ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: INŻYNIERIA ŚRODOWISKA z. 45 Nr kol. 1487

Krzysztof PIECHOWIAK, Ewa KACZOREK, Andrzej OLSZANOWSKI

Politechnika Poznańska, Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
60-965 Poznań, pl. M. Skłodowskej-Curie 2

WPŁYW SŁABEGO POLA ELEKTRYCZNEGO NA BIODEGRADACJĘ ROPOPOCHODNYCH W GRUNCIE

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki wpływu prądu elektrycznego o słabym polu na aktywność w gruncie różnych szczepów bakteryjnych wykazujących zdolności biodegradacji substancji ropopochodnych i na skuteczność procesu biodegradacji wywołanego substancjami ropopochodnymi.

THE INFLUENCE OF WEAK ELECTRIC FIELD ON BIODEGRADATION OF OIL IN SOIL

Summary. The influence of a weak electric field on the activity and migration of different bacteria strain in soil was studied. After the experiment had been completed the influence of a weak electric field on the biodegradation of fuel oil derivatives in soil was also estimated.

WSTĘP

Spośród wielu technologii oczyszczania gruntów największą „popularnością" cieszą się metody *in situ*, czyli takie, które umożliwiają przeprowadzenie procesu rekultywacji skażonego gruntu na miejscu jego skażenia bez konieczności wykonywania skomplikowanych i niejednokrotnie kosztownych prac ziemnych związanych z wydobyciem skażonego gruntu.

Znane są metody elektrokinetyczne, wykorzystujące pole elektryczne prądu stałego w celu wymuszenia ukierunkowanego transportu zanieczyszczeń lub pośrednich produktów ich rozkładu w gruncie. Użycie pola elektrycznego prądu stałego w gruncie może wywoływać zjawiska elektroosmozy, elektroforezy i elektrolizy. Metody elektrokinetyczne pozwalają na zwiększenie prędkości transportu oraz gromadzenie zanieczyszczeń, rozpuszczalnych w wodzie o charakterze jonowym lub polarnym, w miejscach z których można je łatwo odprowadzić. Zaletami zastosowania pola elektrycznego jest wysoki stopień usuwania skażeń na drodze transportu w fazie wodnej, szybki ukierunkowany transport zanieczyszczonych roztworów do odpowiednich zbiorników, w postaci studni, z których możliwa jest ich ewakuacja oraz przyśpieszenie procesów biochemicznej degradacji zanieczyszczeń [1-4].

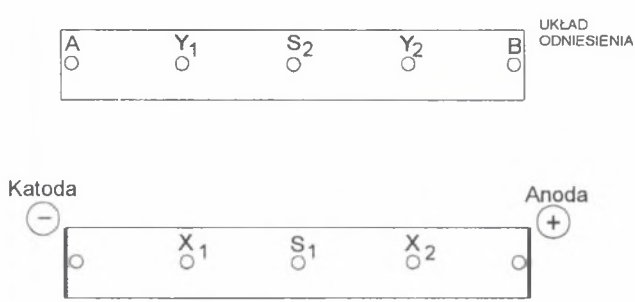
Znane są również przykłady użycia pola elektrycznego prądu stałego do skutecznego usuwania zanieczyszczeń wywołanych jonami metali ciężkich, azotanami, a także związkami organicznymi o charakterze polarnym, takich jak fenole czy kwas octowy. Niektóre najnowsze technologie oczyszczania gleby polegają na jednoczesnym zastosowaniu odpowiednich technik bioremediacyjnych oraz ukierunkowanego elektrokinetycznego transportu zanieczyszczeń. Właściwe zastosowanie techniki oczyszczania gleby zależy każdorazowo od warunków biologicznych, fizykochemicznych i geologicznych, charakterystycznych dla obszaru podlegającego oczyszczaniu [5-8].

Jednocześnie pośród doniesień literaturowych znajduje się niewiele informacji opisujących wpływ słabego pola elektrycznego w warunkach gruntowych na biodegradację związków o charakterze niepolarnym, zwłaszcza ropopochodnych, przy pomocy flory bakteryjnej autochtonicznej, jak i dodatkowo wprowadzonej w wyniku stosowania biologicznych technologii oczyszczania gruntu.

Celem przeprowadzonych w naszym zespole badań było określenie wpływu prądu elektrycznego o słabym polu na aktywność w gruncie różnych szczepów bakteryjnych wykazujących zdolności biodegradacji substancji ropopochodnych i na skuteczność procesu biodegradacji wywołanego substancjami ropopochodnymi [9].

METODYKA EKSPERYMENTÓW

Doświadczenia przeprowadzano w dwóch polietylenowych rurach o długości 1 m i średnicy 6 cm. Rury te posiadały wywiercone otwory o średnicy 24 mm, w punktach: **katoda, anoda, A, B, X_1, Y_1, X_2, Y_2, S_1, S_2,** które umożliwiały pobór próbek gruntu z tych punktów w trakcie przeprowadzenia doświadczenia (rys. 1).



