

---

ANNALES  
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA  
LUBLIN – POLONIA

VOL. LXII (1)

SECTIO E

2007

---

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  
użyźnionej osadem ściekowym w drugim roku jego działania**

Numbers of selected microbial groups in a podzolic soil under willow culture,  
amended with sewage sludge, in the second year of its effect

**Streszczenie.** Badania realizowano na glebie bielcowej nawiezionej różnymi dawkami osadu ściekowego (1, 2, 5, 5, 10 i 20% suchej masy), a następnie obsadzonej wierzbą (*Salix viminalis* L.). W drugim roku trwania doświadczenia określono w glebie ogólną liczbę bakterii oligo- i makro-troficznych, grzybów nitkowatych, bakterii i grzybów celulolitycznych oraz bakterii i grzybów „proteolitycznych”. Stwierdzono najczęściej stymulujący wpływ zastosowanych dawek osadu na rozwój analizowanych grup drobnoustrojów zarówno w poziomie Ap, jak i w glebie głębiej położonej (20–40 cm). Efekt ten wystąpił wyraźniej w wierzchniej warstwie gleby, ale tylko w odniesieniu do ogólnej liczby bakterii oligo- i makro-troficznych oraz grzybów ogółem i celulolitycznych. Odnotowane w niniejszej pracy korelacje między liczebnościami poszczególnych grup mikroorganizmów miały charakter dodatni.

**Słowa kluczowe:** liczebność mikroorganizmów, gleba, osad ściekowy, wierzba (*Salix viminalis* L.)

WSTĘP

Jednym ze sposobów zagospodarowania osadów ściekowych jest wykorzystanie w rolnictwie [Rosik-Dulewska 2002]. Jest to uzasadnione ze względu na posiadane przez nie cechy nawozowe i próchnicotwórcze [Flis-Bujak i in. 1996; Czekąła 2000; Skorbiłowicz 2002]. Ten sposób zagospodarowania osadów znalazł zastosowanie w wielu krajach Europy Zachodniej [Butarewicz 2003]. Niedobór substancji organicznej w glebach polskich [Pranagal i Kołodziej 2000], deficyt nawozów pochodzenia zwierzęcego [Baran i in. 2001], jak również wciąż narastające ilości osadów ściekowych [Rosik-Dulewska 2002], wskazują na zasadność rolniczego wykorzystania na szerszą skalę tych odpadów również w Polsce.

Osady ściekowe ze względu na swój organiczny charakter stanowią bogate źródło substratów pokarmowych nie tylko dla roślin, ale również dla mikroorganizmów glebowych. Z dotychczasowych badań wynika, że długotrwałemu oddziaływaniu osadów ściekowych na rozwój drobnoustrojów w glebie w warunkach polowych poświęcono niewiele uwagi [Sastre i in. 1996, Kelly i in. 1999]. Dlatego też podjęto kilkuletnie, szerzej zakrojone badania nad wpływem osadów ściekowych na ogólną liczbę mikroorganizmów oraz rozwój wybranych grup fizjologicznych, związanych z przemianami węgla i azotu w glebie biellicowej, pod uprawą wierzby (*Salix viminalis* L.). Ponieważ w pierwszym roku stwierdzono stymulację przez osad rozwoju prawie wszystkich badanych grup drobnoustrojów [Furczak i Joniec 2007a], uznano za interesujące przeanalizowanie tego oddziaływania również w drugim roku trwania doświadczenia.

#### MATERIAŁ I METODY

Badania wykonano na modelu doświadczenia polowego założonego w Końskich, przez Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego Akademii Rolniczej w Lublinie. Poziom akumulacyjny gleby biellicowej, 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 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 nienawieziona osadem.

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

Próbki gleby do analiz pobierano z warstwy od 0–20 cm i 20–40 cm, trzykrotnie (31.05.1999, 29.07.1999 i 27.10.1999) w drugim roku od założenia doświadczenia.

