

Katedra Mikrobiologii Rolniczej Akademii Rolniczej w Lublinie  
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, Poland  
081-532-30-47, wew. 104, 143, e-mail: jolanta.joniec@lublin.pl

JOLANTA JONIEC, JADWIGA FURCZAK

**Liczebność wybranych grup drobnoustrojów  
w glebie bielcowej pod uprawą wierzby (*Salix viminalis* L.)  
użyźnionej osadem ściekowym w trzecim roku jego działania**

Numbers of selected microbial groups in a podzolic soil under willow culture  
(*Salix viminalis* L.), amended with sewage sludge, in the third year of its effect

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych na glebie bielcowej pochodzącej spod uprawy wierzby (*Salix viminalis* L.) użyźnionej różnymi dawkami osadu ścieków komunalno-przemysłowych (1, 2, 5, 5, 10 i 20%). Analizy przeprowadzono w trzecim roku trwania doświadczenia, celem określenia wpływu zastosowanego odpadu na liczebność wybranych grup mikroorganizmów w glebie.

Wyniki otrzymane dla gleby z poziomu Ap wykazały utrzymywanie się stymulującego wpływu osadu na liczebność wszystkich analizowanych grup drobnoustrojów. Pobudzenie rozwoju bakterii oligo- i makrotroficznych było widoczne w prawie wszystkich, a grzybów nitkowatych we wszystkich obiektach i narastało wraz ze wzrostem dawki odpadu. Również w przypadku bakterii i grzybów celulolitycznych oraz „proteolitycznych” stymulacja potęgowała się wraz ze wzrostem dawki i wystąpiła najwyraźniej w obiektach z wyższą zawartością osadu (5, 10 i 20%).

W glebie głębiej położonej oddziaływanie osadu uwidoczniło się zdecydowanie słabiej niż w poziomie Ap. Odnotowano wprawdzie niewielką stymulację rozwoju bakterii oligotroficznych i grzybów celulolitycznych oraz wyraźniej zaznaczający się wzrost liczby grzybów nitkowatych, ale tylko w obiektach z wyższymi stężeniami osadu. Ponadto stwierdzono dodatnie korelacje pomiędzy liczebnościami wszystkich analizowanych grup drobnoustrojów.

**Słowa kluczowe:** liczebność bakterii, liczebność grzybów, osady ściekowe, wierzba (*Salix viminalis* L.)

WSTĘP

Walory nawozowe i próchnicotwórcze osadów ściekowych podkreślano wielokrotnie [Flis-Bujak i in. 1995; Baran i in. 2002; Skorbiłłowicz 2002; Wierzbicki 2003; Kusza 2006]. Jednak ich przyrodnicze wykorzystanie w Polsce na tle innych krajów europej-

skich jest nadal niewielkie [Baran i in. 2002; Przewrocki i in. 2004]. Tymczasem taki sposób zagospodarowania wciąż wzrastającej ilości osadów jest zdaniem wielu autorów najkorzystniejszą formą recyklingu [During i Gath 2002; Rosik-Dulewska 2002, Butarewicz 2003; Kusza 2006]. Jednym z wariantów przyrodniczego wykorzystania tych odpadów jest zastosowanie w rolnictwie do nawożenia gleb przeznaczonych pod uprawę roślin alternatywnych [During i Gath 2002; Rosik-Dulewska 2002; Kusza 2006].

Osady ściekowe ze względu na swój skład, obfitujący m.in. w węglową i azotową materię organiczną, wpływają nie tylko na rośliny, ale również na mikroorganizmy glebowe. Z dotychczasowych badań wynika, że większość prac z tego zakresu dotyczy aktywności biochemicznej mikroorganizmów glebowych. Oddziaływaniu tych odpadów na liczbę drobnoustrojów poświęcono niewiele uwagi [Sastre i in. 1996; Kelly i in. 1999]. W związku z tym celem niniejszej pracy była ocena natężenia i kierunku zmian w rozwoju wybranych grup mikroorganizmów w glebie spod plantacji wierzby (*Salix viminalis* L.), nawiezionej przed trzema laty osadem ścieków komunalno-przemysłowych.