Rys. 1. Schemat budowy stanowiska badawczego
Fig. 1. The schema of the laboratory system

Na początku każdego z eksperymentów obie rury napełniano skażonym gruntem. Na końcach jednej z rur umieszczano elektrody, które podłączano do źródła prądu stałego. Natomiast końce drugiej rury zaślepiano i traktowano jako układ odniesienia. Do każdego z układów wprowadzano badane bakterie, w postaci wodnej zawiesiny, w punktach centralnych S_1 i S_2. W przypadku prowadzenia eksperymentu w warunkach jałowych przed rozpoczęciem doświadczenia grunt skażony odkażano w autoklawach, natomiast rury i elektrody odkażano podchlorynem sodowym.

W trakcie trwania eksperymentu z punktów badawczych pobierano próbki do analiz mikrobiologicznych, natomiast po zakończeniu eksperymentu oznaczano zawartość produktów ropopochodnych metodą ekstraktu eterowego.

Przeprowadzono pięć eksperymentów, których celem było określenie wpływu słabego pola elektrycznego, zmiany biegunowości pola elektrycznego, spływu hydraulicznego oraz emulgatora na migrację bakterii szczepów *Pseudomonas* oraz *Bacillus* w gruncie oraz na biodegradację substancji ropopochodnych w gruncie przez bakterie wymienionych szczepów. W niektórych eksperymentach badano również wpływ autochtonicznej flory bakteryjnej na wymienione procesy, przeprowadzając je w warunkach niejałowych. Eksperymenty, w których takiego wpływu nie uwzględniano, przeprowadzano w warunkach jałowych.

PRZEPROWADZONE EKSPERYMENTY, WYNIKI, DYSKUSJA

Badanie wpływu prądu elektrycznego na mieszaninę szczepów bakteryjnych *Pseudomonas putida* oraz *Klebsiella pneumoniae* w gruncie w warunkach jałowych

W tym doświadczeniu do obu układów została wprowadzona mieszanina bakterii *Pseudomonas putida* i *Klebsiella pneumoniae*. Doświadczenie trwało 42 dni, stosowano prąd o natężeniu 80 μA.

Tabela 1

Migracja bakterii *Pseudomonas putida* w układzie znajdującym się pod wpływem prądu elektrycznego i w układzie odniesienia

Czas [dni]	Liczba komórek bakteryjnych *Pseudomonas putida* [kom/g] (*10^7)									
	Pod działaniem prądu elektrycznego 80 μA					Układ odniesienia				
	katoda	X^1	S^1	X^2	anoda	A	Y^1	S^2	Y^2	B
7	0	0	4,8	0	0	0	0	6,4	0	0
14	0	0	1,8	0	0	0	0	6,8	0	0
21	0	0	6,0	9,6	0	0	0	1,5	0	0
28	0	0	4,0	5,0	0	0	0	6,0	0	0
35	0	1,0	0,9	1,2	0	0	0	1,4	0	0
42	0	0,01	2,0	1,0	0	0	0	3,0	0	0

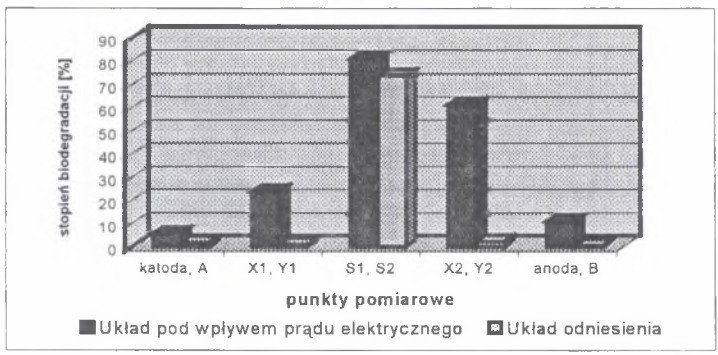
Tabela 2

Migracja bakterii *Klebsiella pneumoniae* w układzie znajdującym się pod wpływem prądu elektrycznego i w układzie odniesienia

Czas [dni]	Liczba komórek bakteryjnych *Klebsiella pneumoniae* [kom/g] (*10^7)									
	Pod działaniem prądu elektrycznego 80 μA					Układ odniesienia				
	katoda	X_1	S_1	X_2	anoda	A	Y_1	S_2	Y_2	B
7	0	0	4,8	0	0	0	0	6,4	0	0
14	0	0	1,5	0	0	0	0	4,0	0	0
21	0	0	1,8	0,88	0	0	0	2,4	0	0
28	0	0	0,44	3,6	0	0	0	0,1	0	0
35	0	0	1,2	4,0	$1,0*10^4$	0	0	2,0	0	0
42	0	0	1,0	0,28	$2,4*10^2$	0	0	1,3	0	0

Wyniki przedstawione w tabelach 1 i 2 wskazują, że w układzie znajdującym się pod wpływem stałego prądu elektrycznego migracja bakterii jest wyraźnie ukierunkowana w stronę anody. Natomiast w układzie odniesienia nie obserwowano migracji mikroorganizmów, gdyż ich stężenie wzrastało jedynie w punkcie centralnym.