W materiale glebowym każdorazowo określano:

- tzw. ogólną liczbę bakterii o małych wymaganiach pokarmowych, na pożywce z wyciągiem glebowym (350 cm<sup>3</sup> · dm<sup>-3</sup>) oraz K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>;
- tzw. ogólną liczbę bakterii o dużych wymaganiach pokarmowych, na pożywce Bunta-Roviry [1955];
- tzw. ogólną liczbę grzybów nitkowatych na pożywce Martina [1950];
- liczebność bakterii celulolitycznych na pożywce płynnej wg Pochon i Tardieux [1962]. Najbardziej prawdopodobną liczbę tych bakterii odczytano z tablic McCrady'ego;
- liczebność grzybów celulolitycznych na agarze mineralnym, przykrytym krążkiem bibuły Whatmana;
- liczebność bakterii i grzybów rozkładających białko na podłożu żelatynowym Fraziara [Rodina 1968];
- odczyn gleby potencjometrycznie w 1 mol KCl dm<sup>-3</sup>.
- wilgotność gleby metodą wagową.

Do pożywek, na których hodowano grzyby celulolityczne i „proteolityczne” dodano antybiotyki w takiej ilości, jak do pożywki Martina [1950].

Otrzymane wyniki poddano opracowaniu statystycznemu metodą analizy wariancji. Istotność różnic określono testem Tukeya, przy  $p = 0,05$ . Oznaczono również współczynniki koreacji, posługując się programem bibliotecznym CORE charakterystyki próby wielu zmiennych. Analizy wariancji nie przeprowadzono dla bakterii celulolitycznych, ponieważ przy określaniu ich liczby posługiwano się tablicami Mc Crady’ego, opartymi na zasadach statystyki matematycznej.

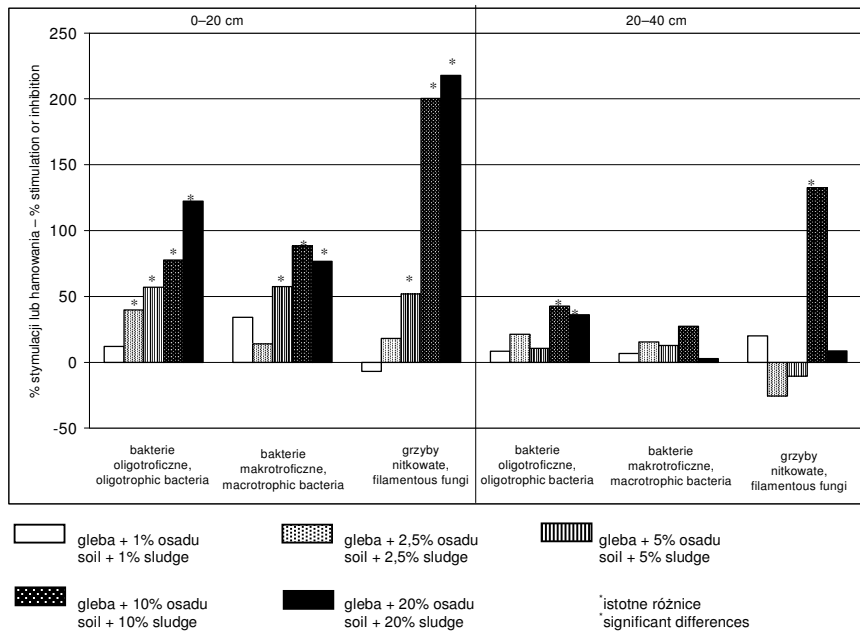
#### WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki zamieszczone w tabeli 1 i na rycinie 1 wskazują na istotny wzrost liczby bakterii oligo- i makrotroficznych oraz grzybów nitkowatych w poziomie Ap gleby również w drugim roku trwania doświadczenia. Dodatkowo oddziaływanie osadu na wymienione parametry mikrobiologiczne nasilało się na ogół wraz ze wzrostem dawki odpadu. Odnotowana w drugim roku badań stymulacja utrzymywała się w większości przypadków na niższym poziomie niż w roku poprzednim [Furczak i Joniec 2007a]. Wzrost liczby bakterii oligotroficznych w glebie wzbogaconej osadem w kilkuletnich doświadczeniach połowych odnotowali także Kelly i in. [1999], a grzybów nitkowatych Sastre i in. [1996].

