

dr Anna DMOCHOWSKA  
dr Dariusz DMOCHOWSKI  
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego SGSP  
prof. dr hab. inż. Stanisław BIEDUGNIS  
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego SGSP

## **Pryzmowanie gleby jako jedna z metod zwalczania skutków zagrożeń związanych z awariami technicznymi z udziałem substancji ropopochodnych**

### ***Prism Soil as a Method of Eliminating the Effects of the Risks of Technical Failures Involving Petroleum Substances***

#### **Streszczenie**

Do najczęściej stosowanych metod oczyszczania gleb skażonych substancjami ropopochodnymi należą technologie oparte na metodach biologicznych z wykorzystaniem specjalistycznych szczepów mikroorganizmów. Główną rolę w tych procesach odgrywają mikroorganizmy wykorzystujące węglowodory jako źródło węgla. Pryzmowanie jest jedną z metod bioremediacji zanieczyszczonej gleby, należąca do metod *ex situ*, związaną z wywiezieniem skażonej gleby do miejsca jej oczyszczania. Celem publikacji jest przedstawienie i scharakteryzowanie metody pryzmowania skażonej związkami ropopochodnymi gleby oraz ocena skuteczności tej metody, przeprowadzona na podstawie analizy wyników badań pod kątem zawartości substancji ropopochodnych, na przykładzie konkretnego zdarzenia.

**Słowa kluczowe:** pryzmowanie, gleba skażona substancjami ropopochodnymi, bioremediacja

#### **Summary**

The most commonly methods used for cleaning up soils contaminated with petroleum substances are the technologies based on biological methods using special strains of microorganisms. The main role in these processes play microorganisms using the carbohydrate as a carbon source. Prism is one of the methods of bioremediation of contaminated soil, belonging to the *ex situ* methods,

involving the transport of contaminated soil to the place of purification. The aim of the article is to present and characterize the method of prism of the soil contaminated with the petroleum compounds and to evaluate the effectiveness of this method, carried out on the basis of the test results regarding the content of petroleum substances, for example, considering the particular incident.

**Keywords:** Prism soil, soil contaminated with the petroleum substances, bioremediation

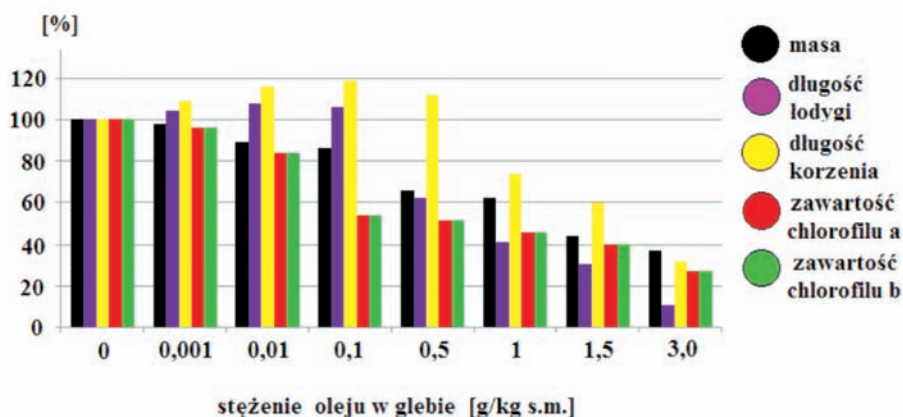
## Wstęp

Ponad połowę wszystkich nadzwyczajnych zagrożeń środowiska w Polsce stanowią rozlewy substancji ropopochodnych. Ze względu na zagrożenie dla zdrowia ludzi i wywoływanie zaburzeń w funkcjonowaniu lokalnych ekosystemów, nawet niewielki wyciek tych substancji powoduje konieczność rekultywacji skażonego terenu. Zanieczyszczenia ropopochodne składają się z mieszaniny alifatycznych oraz z aromatycznych węglowodorów o zróżnicowanych właściwościach fizycznych, chemicznych, które wpływają na właściwości fizyczne i chemiczne gleby oraz jej florę i faunę.