Bardzo interesujące wyniki biodegradacji skażenia zaobserwowano po 42 dniach eksperymentu. Obserwuje się znacznie większą biodegradację w całym gruncie pod wpływem działania pola elektrycznego w porównaniu do próby odniesienia. Wzrost biodegradacji jest wyższy w stronę anody, podobnie jak obserwowany wzrost liczby bakterii (rys. 2).



Rys. 2. Rozkład stopni biodegradacji w układzie pod wpływem prądu elektrycznego i w układzie odniesienia
Fig. 2. Results of biodegradation of oil in the system under influence of the electric current and in the comparative system (42 days, Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas putida)

Badanie wpływu połączonego spływu hydraulicznego oraz prądu elektrycznego na mieszaninę szczepów bakteryjnych *Pseudomonas putida* oraz *Klebsiella pneumoniae* w warunkach jałowych

Ocenę migracji bakterii *Pseudomonas putida* i *Klebsiella pneumoniae*, pod wpływem naturalnego spływu hydraulicznego połączonego z przepływem prądu elektrycznego w środowisku gruntowym i biodegradacją skażenia ropopochodnego, prowadzono w analogicznych warunkach (patrz metodyka eksperymentów), ustawiając jedynie w odmienny sposób rury z gruntem. Rury z gruntem ustawiono przy różnicy poziomów 2 cm (wyżej: anoda i koniec B w układzie odniesienia) na długości 1 m.

Eksperyment prowadzono przez trzy miesiące stosując natężenie prądu 40 μA. Wyniki przedstawiające zachowanie się szczepu *Pseudomonas putida* w trakcie eksperymentu przedstawiono w tabeli 3, natomiast wyniki przedstawiające zachowanie się szczepu *Klebsiella pneumoniae* przedstawiono na rys. 3. Przedstawione wyniki wykazują, że zarówno spływ hydrauliczny, jak i przepływ prądu elektrycznego powodują migrację obu, badanych w tym eksperymencie, szczepów bakterii. Pojawienie się bakterii w punktach **katoda** oraz **A,** po miesiącu od rozpoczęcia eksperymentu, dowodzi zjawiska migracji bakterii pod wpływem spływu hydraulicznego. Natomiast pojawienie się, po miesiącu od rozpoczęcia eksperymentu, większych ilości komórek bakteryjnych *Pseudomonas putida* w punkcie **anoda** niż w punkcie **B** świadczy o zjawisku migracji komórek bakterii *Pseudomonas putida* w stronę anody na skutek zjawisk elektrokinetycznych. Zjawisko to potwierdza również zachowanie się

komórek *Klebsiella pneumoniae*, gdyż w drugim miesiącu od rozpoczęcia eksperymentu komórki te znajdowały się w punkcie **anoda** w liczbie prawie tysiąc razy większej niż komórki tej samej bakterii w punkcie **B**.

Ważnym wnioskiem płynącym z tego doświadczenia jest to, że w wyniku połączenia naturalnego spływu hydraulicznego i przepływu prądu elektrycznego otrzymano jednorodne rozprzestrzenienia się mikroorganizmów w obu kierunkach, natomiast w układzie znajdującym się tylko pod wpływem naturalnego spływu hydraulicznego rozprzestrzenianie się komórek bakteryjnych przebiegało intensywnie tylko w kierunku spływu.

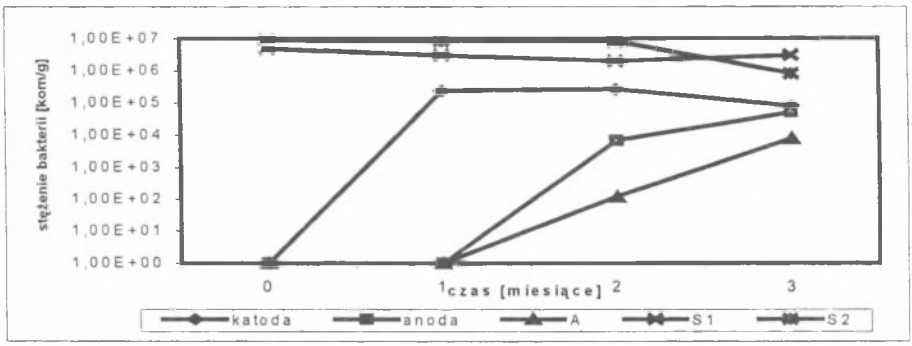
Po zakończonym eksperymencie oznaczono poziom skażenia i stopnie biodegradacji w wybranych punktach, w celu określenia wpływu spływu hydraulicznego połączonego z przepływem prądu elektrycznego na biodegradację zanieczyszczenia ropopochodnego w gruncie (rys. 4).

