

Małgorzata HAWROT-PAW, Andrzej NOWAK, Paulina BEKER

LICZEBNOŚĆ DROBNOUSTROJÓW W GLEBACH SKAŻONYCH OLEJEM NAPĘDOWYM I PODDAWANYCH PROCESOWI FITOREMEDIACJI

THE NUMBER OF MICROORGANISMS IN DIESEL-CONTAMINATED SOILS AND SUBJECTED TO PHYTOREMEDIATION PROCESS

Zakład Mikrobiologii i Biotechnologii Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Juliusza Słowackiego 17, 71-434 Szczecin, e-mail: Małgorzata.Hawrot-Paw@zut.edu.pl

Abstract. The paper presents results of research evaluating the influence of the phytoremediation of soil contaminated with diesel fuel on the numbers of the three main taxonomic groups of soil microflora. Two species of plants have been used in studies: red fescue (*Festuca rubra*) varieties Areta and red clover (*Trifolium pratense*) varieties Nike. Quite variable factors in the experiment was also the soil type and incubation time. It was found that microorganisms showed different sensitivity in the presence of diesel fuel in the soil and remediation treatments. Stimulatory effect of phytoremediation was reported. There has been stimulating effect of phytoremediation for bacteria and actinomycetes in sandy soil and unclear reaction for fungi, irrespective of plant species and soil type used in the experiment.

Słowa kluczowe: fitoremediacja, gleba, liczebność mikroorganizmów, olej napędowy.

Key words: diesel fuel, number of microorganisms, phytoremediation, soil.

WSTĘP

Skażenie środowiska substancjami ropopochodnymi stało się w ostatnich latach jednym z poważniejszych problemów ekologicznych. Obecność ropy naftowej i jej pochodnych modyfikuje fizykochemiczne (Merkl i in. 2005; Agbogidi i in. 2007), biochemiczne (Wyszkowska i Kucharski 2000) oraz biologiczne właściwości gleb (Tejada i in. 2008), co wpływa na skład jakościowo-ilościowy oraz aktywność mikroorganizmów. Skażenie występuje najczęściej w glebach miejskich, wokół zakładów przemysłowych i w rejonach wydobywania ropy naftowej (Surygała 2000). W glebach o większej zdolności sorpcyjnej rozkład zanieczyszczeń ropopochodnych zachodzi wolniej niż w glebach lekkich, co spowodowane jest wchłanianiem ich przez materiał ilasty i substancje organiczne (Pettersen i in. 1993). Istnieje wiele metod, których zadaniem jest ograniczenie negatywnego wpływu skażeń na otoczenie. Obok stosowania kosztownych procesów chemicznych oraz fizycznych, istnieje możliwość wykorzystania organizmów żywych. Jedną z biologicznych metod walki z zanieczyszczeniami jest fitoremediacja (Gerhardt i in. 2009). Roślinność wykorzystywana w tym procesie powinna być odporna na duże stężenia ksenobiotyków, charakteryzować się zdolnością akumulowania kilku zanieczyszczeń jednocześnie, szybkim wzrostem, produkcją

dużej ilości biomasy, odpornością na choroby, szkodniki i niekorzystne warunki środowiskowe (Marecik i in. 2006). Istotny jest również wpływ roślin na mikroflorę gleb poddawanych procesowi fitoremediacji.

Przeprowadzone badania miały na celu określenie zmian w liczebności mikroflory gleby skażonej olejem napędowym i poddawanej remediacji z wykorzystaniem roślin. W badaniach określono liczebność najważniejszych grup taksonomicznych mikroorganizmów (bakterii, promieniowców, grzybów), których obecność i aktywność wpływa na prawidłowe funkcjonowanie środowiska.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie przeprowadzono w dwóch glebach różniących się zarówno pod względem składu granulometrycznego, jak i właściwości fizykochemicznych. Pierwsza gleba została pobrana z terenu RZD Lipnik (gleba piaszczysta), zaś druga z miejscowości Ostoja koło Szczecina (gleba gliniasta). Materiał pobrano z poziomu orno-próchnicznego Ap na głębokości 0–30 cm. Gleba piaszczysta należy do gleb brunatno-rdzawych moreny dennej (Niedźwiecki i Koźmiński 1994). W poziomie Ap wykazywała skład granulometryczny piasku gliniastego lekkiego o pH w kCl 6,53, zawartości próchnicy 0,9% i zawartości azotu 0,09%, a węgla 1,0%. Gleba gliniasta należy do czarnych ziem o pH w KCl 7,0 (Niedźwiecki 1990). Materiał pobrany do badań wykazywał w poziomie orno-próchnicznym skład gliny lekkiej pylastej o zawartości próchnicy 1,2%, zawartość azotu 0,15%, a zawartość węgla 1,9% .

