16% (tab. 21).

Współczynniki regresji (tab. 22), charakteryzujące eliminację bakterii *Escherichia coli* wskazują, że proces ten przebiegał z podobnym nasileniem we wszystkich analizowanych obiektach i okresach badawczych. Miesięczne tempo spadku liczby bakterii *E. coli* dotyczące I okresu badań, obliczone według prostych regresji, wynosiło od $1,60 \log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ w próbkach pochodzących z kompostowni C do $2,40 \log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ w próbkach z kompostowni B. Z kolei w okresie jesienno-zimowym miesięczny spadek liczby badanych bakterii wynosił $2,09 \log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ w próbkach z obiektu C, natomiast w próbkach z kompostowni B był najwyższy i przyjmował wartość $2,28 \log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ na miesiąc.

Tabela 22. Współczynniki regresji i maksymalny czas przeżycia bakterii *E. coli* w poszczególnych okresach badań

Table 22. Regression coefficients and the maximum survival time of *E. coli* bacteria in respective examination periods

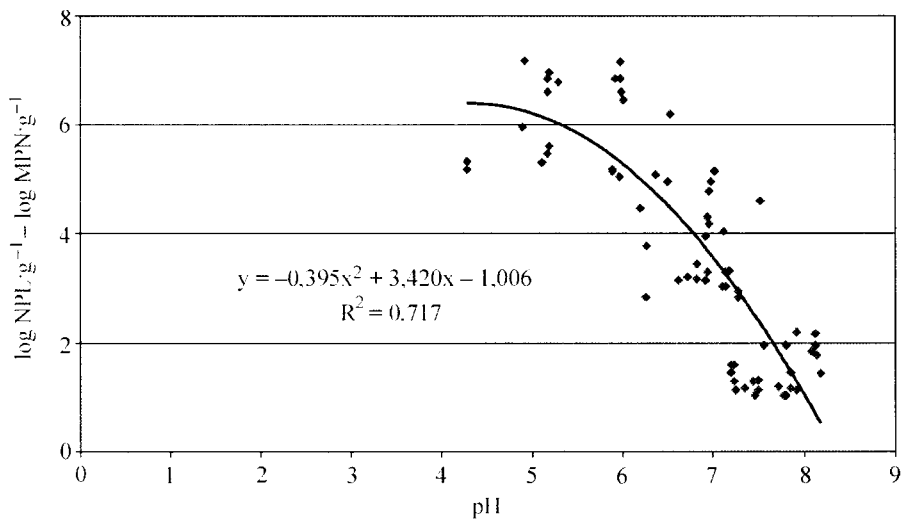
Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Współczynnik a Coefficient a	Współczynnik b Coefficient b	Maksymalny czas przeżycia (miesiąc) Maximum survival time (month)	Błąd standardowy Standard error
A	I	$-1,86 \pm 0,04$	$7,40 \pm 0,09$	3,98	0,06
	II	$-2,15 \pm 0,39$	$8,86 \pm 0,85$	4,02	0,56
B	I	$-2,40 \pm 0,44$	$8,54 \pm 0,95$	3,55	0,62
	II	$-2,28 \pm 0,37$	$9,22 \pm 0,80$	4,04	0,52
C	I	$-1,60 \pm 0,25$	$6,84 \pm 0,54$	4,28	0,35
	II	$-2,09 \pm 0,23$	$8,46 \pm 0,50$	4,05	0,33

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

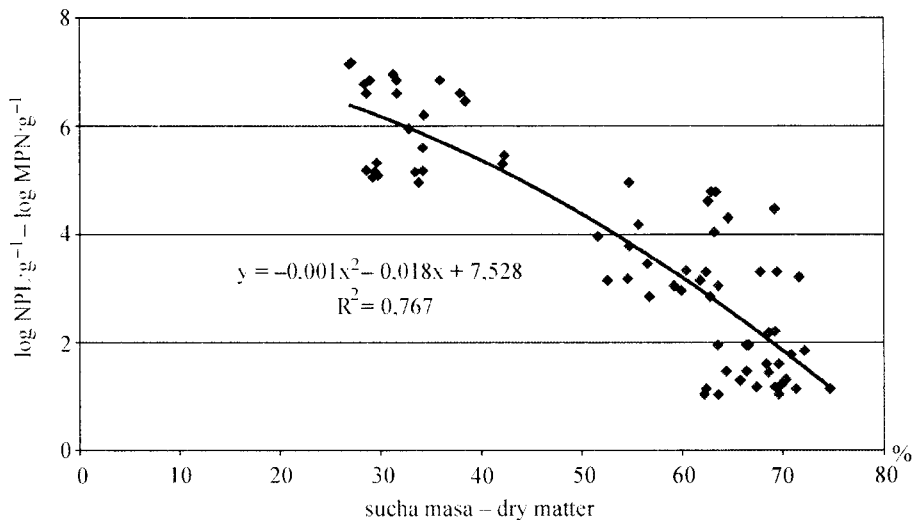
W celu ustalenia zależności między liczbą bakterii *E. coli* a czynnikami fizykochemicznymi wyznaczono krzywe (rys. 14-15), wskazujące na obniżenie liczby tych bakterii w środowisku alkalicznym i przy wyższej zawartości suchej masy kompostu.

Podobną dynamikę zmian ilościowych wykazywały paciorkowce grupy-D (tab. 23). Drobnoustroje te również mogą stanowić wskaźnik sanitarnego zanieczyszczenia kompostu dojrzałego. Graniczna wartość liczebności paciorkowców grupy-D wynosi w nim $5,0 \times 10^3$ [Epstein 1997]. Z badań własnych wynika (tab. 23, rys. 16-18), iż średnie zawartości tych drobnoustrojów były niższe niż podane zawartości normatywne. Na tej podstawie można stwierdzić, iż pod względem liczby paciorkowców grupy-D, stwierdzonych w trakcie badań, zastosowanie przyrodnicze kompostu nie budzi zastrzeżeń.



Rys. 14. Zależność pomiędzy liczbą bakterii *E. coli* a pH badanych próbek

Fig. 14. Relation between the count of *E. coli* bacteria and pH of the samples examined



Rys. 15. Zależność pomiędzy liczbą bakterii *E. coli* a zawartością suchej masy badanych próbek

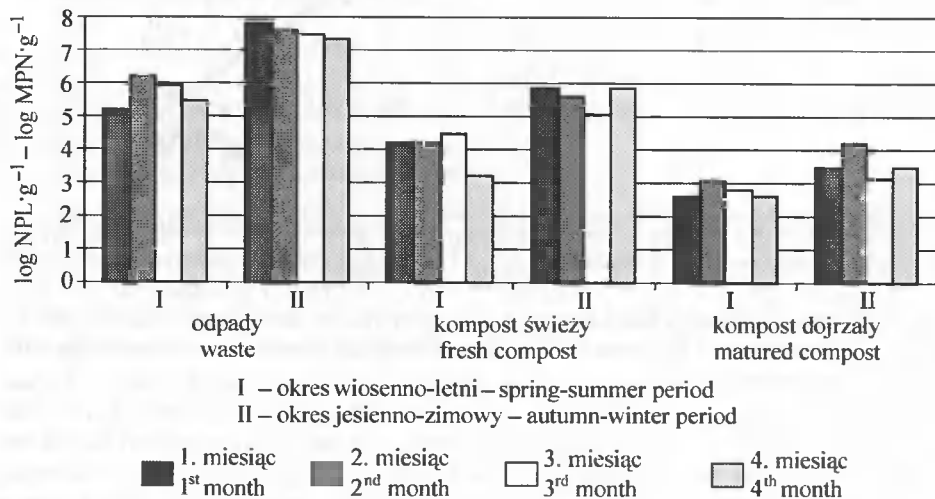
Fig. 15. Relation between the count of *E. coli* bacteria and the content of dry matter in the samples examined

Tabela 23. Liczba paciorkowców grupy-D ($\text{NPL} \cdot \text{g}^{-1}$) w poszczególnych próbkach kompostów
 Table 23. Count of D-group streptococci ($\text{MPN} \cdot \text{g}^{-1}$) in respective compost samples

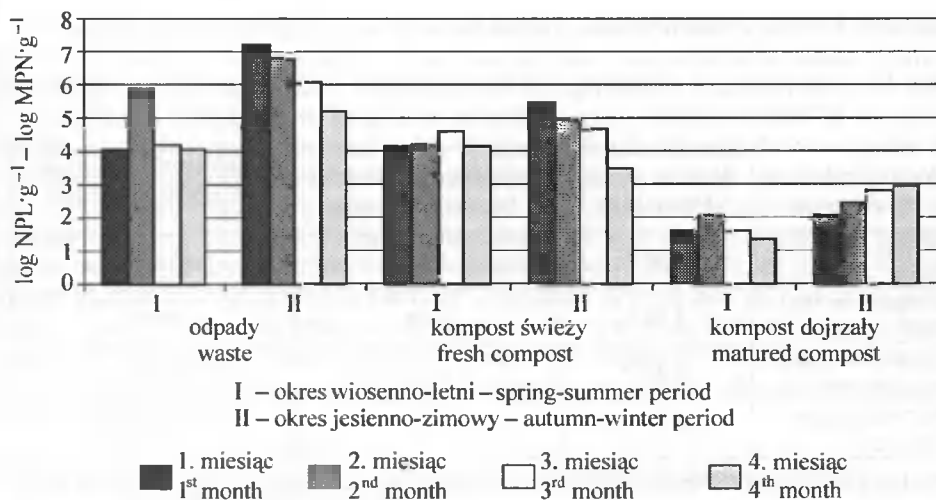
Wyszczególnienie Specification	Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Miesiąc badań Examination month				Średnia Mean
			1.	2.	3.	4.	
Odpady Waste	A	I	$1,5 \times 10^5$	$1,6 \times 10^6$	$9,0 \times 10^5$	$2,8 \times 10^5$	$7,3 \times 10^5$
		II	$6,0 \times 10^7$	$4,0 \times 10^7$	$2,9 \times 10^7$	$2,0 \times 10^7$	$3,7 \times 10^7$
	B	I	$1,1 \times 10^4$	$7,0 \times 10^3$	$1,6 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$	$1,8 \times 10^5$
		II	$1,6 \times 10^7$	$6,0 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$1,6 \times 10^5$	$5,8 \times 10^6$
	C	I	$2,8 \times 10^6$	$1,4 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	$2,5 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$
		II	$7,0 \times 10^6$	$9,0 \times 10^3$	$6,0 \times 10^6$	$7,0 \times 10^6$	$5,2 \times 10^6$
Kompost świeży Fresh compost	A	I	$1,5 \times 10^4$	$1,6 \times 10^4$	$2,8 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$
		II	$7,0 \times 10^5$	$4,0 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$7,0 \times 10^5$	$4,8 \times 10^5$
	B	I	$1,4 \times 10^4$	$1,6 \times 10^3$	$4,0 \times 10^4$	$1,4 \times 10^4$	$2,1 \times 10^4$
		II	$2,8 \times 10^5$	$9,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^4$	$2,8 \times 10^3$	$1,1 \times 10^5$
	C	I	$1,6 \times 10^4$	$4,0 \times 10^4$	$9,0 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	$1,7 \times 10^4$
		II	$1,5 \times 10^4$	$4,0 \times 10^3$	$9,0 \times 10^4$	$7,0 \times 10^4$	$4,5 \times 10^4$
Kompost dojrzały Matured compost	A	I	$4,0 \times 10^2$	$1,1 \times 10^3$	$6,0 \times 10^2$	$4,0 \times 10^2$	$6,3 \times 10^2$
		II	$2,9 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$	$1,4 \times 10^3$	$2,8 \times 10^3$	$5,5 \times 10^2$
	B	I	$4,0 \times 10^1$	$1,1 \times 10^2$	$4,0 \times 10^1$	$2,0 \times 10^1$	$5,3 \times 10^1$
		II	$1,1 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$	$6,0 \times 10^2$	$9,0 \times 10^2$	$4,7 \times 10^2$
	C	I	$6,0 \times 10^2$	$1,2 \times 10^3$	$4,0 \times 10^2$	$6,0 \times 10^2$	$4,3 \times 10^2$
		II	$2,1 \times 10^3$	$9,0 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$	$2,8 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

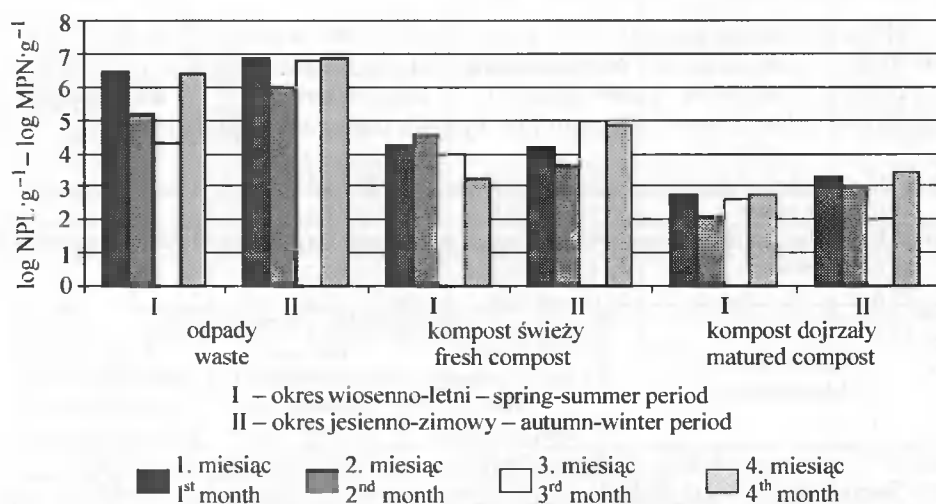
II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period



Rys. 16. Zawartość paciorkowców grupy-D w próbkach odpadów i kompostów z obiektu A
 Fig. 16. Content of D-group streptococci in the waste and compost samples from plant A



Rys. 17. Zawartość paciorkowców grupy-D w próbkach odpadów i kompostów z obiektu B
Fig. 17. Content of D-group streptococci in the waste and compost samples from plant B



Rys. 18. Zawartość paciorkowców grupy-D w próbkach odpadów i kompostów z obiektu C
Fig. 18. Content of D-group streptococci in the waste and compost samples from plant C

Observacje dotyczące zmian ilościowych paciorkowców grupy-D pozwalają stwierdzić, że największą liczebność tych drobnoustrojów stwierdzono w odpadach, zaś niższą – w komposcie świeżym i dojrzałym. W odpadach ich liczebność wynosiła średnio od $3,7 \times 10^7$ do $1,8 \times 10^5$ jtk.g⁻¹. W komposcie świeżym otrzymywanym bezpośrednio po wstępnej utylizacji w biostabilizatorze liczba paciorkowców zmniejszyła się do 10^4 – 10^5 . Analogicznie jak w przypadku innych drobnoustrojów, najmniejszą liczbę paciorkowców grupy-D – od 10^1 do 10^2 – stwierdzono w komposcie dojrzałym. Różnice między średnimi wartościami liczbowymi badanych próbek odpadów, kompostu świeżego i dojrzałego były wysoko istotne statystycznie $p < 0,01$ (tab. 24).

Tabela 24. Istotność różnic liczebności paciorkowców grupy-D ($\log \text{NPL} \cdot \text{g}^{-1}$) w zależności od badanych próbek

Table 24. Significance of differences D-group streptococci ($\log \text{MPN} \cdot \text{g}^{-1}$) depending on the samples examined

Wyszczególnienie Specification	Wartości średnie Mean value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variability coefficient %
Odpady Waste	6.04 ^A	1,14	18,94
Kompost świeży Fresh compost	4.48 ^a	0.75	16.77
Kompost dojrzały Matured compost	2.45 ^{Aa}	0.51	20.71
Wartości ogólne Total value	4,43	1,70	39.25

Wartości w kolumnach oznaczone dużymi literami różnią się wysoko istotnie statystycznie ($p < 0.01$)

Values in columns marked with capital letters are highly significantly different ($p < 0.01$)

Wartości oznaczone w kolumnach małymi literami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0.05$)

Values in columns marked with lower-case letters are significantly different ($p < 0.05$)

Dynamika zmian paciorkowców grupy-D, obliczona na podstawie średnich wartości logarytmicznych między próbkami kompostu dojrzałego a odpadami pochodzącymi z obiektu A, wynosiła 51,34% (tab. 25). W kompostowniach B i C dla analogicznych próbek redukcja tych drobnoustrojów wynosiła odpowiednio 63,47 i 54,85%.

Tabela 25. Redukcja liczebności (%) paciorkowców grupy-D ($\log \text{NPL} \cdot \text{g}^{-1}$) w czasie prowadzonych badań

Table 25. Reduction in the count (%) of D-group streptococci ($\log \text{MPN} \cdot \text{g}^{-1}$) during the examinations

Wyszczególnienie Specification			Rodzaj próbki – Type of sample		
			kompost świeży/odpady fresh compost/waste	kompost dojrzały/odpady matured com- post/waste	kompost dojrzały/świeży matured com- post/fresh compost
Obiekt i okres badawczy Experimental object and examination period	A	I	28.73	52.33	33.11
		II	24.99	50.57	34.10
	B	I	17.92	67.33	60.20
		II	25.73	60.46	46.77
	C	I	31.19	57.08	37.62
		II	30.77	52.82	31.85
Obiekt badawczy Experimental object	A	26.62	51.34	33.68	
	B	22.31	63.47	52.98	
	C	30.97	54.85	34.59	
Okres badawczy Examination period	I	43.81	58.59	26.31	
	II	37.56	54.47	27.07	

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Biorąc pod uwagę okresy badawcze, zaobserwowano tendencję do obniżania się zawartości paciorkowców grupy-D w okresie jesienno-zimowym w kompoście świeżym i dojrzałym w stosunku do odpadów. Z obliczeń redukcji tych bakterii w kompoście dojrzałym i odpadach wynika, że w okresie wiosenno-letnim wartość ta wynosiła 58,59%, zaś w jesienno-zimowym 54,47%. Tempo spadku liczby paciorkowców grupy-D, obliczone na podstawie współczynników prostych regresji, wskazuje na niższą eliminację tych drobnoustrojów w trakcie doświadczeń (tab. 26). Dla I okresu badań wynosiło ono od 1,53 do 1,77 log jtk·g⁻¹ na miesiąc, natomiast w II okresie miesięczny spadek liczby badanych bakterii utrzymywał się w granicach od 1,77 do 2,05 log jtk·g⁻¹. Maksymalny teoretyczny czas przeżycia paciorkowców grupy-D obliczony na podstawie przebiegu prostych regresji utrzymywał się w granicach od 4,13 do 4,79 miesiąca w próbkach pochodzących z okresu wiosenno-letniego. W przypadku badań prowadzonych w okresie jesienno-zimowym stwierdzono dłuższy czas przeżycia badanych bakterii – od 4,36 do 4,96 miesiąca.