#### METODY

Badania wykonano na modelu doświadczenia polowego założonego w Końskich, przez Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego Akademii Rolniczej w Lublinie. Poziom akumulacyjny gleby bielcowej, wytworzonej z piasku słabo gliniastego nawieziono przefermentowanym osadem ścieków komunalnych (70%) oraz przemysłowych (30%), pochodzącym z Mechaniczno-Biologicznej Oczyszczalni Ścieków w Końskich. Odpad wprowadzono do poziomu Ap gleby w następujących dawkach 30 Mg·ha<sup>-1</sup> (1%), 75 Mg·ha<sup>-1</sup> (2,5%), 150 Mg·ha<sup>-1</sup> (5%), 300 Mg·ha<sup>-1</sup> (10%) i 600 Mg·ha<sup>-1</sup> (20%). Tak przygotowaną glebę obsadzono po upływie 4 tygodni wierzwą (*Salix viminalis* L.). Kontrolę doświadczenia stanowiła gleba pod uprawą tej rośliny nie nawieziona osadem.

Skład granulometryczny gleby oraz niektóre właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleby, a także wniesionego do niej osadu zamieszcza Wójcikowska-Kapusta i in. [2000] oraz Żukowska i in. [2002]. Zastosowany osad zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami kwalifikował się do wykorzystania rolniczego [Jaworska 2002].

Próbki gleby do analiz pobierano z warstwy od 0–20 cm i 20–40 cm trzykrotnie (30.05.2000; 29.07.2000; 28.10.2000), w trzecim roku trwania doświadczenia. W materiale glebowym każdorazowo określano:

- tzw. ogólną liczbę bakterii o małych wymaganiach pokarmowych;
- tzw. ogólną liczbę bakterii o dużych wymaganiach pokarmowych;
- tzw. ogólną liczbę grzybów nitkowatych;
- liczebność bakterii celulolitycznych;
- liczebność grzybów celulolitycznych;
- liczebność bakterii i grzybów rozkładających białko;
- odczyn gleby;
- wilgotność gleby.

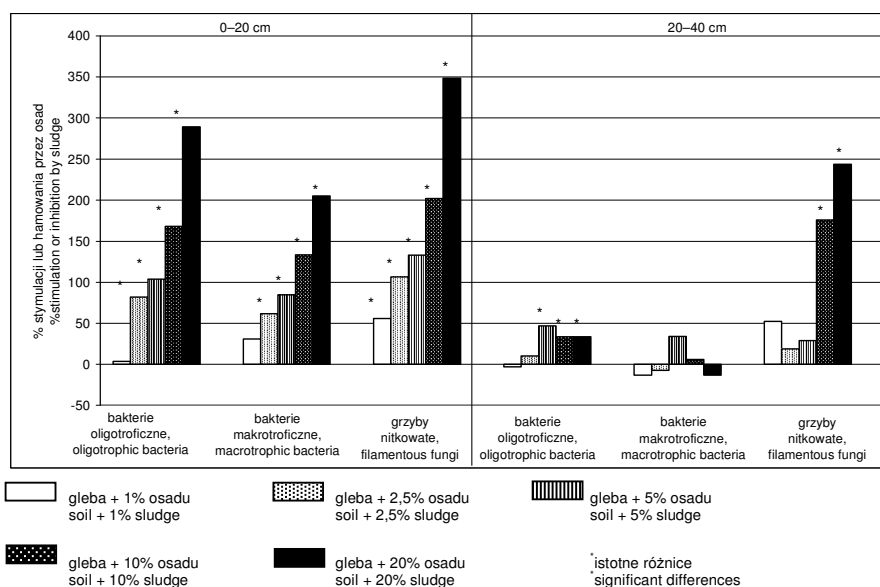
Szczegółowy opis metodyki zawarty został w pracy Joniec i Furczak 2007a.

Otrzymane wyniki poddano opracowaniu statystycznemu metodą analizy wariancji. Istotność różnic określono testem Tukeya, przy  $p = 0,05$ . Oznaczono również współczynniki korelacji, posługując się programem bibliotecznym CORE charakterystyki pró-

by wielu zmiennych. Analizy wariancji nie przeprowadzono dla bakterii celulolitycznych, ponieważ przy obliczaniu ich liczby posługiwano się tablicami Mc Crady'ego, opartymi na zasadach statystyki matematycznej.