W badaniach wykorzystano olej napędowy pobrany z dystrybutora stacji paliw. Do gleb wprowadzono też kompost, który zawierał: 16,5% węgla organicznego, 1,02% azotu całkowitego oraz 0,11% siarki organicznej (analizę wykonano w Katedrze Ochrony i Kształtowania Środowiska ZUT w Szczecinie). W doświadczeniu wykorzystano inokulat bakteryjny (10^7 kom \cdot ml⁻¹), który przygotowano na bazie szczepów z kolekcji Zakładu Mikrobiologii i Biotechnologii Środowiska. W procesie fitoremediacji zastosowano dwa gatunki roślin: kostrzewę czerwoną (*Festuca rubra*) odmiany Areta i koniczynę czerwoną (*Trifolium pratense*) odmiany Nike.

Gleby doprowadzono do 60% MPW; wilgotność tą utrzymywano przez cały okres inkubacji (ewentualne straty uzupełniano wodą destylowaną). Każdą z nich podzielono na próby o wadze 2 kg, a następnie skażono olejem napędowym (ON) w stężeniu 5% (v/w s.m. gleby). Dodatkowo do gleb wprowadzono kompost (5% w/w na s.m. gleby) oraz inokulat bakteryjny (5% v/w na s.m. gleby). Materiał glebowy umieszczono w wazonach o pojemności 2,5 kg, a następnie do wybranych wazonów wysiano kostrzewę czerwoną lub koniczynę czerwoną. Gleby skażone i nieobsiane pozostawiono jako obiekty kontrolne (L i R, odpowiednio dla gleby piaszczystej i gliniastej). W ten sposób utworzono odpowiednie obiekty badawcze: L – gleba piaszczysta + ON, LR1 – gleba piaszczysta + ON + kostrzewa, LR2 – gleba piaszczysta + ON + koniczyna, O – gleba gliniasta + ON, OR1 – gleba gliniasta + ON + kostrzewa, OR2 – gleba gliniasta + ON + koniczyna.

Doświadczenie realizowano metodą kompletnej randomizacji w trzech powtórzeniach dla każdej kombinacji. Inkubację prowadzono w warunkach szklarniowych na terenie hali wegetatywnej ZUT przez 98 dni. W odpowiednich terminach (1, 14, 28, 63, 98 dzień inkubacji) wykonano analizy mikrobiologiczne. Liczebność mikroorganizmów określano metodą rozcieńczeń glebowych według Kocha, stosując dla bakterii podłoże według Bunta i Roviry (1955), dla promieniowców podłoże Cyganova i Zukova (1964), a dla grzybów podłoże według Martina (1950). Dodatkowo określono współczynnik stopnia rozwoju mikroorganizmów (SR) według Myśkova (1981).

