



Ocena wpływu procesu kompostowania na zmiany liczebności populacji grzybów drożdżoidalnych i pleśniowych w osadach ściekowych

*Krzysztof Skowron, Halina Olszewska, Anna Pawłowska
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz*

1. Wstęp

Osady ściekowe są nieodłącznym produktem ubocznym procesów zachodzących w trakcie mechanicznego, chemicznego i biologicznego oczyszczania ścieków. Zgodnie z obowiązującym prawem zaliczane są do jednej z kategorii odpadów [1, 3]. Skład osadów ściekowych zależy od rodzaju oczyszczanych ścieków oraz stosowanych procesów ich oczyszczania [3].

Osady ściekowe charakteryzują się korzystnym składem chemicznym, stąd mogą odgrywać znaczną rolę w procesach glebotwórczych. W związku z powyższym celowe jest ich wykorzystanie w rolnictwie jako nawozu organicznego dostarczającego, podobnie jak pomiot kurzy, obornik, czy gnojowica, cennych i niezbędnych związków zarówno dla roślin, jak i drobnoustrojów zymogennych [14]. Czynnikiem limitującym rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych jest zawartość metali ciężkich, szkodliwych związków organicznych, chorobotwórczych

drobnoustrojów oraz konsystencja [21]. Osady zawierające dopuszczalne ilości niepożądanych związków chemicznych mogą zostać poddane obróbce biologicznej, w wyniku której zostaną przekształcone w nawóz spełniający wymagania agrotechniczne [21]. Jednym z najstarszych, a zarazem najbardziej powszechnych, sposobów zagospodarowania osadów ściekowych jest ich kompostowanie z dodatkiem materiału roślinnego, np. słomy [11, 12, 23].

Podstawową zaletą kompostowania jest fakt, że oprócz stabilizacji osadów ściekowych pozwala ono także na ich higienizację. Aspekt higienizacyjny kompostowania jest niezwykle istotny, gdyż osady surowe i składowane, pochodzące z komunalnych oczyszczalni ścieków, bardzo często cechują się wysokim poziomem zanieczyszczenia mikrobiologicznego, który uniemożliwia ich bezpośrednie zagospodarowanie rolnicze lub rekultywacyjne [5]. W osadach ściekowych obecne są różnorodne grupy bakterii, wirusów, grzybów oraz pasożytów. Wiele z tych drobnoustrojów to organizmy obligatoryjnie lub oportunistycznie patogene. Inaktywacja patogennych drobnoustrojów związana jest z oddziaływaniem wysokiej temperatury w fazie termofilnej kompostowania. Produkcja dużych ilości ciepła związana jest z aktywnością metaboliczną mikroflory przeprowadzającej ten proces [17÷19].

Oprócz mikroorganizmów autochtonicznych w osadach obecna jest także bogata mikroflora allochtoniczna reprezentowana przez drobnoustroje obecne w glebie, wodzie, powietrzu i na roślinach oraz bytujące w przewodzie pokarmowym zwierząt i człowieka [22, 23].

Chociaż istnieje cały szereg badań dotyczących skuteczności kompostowania, jako metody kondycjonowania osadów ściekowych, to jednak dane odnośnie wpływu tego procesu na mikroflorę osadów ściekowych są stosunkowo nieliczne. W osadach ściekowych mogą znajdować się grzyby z rodzaju *Candida*, *Trichosporon*, *Trichophyton*, *Epidermophyton*, *Aspergillus* oraz *Cryptococcus neoformans*, *Phialophora richardsii*, *Geotrichum candidum* i wiele innych [22]. W środowisku tym mogą bytować grzyby wywołujące infekcje u zwierząt i ludzi oraz ostre reakcje alergiczne. Szczególnie istotna jest obecność w osadach ściekowych grzybów wytwarzających mikotoksyny, takich jak *Aspergillus flavus* i *Aspergillus parasiticus*, produkujących aflatoksynę [22]. Można przyjąć założenie, że tlenowy rozkład związków organicznych, zachodzący w trakcie kompostowania osadów ściekowych, ogranicza przeży-

walność wyspecjalizowanych dermatofitów antropofilnych, może się jednak okazać, że jest niewystarczający dla zahamowania rozwoju dermatofitów zoo- i geofilnych [25]. Obecność tego typu grzybów patogenych w osadach ściekowych jest wysoce prawdopodobna z racji zawartości znacznych ilości substancji keratynowych w ściekach [25]. W związku z powyższym uzasadnione wydaje się prześledzenie zmian ilościowych mikoflory osadów ściekowych w trakcie kompostowania.

Celem badań było prześledzenie zmian ilościowych populacji grzybów pleśniowych i drożdżoidalnych w osadach ściekowych pochodzących z komunalnej oczyszczalni ścieków poddanych procesowi kompostowania w pryzmach.

2. Materiał i metody

Materiał do badań stanowiły przefermentowane i odwodnione przy pomocy polielektrolitu osady ściekowe pochodzące z Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Toruniu.

Przed rozpoczęciem procesu kompostowania osady były mieszane ze słomą i trocinami w proporcjach 1,0 : 0,7 : 0,3. Tak przygotowany materiał usypano w pryzmę doświadczalną na hali. W ciągu 12 tygodni kompostowania materiał przerzucano trzykrotnie w celu napowietrzenia i wyrównania rozkładu materii organicznej [15]. Pierwsze przerzucanie pryzm realizowano dopiero w momencie odnotowania wyraźnego spadku temperatury i lekkiego zapadnięcia się pryzmy świadczącego o ubytku materii organicznej [15]. Okres ten pozwolił na zrealizowanie danego cyklu badań bez zmian układu warstw pryzmy. Następne 2 przerzucenia miały miejsce odpowiednio w 9 i 11 tygodniu kompostowania.

Eksperyment przeprowadzono w 3 cyklach badawczych – cykl I (jesiennie-zimowy), cykl II (zimowy) i cykl III (wiosenny). Próbkę do badań pobierano w każdym cyklu z dolnej, środkowej i górnej części pryzmy po 7, 16, 20 i 45 dniach licząc od momentu jej usypania. Każdorazowo mierzono także temperaturę, wilgotność i odczyn w poszczególnych częściach pryzmy oraz temperaturę na hali. Pierwszy termin odczytu wybrano ze względu na fakt, że w ciągu tygodnia kompostowany materiał powinien przejść przez fazę termofilną procesu, co skutkowało by znaczącą eliminacją grzybów. Kolejne dwa terminy zostały zaplanowane tak, aby uchwycić eliminację mikoflory w przypadku wydłużenia się

czasu potrzebnego na osiągnięcie fazy termofilnej. Takie interwały poboru próbek znajdują uzasadnienie w doniesieniach Wieczorka [26]. Ostatni termin próbkowania poprzedzał bezpośrednio przetrzucanie przymy.