Tabela 26. Współczynniki regresji i maksymalny czas przeżycia paciorkowców grupy-D w poszczególnych okresach badań

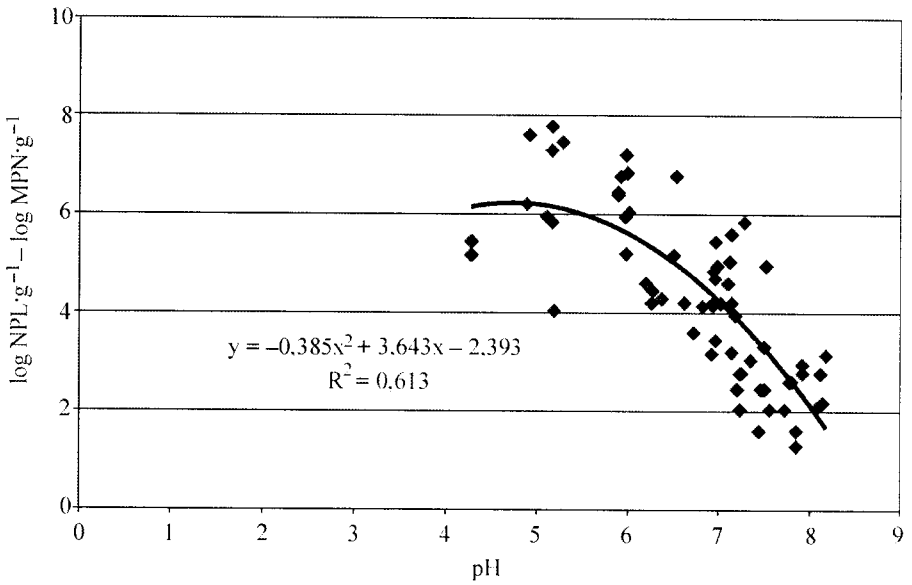
Table 26. Regression coefficients and maximum survival time of D-group streptococci in respective examination periods

Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Współczynnik a Coefficient a	Współczynnik b Coefficient b	Maksymalny czas przeżycia (miesiąc) Maximum survival time (month)	Błąd standardowy Standard error
A	I	-1.53 ± 0.09	7.53 ± 0.19	4.79	0.12
	II	-1.91 ± 0.31	9.49 ± 0.67	4.96	0.43
B	I	-1.77 ± 0.48	7.32 ± 1.03	4.13	0.68
	II	-2.05 ± 0.20	8.91 ± 0.43	4.36	0.28
C	I	-1.75 ± 0.09	7.83 ± 0.20	4.47	0.13
	II	-1.77 ± 0.10	8.39 ± 0.21	4.73	0.14

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

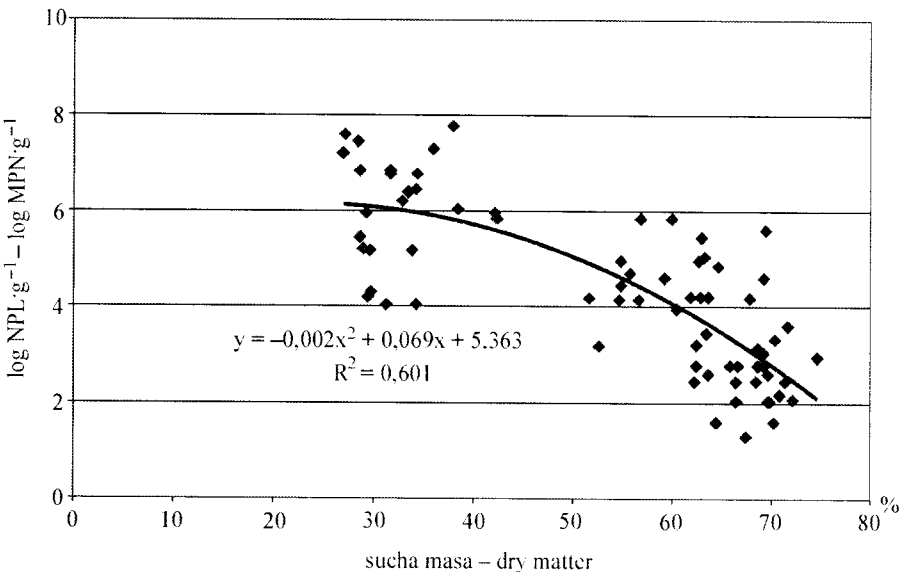
II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

W badanych próbkach określono również zależność między czynnikami fizykochemicznymi a zawartością paciorkowców grupy-D. Na podstawie przebiegu krzywej $y = -0,385x^2 + 3,643x - 2,393$, dotyczącej zależności między wartością pH badanych próbek a liczebnością paciorkowców grupy-D, stwierdzono, iż w początkowym okresie, przy wartościach pH od 4 do 5, liczebność paciorkowców grupy-D utrzymywała się na stałym poziomie. Z kolei szybkie obniżenie liczby badanych bakterii było związane ze wzrostem wartości pH (rys. 19). Wyraźnie szybkie tempo ich eliminacji było związane ze wzrostem odczynu, jednak należy zaznaczyć, iż dane te były skorelowane również z czasem badań i fazą kompostowania, bowiem według wielu danych w środowisku obojętnym drobnoustroje znajdują najkorzystniejsze warunki do wzrostu i rozwoju [Strauch 1995, Szejniuk i Kluczek 1996]. Z kolei Epstein [1997] stwierdził, iż większość bakterii może przeżyć w środowisku obojętnym lub słabo zasadowym. Ważny jest również fakt, że określone stężenie jonów wodorowych może modyfikować właściwości fizjologiczne drobnoustrojów. Ponadto bakterie posiadają mechanizm, który pozwala im regulować pH środowiska poprzez wytwarzanie substancji zobojętniających odczyn podłoża.



Rys. 19. Zależność pomiędzy liczbą paciorkowców grupy-D a pH badanych próbek
 Fig. 19. Relation between the count of D-group streptococci and pH of the examined samples

Krzywa charakteryzująca wpływ suchej masy badanych próbek na liczebność paciorkowców grupy-D przyjęła postać $y = -0,002x^2 + 0,069x + 5,363$ (rys. 20).



Rys. 20. Zależność pomiędzy liczbą paciorkowców grupy-D a zawartością suchej masy badanych próbek
 Fig. 20. Relation between the count of D-group streptococci and the content of dry matter in the samples examined

Z uzyskanych danych wynika, iż liczebność paciorkowców grupy-D obniża się przy wzroście zawartości suchej masy badanego kompostu. Również w tym przypadku reakcja badanych bakterii na zmienną zawartość wody w badanych próbkach była uzasadniona, bowiem w końcowym etapie kompostowania, po wykorzystaniu substancji odżywczych, zmniejszeniu ulega również biomasa mikroorganizmów.

Miarą sanitarno-higienicznego zanieczyszczenia kompostu jest obecność bakterii z rodzaju *Salmonella*. Często znajdujące się w odpadach drobnoustroje chorobotwórcze mogą pochodzić z odchodów zwierzęcych [Saba i wsp. 1995, Trawińska i wsp. 1997]. Drobnoustroje *Salmonella* sp. mogą występować w bioodpadach na poziomie (10^2 - 10^3)·g⁻¹ s.m. Po zakończeniu procesu kompostowania produkt finalny (kompost) nie powinien już zawierać tych drobnoustrojów. Jednakże zdarza się, że sterylny kompost powtórnie zostaje skażony pałeczkami *Salmonella*, w tym przypadku osiągają one poziom 10^6 ·g⁻¹ s.m. lub wyższy. Odnowienie się populacji *Salmonella enteritidis* w sterylnym kompoście może osiągnąć poziom 10^9 mikroorganizmów w 1 g s.m. Przyjmuje się, że skażenie kompostu *Salmonellą* nie jest groźne, gdyż ginie ona stosunkowo szybko [Epstein 1997]. W badaniach własnych (tab. 27, rys. 21-23) izolowano pałeczki bakterii *Salmonella* sp. w odpadach, kompoście świeżym oraz sporadycznie w dojrzałym. Ich ilości były minimalne, a wykrywalność w tym ostatnim przypadku była na granicy czułości metody.

Tabela 27. Liczba bakterii *Salmonella* sp. (NPL·g⁻¹) w poszczególnych próbkach
Table 27. Count of *Salmonella* sp. bacteria (MPN·g⁻¹) in respective samples

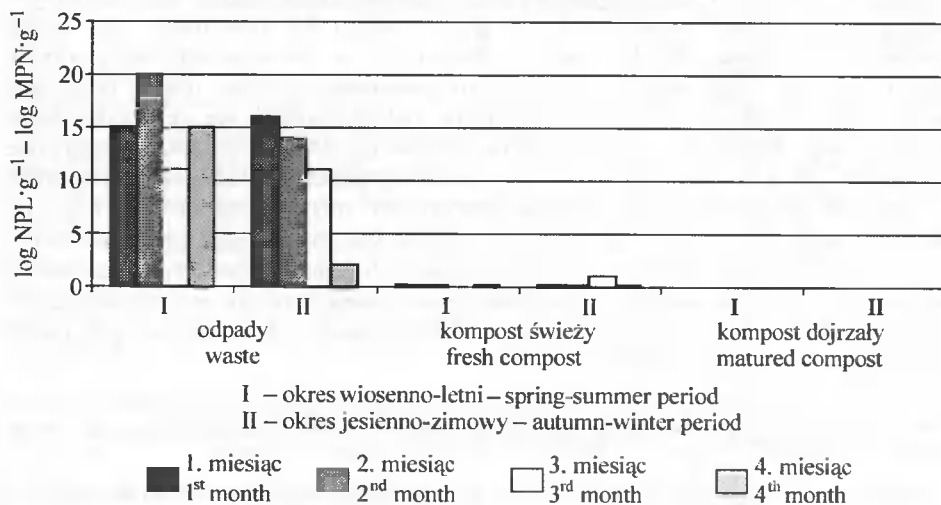
Wyszczególnienie Specification	Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Miesiąc badań Examination month			
			1.	2.	3.	4.
Odpady Waste	A	I	$1,5 \times 10^1$	$2,0 \times 10^1$	$1,1 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$
		II	$1,6 \times 10^1$	$1,4 \times 10^1$	$1,1 \times 10^1$	$2,0 \times 10^0$
	B	I	$1,4 \times 10^0$	$1,1 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$	$2,0 \times 10^0$
		II	$4,0 \times 10^1$	$1,1 \times 10^0$	$1,6 \times 10^0$	$1,5 \times 10^1$
	C	I	$1,1 \times 10^0$	$1,1 \times 10^0$	$1,6 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$
		II	$1,5 \times 10^1$	$1,1 \times 10^1$	$1,4 \times 10^0$	$2,0 \times 10^0$
Kompost świeży Fresh compost	A	I	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	ns – nd	$1,1 \times 10^{-1}$
		II	$2,0 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$9,5 \times 10^{-1}$	$1,4 \times 10^{-1}$
	B	I	$1,5 \times 10^{-1}$	$1,6 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	ns – nd
		II	$1,6 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$	ns – nd	$1,1 \times 10^{-1}$
	C	I	ns – nd	ns – nd	ns – nd	ns – nd
		II	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$	ns – nd	ns – nd
Kompost dojrzały Matured compost	A	I	ns – nd	ns – nd	ns – nd	ns – nd
		II	ns – nd	ns – nd	ns – nd	$0,3 \times 10^{-1}$
	B	I	ns – nd	$0,3 \times 10^{-1}$	ns – nd	ns – nd
		II	ns – nd	ns – nd	ns – nd	ns – nd
	C	I	ns – nd	ns – nd	ns – nd	ns – nd
		II	ns – nd	ns – nd	ns – nd	ns – nd

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

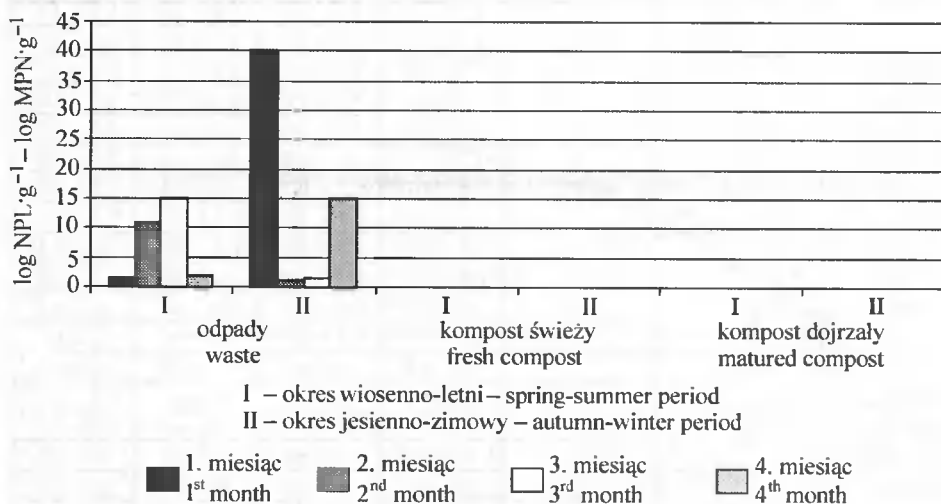
II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

ns – nd – nie stwierdzono – non-detected

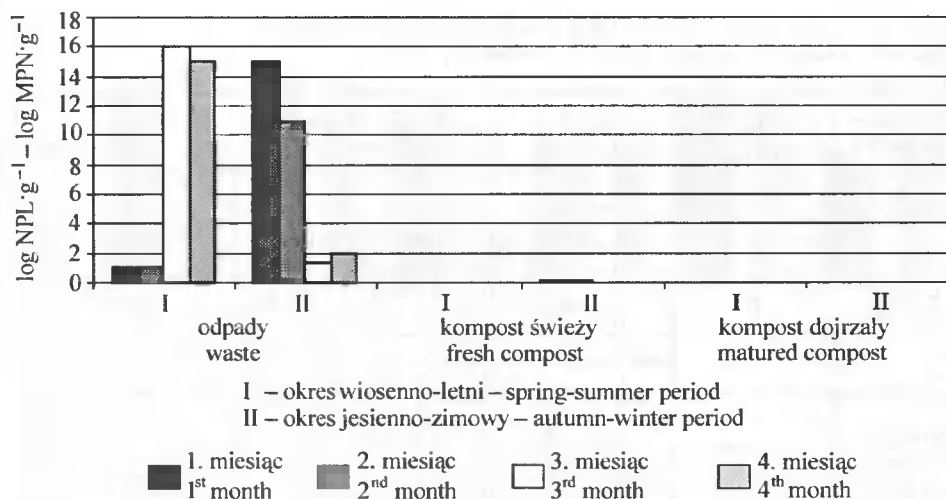
Jak podają Knop i wsp. [1996], materiały wyjściowe do kompostowania, czyli bioodpady, wykazują duże zanieczyszczenie pałeczkami z rodzaju *Salmonella* (50% próbek poddanych analizie ilościowej). W kompoście świeżym liczba ich zmniejszała się do 36%. Wyniki badań własnych korespondują z powyższymi, gdyż bakterie te w próbkach kompostu świeżego i dojrzałego (tab. 27) identyfikowano również sporadycznie, co potwierdzono obliczeniami statystycznymi (tab. 28).



Rys. 21. Zawartość bakterii *Salmonella* sp. w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni A
Fig. 21. Content of *Salmonella* sp. in the waste and compost samples from composting plant A



Rys. 22. Zawartość bakterii *Salmonella* sp. w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni B
Fig. 22. Content of *Salmonella* sp. in the waste and compost samples from composting plant B



Rys. 23. Zawartość bakterii *Salmonella* sp. w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni C
Fig. 23. Content of *Salmonella* sp. in the waste and compost samples from composting plant C

Tabela 28. Istotność różnic pałeczek *Salmonella* sp. (NPL·g⁻¹) w zależności od badanych próbek
Table 28. Significance of differences *Salmonella* sp. bacilli (MPN·g⁻¹) depending on the samples examined

Wyszczególnienie Specification	Wartości średnie Mean value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variability coefficient %
Odpady Waste	$1,05 \times 10^1$	$3,54 \times 10^0$	33,71
Kompost świeży Fresh compost	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$	100,00
Kompost dojrzały Matured compost	$0,3 \times 10^{-1}$	$0,4 \times 10^{-1}$	154,92
Wartości ogólne Total value	$3,54 \times 10^0$	$1,22 \times 10^0$	34,40

5.2.4. Analiza mikologiczna

Ważnym, choć często omijanym elementem oceny sanitarno-higienicznej procesu kompostowania jest zawartość grzybów [Szejniuk 2000b]. Jak podają Weinrich i wsp. [1996], w próbkach odpadów poddanych analizie w różnych porach roku najwyższe zanieczyszczenie grzybami – w granicach $2,3-2,8 \times 10^7$ – stwierdzono w okresie letnim i jesiennym, zaś niższe w okresie zimowym i wiosennym – od $1,6 \times 10^4$ do $2,6 \times 10^6$ jtk·g⁻¹ s.m. Hankin i wsp. [1976] zaobserwowali, że liczba grzybów identyfikowanych w procesie kompostowania zależy od jego fazy i w przybliżeniu w początkowym okresie przyjmuje wartości 10^6 jtk·g⁻¹, następnie ulega obniżeniu podczas fazy ciepłolubnej. W czasie wzrostu temperatury w fazie termofilnej liczba grzybów również może się zwiększać, nawet do 10^8 jtk·g⁻¹, natomiast podczas fazy ochładzania ponownie maleje.

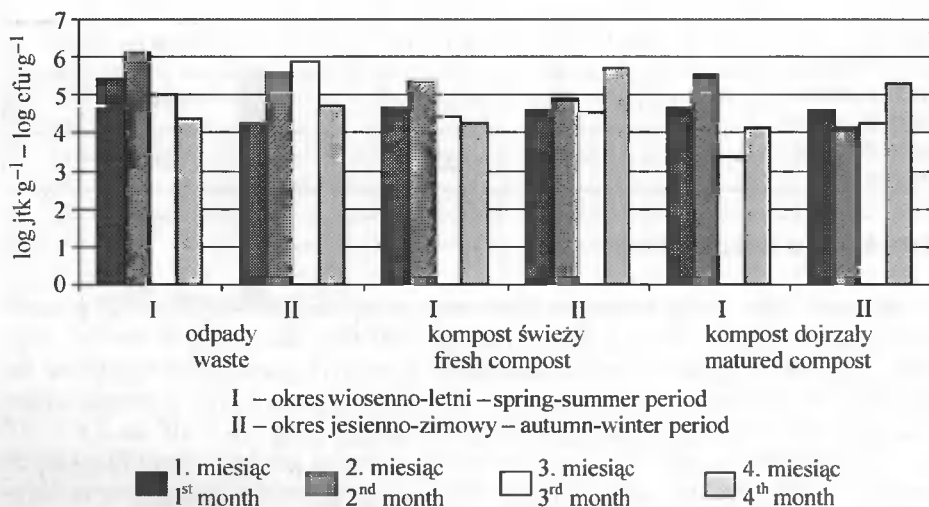
W badaniach własnych ogólna liczba grzybów wyizolowanych z odpadów komunalnych wahała się w granicach od $1,0 \times 10^4$ do $1,4 \times 10^6$ jtk·g⁻¹ (tab. 29, rys. 24-26).

Tabela 29. Ogólna liczba grzybów ($\text{jtk} \cdot \text{g}^{-1}$) w poszczególnych próbkach
 Table 29. Total count of fungi ($\text{cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) in respective samples

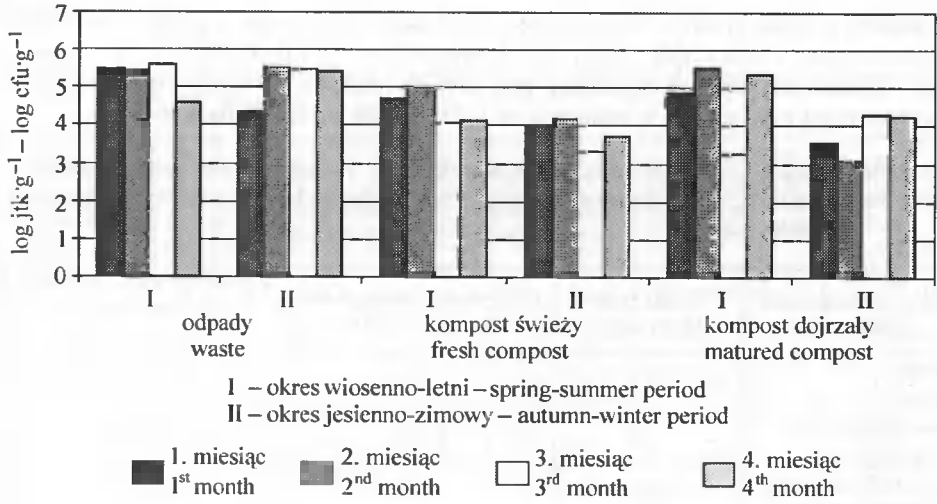
Wyszczególnienie Specification	Symbol Symbol of the composting plant	Okres badań Exami- nation period	Miesiąc badań Examination month				Średnia Mean
			1.	2.	3.	4.	
Odpady Waste	A	I	$2,5 \times 10^5$	$1,4 \times 10^6$	$1,0 \times 10^5$	$2,3 \times 10^4$	$4,4 \times 10^5$
		II	$1,9 \times 10^4$	$3,8 \times 10^5$	$7,8 \times 10^5$	$5,5 \times 10^4$	$3,1 \times 10^5$
	B	I	$2,9 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$	$3,9 \times 10^5$	$4,0 \times 10^4$	$2,4 \times 10^5$
		II	$2,4 \times 10^4$	$3,7 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5$	$2,6 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$
	C	I	$1,2 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$4,8 \times 10^5$	$1,0 \times 10^4$	$1,3 \times 10^5$
		II	$2,6 \times 10^4$	$5,5 \times 10^4$	$4,8 \times 10^4$	$4,9 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$
Kompost świeży Fresh compost	A	I	$4,8 \times 10^4$	$2,4 \times 10^5$	$2,6 \times 10^4$	$1,9 \times 10^4$	$8,3 \times 10^4$
		II	$4,2 \times 10^4$	$8,1 \times 10^4$	$3,5 \times 10^4$	$5,2 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$
	B	I	$5,4 \times 10^4$	$1,0 \times 10^5$	$1,2 \times 10^4$	$1,4 \times 10^4$	$4,5 \times 10^4$
		II	$1,0 \times 10^4$	$1,6 \times 10^4$	$2,0 \times 10^3$	$5,4 \times 10^3$	$8,4 \times 10^3$
	C	I	$2,5 \times 10^4$	$2,6 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$4,5 \times 10^4$	$3,0 \times 10^4$
		II	$4,5 \times 10^4$	$1,9 \times 10^5$	$2,8 \times 10^4$	$3,2 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$
Kompost dojrzały Matured compost	A	I	$4,8 \times 10^4$	$3,5 \times 10^5$	$2,5 \times 10^3$	$1,3 \times 10^4$	$1,0 \times 10^5$
		II	$4,0 \times 10^4$	$1,3 \times 10^3$	$1,8 \times 10^4$	$2,0 \times 10^5$	$6,8 \times 10^4$
	B	I	$7,8 \times 10^4$	$3,5 \times 10^5$	$1,8 \times 10^3$	$2,2 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$
		II	$3,5 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	$2,2 \times 10^4$	$1,9 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$
	C	I	$3,5 \times 10^3$	$4,5 \times 10^3$	$4,0 \times 10^4$	$9,5 \times 10^3$	$1,4 \times 10^4$
		II	$2,0 \times 10^4$	$2,6 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	$5,4 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