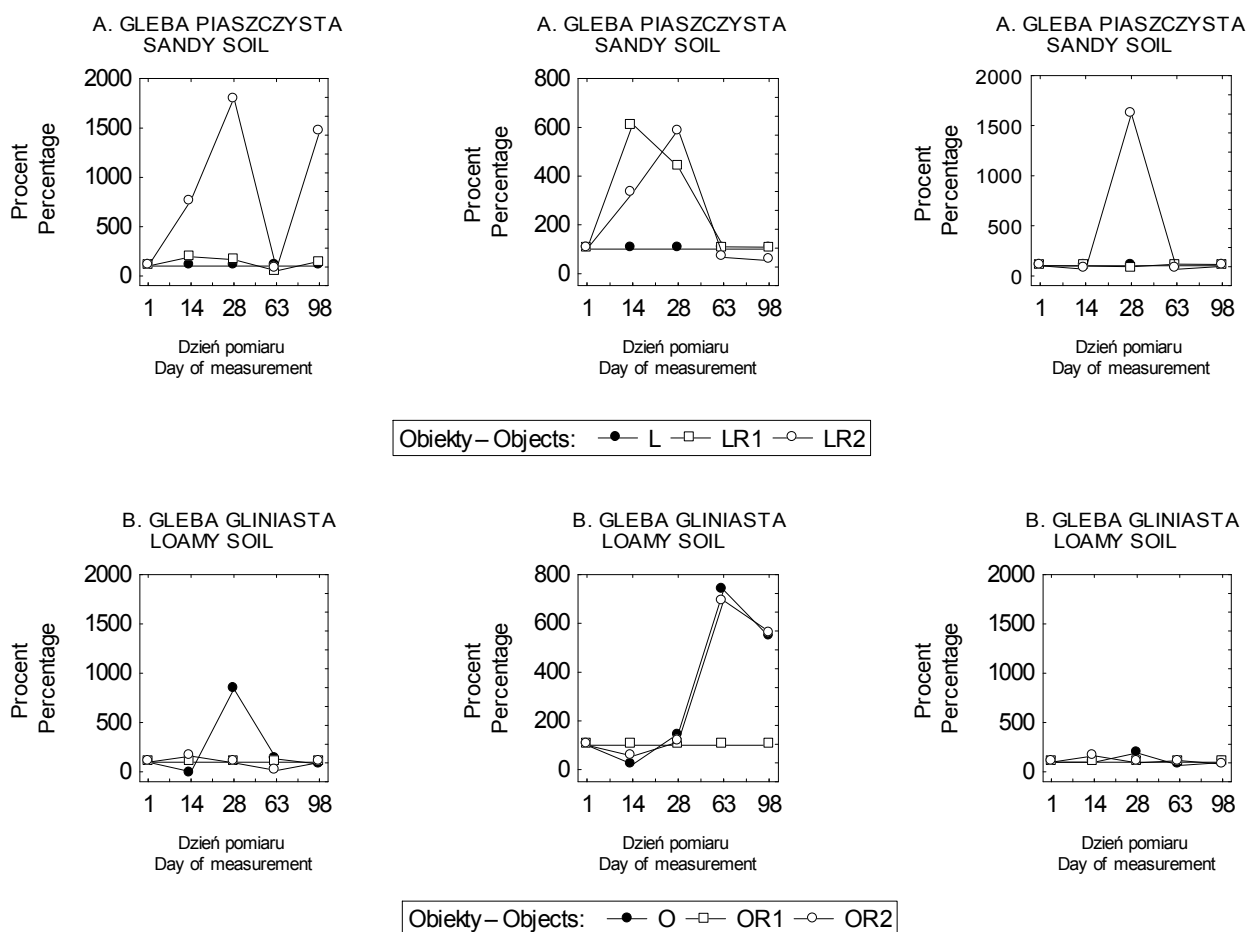
Wyniki badań opracowano statystycznie, wykorzystując dwuczynnikową analizę wariancji pozwalającą na ocenę wpływu badanych czynników (gatunek rośliny, czas inkubacji) na liczebność poszczególnych grup mikroorganizmów w obu badanych glebach.

WYNIKI I DISKUSJA

Na podstawie otrzymanych wyników badań można stwierdzić niejednoznaczny wpływ procesu fitoremediacji gleb skażonych olejem napędowym na liczebność mikroorganizmów glebowych. Reakcja badanych drobnoustrojów zależała od zastosowanych roślin oraz rodzaju gleby (rys. 1). Najliczniejszą grupą mikroorganizmów były bakterie, znacznie mniej było grzybów i promieniowców. Takie proporcje potwierdził w swoich badaniach dotyczących wpływu tego paliwa na mikroflorę gleb również Nowak i in. (1998).