Wydaje się, że stymulacja przez osad rozwoju bakterii oligo- i makrotroficznych oraz grzybów nitkowatych spowodowana była głównie dostarczeniem wraz z nim dużej ilości materii organicznej oraz innych związków, będących dla tych mikroorganizmów źródłem składników pokarmowych. Powyższe przypuszczenie potwierdzają dane uzyskane przez Żukowską i in. [2002] w drugim roku trwania doświadczenia, wskazujące na utrzymywanie się istotnego wzrostu zawartości węgla organicznego i azotu ogółem w glebie nawiezionej osadem. Ponadto jak wynika z badań Sastre i in. [1996], Hattori i Mukai [1986] oraz własnych (dane niepublik.) osady ściekowe są również bogatym źródłem mikroorganizmów. Zdaniem Sastre i in. [1996] drobnoustroje te po obumarciu stają się dodatkowym źródłem materii organicznej. Zastanawiający jest więc fakt intensywnego rozwoju w glebie z osadem bakterii o małych wymaganiach pokarmowych (tab. 1, rys. 1). Zjawisko to tłumaczą badania Hattori i Hattori [1980], które wykazały, że część bakterii oligotroficznych może rozwijać się w środowisku obfitującym w składniki pokarmowe. Potwierdzeniem przeprowadzonych przez tych autorów obserwacji są wyniki badań własnych (dane niepublik.), wskazujące na liczne występowanie tej grupy bakterii w osadzie ścieków komunalno-przemysłowych.

Z danych zamieszczonych w tabeli 2 oraz na rysunku 2 wynika, że niższe dawki osadu ściekowego wywołały w poziomie Ap nawet niewielkie hamowanie rozwoju bakterii celulolitycznych. Wzrost ich liczby stwierdzono jedynie w obecności 20% stężenia tego odpadu. Stymulujący wpływ osadu na tę grupę bakterii zaznaczył się więc zdecydowanie słabiej niż w roku poprzednim [Furczak i Joniec 2007a]. Natomiast rozwój grzybów celulolitycznych w wierzchniej warstwie gleby był istotnie stymulowany przez wszystkie dawki osadu ściekowego (tab. 2, rys. 2). Efekt ten nasilał się wraz ze wzrostem zawartości odpadu w glebie i w odróżnieniu od pierwszego roku badań [Furczak i Joniec 2007a] wystąpił we wszystkich obiektach. Na pobudzenie rozwoju mikroorganizmów celulolitycznych miało zapewne wpływ, podobnie jak w przypadku wcześniej omawianych grup

bakterii i grzybów, wzbogacenie gleby przez osad w materię organiczną, a zwłaszcza w pewną ilość celulozy. Z badań Hattori i Mukai [1986] oraz własnych (dane niepublik.) wynika bowiem, że osady ściekowe zawierają w swoim składzie m.in. celulozę. W przypadku grzybów celulolitycznych pewną rolę mógł odegrać również wzrost zawartości w analizowanej glebie fosforu przyswajalnego, na co wskazują badania Wójcikowskiej-Kapusty i in. [2000]. Dodatnią zależność pomiędzy tym parametrem chemicznym, a omawianą grupą grzybów odnotowali Kornihowicz-Kowalska i in. [2003]. –



Rys. 1. Bakterie oligo- i makrotrroficzne oraz grzyby nitkowate w glebie, średnia roczna  
Fig. 1 Oligo- and macrotrrophic bacteria and filamentous fungi in the soil, annual mean

W poziomie Ap odnotowano również wzrost liczby bakterii i grzybów rozkładających białko, ale tylko w kombinacjach z 2,5 i 20% osadu, (tab. 3, rys. 2). Warto podkreślić, że dodatni wpływ osadu pojawił się dopiero w drugim roku badań [Furczak i Joniec 2007a]. Niewielkie pobudzenie przez osad rozwoju bakterii i grzybów rozkładających białko było spowodowane zapewne tym, iż białka zawarte w osadach są trudnorozkładalne, na co zwracają uwagę Hattori i Mukai [1986].