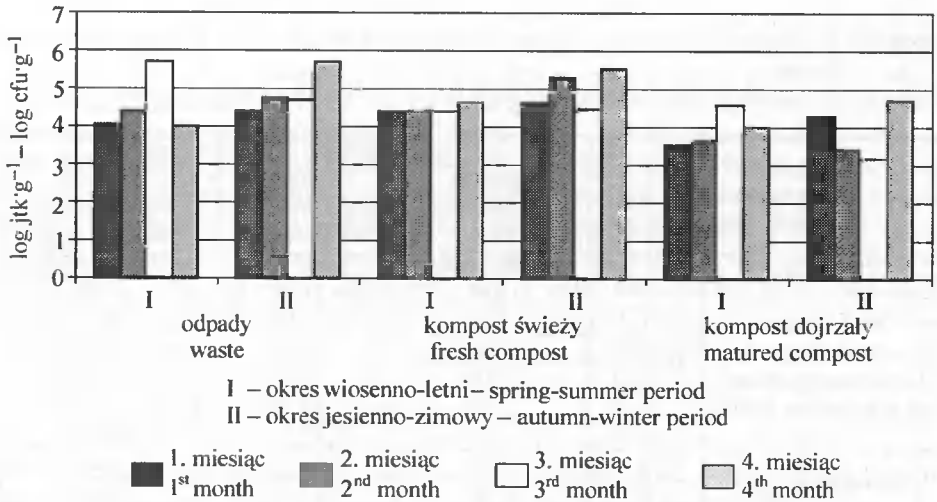
II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period



Rys. 24. Ogólna liczba grzybów w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni A
 Fig. 24. Total count of fungi in the waste and compost samples from composting plant A



Rys. 25. Ogólna liczba grzybów w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni B
Fig. 25. Total count of fungi in the waste and compost samples from composting plant B



Rys. 26. Ogólna liczba grzybów w próbkach odpadów i kompostów z kompostowni C
Fig. 26. Total count of fungi in the waste and compost samples from composting plant C

Nie stwierdzono istotnych różnic między próbkami odpadów, kompostu świeżego i dojrzałego (tab. 30). Z kolei w przypadku określania zanieczyszczenia mikologicznego badanych próbek ustalono tylko nieznaczną ich eliminację między materiałem wśadowym a produktem końcowym, czyli kompostem dojrzałym; wynosiła ona średnio od 11,59 do 18,05% (tab. 31). Stopień inaktywacji grzybów często zależy od pory roku oraz warunków termiczno-wilgotnościowych panujących w pryzmach kompostowych. W procesie utylizacji odpadów stwierdzono niską efektywność usuwania tych mikroorganizmów (w granicach od 6,06 do 18,83%); zależała ona od pory roku [Szejniuk 2000b]. Dane te znajdują potwierdzenie w obliczeniach statystycznych (tab. 30) oraz

w analizie równań prostych regresji (tab. 32). Tempo spadku liczby grzybów w okresie wiosenno-letnim było niskie i przyjmowało wartości od 0,09 do 0,48 log jtk·g⁻¹ na miesiąc. Nieznacznie wyższą eliminację grzybów stwierdzono w okresie jesienno-zimowym; utrzymywała się ona w granicach od 0,33 do 0,66 log jtk·g⁻¹ na miesiąc.

Tabela 30. Istotność różnic ogólnej liczby grzybów (log jtk·g⁻¹) w zależności od badanych próbek
Table 30. Significance of differences the total count of fungi (log cfu·g⁻¹) depending on the samples examined

Wyszczególnienie Specification	Wartości średnie Mean value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variability coefficient %
Odpady Waste	5,04	0.63	12.56
Kompost świeży Fresh compost	4,56	0.56	12.18
Kompost dojrzały Matured compost	4,24	0,75	17,73
Wartości ogólne Total value	4,61	0.72	15,67

Tabela 31. Redukcja liczebności (%) ogólnej liczby grzybów (log jtk·g⁻¹) w czasie prowadzonych badań

Table 31. Reduction the total count (%) of fungi (log cfu·g⁻¹) during the examinations

Wyszczególnienie Specification			Rodzaj próbki – Type of sample		
			kompost świeży/odpady fresh compost/waste	kompost dojrzały/odpady matured com- post/waste	kompost dojrzały/świeży matured com- post/fresh compost
Obiekt i okres badawczy Experimental object and examination period	A	I	12.86	11.20	-1.91
		II	4.74	11.99	7.62
	B	I	13.58	3.23	-11.98
		II	27.07	24.52	-3.50
	C	I	12.48	18.79	7.21
		II	0.50	17.31	16.90
Obiekt badawczy Experimental object	A		8.86	11.59	3.00
	B		20.32	13.87	-8.10
	C		6.45	18.05	12.40
Okres badawczy Examination period	I		12.98	10.95	-2.34
	II		10.85	17.91	7.92

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Tabela 32. Współczynniki regresji i maksymalny czas przeżycia grzybów w poszczególnych okresach badań

Table 32. Regression coefficients and the maximum survival time of fungi in respective examination periods

Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Okres badań Examination period	Współczynnik a Coefficient a	Współczynnik b Coefficient b	Maksymalny czas przeżycia (miesiąc) Maximum survival time (month)	Błąd standardowy Standard error
A	I	-0.32 ± 0.24	5.83 ± 0.51	18.43	0.33
	II	-0.33 ± 0.04	5.84 ± 0.09	17.75	0.06
B	I	-0.09 ± 0.37	5.26 ± 0.08	60.43	0.53
	II	-0.66 ± 0.46	5.77 ± 0.99	8.75	0.65
C	I	-0.48 ± 0.09	5.55 ± 0.20	11.53	0.13
	II	-0.45 ± 0.24	5.78 ± 0.53	12.87	0.37

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

W badaniach wcześniejszych, prowadzonych w Katedrze Higieny Zwierząt i Mikrobiologii Środowiska [Szejniuk 2000b], dotyczących liczebności grzybów w czasie kompostowania odpadów, stwierdzono wolniejszą eliminację tych mikroorganizmów w okresie jesienno-zimowym niż latem. W badaniach własnych ustalono maksymalny czas przeżycia grzybów w okresie wiosenno-letnim, który wynosił od 11,53 do 60,43 miesięcy, zaś w okresie jesienno-zimowym od 8,75 do 17,75 miesięcy. Zaznaczyć należy, że obliczenia teoretyczne znajdują zastosowanie praktyczne tylko wówczas, gdy pozostałe warunki istniejące w trakcie kompostowania pozostaną niezmiennione. Potwierdzeniem zjawiska niewielkiej eliminacji grzybów w kompostowni B w I okresie badań jest również niska (3,23%) ich inaktywacja (tab. 31). Z kolei we wcześniejszych badaniach [Szejniuk 2000b] maksymalny teoretyczny czas przeżycia grzybów wynosił 17-19 miesięcy, zaś w chłodniejszej porze roku 28-44 miesiące. Z powyższych danych wynika, że liczebność mikroorganizmów grzybowych w czasie kompostowania nie ulega znacznemu obniżeniu, co dowodzi, iż czas przeżycia związany jest przede wszystkim z warunkami środowiskowymi panującymi w określonych porach roku. Ponadto antybiotyki wytwarzane przez grzyby pleśniowe występujące w przeważającej ilości w niskotemperaturowej fazie kompostowania przyczyniają się do biologicznego unieszkodliwiania kompostu.

W pobranych próbkach odpadów i kompostu (tab. 33) najczęściej zidentyfikowano następujące gatunki grzybów drożdżopodobnych i pleśniowych: *Aspergillus carbonarius*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans*, *Candida famata*, *Candida maris*, *Candida rugosa*, *Rhodotorula rubra* i *Penicillium citrinum*. Uzyskane w badaniach własnych dane są zgodne z wynikami Ulfiga [1985], który zidentyfikował w zalegających odpadach podobne gatunki grzybów, między innymi *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*. Szczególnie groźne dla zdrowia są aflatoksyny wytwarzane przez grzyby z rodzaju *Aspergillus*. Często przyczyną grzybic u ludzi są również grzyby *Candida albicans* i *Geotrichum candidum*.

Tabela 33. Identyfikacja gatunkowa grzybów izolowanych z próbek odpadów i kompostu
 Table 33. Identifying species of fungi isolated from waste and compost samples

Wyszczególnienie Specification	Symbol Symbol of the composting plant	Okresy badani Examination periods	Gatunki izolowanych grzybów Species of isolated fungi		
I	2	3	4		
Odpady Waste	A	I	<i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. glabrata</i>		
		II	<i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. maris</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>		
		I	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>		
			II	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>	
		I	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>		
			II	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Cryptococcus terreus</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>	
	A	I	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i>		
			<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Cryptococcus terreus</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>		
		I	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>		
			II	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>C. maris</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>	
		Kompost świeży Fresh compost	B	I	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>C. maris</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>
				II	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>C. maris</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>
I	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>C. maris</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Cryptococcus terreus</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>				
C	I		<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>C. maris</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Cryptococcus terreus</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>		
			II	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>C. maris</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Cryptococcus terreus</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>	
	II		<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>C. maris</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Cryptococcus terreus</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>		

cd. tabeli 33
Table 33 continued

1	2	3	4
	A	I	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. niger</i> , <i>Saccharomyces</i> spp., <i>Penicillium citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>
		II	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Penicillium notatum</i>
Kompost dojrzały Matured compost	B	I	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>Candida famata</i> , <i>C. glabrata</i> , <i>C. rugosa</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
		II	<i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida crusei</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>Rhodotorula minuta</i> , <i>Penicillium citrinum</i>
	C	I	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferrii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>C. lusitanae</i> , <i>C. maris</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Cryptococcus terreus</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>
		II	<i>Aspergillus carbonarius</i> , <i>A. fischeri</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. versicolor</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>C. ciferrii</i> , <i>C. famata</i> , <i>C. inconspicua</i> , <i>C. lipolytica</i> , <i>C. lusitanae</i> , <i>C. maris</i> , <i>Cryptococcus laurentii</i> , <i>Cryptococcus terreus</i> , <i>Penicillium chermesinum</i> , <i>P. citrinum</i> , <i>P. nalgiovensis</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>R. rubra</i> , <i>Trichosporon cutaneum</i>

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Weinrich i wsp. [1996] identyfikowali w odpadach przede wszystkim następujące gatunki grzybów: *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus versicolor*, *Mucor circinelloides*, *Penicillium* spp., *Scopulariopsis brevicaulis*. Stosunkowo rzadko występowały *Acremorium* sp. i *Alternaria alternaria*.

Szczególnie niebezpieczne jest występowanie grzybów chorobotwórczych w kompoście przeznaczonym do zagospodarowania, ponieważ istnieje możliwość wystąpienia zatrucia i schorzeń u ludzi mających kontakt ze skażonym kompostem. Według Boutina i Moline'a [1987], groźba zagrzybienia układu oddechowego inicjowana jest wysoką zawartością termofilnych kropidlaków. Bezpośrednio chorobotwórcze są grzyby *Aspergillus flavus* i *Aspergillus fumigatus* oraz inne spokrewnione gatunki, które mogą prowadzić do następujących chorób: saprofitycznej aspergilozy oskrzelowo-płucnej z płwocinami śluzu i krwi, grzybniaka kropidlakowego płuc względnie inwazyjnej aspergilozy. W badaniach własnych zidentyfikowano różne gatunki grzybów z rodzaju *Aspergillus*, które mogą przyczynić się do występowania schorzeń u ludzi mających kontakt ze skażonym kompostem lub pracujących w kompostowniach. Dane te wskazują, że w procesie dojrzwania kompostu nie wszystkie grzyby toksynotwórcze ulegają degradacji i mogą stanowić zagrożenie dla środowiska naturalnego.

Przedstawiony przez Boutina i Moline'a [1987] przypadek aspergilozy inwazyjnej spowodowanej przez grzyby *Aspergillus fumigatus* świadczy o tym, że u ludzi mających długotrwały kontakt ze skażonym grzybami materiałem, np. kompostem, często występują charakterystyczne jej objawy. Szczególnie narażony na negatywne działanie grzybów jest personel zatrudniony w kompostowniach [Déportes i wsp. 1995]. W Niemczech na podstawie wyników badań powietrza w kompostowniach i zawartości w nim mikroorganizmów chorobotwórczych sformułowano zalecenia dotyczące poprawy ochrony zdrowia personelu przed emisjami mikrobiologicznymi [Strauch 1995]. Z kolei w celu ochrony środowiska naturalnego przed skażeniem powietrza zanieczyszczeniami z kompostowni proponuje się oczyszczanie go poprzez biofiltry instalowane w takich obiektach.

Epstein [1997] podaje, że w kompostach izolowano następujące grzyby: *Penicillium*, *Geotrichum candidum*, *Mucor* i *Rhodotorula*. Według Boutina i wsp. [1987] warunki mezofilne w procesie kompostowania mogą unieruchomić grzyby patogenne pod warunkiem, że zapewniona będzie właściwa temperatura i pH oraz dostęp tlenu. Identyfikowane w badaniach własnych gatunki grzybów mogą być szkodliwe dla ludzi w przypadku niewłaściwie zagospodarowanego kompostu.

Przyjmując, że uzyskany z odpadów kompost może być przeznaczony do zagospodarowania przyrodniczego, należy zaznaczyć, iż identyfikowane w badaniach gatunki, odporne na eliminację podczas kompostowania lub wytwarzające się w czasie dojrzwania, mogą stwarzać ryzyko skażenia środowiska naturalnego.

5.2.5. Ocena zachowania się bakterii wskaźnikowych w czasie kompostowania odpadów

Ocenę skuteczności przebiegu procesu kompostowania odpadów pod względem sanitarno-higienicznym prowadzono na podstawie zachowania się bakterii wskaźnikowych aplikowanych do biostabilizatora i przyzmu kompostowych (tab. 34-37).

Tabela 34. Liczba drobnoustrojów wskaźnikowych (NPL·g⁻¹) *Salmonella senftenberg*, *Escherichia coli* i *Enterococcus faecium* w czasie dojrzewania w przyzmach

Table 34. Count of *Salmonella senftenberg*, *Escherichia coli* and *Enterococcus faecium* indicator microorganisms (MPN·g⁻¹) during their maturation in piles

Bakterie wskaźnikowe Indicator bacteria	Okres badań Examination period	Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Zawartość drobnoustrojów w kompozycie z zawiesiną Microorganism content in the compost with suspension	Miesiąc badań Examination month			
				1.	2.	3.	4.
<i>Salmonella senftenberg</i>	I	A	1.4×10^8	4.0×10^2	1.1×10^0	ns – nd	ns – nd
		B	3.8×10^8	9.0×10^2	2.1×10^{-1}	ns – nd	ns – nd
		C	2.1×10^8	2.8×10^2	1.1×10^{-1}	ns – nd	ns – nd
	II	A	2.0×10^8	1.2×10^2	2.0×10^0	ns – nd	ns – nd
		B	6.0×10^7	2.9×10^2	2.8×10^{-1}	ns – nd	ns – nd
		C	2.9×10^8	6.0×10^3	2.1×10^0	ns – nd	ns – nd
<i>Escherichia coli</i>	I	A	6.0×10^8	2.1×10^3	1.5×10^3	2.5×10^3	ns – nd
		B	2.9×10^7	2.1×10^4	1.4×10^3	4.0×10^3	ns – nd
		C	6.0×10^7	1.6×10^4	2.8×10^3	2.0×10^1	ns – nd
	II	A	1.5×10^8	5.0×10^3	1.6×10^3	4.0×10^2	ns – nd
		B	6.0×10^7	4.0×10^4	9.0×10^3	7.0×10^3	ns – nd
		C	2.9×10^7	2.1×10^4	4.0×10^3	6.0×10^1	ns – nd
<i>Enterococcus faecium</i>	I	A	4.0×10^8	2.1×10^4	1.4×10^4	1.2×10^1	ns – nd
		B	1.5×10^7	1.4×10^4	6.0×10^3	2.1×10^1	ns – nd
		C	2.8×10^8	2.1×10^4	2.8×10^3	2.0×10^1	ns – nd
	II	A	6.0×10^7	1.4×10^3	1.1×10^3	2.8×10^1	ns – nd
		B	7.0×10^7	4.0×10^3	1.4×10^3	1.4×10^2	ns – nd
		C	2.9×10^8	1.2×10^4	2.8×10^3	1.4×10^1	ns – nd

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

ns – nd – nie stwierdzono – non-detected

Tabela 35. Współczynniki regresji i maksymalny czas przeżycia drobnoustrojów wskaźnikowych *Salmonella senftenberg*, *Escherichia coli* i *Enterococcus faecium* w procesie utylizacji odpadów w przyzmach

Table 35. Regression coefficients and the maximum survival time of *Salmonella senftenberg*, *Escherichia coli* and *Enterococcus faecium* indicator microorganisms during waste treatment in piles

Bakterie wskaźnikowe Indicator bacteria	Okres badań Examination period	Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Współczynnik a Coefficient a	Współczynnik b Coefficient b	Maksymalny czas przeżycia (miesiąc) Maximum survival time (month)	Błąd standardowy Standard error
1	2	3	4	5	6	7
<i>Salmonella senftenberg</i>	I	A	-2.48 ± 0.58	6.33 ± 1.41	2.55	1.83
		B	-2.60 ± 0.67	6.59 ± 1.63	2.53	2.11
		C	-2.50 ± 0.70	6.17 ± 1.71	2.47	2.20
	II	A	-2.46 ± 0.62	6.26 ± 1.52	2.55	1.96
		B	-2.39 ± 0.60	5.93 ± 1.47	2.48	1.90
		C	-2.66 ± 0.52	7.04 ± 1.27	2.65	1.64

cd. tabeli 35

Table 35 continued

1	2	3	4	5	6	7
<i>Escherichia coli</i>	I	A	$-1,98 \pm 0,35$	$7,66 \pm 0,85$	3,86	1,10
		B	$-1,48 \pm 0,27$	$6,48 \pm 0,66$	4,37	0,85
		C	$-1,87 \pm 0,33$	$7,37 \pm 0,81$	3,94	1,05
	II	A	$-1,47 \pm 0,45$	$6,27 \pm 1,10$	4,28	1,43
		B	$-1,65 \pm 0,35$	$6,71 \pm 0,86$	4,07	1,11
		C	$-1,79 \pm 0,39$	$7,21 \pm 0,97$	4,02	1,25
<i>Enterococcus faecium</i>	I	A	$-1,74 \pm 0,60$	$7,22 \pm 1,37$	4,15	1,77
		B	$-1,54 \pm 0,24$	$6,72 \pm 0,60$	4,35	0,77
		C	$-1,62 \pm 0,32$	$6,81 \pm 0,78$	4,21	1,00
	II	A	$-1,65 \pm 0,46$	$6,73 \pm 1,12$	4,07	1,45
		B	$-1,62 \pm 0,36$	$7,29 \pm 0,89$	4,49	1,15
		C	$-1,54 \pm 0,23$	$6,72 \pm 0,57$	4,37	0,74

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Tabela 36. Współczynniki regresji i maksymalny czas przeżycia drobnoustrojów wskaźnikowych *Salmonella senftenberg*, *Escherichia coli* i *Enterococcus faecium* po przejściu przez biostabilizator

Table 36. Regression coefficients and the maximum survival time of *Salmonella senftenberg*, *Escherichia coli* and *Enterococcus faecium* indicator microorganisms having passed through the biostabilizer

Bakterie wskaźnikowe Indicator bacteria	Okres badań Examination period	Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Współczynnik a Coefficient a	Współczynnik b Coefficient b	Maksymalny czas przeżycia (miesiąc) Maximum survival time (month)	Błąd standardowy Standard error
<i>Salmonella senftenberg</i>	I	A	$-2,21 \pm 0,64$	$4,19 \pm 1,57$	1,90	2,02
		B	$-2,40 \pm 0,73$	$4,74 \pm 1,78$	1,97	2,30
		C	$-2,19 \pm 0,41$	$4,50 \pm 1,01$	2,05	1,30
	II	A	$-2,24 \pm 0,31$	$5,11 \pm 0,77$	2,28	1,00
		B	$-2,35 \pm 0,68$	$4,68 \pm 1,66$	1,99	2,15
		C	$-2,51 \pm 0,39$	$6,16 \pm 0,96$	2,45	1,24
<i>Escherichia coli</i>	I	A	$-2,25 \pm 0,45$	$7,26 \pm 1,10$	3,23	1,42
		B	$-1,98 \pm 0,44$	$6,46 \pm 1,07$	3,26	1,39
		C	$-1,84 \pm 0,40$	$5,71 \pm 0,98$	3,11	1,27
	II	A	$-1,89 \pm 0,52$	$6,34 \pm 1,27$	3,36	1,64
		B	$-2,11 \pm 0,42$	$6,91 \pm 1,04$	3,28	1,34
		C	$-1,82 \pm 0,44$	$5,83 \pm 1,07$	3,19	1,38
<i>Enterococcus faecium</i>	I	A	$-2,05 \pm 0,47$	$6,85 \pm 1,16$	3,35	1,50
		B	$-1,86 \pm 0,46$	$6,06 \pm 1,14$	3,25	1,47
		C	$-2,12 \pm 0,47$	$7,06 \pm 1,15$	3,33	1,48
	II	A	$-1,95 \pm 0,37$	$5,91 \pm 0,91$	3,03	1,17
		B	$-1,90 \pm 0,51$	$6,37 \pm 1,24$	3,36	1,60
		C	$-1,74 \pm 0,51$	$5,74 \pm 1,24$	3,29	1,60