Według Ferro i in. (1999) oraz Fricka i in. (1999) trawy uważane są za jedne z najlepszych roślin, które można wykorzystać do procesu fitoremediacji, ponieważ wytwarzają obfity system korzeniowy. W przypadku zastosowanych roślin może trwać do kilku tygodni. Smreczak i Maliszewska-Kordybach (2003) badały wpływ traw, tj.: kukurydzy, prosa, kostrzewy trzcinowej na ubytek węglowodorów aromatycznych z gleby. Wyniki tych doświadczeń nie były jednoznaczne. W obiekcie z prosem, kostrzewą trzcinową i kukurydzą oznaczono spowolniony rozkład węglowodorów w obecności roślin. Według Surygały (2000), gleby piaszczyste, przepuszczalne i suche są bardziej narażone na zanieczyszczenia, jednak szybciej ulegają samooczyszczeniu. W glebach wytworzonych z glin występuje wyższa zawartość materii próchnicznej niż w glebach piaszczystych, zachodzi zwiększona sorpcja zanieczyszczeń, a co za tym idzie słabsza dostępność substancji zanieczyszczających dla mikroorganizmów glebowych.

Bakterie są najważniejszymi organizmami odpowiedzialnymi za rozkład substancji organicznej, wpływają na zachodzące w przyrodzie procesy wietrzenie skał, powstawanie humusu, żyzność gleby, syntezę próchnicy (Marszewska-Ziemięcka 1969). Po wprowadzeniu do doświadczenia roślin na ogół obserwowano stymulację liczebności bakterii w glebie piaszczystej i niejednoznaczną reakcję w glebie gliniastej. W glebie piaszczystej w obiekcie z kostrzewą czerwoną praktycznie przez cały okres doświadczenia liczebność była wyższa w stosunku do obiektu bez roślin w zakresie 48–93%.



Rys. 1. Liczebność badanych grup mikroorganizmów w glebie piaszczystej i gliniastej wyrażona jako procent w stosunku do obiektów bez roślin (L – gleba piaszczysta + olej napędowy, LR1 – gleba piaszczysta + olej napędowy + kostrzewa, LR2 – gleba piaszczysta + olej napędowy + koniczyna, O – gleba gliniasta + olej napędowy, OR1 – gleba gliniasta + olej napędowy + kostrzewa, OR2 – gleba gliniasta + olej napędowy + koniczyna)

Fig. 1. The number of investigated groups of microorganisms in the sandy and loamy soil, expressed as a percentage of the objects without plants (L – sandy soil + diesel oil, LR1 – sandy soil + diesel oil + fescue, LR2 – sandy soil + diesel oil + clover, O – loamy soil + diesel oil, OR1 – loamy soil + diesel oil + fescue, OR2 – loamy soil + diesel oil + clover)

Trawy, podobnie jak i rośliny motylkowe, są dobrymi bioakumulatorami – pobierają zanieczyszczenia organiczne i akumulują je w organach nadziemnych. Korzenie roślin mogły korzystnie wpływać na strukturę gleby, powodując jej napowietrzanie, a także rozwój bakterii tlenowych, które mogą uczestniczyć w rozkładzie skażeń, a także pomagają roślinie pobierać składniki pokarmowe z podłoża, przyczyniając się do jej wzrostu (Ciura i in. 2001). Korzystny wpływ roślin rajgrasu na remediację gleb skażonych olejem napędowym potwierdza też Etsuko i in. (2004). W badaniach własnych znacznie wyższe wartości liczebności obserwowano jednak w obiekcie z koniczyną czerwoną. W glebie gliniastej, niezależnie od