#### WYNIKI I DYSKUSJA

W trzecim roku oddziaływania osadu na glebę odnotowano w poziomie Ap istotną stymulację rozwoju bakterii oligo- i makrotróficznycy oraz grzybów nitkowatych (tab. 1, rys. 1). W przypadku obu grup bakterii oddziaływanie odpadu zaznaczyło się począwszy od 2,5% jego dawki, natomiast wpływ odpadu na rozwój grzybów uwidocznił się we wszystkich obiektach. Stymulacja rozwoju omawianych grup mikroorganizmów narastała wraz ze wzrostem zawartości osadu w glebie. Porównanie niniejszych wyników z danymi uzyskanymi we wcześniejszych latach wskazuje, że w trzecim roku stymulacja przez osad rozwoju bakterii oligo- i makrotróficznycy była słabsza niż w pierwszym i silniejsza niż w drugim roku trwania doświadczenia [Furczak i Joniec 2007; Joniec i Furczak 2007a]. Natomiast pobudzenie przez osad rozwoju grzybów nitkowatych było większe niż w latach poprzednich [Furczak i Joniec 2007; Joniec i Furczak 2007a]. Wzrost liczby bakterii oligotróficznycy i grzybów nitkowatych w doświadczeniach polowych po kilku latach oddziaływania osadu na glebę odnotowali również inni autorzy [Sastre i in. 1996; Kelly i in. 1999].



Rys. 1. Ogólne liczebności bakterii i grzybów w glebie biellicowej, średnie roczne  
Fig. 1. Total number of bacteria and fungi in the podzolic soil, annual mean

Tabela 1. Ogólna liczebność wybranych grup bakterii i grzybów w glebie

Table 1. Total number of selected group of bacteria and fungi in the soil

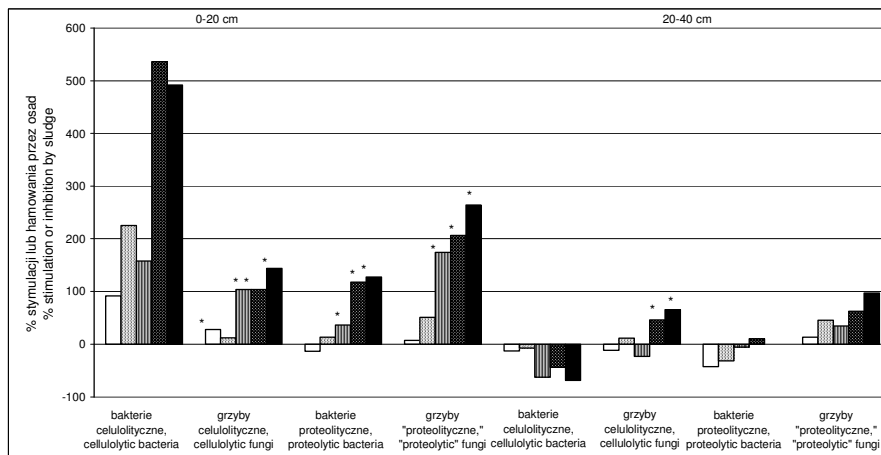
Kombinacje doświadczalne Treatments	Głębokość, cm Depth, cm	Bakterie oligotroficzne jtk · 10 <sup>9</sup> · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Oligotrophic bacteria cfu · 10 <sup>9</sup> · kg <sup>-1</sup> d.m.of soil				Bakterie makrotroficzne jtk · 10 <sup>9</sup> · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Macrotrophic bacteria cfu · 10 <sup>9</sup> · kg <sup>-1</sup> d.m.of soil				Grzyby nitkowate jtk · 10 <sup>6</sup> · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Filamentous fungi cfu · 10 <sup>6</sup> · kg <sup>-1</sup> d.m.of soil			
		30.05	29.07	28.10	średnia mean	30.05	29.07	28.10	średnia mean	30.05	29.07	28.10	średnia mean
Gleba kontrolna – Control soil	0–20	2,4	1,8	4,1	2,7	3,2	3,6	4,9	3,9	15,4	25,7	32,0	24,4
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		2,2	3,0	3,5	2,9	4,5	3,9	6,9	5,1	24,3	48,9	40,7	38,0
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		3,5	5,8	5,9	5,1	6,4	5,8	6,8	6,3	43,6	56,5	51,1	50,4
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		4,7	6,6	5,9	5,7	6,6	6,5	8,5	7,2	53,1	68,8	48,5	56,8
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		7,1	7,3	8,0	7,4	7,8	8,9	10,5	9,0	55,2	106,3	59,6	73,7
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		9,9	8,9	13,8	10,9	11,4	9,7	14,7	11,9	81,5	148,4	98,7	109,6
Gleba kontrolna – Control soil	20–40	2,0	1,1	5,8	3,0	5,7	3,3	6,9	5,3	13,0	8,0	17,4	12,8
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		1,9	1,9	4,8	2,8	5,5	2,6	5,7	4,6	16,5	15,0	27,1	19,6
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		2,0	1,9	5,9	3,3	6,1	3,4	5,3	5,0	14,3	16,2	15,0	15,1
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		3,8	2,9	6,4	4,4	10,5	3,1	7,7	7,1	10,2	24,6	14,7	16,5
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		2,8	3,0	6,1	3,9	7,1	3,6	6,0	5,6	23,9	48,9	33,1	35,3
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		2,1	3,3	6,5	4,0	5,2	3,9	4,8	4,6	58,2	40,4	33,4	44,0
Średnia – Mean		3,7	4,0	6,4	4,7	6,4	4,9	7,4	6,3	34,1	50,6	39,3	41,3
Średnia dla warstwy Mean for horizon		górna – surface – 5,8 dolna – lower – 3,6				górna – surface – 7,2 dolna – lower – 5,2				górna – surface – 58,8 dolna – lower – 23,9			
NIR termin – LSD date		0,3				0,7				2,5			
NIR warstwa – LSD horizon		0,2				0,5				1,7			
NIR warstwa × dawka LSD horizon × dose		0,9				2,0				7,0			
NIR kombinacje – LSD treatments		1,7				brak ist. różnic – no sig. diff.				13,2			