Próbki osadów poddano badaniom mikologicznym mającym za zadanie określenie liczby grzybów drożdżoidalnych i pleśniowych w poszczególnych terminach oznaczeń. W tym celu dla każdej pobranej próbki przygotowywano rząd dziesiętnych rozcieńczeń w roztworze soli fizjologicznej do wartości 10^{-6} . Następnie przesiewano kolejne rozcieńczenia na płytki z agarem Sabourauda z 4% glukozą oraz Sabourauda z chloramfenikolem. Po posiewie podłoża inkubowano przy temperaturze 25°C . Po 3 dniach inkubacji liczono grzyby drożdżoidalne, a po 7 pleśniowe. Do liczenia drobnoustrojów wybierano po 2 płytki odpowiadające każdemu z 2 kolejnych rozcieńczeń, na których liczba kolonii nie przekraczała 300. Liczby grzybów była określana według wzoru (1):

$$L = \frac{\sum c}{n \cdot d} \quad (1)$$

gdzie:

$\sum c$ – liczba kolonii grzybów na wszystkich uwzględnionych płytkach,

n – liczba płytek, na których liczono kolonie,

d – wskaźnik rozcieńczenia niższego niż to, od którego zaczynano liczenie.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej w programie SAS 9.2 PL. Sprawdzono normalność rozkładu oraz wykonano wieloczynnikową analizę wariancji w oparciu o procedurę GLM. Zbadano występowanie różnic istotnych statystycznie pomiędzy wartościami temperatury, odczynu i wilgotności oraz liczbą grzybów drożdżoidalnych i pleśniowych dla poszczególnych cykli badawczych i lokalizacji poboru próbek w oparciu o test Tukeya. Sprawdzono także korelacje pomiędzy temperaturą, pH i wilgotnością przymy, a zmianami liczby grzybów.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Temperatura, odczyn i wilgotność kompostowanego materiału

W trakcie realizacji procesu kompostowania prowadzono pomiary temperatury powietrza w hali kompostowni. Uzyskane rezultaty przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Układ temperatur w hali w kolejnych terminach poboru próbek

Table 1. The temperature in the hall in the subsequent sampling terms

Parametr	Cykl	Oznaczenie po dniu			
		7	16	20	45
Temperatura [°C]	I	11,0	7,7	8,0	2,4
	II	0,0	1,0	1,9	3,0
	III	8,1	9,5	11,4	14,1

Hala kompostowni nie była szczelnie zamknięta, ani izolowana termicznie, w związku z tym temperatury w jej wnętrzu były zbliżone do temperatury panującej na zewnątrz.

Rezultaty pomiarów temperatury, odczynu i wilgotności badanego materiału zestawiono w tabelach 2÷4.

W pierwszym cyklu badawczym najwyższe temperatury we wszystkich częściach przyzmy odnotowano w 7 dniu kompostowania, a w kolejnych terminach poboru próbek stwierdzono jej stopniowy spadek, aż do 45 dnia (tab. 2). Z kolei w cyklu drugim najwyższe wartości temperatur w całym przekroju zanotowano w 45 dniu realizacji procesu, natomiast najniższe w 7 dniu kompostowania (tab. 2). Temperatury stwierdzone w trzecim cyklu badawczym były w każdym terminie oznaczeń wyższe niż w 2 pozostałych cyklach, przy czym w ramach tego etapu najwyższe wartości notowano w 20 dniu, a najniższe w 7 dniu kompostowania (tab. 2). W pierwszym i drugim cyklu badawczym najwyższe temperatury w poszczególnych terminach oznaczeń stwierdzono w górnej części przyzmy, a najniższe w dolnej (tab. 2). Zaobserwowane różnice były istotne lub wysoko istotne statystycznie (tab. 2). W trzecim cyklu część dolna przyzmy była najzimniejsza, ale najwyższe temperatury stwierdzono w części środkowej (tab. 2). Różnice istotne statystycznie wykazano w tym etapie tylko między częścią dolną i środkową w 20 dniu kompostowania (tab. 2).

Tabela 2. Układ temperatur w pryzmie w zależności od cyklu badawczego i miejsca poboru próbek
Table 2. The temperature in the pile depending on the cycle of research and sampling point

Parametr	Cykl	Miejsce poboru próbek	Oznaczenie po dniu			
			7	16	20	45
Temperatura [°C]	I	Dół	30,6 ^{a,a}	26,3 ^a	24,6 ^a	22,5 ^{a,a}
		Środek	42,9 ^{A,B,b}	41,3 ^{A,B,b}	36,4 ^{A,B,b}	30,1 ^{a,B,b}
		Góra	49,4 ^{A,b,C}	44,0 ^{A,C,c}	41,7 ^{A,b,C,c}	39,5 ^{A,b,c}
	II	Dół	24,5 ^{a,B,C,D}	27,9 ^{B,C,D,d}	27,5 ^{b,C,D,d}	33,7 ^{A,c,D}
		Środek	33,1 ^{B,C,D,e}	35,1 ^{A,b,C,d,E,e}	34,9 ^{A,c,d,E,e}	45,0 ^{A,B,c,D}
		Góra	38,6 ^{a,C,D,e}	41,9 ^{A,D,e,f}	40,6 ^{A,D,e,F}	47,7 ^{A,B,c,D}
	III	Dół	35,3 ^{a,b,C,D}	47,8 ^{A,b,D,E,f}	50,3 ^{A,B,c,D,E,F,g}	46,5 ^{A,B,c,D}
		Środek	39,3 ^{a,C,D,e}	50,2 ^{A,b,c,D,E,f}	55,4 ^{A,B,C,D,E,F,g}	48,7 ^{A,B,c,D}
		Góra	36,5 ^{a,b,C,D}	47,9 ^{A,b,D,E,f}	52,1 ^{A,B,C,D,E,F}	48,5 ^{A,B,c,D}

A-A, B-B, ... – różnice wysoko istotne statystycznie ($p \leq 0,01$),
a-a, b-b, ... – różnice istotne statystycznie ($p \leq 0,05$).