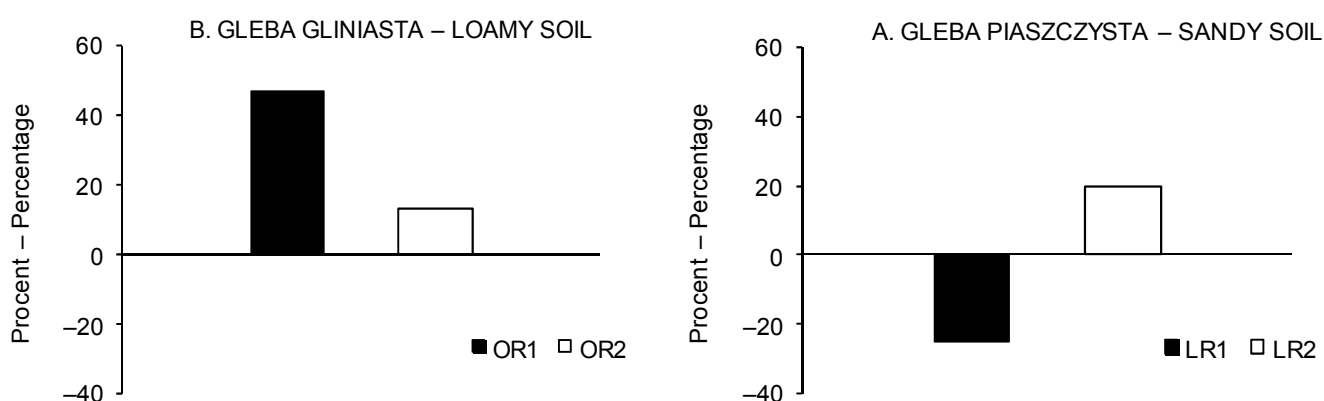
gatunku rośliny, nie odnotowano wyraźnej tendencji – w trakcie inkubacji oznaczono zarówno wzrost, jak i redukcję liczebności w stosunku do obiektu O. Korzystna reakcja mogła być efektem działania wydzielin korzeniowych, stymulujących rozkład związków organicznych. Według Smreczak i Maliszewskiej-Kordybach (2003) wydzieliny korzeniowe są dodatkowym źródłem węgla i energii dla drobnoustrojów glebowych.

Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że rośliny miały znaczący wpływ również na liczebność promieniowców zarówno w skażonej glebie piaszczystej, jak i w gliniastej. Drobnoustroje te pełnią istotną funkcję w glebie, m.in. metabolizują cały szereg trudno rozkładalnych substancji organicznych (Schlegel 2005). Nowak i in. (1998), który prowadził badania mikrobiologiczne na glebach skażonych substancjami ropopochodnymi uważa, że promieniowce, podobnie jak i bakterie, lepiej namnażają się w glebach, gdzie stosuje się intensywniejsze zabiegi modyfikujące, a do takich zabiegów można zaliczyć fitoremediację. W badaniach własnych rośliny powodowały na ogół stymulację liczebności tych mikroorganizmów w glebie piaszczystej. Wyraźny wzrost liczby komórek promieniowców, niezależnie od rodzaju zastosowanej rośliny, odnotowano w pierwszym okresie inkubacji, a stymulacja w przypadku obiektu LR1 utrzymywała się do końca inkubacji. W glebie gliniastej liczebność promieniowców w obiekcie z kostrzewą utrzymywała się na poziomie zbliżonym do kontrolnego, natomiast obecność koniczyny czerwonej miała negatywny wpływ na obserwowane zmiany. Badania Nowaka i in. (2008), dotyczące wpływu oleju napędowego na zmiany ilości mikroorganizmów, potwierdzają przyrost liczebności promieniowców w glebach skażonych olejem napędowym. Inne wyniki otrzymał Shengwei i in. (2009), który badał wpływ procesu fitoremediacji gleb skażonych ropą naftową na mikroorganizmy. Autor odnotował zależność między zmianami liczebności a koncentracją zanieczyszczenia. W glebie pod uprawą roślin oznaczył zbliżoną liczbę promieniowców w stosunku do kontroli, natomiast w glebie skażonej liczebność uległa redukcji.