Wyniki przedstawione na rys 4, charakteryzujące biodegradację w poszczególnych punktach, w pełni potwierdzają wyniki dotyczące migracji bakterii. W przypadku próby odniesienia, gdzie jedyną siłą powodującą intensyfikację migracji bakterii w gruncie był spływ hydrauliczny, znaczną biodegradację otrzymano w punktach znajdujących się "na drodze" tego spływu: stopień biodegradacji w punkcie $\mathbf{Y_1}$=83,15% i stopień biodegradacji w punkcie **A**=81,35%. Natomiast w punktach $\mathbf{Y_2}$ i **B**, które znajdowały się w kierunku przeciwnym do spływu hydraulicznego, stopnie biodegradacji były znacznie niższe; w żadnym z tych punktów nie przekroczyły wartości 20%. Z kolei, w układzie, w którym na migrację bakterii w środowisku gruntowym miały wpływ zarówno przepływ prądu elektrycznego, jak i spływ hydrauliczny, obserwuje się zwiększenie stopni biodegradacji we wszystkich punktach pomiarowych. Wprawdzie stopnie biodegradacji w punktach $\mathbf{X_1}$, $\mathbf{X_2}$, **anoda** i **katoda** nie są tak wysokie jak w punktach $\mathbf{Y_1}$ i **A**, jednak w przypadku połączenia przepływu spływu hydraulicznego z przepływem prądu elektrycznego otrzymujemy bardzo korzystne zjawisko polegające na równomiernym rozprzestrzenieniu się mikroorganizmów w obu kierunkach.

Tabela 3

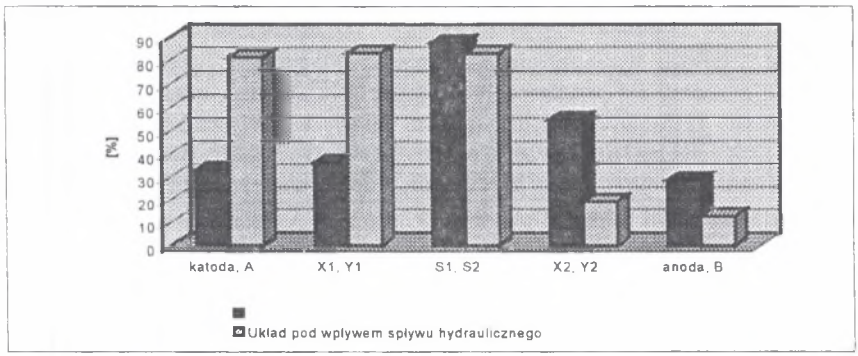
Migracja bakterii *Pseudomonas putida* pod wpływem prądu elektrycznego i spływu hydraulicznego oraz pod wpływem tylko spływu hydraulicznego

Czas [mies.]	Liczba komórek bakteryjnych *Pseudomonas putida* [kom/g]					
	katoda	S_1	anoda	A	S_2	B
	0	$5{,}0*10^6$	0	0	$5{,}0*10^6$	0
1	$1{,}6*10^6$	$8{,}2*10^6$	$1{,}0*10^3$	$7{,}0*10^4$	$8{,}5*10^6$	0



Rys. 3. Migracja bakterii *Klebsiella pneumoniae* pod wpływem prądu elektrycznego i spływu hydraulicznego oraz pod wpływem tylko spływu hydraulicznego

Fig. 3. Results of migration of *Klebsiella pneumoniae* in the system under influence of the electric current and the hydraulic flow and in the system under influence of the hydraulic flow only

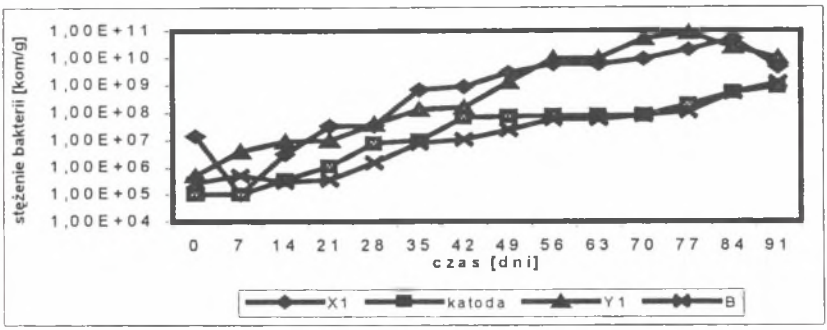


Rys. 4. Rozkład stopni biodegradacji w układzie pod wpływem prądu elektrycznego i w układzie odniesienia

Fig. 4. Results of biodegradation of oil in the system under influence of the electric current and in the comparative system (3 months, *Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas putida*)