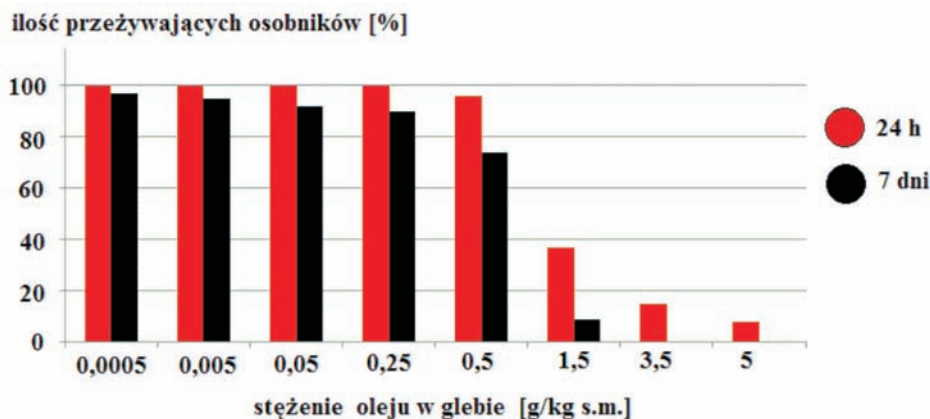
Do niekorzystnych zmian właściwości gleb wywołanych przez substancje ropopochodne zalicza się: zmiany w ilości i składzie chemicznym substancji organicznej, zmniejszenie pojemności wodnej w związku z częściowym lub całkowitym zatykaniem porów glebowych, uniemożliwienie wymiany powietrza, zwiększenie zapotrzebowania i zużycia tlenu, zniszczenie mikroflory glebowej i fauny. Dochodzi do tego destrukcja fizykochemicznych właściwości koloidów glebowych w tym zakłócenie procesów wymiany jonowej, zmniejszenie pojemności sorpcyjnej, zdolności pochłaniania i oddawania wody. Niekorzystne zmiany dotyczą również zmian odczynu na kwaśny. Jednym z efektów skażenia gleby jest ograniczenie lub zahamowanie wzrostu zbóż. Wyniki badań wykazały, że stężenia substancji ropopochodnych w granicach  $0,001 \div 0,5$  g/kg s.m. gleby powodowały przyrost długości korzeni i łodyg, nie obserwowano natomiast przyrostu biomasy ani zawartości chlorofilu w częściach naziemnych [3, 5, 10].

Na rysunku 1 przedstawiono korelację stężenia oleju napędowego w glebie na poziomie  $0,3 \div 3$  g/kg s.m. a jego toksycznym oddziaływaniem na rośliny. Toksyczne działanie substancji ropopochodnych odnotowano również w odniesieniu do fauny glebowej, która w tkankach akumuluje węglowodory, powodując śmierć organizmów glebowych. Zaobserwowano to zjawisko w czasie badań z reprezentantami flory glebowej jakimi są dżdżownice. Badania wykazały, że olej napędowy w stężeniach  $0,0005 \div 0,5$  g/kg s.m., w czasie 24 h kontaktu z glebą nie wykazywał ostrej toksyczności w stosunku do dżdżownic. Jego ostra toksyczność ujawniła się jednak po 7 dniach [5].

Na rysunku 1 przedstawiono kształtowanie się niektórych parametrów roślin, natomiast na rysunku 2 przeżywalność dżdżownicy w zależności od stężenia oleju napędowego w glebie.



Rys. 1. Kształtowanie się niektórych parametrów roślin w zależności od stężenia oleju napędowego w glebie [5]

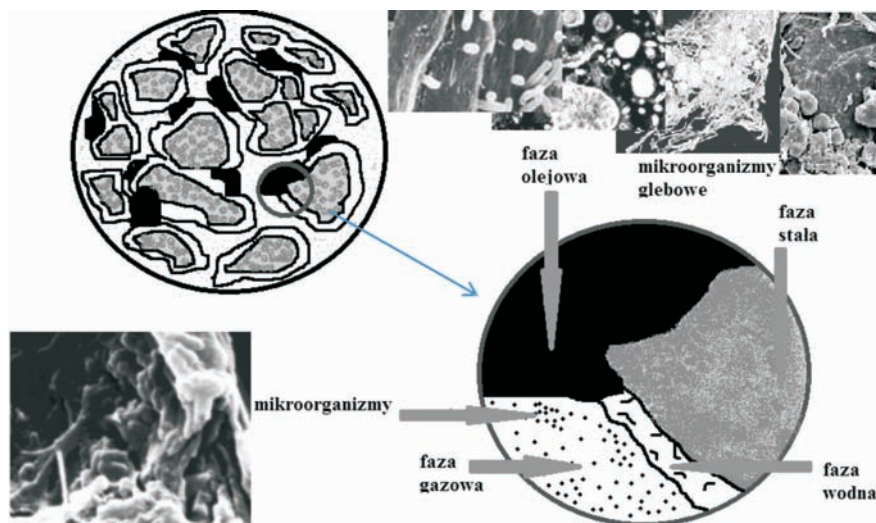


Rys. 2. Wpływ skażenia gleby na przeżywalność dżdżownicy [5]