W przeprowadzonych badaniach nie zaobserwowano wyraźnego związku między zastosowanymi roślinami a zmianą liczebności grzybów w obu badanych glebach. W glebie piaszczystej skażonej olejem napędowym i poddawanej fitoremediacji z wykorzystaniem kostrzewy czerwonej (obiekt LR1) przez cały okres inkubacji liczebność grzybów była zbliżona do obiektu bez roślin. Podobne zależności obserwowano w obiekcie LR2, czyli skażonej glebie piaszczystej porośniętej koniczyną (z wyjątkiem 28. dnia inkubacji). Nieznacznie większe wahania liczebności odnotowano w glebie gliniastej zarówno redukcję, jak i wzrost liczby komórek grzybów w porównaniu z obiektami bez roślin. Wahania liczebności grzybów pod wpływem oleju napędowego potwierdza też Michalcewicz (1995). Porównywalne wyniki uzyskały także Hawrot-Paw i Ryłów (2008), badając wpływ benzenu na liczebność mikroorganizmów. W badaniach własnych rośliny nie zwiększały istotnie liczby komórek grzybów, co jest zjawiskiem pozytywnym, ponieważ wiele z tych mikroorganizmów, uczestnicząc w rozkładzie

zanieczyszczeń, może przyczyniać się do powstawania substancji bardziej toksycznych dla środowiska niż substrat wyjściowy. Wahania liczebności według Małachowskiej-Jutsz i in. (1997) mogą być spowodowane pojawieniem się w środowisku toksycznych metabolitów pośrednich, które powstają w wyniku degradacji substancji ropopochodnych.

Na podstawie liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów oznaczono współczynnik stopnia rozwoju mikroorganizmów (rys. 2). Odnotowane różnice dotyczyły gatunku rośliny zastosowanej w procesie fitoremediacji. W glebie piaszczystej po wprowadzeniu kostrzewy czerwonej (LR1) obserwowano redukcję o 25% w stosunku do obiektu bez roślin. Wyższą wartość współczynnika odnotowano w obecności koniczyny czerwonej w glebie obiektu LR2 (45% więcej niż w LR1). W glebie gliniastej w obecności roślin odnotowano zwiększenie wartości współczynnika SR, zwłaszcza w obiekcie z kostrzewą czerwoną (OR1), co oznacza korzystniejsze warunki do wzrostu i rozwoju bakterii i promieniowców kosztem grzybów (rys. 2). Wzrost wartości SR może oznaczać aktywny udział bakterii w procesie rozkładu skażenia.



Rys. 2. Współczynnik stopnia rozwoju mikroorganizmów (SR) wyrażony jako procent w stosunku do obiektów bez roślin (LR1 – gleba piaszczysta + olej napędowy + kostrzewa, LR2 – gleba piaszczysta + olej napędowy + koniczyna, OR1 – gleba gliniasta + olej napędowy + kostrzewa, OR2 – gleba gliniasta + olej napędowy + koniczyna)

Fig. 2. Coefficient degree of development of microorganisms (SR) expressed as a percentage relative to the objects without plant (LR1 – sandy soil + diesel oil + fescue, LR2 – sandy soil + diesel oil + clover, OR1 – loamy soil + diesel oil + fescue, OR2 – loamy soil + diesel oil + clover)

Analiza statystyczna wykazała, że kombinacja doświadczenia oraz czas inkubacji miały istotny wpływ na liczebność tylko bakterii i promieniowców zarówno w glebie piaszczystej (tab. 1), jak i w gliniastej (tab. 2), natomiast interakcja obu czynników była istotna w obu glebach dla wszystkich badanych grup mikroorganizmów.

Tabela 1. Analiza wariancji liczebności mikroorganizmów w glebie piaszczystej skażonej olejem napędowym i poddawanej procesowi fitoremediacji

Table 1. Analysis of variance for the number of microorganisms in sandy soil contaminated with diesel fuel and subjected of phytoremediation process

Źródło zmienności ¹ Source of variation ¹	Liczba stopni swobody Degree of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	F	P
Bakterie – Bacteria				
1	4	4312107 · 10 ¹²	1171,3	0,00*
2	2	6014070 · 10 ¹¹	163,4	0,00*
1 x 2	8	4446166 · 10 ¹¹	120,8	0,00*
Błąd – Error	30	36815334 · 10 ⁸		
Promieniowce – Actinomycetes				
1	4	1486029 · 10 ¹²	582,0	0,00*
2	2	1076082 · 10 ¹¹	42,1	0,00*
1 x 2	8	4715741 · 10 ¹⁰	18,5	0,00*
Błąd – Error	30	25530967 · 10 ⁸		
Grzyby – Fungi				
1	4	42680164 · 10 ³	70,1	0,00*
2	2	1374794368	2,3	0,12
1 x 2	8	2078897152	3,4	0,01*
Błąd – Error	30	608601472		

¹ 1 – czas inkubacji – incubation time, 2 – gatunek – species.