Układ temperatur badanego materiału w poszczególnych cyklach badawczych wykazywał zbieżność z temperaturami wewnątrz hali. Najwyższe temperatury w przyźmie notowano w III cyklu (z wyjątkiem dnia 7), podczas którego w hali panowały najwyższe temperatury, a najniższe odnotowano w II cyklu badań (z wyjątkiem dnia 45), kiedy temperatura otoczenia była najniższa (tab. 1 i 2). Oba zaobserwowane odstępstwa również można częściowo wyjaśnić w oparciu o temperaturę zewnętrzną, która w 7 dniu III cyklu była niższa niż w cyklu I, a w 45 dniu cyklu II była wyższa niż w cyklu I (tab. 1).

Uzyskane we wszystkich cyklach badań własnych temperatury były zbyt niskie dla zapewnienia pełnej higienizacji badanego materiału. W celu eliminacji grzybów obecnych w osadach ściekowych powinna ona utrzymywać się na poziomie ponad 60°C przez przynajmniej 2 tygodnie, przy czym krótkotrwałe skoki temperatury powyżej tej wartości nie dają pożądanego efektu [7]. Podobne wyniki odnośnie przebiegu temperatur w procesie kompostowania w swojej pracy uzyskała Bauza-Kaszewska [1]. Autorka ta wykazała, że w cyklu jesiennym i zimowym temperatura w górnej i środkowej części przyźmy szybko wzrastała powyżej 30°C i analogicznie, jak w badaniach własnych (tab. 2) osiągała wartość maksymalną (50,1°C) w warstwie górnej w 7 dniu kompostowania w cyklu jesiennym. W cyklu zimowym natomiast najwyższa temperatura (50,8°C) w górnej części przyźmy została odnotowana w 20 dniu kompostowania [1], czyli 4 dni później niż we własnym eksperymencie (tab. 2). W doświadczeniu Bauzy-Kaszewskiej [1], zarówno w etapie jesiennym, jak i zimowym, temperatury w warstwie dolnej były, podobnie jak w badaniach własnych (tab. 2), niższe niż w innych częściach przyźmy i we wszystkich terminach oznaczeń oscylowały w okolicach 30°C. Z kolei wyniki pomiarów temperatury uzyskane przez Bauzę-Kaszewską [1] we wszystkich warstwach przyźmy w cyklu wiosennym oscylowały w granicach 15,3÷37,2°C i były wyraźnie niższe niż uzyskane w badaniach własnych (tab. 2). W cyklu tym nie stwierdziła ona także wyraźnych różnic temperatury pomiędzy poszczególnymi częściami przyźmy [1]. Zbliżone, jak w doświadczeniu własnym, wartości temperatur w procesie kompostowania osadów ściekowych uzyskali w swojej pracy Bauza-Kaszewska i in. [2], którzy odnotowali maksymalną temperaturę przyźmy równą 42,3°C. W badaniach własnych wyższe temperatury stwierdzono tylko w cyklu wiosennym. Z kolei Paluszak i in. [17] zaobserwowali, że analo-

gicznie jak w doświadczeniu własnym (tab. 2), najwyższe temperatury panują w części górnej pryzmy, a najniższe w dolnej, przy czym maksymalne wartości w każdej z warstw odnotowali w 7 dniu kompostowania, czyli tak samo jak w cyklu jesienno-zimowym w eksperymencie własnym.

Wartość pH osadów ściekowych zmieszanych ze słomą i trocinami była, w każdym terminie i wariancie, lekko zasadowa. We wszystkich cyklach badawczych najniższy odczyn badanego materiału, w zależności od części pryzmy i cyklu, stwierdzono w 7 dniu kompostowania (tab. 3). Następnie wartość pH stopniowo rosła, aż do 20 dnia, a następnie zaczęła spadać aż do 45 dnia (tab. 3). Najwyższe pH, we wszystkich częściach pryzmy w każdym terminie oznaczeń, z wyjątkiem 16 dnia, stwierdzono w cyklu drugim. W 16 dniu kompostowania bardziej zasadowy odczyn odnotowano w cyklu pierwszym (tab. 3). Natomiast najniższe wartości pH we wszystkich częściach pryzmy i terminach stwierdzono w cyklu trzecim (tab. 3). Istotne i wysoko istotne statystycznie różnice zaobserwowano w niektórych przypadkach pomiędzy cyklami badawczymi, natomiast nie stwierdzono ich między poszczególnymi częściami pryzmy. Wyjątek stanowiła część dolna i środkowa w 7 dniu pierwszego cyklu oraz środkowa i górna w 45 dniu trzeciego cyklu (tab. 3).

Uzyskany w badaniu własnym odczyn kompostowanych osadów ściekowych (tab. 3) był nieco wyższy niż w pracach innych autorów. Według Kasprzaka [13] odczyn kompostowanego osadu nie powinien jednak przekraczać 7,5. Wyższe pH masy kompostowej znacznie pogarsza warunki rozwoju mikroflory niezbędnej dla prawidłowego przebiegu procesu oraz powoduje zwiększone straty azotu [13]. Podwyższony odczyn zaobserwowany w badaniach własnych w połączeniu, z omówioną w dalszej części artykułu, nadmierną wilgotnością hamuje rozwój bakterii aerobowych i uniemożliwia osiągnięcie temperatury potrzebnej do efektywnej eliminacji grzybów. Zbliżone do badań własnych wyniki uzyskała w cyklu jesiennym badań Bauza-Kaszewska [1]. Według jej doniesień odczyn kształtował się na poziomie $8,27 \div 8,76$ i analogicznie jak w doświadczeniu własnym (tab. 3), wykazywał tendencję wzrostową w kolejnych terminach oznaczeń aż do 15 dnia [1]. W cyklu zimowym i wiosennym badań tej autorki [1] pH było mniej zasadowe niż w eksperymencie własnym (tab. 3). Najniższy odczyn Bauza-Kaszewska [1] zaobserwowała w osadach kompostowanych w okresie zimowym, czyli odmiennie jak w badaniach własnych (tab. 3). W doświadczeniu

Gantzera i in. [8] pH kompostowanego materiału wzrosło z 7,8 do 8,2 w ciągu miesiąca, natomiast według doniesień Hassouneha i in. [10] odczyn wzrasta przez pierwsze 2 tygodnie kompostowania, a następnie maleje przez około 30 dni, do poziomu zbliżonego do wyjściowego lub niższego, w zależności od metody napowietrzania. Powyższe obserwacje znajdują odzwierciedlenie w badaniach własnych, przy czym tendencja wzrostowa utrzymywała się do 20 dnia (tab. 3).

