

Teresa FARBISZEWSKA<sup>\*</sup>, Teresa SUDOŁ<sup>\*\*</sup>,  
Jadwiga FARBISZEWSKA-BAJER<sup>\*\*\*</sup>, Janusz SOWA<sup>\*\*\*\*</sup>, Iwona MARCJASZ<sup>\*\*\*\*</sup>

## **PORÓWNANIE METODY BIOSANACJI GLEBY Z OLEJU NAPĘDOWEGO Z INNYMI METODAMI**

Przedstawiono procesy sanacji gleby z wprowadzonego do niej oleju napędowego, który stanowił 0,8% masy gleby. Porównano procesy sanacji skażonej gleby z oleju prowadzone w układach: napowietrzanych, napowietrzanych z dodatkiem substancji będących pożywką dla mikroflory i napowietrzanych z dodatkiem substancji będących pożywką dla mikroflory i dodatkiem mikroflory autochtonicznej wcześniej wyizolowanej z tej gleby. W procesie z mikroflorą autochtoniczną uzyskano w ciągu 30 dni degradację 91,3% wprowadzonego oleju napędowego. W identycznie prowadzonym procesie bez wprowadzonej mikroflory autochtonicznej, w tym samym czasie, degradacji uległo 65% oleju napędowego, a w układzie tylko napowietrzonym – 59%. Równocześnie stwierdzono ubytek 25% masy wprowadzonego oleju w układzie nie napowietrzonym, w którym następowało samoistne parowanie węglowodorów.

### **WPROWADZENIE**

Węglowodory alifatyczne i aromatyczne, zawarte w substancjach ropopochodnych, dostające się do gruntu i do wód gruntowych, to ksenobiotyki stwarzające w ostatnich latach coraz większe zagrożenie środowiska. W Polsce, zwłaszcza po wyjeździe wojsk radzieckich, problem ten stał się ważnym problemem ekologicznym. Przede wszystkim skażone pozostały tereny byłych lotnisk po Armii Radzieckiej (Spychała, 1994). Skażenie środowiska substancjami ropopochodnymi występuje jednak nie tylko na terenach byłych lotnisk, skażone są także okolice stacji i przepompowni paliw oraz okolice, przez które przebiegają rurociągi z ropą naftową, które ulegają samoistnym i wymuszonym awariom (Farbiszewska, 1997).

---

<sup>\*</sup>Uniwersytet Opolski, Instytut Biologii i Ochrony Środowiska, 45-036 Opole.

<sup>\*\*</sup>Uniwersytet Opolski, Instytut Chemii, 45-036 Opole.

<sup>\*\*\*</sup>Uniwersytet Opolski, Katedra Inżynierii Procesowej.

<sup>\*\*\*\*</sup>Politechnika Opolska, Opole.

Równocześnie z uznaniem skażenia substancjami ropopochodnymi za problem ekologiczny, pojawiło się szereg sposobów jego rozwiązania. Stosowano wypalanie zanieczyszczeń w specjalnych instalacjach oraz metodę ekstrakcji rozpuszczalnikowej (Łebkowska, 1993). Proponowano wykorzystać ogrzewanie mikrofalowe do oczyszczania skażonej gleby (Kawala, 1996). W Holandii stosowana była metoda desorpcji (Veltkamp, 1991). Ostatnio największą popularność zdobyły metody biooczyszczania *in situ*, połączone ze szczypaniem paliwa (Farbiszewska, 1997). Stosowane metody biooczyszczania *in situ* różnią się przede wszystkim rodzajem stosowanej mikroflory. Stosowana bywa zarówno mikroflora autochtoniczna, wyizolowana z oczyszczanego gruntu i zaadaptowana do dużych stężeń substancji skażającej (Farbiszewska, 1993), jak i mikroflora zawarta w gotowych preparatach bakteryjnych (Malicka, 1994). Do biooczyszczania *in situ* zaliczane są również metody, w których do skażonego gruntu wprowadza się wyłącznie powietrze, a czasami powietrze z rozpuszczonymi w wodzie solami mineralnymi, stanowiącymi pożywkę dla mikroorganizmów zawartych w glebie (Siuta, 1993).