Badania Furczak i Joniec [2007b] dowiodły, że pobudzeniu rozwoju analizowanych grup mikroorganizmów w drugim roku trwania doświadczenia towarzyszyła również stymulacja aktywności biochemicznej gleby.

Do wzrostu poziomu analizowanych w niniejszej pracy zespołów drobnoustrojów, a zwłaszcza bakterii mogły przyczynić się również inne, korzystne zmiany w środowisku ich bytowania, tj. podwyższenie wartości pH i wilgotności (tab. 4) oraz poprawa warunków powietrzno-wodnych. Z badań Barana i in. [1996] wynika bowiem, że osady ściekowe pozytywnie wpływają na kształtowanie się struktury agregatowej gleby.

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

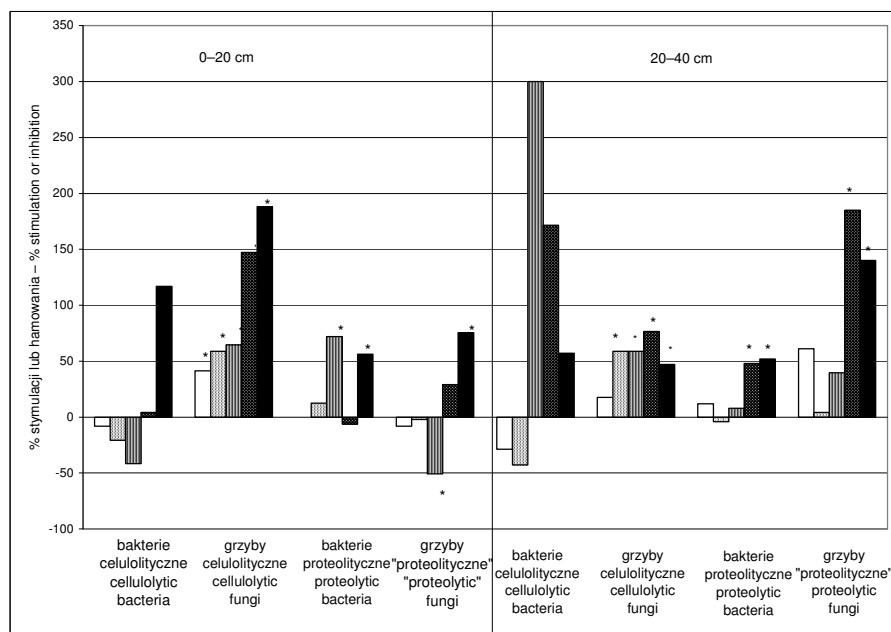
Kombinacje doświadczalne Treatments	Głębokość, cm Depth, cm	Bakterie oligotroficzne, jtk · 10 <sup>9</sup> · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Oligotrophic bacteria, cfu · 10 <sup>9</sup> · kg <sup>-1</sup> d.m.of soil				Bakterie makrotroficzne, jtk · 10 <sup>9</sup> · kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Macrotrophic 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			
		31.05	29.07	27.10	średnia mean	31.05	29.07	27.10	średnia mean	31.05	29.07	27.10	średnia mean
Gleba kontrolna – Control soil	0–20	7,8	4,9	4,6	5,8	4,0	17,0	17,6	13,1	58,95	17,4	35,3	37,3
Gleba + 1% osadu – Soil+ 1% of sludge		8,3	6,6	4,7	6,5	14,3	12,5	25,2	17,4	46,7	22,8	34,3	34,6
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		9,4	8,2	6,8	8,1	15,1	12,7	16,2	14,6	65,2	28,4	38,2	44,0
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		7,8	11,6	7,9	9,1	17,2	21,4	22,3	20,3	83,6	24,1	61,7	56,5
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		13,5	6,8	10,6	10,4	28,6	21,8	22,6	24,3	228,1	16,2	90,9	111,7
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		12,9	13,6	12,2	13,0	30,9	24,6	13,0	22,9	150,7	41,6	162,4	118,2
Gleba kontrolna – Control soil	20–40	5,0	5,1	4,0	4,6	16,2	10,2	18,5	15,0	70,7	7,6	8,2	28,8
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		8,3	3,7	3,4	5,2	14,7	21,7	11,7	16,0	66,0	9,3	28,4	34,6
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		8,5	4,0	4,5	5,7	13,4	24,0	14,6	17,3	43,9	5,3	15,0	21,4
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		7,9	5,6	2,2	5,1	19,1	14,6	16,9	16,9	39,3	12,8	25,3	25,8
Gleba + 10% osadu – Soil +10% of sludge		11,3	4,1	4,6	6,6	21,4	11,6	24,4	19,1	89,0	15,0	97,1	67,1
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		8,9	4,5	5,9	6,3	17,6	9,8	18,7	15,4	57,8	11,3	24,8	31,3
Średnia – Mean		9,1	6,5	5,9	7,2	17,7	16,8	18,5	17,7	83,4	17,7	51,8	50,9
Średnia dla warstwy Mean for horizon		górną – surface – 8,8 dolną – lower – 5,6				górną – surface – 18,7; dolną – lower – 16,6				górną – surface – 67,1 dolną – lower – 34,8			
NIR termin – LSD date		0,5				1,7				3,4			
NIR warstwa – LSD horizon		0,3				1,2				2,3			
NIR warstwa × dawka – LSD horizon × dose		1,4				4,9				9,6			
NIR kombinacje – LSD treatments		2,7				9,2				18,1			