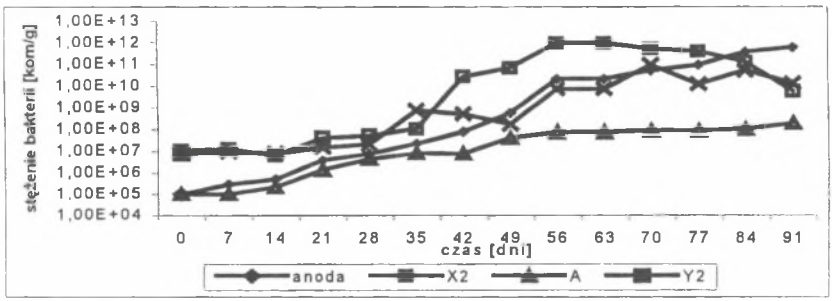
Badanie wpływu prądu elektrycznego o natężeniu 200μA na szczep bakteryjny *Bacillus subtilis* w gruncie niejałowym. Określenie wpływu zmiany biegunowości pola elektrycznego na zachowanie się bakterii szczepu *Bacillus subtilis* w gruncie

W eksperymencie tym do obu układów wprowadzono zawiesiny szczepu *Bacillus subtilis* o stężeniu $5{,}0*10^8$kom/ml. Eksperyment prowadzono przez 91 dni stosując natężenie prądu 200 μA. Po 63 dniu eksperymentu zamieniono biegunowość elektrod. Uzyskane wyniki (rys. 5 i 6) wskazują, że bakterie szczepu *Bacillus subtilis* przemieszczają się także w kierunku anody pod wpływem prądu elektrycznego (do 63 dnia eksperymentu). Obserwuje się zmniejszenie stężenia bakterii przy "starej" anodzie oraz wzrost stężenia w kierunku "nowej" anody. Wyniki analizy stopni biodegradacji (rys. 7) wskazują na znacznie wyższą biodegradację w punktach $\mathbf{X_2}$ i **anoda**.



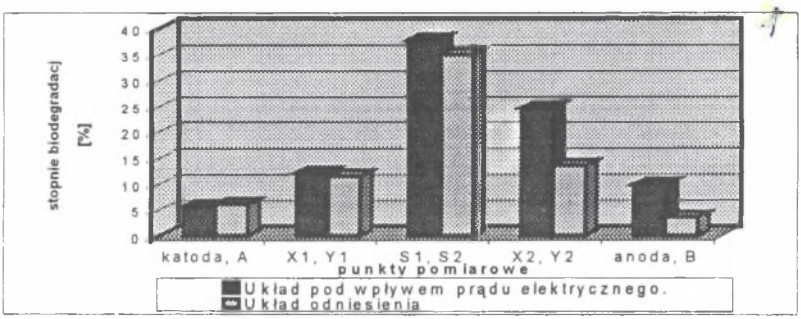
Rys. 5. Porównanie migracji bakterii *Bacillus subtilis* w układzie znajdującym się pod wpływem prądu elektrycznego: punkty X_1, katoda i w układzie odniesienia: punkty Y_1, B (po 63 dniach zmiana biegunowości elektrod)

Fig. 5. Results of migration of *Bacillus subtilis* in the system under influence of the electric current (X_1, cathode) and in the comparative system (Y_1, B), (a change of a polarity of electrodes - 63rd day)



Rys. 6. Porównanie migracji bakterii *Bacillus subtilis* w układzie znajdującym się pod wpływem prądu elektrycznego: punkty X_2, anoda i w układzie odniesienia: punkty Y_2, A (w 63 dniu eksperymentu zmiana biegunowości elektrod)

Fig. 6. Comparison of migration of *Bacillus subtilis* bacteria in the system under influence of the electric current (X_2, anode) and in the comparative system (Y_2, A), (a change of a polarity of electrodes - 63rd day)



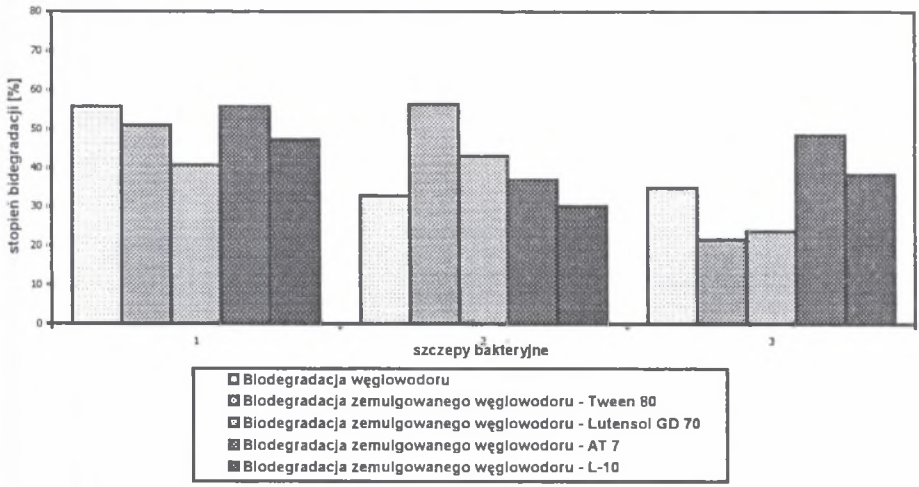
Rys. 7. Rozkład stopni biodegradacji w układzie pod wpływem prądu elektrycznego i w układzie odniesienia (w 63 dniu eksperymentu zmiana biegunowości elektrod)