W pierwszym cyklu badawczym wilgotność przymy w 7 dniu kompostowania wynosiła 76,1% i była równa we wszystkich 3 częściach (tab. 4). W kolejnym terminie oznaczeń nieznacznie wzrosła, ale także była identyczna we wszystkich miejscach poboru próbek (tab. 4). Największą wilgotność kompostowanego materiału w tym cyklu odnotowano w 20 dniu badań (tab. 4). W 45 dniu kompostowania zaobserwowano spadek wilgotności oraz zróżnicowanie jej poziomu w zależności od części przymy. Stwierdzone różnice nie były jednak istotne statystycznie (tab. 4). W cyklu drugim wilgotność wzrosła pomiędzy 7 a 16 dniem, przy czym w obu terminach jej wartości nie różniły się w zależności od części przymy (tab. 4). W 20 dniu kompostowania wilgotność spadła do 74,0% procent we wszystkich miejscach poboru próbek, a w 45 osiągnęła wartość 63,9÷71,0% (tab. 4). Zaobserwowane w ostatnim terminie różnice pomiędzy wilgotnością w części górnej i środkowej oraz górnej i dolnej były wysoko istotne statystycznie (tab. 4).

W trzecim cyklu badawczym wilgotność w 7 dniu kompostowania wahała się od 74,7% do 76,2%, a w 16 dniu od 75,2% do 76,4% odpowiednio w części górnej i środkowej, przy czym różnice między górą a środkiem przymy były istotne statystycznie (tab. 4). W 20 dniu tego cyklu wilgotność kształtowała się na poziomie od 75,9% w warstwie dolnej do 76,9% w środkowej, a różnica między częścią dolną i środkową były istotne statystycznie (tab. 4). W ostatnim terminie oznaczeń wilgotność przymy wahała się od 73,2% do 75,0%, przy czym różnice między częścią dolną i środkową oraz środkową i górną były istotne statystycznie (tab. 4).

Tabela 3. Wartości odczynu w pryzmie w zależności od cyklu badawczego i miejsca poboru próbek
Table 3. pH values in the pile depending on the cycle of research and sampling point

Parametr	Cykl	Miejsce poboru próbek	Oznaczenie po dniu			
			7	16	20	45
Odczyn	I	Dół	7,7 ^a	8,5 ^A	8,6 ^{A,a}	8,4 ^A
		Środek	8,1 ^{a,b}	8,4 ^{B,b}	8,4 ^{B,b}	8,1 ^B
		Góra	8,0	8,5 ^C	8,6 ^{C,c}	8,2 ^c
	II	Dół	8,0	8,0 ^{A,b,C}	8,5 ^{D,d}	8,2 ^d
		Środek	8,0	8,0 ^{A,b,C}	8,5 ^{E,e}	8,3 ^e
		Góra	7,9	8,0 ^{A,b,C}	8,9 ^{B,d,e,F}	8,6 ^{B,F}
	III	Dół	7,8	8,0 ^{A,b,C}	8,1 ^{A,C,d,e,F}	8,0 ^{a,c,d,F}
		Środek	7,9	8,0 ^{A,b,C}	8,2 ^{a,c,F}	7,9 ^{A,e,F,g}
		Góra	7,7 ^b	7,9 ^{A,B,C}	8,0 ^{A,b,C,D,E,F}	8,3 ^g

A-A, B-B, ... – różnice wysoko istotne statystycznie ($p \leq 0,01$),
a-a, b-b, ... – różnice istotne statystycznie ($p \leq 0,05$).

Tabela 4. Wilgotność materiału w pryzmie w zależności od cyklu badawczego i miejsca poboru próbek
Table 4. Moisture content in material in the pile depending on the cycle of research and sampling point

Parametr	Cykl	Miejsce poboru próbek	Oznaczenie po dniu			
			7	16	20	45
Wilgotność [%]	I	Dół	76,1 ^a	76,2 ^a	77,0 ^{A,a}	74,9 ^{A,a}
		Środek	76,1 ^b	76,2 ^b	77,0 ^{B,b}	74,5 ^{B,b}
		Góra	76,1 ^c	76,2 ^c	77,0 ^{C,c}	74,1 ^{C,c}
	II	Dół	77,2 ^{a,b,c,D,d}	78,0 ^{a,b,c,D,d}	74,0 ^{A,B,C,D,d}	71,0 ^{A,B,C,D}
		Środek	77,2 ^{a,b,c,E,e}	78,0 ^{a,b,c,E,e}	74,0 ^{A,B,C,E,e}	70,9 ^{A,B,C,E}
		Góra	77,2 ^{a,b,c,F,f}	78,0 ^{a,b,c,F,f}	74,0 ^{A,B,C,F,f}	63,9 ^{A,B,C,D,E,F}
	III	Dół	75,4 ^{d,e,f}	76,0 ^{D,E,F}	75,9 ^{a,b,c,d,e,f,g}	75,0 ^{D,E,F,g}
		Środek	76,2 ^{d,e,f,g}	76,4 ^{d,e,f,g}	76,9 ^{D,E,F,g}	73,2 ^{a,b,c,D,E,F,g,h}
		Góra	74,7 ^{a,b,c,D,E,F,g}	75,2 ^{a,b,c,D,E,F,g}	76,4 ^{D,E,F}	74,3 ^{D,E,F,h}

A-A, B-B, ... – różnice wysoko istotne statystycznie ($p \leq 0,01$)

a-a, b-b, ... – różnice istotne statystycznie ($p \leq 0,05$)

W badaniach Bauzy-Kaszewskiej [1] wilgotność kompostowanego materiału kształtowała się w granicach 63,70÷77,35%, a więc na podobnym poziomie, jak w badaniach własnych (tab. 4). Glathe i in. [9] uważają, że wilgotność kompostowanego materiału powinna mieścić się w granicach 40÷71%, natomiast Rodale i in. [20] za właściwy przyjmują zakres 50÷60%. Powyższe dane wskazują na nieco zbyt wysoki poziom uwodnienia kompostowanego materiału, co mogło zakłócać przebieg procesu. Nadmierna wilgotność kompostowanego materiału utrudnia dopływ tlenu do poszczególnych części pryzmy, przez co ogranicza rozwój mikroflory aerobowej prowadzącej procesy rozkładu i syntezy związków organicznych. Słaby wzrost populacji bakterii tlenowych skutkuje z kolei brakiem zjawiska samozagrzewania się kompostowanego materiału, co w pewnym stopniu tłumaczy tak niskie temperatury używane w trakcie eksperymentu [13].

3.1. Zmiany liczby populacji grzybów w kompostowanych osadach ściekowych

Wyniki badań mikologicznych kompostowanych osadów ściekowych przedstawiono w tabelach 5 i 6.