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			
		31.05	29.07	27.10	średnia mean	31.05	29.07	27.10	średnia mean
		Gleba kontrolna – Control soil	0–20	1,1	1,1	5,1	2,4	1,7	1,4
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge	0,5	1,1		5,2	2,2	2,0	2,7	2,6	2,4
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge	0,3	5,0		0,5	1,9	2,3	3,1	2,8	2,7
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge	0,2	1,1		2,8	1,4	1,5	3,6	3,4	2,9
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge	0,9	1,1		5,6	2,5	2,8	1,9	7,8	4,2
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge	0,6	1,4		13,8	5,2	4,7	3,9	6,0	4,9
Gleba kontrolna – Control soil	20–40	0,5	0,5	1,1	0,7	1,7	2,1	1,2	1,7
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		0,2	0,2	1,1	0,5	1,3	1,6	3,0	2,0
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		0,1	0,5	0,5	0,4	3,6	2,1	2,3	2,7
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		2,8	0,3	5,2	2,8	2,6	1,3	4,1	2,7
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		0,3	0,3	5,2	1,9	1,6	2,7	4,7	3,0
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		0,1	0,3	3,1	1,1	2,5	1,9	3,1	2,5
Średnia – Mean		0,6	1,1	4,1	1,9	2,4	2,4	3,6	2,8
Średnie dla warstwy – Mean for horizon						górna – surface – 3,1; dolna – lower – 2,4			
NIR termin – LSD date						0,2			
NIR warstwa – LSD horizon						0,2			
NIR warstwa × dawka – LSD horizon × dose						0,6			
NIR kombinacje – LSD treatments						1,2			

W glebie z głębokości 20–40 cm oddziaływanie osadu ściekowego na ogólną liczbę bakterii oligo- i makrotruficznych oraz grzybów nitkowatych zaznaczyło się zdecydowanie słabiej niż w poziomie Ap (tab. 1, rys. 1). Jedynie wyższe dawki odpadu spowodowały niewielkie, jakkolwiek istotne pobudzenie rozwoju bakterii o małych wymaganiach pokarmowych oraz grzybów nitkowatych. W warunkach tych nie stwierdzono znaczącego wpływu osadu na liczbę bakterii makrotruficznych. Uzyskane wyniki wskazują na słabsze niż w roku poprzednim [Furczak i Joniec 2007a] oddziaływanie osadu ściekowego na wskazane parametry mikrobiologiczne, w glebie z głębokości 20–40 cm.