Tabela 2. Liczebność bakterii i grzybów celulołitycznych w glebie

Table 2. Number of cellulolytic bacteria and fungi in the soil

Kombinacje doświadczalne Treatments	Głębokość, cm Depth, cm	Bakterie celulołityczne 10 <sup>6</sup> · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Cellulolytic bacteria, 10 <sup>6</sup> ·kg <sup>-1</sup> d.m. of soil				Grzyby celulołityczne jtk · 10 <sup>6</sup> · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Cellulolytic fungi, cfu·10 <sup>6</sup> ·kg <sup>-1</sup> d.m. of soil			
		30.05	29.07	28.10	średnia mean	30.05	29.07	28.10	średnia mean
		Gleba kontrolna – Control soil	0–20	0,3	0,3	2,9	1,2	1,4	2,6
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge	1,1	0,5		5,3	2,3	4,7	2,2	2,8	3,3
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge	5,3	1,1		5,3	3,9	4,1	1,1	3,1	2,7
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge	5,3	1,1		3,0	3,1	6,1	3,9	5,4	5,1
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge	13,6	1,9		5,5	7,0	5,7	4,6	4,9	5,0
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge	13,7	1,9		5,8	7,1	6,1	7,2	5,1	6,1
Gleba kontrolna – Control soil	20–40	1,7	0,3	2,8	1,6	2,8	2,5	2,6	2,6
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		1,1	0,3	2,9	1,4	2,0	2,4	2,6	2,3
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		0,5	0,3	0,5	0,4	2,6	3,4	2,6	2,9
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		0,5	0,3	1,1	0,6	2,2	2,5	1,4	2,0
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		1,1	0,5	1,1	0,9	4,2	4,2	3,0	3,8
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		0,5	0,3	0,5	0,5	4,4	4,2	4,3	4,3
Średnia – Mean		3,7	0,7	3,1	2,5	3,9	3,4	3,4	3,6
Średnia dla warstwy – Mean for horizon					górna – surface – 4,1; dolna – lower – 3,0				
NIR termin – LSD date					0,2				
NIR warstwa – LSD horizon					0,2				
NIR warstwa × dawka – LSD horizon × dose					0,7				
NIR kombinacje – LSD treatments					1,3				

We wszystkich obiektach z osadem odnotowano również wzrost liczby bakterii celuloitycznych (tab. 2, rys. 2). Efekt ten zaznaczył się najwyraźniej w glebie z najwyższą zawartością odpadu, tj. 10% i 20%. Stymulujący wpływ osadu uwidocznił się podobnie jak w przypadku wyżej omawianych grup bakterii słabiej niż w pierwszym roku [Furczak i Joniec 2007], ale silniej niż w drugim roku trwania doświadczenia [Joniec i Furczak 2007a].



Objaśnienia jak do rys. 1

Explanations as for fig. 1

Rys. 2. Liczebność wybranych grup fizjologicznych bakterii i grzybów w glebie bielcowej, średnia roczna

Fig. 2. Number of selected physiological groups of bacteria and fungi in the podzolic soil, annual mean

Z danych zamieszczonych w tabeli 2 i na rysunku 2 wynika, że wprowadzenie do gleby osadu skutkowało w poziomie Ap istotną stymulacją rozwoju grzybów celuloitycznych, silniej zaznaczającą się w obecności wyższych jego dawek (5%, 10% i 20%). Wpływ osadu na ten parametr mikrobiologiczny kształtował się na nieco niższym lub zbliżonym poziomie do obserwowanego w latach poprzednich [Furczak i Joniec 2007; Joniec i Furczak 2007a].