Tabela 2. Analiza wariancji liczebności mikroorganizmów w glebie gliniastej skażonej olejem napędowym i poddawanej procesowi fitoremediacji

Table 2. Analysis of variance for the number of microorganisms in loamy soil contaminated with diesel fuel and subjected of phytoremediation process

Źródło zmienności ¹ Source of variation ¹	Liczba stopni swobody Degree of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	F	P
Bakterie – Bacteria				
1	4	9685004 · 10 ¹³	338,6	0,00*
2	2	2295575 · 10 ¹²	8,0	0,00*
1 x 2	8	5971056 · 10 ¹³	208,8	0,00*
Błąd – Error	30	2860022 · 10 ¹¹		
Promieniowce – Actinomycetes				
1	4	7735140 · 10 ¹¹	293,5	0,00*
2	2	3337343 · 10 ¹¹	126,6	0,00*
1 x 2	8	1427932 · 10 ¹¹	54,2	0,00*
Błąd – Error	30	26359119 · 10 ⁸		
Grzyby – Fungi				
1	4	14444032 · 10 ⁴	98,0	0,00*
2	2	1937555968	1,3	0,28
1 x 2	8	14740633 · 10 ³	10,0	0,00*
Błąd – Error	30	1474370048		

¹ Opis jak w tabeli 1 – description as in Table 1.

PODSUMOWANIE

Wpływ fitoremediacji na liczebność mikroorganizmów zależał od gatunku rośliny oraz grupy badanych drobnoustrojów. Stymulujący wpływ odnotowano przede wszystkim w glebie piaszczystej, w odniesieniu do bakterii i promieniowców. Stwierdzono niejednoznaczność reakcji grzybów. Obserwowane podczas doświadczenia nieznaczne zmiany w ich

liczebności (stymulacja i redukcja) nie zależały od rodzaju gleby oraz gatunku rośliny. Wyższa wartość współczynnika SR w glebach poddawanych fitoremediacji oznacza ich lepsze właściwości mikrobiologiczne w porównaniu z glebami skażonymi, bez prowadzonych zabiegów dekontaminacyjnych.