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

Tabela 37. Zawartość drobnoustrojów wskaźnikowych *Salmonella senftenberg*, *Escherichia coli* i *Enterococcus faecium* (NPL·g⁻¹) w próbkach poddanych całkowitej utylizacji w I i II okresie badawczym
 Table 37. Content of *Salmonella senftenberg*, *Escherichia coli* and *Enterococcus faecium* indicator microorganisms (MPN·g⁻¹) in completely-treated samples in examination periods I and II

Bakterie wskaźnikowe Indicator bacteria	Okres badań Examination period	Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Zawartość drobnoustrojów w kompozycje z zawiesiną Content of microorganism in the compost with suspension	Zawartość drobnoustrojów wskaźnikowych po przejściu przez biostabilizator Content of indicator microorganism having passed through the biostabilizer	Miesiąc badań Examination month			
					1.	2.	3.	4.
<i>Salmonella senftenberg</i>	I	A	1,4 × 10 ⁸	2,8 × 10 ⁵	2,0 × 10 ²	ns – nd	ns – nd	ns – nd
		B	3,8 × 10 ⁸	4,0 × 10 ⁶	9,0 × 10 ¹	ns – nd	ns – nd	ns – nd
		C	2,1 × 10 ⁸	4,0 × 10 ⁵	7,0 × 10 ¹	1,1 × 10 ¹	ns – nd	ns – nd
	II	A	2,0 × 10 ⁸	2,8 × 10 ⁵	4,0 × 10 ²	1,1 × 10 ¹	ns – nd	ns – nd
		B	6,0 × 10 ⁷	8,0 × 10 ⁵	7,0 × 10 ²	ns – nd	ns – nd	ns – nd
		C	2,9 × 10 ⁸	4,0 × 10 ⁶	1,1 × 10 ³	9,0 × 10 ⁻¹	ns – nd	ns – nd
<i>Escherichia coli</i>	I	A	6,0 × 10 ⁸	1,6 × 10 ⁶	2,9 × 10 ³	6,0 × 10 ³	2,0 × 10 ²	ns – nd
		B	2,9 × 10 ⁷	2,8 × 10 ⁵	6,0 × 10 ³	2,9 × 10 ³	9,0 × 10 ¹	ns – nd
		C	6,0 × 10 ⁷	5,0 × 10 ⁶	2,9 × 10 ⁴	2,1 × 10 ³	4,0 × 10 ²	ns – nd
	II	A	1,5 × 10 ⁸	7,0 × 10 ⁵	1,1 × 10 ³	9,0 × 10 ²	1,5 × 10 ¹	ns – nd
		B	6,0 × 10 ⁷	4,0 × 10 ⁵	2,8 × 10 ⁴	1,5 × 10 ³	4,0 × 10 ²	ns – nd
		C	2,9 × 10 ⁷	1,2 × 10 ⁵	4,0 × 10 ³	2,0 × 10 ³	1,8 × 10 ²	ns – nd
<i>Enterococcus faecium</i>	I	A	4,0 × 10 ⁸	2,8 × 10 ⁷	7,0 × 10 ³	2,1 × 10 ³	1,6 × 10 ²	ns – nd
		B	1,6 × 10 ⁷	4,0 × 10 ⁵	2,9 × 10 ⁴	4,0 × 10 ³	6,0 × 10 ¹	ns – nd
		C	2,8 × 10 ⁸	2,1 × 10 ⁵	2,0 × 10 ³	1,1 × 10 ³	2,9 × 10 ¹	ns – nd
	II	A	6,0 × 10 ⁷	2,9 × 10 ⁵	1,6 × 10 ⁴	9,0 × 10 ³	1,5 × 10 ²	ns – nd
		B	7,0 × 10 ⁷	2,9 × 10 ⁶	2,8 × 10 ⁴	2,1 × 10 ³	1,6 × 10 ²	ns – nd
		C	2,9 × 10 ⁸	1,6 × 10 ⁵	5,0 × 10 ³	1,5 × 10 ³	6,0 × 10 ¹	ns – nd

I – okres wiosenno-letni – spring-summer period

II – okres jesienno-zimowy – autumn-winter period

ns – nd – nie stwierdzono – non-detected

Dane literaturowe wskazują, że badania nad przeżywalnością drobnoustrojów patogennych w procesie utylizacji substancji odpadowych prowadzone są od wielu lat i obejmują różne aspekty [Balloni i wsp. 1987, Saba i wsp. 1995, Szejniuk i wsp. 1997, 1999, 2001, Trawińska i wsp. 1997, Böhm i wsp. 1999]. Szczególnie ważnym aspektem jest badanie czasu ich przeżycia w zależności od warunków towarzyszących procesowi sanitacji.

W niniejszej pracy zaproponowano ocenę skuteczności utylizacji odpadów na podstawie efektywności usuwania następujących introdukowanych drobnoustrojów: *Salmonella senftenberg*, *Enterococcus faecium* i *Escherichia coli*. W sporządzonej zawieszynie liczba poszczególnych bakterii testowych przed aplikacją była wysoka, rzędu 10^9 - 10^{10} jtk w cm^3 . Po zmieszaniu zawieszyny z próbkami kompostu nastąpiło obniżenie liczby bakterii wskaźnikowych średnio o jeden rząd wartości potęgi. Określono zachowanie się wybranych bakterii wskaźnikowych oraz ich eliminację w procesie dojrzwania kompostu i w czasie całkowitej utylizacji, z uwzględnieniem fazy wstępnej w biostabilizatorze. Jak wynika z danych przedstawionych w tabelach 34 i 37, najwyższe tempo eliminacji miało miejsce w próbkach zawierających jako wskaźnik bakterie *Salmonella senftenberg*, zarówno w przypadku kontroli przebiegu tego procesu w czasie dojrzwania w przyzmac, jak i przy uwzględnieniu fazy wstępnej (tab. 35 i 36). Tempo spadku liczby tych drobnoustrojów podczas pierwszego sposobu kontroli (w przyzmac) wynosiło od 2,48 do 2,60 log najbardziej prawdopodobnej liczby (NPL) bakterii na gram kompostu w I okresie badawczym (rys. 27). Z kolei podczas wstępnej fazy utylizacji w biostabilizatorze wyniki były wyższe i utrzymywały się w granicach od 2,19 do 2,40 log NPL bakterii na gram kompostu na miesiąc w wiosenno-letnim okresie badań (rys. 36).

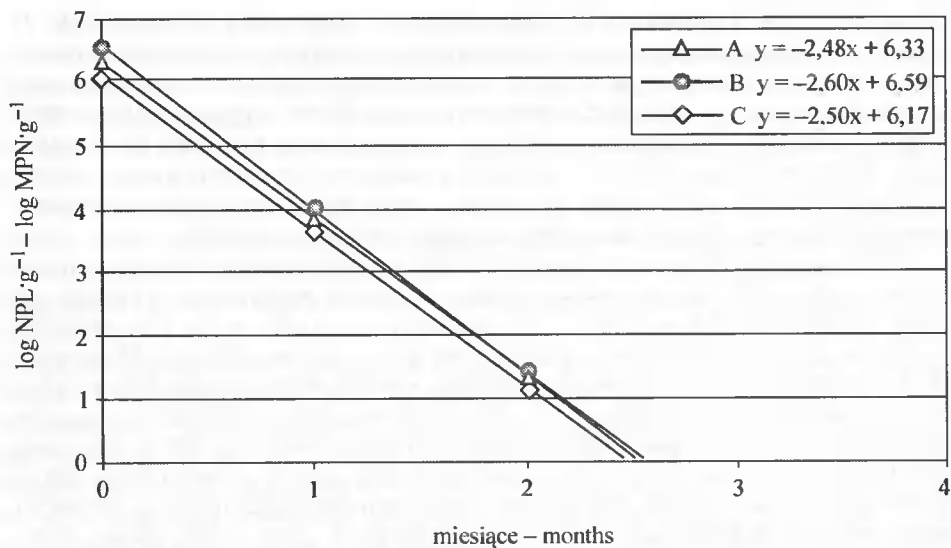
W II okresie badań – jesienno-zimowym, tempo eliminacji tych drobnoustrojów mieściło się w granicach od 2,39 do 2,66 log NPL bakterii na gram kompostu (rys. 28). Natomiast przy wstępnej utylizacji odpadów w biostabilizatorze wartości te kształtowały się na poziomie od 1,62 do 2,35 log NPL bakterii na gram (rys. 37). Eliminację bakterii wskaźnikowych *Salmonella senftenberg* w czasie dojrzwania kompostu w przyzmac określono na podstawie funkcji wykładniczej $y = 8,857e^{-0,044x}$ (rys. 29), a podczas wstępnej fazy utylizacji odpadów w biostabilizatorze na podstawie funkcji $y = 7,445e^{-0,038x}$ (rys. 38). Z danych tych wynika, iż proces eliminacji bakterii wskaźnikowych po przejściu przez biostabilizator następuje znacznie szybciej niż w przypadku samej utylizacji w przyzmac. Eliminacja bakterii *Salmonella senftenberg*, introdukowanych do przyzmac, po 10 dniach przyjmuje wartość 5,70 log NPL bakterii $\cdot \text{g}^{-1}$. Uwzględniając fazę wstępną w biostabilizatorze, zawartość tych drobnoustrojów po 10 dniach była niższa i wynosiła 5,085 log NPL bakterii $\cdot \text{g}^{-1}$. Wyniki te jednoznacznie wskazują, że zastosowanie biostabilizatora w procesie utylizacji odpadów komunalnych warunkuje aktywniejszą kinetykę zmian ilościowych bakterii wskaźnikowych.

Z danych literaturowych wynika [Epstein 1997, Szejniuk i wsp. 1999, Szejniuk 2001], że czas przeżycia bakterii wskaźnikowych w procesie utylizacji odpadów jest różny i zależy od wielu czynników. Strauch [1993a,b, 1995] podaje, że istotnym czynnikiem umożliwiającym całkowite unieszkodliwienie bakterii *Salmonella* w kompostowanych przyzmac jest temperatura, która powinna wynosić minimum 55°C przez okres 3 tygodni. Z badań własnych wynika, że teoretyczny maksymalny czas przeżycia drobnoustrojów *Salmonella senftenberg* podczas utylizacji odpadów w przyzmac wynosił od 2,47 do 2,65 miesiąca (tab. 35). Przy wykorzystaniu metody kontroli pełnej, uwzględniającej fazę wstępną w biostabilizatorze (tab. 37), czas ten był krótszy i wynosił od

1,90 do 2,45 miesiąca. Podczas kontroli temperatur w badaniach własnych (tab. 2) stwierdzono, że w każdej przyźmie osiągnęto wymagane warunki termiczne, co świadczy o tym, że panująca w nich temperatura była wystarczająca do redukcji bakterii wskaźnikowych, lecz proces ich unieszkodliwienia trwał nieco dłużej. Na przeżywalność patogennych drobnoustrojów w czasie obróbki kompostu wpływają również inne czynniki, między innymi współzawodnictwo o składniki pokarmowe. Organizmy autochtoniczne zasiedlające kompost w czasie jego dojrzewania mają znaczną przewagę nad introdukowanymi do danego środowiska, dlatego następuje szybsza ich redukcja.

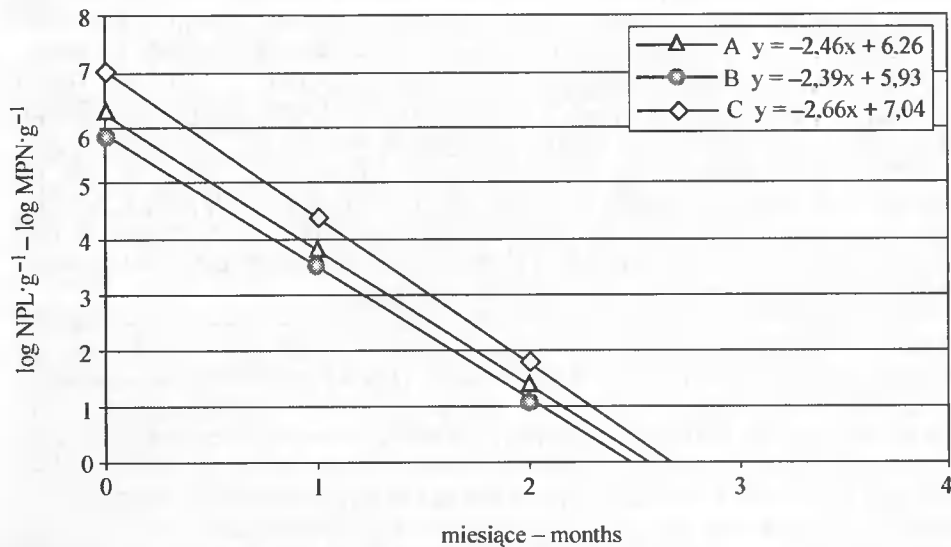
Eliminacja bakterii wskaźnikowych *Escherichia coli* w procesie kompostowania przebiegała nieco dłużej niż drobnoustrojów *Salmonella senftenberg*. Wyliczony ze współczynników prostej regresji (rys. 30-31) teoretyczny maksymalny czas przeżycia *Escherichia coli* w przyźmach w I i II okresie badań wynosił od 3,86 do 4,37 miesięcy (tab. 35), natomiast w procesie całkowitej utylizacji z uwzględnieniem biostabilizatora był niższy i wynosił 3,11-3,36 miesiąca (tab. 37; rys. 39-40). Proces kompostowania, przebiegający w początkowej fazie w biostabilizatorze, w okresie wiosenno-letnim ma często charakter termofilny, natomiast zimą – mezofilny [Dziejowski i Kazanowska 2001]. Wynika stąd, iż czas przeżycia bakterii patogennych powinien być krótszy w przypadku cieplej pory roku. Z kolei Stentiford [1987] oraz Szejniuk i wsp. [1996] podają, że redukcja populacji drobnoustrojów wskaźnikowych, jakimi są bakterie *E. coli*, zależy może również od miejsca lokalizacji badanych próbek w przyźmie. Ponadto w każdym systemie kompostowania, zarówno w przyźmowym, jak i z zastosowaniem biostabilizatora, istnieje konieczność gwarancji, iż nastąpi znacząca inaktywacja drobnoustrojów wskaźnikowych. Potwierdzenie takie jest konieczne w celu zapewnienia bezpieczeństwa związanego z użyciem kompostu w środowisku. Kinetykę eliminacji bakterii wskaźnikowych *E. coli* w przyźmach kompostowych charakteryzuje postać funkcji wykładniczej $y = 6,847e^{-0,011x}$ (rys. 32). Natomiast w przypadku uwzględnienia eliminacji we wstępnej fazie w biostabilizatorze funkcja przybiera postać $y = 6,628e^{-0,012x}$ (rys. 41). Tempo eliminacji bakterii dla sposobu utylizacji z uwzględnieniem biostabilizatora było szybsze i wyniosło 5,87 log NPL bakterii na gram kompostu w ciągu 10 dni. Z kolei w przypadku analizy obumierania bakterii introdukowanych do samych przyźm, ich ilość po 10 dniach była wyższa i wynosiła 6,129 log NPL bakterii na gram. Wyniki te potwierdzają więc tezę, że zastosowanie wstępnej fazy unieszkodliwiania bakterii w biostabilizatorze jest korzystnym sposobem eliminacji drobnoustrojów patogennych wprowadzanych wraz z odpadami do procesu technologicznego.

Na podstawie kontroli procesu utylizacji można stwierdzić, iż w biostabilizatorze bakterie wskaźnikowe *Enterococcus faecium* zostały wyeliminowane w 4. miesiącu, natomiast w przyźmach w 5. miesiącu kompostowania (tab. 34 i 36). Obliczony na podstawie współczynników regresji maksymalny czas przeżycia tych bakterii wynosił od 4,07 do 4,49 miesiąca, zaś z uwzględnieniem biostabilizatora był krótszy i kształtował się na poziomie od 3,03 do 3,36 miesiąca (tab. 35 i 37). Nie zaznaczyła się wyraźna tendencja dotycząca zachowania się ich w zależności od obiektu badawczego i pory roku (rys. 33-34, 42-43). Wynika stąd, że czynnikami, które wpływały na przeżywalność i eliminację bakterii *Enterococcus faecium* w czasie dojrzewania kompostu w przyźmach, były zawartość substancji organicznej oraz odczyn środowiska, w którym ten proces zachodził. W tym przypadku określono również tempo eliminacji badanych bakterii w zależności od czasu dojrzewania kompostu w przyźmach (rys. 35). Kinetykę zmian ilościowych określono za pomocą funkcji $y = 6,910e^{-0,011x}$, natomiast funkcja $y = 6,577e^{-0,010x}$ charakteryzuje zmiany ilościowe bakterii wskaźnikowych po przejściu przez biostabilizator (rys. 44).



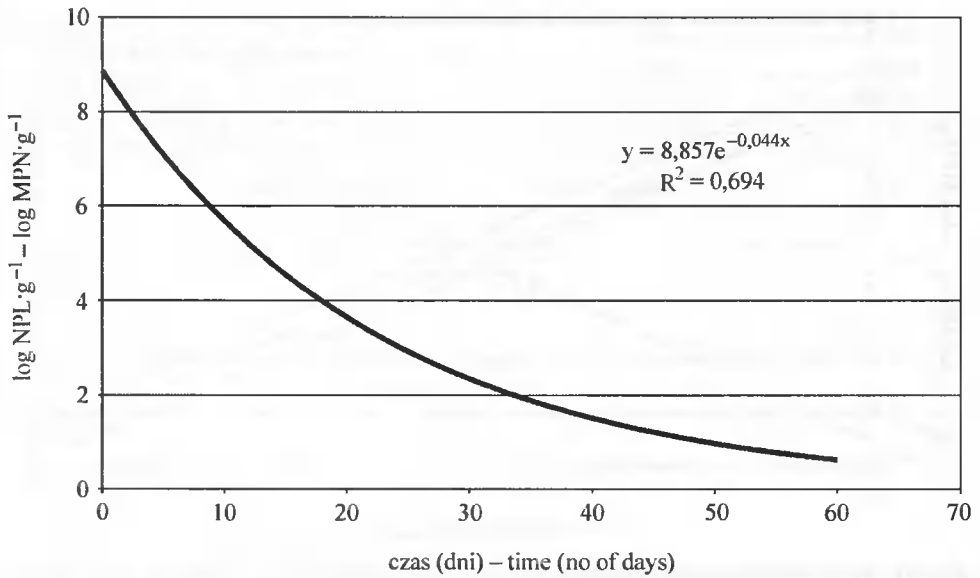
Rys. 27. Proste regresji przeżywalności bakterii *Salmonella senftenberg* w procesie utylizacji w pryzmach kompostowych w I okresie badań

Fig. 27. Regression lines of the *Salmonella senftenberg* bacteria survival rate in the process of waste treatment in examination period I



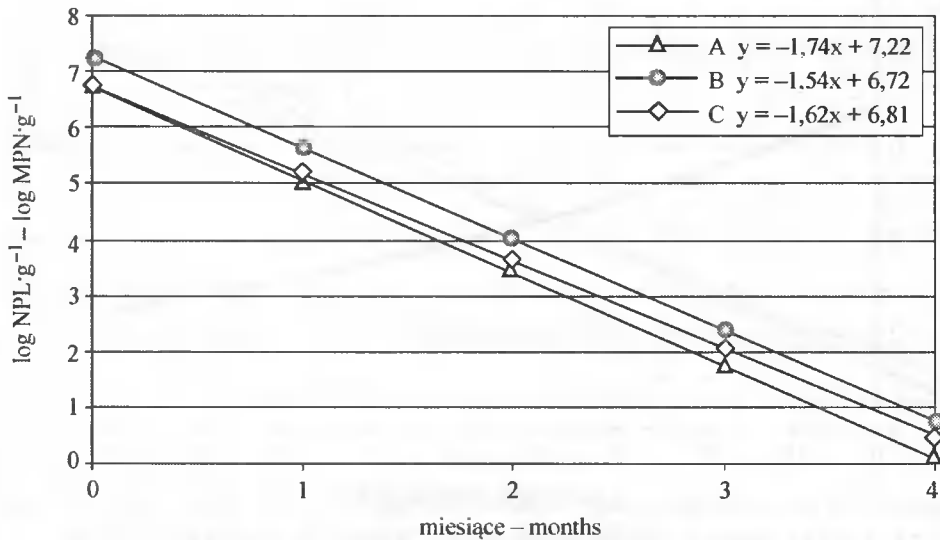
Rys. 28. Proste regresji przeżywalności bakterii *Salmonella senftenberg* w procesie utylizacji w pryzmach kompostowych w II okresie badań

Fig. 28. Regression lines of the *Salmonella senftenberg* bacteria survival rate in the process of waste treatment in examination period II