W wierzchniej warstwie gleby odnotowano także istotny wzrost liczby bakterii i grzybów „proteolitycznych” (tab. 3, rys. 2). Jednak w odróżnieniu od wyżej omawianych grup mikroorganizmów efekt ten wystąpił tylko w glebie zawierającej 5%, 10% i 20% osadu. Pobudzenie rozwoju bakterii i grzybów rozkładających białko było w trzecim roku oddziaływania osadu na glebę nawet silniejsze niż w latach poprzednich [Furczak i Joniec 2007; Joniec i Furczak 2007a].

Odnutowany także w trzecim roku wzrost liczebności analizowanych grup drobnoustrojów w poziomie Ap był spowodowany zapewne utrzymującym się, zwiększonym poziomem składników pokarmowych, wniesionych do gleby wraz z osadem w postaci związków organicznych i mineralnych. Badania Jaworskiej [2002] prowadzone w tym samym roku wykazały bowiem istotnie podwyższoną zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w glebie nawiezionej osadem. Wyniki dotyczące intensywnego rozwoju

bakterii oligotroficznych w tych warunkach potwierdzają badania Hattori i Hattori [1980] oraz wcześniejsze badania własne [Furczak i Joniec 2007; Joniec i Furczak 2007a] wskazujące na to, że bakterie te mogą rozwijać się również w środowisku o zwiększonej zawartości składników pokarmowych. Dodatkowy dowód stanowi liczne występowanie tych bakterii w badanym osadzie ściekowym (dane niepublik.).

Stymulacja rozwoju bakterii i grzybów celulolitycznych była spowodowana zapewne utrzymaniem się w glebie zwiększonej zawartości celulozy wprowadzonej z tym odpadem, a także dostającej się do gleby wraz z resztkami uprawianej rośliny, której wzrost płonu stwierdziła Jaworska [2002]. O występowaniu w osadach ściekowych pewnych ilości tego polisacharydu świadczą wyniki badań Hattori i Mukai [1986], Debosz i in. [2002] oraz badań własnych [dane niepublik.]. Kolejną przyczyną stymulacji grzybów celulolitycznych mogło być podwyższenie przez osad poziomu fosforu w analizowanej glebie [Jaworska 2001]. Badania Korniłowicz-Kowalskiej i in. [2003] wykazały bowiem dodatnią korelację pomiędzy tym parametrem chemicznym a omawianą grupą grzybów.

Wzrost bakterii i grzybów „proteolitycznych” był prawdopodobnie wywołany utrzymaniem się nadal w glebie z osadem pewnej ilości białek wniesionych wraz z odpadem. Na występowanie w osadach ściekowych trudnorozkładalnych białek wskazują badania Hattori i Mukai [1986].

Do stymulacji rozwoju analizowanych grup mikroorganizmów mogła przyczynić się również poprawa warunków ich bytowania, tj. podwyższenie wartości pH i wilgotności gleby (tab. 4) oraz polepszenie jej struktury agregatowej. O dodatnim wpływie osadów ściekowych na tę właściwość fizyczną gleby donosi m.in. Baran i in. [1996].

Warto podkreślić, że obserwowanej w trzecim roku prowadzenia plantacji stymulacji rozwoju poszczególnych grup drobnoustrojów towarzyszyło pobudzenie ich aktywności biochemicznej, tj. oddychania, procesu mineralizacji celulozy, nityfikacji oraz aktywności dehydrogenaz i proteazy [Joniec i Furczak 2007b].

W glebie głębiej położonej (20–40 cm) wpływ osadu ściekowego wystąpił zdecydowanie słabiej niż w poziomie Ap (tab. 1, 2 i 3, rys. 1 i 2). Istotne oddziaływanie tego odpadu uwidoczniło się jedynie w obecności wyższych dawek, w postaci niewielkiej stymulacji rozwoju bakterii oligotroficznych i grzybów celulolitycznych oraz wyraźnej stymulacji grzybów nitkowatych.

Z porównania rezultatów uzyskanych w trzecim roku badań z danymi z lat poprzednich [Furczak i Joniec 2007; Joniec i Furczak 2007a] wynika, że wpływ osadu na bakterie oligo- i makrotroficzne oraz celulolityczne był słabszy niż w pierwszym roku badań, ale silniejszy niż w drugim. Natomiast reakcja na ten odpad grzybów celulolitycznych oraz bakterii i grzybów „proteolitycznych” zmniejszyła się w stosunku do poprzednich lat [Furczak i Joniec 2007; Joniec i Furczak 2007a].