W przeciwieństwie do bakterii oligo- i makrotruficznych oraz grzybów rozwój bakterii celulołitycznych podlegał w tych warunkach większej stymulacji niż w poziomie Ap (tab. 2, rys. 2). Korzystny wpływ osadu zaznaczył się również w przypadku grzybów celulołitycznych (tab. 2, rys. 2). Był jednak mniejszy niż w poziomie Ap, ale w prawie wszystkich kombinacjach istotny statystycznie.



Objaśnienia jak do Rys.1. – Explanations as for Fig. 1

Rys. 2. Wybrane grupy fizjologiczne bakterii i grzybów w glebie, średnia roczna  
Fig. 2. Selected physiological groups of bacteria and fungi in the soil, annual mean

Najwyższe dawki osadu (10 i 20%) przyczyniły się także do istotnego wzrostu liczby bakterii i grzybów rozkładających białko (tab. 3, rys. 2). W porównaniu z poziomem Ap oddziaływanie odpadu na rozwój grzybów „proteolitycznych” było nawet silniejsze.

Obserwowane w warstwie gleby 20–40 cm pobudzenie rozwoju badanych grup mikroorganizmów mogło być spowodowane przemieszczaniem się pewnej ilości składników pokarmowych wniesionych z osadem w głąb profilu glebowego oraz poprawą w pewnym stopniu innych warunków ich bytowania (tab. 4).

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			
		31.05	29.07	27.10	Średnia mean	31.05	29.07	27.10	Średnia mean
Gleba kontrolna – Control soil	0–20	3,1	4,4	2,2	3,2	100,1	55,5	67,3	74,3
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		3,3	3,5	2,7	3,1	67,8	68,4	68,7	68,3
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		3,3	4,4	3,1	3,6	150,9	59,7	7,7	72,8
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		3,7	5,8	7,1	5,5	76,4	22,6	11,2	36,7
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		3,6	2,6	2,9	3,1	161,8	64,0	61,7	95,8
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		3,6	6,7	4,6	5,0	156,7	141,8	92,3	130,3
Gleba kontrolna – Control soil	20–40	1,4	4,3	1,9	2,5	44,2	10,9	3,3	19,5
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		2,0	3,5	2,9	2,8	26,4	33,6	34,1	31,4
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		2,2	1,5	3,4	2,3	22,9	30,4	7,5	20,3
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		1,7	4,4	2,1	2,7	40,4	18,3	23,0	27,2
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		3,5	4,1	3,4	3,6	93,3	23,1	50,3	55,6
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		2,4	5,6	3,4	3,8	72,7	18,9	48,9	46,8
Średnia – Mean		2,8	4,2	3,3	3,4	84,5	45,6	39,7	56,6
Średnia dla warstwy – Mean for horizon		górna – surface – 3,9; dolna – lower – 3,0				górna – surfacea – 79,7; dolna – lower – 33,5			
NIR termin – LSD date		0,2				9,6			
NIR warstwa – LSD horizon		0,1				6,5			
NIR warstwa × dawka – LSD horizon × dose		0,5				27,0			
NIR kombinacje – LSD treatments		0,9				51,1			