Celem naszej pracy było porównanie przebiegu procesów sanacji gleby z oleju napędowego prowadzonych laboratoryjnie, wyłącznie metodą napowietrzania, metodą napowietrzania z równoczesnym wprowadzeniem substancji odżywczych z metodą, w której dodatkowo wprowadzono mikroflorę wcześniej wyizolowaną z terenu skażonego olejem napędowym i zaadaptowaną do jego dużych stężeń.

## MATERIAŁY I METODY

### **Skażona gleba**

Glebę do badań uzyskano, biorąc glebę wolną od skażenia i dodając do niej 0,8% oleju napędowego.

### **Mikroflora autochtoniczna**

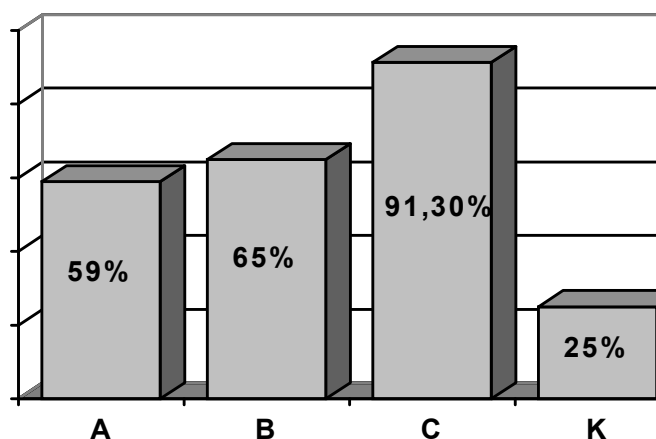
Mikroflorę autochtoniczną, zawierającą między innymi bakterie *Aerobacter aerogenes*, *Bacillus subtilis*, *Cellulomonas biazotea*, wyizolowano z miejsca, które w wyniku awarii zostało skażone olejem napędowym. Mikroflorę tę po wyizolowaniu zaadaptowano do 5% stężenia oleju napędowego. Hodowlę o największej aktywności życiowej wybrano do dalszych badań (Farbiszewska, 1993).

### **Procesy oczyszczania**

Procesy oczyszczania prowadzono w pojemnikach pojemności 500cm<sup>3</sup>, napowietrzanych od dołu aeratorami membranowymi. Do pojemników wprowadzono:

A – 250g skażonej gleby,  
 B – 250g skażonej gleby + 0,1% NH<sub>4</sub>Cl + 0,1% K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> + 0,05% MgSO<sub>4</sub>,  
 C – 250g skażonej gleby + 0,1% NH<sub>4</sub>Cl + 0,1% K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> + 0,05% MgSO<sub>4</sub> + 10ml hodowli mikroflory autochtonicznej, zawierającej 10<sup>9</sup> komórek w 1cm<sup>3</sup>.

Równocześnie ustawiono układ kontrolny, do którego wprowadzono 250g skażonej gleby, a nie wprowadzono powietrza. Wszystkie układy codziennie zraszano. Procesy prowadzono w temperaturze 20 °C, przez 30 dni. Po zakończeniu procesów oznaczano zawartość oleju napędowego w oczyszczonych glebach.



Rys. 1. Procent usuniętych zanieczyszczeń organicznych z gleby w ukł<sup>3</sup>adach: A – ukł<sup>3</sup>ad napowietrzany, B – ukł<sup>3</sup>ad napowietrzany z pożywk<sup>1</sup>, C – ukł<sup>3</sup>ad napowietrzany z pożywk<sup>1</sup> i mikroflor<sup>1</sup>, K – ukł<sup>3</sup>ad nienapowietrzany

Fig. 1. Percent of organic impurities in soil: A – aerated system, B – aerated system with nutrient medium, C – aerated system with nutrient medium and microflora, K – non aerated system