Fig. 7. Results of biodegradation of oil in the system under influence of the electric current and in the comparative system, (a change of a polarity of electrodes - 63rd day)

Badanie wpływu prądu elektrycznego na szczep bakteryjny *Bacillus subtilis* w warunkach jałowych w obecności środka powierzchniowo czynnego

Do obu układów wprowadzono po 30 ml roztworu zawierającego $8,94*10^8$ kom/ml szczepu *Bacillus subtilis* oraz 0,6 ml emulgatora (Lutensol L10). Doboru emulgatora dokonano na podstawie wstępnych badań wpływu emulgatorów na biodegradację modelowej mieszaniny węglowodorów (dodekan i heksadekan) w wodzie dla wybranych szczepów bakterii (rys. 8).

Eksperyment w gruncie prowadzono przez 49 dni stosując natężenie prądu 200 μA (rys. 9 i 10).



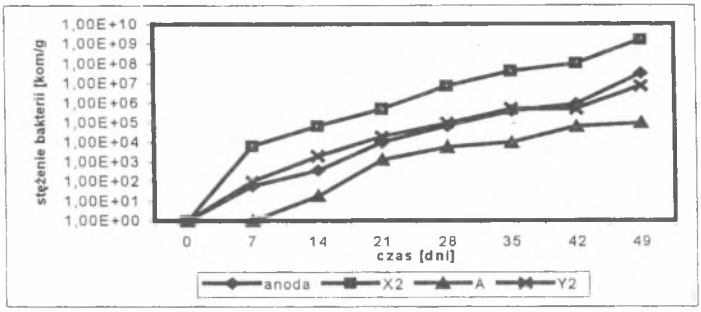
1. Pseudomonas aeruginosa, 2. Pseudomonas putida, 3. Bacillus subtilis

Rys. 8. Porównanie wpływu czterech emulgatorów na biodegradację węglowodorów przez wybrane szczepy bakterii (czas eksperymentu 7 dni, 36°C, warunki jałowe)

Fig. 8. The comparison of the influence of four emulsifiers on hydrocarbons biodegradation in water by selected bacteria strains (7 days, temp. 36°C, sterile conditions)

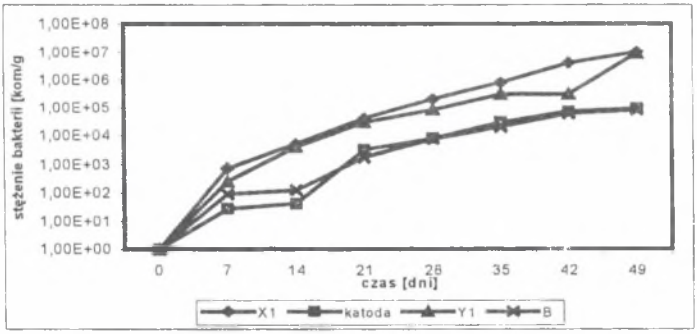
Uzyskane wyniki (rys. 9 i 10) wskazują, że bakterie szczepu *Bacillus subtilis* przemieszczają się w kierunku anody, przy czym, na skutek dodatku środka powierzchniowo czynnego, wpływ prądu na kierunek migracji bakterii jest widoczny już po upływie pierwszego tygodnia eksperymentu. Po 49 dniach liczba bakterii przy anodzie wynosiła $2,65*10^7$kom/g, punkcie odniesienia A tylko $1,03*10^5$ kom/g.

Zastosowanie emulgatora obniżyło napięcie powierzchniowe środowiska wodno-gruntowego. Spowodowało to emulgowanie produktów naftowych oraz większą dostępność dla mikroorganizmów. W wyniku tego bakterie namnażały się szybciej i szybciej migrowały w kierunku anody w porównaniu do układu bez emulgatora i obserwowano wyższą biodegradację ropopochodnych (rys. 11).