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	12,60	10,01	15,58	12,73	6,3	6,5	6,8
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		13,71	12,79	17,49	14,66	6,8	6,8	6,8
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		17,96	16,19	17,85	17,33	6,9	6,8	6,7
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		17,18	19,27	18,19	18,21	6,9	7,0	7,0
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		23,68	23,65	30,09	25,81	7,0	6,9	6,8
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		24,79	25,42	21,81	24,01	6,9	6,9	6,6
Gleba kontrolna – Control soil	20–40	11,34	9,74	13,16	11,41	6,8	6,7	6,4
Gleba + 1% osadu – Soil + 1% of sludge		12,67	12,67	16,01	13,78	6,8	6,8	6,6
Gleba + 2,5% osadu – Soil + 2,5% of sludge		13,08	13,08	15,01	13,72	6,7	6,5	6,2
Gleba + 5% osadu – Soil + 5% of sludge		13,26	13,34	16,00	14,20	6,5	6,4	6,3
Gleba + 10% osadu – Soil + 10% of sludge		13,81	14,52	16,91	15,08	6,6	6,5	6,3
Gleba + 20% osadu – Soil + 20% of sludge		18,04	18,79	20,63	19,15	6,7	6,4	6,7

Tabela 5. Współczynniki korelacji  
Table 5. Coefficient of correlation

	Bakterie makrotroficzne Macrotrrophic 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	0,350*	0,684**	-	0,403*	0,348*	0,690**
Bakterie makrotroficzne Macrotrrophic bacteria		0,400*	-	-	-	0,363*
Grzyby nitkowate Filamentou fungi			-	0,425**	-	0,675**
Bakterie celulolityczne Celulolytic bacteria				0,637**	-	-
Grzyby celulolityczne Cellulolytic fungi					-	-
Bakterie proteolityczne Proteolytic bacteria						-

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

Wykazano osłabienie wraz z upływem czasu dodatniego wpływu osadu na rozwój grzybów celulołitycznych, bakterii i grzybów „proteolitycznych” oraz jego nasilenie w przypadku bakterii rozkładających celulozę [Furczak i Joniec 2007a]. Podobnie jak w poziomie Ap, stymulacji rozwoju badanych grup bakterii i grzybów towarzyszył wzrost aktywności biochemicznej gleby [Furczak i Joniec 2007b].

Z danych zawartych w tabeli 5 wynika, że liczba bakterii oligotroficznych dodatnio korelowała z liczebnością prawie wszystkich pozostałych grup drobnoustrojów. Dodatkowo bakterie makrotroficzne wykazały dodatnie korelacje z grzybami nitkowatymi i „proteolitycznymi”, grzyby nitkowate z grzybami celulołitycznymi i „proteolitycznymi”, a bakterie celulołityczne z grzybami celulołitycznymi (tab. 5). Odnotowane, dodatnie zależności pomiędzy tymi grupami drobnoustrojów w glebie nawiezionej osadem ściekowym świadczą o ich współuczestnictwie w mineralizacji wniesionej z nim węglowej i azotowej materii organicznej.

Przeprowadzone badania dowiodły, że nawet wysokie dawki wprowadzonego do gleby osadu nie wywołały niekorzystnych zmian w rozwoju analizowanych grup drobnoustrojów glebowych. Ponadto wykazały, że pozytywne oddziaływanie tego odpadu nie jest krótkotrwałe. Wprowadzona do gleby materia organiczna ulega przy udziale drobnoustrojów stopniowemu przetworzeniu do form przyswajalnych dla roślin, co również w drugim roku znalazło odbicie we wzroście plonu uprawianej rośliny [Jaworska 2002]. Warto podkreślić, że w procesach tych główną rolę odegrały drobnoustroje glebowe. Z badań własnych wynika bowiem, że mikroorganizmy występujące w osadzie nie zasiedliły środowiska glebowego (dane w przyg. do druku).

#### WNIOSKI

1. W drugim roku od użyczenia gleby bielcowej osadem ściekowym utrzymywał się nadal w poziomie Ap istotny wzrost ogólnej liczby bakterii oligo- i makrotroficznych, grzybów nitkowatych oraz grzybów celulołitycznych. Oddziaływanie to nasilało się na ogół wraz ze wzrostem zawartości tego odpadu w glebie. Natomiast stymulacja rozwoju bakterii celulołitycznych oraz bakterii i grzybów rozkładających białko wystąpiła tylko w obiektach zawierających najwyższą dawkę osadu.