### Oznaczenia analityczne

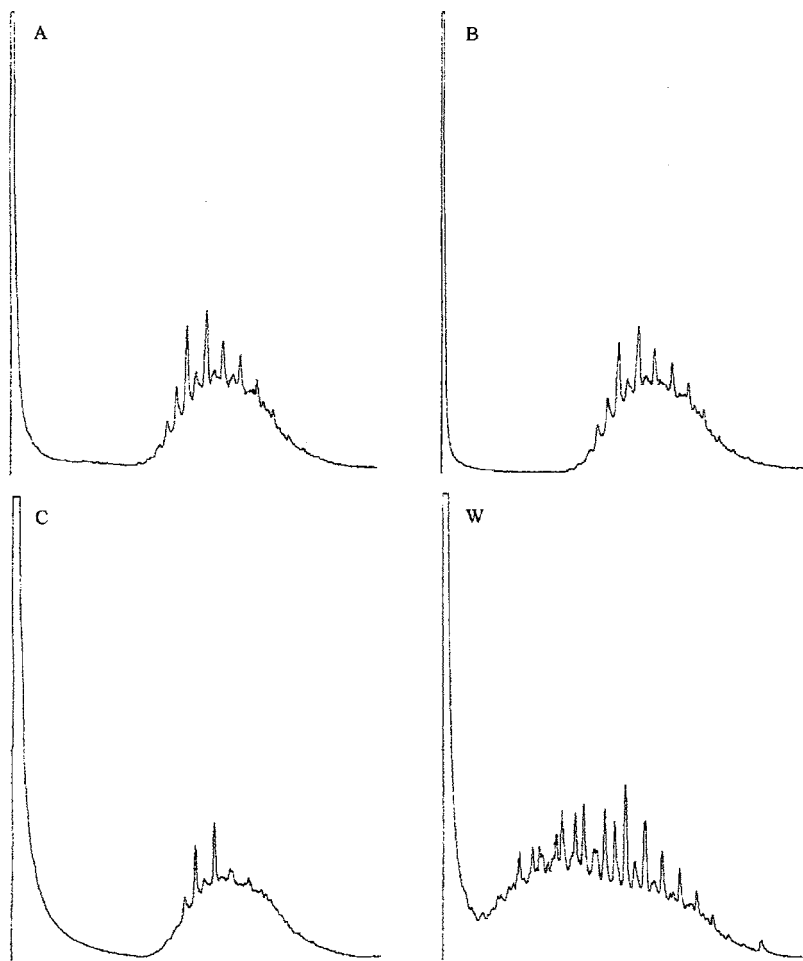
Próbki gruntu ekstrahowano w aparatach Soxhleta za pomocą *n*-heksanu. Z ekstraktów odparowano rozpuszczalnik i pozostałość ważono. Otrzymane ekstrakty analizowano metodą chromatografii gazowej. Do tych analiz wykorzystano chromatograf gazowy firmy Hewlett-Packard, model HP 5890, seria II z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym i minikomputerem do obróbki wyników. Rozdział chromatograficzny prowadzono w kwarcowej kolumnie kapilarnej o długości 5 m i średnicy wewnętrznej 0,32 mm, z fazą stacjonarną HP-5 (grubość warstwy 0,2 μm). Temperaturę kolumny programowano podczas analizy w zakresie 60 do 280 °C z

szybkością 10 °C/min. Próbki dozowano bezpośrednio do kolumny. Wyniki ilościowe obliczano metodą normalizacji wewnętrznej.