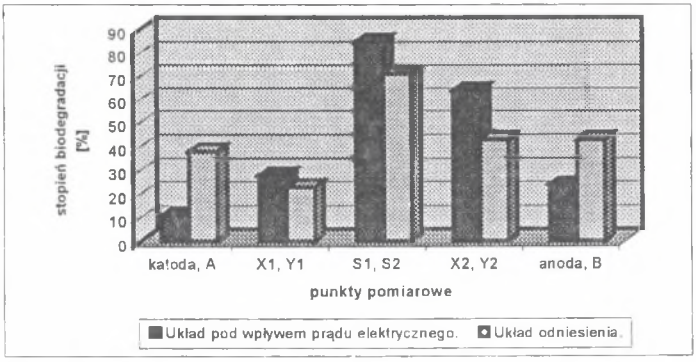
Rys. 9. Porównanie migracji bakterii *Bacillus subtilis*, w obecności emulgatorta lutensolu w układzie znajdującym się pod wpływem prądu elektrycznego: punkty X_2, anoda i w układzie odniesienia: punkty Y_2, A

Fig. 9. Results of migration of *Bacillus subtilis* in the presence of the emulsifier-Lutensol GD-70, in the system under influence of the electric current (X_2, anode) and in the comparative system Y_2, A



Rys. 10. Porównanie migracji bakterii Bacillus subtilis, w obecności emulgatorta Lutensolu w układzie znajdującym się pod wpływem prądu elektrycznego: punkty X2, katoda i w układzie odniesienia: punkty Y1, B

Fig. 10. Results of migration of Bacillus subtilis, in the presence of the emulsifier-Lutensol GD-70, in the system under influence of the electric current (X1, cathode); and in the comparative system Y1, B

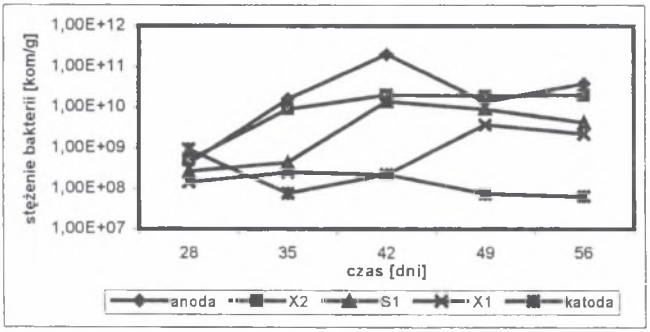


Rys. 11. Rozkład stopni biodegradacji w układzie z emulgatorem znajdującym się pod wpływem prądu elektrycznego i w układzie odniesienia

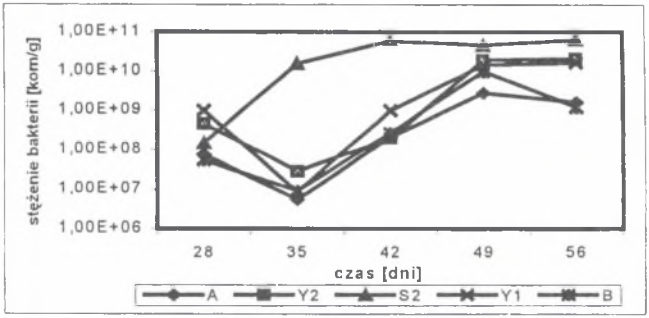
Fig. 11. Results of biodegradation of oil in the system under influence of the electric current and in the comparative system (49 days, Bacillus subtilis, Lutensol GD-70)

Badanie wpływu prądu elektrycznego na mikroorganizmy HydroBioPreparatu - Grupa 10 (HBP-10) warunkach niejałowych

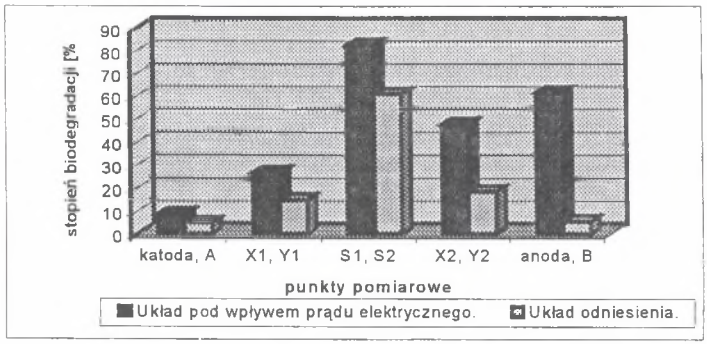
Do obu układów wprowadzono roztwory biopreparatu HBP-10 zawierające zawiesiny szczepów bakterii z rodzajów *Pseudomonas* i *Bacillus* i innych o stężeniu $1{,}211*10^9$ kom/ml. Eksperyment prowadzono przez 56 dni przy natężeniu prądu 40 μA. Uzyskane wyniki (rys. 12, 13 i 14) wskazują, że działanie słabego pola elektrycznego na mieszaninę bakterii z rodzajów *Pseudomonas* i *Bacillus* również pozwala na ukierunkowane przemieszczanie się mikroorganizmów w kierunku anody, podobnie jak w przypadku pojedynczych szczepów bakterii. Obserwuje się również zwiększoną biodegradację ropopochodnych w porównaniu do układu odniesienia, gdzie nie zastosowano pola elektrycznego.