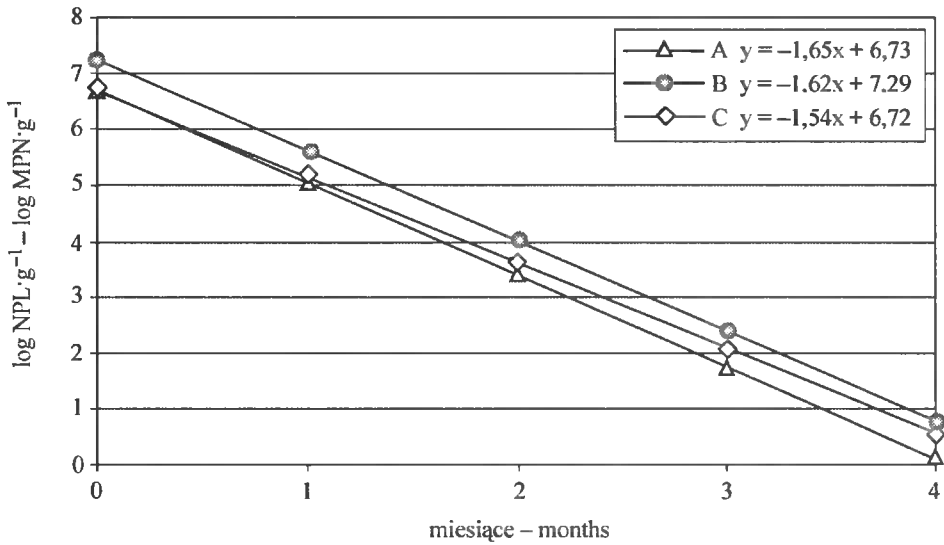
Rys. 29. Kinetyka eliminacji bakterii wskaźnikowych *Salmonella senftenberg* podczas dojrzwania w pryzmach

Fig. 29. Kinetics of elimination of *Salmonella senftenberg* indicator bacteria during their maturation in piles



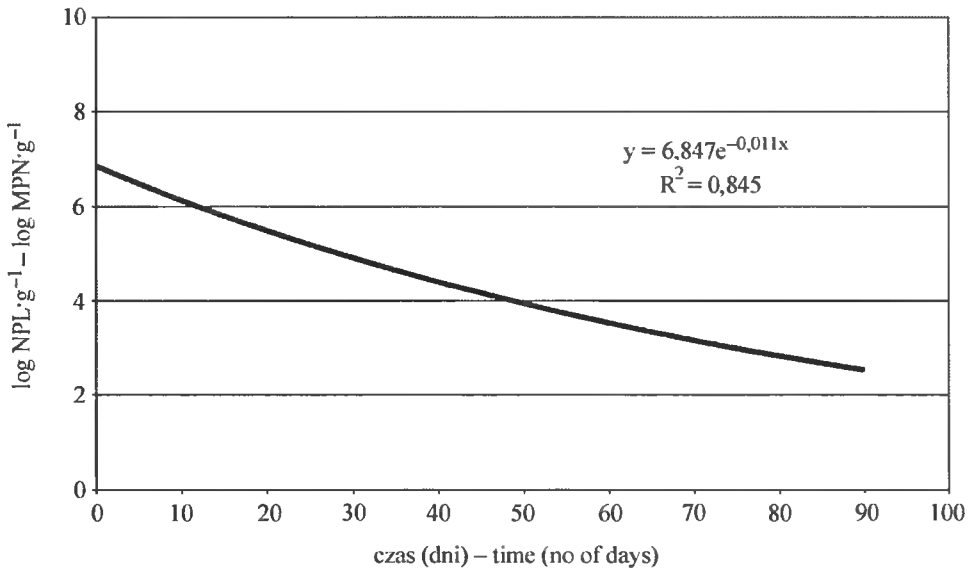
Rys. 30. Proste regresji charakteryzujące przeżywalność bakterii wskaźnikowych *E. coli* w pryzmach kompostowych w I okresie badań

Fig. 30. Regression lines of the survival rate of the *E. coli* indicator bacteria in compost piles in examination period I



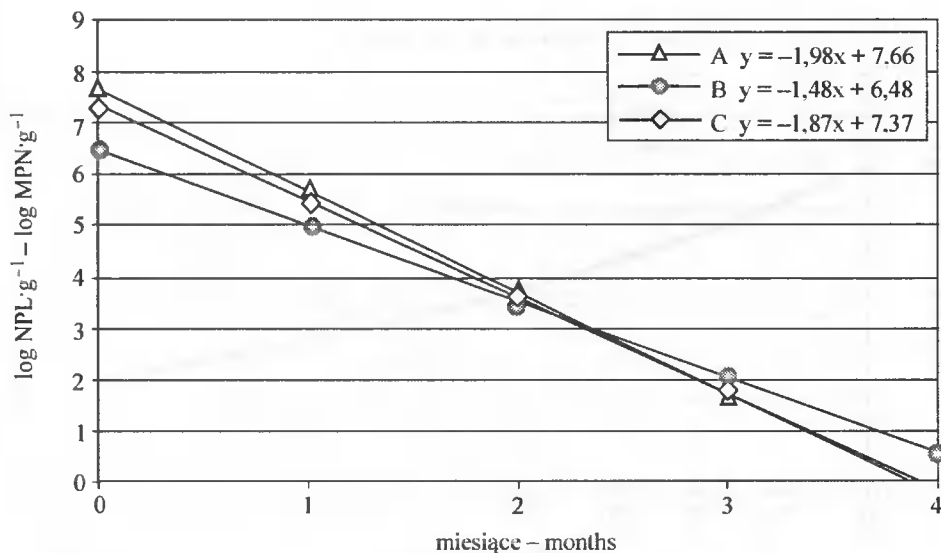
Rys. 31. Proste regresji charakteryzujące przeżywalność bakterii wskaźnikowych *E. coli* w przyzmach kompostowych w II okresie badań

Fig. 31. Regression lines of the survival rate of the *E. coli* indicator bacteria in compost piles in examination period II



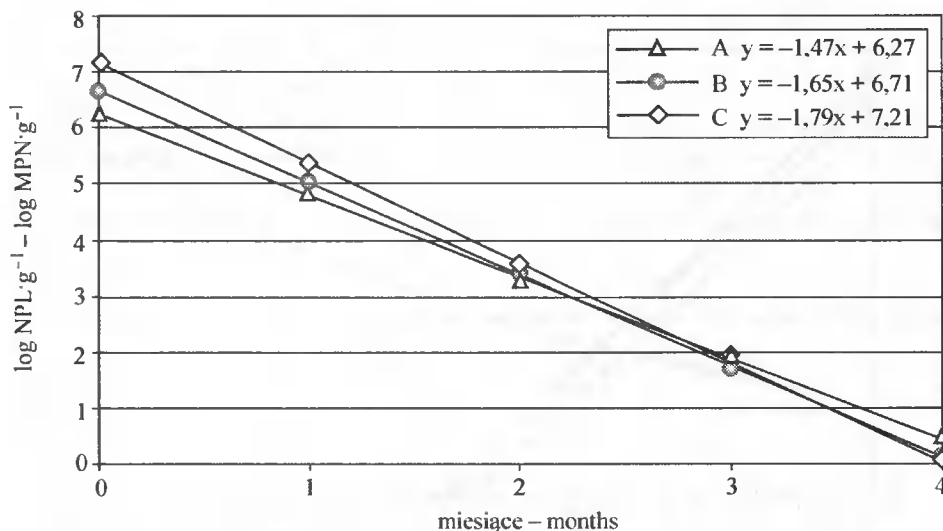
Rys. 32. Kinetyka eliminacji bakterii wskaźnikowych *Escherichia coli* podczas dojrzewania w przyzmach

Fig. 32. Kinetics of elimination of *Escherichia coli* indicator bacteria during their maturation in piles



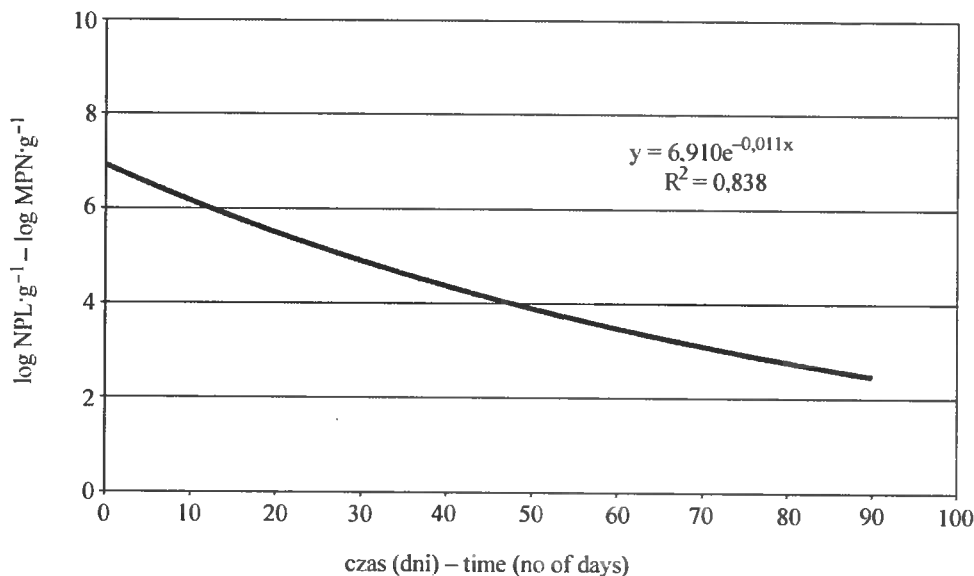
Rys. 33. Proste regresji charakteryzujące przeżywalność bakterii wskaźnikowych *Enterococcus faecium* w przyzmach kompostowych w I okresie badań

Fig. 33. Regression lines of the survival rate of the *Enterococcus faecium* indicator bacteria in compost piles in examination period I



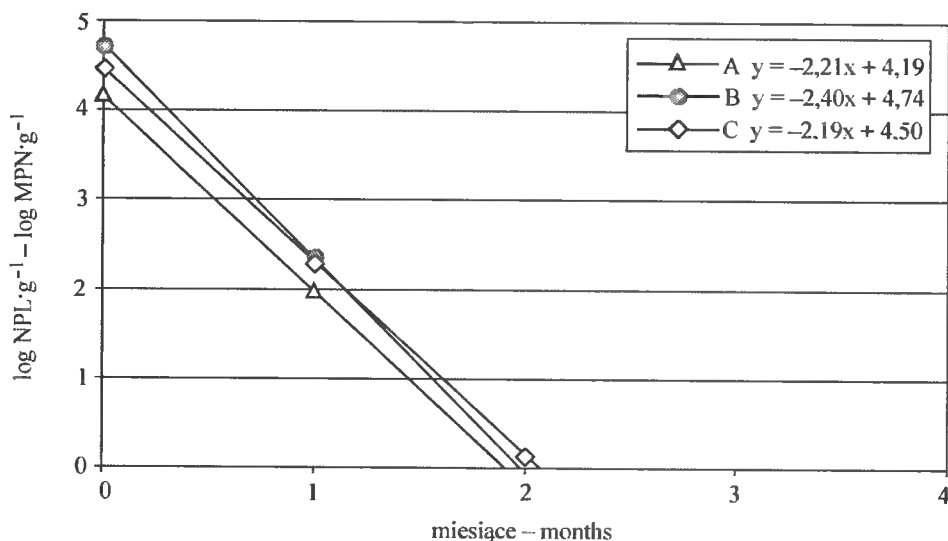
Rys. 34. Proste regresji charakteryzujące przeżywalność bakterii wskaźnikowych *Enterococcus faecium* w przyzmach kompostowych w II okresie badań

Fig. 34. Regression lines of the survival rate of the *Enterococcus faecium* indicator bacteria in compost piles in examination period II



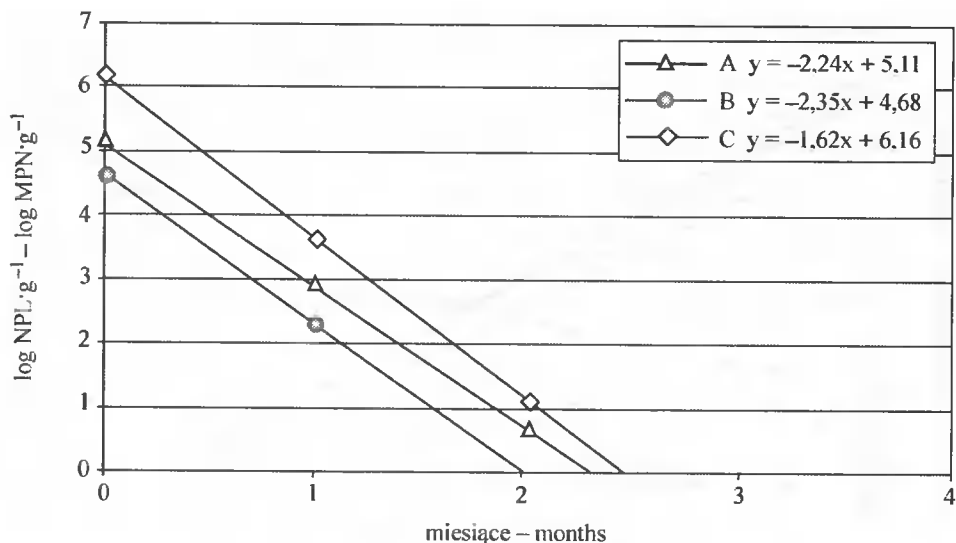
Rys. 35. Kinetyka eliminacji bakterii wskaźnikowych *Enterococcus faecium* podczas dojrzewania w przyzmach

Fig. 35. Kinetics of elimination of *Enterococcus faecium* indicator bacteria during their maturation in piles



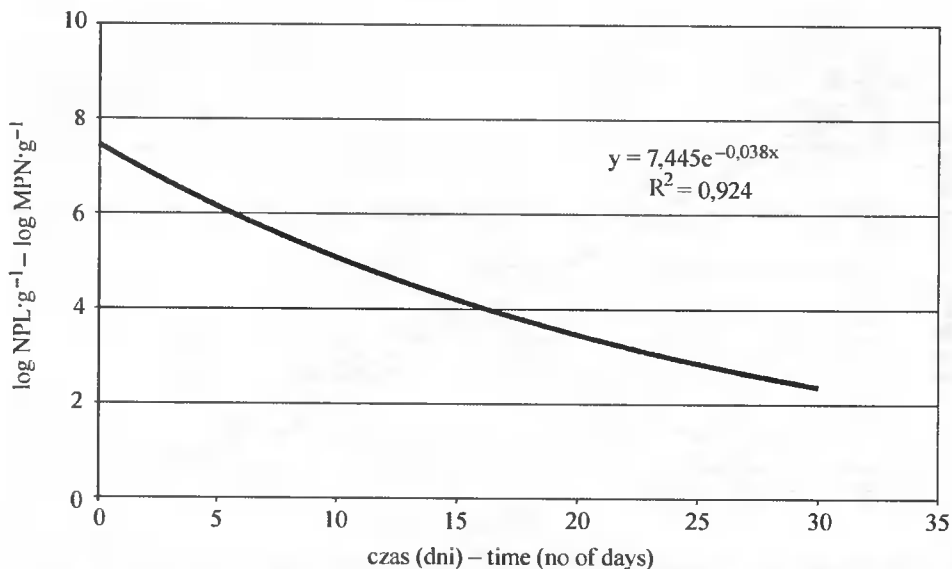
Rys. 36. Proste regresji przeżywalności bakterii *Salmonella senftenberg* w procesie całkowitej utylizacji odpadów w I okresie badań

Fig. 36. Regression lines of the survival rate of the *Salmonella senftenberg* indicator bacteria in the process of complete waste treatment in examination period I



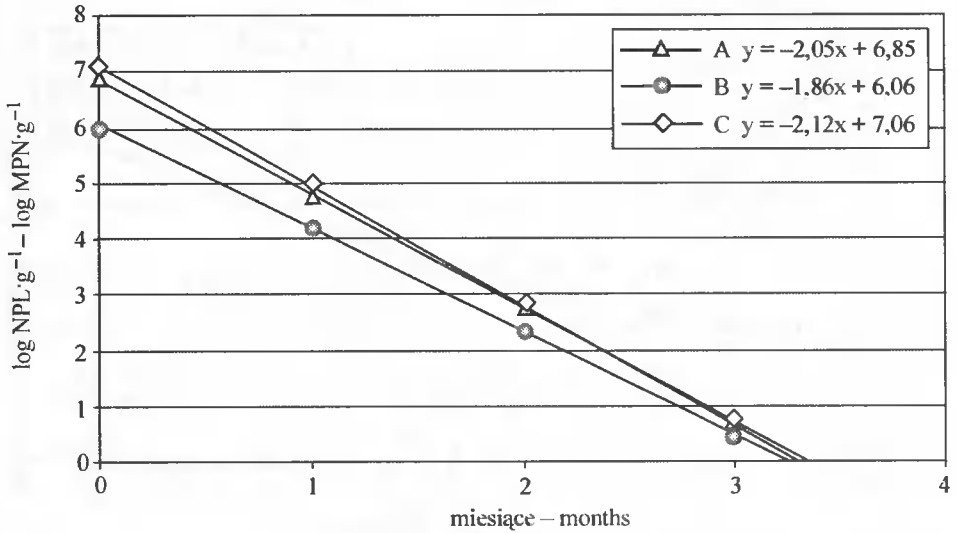
Rys. 37. Proste regresji przeżywalności bakterii *Salmonella senftenberg* w procesie całkowitej utylizacji odpadów w II okresie badań

Fig. 37. Regression lines of the survival rate of the *Salmonella senftenberg* bacteria in the process of complete waste treatment in examination period II



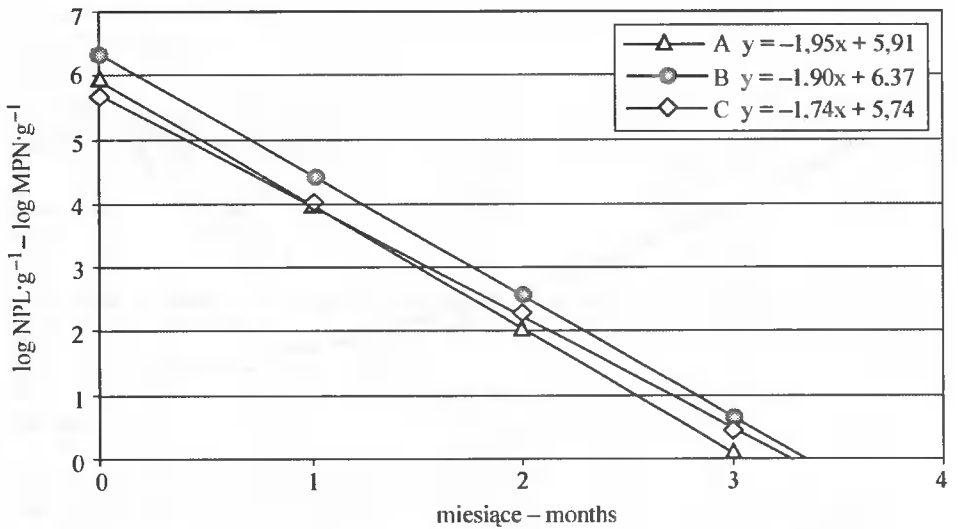
Rys. 38. Kinetyka eliminacji bakterii wskaźnikowych *Salmonella senftenberg* po przejściu przez biostabilizator oraz podczas dojrzewania w pryzmach

Fig. 38. Kinetics of elimination of *Salmonella senftenberg* indicator bacteria having passed through the biostabilizer and during their maturation in piles



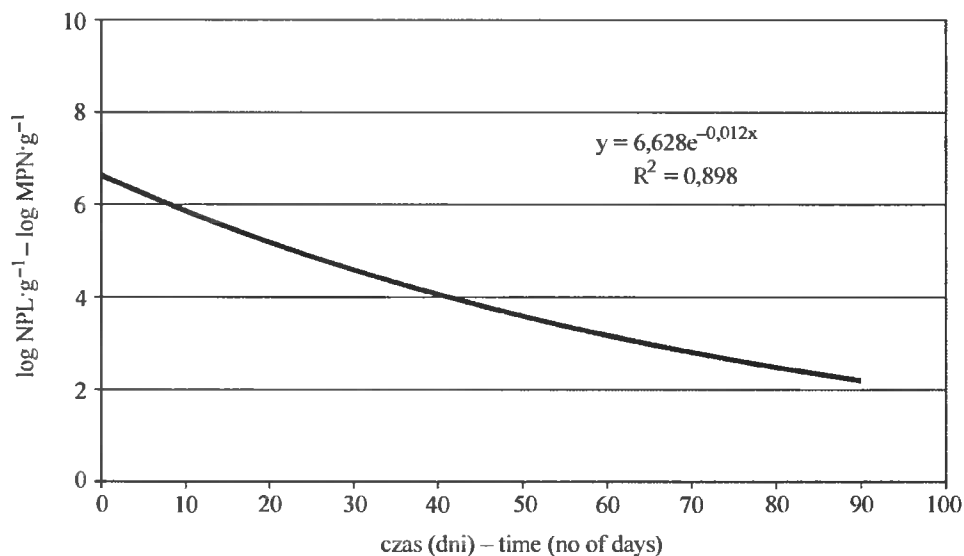
Rys. 39. Proste regresji charakteryzujące przeżywalność bakterii wskaźnikowych *E. coli* w procesie całkowitej utylizacji odpadów w I okresie badań