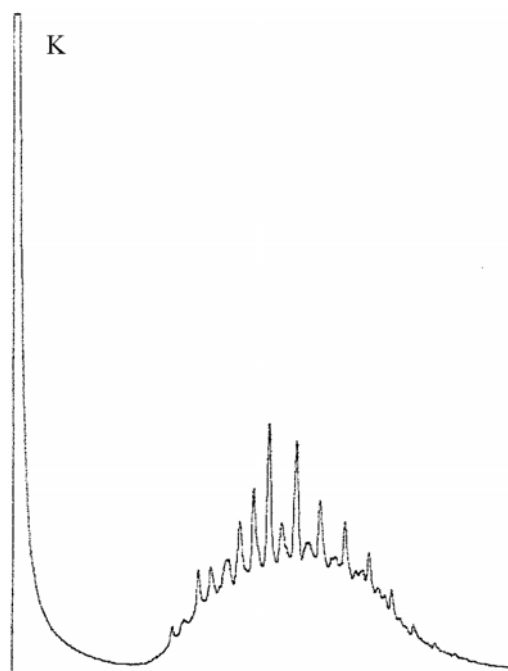
## WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Oceniając przebieg 30 dniowego procesu sanacji gleby skażonej olejem napędowym porównano masy wyekstrahowanych *n*-heksanem substancji organicznych z badanej gleby z ilością wprowadzonego oleju napędowego i wyliczono procent usuniętych z tej gleby substancji organicznych. Wyniki przedstawiono na rys.1.

Z danych przedstawionych na rys.1 wynika, że 25% zanieczyszczeń wyparowało z gleby samoistnie, co miało miejsce w układzie kontrolnym (K). W układach napowietrzanych i zraszanych nastąpiło znaczne zróżnicowanie oczyszczania w zależności od wprowadzanych dodatków. W układzie, który był tylko napowietrzany i zraszany (A), ilość substancji organicznych zmalała o 59%, a w identycznym układzie z dodat-



Rys. 2. Chromatogramy ekstraktów gruntów znajdujących się w różnych warunkach doświadczalnych: A – układ napowietrzany, B – układ napowietrzany z pożywką<sup>1</sup>, C – układ napowietrzany z pożywką<sup>1</sup> i mikroflorą<sup>1</sup>, W – wzorzec oleju napędowego, K – układ kontrolny nie napowietrzany  
 Fig. 2. Chromatographs of soil extracts under different experimental conditions: A – aerated system, B – aerated system with nutrient medium, C – aerated system with nutrient medium and microflora, W – Diesel oil standard, K – non aerated system



kiem substancji będących pożywką dla ewentualnej mikroflory (B) o 65%, czyli degradacja wzrosła o 6%. W układzie napowietrzonym i zraszonym zwiększone było wprawdzie odparowywanie węglowodorów lekkich w porównaniu z układem kontrolnym (K), ale istnieje również prawdopodobieństwo biodegradacji w tym układzie przez mikroflorę zawartą w glebie. Potwierdzeniem tego rozumowania jest wzrost o 6% degradacji w układzie, do którego wprowadzono substancje stanowiące pożywkę dla mikroflory degradującej węglowodory. W układzie, do którego dodatkowo wprowadzono mikroflorę degradującą oleje napędowe, wcześniej wyizolowaną i zaadaptowaną do dużych stężeń oleju, degradacji uległo 91,3% substancji skażającej, czyli o 26,3% więcej w porównaniu z układem (B) i o 32,3% w porównaniu z układem (A). Tak znaczny wzrost procesu biosanacji po wprowadzeniu mikroflory wcześniej wyizolowanej i zaadaptowanej do oleju napędowego świadczy o jej znacznie większych zdolnościach biodegradacyjnych w porównaniu z naturalną mikroflorą zawartą w oczyszczanej glebie. Równocześnie 25% spadek zanieczyszczenia w układzie kontrolnym (K) (nie napowietrzonym) świadczy o tym, jak znaczna ilość tych substancji przedostaje się do atmosfery w terenach skażonych i nieoczyszczanych. Procesy biosanacji prowadzone wyłącznie metodą przedmuchiwania gruntów (podobnie jak układ (A) ), powodują również znaczne wtórne skażenie atmosfery na skutek odparowywania tych substancji z gruntu. Oczyszczanie tą metodą jest oczyszczaniem pozornym. Potwierdzeniem przedstawionych wyników są otrzymane chromatogramy.