Gleba stanowi naturalny filtr dla płytkich wód gruntowych i głębinowych. Mechanizm rozprzestrzeniania się w niej zanieczyszczeń ropopochodnych ma charakter bardzo złożony i zależy od wielu czynników. Procesy migracji zanieczyszczeń organicznych w glebach zależą przede wszystkim od ich właściwości i charakteru zanieczyszczeń, które migrują w głąb podłoża, rozdzielając się w kierunku pionowym i poziomym na fazę stałą, ciekłą i gazową. Na transport ten wpływ ma obecność wody, ale również zachodzące w glebie procesy fizyczne i biologiczne oraz reakcje chemiczne [1, 3]. Asfalty, woski czy smoły czyli faza

stała, gromadzą się na powierzchni, wnikając jedynie do poziomu próchniczego, który ma zdolność do adsorpcji dużej ilości zanieczyszczeń organicznych ze względu na wysoką pojemność sorpcyjną. Lekkie frakcje ropy naftowej migrują w głąb gleb pod wpływem sił grawitacji i sił kapilarnych, ulegając procesom adsorpcji na ziarnach mineralnych i drobinach organicznych. Czas skażenia wód podziemnych zależy od wielu czynników w tym między innymi od wielkości rozlewu oleju napędowego, pojemności sorpcyjnej gleby w strefie migracji oraz od głębokości poziomu lustra wód [6, 7]. Migracja fazy gazowej następuje w glebie w strefach aeracji i wzniosu kapilarnego. Duże znaczenie odgrywa tu gęstość właściwa powstałych par. Mieszanie fazy gazowej zanieczyszczeń z gazami glebowymi może zmniejszyć ich gęstość, co spowoduje ich migrację w górę profilu glebowego, natomiast przy zwiększeniu gęstości przemieszczają się one w dół. Wykazano, że na proces migracji pionowej zanieczyszczeń w glebie największy wpływ ma zjawisko filtracji substancji w fazie ciekłej, natomiast o intensywności migracji poziomej decyduje zjawisko dyfuzji par związków zanieczyszczających w gazach gruntowych [9].

Na rysunku 3 przedstawiono schemat substancji ropopochodnych występujących w glebie.



Rys. 3. Substancje ropopochodne w glebie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6].

Substancje ropopochodne, wprowadzone do gleby, wpływają w sposób niekorzystny na jej podstawowe funkcje ekologiczne. Powodują przekształcenia w składzie ilościowym i jakościowym mikroorganizmów glebowych. Hamują wzrost i fotosyntezę roślin, zakłócają relacje wodne w glebie w strefie korzeniowej roślin. Mają także bezpośredni lub pośredni niekorzystny wpływ na organiz-

my zwierzęce oraz człowieka. Usunięcie substancji ropopochodnych z gleby jest niezwykle trudne i często bardzo kosztowne, wymagające zastosowania nie tylko jednego, ale wielu następujących po sobie procesów oczyszczania [9, 10,11].

Na rysunku 4 przedstawiono zdjęcie zaolejonej gleby, natomiast na rysunku 5 i 6 rozprzestrzenianie się ropopochodnych w glebie.



**Rys. 4.** Zaolejona gleba

Źródło: <https://www.google.pl/search?q=ropopochodne+w+glebie> [dostęp: 24.11.2015].



**Rys. 5 i 6.** Rozprzestrzenianie się ropopochodnych w glebie

Źródło: <https://www.google.pl/search?q=ropopochodne+w+glebie> [dostęp: 24.11.2015].

Dopuszczalne stężenia substancji ropopochodnych w glebie lub ziemi, w zależności od określonych klas użytkowania i przeznaczenia gruntu (DzU 2002.165.1359) [13], przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Dopuszczalne poziomy zawartości związków ropopochodnych w glebie lub ziemi w zależności od określonych klas użytkowania i przeznaczenia gruntu

| Głębokość<br>[m.ppt] | Dopuszczalne stężenie węglowodorów C12 ÷ C 35<br>[mg/kg.s.m.]           |   |  |
|----------------------|---|---|--|
|                      | Tereny przemysłowe<br>użytki kopalne, tereny<br>komunikacyjne.<br>GR. C | Użytki rolne, nieużytki,<br>grunty zabudowane<br>i zurbanizowane.<br>GR.B | Nieruchomości gruntowe<br>wchodzące w skład<br>obszarów chronionych.<br>GR.C |
| 0 ÷ 0,3              | –   | 50  | 30   |
| 0 ÷ 2,0              | 1000 <sup>1)</sup>  | 200 <sup>1)</sup>   |  |
| do 15,0              | 3000 <sup>2)</sup>  | 1000 <sup>2)</sup>  |  |
| Poniżej 15,0         | Nie dotyczy   | 1000 <sup>1)</sup>  |  |
|                      |   | 3000 <sup>2)</sup>  |  |

<sup>1)</sup>Grunty o przepuszczalności do  $1 \times 10^{-7}$  [m/s]

<sup>2)</sup>Grunty o przepuszczalności poniżej  $1 \times 10^{-7}$  [m/s]

Źródło: [13].