Pracę wykonano w ramach grantu KBN nr 2 P06S 010 29

PIŚMIENNICTWO

- Agbogidi O.M., Eruotor P.G., Akparobi S.O., Nnaji G.U.** 2007. Evaluation of crude oil contaminated soil on the mineral nutrient elements of maize (*Zea mays* L.). *J. Agronomy* 6 (1), 188–193.
- Bunt J.S., Rovira A.D.** 1995. Microbiological studies of some subantarctic soil. *J. Soil Sci.* 6 (1), 119–128.
- Ciura J., Seraka A., Poniedziałek M.** 2001. Fitoremediacja – nowa metoda oczyszczania antropogenicznie zanieczyszczonych gleb. *Zesz. Nauk. AR Kraków, Ogrodn.* 24, 83–93.
- Cyganov V.A., Zukov A.** 1964. Morfologobiochemiczne osobennosti novovo vida actionomiceta, *Mikrobiologia* 33 (5), 863–869.
- Etsuko K., Tsukasa M., Shyoji M., Masahiko T.** 2004. Ryegrass enhancement of biodegradation in diesel-contaminated soil. *Environ. Experiment. Botany* 55, 110–119.
- Ferro A., Rock S.A., Kennedy J., Kennedy J., Herrick J.J., Turner D.L.** 1999. Phytoremediation of soils contaminated with wood preservatives: greenhouse and field evaluations. *Int. J. Phytorem.* 1 (3), 289–306.
- Frick C. M., Farrel R.E., Germida J.J.** 1999. Assessment of phytoremediation as an in-situ technique for cleaning oil-contaminated sites. *Petroleum technology alliance of Canada, Calgary.*
- Gerhardt K.E., Huang X.-D., Glick B.R., Greenberg B.M.** 2009. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges. *Plant Sci.* 176, 20–30.
- Hawrot-Paw M., Ryłów M.** 2008. Mikrobiologiczne właściwości gleby zanieczyszczonej benzenem. *Ecol. Chem. Eng.* 6, 565–570.
- Małachowska-Jutysz A., Mrozowska J., Kozielska M., Miksch K.** 1997. Aktywność enzymatyczna w glebie skażonej związkami ropopochodnymi w procesie jej detoksykacji. *Biotechnologia* 1 (36), 79–91.
- Marecik R., Króliczak P., Cyplik P.** 2006. Fitoremediacja – alternatywa dla tradycyjnych metod oczyszczania środowiska. *Biotechnologia* 3 (74), 88–97.
- Marszewska-Zięmiecka J.** 1969. *Mikrobiologia gleby.* PWRiL, Warszawa.
- Martin J.P.** 1950. Use of acid rose bengales and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* 69, 215–233.
- Merkel N., Schultze-Kraft R., Infante C.** 2005. Phytoremediation in the tropics - influence of heavy crude oil on root morphological characteristic of graminoids. *Environ. Poll.* 138 (1), 86–91.
- Michalcewicz W.** 1995. Wpływ oleju napędowego do silników Diesla na liczebność bakterii, grzybów, promieniowców oraz biomasę mikroorganizmów glebowych. *Roczn. Państw. Zakł. Hig.* 1, 91–96.
- Myśków W.** 1981. Próby wykorzystania wskaźników aktywności mikrobiologicznej do oceny żyzności gleby. *Post. Mikrobiol.* 20 (3/4), 175–192.
- Niedźwiecki E.** 1990. Wpływ użytkowania sadowniczego na zmiany właściwości gleb wytworzonych z glin zwałowych w obrębie Równiny Gumienieckiej na Pomorzu Zachodnim. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 196, 137–147.
- Niedźwiecki E., Koźmiński Cz.** 1994. Agricultural production on light soil in the protective zone of Miedwie lake water intake for Szczecin. *Rocz. Glebozn.* XLV (1–2), 21–26.

- Nowak A., Hawrot M., Dudzińska A.** 1998. Badania biodegradacji substancji ropopochodnych w glebie oraz wpływ różnych zabiegów intensyfikujących szybkość tego procesu. *Ecol. Chem. Eng.* 5 (11), 1013–1024.
- Nowak A., Nowak J., Hawrot-Paw M., Telesiński A., Błaszak M., Kłódka D., Przybulewska K., Smolik B., Szymczak J.** 2008. Biodegradacja oleju napędowego w glebie modyfikowanej kompostem i bentonitem oraz optymalizowanymi szczepami bakterii. Cz. II. Zmiany ilości i aktywności mikroorganizmów. *Chem. Inż. Ekol.* 7, 607–621.
- Petterson B.W., Andersen B.M., Baggergard H., Jensen L.H., Lynopso B., Kjaer B.N.** 1993. Remediation of oil polluted soil by compost, compared to the effect of other additives. *Soil. Biol. Biochem.*, 8, 684–685.
- Schlegel H.G.** 2005. *Mikrobiologia ogólna*. PWN, Warszawa.
- Shengwei P., Qixing Z., Hang C., Zhineng Z.** 2009. Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis Jalapa* in a greenhouse plot experiment. *J. Hazard. Mat.* 168, 1490–1496.
- Smreczak B., Maliszewska-Kordybach B.** 2003. Wpływ niektórych traw na ubytek antracenu i piranu w glebach zanieczyszczonych tymi związkami. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk. Rol.* 492, 329–339.
- Surygała J.** 2000. *Zanieczyszczenia naftowe w gruncie*. Wydaw. Politech. Wrocławskiej, Wrocław.
- Tejada M., Gonzalez J.L., Hernandez M.T., Garcia C.** 2008. Application of different organic amendments in a gasoline contaminated soil: effect on soil microbial properties. *Biores. Technol.* 99 (8), 2872–2880.
- Wyszkowska J., Kucharski J.** 2000. Biochemical properties of soil contaminated by petrol. *Pol. J. Environ. Stud.* 9 (6), 479–485.