Na rysunku 2 przedstawiono chromatogramy ekstraktów gruntów znajdujących się w różnych warunkach doświadczalnych. Wynika z nich, że w układzie kontrolnym (K) nie napowietrzonym nastąpiło samoistne odparowanie lżejszych węglowodorów parafinowych do C<sub>11</sub>, o temperaturze wrzenia do 399 K – chromatogram (K) i (W). Napowietrzanie układów spowodowało znaczne odparowanie wyższych węglowodorów parafinowych C<sub>14</sub>, składników oleju napędowego, wrzących do temperatury 419 K – chromatogram (A). Napowietrzanie połączone z dodatkiem substancji odżywczych spowodowało minimalną zmianę zawartości poszczególnych frakcji

– chromatogram (B). Dodanie autochtonicznej mikroflory bakteryjnej do układu doświadczalnego spowodowało bardzo wyraźną zmianę zawartości węglowodorów w zanieczyszczonej glebie – chromatogram (C). Pozostały jedynie niewielkie ilości węglowodorów parafinowych od C<sub>15</sub> do C<sub>18</sub>, wrzących w zakresie 433–470 K.

## WNIOSKI

- Proces biodegradacji oleju napędowego przebiegający bez wprowadzenia autochtonicznej mikroflory powoduje, wskutek parowania, znaczne skażenie powietrza węglowodorami niskowrzącymi.

- Wprowadzenie mikroflory autochtonicznej, zaadaptowanej do oleju napędowego, powoduje znaczny wzrost szybkości oczyszczania gleby i to zarówno z węglowodorów wysoko jak i niskowrzących.

- Procesy biodegradacji oleju napędowego winny być prowadzone przy współdziałaniu mikroflory autochtonicznej, wcześniej zaadaptowanej do oleju napędowego, z równoczesnym stosowaniem biofiltrów powietrza.

## LITERATURA

- FARBISZEWSKA T., FARBISZEWSKA-BAJER J., 1993, *Biodetoksykacja gruntów skażonych substancjami ropopochodnymi*, Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 27, 219.
- FARBISZEWSKA T., FARBISZEWSKA-BAJER J., 1997, *Mikrobiologiczne oczyszczanie gruntu metodą "in situ"*, Forum Chemiczne 97, 71.
- KAWALA Z., ATAMAŃCZUK T., 1996, *Microwave heating for remediation of soil contaminated with hazardous wastes and oils*, "Auzo 96", 346.
- KAWALA Z., FURDYN G., 1996, *Air stripping of multicomponent organic mixtures from soil – a laboratory and modeling study*, "Auzo 96", 352.
- ŁEBKOWSKA M., RABIEJ W., 1993, *Biorekultywacja gruntów i wód gruntowych zanieczyszczonych substancjami węglowodorowymi*, Kiekrz – Międzynarodowe Sympozjum Szkoleniowe.
- MALICKA M., 1994, *Biotechnologiczne metody oczyszczania gleb skażonych związkami ropopochodnymi i innymi toksycznymi związkami organicznymi*, Gaz, woda i technika sanitarna, 2, 4.
- SPYCHAŁA A., 1994, *Ocena szkód ekologicznych spowodowanych przez Wojska Federacji Rosyjskiej*, Biotechnologia, 2 (25), 42–49.

SIUTA J., 1993, *Biodegradacja ropopochodnych składowików w glebach i odpadach, materiały seminarium naukowego*, Instytut Ochrony Środowiska, 21.10.1993 Warszawa.

VELTKAMP A.G., NAM B.K., MATHIJSEN I.I.M., IWACO B.V., 1991, *Clean-up of contaminated soil and groundwater: A "Location Specific" cleanup operation at the Sappemeer Gas Production Site*, The First International Conference on Health, Safety Environment in Oil and Gas Exploration and Production, The Hague, The Netherlands SPE, 23, 337.

**Farbiszewska T., Sudo<sup>3</sup> T., Farbiszewska-Bajer J., Sowa J., Marcjasz I.**, Biological degradation of fuel oil present in soil and other methods of its degradation. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 32, 157–163 (in Polish)

Degradation processes of fuel oil in soil under laboratory conditions were investigated. The degradation process in the absence of microflora was compared with that in the presence of autochthonous microflora. In the latter process, during 30 days, the degradation of fuel oil was 91,3 wt. %, while in the former was only 65 wt. %.