W każdym cyklu badawczym we wszystkich częściach pryzmy w poszczególnych terminach oznaczeń stwierdzono dość znaczny poziom skażenia badanego materiału grzybami drożdżoidalnymi. W pierwszym cyklu liczba tych grzybów utrzymywała się przez cały okres badań na poziomie 10^5 ÷ 10^6 jtk/g (tab. 5). Największą liczbę grzybów drożdżoidalnych w tym cyklu stwierdzono w dolnej części pryzmy, a najmniejszą wykryto w warstwie środkowej pryzmy (tab. 5). Różnice istotne statystycznie pomiędzy częścią dolną i środkową oraz środkową i górną w tym cyklu stwierdzono tylko w 45 dniu kompostowania (tab. 5). W tym etapie badań nie zarysowała się wyraźna tendencja spadkowa.

Również w drugim cyklu badawczym największa liczba grzybów drożdżoidalnych, we wszystkich terminach, była obecna w dolnej części pryzmy (tab. 5). Natomiast najmniejszą liczbę tych grzybów, podobnie jak w cyklu pierwszym, stwierdzono w warstwie środkowej (tab. 5). W tym cyklu badawczym spadek liczby grzybów drożdżoidalnych był bardziej widoczny. Między 20 a 45 dniem kompostowania nastąpiła ich eliminacja o od 2 log w warstwie dolnej do ok. 4 log w części środkowej (tab. 5). Wysoko istotne statystycznie różnice stwierdzono tylko między

liczbą grzybów drożdżoidalnych w dolnej i środkowej oraz górnej części, a także pomiędzy środkową i górną warstwą w 45 dniu kompostowania (tab. 5).

W trzecim cyklu badawczym największą liczbę grzybów drożdżoidalnych stwierdzono w części środkowej w 7 dniu kompostowania oraz w części dolnej w 20 dniu badań (tab. 5). W tym etapie liczba grzybów drożdżoidalnych kształtowała się na poziomie $4,50 \times 10^3 \div 2,00 \times 10^7$ jtk/g w warstwie dolnej, $4,50 \times 10^2 \div 4,50 \times 10^7$ jtk/g w środkowej oraz $3,00 \times 10^3 \div 6,00 \times 10^6$ w górnej w zależności od terminu oznaczeń (tab. 5). Wysoko istotne statystycznie różnice pomiędzy częściami przyzmy stwierdzono w 7, 16 i 45 dniu, a istotne statystycznie między warstwą dolną i górną oraz środkową i górną w 20 dniu kompostowania (tab. 5). Spadki liczby grzybów drożdżoidalnych odnotowane między 20 a 45 dniem badań były wyższe niż w cyklu drugim i wynosiły od ok. 3 log w części dolnej i górnej do ok. 4 log w środkowej (tab. 5). Największą eliminację grzybów drożdżoidalnych w tym cyklu badań można tłumaczyć faktem odnotowania w tym okresie najwyższych temperatur we wszystkich częściach przyzmy (tab. 2).

Zaobserwowany we wszystkich cyklach badawczych najwyższy spadek liczby grzybów drożdżoidalnych w środkowej części przyzmy również można wyjaśniać fakt, że odnotowywane w tej warstwie temperatury były najwyższe (tab. 2).

W pierwszym i drugim cyklu badawczym grzyby pleśniowe były izolowane znacznie rzadziej i w mniejszej liczbie niż drożdże.

W pierwszym etapie tylko w dolnej warstwie przyzmy pleśnie był obecne we wszystkich terminach oznaczeń (tab. 6). Ich liczba w tej części zmalała z $7,00 \times 10^5$ jtk/g w 7 dniu do $1,50 \times 10^4$ jtk/g w dniu 45 (tab. 6). W warstwie środkowej przyzmy w tym cyklu nie stwierdzono obecności grzybów pleśniowych, a w części górnej wykryto je tylko w 7 dniu kompostowania w liczbie $3,00 \times 10^5$ (tab. 6). Różnica pomiędzy liczbą pleśni w dolnej i górnej warstwie w 7 dniu kompostowania była istotna statystycznie (tab. 6).

Tabela 5. Zmiany liczby grzybów drożdżoidalnych w pryzmie w zależności od cyklu badawczego i miejsca poboru próbek

Table 5. Changes in the number of yeast-like fungi in the pile depending on the cycle of research and sampling point

Parametr	Cykl	Miejsce poboru próbek	Oznaczenie po dniu			
			7	16	20	45
Liczba grzybów drożdżoidalnych [jtk/g]	I	Dół	$6,80 \times 10^{6A,a}$	$5,20 \times 10^{6A,a}$	$6,80 \times 10^{6A,a}$	$4,50 \times 10^{6A}$
		Środek	$3,80 \times 10^{6B}$	$3,00 \times 10^{6B}$	$5,00 \times 10^{6b}$	$2,00 \times 10^{5A,B}$
		Góra	$5,80 \times 10^{6C,c}$	$4,50 \times 10^{6C}$	$6,70 \times 10^{6C,c}$	$3,00 \times 10^{6B,C}$
	II	Dół	$5,20 \times 10^{6D}$	$3,90 \times 10^{6D}$	$2,80 \times 10^{6a,c,d}$	$2,40 \times 10^{4A,B,C,D}$
		Środek	$3,30 \times 10^{6a,E}$	$2,90 \times 10^{6E}$	$1,10 \times 10^{6A,b,c,E}$	$2,80 \times 10^{2A,B,C,D,E}$
		Góra	$4,10 \times 10^{6F}$	$3,90 \times 10^{6F}$	$2,10 \times 10^{6a,c,f}$	$7,20 \times 10^{3A,B,C,D,E,F,f}$
	III	Dół	$3,00 \times 10^{6a,G}$	$2,00 \times 10^{7A,B,C,D,E,F,G,H}$	$3,00 \times 10^{6a,c,g}$	$4,50 \times 10^{3A,B,C,D,E,G}$
		Środek	$4,50 \times 10^{7A,B,C,D,E,F,G,H}$	$3,00 \times 10^{6G}$	$2,00 \times 10^{6a,b,c,h}$	$4,50 \times 10^{2A,B,C,D,F,G,H}$
		Góra	$1,50 \times 10^{6A,c,H}$	$2,00 \times 10^{6a,H}$	$6,00 \times 10^{6d,E,f,g,h}$	$3,00 \times 10^{3A,B,C,D,E,f,H}$

A-A, B-B, ... – różnice wysoko istotne statystycznie ($p \leq 0,01$)

a-a, b-b, ... – różnice istotne statystycznie ($p \leq 0,05$)

Tabela 6. Zmiany liczby grzybów pleśniowych w pryzmie w zależności od cyklu badawczego i miejsca poboru próbek