2. W glebie z głębokości 20–40 cm oddziaływanie osadu na niektóre grupy drobnoustrojów było słabsze niż w poziomie Ap. Jedynie rozwój grzybów celulołitycznych był stymulowany istotnie przez prawie wszystkie dawki osadu. Wzrost liczebności pozostałych grup mikroorganizmów odnotowano tylko w niektórych kombinacjach, często zawierających większą ilość tego odpadu.

3. Uzyskane wyniki wskazują, że wprowadzenie do gleby osadu ściekowego wywołało w obu jej warstwach (0–20 cm i 20–40 cm) utrzymującą się również w drugim roku stymulację rozwoju analizowanych grup drobnoustrojów, jakkolwiek oddziaływanie to uległo osłabieniu.

4. Odnotowano dodatnie korelacje pomiędzy liczbą bakterii oligotroficznych a liczebnościami prawie wszystkich pozostałych grup drobnoustrojów. Ponadto bakterie makrotroficzne wykazały dodatnie zależności z grzybami nitkowatymi i „proteolitycznymi”, grzyby nitkowate z grzybami celulołitycznymi i „proteolitycznymi”, a bakterie celulołityczne z grzybami celulołitycznymi.

## 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., Wójcikowska-Kapusta A., Jaworska B., 2001. Przydatność wikliny do sanitacji gleb zanieczyszczonych ołowiem i miedzią. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 477, 181–194.
- Bunt J.B., Rovira A.D., 1955. Microbiological studies of some subantarctic soils. Soil Sci. 6, 119–128.
- 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”. 243–252, Częstochowa.
- Czekała J., 2000. Wartość próchnicotwórcza i działanie nawozowe osadu ściekowego. Folia Univ. Agric. Stetin. 211, Agric. 84, 75–80.
- Flis-Bujak M., Baran S., Żukowska G., 1996. Właściwości materii organicznej wybranych odpadów o charakterze nawozowym. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 437, 147–152.
- Furczak J., Joniec J., 2007a. Preliminary study of the effect of sewage sludge on the microbiological activity of a podzolic soil under willow culture. Int. Agrophysics 21, (1), 39–48.
- Furczak J., Joniec J., 2007b. Changes in biochemical activity of podzolic soil under willow culture in the second year of treatment with municipal-industrial sewage sludge. Int. Agrophysics 21, (2), 145–152.
- 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.
- 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.
- Martin J., 1950. Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. Soil Sci. 19, 215–233.
- Pochon J., Tardieux O., 1962. Techniques d'analyse en microbiologie du sol. Inst. Pasteur, Edit. De la Tourelle, Saint-Mande (Seine), Paris.
- Pranagal J., Kołodziej B., 2000. Właściwości filtracyjne gleby rekultywowanej osadem ściekowym. Folia Univ. Agric. Stetin. 211, Agric. 84, 411–416.
- Rodina A., 1968. Mikrobiologiczne metody badania wód. PWRiL, Warszawa.
- 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.
- 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 study was realized in a podzolic soil amended with various doses of 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%), and subsequently planted with willow (*Salix viminalis* L.). In the second year of the experiment determinations were made in the soil, of the overall numbers of oligo- and macrotrophic bacteria, filamentous fungi, cellulolytic bacteria and fungi, and “proteolytic” bacteria and fungi. In most cases a stimulating effect of the applied doses of the sludge on the growth of the analysed microbial groups was observed, both in the Ap horizon and in deeper layer of the soil (20–40 cm). The effect was the most pronounced in the surface layer of the soil, but only in relation to the total numbers of oligo- and macrotrophic bacteria, total number of fungi, and number of cellulolytic fungi. The correlations observed in the study between the numbers of particular microbial groups were positive in character.

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