W związku z negatywnymi, długotrwałymi skutkami zanieczyszczenia gleby substancjami ropopochodnymi oraz możliwościami rozprzestrzeniania się ich we wszystkich elementach środowiska naturalnego, stosuje się różne sposoby oczyszczania dużych powierzchni lub wyizolowanych mas zanieczyszczonych gruntów. Sposoby te można podzielić na pięć grup, zależnie od użytych środków i rodzaju procesów usuwających produkty ropopochodne. Są to metody: biologiczne, mechaniczne, wentylacyjne, chemiczne oraz termiczne [11]. Metody biologiczne oczyszczania gleb zaolejonych uważane są za najbardziej przyjazne dla środowiska naturalnego. Nowoczesne biotechnologie wykorzystują biodegradacyjną zdolność wybranych szczepów mikroorganizmów do rozkładu substancji ropopochodnych. Często koncentrują się na zwiększeniu wydajności rozkładu przez mikroorganizmy już funkcjonujące w lokalnym środowisku glebowym. Kinetyka procesów biologicznego rozkładu zanieczyszczeń olejowych zależy od takich parametrów, jak: wielkość populacji drobnoustrojów oraz ich aktywność degradacyjna, a także warunki środowiskowe, takie jak: temperatura, odczyn, wilgotność, zawartość tlenu, stężenie pierwiastków biogennych. Istotne znaczenie ma ilość i struktura chemiczna zawartych w oleju napędowym węglowodorów oraz ich podatność na biodegradację wynikającą z ich rozpuszczalności w roztworze glebowym i podatności na sorpcję.

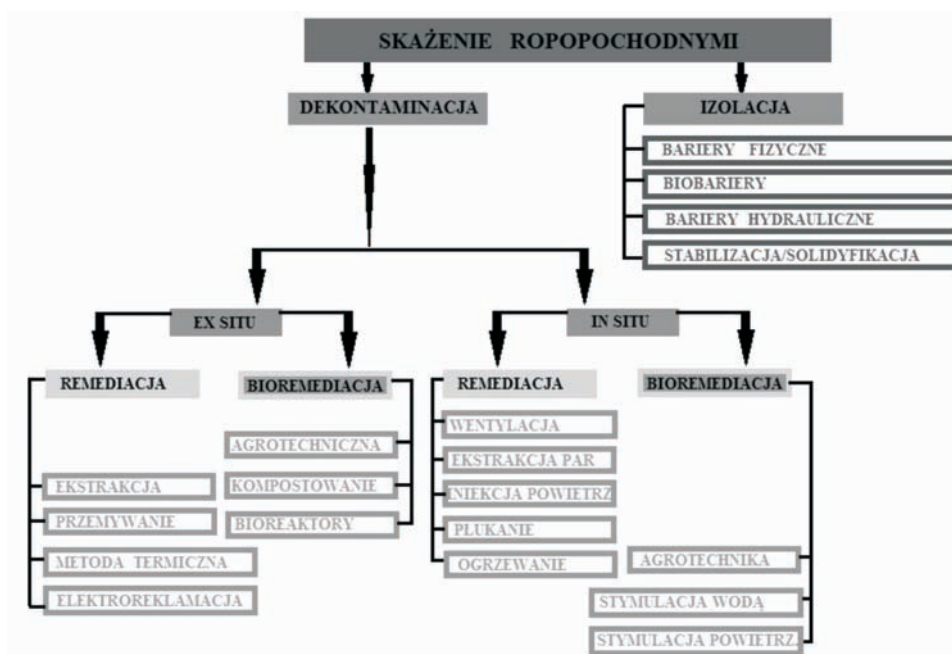
Nie bez znaczenia jest także obecność innych związków toksycznych, np. metali ciężkich, które mogą inhibować proces rozkładu węglowodorów [8, 10]. W procesach biologicznego oczyszczania, w zależności od ilości obecnego w glebie tlenu, rozróżnia się metody tlenowe, beztlenowo-tlenowe i beztlenowe, z których pierwsze należą do najczęściej stosowanych. W przypadku stwierdzenia, iż naturalne procesy biologicznego samooczyszczania nie odnoszą oczekiwanego skutku stosowane są inne technologie wspomagające. Większą liczebność mikroorganizmów w glebie można osiągnąć przez wzbogacenie w pierwiastki biogenne

a także przez dobór innych parametrów środowiska glebowego, które decydują o intensywnym rozwoju mikroorganizmów. Standardową praktyką jest również dodatkowe zaszczerpienie gruntu kulturami mikroorganizmów, wyizolowanych ze skażonego terenu po ich uprzednim namnażaniu w bioreaktorach.