Table 6. Changes in the number of mold fungi in the pile depending on the cycle of research and sampling point

Parametr	Cykl	Miejsce poboru próbek	Oznaczenie po dniu			
			7	16	20	45
Liczba grzybów pleśniowych [jtk/g]	I	Dół	$7,00 \times 10^{5 A,a}$	$5,00 \times 10^{5 A}$	$4,00 \times 10^{5 A}$	$1,50 \times 10^{4 A}$
		Środek	n.w.*	n.w.	n.w.	n.w.
		Góra	$3,00 \times 10^{5 a,B}$	n.w.	n.w.	n.w.
	II	Dół	$4,00 \times 10^{5 a,C}$	n.w.	$2,00 \times 10^{5 B}$	$3,50 \times 10^{2 A,B}$
		Środek	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.
		Góra	$2,00 \times 10^{5 a,D}$	n.w.	n.w.	n.w.
	III	Dół	$4,50 \times 10^{7 A,B,C,D,E}$	$9,50 \times 10^{7 A,B}$	$4,50 \times 10^{5 C}$	$1,50 \times 10^{3 A,B,C}$
		Środek	$6,00 \times 10^{6 A,B,C,D,E}$	$4,50 \times 10^{6 A,B,c}$	$4,50 \times 10^{6 A,B,C,D}$	$4,50 \times 10^{2 A,C,D}$
		Góra	$4,50 \times 10^{6 A,B,C,D,E}$	$1,50 \times 10^{6 A,B,c}$	$4,50 \times 10^{5 D}$	$1,50 \times 10^{4 C,D}$

A-A, B-B, ... – różnice wysoko istotne statystycznie ($p \leq 0,01$)

a-a, b-b, ... – różnice istotne statystycznie ($p \leq 0,05$)

* n.w. – nie wykryto

W drugim cyklu badawczym nie wykryto obecność grzybów pleśniowych w środkowej części pryzmy w żadnym z terminów oznaczeń (tab. 6). Pleśnie występowały natomiast w próbkach pobranych z dolnej warstwy, z wyjątkiem 16 dnia kompostowania oraz w próbkach z części górnej, pochodzących z 7 dnia realizacji procesu (tab. 6). Liczba grzybów pleśniowych w trakcie drugiego cyklu w warstwie dolnej zmalała z poziomu $4,00 \times 10^5$ jtk/g w 7 dniu do $3,50 \times 10^2$ jtk/g w 45 dniu (tab. 6).

W trzecim cyklu badawczym pleśnie występowały w badanym materiale we wszystkich częściach pryzmy w każdym z terminów. W warstwie dolnej ich liczba zmalała z $4,50 \times 10^7$ jtk/g do $1,50 \times 10^3$ jtk/g, przy czym najwięcej ($9,50 \times 10^7$ jtk/g) było ich w 16 dniu kompostowania (tab. 6). W części środkowej miał miejsce spadek liczby izolowanych grzybów pleśniowych z $6,00 \times 10^6$ jtk/g w 7 dniu do $1,50 \times 10^3$ jtk/g w 45 dniu (tab. 6). W warstwie górnej spadek był mniej wyraźny i wyniósł ok. 2 log (tab. 6). We wszystkich terminach oznaczeń w trzecim cyklu badań stwierdzono wysoko istotne statystycznie różnice pomiędzy liczbą pleśni obecnych w próbkach pobieranych z części dolnej, a tymi ze środkowej i górnej (tab. 6).

Fakt, że grzybów pleśniowych nie stwierdzono w warstwie środkowej pryzmy w cyklu I i II oraz że ich liczba w tej części była najniższa w ostatnim terminie oznaczeń cyklu III może wyjaśniać to, że właśnie w tej warstwie notowano najwyższe temperatury.

Zasobność łatwo dostępnych substancji pokarmowych w osadach ściekowych czyni je doskonałym siedliskiem dla rozwoju mikoflory [16]. Przeciętna liczba grzybów w kompostowanym materiale waha się w granicach 10^3 - 10^6 jtk/g [7]. W badaniach Budzińskiej i in. [6] liczba drożdży w surowym osadzie ściekowym wahała się w granicach $3,81 \times 10^5$ do $1,14 \times 10^7$ jtk/g, a pleśni $1,04 \times 10^4$ do $3,80 \times 10^4$ jtk/g. W badaniach własnych liczba grzybów drożdżoidalnych kształtowała się na zbliżonym poziomie (tab. 5), natomiast liczba izolowanych pleśni była większa (tab. 6). Budzińska [4] w badanych przez siebie osadach z różnych oczyszczalni odnotowała liczbę grzybów pleśniowych na poziomie 10^3 - 10^6 jtk/g. Zbliżone do wyników własnych (tab. 5 i 6) rezultaty uzyskała Szejniuk [24], która z poddawanych kompostowaniu osadów ściekowych izolowała grzyby w liczbie $1,81 \times 10^4$ - $4,57 \times 10^6$ jtk/g. Bauza-Kaszewska i in. [2] stwierdzili, że liczba grzybów w badanych przez nich osadach kształtowała się na poziomie $4,27 \times 10^4$ jtk/g, czyli była niższa

niż w doświadczeniu własnym (tab. 5 i 6). Autorzy ci wykazali, że najszybciej spadek liczebności populacji tych drobnoustrojów w procesie kompostowania osadów zachodził w środkowej części pryzmy. Redukcja o 2 log nastąpiła w tej warstwie już po 9 dniach realizacji procesu [2]. W badaniu własnym również największe spadki liczby grzybów we wszystkich cyklach stwierdzono w części środkowej (tab. 5 i 6). Bauza-Kaszewska i in. [2] w warstwie górnej i dolnej spadek populacji grzybów o 2 log uzyskali po 52 dniach kompostowania, a więc eliminacja grzybów była wolniejsza niż w eksperymencie własnym (tab. 5 i 6). Według doniesień tych autorów spadek liczebności populacji grzybów w kompostowanych osadach ściekowych zachodził najwolniej w części dolnej pryzmy, gdyż jeszcze po 30 dniach trwania procesu izolowali oni z tej warstwy grzyby w liczbie $1,60 \times 10^4$ jtk/g [2]. Analogiczną tendencję zaobserwowano w badaniu własnym (tab. 5 i 6). Przy stosunkowo niskich temperaturach kompostowanego materiału można przypuszczać, że długotrwałe utrzymywanie się pH na poziomie powyżej 8,0 (tab. 3) może wywierać letalny wpływ na grzyby pleśniowe i drożdżoidalne preferujące odczyn lekko kwaśny (optymalne pH=5,6). Wyjaśniałoby to spadek liczby grzybów, widoczny szczególnie w ostatnim terminie oznaczeń. Największy spadek liczby grzybów pleśniowych i drożdżoidalnych obserwowany pomiędzy 20 a 45 dniem kompostowania tłumaczy też fakt, że interwał wynosił w tym przypadku aż 25 dni, a pomiędzy pozostałymi terminami oznaczeń był znacznie krótszy.