Odnotowana stymulacja rozwoju ww. grup drobnoustrojów była spowodowana zapewne przenikaniem pewnej ilości składników pokarmowych wniesionych wraz z osadem w głąb profilu glebowego oraz pewną poprawą innych właściwości fizykochemicznych i chemicznych gleby (tab. 4).

Z badań Joniec i Furczak [2007b] wynika, że również w glebie głębiej położonej obserwowanemu wzrostowi liczebności drobnoustrojów towarzyszyło pewne pobudzenie ich aktywności biochemicznej (oddychanie, mineralizacja celulozy, nityfikacja, aktywność dehydrogenaz i proteazy).

Tabela 3. Liczebność bakterii i grzybów „proteolitycznych” w glebie  
 Table 3. Number of „proteolytic” bacteria and fungi in the soil

Kombinacje doświadczalne Treatments	Głębokość, cm Depth, cm	Bakterie proteolityczne, jtk · 10 <sup>9</sup> · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Proteolytic bacteria, cfu·10 <sup>9</sup> ·kg <sup>-1</sup> d.m. of soil				Grzyby „proteolityczne”, jtk · 10 <sup>6</sup> · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby „Proteolytic” fungi, cfu·10 <sup>6</sup> ·kg <sup>-1</sup> d.m. of soil			
		30.05	29.07	28.10	średnia mean	30.05	29. 07	28.10	średnia mean
Gleba kontrolna – Control soil	0–20	1,8	2,2	2,6	2,2	7,5	33,0	50,1	30,2
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		1,7	2,0	2,0	1,9	11,4	30,1	42,7	28,1
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		2,0	3,3	2,2	2,5	19,7	38,7	78,6	45,6
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		2,2	3,7	3,1	3,0	19,5	55,7	173,4	82,8
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		3,5	5,0	5,9	4,8	37,1	65,9	174,5	92,5
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		3,6	5,1	6,2	5,0	54,1	79,4	196,5	110,0
Gleba kontrolna – Control soil	20–40	1,8	1,7	2,2	1,9	3,3	3,3	33,2	13,3
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		1,4	1,1	0,9	1,2	2,6	3,4	39,4	15,1
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		1,2	1,5	1,2	1,3	4,9	10,6	42,2	19,2
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		1,4	1,9	2,0	1,7	2,3	19,6	31,7	17,9
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		1,9	2,8	1,6	2,1	7,6	25,6	31,6	21,6
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		2,2	1,1	2,4	1,9	8,3	26,1	44,2	26,2
Średnia – Mean		2,1	2,6	2,7	2,4	14,9	32,6	78,2	41,9
Średnia dla warstwy – Mean for horizon		górna – surface – 2,2; dolna – lower – 2,8				górna – surfacea – 64,9; dolna – lower – 18,9			
NIR termin – LSD date		0,2				7,5			
NIR warstwa – LSD horizon		0,2				5,1			
NIR warstwa × dawka – LSD horizon ×dose		0,6				21,1			
NIR kombinacje – LSD treatments		1,2				39,9			



Tabela 4. Wilgotność i odczyn gleby  
Table 4. Moisture and reaction of soil

Kombinacje doświadczalne Treatments	Głębokość, cm Depth, cm	Wilgotność, % – Moisture,%				Odczyn gleby, pH <sub>KCl</sub> – Reaction,pH <sub>KCl</sub>		
		30.05	29.07	28.10	średnia mean	30.05	29.07	28.10
Gleba kontrolna – Control soil	0–20	12,6	10,0	15,6	12,7	6,3	6,5	6,8
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		13,7	12,8	17,5	14,7	6,8	6,8	6,8
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		18,0	16,2	17,9	17,3	6,9	6,8	6,7
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		17,2	19,3	18,2	18,2	6,9	7,0	7,0
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		23,7	23,7	30,1	25,8	7,0	6,9	6,8
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		24,8	25,4	21,8	24,0	6,9	6,9	6,6
Gleba kontrolna – Control soil	20–40	11,3	9,7	13,2	11,4	6,8	6,7	6,4
Gleba + 1% osadu – Soil +1% of sludge		12,7	12,7	16,0	13,8	6,8	6,8	6,6
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		13,1	13,1	15,0	13,7	6,7	6,5	6,2
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		13,3	13,3	16,0	14,2	6,5	6,4	6,3
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		13,8	14,5	16,9	15,1	6,6	6,5	6,3
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		18,0	18,8	20,6	19,2	6,7	6,4	6,7