Do aktywnych kultur bakteryjnych zdolnych do biodegradacji substancji ropopochodnych należą mikroorganizmy z grupy *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Sphingomonas* [7].

W przypadku niedoboru tlenu stosowane są metody zwiększenia jego ilości przez mechaniczne przemieszczanie powierzchniowych warstw gruntu na drodze bronowania lub orania. Stosowane jest również wprowadzanie perforowanych lanc wbijanych bezpośrednio do gleby albo jej napowietrzanie pompami lub dmuchawami [9, 11].

Powszechnie stosowane sposoby rekultywacji skażonych gleb przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Schemat podziału metod rekultywacji zaolejonych gleb [2]

Czynności wstępne po awarii technicznej z udziałem substancji ropopochodnych mają na celu: zlikwidowanie źródła emisji skażenia, zahamowanie lub ograniczenie migracji zanieczyszczeń oraz odpompowanie wolnego produktu z gleby. Izolacja i unieruchamianie skażenia ma na celu zapobieganie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w glebie, w strefie aeracji. Metody powodujące

unieruchamianie rozlewiska oleju napędowego podczas wypadków drogowych i awarii technicznych są rozwiązaniem wyłącznie tymczasowym, a ich zadaniem jest jedynie opóźnienie migracji zanieczyszczeń [8]. W dalszych działaniach konieczne jest przeprowadzanie szeregu zabiegów o charakterze fizycznym, chemicznym lub biologicznym mających na celu całkowitą likwidację skażenia.

Wybór metody oczyszczania gleb uzależniony jest w znacznym stopniu od przeznaczenia danego terenu. Istnieją dwie procedury oczyszczania gleb:

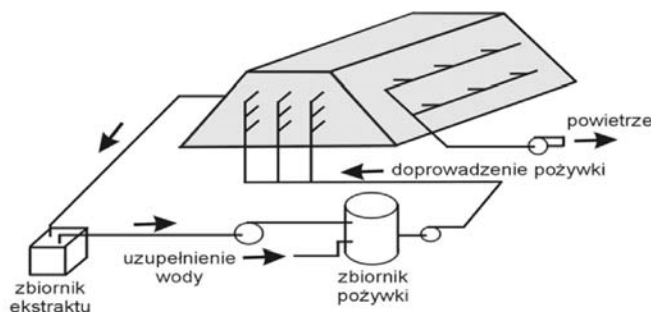
- likwidacja zanieczyszczeń metodą *in situ*,
- likwidacja zanieczyszczeń metodą *ex situ*.

W procesie oczyszczania metodą *in situ* zanieczyszczenia ropopochodne usuwane są w miejscu ich występowania, natomiast przy zastosowaniu metody *ex situ* zanieczyszczenia w postaci ciekłej są wypompowywane, a zanieczyszczony grunt jest transportowany na wyizolowane stanowiska i poddawany odpowiednim zabiegom rekultywacyjnym [2].

Jedną ze stosowanych metod *ex situ* jest metoda przyzmywania polegająca na wykopaniu zanieczyszczonego gruntu, przemieszczeniu go i ułożeniu w formie odpowiednio przygotowanej technicznie przyzmy. Biodegradacja skażenia stymulowana jest przez napowietrzanie oraz wprowadzanie substancji odżywczych dla mikroorganizmów.

Pryzma wyposażona jest w system drenaży oraz spryskiwaczy, którymi doprowadzana jest woda, substancje odżywcze do namnażana w bioreaktorze flory bakteryjnej. Napowietrzanie zanieczyszczonego gruntu realizowane jest także przez spulchnianie przyzmy sprzętem mechanicznym lub poprzez wentylację gruntu dzięki systemowi drenaży i dmuchaw. Oczyszczony grunt usuwany jest stopniowo z przyzmy i przemieszczany do miejsca składowania. Odcieki z gruntu podlegają biologicznemu oczyszczaniu i przepompowywane są ponownie na przyzmy [11].

Na rysunku 8 przedstawiono schemat technologii przyzmywania zanieczyszczonej gleby.