W ramach analizy statystycznej uzyskanych wyników zbadano także korelacje pomiędzy liczbą grzybów drożdżoidalnych i pleśniowych a wilgotnością, odczynem i temperaturą (tab. 7). Uzyskane wyniki wskazują, że istnieje wysoko istotna statystycznie, ale słaba (wg skali Stanisza) korelacja dodatnia pomiędzy liczbą grzybów drożdżoidalnych a wilgotnością pryzmy oraz istotna statystycznie, ale słaba (wg skali Stanisza) korelacja ujemna pomiędzy liczbą grzybów pleśniowych, a odczynem badanego materiału (tab. 7). Pozostałe badane korelacje nie są istotne statystycznie (tab. 7). Szczególnie interesujący jest brak istotnej statystycznie korelacji pomiędzy liczbą grzybów a temperaturą, co wynika prawdopodobnie z faktu, że w trakcie badań kompostowany materiał nie zagrzał się w stopniu wystarczającym do pełnej higienizacji. Z powyższych rozważań wynika, że mierzone parametry badanego materiału tylko w bardzo nieznacznym stopniu przyczyniają się do wyjaśnie-

nia zmian liczby grzybów zachodzących w czasie kompostowania. Może to świadczyć o niewłaściwym przebiegu całego procesu w przyrodzie doświadczalnej.

Tabela 7. Korelacje pomiędzy liczbą grzybów drożdżoidalnych i pleśniowych a wilgotnością, odczynem i temperaturą

Table 7. Correlations between the number of yeast-like and mold fungi and humidity, pH and temperature

Współczynniki korelacji Pearsona			
	Wilgotność	Odczyn	Temperatura
Liczba grzybów drożdżoidalnych	r = 0,24 0,01*	r = -0,18 0,06	r = -0,06 0,56
Liczba grzybów pleśniowych	r = 0,06 0,55	r = -0,21 0,03	r = -0,05 0,59

* – poziom istotności korelacji (korelacja istotna $p \leq 0,05$; korelacja wysoko istotna $p \leq 0,01$)

4. Wnioski

1. Ocena mikologiczna osadów ujawniła znaczny poziom ich zanieczyszczenia grzybami drożdżoidalnymi i pleśniowymi, co może stwarzać zagrożenie zdrowotne.
2. Największą liczbę grzybów stwierdzono w części dolnej przyzmy we wszystkich etapach z wyjątkiem pleśni w cyklu wiosennym (III).
3. Przeprowadzone oceny temperatury, odczynu i wilgotności kompostowanego materiału wykazały, że był on nieco zbyt uwodniony, a jego temperatura mogła nie być wystarczająco wysoka dla eliminacji grzybów.
4. Przebieg zmian temperatury, odczynu i wilgotności oraz liczby grzybów w pewnym stopniu był zależny od części przyzmy, z której pobierano próbki oraz od cyklu badawczego.
5. Stwierdzono słabą korelację dodatnią pomiędzy liczbą grzybów drożdżoidalnych a wilgotnością przyzmy oraz słabą korelację ujemną pomiędzy liczbą grzybów pleśniowych a odczynem badanego materiału, jednak zmierzone parametry nie miały znaczącego wpływu na zmiany liczebne populacji grzybów w kompoście.

6. Proces kompostowania w przyzmiem doświadczalnej nie przebiegał prawidłowo, w związku z czym konieczne są dalsze badania w zmienionych warunkach.
7. W okresie prowadzenia badań w większości przypadków nie stwierdzono pełnej higienizacji kompostowanych osadów ściekowych.

Podziękowania

Publikacja oraz udział w X Ogólnopolskiej Konferencji w problematyce inżynierii środowiska pt. "Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska" finansowane ze stypendium w ramach projektu stypendialnego „Krok w przyszłość – stypendia dla doktorantów III edycja” realizowanych w ramach Poddziałania 8.2.2 Regionalne strategie innowacji Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki 2007÷2013 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego, budżetu państwa oraz budżetu województwa kujawsko-pomorskiego.

Literatura

1. **Bauza-Kaszewska J.:** *Mikrobiologiczne badania kompostowanych osadów pościekowych przeznaczonych do użytku rolniczego.* Rozprawa doktorska, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, 2004.
2. **Bauza-Kaszewska J., Paluszak Z., Skowron K.:** *Wpływ kompostowania osadów ściekowych na liczebność wybranych grup drobnoustrojów autochtonicznych.* Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 10, 2 (30), 19÷27, 2010.
3. **Bazeli M.:** *Higieniczna i sanitarna ocena osadów pościekowych uzdatnianych przy użyciu wybranych metod fizycznych i chemicznych.* Rozprawa doktorska, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, 2005.
4. **Budzińska K.:** *Mikrobiologiczna ocena osadów z oczyszczalni ścieków komunalnych.* Pr. Kom. Nauk Roln. i Biol., BTN Bydgoszcz, 45, 33, 177÷189, 1999.
5. **Budzińska K.:** *Bakteriologiczna ocena osadów surowych i składowanych na poletkach osadowych z oczyszczalni ścieków bytowych.* Ekologia i Technika IX (2), 56÷63, 2001.
6. **Budzińska K., Rzepczyk B., Michalska M.:** *Mikologiczna ocena osadów surowych i składowanych z oczyszczalni ścieków bytowych.* Mat. Konf. Nauk. "Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska", Ustronie Morskie, 495÷506, 2003.