Tabela 5. Współczynniki korelacji  
Table 5. Coefficient of correlation

	Bakterie makrotroficzne Macrotrophic bacteria	Grzyby Nitkowate Filamentous fungi	Bakterie celulolityczne Cellulolytic bacteria	Grzyby celulolityczne Cellulolytic fungi	Bakterie proteolityczne Proteolytic bacteria	Grzyby „proteolityczne” „Proteolytic” fungi
Bakterie oligotroficzne Oligotrophic bacteria	0,822**	0,700**	0,549**	0,501**	0,779**	0,752**
Bakterie makrotroficzne Macrotrophic bacteria		0,586**	0,563**	0,488**	0,706**	0,673**
Grzyby nitkowate Filamentous fungi			0,379*	0,703**	0,818**	0,556**
Bakterie celulolityczne Cellulolytic bacteria				0,528**	0,416*	0,343*
Grzyby celulolityczne Cellulolytic fungi					0,578**	0,448**
Bakterie proteolityczne Proteolytic bacteria						0,772**

brak korelacji – no correlation, poziom istotności – significance level: \*\*p = 0,01, \*p = 0,05

Dane zamieszczone w tabeli 5 wskazują na dodatnie korelacje pomiędzy liczebnościami wszystkich analizowanych w niniejszej pracy grup drobnoustrojów, co pozwala na stwierdzenie, że drobnoustroje te w dalszym ciągu współdziałają w przemianach węglowej i azotowej materii organicznej w glebie. Z badań własnych wynika, że w tych procesach główną rolę odegrały mikroorganizmy glebowe, ponieważ drobnoustroje z osadu nie zasiedliły gleby (dane w przyg. do druku). Utrzymywanie się w trzecim roku pozytywnego oddziaływania osadu na rozwój analizowanych mikroorganizmów świadczy o tym, że nie miało ono charakteru krótkotrwałego, szczególnie w przypadku wyższych dawek odpadu.

#### WNIOSKI

1. W trzecim roku oddziaływania osadu na glebę odnotowano w poziomie Ap istotną i narastającą wraz z dawką odpadu stymulację rozwoju bakterii oligo- i makrotroficznych oraz grzybów nitkowatych. Dodatnie oddziaływanie osadu uwidoczniło się w prawie wszystkich obiektach. Osad ściekowy przyczynił się również do wzrostu liczby bakterii i grzybów celulolitycznych oraz bakterii i grzybów „proteolitycznych”. Efekt ten najwyraźniej wystąpił w glebie z wyższą zawartością odpadu.

2. W glebie z głębokości 20–40 cm osad ściekowy wywarł zdecydowanie mniejszy wpływ niż w poziomie Ap. Jego oddziaływanie zaznaczyło się tylko w obiektach z wyższą zawartością badanego odpadu w postaci niewielkiej stymulacji rozwoju bakterii oligotroficznych i grzybów celulolitycznych oraz silniejszego pobudzenia rozwoju grzybów nitkowatych.

3. Uzyskane wyniki wskazują na utrzymywanie się nadal, zwłaszcza w poziomie Ap, stymulującego wpływu zastosowanego osadu ściekowego na rozwój analizowanych grup drobnoustrojów glebowych.

#### PIŚMIENNICTWO

- Baran S., Domżał H., Sławińska-Jurkiewicz A., Kwiecień J., Pranagal J., 1996. Wpływ osadu ściekowego na wodno-powietrzne właściwości gleby piaszczystej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 437, 53–60.
- Baran S., Oleszczuk P., Żukowska G., 2002. Zasoby i gospodarka odpadami organicznymi w Polsce. *Acta Agrophysica*, 73, 17–34.
- Butarewicz A., 2003. Higieniczne aspekty procesu kompostowania osadów ściekowych. *Mat. II Międzynar. i XIII Kraj. Konf. Nauk.-Techn. „Nowe spojrzenie na osady ściekowe odnawialne źródło energii”*. Częstochowa, 243–252.
- Debosz K., Petersen S.O., Kure L.K., Ambus P., 2002. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *App. Soil Ecol.* 19, 237–248.
- During R-A., Gath S., 2002. Utilization of municipal organic wastes in agriculture: where do we stand, where will we go?. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165, 544–556.
- Flis-Bujak M., Baran S., Turski R., Martyn W., Kwiecień J., 1995. Rekultywacja zdewastowanej gleby lekkiej przy wykorzystaniu nawozów niekonwencjonalnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 418, 617–622.