Rys. 12. Migracja mikroorganizmów HBP-10 w układzie pod wpływem prądu elektrycznego
Fig. 12. Results of bacteria migration in the system under influence of the electric current (the biopreparate HBP-10)



Rys. 13. Migracja mikroorganizmów HBP-10 w układzie odniesienia
Fig. 13. Results of bacteria migration in the comparative system (the biopreparate HBP-10)



Rys. 14. Rozkład stopni biodegradacji w układzie pod wpływem prądu elektrycznego i w układzie odniesienia.
Fig. 14. Results of biodegradation of oil in the system under influence of the electric current and in the comparative system (56 days, the biopreparate HBP-10)

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ słabego pola elektrycznego na aktywność przebadanych szczepów bakterii *Bacillus subtilis, Pseudomonas putida, Klebsiella pneumoniae* oraz mieszaniny bakterii w gruncie skażonym substancjami ropopochodnymi.

Pod wpływem słabego pola elektrycznego przebadane szczepy bakterii wykazywały tendencję do migracji w kierunku dodatnio naładowanej anody (elektroforeza). Efekt ten związany jest z budową ściany komórkowej komórek bakteryjnych, której wypadkowy ładunek elektryczny ma wartość ujemną. Otrzymane wyniki wskazują, że w obecności słabego pola elektrycznego migracja komórek bakteryjnych na wskutek elektroforezy w kierunku dodatnio naładowanej anody jest zjawiskiem silniejszym niż migracja komórek bakteryjnych z wodą w kierunku katody na wskutek zjawiska elektroosmozy. Migracja komórek bakteryjnych w kierunku anody ma również miejsce w przypadku przeciwnym do kierunku naturalnego spływu hydraulicznego wywołanego różnicą poziomów.

Zmiana kierunku działania pola elektrycznego wywołuje zmianę kierunku migracji komórek bakteryjnych.

Słabe pole elektryczne powoduje zwiększenie liczby komórek bakteryjnych na większym obszarze (większej objętości) gruntu w porównaniu do analogicznego gruntu nie będącego pod wpływem pola elektrycznego.

Zastosowanie pola elektrycznego zwiększało biodegradacji ropopochodnych w skażonym gruncie, zgodnie z kierunkiem migracji bakterii.

Dodatkowe zastosowanie środka powierzchniowo czynnego spowodowało szybszy wzrost mikroorganizmów oraz ich zwiększoną migrację ku anodzie.

LITERATURA

1. Lageman R., Pool W., Seffinga G.: „Electro-reclamation: Theory and Practice", Chemistry & Industry, 18 September 7, 585-590, 1989.
2. Acar Y.B., Rabbi M.F., Ozsu E.E., Gale R.J., Alshawabkeh A.N.: „Enhance soil bioremediation with electric fields", Chemtech, 40-44, kwiecień 1996.
3. Chilingar G.V., Loo W.W., Khilyuk L.F., Katz S.A.: „Elektrobioremediation of soil contaminated with carbon and metals: progress report", Energy Sources, 19, 129-146, 1997.
4. Acar Y.B., Alshawabkeh A.N.: „Principles of electrokinetic remediation", Environmental Science & Technology 27(13), 2638-2646, 1993.
5. Segall B.A., Bruell C.J.: „Electroosmosis contaminant removal processes", Journal of Environmental Engineering, January/February 118(1), 1837-1852, 1992.
6. Acar Y.B., Li H., Gale R.J.: „Phenol removal from kaolinite by electrokinetics", Journal of Geotechnical Engineering, 118(1), 84-100, 1992.
7. Yeung A.T., Datla S.: „Fundamental formulation of electrokinetic extraction of contaminated soil", Canadian Geotechnical Journal, 32, 569-583, 1995.
8. Shapiro A.P., Probstein R.F.: „Removal of contaminants from saturated clay by electroosmosis", Environmental Science & Technology, 27(2), 283-291, 1993.
9. Cybulski Z., Machczyński W., Olszanowski A., Piechowiak K.: „Sposób oczyszczania skażonych gruntów skażonych substancjami organicznymi", Zgł. patentowe nr 341485, 2000.

Abstract

The effect of a weak electric field on the migration of different strains of bacteria and a biodegradation of fuel oil components in soil were examined on a laboratory scale. The contaminated soil was tested after damage of a pipe-line. Pseudomonas putida, Klebsiella pneumoniae, Bacillus subtilis and biopreparate HBP-10 containing different bacterial strains of Pseudomonaceae i Bacillaceae families were used. The results obtained indicate that the use of a weak electric field during biodegradation contaminated soil allowed to increase: i/ a migration and growth of bacteria in the direction of the anode, ii/ yield of biodegradation and area of biodegradation. A change of polarity of electrode could change the direction of bacteria migration in soil. The application of an emulsifier increases the effect of the electric field on the biodegradation and migration of bacteria.

Praca została wykonana w ramach projektu DPB 32/018/2000

Recenzent: Prof. dr hab. Barbara Maliszewska-Kordybach