Rys. 8. Schemat technologii przyzmywania zanieczyszczonej gleby [11]

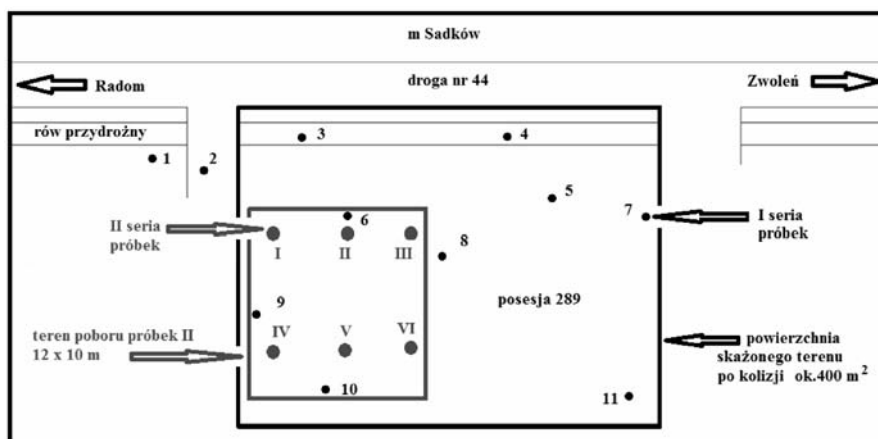
Metodę przyzmywania zaolejonej gleby zastosowano po kolizji drogowej, która miała miejsce w 2009 roku w miejscowości Sadków koło Radomia [12]. Podczas



wypadku z udziałem autocysterny, nastąpił wyciek oleju napędowego. Miejsce awarii zostało zabezpieczone przez jednostki Państwowej Straży Pożarnej. Z terenu zagrożonego odpompowano ok. 4000 l oleju napędowego. Przez przedstawiciela Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Radomiu z miejsca awarii zostały pobrane kontrolne próbki zanieczyszczonej gleby. Pierwsza seria próbek została pobrana z miejsc przedstawionych na rysunku 9, ponumerowanych liczbami greckimi. Próbki przekazane zostały do akredytowanego laboratorium celem oznaczenia zawartości węglowodorów benzynowych  $C_6 \div C_{12}$  i olejowych  $C_{12} \div C_{35}$ . Wyniki badań na obecność i stężenie węglowodorów ropopochodnych w próbkach skażonej gleby wykazały, że w trzech przypadkach nastąpiło przekroczenie dopuszczalnych stężeń analizowanych parametrów (olej mineralny  $C_{12} \div C_{25} - 3000$  mg/kg s.m., benzyna  $C_6 \div C_{12} - 500$  mg/kg s.m. wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów gleby oraz standardów jakości ziemi. DzU 2002 nr 165 poz. 1359.)

Przekroczenie stężeń toksycznych odnotowano w próbce Nr 6 na głębokości od 0,25 m do 0,50 m oraz w próbkach Nr 9 i 10 na głębokości 0 ÷ 0,25 m.

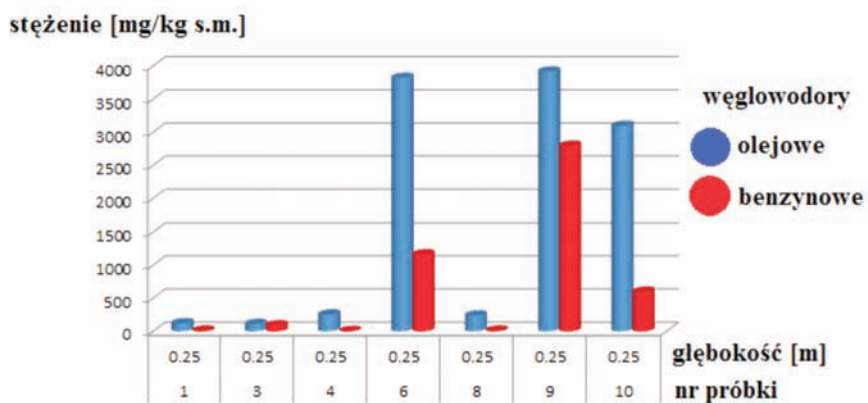
Regionalny Dyrektor Ochrony Środowiska, na podstawie otrzymanych wyników analiz oraz wniosku z firmy, mającej prowadzić rekultywację, wydał decyzję przeprowadzenia działań naprawczych skażonej gleby w celu uzyskania standardów jakości gleby i ziemi kwalifikującej ją do grupy „C”. Po otrzymaniu decyzji firma zajmująca się rekultywacją gleby przystąpiła do wybierania skażonego gruntu. Z obszaru zaznaczonego kolorem czarnym – pierwsza seria próbek, gleba wybierana była z głębokości 0,65 m, i przetransportowana na plac bioremediacyjny firmy posiadającej stosowne uprawnienia do jej rekultywacji. Z wykopu pobrano drugą serię próbek z głębokości ok. 0,5 m (na rysunku 9 teren oznaczony kolorem czerwonym, a miejsca poboru próbek cyframi rzymskimi) w celu sprawdzenia braku skażenia w pozostawionej glebie.