- Furczak J., Joniec J., 2007. Preliminary study of the effect of sewage sludge on the microbiological activity of the podzolic soil under willow culture. *Int. Agrophysics* 21, (1), 39–48.
- Hattori R., Hattori T. 1980. Sensitivity to salts and organic compounds of soil bacteria isolated on diluted media. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 26, 1–14.
- Hattori H., Mukai S., 1986. Decomposition of sewage sludge in soil as affected by their organic matter composition. *Soil Sci. Plant Nutr.* 32, 421–432.
- Jaworska B., 2002. Remediacja właściwości gleb odłogowanych przy wykorzystaniu osadu ściekowego i wikliny (*Salix viminalis*), praca dokt., Inst. Glebozn. i Kształt. Środow. Przyrod. AR, Lublin.
- Joniec J., Furczak J., 2007a. Liczebność wybranych grup drobnoustrojów w glebie biellicowej pod uprawą wierzby użyźnionej osadem ściekowym w drugim roku jego działania. *Annales UMCS, s. E, Agricultura*, 52, 97–108.
- Joniec J., Furczak J., 2007b. Biochemical activity of podzolic soil under willow culture in the third year of the soil treatment with industrial-municipal sewage sludge. *Pol. J. Soil Sci., w druku.*
- Kelly J.J., Haggblom M., Tate III R.L., 1999. Effects of the land application of sewage sludge on soil heavy metal concentrations and soil microbial communities. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1467–1470.
- Korniłowicz-Kowalska T., Iglík H., Wojdyło B., 2003. Correlation between the abundance of cellulolytic fungi and selected soil properties. *Acta Mycol.* 38, 161–172.
- Kusza G., 2006. Wpływ nawożenia mineralnego oraz zastosowania osadów ściekowych na wybrane właściwości zwałowisk po eksploatacji wapieni. *Rocz. Glebozn.* 47, 124–130.
- Przewrocki P., Kulczycka J., Wzorek Z., Kowalski Z., Gorazda K., Jodko M., 2004. Risk Analysis of sewage sludge – Poland and EU comparative approach. *Polish J. Environ. Stud.* 13, 237–244.
- Rosik-Dulewska Cz., 2002. Podstawy gospodarki odpadami. PWN, Warszawa.
- Sastre J., Vincente M.A., Lobo H.C., 1996. Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity. *Biores. Techn.* 57, 19–23.
- Skorbiłowicz M. 2002. Ocena osadów ściekowych z niektórych oczyszczalni województwa podlaskiego pod względem zawartości substancji nawozowych. *Acta Agrophysica.* 73, 297–305.
- Wierzbicki T.L., 2003. Wykorzystanie komunalnych osadów ściekowych do celów rolniczych. *Mat. II Międzynar. i XIII Kraj. Konf. Nauk.-Techn. „Nowe spojrzenie na osady ściekowe odnawialne źródło energii”*. Częstochowa, 163–170.
- Wójcikowska-Kapusta A., Baran S., Jaworska B., Kwiecień J., 2000. Zmiany wybranych właściwości gleb lekkich nawożonych osadami ściekowymi. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 211 Agric. 84, 533–538.
- Żukowska G., Flis-Bujak M., Baran S. 2002. Wpływ nawożenia osadem ściekowym na substancję organiczną gleby lekkiej pod uprawą wikliny. *Acta Agrophysica.* 73, 357–367.

**Summary.** The paper presents the results of studies conducted on a podzolic soil under willow culture (*Salix viminalis* L.), amended with various doses of industrial-municipal sewage sludge i.e. 30 Mg·ha<sup>-1</sup> (1%), 75 Mg·ha<sup>-1</sup> (2,5%), 150 Mg·ha<sup>-1</sup> (5%), 300 Mg·ha<sup>-1</sup> (10%) and 600 Mg·ha<sup>-1</sup> (20%). The analyses were made in the third year of the experiment, in order to determine the effect of the applied sludge on the growth of selected microbial groups in the soil. The results obtained for the soil from the Ap horizon showed continued stimulating effect of the sludge on the numbers of all the groups under analysis. Stimulation of the of oligo- and macro-trophic bacteria was observable in almost all, and of filamentous fungi in all the objects of the experiment, and increased

with increases doses of the sludge. Also in the case of cellulolytic and „proteolytic” bacteria and fungi the stimulation increased with increasing dosage of the sludge, and was the most pronounced in objects with the highest levels of the sludge content (5, 10 and 20%).

In deeper layers of the soil, the effect of the sludge was notably weaker than in the Ap horizon. There was a certain slight stimulation of the growth of oligotrophic bacteria and cellulolytic fungi, and a more pronounced growth in the number of filamentous fungi, but only in objects with higher concentrations of the sludge.

Moreover, positive correlations were noted between the numbers of all the microbial groups under analysis.

**Key words:** number of bacteria, number of fungi, soil, sewage sludge, willow (*Salix viminalis* L.)