Fig. 39. Regression lines of the survival rate of the *E. coli* indicator bacteria in the process of complete waste treatment in examination period I



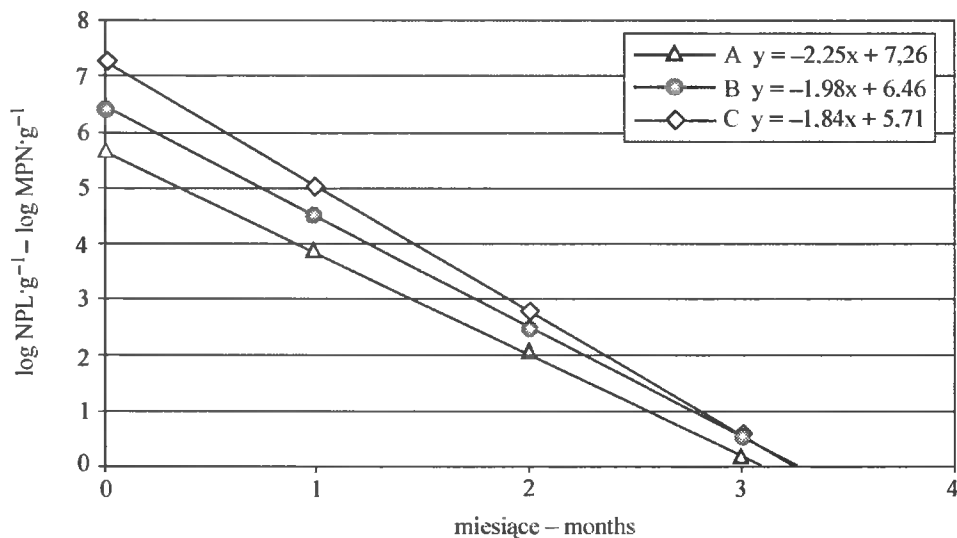
Rys. 40. Proste regresji charakteryzujące przeżywalność bakterii wskaźnikowych *E. coli* w procesie całkowitej utylizacji odpadów w II okresie badań

Fig. 40. Regression lines of the survival rate of the *E. coli* indicator bacteria in the process of complete waste treatment in examination period II



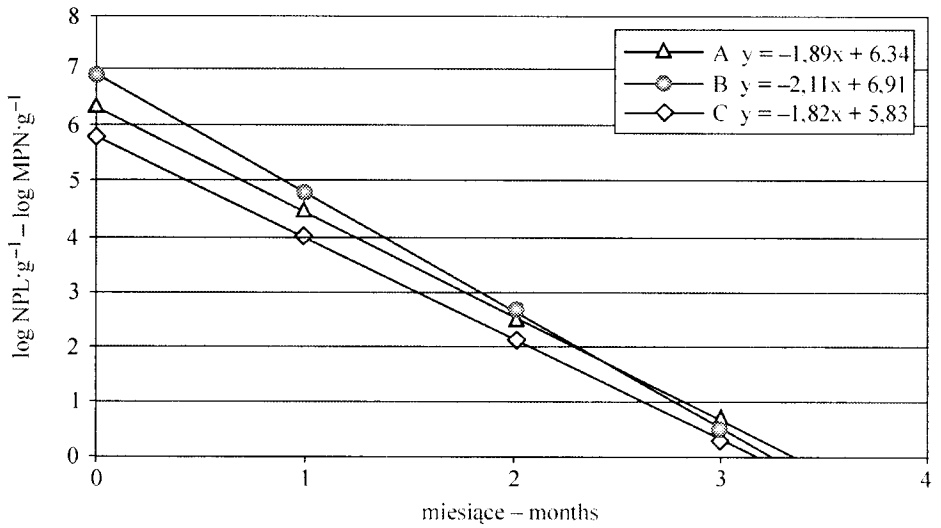
Rys. 41. Kinetyka eliminacji bakterii testowych *Escherichia coli* po przejściu przez biostabilizator oraz podczas dojrzewania w przyzmach

Fig. 41. Kinetics of elimination of *Escherichia coli* indicator bacteria having passed through the biostabilizer and during their maturation in piles



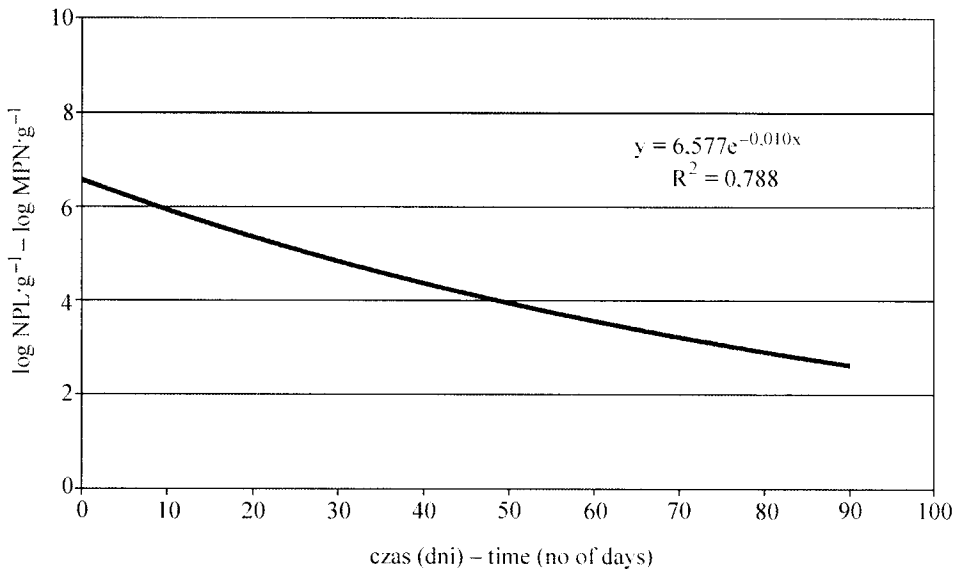
Rys. 42. Proste regresji przeżywalności bakterii *Enterococcus faecium* w procesie całkowitej utylizacji odpadów w I okresie badań

Fig. 42. Regression lines of the survival rate of the *Enterococcus faecium* indicator bacteria in the process of complete waste treatment in examination period I



Rys. 43. Proste regresji przeżywalności bakterii *Enterococcus faecium* w procesie całkowitej utylizacji odpadów w II okresie badań

Fig. 43. Regression lines of the survival rate of the *Enterococcus faecium* indicator bacteria in the process of complete waste treatment in examination period II



Rys. 44. Kinetyka eliminacji bakterii testowych *Enterococcus faecium* po przejściu przez biostabilizator oraz podczas dojrzewania w pryzmach

Fig. 44. Kinetics of elimination of *Enterococcus faecium* indicator bacteria having passed through the biostabilizer and during their maturation in piles

Przyjmując 10-dniowy teoretyczny czas eliminacji bakterii wskaźnikowych ustalono, że w pierwszym przypadku liczba tych drobnoustrojów wynosiła 6,17 log najbardziej prawdopodobnej liczby bakterii w 1 g próbki, zaś w drugim odpowiednio 5,94. Wyniki te potwierdzają konieczność oceny skuteczności utylizacji odpadów z zastosowaniem biostabilizatora. W badaniach Abesser [1995] wykazano, że bakterie wskaźnikowe *Enterococcus faecium* również dłużej zachowują swoją żywotność niż drobnoustroje *Salmonella senftenberg*. Pereira-Neto i wsp. [1987] w badaniach nad kompostowaniem odpadów w statycznych i napowietrzanych przyzmacach stwierdzili, że drobnoustroje z rodzaju *Escherichia coli* i *Salmonella* sp. ulegały unieszkodliwieniu w pierwszych tygodniach kompostowania, jednak po 32 dniach zaobserwowano występowanie paciorkowców kałowych w ilości 10^2 jtk·g⁻¹. Wykazali również, że drobnoustroje z rodzaju *Salmonella* sp. i *Escherichia coli* były obecne po 60 dniach kompostowania, zaś paciorkowce kałowe identyfikowano na wyższym poziomie 10^2 i 10^3 jtk·g⁻¹. Wyniki te dowodzą, iż może nastąpić wtórne skażenie kompostu i rozwój drobnoustrojów chorobotwórczych niebezpiecznych dla ludzi i środowiska naturalnego. Pewną możliwość poprawy efektywności odkażania kompostu daje również prawidłowe zabezpieczenie przed reinwazją bakterii chorobotwórczych poprzez stosowanie warstwy izolacyjnej dojrzałego kompostu jako okrywy całej przyzmy [Pereira-Neto i wsp. 1987]. Badania sanitarno-higieniczne kompostu powinno się przeprowadzać zarówno w czasie kontroli procesu technologicznego, jak również na podstawie analiz produktu końcowego [Epstein 1997]. Konieczne jest więc właściwe unieszkodliwienie drobnoustrojów chorobotwórczych zawartych w odpadach przeznaczonych do dalszej przeróbki. Na podstawie badań własnych można stwierdzić, że w biostabilizatorze następowała częściowa eliminacja bakterii wskaźnikowych, natomiast całkowita – dopiero w czasie dojrzewania kompostu w przyzmacach, przy właściwych parametrach (tab. 36). Ważnym elementem dotyczącym jakości mikrobiologicznej kompostu jest także konieczność zapewnienia prawidłowych warunków jego magazynowania, szczególnie w czasie długoterminowego dojrzewania w systemie przyzmy [Deportes i wsp. 1998].

5.3. STAN FITOSANITARNY I SANITARNO-HIGIENICZNY GLEB UŻYŻNIONYCH KOMPOSTEM

Zalety kompostowania odpadów i ich wykorzystanie w formie przetworzonej do podnoszenia żyzności i urodzajności gleb znano wprawdzie już w starożytnym Rzymie [Weber i wsp. 2002], jednak tematyka badawcza dotycząca kwestii racjonalnego, bezpiecznego i higienicznego aplikowania kompostu do gleb jest ciągle aktualna [Shirali-pour i wsp. 1992, Alvarez 1995, Matsuda i wsp. 1996, Sądej i wsp. 2004]. Problem ten dotyczy szczególnie aspektu fitosanitarnego, gdyż mikroorganizmy zymogenne (występujące okresowo) oraz chorobotwórcze mogą dostać się wraz z niewłaściwie odkażonym kompostem do gleby i tam stanowić zagrożenie dla roślin [Czernomysy-Furowicz i Furowicz 1995, Badura 2003]. W badaniach własnych, dotyczących wpływu kompostu na zawartość substancji organicznej oraz związków mineralnych przyswajalnych przez rośliny, wykazano, iż aplikacja materii organicznej korzystnie wpłynęła na poprawę żyzności gleb (tab. 38). W każdym przypadku stwierdzono wyraźny wzrost zawartości substancji organicznej w każdej badanej próbce gleby z kompostem.

W literaturze podkreśla się korzystny wpływ różnych kompostów stanowiących źródło przyswajalnych składników pokarmowych w glebie, wyrażający się wzrostem plonów [Brendecke i wsp. 1993, Bernal i wsp. 1998, Brady i Weil 1999, Aggelides i Londra 2000, Marinari i wsp. 2000]. Ponadto ważnym elementem, decydującym o wymogach higieny sanitarno-epidemiologicznej podczas unieszkodliwiania drobnoustrojów zawartych w odpadach, osadach ściekowych oraz kompostach, jest sposób wykorzystania produktu finalnego [Grabbe 1988, Gomez 1998]. Niezmiernie ważnym wymogiem dotyczącym bezpiecznego stosowania kompostu jest stopień jego stabilności lub dojrzałości, który jest ściśle związany z nieobecnością fitotoksycznych związków oraz patogenów roślinnych i zwierzęcych [Bernal i wsp. 1998, Gomez 1998].

W badaniach własnych potwierdzono korzystny wpływ substancji odżywczych zawartych w kompostach na wzrost żyzności gleby (tab. 38). Szczególnie ważna, ze względów sanitarno-higienicznych, jest wyższa zawartość ogólnej liczby bakterii i promieniowców. Obecność promieniowców (*Actinomycetes*) pozytywnie wpływa na glebę, są one wskaźnikiem żyzności gleb oraz mają znaczenie fitosanitarne. Biorą udział w przemianach biochemicznych i często są traktowane jako organizmy próchnicotwórcze ze względu na produkcję substancji współuczestniczących w powstawaniu próchnicy. Znajduje to potwierdzenie w badaniach własnych (tab. 39), gdyż w każdym przypadku notowano wyższą liczebność promieniowców w próbkach gleb z dodatkiem kompostu niż w próbkach bez kompostu. Na podstawie uzyskanych wyników ustalono wskaźniki sanitarno-higieniczne, przyjmujące niższe wartości w próbkach bez kompostu. Jak wynika z uzyskanych danych, stwierdzono niższe wartości wskaźników fitosanitarnych w próbkach gleb z dodatkiem kompostu, co świadczy o tym, że zastosowanie kompostu z odpadów komunalnych do celów nawozowych jest właściwym sposobem jego wykorzystania. Korzystnym zjawiskiem, ze względu na higienę badanego środowiska, był brak pałeczek *Salmonella*, których obecność wskazywałaby na wtórne skażenie kompostu lub gleb przez organizmy allochtoniczne. Uzyskane wyniki potwierdzają korzystny wpływ kompostu na wzrost żyzności gleb i wskazują na możliwość bezpiecznego stosowania kompostu również do celów rekultywacyjno-nawozowych. Jak się okazuje, istnieją wysoko istotne statystycznie zależności między zawartością fosforu w glebach z dodatkiem kompostu a ogólną liczbą bakterii (tab. 40). Z kolei wzrost zawartości węgla organicznego i potasu był dodatnio skorelowany z liczbą promieniowców ($p < 0,05$). Nie zaleca się, mimo wszystko, stosowania kompostu z odpadów miejskich pod uprawy przeznaczone do bezpośredniej konsumpcji oraz pod rośliny ozdobne trzymane w pomieszczeniach mieszkalnych. Mniej surowe wymagania dotyczą przypadków, gdy wykorzystuje się go na otwartych polach i w leśnictwie.

Uzyskane w badaniach własnych wyniki wskazują na korzystne efekty kompostowania jako metody unieszkodliwiania i zagospodarowania substancji organicznej pochodzącej z odpadów miejskich. Zaleca się jednak monitorowanie przebiegu tego procesu. Proponowana metoda oceny walidacji mikrobiologicznej kompostowania odpadów na podstawie zachowania się drobnoustrojów uczestniczących podczas utylizacji odpadów oraz w oparciu o tempo eliminacji bakterii wskaźnikowych posiada również aspekt praktyczny. Jej zaletą jest możliwość oceny stopnia eliminacji drobnoustrojów patogennych w różnych fazach unieszkodliwiania odpadów, co pozwoli na poprawę efektywności pracy istniejących lub projektowanych kompostowni, zajmujących się utylizacją i higienicznym zagospodarowaniem odpadów.

Tabela 38. Zawartość substancji organicznej i związków mineralnych w badanych próbkach gleb
Table 38. Content of organic matter and mineral compounds in the soil samples examined

Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Badane próbki Sample examined	Miary statystyczne Statistical measure	Substancja organiczna Organic matter		Węgiel organiczny Organic carbon		Azot organiczny Organic nitrogen	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	pH
			%	%	mg·100g ⁻¹	mg·100g ⁻¹						
A	G	Zakres – Range	1,50-3,71	0,88-1,07	0,07-0,12	9-11	3,3-4,5	6,0-8,0	4,2-5,5	7,2-7,8		
		\bar{x}	2,95 ^a	0,94 ^a	0,09	10	3,96	6,67	5,03	7,6		
		Sx	1,05	0,09	0,02	1	0,49	0,94	0,59	0,2		
B	G + K	Zakres – Range	3,22-8,89	2,30-3,37	0,14-0,35	10-16	2,4-13,3	5,0-10,0	3,5-9,2	7,4-7,8		
		\bar{x}	5,96 ^a	2,75 ^a	0,22	13	6,53	6,67	5,87	7,5		
		Sx	2,32	0,45	0,09	3	4,82	2,36	2,43	0,1		
C	G	Zakres – Range	1,52-1,84	0,87-2,15	0,07-0,21	10-13	3,0-7,4	3,4-6,6	5,6-9,1	6,9-7,8		
		\bar{x}	1,63 ^b	1,71	0,16	11	5,21	5,15	7,33	7,5		
		Sx	0,15	0,06	0,07	1	2,19	1,35	1,46	0,3		
C	G + K	Zakres – Range	3,96-5,81	1,87-5,16	0,02-0,24	9-21	3,6-21,7	15,3-22,5	9,9-16,0	7,0-7,6		
		\bar{x}	4,73 ^b	3,46	0,17	15	12,67	18,93	12,62	7,3		
		Sx	0,79	1,35	0,01	5	8,1	3,57	2,58	0,2		
C	G	Zakres – Range	1,21-2,67	0,70-1,55	0,05-0,25	6-19	9,9-10,9	3,4-9,5	2,8-6,8	6,8-7,5		
		\bar{x}	2,13	1,23	0,13	13	8,22	7,13	4,72 ^c	7,0		
		Sx	0,65	0,38	0,09	5	3,11	2,68	1,62	0,2		
C	G + K	Zakres – Range	3,02-14,2	1,75-8,25	0,32-0,58	5-16	4,2-10,7	6,0-11,7	12,5-14,4	7,1-7,5		
		\bar{x}	8,61	5,00	0,41	12	6,68	9,40	13,20 ^c	7,3		
		Sx	4,56	2,65	0,12	5	2,87	2,46	0,85	0,2		

G – gleba – soil; G + K – gleba z kompostem – soil with compost

\bar{x} – średnia – mean; Sx – odchylenie standardowe – standard deviation

Wartości w kolumnach oznaczone małymi literami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0,05$)

Values in columns marked with lower-case letters are significantly different ($p < 0,05$)

Tabela 39. Liczebność drobnoustrojów w badanych próbkach gleb i wskaźniki sanitarne
Table 39. Count of microorganisms in the soil samples examined and sanitary coefficients

Symbol kompostowni Symbol of the composting plant	Badane próbki Sample examined	Miary statystyczne Statistical measure	Ogólna liczba bakterii (log jtk·g ⁻¹) Total count of bacteria (log cfu·g ⁻¹)	Promieniowce (log jtk·g ⁻¹) <i>Actinomyces</i> (log cfu·g ⁻¹)	Ogólna liczba grzybów (log jtk·g ⁻¹) Total count of fungi (log cfu·g ⁻¹)	Liczba bakterii z rodziny <i>Enterobacteriaceae</i> (log NPL·g ⁻¹) Count of bacteria of <i>Enterobacteriaceae</i> family (log MPN·g ⁻¹)	Liczba bakterii <i>Salmonella</i> sp. (log NPL·g ⁻¹) Count of <i>Salmonella</i> sp. (log MPN·g ⁻¹)	Wskaźnik fitosanitarny WF Phytosanitary coefficient PC	Wskaźnik sanitarno-higieniczny WSH Sanitary and hygienic coefficient SHC
A	G	Zakres – Range \bar{x} Sx	7,63-7,68 7,66 ^a 0,02	5,67-6,10 5,92 0,20	5,62-5,88 5,75 0,11	2,52-2,83 2,71 ^a 0,14	ns – nd	2,15-2,25 2,20 0,04	2,71-3,05 2,84 0,15
	G + K	Zakres – Range \bar{x} Sx	7,72-7,81 7,77 ^a 0,04	6,11-6,45 6,25 0,14	5,48-5,59 5,52 0,05	3,04-3,26 3,17 ^a 0,09	ns – nd	1,87-2,12 1,98 0,10	2,38-2,57 2,46 0,08
B	G	Zakres – Range \bar{x} Sx	7,65-7,71 7,70 0,04	6,15-6,35 6,26 ^b 0,08	5,65-5,84 5,75 ^b 0,08	2,86-2,90 2,84 0,06	ns – nd	2,15-2,28 2,21 0,05	2,67-2,77 2,71 0,04
	G + K	Zakres – Range \bar{x} Sx	7,74-7,97 7,84 0,01	6,44-6,55 6,50 ^b 0,04	5,51-5,63 5,53 ^b 0,07	2,94-3,28 3,06 0,15	ns – nd	1,98-2,21 2,13 0,10	2,46-2,63 2,57 0,10
C	G	Zakres – Range \bar{x} Sx	7,52-7,63 7,57 ^c 0,05	5,67-6,16 5,92 ^c 0,20	5,48-6,08 5,75 0,25	2,11-2,36 2,19 ^c 0,12	ns – nd	2,61-2,82 2,70 0,08	3,23-3,58 3,46 0,16
	G + K	Zakres – Range \bar{x} Sx	7,72-7,78 7,75 ^c 0,02	6,29-6,53 6,42 ^c 0,10	5,36-5,45 5,41 0,04	2,66-3,26 2,86 ^c 0,28	ns – nd	1,93-2,45 2,27 0,24	2,37-2,92 2,74 0,26

ns – nd – nie stwierdzono – not-detected

Objasnienia jak w tabeli 38 – For explanations, see Table 38

Tabela 40. Współczynniki korelacji między zawartością substancji organicznej i związków mineralnych a liczebnością drobnoustrojów w badanych próbkach gleb
 Table 40. Coefficients of correlation between the content of organic matter and mineral compounds and the count of microorganisms in the soil samples examined

Wyszczególnienie Specification	Substancja organiczna Organic matter		Węgiel organiczny Organic carbon		Azot organiczny Organic nitrogen		C/N		P ₂ O ₅			K ₂ O			Mg			pH			
	%		%		%		%		mg·100 g ⁻¹			mg·100 g ⁻¹			mg·100 g ⁻¹			mg·100 g ⁻¹			
	G	G+K	G	G+K	G	G+K	G	G+K	G	G+K	G	G+K	G	G+K	G	G+K	G	G+K	G	G+K	
Ogólna liczba bakterii (log jtk·g ⁻¹) Total count of bacteria (log cfu·g ⁻¹)	0,476	0,089	0,476	0,089	0,523	0,081	-0,623	0,170	-0,353	0,825**	-0,303	0,609	0,373	-0,009	0,204	0,367					
Promieniowce (log jtk·g ⁻¹) <i>Actinomyces</i> (log cfu·g ⁻¹)	0,372	0,434	0,530	0,789*	0,511	0,410	-0,541	0,100	-0,275	0,419	-0,229	0,797*	0,226	0,325	0,395	0,877**					
Ogólna liczba grzybów (log jtk·g ⁻¹) Total count of fungi (log cfu·g ⁻¹)	0,472	-0,121	0,471	-0,121	0,158	-0,372	0,336	0,507	0,605	0,503	0,569	0,163	-0,107	-0,223	-0,735	-0,209					
Liczba bakterii z rodziny <i>Enterobacteriaceae</i> (log NPL·g ⁻¹) Count of bacteria of <i>Enterobacteriaceae</i> family (log MPN·g ⁻¹)	0,331	-0,289	0,331	-0,289	0,318	-0,499	-0,497	0,438	-0,466	0,398	-0,233	-0,271	0,362	-0,283	-0,410	0,296					

* p < 0,05; ** p < 0,01

Objaśnienia jak w tabeli 38 – For explanations, see Table 38

Uzyskane w niniejszej pracy wyniki badań potwierdzają założenia, że proponowana metoda oceny sanitarno-higienicznej procesu utylizacji odpadów wnosi nowe ujęcie w zagadnienia bezpiecznego ich unieszkodliwiania. W przypadku niskiej eliminacji drobnoustrojów wskaźnikowych, obserwacje dynamiki ich zmian ilościowych w całym procesie utylizacji dają możliwość podjęcia działań w kierunku poprawy wstępnej fazy unieszkodliwiania w biostabilizatorze, polepszenia warunków termicznych, wilgotnościowych lub zastosowanie dodatku substancji przyspieszających rozkład kompostowanych surowców.