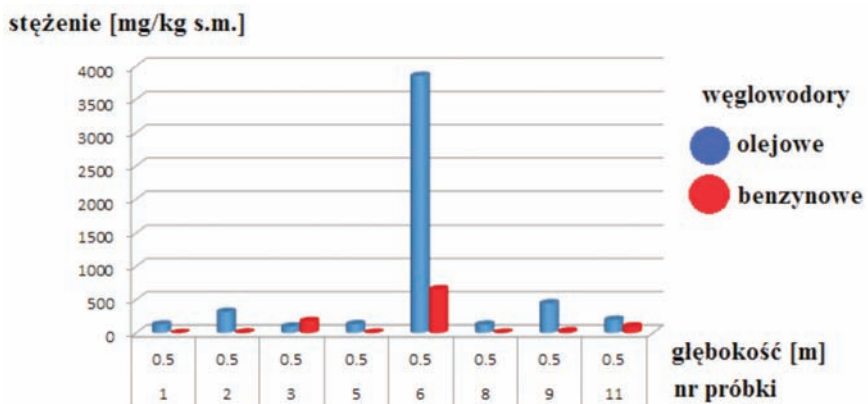
Rys. 9. Rozmieszczenie miejsc poboru obu serii próbek

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].

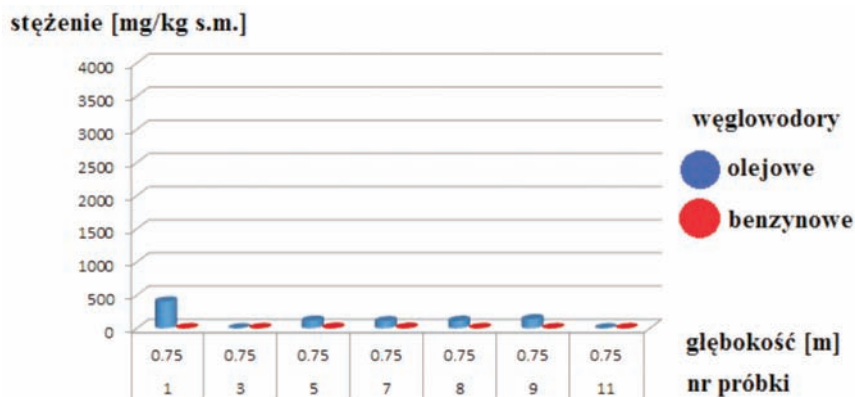
Wyniki badań I serii próbek przedstawiono na rysunkach 10 ÷ 13.



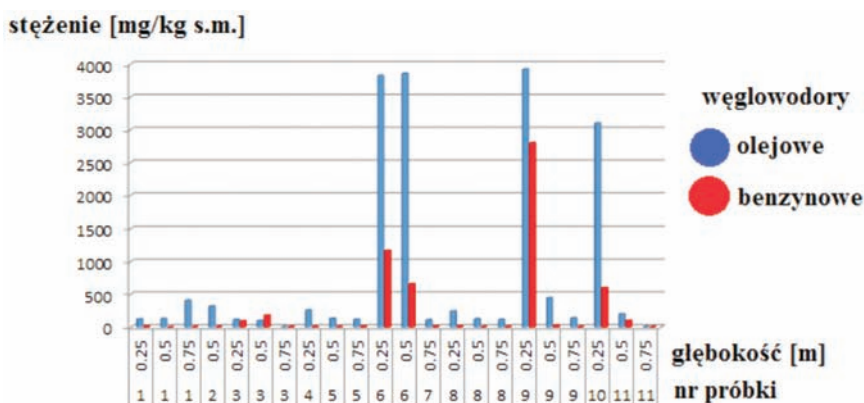
Rys. 10. Wyniki badań poziomu stężeń węglowodorów z głębokości 0,25 m  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].



Rys. 11. Wyniki badań poziomu stężeń węglowodorów z głębokości 0,5 m  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].



Rys. 12. Wyniki badań poziomu stężeń węglowodorów z głębokości 0,75 m  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].