7. **Chroni C., Kyriacou A., Georgaki I., Manios T., Kotsou M., Lasaridi K.:** *Microbial characterization during composting of biowaste.* Waste Manag., 29, 1520–1525, 2009.
8. **Gantzer C., Gaspard P., Galvez L., Huyard A., Dumouthier N., Schwartzbrod J.:** *Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge.* Wat. Res., 35 (16), 3763–3770, 2001.
9. **Glathe H., Küster E., Niese G., Klopotek A.:** *Biologie der Rotteprozesse bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen.* In: Müll-Handbuch, Kennziffer 5200÷5290, Lieferung 2/85, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1985.
10. **Hassouneh O., Jamatah A., Qaisi K.:** *Sludge stabilization by composting a Jordanian case study.* Bioprocess Eng., 20, 413–421, 1999.
11. **Hryńczuk B., Weber R.:** *Wartość nawozowa kompostów z osadu ściekowego, słomy i z węgla brunatnego. Kompostowanie i użytkowanie kompostu.* Wyd. Ekoinżynieria. Puławy-Warszawa, 133–138, 1999
12. **Jędrzszak A.:** *Technologie przetwarzania odpadów biodegradowalnych.* Inż. Ekol., 10, 78–90, 2005.
13. **Kasprzak K.:** *Założenia teoretyczne i wymogi praktyczne kompostowania odpadów organicznych.* Przegląd Komunalny, 9, 99–100, 1998.
14. **Latała A., Krzyśko T., Zydróż K., Namysło P.:** *Zastosowanie mikrobiologiczne płynnego pomiotu z ferm drobiarskich.* Mat. VII Symp. Drob., Polanica-Zdrój, 1993.
15. **Maciak F.:** *Ochrona i rekultywacja środowiska.* Wyd. SGGW, 2003.
16. **Nowak D., Wójcik-Szwedzińska M., Bień J.:** *Charakterystyka osadów w aspekcie mikrobiologicznym.* Mat. VII Konf. Nauk.-Techn., Wyd. Polit. Częstoch. Konfer. 23, 21–25, Częstochowa-Ustroń 16-18 czerwca 1998.
17. **Paluszak Z., Bauza-Kaszewska J., Ligocka A.:** *Przeżywalność pałeczek Salmonella Senftenberg W775 w osadach pościekowych poddanych procesowi kompostowania.* Medycyna Wet., 59, 239–243, 2003.
18. **Paluszak Z., Bauza-Kaszewska J., Ligocka A., Olszewska H.:** *Mikrobiologisch-seuchenhygienische Untersuchungen bei der Kompostierung von Klarschlamm zur landwirtschaftlichen Verwertung.* Tierarztl. Umschau, 58, 297–303, 2003.
19. **Paluszak Z., Bauza-Kaszewska J., Ligocka A.:** *Fate of enterococci in composted sewage sludge.* Bull. Vet. Inst. Puławy 48, 29–32, 2004.
20. **Rodale Y.J., Rodale R., Goldman M.C., Franz M., Minnich J.:** *The complete book of composting.* 10.Auflage, Rodale Books INC. Emmaus. Pa., 1971.
21. **Siuta J., Dusik L., Lis W.:** *Kompostowanie osadu ściekowego w Sierpcu.* Inż. Ekol., 19, 97–105, 2007.

22. **Strauch D.:** *Survival of pathogenic microorganisms and parasites in excreta, manure and sewage sludge.* Rev. Sci. Tech., 10 (3), 813÷846, 1991.
23. **Szala B., Paluszak Z.:** *Wykorzystanie paciorkowców kałowych w mikrobiologicznej ocenie procesu higienizacji kompostowanych osadów ściekowych.* Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 10, 2 (30), 179÷188, 2010.
24. **Szejniuk B.:** *Badania mikologiczne kompostu z odpadów komunalnych.* Pr. Kom. Nauk Roln. I Biol. BTN, ser. B, 46, 121÷127, 2000.
25. **Ulfig K.:** *Grzyby keratynofilne w osadach ściekowych.* Rocznik PZH, XLII, 3, 309÷315, 1991.
26. **Wieczorek A.:** *Źródła i oddziaływanie odorantów emitowanych z kompostowni odpadów.* Przegląd komunalny, 11, 104÷108, 2005.

The Effect of Composting Process on Changes in Quantity of Yeast and Mould Fungi Population

Abstract

Sewage sludge is a valuable fertilizer, but its agricultural usage may be difficult because of the presence of pathogenic bacteria, viruses and fungi. Fungi present in the sewage sludge may cause fungal infections, allergic reactions and mycotoxin poisoning. Accordingly, the hygienisation of sewage sludge is necessary prior to their application on fields. One of the oldest and most widely used methods is composting of sludge with the addition of the plant material.

The aim of the study was to investigate quantitative changes in populations of yeast and mould fungi in composted sewage sludge from municipal sewage treatment plants.

The research material was digested sewage sludge from municipal sewage treatment plant. The experience was carried out in a technical scale. Before starting the composting process, the sewage sludge was mixed with straw and sawdust in proportions of 1.0: 0.7: 0.3. The material prepared this way, was piled in a hall and periodically mechanically mixed for aeration. The experiment was conducted in three research cycles – cycle I (autumn-winter season), cycle II (winter season) and cycle III (spring season). Samples for testing were taken at each cycle from bottom, middle and top part of pile after 7, 16, 20 and 45 days counting from the date of its construction. Three replications were made for each location and each sampling term. Each time the measurement of temperature, humidity and pH in particular parts of the pile was made. Fungi were counted with the plate method using Sabouraud agar with 4% dextrose and

Sabouraud agar with chloramphenicol. Yeast were counted after 3 days of incubation and mould fungi were counted after 7 days of incubation at 25°C. Obtained results were statistically analyzed with SAS 9.2 PL.

Measured temperatures were different depending on the research cycle and part of pile. In autumn-winter season (cycle I) temperature was 22.5-49.4°C, in winter season (cycle II) it ranged from 24.5 to 47.7°C and in spring season (cycle III) it was on the level of 35.3-55.4°C. In cycle I and II the highest temperatures in all sampling terms were noted in top part of pile and in cycle III in the middle part. The pH of the tested material was slightly alkaline, and its value ranged from 7.7 to 8.9. In all cycles and parts of pile pH tended to increase, which last up to 20th day of composting. The humidity of pile ranged from 63.9 to 78.0% and was slightly higher than the optimum provided for the composting process.

The number of yeast at 7th day of composting ranged from 10^6 to 10^7 cfu/g and at 45th day was lower and shaped on the level of 10^2 - 10^6 cfu/g. The lowest decrease of these fungi was noted in cycle I, and the highest one in cycle III. In all cycles and sampling terms the most of yeast occurred in the bottom part of pile. The greatest number of mould fungi was also noted in the bottom part of pile. The number of these fungi was on the level of 10^5 - 10^7 cfu/g at 7th day of composting, and it decreased to 10^2 - 10^4 cfu/g at 45th. In cycle I and II, mold fungi were not isolated in the middle part of the pile and in the top part starting from 16th day. In cycle III the decline in the number of these fungi was at the level of 2-4 log.

Positive correlation was found between the number of yeast and humidity of prism and a negative correlation between the number of mould fungi and the pH of the tested material.

Concluding it can be stated that during the research, in most cases, there was no full hygienization effect in composted sewage sludge.