6. WNIOSKI

Uzyskane wyniki pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Kompostowanie substancji organicznej pochodzącej z odpadów komunalnych powinno przebiegać w warunkach stałej kontroli czynników fizykochemicznych: temperatury, odczynu i suchej masy, z uwagi na ich bezpośredni związek ze wskaźnikami sanitarno-higienicznymi produktu finalnego.
2. Tradycyjne metody jakościowej oceny cech dojrzałego kompostu, uwzględniające zawartość makro- i mikroelementów oraz wybrane cechy sanitarno-higieniczne, nie określają wszystkich przemian zachodzących w czasie procesu kompostowania i powinny być rozszerzone o badanie tempa eliminacji drobnoustrojów wskaźnikowych.
3. Ocena sanitarno-higieniczna kompostu z odpadów komunalnych, przeprowadzona na podstawie badań ilościowych flory bakteryjnej i redukcji drobnoustrojów zasiedlających odpady i kompost w czasie jego dojrzewania w przyzmac, wskazuje na przydatność substancji organicznej tych odpadów do zagospodarowania przyrodniczego.
4. Bakterie należące do rodziny *Enterobacteriaceae* dominują wśród drobnoustrojów izolowanych z odpadów komunalnych.
5. Skład ilościowy grzybów drożdżopodobnych i pleśniowych występujących w próbkach odpadów, kompostu świeżego i dojrzałego wskazuje na niskie tempo eliminacji i potwierdza konieczność ich kontroli w ocenie sanitarno-higienicznej procesu kompostowania odpadów.
6. Stopień przeżywalności bakterii wskaźnikowych *Salmonella senftenberg*, *Enterococcus faecium* i *Escherichia coli* w przyzmac zależy od temperatury, odczynu, zawartości suchej masy i składników organicznych. Redukcja drobnoustrojów wskaźnikowych w procesie dojrzewania kompostu w przyzmac wskazuje na możliwość przyrodniczego wykorzystania takiego kompostu po 4,5 miesiącach dojrzewania.
7. Stopień eliminacji bakterii wskaźnikowych, określane na podstawie kinetyki ich zmian ilościowych, z uwzględnieniem wstępnej fazy unieszkodliwiania w biostabilizatorze, wskazuje na konieczność analizy stanu sanitarno-higienicznego procesu kompostowania odpadów także w przyzmac.
8. Sanitarno-higieniczna metoda oceny skuteczności utylizacji odpadów, polegająca na łącznym określeniu tempa eliminacji bakterii wskaźnikowych w biostabilizatorze oraz przyzmac, jest korzystniejsza od metod tradycyjnych. Czas przeżycia bakterii wskaźnikowych, określony na podstawie proponowanej metody badań, był krótszy i wynosił 2-3 miesiące.
9. Dodatek kompostu do gleby wpływa na poprawę jej żyzności i wzrost aktywności biologicznej, wyrażający się wyższą zawartością substancji organicznej i przyswajalnych składników pokarmowych. Korzystne wskaźniki fitosanitarne i sanitarno-higieniczne użyźnionych gleb wskazują, że recykling odpadów organicznych metodą kompostowania stanowi użyteczną alternatywę bezpiecznego dla środowiska naturalnego zagospodarowania odpadów organicznych pochodzenia komunalnego.



LITERATURA

- [1] Abesser A., 1995. Bakteriologische Untersuchungen zur Inaktivierung von Prüfkeimen bei der Boxenkompostierung System *Schmutz-Hartmann*. Agrarwiss. Diss., Universität Hohenheim, Stuttgart.
- [2] Aggelides S.M., Londra P.A., 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technol.* 71, 253-259.
- [3] Allen A., 2001. Sustainable landfilling for the 21st century. *Zesz. Nauk. Wydz. Bud. i Inż. Środ. Politechniki Koszalińskiej, Inż. Środ.* 20, 171-190.
- [4] Alvarez M.B., Gagné S., Antoun H., 1995. Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of plant growth-promoting rhizobacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 194-199.
- [5] Anatolak T., 1995. Kompostowanie odpadów miejskich w warunkach polskich. [W:] *Techniczne i ekonomiczne problemy gospodarki odpadami komunalnymi. I Ogólnopol. Konf. PROEKO'95*, www.most.org.pl/3r/poradn/6kompos.htm, 1-10.
- [6] Badura L., 2003. Problemy mikrobiologii gleby. *Rocz. Gleb.* 54, 1-2, 5-11.
- [7] Balloni W., Carlozzi P., Ventura S., Sacchi A., 1987. Microbial biomass for fertilizer use the photo-anaerobic treatment of pig wastes. *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, New York, 752-756.
- [8] Banse H.J., Farkasdi G., Knoll K.H., Strauch D., 1996. Kompostierung von Siedlungsabfällen. *Abwassertechnik* 1, 3-5.
- [9] Baran S., Martyn W., 1996. Transformacja odpadów organicznych w komposty. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 429, 33-36.
- [10] Baran S., Turski R., 1999. Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów. Wyd. AR Lublin.
- [11] Bardos R.P., Lopez-Real J.M., 1988. The composting process: Susceptible fetstocks, temperature, microbiology, sanitisation and decomposition. [In:] *Compost processes in waste management, Environment and Waste Recycling Programmes*, 179-190.
- [12] Barth J., Kröger B., 1998. Kompostierung und Qualitätssicherung von Komposten in Europa. *Müll und Abfall* 2, 75-81.
- [13] Bergs C., 1999. Gesichte und Ziele der Bioabfallverordnung. 7 Hohenheimer Seminar. *Biologische Abfallbehandlung* I, 1-9.
- [14] Bernal M.P., Paredes C., Sánchez-Monedero M.A., Cegarra J., 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technol.* 63, 91-99.
- [15] Bidlingmaier W., 1999. Übersicht über in der BRD angewendete Kompostierungsverfahren. 7 Hohenheimer Seminar *Biologische Abfallbehandlung*, I, 70-82.
- [16] Bidlingmaier W., 2000. *Biologische Abfallverwertung*. Eugen Ulmer GmbH&Co. Hohenheim Stuttgart.
- [17] Bidlingmaier W., Folmer J., Frank G., 1987. Experience gained in the composting of wet solid wastes obtained during the separate reclamation of valuable materials. *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, New York, 160-177.
- [18] Boutin P., Moline J., 1987. Health and safety aspects of compost preparation and use. *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, New York, 198-208.

- [19] Boutin P., Torre M., Moline J., 1987. Bacterial and fungal atmospheric contamination at refuse composting plants: A preliminary study. *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, New York, 266-275.
- [20] Bożko A., Małuszyńska I., Suchecka T., 1999. Możliwości ograniczenia zagrożeń wynikłych z nieprawidłowej eksploatacji składowisk odpadów komunalnych poprzez wprowadzenie kompleksowych zabiegów rekultywacji na przykładzie wysypiska Lubna. *Zesz. Nauk. Wydz. Bud. i Inż. Środ. Politechniki Koszalińskiej, Inż. Środ.* 15, 477-490.
- [21] Böhm R., Martens W., Philipp W., 1999. Regulations in Germany and results of investigation concerning hygienic safety of processing biowastes in biogas plants. 7 Hohenheimer Seminar IEA Bioenergy Workshop, II, 48-61.
- [22] Brady N.C., Weil R.R., 1999. Soil organic matter. *The Nature and Properties of Soils*. Upper Saddle River, New Jersey, 446-490.
- [23] Brendecke J.W., Axelson R.D., Pepper I.L., 1993. Soil microbial activity as an indicator of soil fertility: long-term effects of municipal sewage sludge on an arid soil. *Soil Biol. Biochem.* 25, 751-758.
- [24] Brun Y., Fleurette J., Forey F., 1978. Micromethod for biochemical identification of coagulase-negative staphylococci. *J. Clin. Microbiol.* 5 (8), 503-508.
- [25] Chwastowska J., Skalmowski K., Sterlińska E., Wolska K., Skwara W., 1993. Metale ciężkie i formy ich występowania w kompostach z odpadów miejskich uzyskiwanych według technologii DANO w Warszawie. *Arch. Ochr. Środ.* 3-4, 251-259.
- [26] Colman G., Ball L.C., 1984. Identification of streptococci in medical laboratory. *J. Appl. Bact.* 57, 1-14.
- [27] Coppola S., Villani F., 1987. Aerobic stabilization in the solid state of partially dewatered sewage sludge. Microbiological and technological aspects. *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, New York, 556-567.
- [28] Czernomysy-Furowicz D., Furowicz A.J., 1995. Występowanie bakterii w glebie ze specjalnym uwzględnieniem drobnoustrojów chorobotwórczych. Aspekty epidemiologiczne i epizootologiczne. *Ekol. i Tech.* 15 (3), 18-22.
- [29] Czyżyk F., Kozdraś M., 2004. Właściwości chemiczne i kompostowanie osadów ściekowych z wiejskich oczyszczalni ścieków. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 4 (11/2a), Wyd. IMUZ, 559-569.
- [30] De Nardo M., Bottai A., 1987. Management and economic aspects of waste composting. *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, New York, 772-774.
- [31] Déportes I., Benoit-Guyod J.L., Zmirou D., 1995. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. *Sci. Total Environ.* 172, 197-222.
- [32] Déportes I., Benoit-Guyod J.L., Zmirou D., Bouvier M.C., Benoit-Guyod J.L., 1998. Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting. *J. Appl. Microbiol.* 85 (2), 238-246.
- [33] Dermoumi H., 1979. Differentiation of yeast-like fungi isolated from clinical specimens with the API 20 C Auxanogram. *Ärztl. Lab.* 25, 289-291.
- [34] Diaz L.F., Golueke C.G., Savage G.M., 1987. Energy balance in compost production and use. *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, New York, 6-19.

- [35] Dickgisser N., Pieringer E., 1980. Suitability of the modified API 20C, mycotube and Bacto-Candida-albicans-antiserum for the identification of yeasts in the routine laboratory. *Zbl. Bact. Hyg. Abt. Orig. A* (247), 132-137.
- [36] Drozd J., Licznar M., Patoczyk-Pytlik B., Rabikowska B., 1996a. Zmiany w składzie chemicznym kompostów z odpadów miejskich w czasie ich kompostowania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 437, 131-138.
- [37] Drozd J., Licznar M., Patoczyk-Pytlik B., Rabikowska B., Jamroz E., 1996b. Zmiany zawartości węgla i azotu w procesie dojrzewania kompostów z odpadów miejskich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 437, 123-129.
- [38] Drozd J., Licznar M., Weber J., Licznar S., 1996c. Chemiczne indeksy dojrzałości kompostów produkowanych z odpadów miejskich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 437, 139-146.
- [39] Dyrektywa Rady 75/442/EWG w sprawie odpadów, znowelizowana i rozszerzona przez Dyrektywę Rady 91/156/EWG, Dyrektywę Rady 91/692/EC, Decyzję Komisji 94/3/WE oraz Decyzję Komisji 96/350/WE.
- [40] Dziejowski J.E., Kazanowska J., 2001. Sezonowe i dobowe zmiany temperatury podczas rozkładu odpadów komunalnych w biostabilizatorze typu Dano. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 477, 319-326.
- [41] Edwards P.R., Ewik W.H., 1972. Identification of *Enterobacteriaceae*. 3rd ed. Burgess Publishing Co., Minneapolis, Minnesota.
- [42] Ellen P.D., Myrick B., 1982. Specification of coagulase-negative staphylococci in the clinical laboratory. *Eur. J. Clin. Microbiol.* 1 (2), 87-90.
- [43] Epstein E., 1997. The Science of Composting. Techn. Publ. Lancaster-Basel.
- [44] Fassatiova O., 1983. Grzyby mikroskopowe w mikrobiologii technicznej. WNT Warszawa.
- [45] Ferrari G., 1987. Oxygen, water and temperature in the decomposition process of an organic substance during composting. *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, New York, 525-532.
- [46] Fischer P., Rasp H., Döhler H., Popp L., 1993. Kompostanwendung - Aspekte der Pflanzenernährung. [In:] *Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung*. KTBL Darmstadt, 125-152.
- [47] Gomez A., 1998. The evaluation of compost quality. *Trends Anal. Chem.* 17 (5), 310-314.
- [48] Gorski K., 1998. Przewodnik dostosowania prawa do prawa Unii Europejskiej w dziedzinie ochrony środowiska. http://gate.mos.gov.pl/mos/news/materialy_inform/przewodnik_przewodnik.html
- [49] Gostkowska K., Szwed A., Wyczółkowski A., 1996. Próba kompostowania odpadów tytoniowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 437, 159-165.
- [50] Grabbe K., 1988. Definition of compost-quality – a need of environmental protection. [In:] *Compost process in waste management, Environment and Waste Recycling Programmes*, 91-125.
- [51] Grabbe K., Schchuardt F., 1993. Grundlagen der Kompostierung. [In:] *Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung*, KTBL Darmstadt, 49-64.
- [52] Grabińska-Loniewska A., Lebkowska M., Słomczyńska B., Słomczyński T., Sztompka E., Karwowska E., 1999. Ćwiczenia laboratoryjne z mikrobiologii ogólnej. Wyd. Politechniki Warszawskiej.
- [53] Greń J., 1978. *Statystyka matematyczna modele i zadania*. PWN Warszawa.

- [54] Grzybowski J., Reiss J., 2001. Praktyczna bakteriologia lekarska i sanitarna. Dom Wydawniczy Bellona Warszawa.
- [55] Hall J., Zmysłowska A., Stefanicki J., Murray K., 1993. Composting MSW and Sludge in Warsaw. *BioCycle* 12, 46-50.
- [56] Hankin L., Poincelot R.P., Anagnostakis S.L., 1976. Microorganisms from composting leaves. *Microbiol. Ecol.* 2, 296-308.
- [57] Hart A., Kite P.E., 1977. Comparison of four selective agars for the isolation of *Pseudomonas*. *Appl. Environ. Microbiol.* 33, 1209-1214.
- [58] Hassen A., Belguith K., Jedidi N., Cherif A., Cherif M., Boudabous A., 2001. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Biore-source Technol.* 80, 217-225.
- [59] Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Gałczyńska B., Dudka S., 1987. Chemiczne i biologiczne kryteria przydatności rolniczej odpadów przemysłowych i komunalnych. *Wyd. IUNG Puławy* 58, 5-70.
- [60] Kacprzyński B., 1974. Planowanie eksperymentów: podstawy matematyczne. WNT Warszawa.
- [61] Kala R., 2002. Statystyka dla przyrodników. *Wyd. AR Poznań*.
- [62] Kańska Z., Grabińska-Loniewska A., Łebkowska M., Rzechowska E., 1979. Ćwiczenia laboratoryjne z biologii sanitarnej. *Wyd. Politechniki Warszawskiej*.
- [63] Kern P., Fack T., 1993. Kurzbericht zu den Substrat- und Luftkeimuntersuchungen im Kompostwerk Marbach. *Inst. Umwelt und Tierhygiene mit Tiermedizin sowie Tierklinik Univ. Hohenheim*.
- [64] Kikiewicz Z., Białkowski S., 1996. Utylizacja odpadów komunalnych metodą DANO. *Ekol. i Tech.* 3, 21-27.
- [65] Klein D.A., Casida L.E. Jr., 1976. *Escherichia coli* ohi-out from normal soil as related to nutrient availability and the indigenous microflora. *Can. J. Microbiol.* 13, 1461.
- [66] Kluczek J.P., 1999a. Wybrane zagadnienia z ochrony środowiska. *Wyd. Uczeln. ATR Bydgoszcz*.
- [67] Kluczek J.P., 1999b. Biochemiczne metody identyfikacji bakterii. *Wyd. Uczeln. ATR Bydgoszcz*.
- [68] Kluczek J.P., Szejniuk B., 1999. Aspekty higienicznego zagospodarowania odpadów. *Ekol. i Tech.* VII (1), 3-10.
- [69] Kluczek J.P., Szejniuk B., Kluczek Sz., 1996. Higieniczne zagospodarowanie odpadów komunalnych w rolnictwie. *Zesz. Nauk. AR Wrocław, Konferencje XIII* (2), 293, 15-22.
- [70] Knopp M., Pöhle H., Bergman A., 1996. Vorbeugemaßnahmen, bei der Zoonosenbekämpfung. 6 Hohenheimer Seminar Hohenheim, Stuttgart, 87-98.
- [71] Koc J., 1979. Wpływ temperatury, wilgotności gleby i dodatku nawozów na intensywność rozkładu osadów garbarskich. *Rocz. Glebozn.* 30 (2), 75-83.
- [72] Koc J., 1985. Wpływ stosowania gnojowicy na oddychanie gleby. *Gaz, woda i technika sanitarna* LIX (10), 211-213.
- [73] Koc J., 1986. Badania nad mineralizacją w glebie i działaniem nawozowym gnojowicy trzody chlewnej. *Acta Acad. Agric. Tech. Olst., Ser. B, Agricultura, suppl.* 42, 3-63.
- [74] Kropisz A., 1983. Wpływ nawożenia kompostami z odpadków komunalnych na plon i zawartość mikroelementów w roślinach warzywnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 242, 457-464.

- [75] Land G.A., Harrison B.A., Hulme K.L., Cooper B.H., Byrd J.C., 1979. Evaluation of the new API 20C strip for yeast identification against a conventional method. *J. Clin. Microbiol.* 10 (3), 357-364.
- [76] Larone D.H., 1987. *Medically important fungi. A guide to identification.* Elsevier New York, Amsterdam, London.
- [77] Lee J.J., Park R.D., Kim Y.W., Shim J.H., Chae D.H., Rim Y.S., Sohn B.K., Kim T.H., Kim K.Y., 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresource Technol.* 93, 21-28.
- [78] Lityński T., Jurkowska H., Górlach E., 1976. *Analiza chemiczno-rolnicza.* PWN Warszawa.
- [79] Maćkowiak Cz., Orzechowska K., 1993. Produkcja, skład chemiczny oraz wartość nawozowa kompostu produkowanego z odpadów miejskich w ciągu technologicznym DANO. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 409, 21-31.
- [80] Manios V.I., Tsikalas P.E., Siminis H.I., 1987. Phytotoxicity of olive tree leaf compost. *Compost: Production, Quality and Use.* Elsevier Applied Science, London, New York, 296-308.
- [81] Marinari S., Masciandaro G., Ceccanti B., Grego S., 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technol.* 72, 9-17.
- [82] Marples R.R., Richardson J.P., 1982. Evaluation of a micromethod gallery (API Staph) for the identification of staphylococci and micrococci. *J. Clin. Path.* 35, 650-656.
- [83] Matsuda J., Hyakumachi M., Shimizu M., Himoto J., 1996. The composting of soil and agricultural wastes and its sterilizing, suppressing and fertilizing effects. *Int. Congress Exhibit.* 2, 153-154.
- [84] Myśków W., 1981. Próby wykorzystania wskaźników aktywności mikrobiologicznej do oceny żyzności gleby. *Post. Mikrobiol.* 20 (3-4), 173-192.
- [85] Norma Branżowa BN-89/9103-09. Grupa katalogowa 1509. Utylizacja rolnicza. Unieszkodliwianie odpadów miejskich. Kompost z odpadów miejskich.
- [86] Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991. *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin.* Wyd. Inst. Ochr. Środ. Warszawa.
- [87] Pahren H.R., 1987. Microorganisms in municipal solid waste and public health implications. *Crit. Rev. Envir. Contr.* 17 (3), 187-228.
- [88] Pawlaczyk-Szpiłowa M., 1980. *Ćwiczenia z mikrobiologii wody i ścieków.* PWN Warszawa.
- [89] Pereira-Neto J.T., Stentiford E.I., Smith D.V., 1987. Survival of faecal indicator microorganisms in refuse sludge composting using the aerated static pile system. *Waste Management* 4, 397-406.
- [90] Pffirmann A., Schmidt B., 1993. *Mikrobiologische Untersuchungen im Kompostwerk Grünstadt. Kurzbericht Univ. Hohenheim.*
- [91] Philipp W., 1996. Die Bedeutung kommunaler Rest- und Abfallstoffe bei der Verbreitung bakterieller Zoonosenerreger. 6 Hohenheimer Seminar Hohenheim, Stuttgart, 69-88.
- [92] PN-C-04537/14:1998. *Badania zawartości związków fosforu. Oznaczanie fosforu ogólnego w osadach ściekowych.* PKN Warszawa.
- [93] PN-91/C-04540/05. *Badania pH, kwasowości i zasadowości mineralnej i ogólnej w osadach ścieków miejskich.* PKN Warszawa.

- [94] PN-75/C-04591/05. Badania zawartości jonu potasowego. Oznaczanie jonu potasowego w osadach ściekowych metodą wagową. PKN Warszawa.
- [95] PN-75/C-04616/01. Badania specjalne osadów. Oznaczenie zawartości wody, suchej masy, substancji organicznych i substancji mineralnych w osadach ściekowych. PKN Warszawa.
- [96] PN-EN 12879:2004. Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczenie straty przy prażeniu suchej masy osadu. PKN Warszawa.
- [97] PN-ISO 8288:2002. Oznaczanie kobaltu, niklu, miedzi, cynku, kadmu i ołowiu. Metody atomowej spektrometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu. PKN Warszawa.
- [98] PN-R-04020:1994. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu. PKN Warszawa.
- [99] PN-R-04022:1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych. PKN Warszawa.
- [100] PN-R-04023:1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. PKN Warszawa.
- [101] PN-R-04031:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Pobieranie próbek. PKN Warszawa.
- [102] PN-ISO 10381-6:1998. Jakość gleby. Pobieranie próbek. Zasady dotyczące pobierania, postępowania i przechowywania próbek gleby przeznaczonych do badania tlenowych (aerobowych) procesów mikrobiologicznych w warunkach laboratoryjnych. PKN Warszawa.
- [103] Polański Z., 1978. *Metodyka badań doświadczalnych*. Wyd. Politechniki Krakowskiej.
- [104] Przywarska R., Pszczółka K., 1994. Zastosowanie procesów biotechnologicznych do utylizacji odpadów. *Biotech.* 2 (25), 88-97.
- [105] Pudelski T., 1987. *Horticultural use of compost. Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science, London, New York, 20-29.
- [106] Radebold K., Essers L., 1980. Zur Beurteilung des API-Staph-System für die routinemässige Identifizierung von Staphylokokken. *Ärztl. Lab.* 26, 236-238.
- [107] Reddy K.R., Khaleel R., Overcash M.R., 1981. Behaviour and transport of microbiol pathogens and indicator organisms in soil treated with organic wastes. *J. Environ. Qual.* 3, 255-266.
- [108] *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, 2004*. Zakład Wyd. Statyst. Warszawa.
- [109] Rosik-Dulewska Cz., 2000. *Podstawy gospodarki odpadami*. Wyd. Nauk. PWN Warszawa.
- [110] Rosik-Dulewska Cz., 2001. Zawartość składników nawozowych oraz metali ciężkich i ich frakcji w kompostach z odpadów komunalnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 477, 467-478.
- [111] Rosik-Dulewska Cz., 2003. Formy wybranych metali ciężkich w kompostach z odpadów komunalnych jako wskaźnik ich oddziaływania na środowisko. *Streszcz. ref. Konf. Komposty z odpadów komunalnych, ich produkcja, wykorzystanie i wpływ na środowisko*, Wyd. Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych Wrocław, 46-47.
- [112] Rosik-Dulewska Cz., Karwaczyńska U., 1999. Ocena kompostu z odpadów komunalnych uzyskiwanego wg technologii DANO. *Zesz. Nauk. Wydz. Bud. i Inż. Środ. Politechniki Koszalińskiej, Inż. Środ.* 15, 491-508.

- [113] Roth S., 1994. Mikrobiologisch – hygienische Untersuchungen zur Bioabfallkompostierung in Mieten und in Kleinkompostern. Dokt. Diss. Universität Hohenheim Stuttgart.
- [114] Saba L., Sławoń J., Bis-Wencel H., Żytyński T., 1995. Pałeczka *Salmonella* w środowisku ferm jenotów. Pr. Kom. Nauk Roln. Biol. BTN Bydgoszcz 31, 85-89.
- [115] Sądej W., Namiotko A., Bowszys T., 2004. Lead, chromium, cadmium and nickel concentrations in the soil fertilized with municipal solid waste composts. *Chemia i Inż. Ekol.* 11 (8), 787-794.
- [116] Schlegel H.G., 2000. Mikrobiologia ogólna. PWN Warszawa.
- [117] Shiralipour A., McConnell D.M., Smith W.H., 1992. Physical and chemical properties of soil as affected by municipal soils as affected by municipal solid waste compost application. *Biomass and Bioenergy* 3, 261-266.
- [118] Singleton P., 2000. Bakterie w biologii, biotechnologii i medycynie. PWN Warszawa.
- [119] Siuta J., 1999. Kompostowanie i wartości użytkowe kompostu. Kompostowanie i użytkowanie kompostu. Wyd. Ekoinżynieria Lublin, 7-20.
- [120] Siuta J., 2001. Gospodarka odpadami w środowisku. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 477, 275-285.
- [121] Skalmowski K., 1998. Poradnik gospodarowania odpadami. Wyd. Verlag Das-höfer Warszawa.
- [122] Smirnow N.W., Dunin-Barkowski I.W., 1969. Kurs rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych. PWN Warszawa.
- [123] Sobczyk M., 2000. Statystyka. PWN Warszawa.
- [124] Sroczyńska-Sikorska M., 1993. Wytyczne metodyczne do oceny sanitarnej ścieków przeznaczonych do przyrodniczego i rolniczego wykorzystania. Instytut Medycyny Wsi Lublin.
- [125] Stentiford E.I., 1987. Recent developments in composting. Elsevier Applied Science, London, New York, 52-60.
- [126] Strauch D., 1993a. Przeżywalność drobnoustrojów chorobotwórczych i pasożytów w wydalinach, nawozie i szlamie ściekowym. *Cz. I. Med. Wet.* 49 (2), 59-65.
- [127] Strauch D., 1993b. Przeżywalność drobnoustrojów chorobotwórczych i pasożytów w wydalinach, nawozie i szlamie ściekowym. *Cz. II. Med. Wet.* 49 (3), 117-121.
- [128] Strauch D., 1995. Hygienische gesichpunkte der Bioabfallkompostierung. Pr. Kom. Nauk Roln. Biol. BTN Bydgoszcz 31, 115-130.
- [129] Strauch D., Ballarini G., 1994. Hygienic Aspects of the Production and Agricultural Use of Animal Waste. *J. Vet. Med. B* (41), 176-228.
- [130] Strauch D., de Bertoldi M., 1987. Microbiological specifications of disinfected sewage sludge. *Compost: Production, Quality and Use.* Elsevier Applied Science, London, New York, 179-189.
- [131] Strauch D., Philipp W., Menke G., Burns C., 1993. Aspekte der Hygiene (Humanhygiene, Weterynärhygiene und Phytohygiene) und des Arbeiteschutzes. [In:] *Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung*, KTBL Darmstadt, 104-124.
- [132] Stuczyński T., 1994. Wpływ odpadowych substancji organicznych na właściwości gleby i plonowanie roślin. *Rozprawy* 317, IUNG Puławy.

- [133] Szejniuk B., 1997. Wpływ kompostu uzyskiwanego metodą DANO z odpadów komunalnych na plony żyta w doświadczeniu wazonowym. *Ekol. i Tech.* 6 (30), 25-27.
- [134] Szejniuk B., 2000a. Analiza składu morfologicznego odpadów i jakości kompostu uzyskiwanego metodą DANO. *Pr. Kom. Nauk Roln. Biol. BTN Bydgoszcz XXXIV B (46)*, 115-120.
- [135] Szejniuk B., 2000b. Badania mikologiczne kompostu z odpadów komunalnych. *Pr. Kom. Nauk Rol. Biol. BTN Bydgoszcz XXXIV B (46)*, 121-128.
- [136] Szejniuk B., 2001. Przeżywalność drobnoustrojów wskaźnikowych *Salmonella enteritidis* w procesie utylizacji odpadów komunalnych. *Ekol. i Tech.* IX (1), 12-18.
- [137] Szejniuk B., Budzińska K., 2000. Mikrobiologiczna analiza kompostu z odpadów komunalnych. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. DD, Med. Vet.* LV(B), 534.
- [138] Szejniuk B., Kluczek J.P., 1995. Zawartość *Salmonelli* w higienizowanych kompostach. [W:] *Higienizacja wsi*, Wyd. AR Lublin, 45-49.
- [139] Szejniuk B., Kluczek J.P., 1996. Przeżywalność *E. coli* typu kałowego i streptokoków fekalnych w kompostach z odpadów komunalnych. *Zesz. Nauk. AR Wrocław, Konferencje XIII (2)*, 293, 77-83.
- [140] Szejniuk B., Olszewska H., Paluszak Z., 1996. Przeżywalność bakterii *Escherichia coli* w kompoście z odpadów komunalnych. [W:] *Aktualne problemy higieny w produkcji zwierzęcej*. Fundacja „Rozwój SGGW” Warszawa, 77-80.
- [141] Szejniuk B., Olszewska H., Paluszak Z., Kluczek J.P., 1999. Przeżywalność bakterii *Salmonella enteritidis* w procesie utylizacji odpadów miejskich. *Rocz. Nauk. Zoot.* 26 (3), 287-295.
- [142] Szejniuk B., Paluszak Z., 1997. Dynamics of quantitative changes of index bacteria in composts made of municipal wastes. 9th *Int. Cong. Anim. Hyg.*, Helsinki, 2, 713-716.
- [143] Szejniuk B., Paluszak Z., Olszewska H., 1997. Cechy fizykochemiczne kompostu z odpadów miejskich a ryzyko skażenia gleb. [W:] *Problemy higieny w ekologizacji rolnictwa*. Fundacja „Rozwój SGGW” Warszawa, 179-184.
- [144] Szymański K., 1996. *Gospodarka i unieszkodliwianie odpadów komunalnych*. Wyd. WSI Koszalin, 77-95.
- [145] Tchobanoglous G., 1991. *Wastewater engineering. Treatment, disposal and reuse*. McGraw-Hill Singapore.
- [146] Tillotson G.S., 1982. An evaluation of the API 20 Strep System. *J. Clin. Path.* 35, 468-471.
- [147] Trawińska B., Saba L., Bis-Wencel H., Nowakowicz-Dębek B., 1997. Czas przeżywalności *Salmonelli* w kale lisów i kompostach z ich udziałem. [W:] *Problemy higieny w ekologizacji rolnictwa*. Fundacja „Rozwój SGGW” Warszawa, 48-52.
- [148] Tuomela M., Vikman M., Hatakka A., Itävaara M., 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technol.* 72, 169-183.
- [149] Ulfig K., 1985. Dermatofity i inne grzyby keratynofilne w odpadach komunalnych. *Rocz. PZH* 36 (6), 497-505.
- [150] Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 roku. *Dz.U. z 2001 r. Nr 96, poz. 592*.

- [151] Ustawa z dnia 13 września 1996 roku o utrzymaniu czystości i porządku w gminach. Dz.U. z 1996 r. Nr 132, poz. 662.
- [152] Weber J., Drozd J., Licznar M., Licznar S., Jamroz E., Kordas L., Parylak D., Karczewska A., Kocowicz A., 2002. Ekologiczne aspekty stosowania kompostów ze stałych odpadów miejskich do podnoszenia żyzności gleb lekkich. Wyd. Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych Wrocław.
- [153] Weinrich M., Kliche R., Pöhle H., Vissiennon T., 1996. Untersuchungen zur Pilzbelastung bei der Bioabfallsammlung. 6 Hohenheimer Seminar Hohenheim, Stuttgart, 99-111.
- [154] Williams S.T., Davies F.L., 1965. Use of antibiotics for selective isolation and enumeration of *Actinomycetes* in soil. J. Gen. Microbiol. 38, 251-261.
- [155] Winiarska Z., Lekan Sz., 1991. Wpływ kompostu z odpadków miejskich („Dano”) na plonowanie roślin i właściwości gleby w doświadczeniu polowym. [W:] Możliwość rolniczego wykorzystywania osadów ściekowych i kompostów z substancji odpadowych. IUNG Puławy, R. 280, 49-72.
- [156] Zaujec A., 1993. Model dynamiki humusu w glebie nawożonej kompostem. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 409, 73-77.
- [157] Zmysłowska J., 2003. Mikrobiologia ogólna i środowiskowa. Wyd. UWM Olsztyn.
- [158] Zucconi F., Bertoldi M., 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. Elsevier Applied Science, London, New York, 30-50.
- [159] Żygadło M., 1999. Gospodarka odpadami komunalnymi. Politechnika Świętokrzyska w Kielcach.

SANITARNO-HIGIENICZNE ASPEKTY KOMPOSTOWANIA ODPADÓW

Streszczenie

W ostatnich latach obserwuje się wyraźny wzrost zainteresowania problemem racjonalnego zagospodarowania odpadów. Przyczyną powstawania dużych mas odpadowych jest zwiększający się ciągle poziom konsumpcji, nieracjonalna gospodarka produktami odpadowymi, wprowadzenie do obiegu substancji charakteryzujących się długim okresem biodegradacji, wzrost uprzemysłowienia oraz postępujący proces urbanizacji kraju. Poziom zagospodarowania odpadów komunalnych jest w dalszym ciągu niezadowolający, bowiem większość powstających mas odpadowych składowana jest wyłącznie na składowiskach odpadów. Wśród różnych metod zagospodarowania odpadów na szczególną uwagę zasługuje kompostowanie. Czynnikiem ograniczającym stosowanie kompostu w celach przyrodniczych może być zbyt duża zawartość zanieczyszczeń mechanicznych, chemicznych oraz względy sanitarno-higieniczne. Dotychczasowe metody oceny skuteczności utylizacji odpadów poprzez kontrolę jakości produktu finalnego podawane w Normie Branżowej BN-89/9103-09 nie uwzględniają wszystkich etapów produkcji kompostu, szczególnie pod względem oceny sanitarno-higienicznej zarówno odpadów, jak i uzyskanego z nich kompostu.

Celem podjętych badań było prześledzenie zachowania się drobnoustrojów uczestniczących w procesie utylizacji odpadów metodą kompostowania oraz sprawdzenie skuteczności utylizacji z zastosowaniem metody pozwalającej na przeprowadzenie oceny sanitarno-higienicznej poszczególnych etapów wytwarzania kompostu z substancji organicznej odpadów.

Ocena sanitarno-higieniczna kompostu z odpadów komunalnych, przeprowadzona na podstawie badań ilościowych flory bakteryjnej i redukcji drobnoustrojów autochtonicznych w czasie jego dojrzewania w pryzmach, uzasadniła przydatność substancji organicznej wyodrębnionej z odpadów i przetworzonej do formy kompostu do zagospodarowania przyrodniczego. Stopień przeżywalności bakterii wskaźnikowych w pryzmach determinowany był czynnikami towarzyszącymi procesowi kompostowania: temperaturą, pH, zawartością suchej masy i składników organicznych. W badaniach wykazano, że czas przeżycia drobnoustrojów wskaźnikowych *Salmonella senftenberg*, *Enterococcus faecium* i *Escherichia coli* w czasie kontroli procesu dojrzewania kompostu w pryzmach wskazuje na możliwość przyrodniczego wykorzystania takiego kompostu po 4,5 miesiącach. Zastosowana w pracy metoda oceny sanitarno-higienicznej kompostu pozwala na dokładne określenie tempa eliminacji bakterii i ich przeżywalność w procesie unieszkodliwiania. Eliminacja bakterii wskaźnikowych i czas ich przeżycia – obliczony według metody zastosowanej w badaniach własnych – były krótsze niż w stosowanych metodach tradycyjnych i wynosiły około 2-3 miesięcy. W przypadku przyrodniczego zagospodarowania kompostu z odpadów komunalnych należy prowadzić okresową (przynajmniej raz w roku) kontrolę składu ilościowego i jakościowego bakterii oraz grzybów zasiedlających kompost z uwagi na ryzyko zagrożenia i skażenia środowiska naturalnego w przypadku obecności w nim drobnoustrojów chorobotwórczych.

Badania dowiodły, że dodatek kompostu do gleb wpływa na poprawę jej żyzności i wzrost aktywności biologicznej. Korzystne wskaźniki fitosanitarne i sanitarno-higieniczne użyźnionych gleb wskazują, że recykling odpadów organicznych metodą kompostowania stanowi użyteczną alternatywę bezpiecznego dla środowiska naturalnego zagospodarowania odpadów organicznych pochodzenia komunalnego.

SANITARY AND HYGIENIC ASPECTS OF WASTE COMPOSTING

Summary

Recently there has been observed a clearly growing interest in rational waste management. Vast amounts of waste solids result from a growing consumption, mismanagement of waste products, introducing long-biodegradation substances, as well as from an increased industrialization and developing urbanization of the country. Municipal waste management is still unsatisfactory since most waste solids are stored exclusively on waste storage yards. Out of different methods of waste management, composting is of special importance. What can limit the application of compost to natural management is an excessive content of mechanical and chemical impurities, as well as sanitary and hygienic factors. The waste management effectiveness evaluation methods used so far, involving the final product quality inspection following the Branch Standard BN-89/9103-09, do not take into account all the compost production stages, especially the sanitary and hygienic evaluation of both waste and its compost.

The aim of the present research was to investigate the behavior of microorganisms exposed to waste treatment by composting and to assess the waste treatment effectiveness using the method which facilitates the sanitary and hygienic assessment of particular stages of producing compost from organic matter obtained from waste.

The sanitary and hygienic municipal waste compost assessment which involved a quantitative analysis of bacterial flora and a reduction of autochthonous microorganisms during compost maturation in piles showed the applicability of organic matter isolated from waste and processed into compost to natural management. The survival rate of indicator bacteria in piles was determined by the following composting factors: temperature, pH, dry matter content and organic components. The research indicated that the survival time of indicator microorganisms of *Salmonella senftenberg*, *Enterococcus faecium* and *Escherichia coli* over compost pile maturation monitoring showed a potential of natural management of such compost after its 4.5-month maturation in piles. The sanitary and hygienic compost assessment method applied makes it possible to determine in detail the elimination rate of bacteria and their survival rate in the process of waste treatment. The elimination rate of the indicator bacteria and their survival time, calculated according to the method applied in the present studies, were shorter than with traditional methods and involved about 2-3 months. As for the natural management of municipal waste compost, a regular (at least once a year) quantitative and qualitative inspection of compost bacteria and fungi due to a risk of contamination of the natural environment posed by the presence of pathogenic microorganisms.

The present research showed that adding compost to soils enhanced soil fertility and biological activity. The favorable phytosanitary and sanitary and hygienic coefficients of fertilized soils demonstrate that organic waste recycling by composting is a useful alternative of municipal waste management which is safe to the natural environment.

Publikacje Wydawnictw Uczelnianych
Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy
można nabywać bezpośrednio
w Dziale Udostępniania Biblioteki Głównej ATR
85-796 Bydgoszcz, ul. Prof. S. Kaliskiego 7
lub poprzez Internet: www.bg.atr.bydgoszcz.pl

Zamówienia można składać telefonicznie
(052) 340-8072, 8078
listownie oraz elektronicznie:
wusprzedaz@atr.bydgoszcz.pl

Biblioteka Główna ATR w Bydgoszczy

N 88093



ISSN 0209-0597