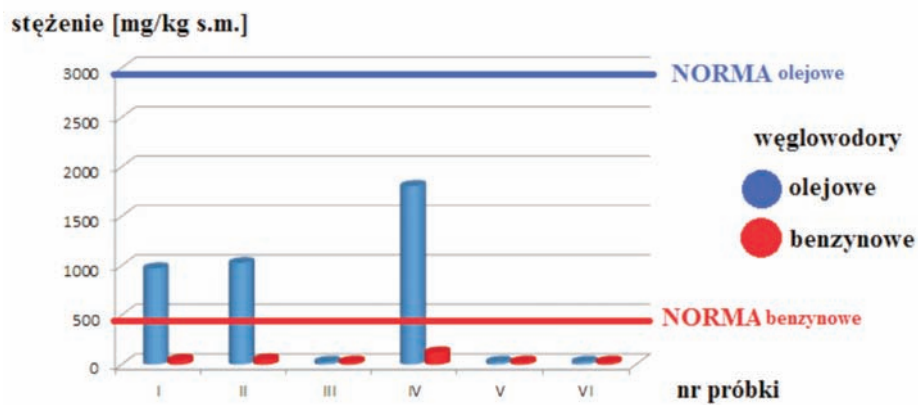


Rys. 13. Sumaryczne wyniki badań poziomu stężeń węglowodorów z głębokości 0,25, 0,5, 0,75 m z I serii próbek  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].

Na rysunku 14 przedstawiono wyniki badań drugiej serii, sześciu próbek kontrolnych gleb, pobranych ze ścian bocznych i dna wykopu po wybraniu zaolejonej gleby. Liniami poziomymi zaznaczono wartości stężeń dopuszczalnych.

Rysunek 15 to fotografia miejsca po wybraniu zaolejonej gleby. Z terenu tego wykopu pobrano drugą serię próbek w celu sprawdzenia pozostałości po skażeniu.

Po przeanalizowaniu wyników przeprowadzonych badań i porównaniu ich z wartościami normatywnymi, wg Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie standardów dla ziemi klasy „C” stwierdzono, iż żadna z próbek gruntu z drugiej serii poboru nie przekraczała dopuszczalnych wartości stężeń.



Rys. 14. Wyniki badań poziomu stężeń węglowodorów z wykopu – II seria  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].



Rys. 15. Wykop po skażonej glebie [12]

Przewieziony do firmy rekultywującej, skażony grunt, uformowano w pryzmę o najwyższym stopniu homogeniczności (rysunek 16).



Rys. 16. Pryzma skażonej gleby [12]

Jednorodność ukształtowanego złoża pozwoliła na osiągnięcie w całej objętości pryzmy, w zakładanym terminie, tych samych rezultatów prac rekultywacyjnych. Umożliwiła również prawidłowy monitoring wszystkich kontrolowanych parametrów. Właściwy stopień homogeniczności złoża uzyskano przez przesianie gruntu. Podczas prac wstępnych, na nieprzepuszczalnej folii ułożono instalację do napowietrzania, którą przykryto żwirem o odpowiedniej granulacji. Następnie, na tak przygotowane podłoże składowano pierwszą warstwę zanieczyszczonej gleby na wysokość ok. 0,5 ÷ 1,0 m. Wysokość składowania gruntu nie powinna wg opracowanych norm, przekraczać 1,5 ÷ 2,0 m a szerokość u podstawy nie powinna być większa niż 4,5 m z uwagi na efektywność stosowanych zabiegów stymulacji biotechnologicznej [2, 4].

Zanieczyszczoną glebę rozmieszczono równomiernie i odpowiednio zabezpieczono boczne ścianki składowiska. Pryzmę gruntu zroszono roztworem mineralnym, w którym znajdowały się odpowiednio wyhodowane kultury bakterii. Co pewien czas składowaną glebę zraszano roztworem zawierającym pożywkę dla bakterii. Aby zapewnić dopływ tlenu dla prawidłowego funkcjonowania mikro-

organizmów systemem filtrów wtłaczano powietrze pod ciśnieniem kilku atmosfer. Przez cały czas kontrolowano wszystkie parametry techniczne, gdyż: niedostateczna ilość powietrza, niedobór soli mineralnych, nagłe zmiany odczynu jak również zbyt wysoka temperatura – powyżej 30°C, lub zbyt niska – poniżej 10°C (specjalna izolacja – rysunek 17), mogłyby spowodować ograniczenie przebiegu procesu oczyszczania.



Rys. 17. Pryzma po przykryciu folią [12]

Monitoring prac rekultywacyjnych był istotnym elementem procesu oczyszczania. Dla ukształtowanego złoża postęp prac, kontrolowany był w oparciu o cykliczny pobór próbek, które poddawano wnikliwym analizom. Ich ilość, uzależniona zawsze od stopnia homogeniczności złoża, pobierana była z częstotliwością, w zależności od rodzaju występujących w przyźmie zanieczyszczeń ropopochodnych i ich podatności na biodegradację zgodnie z obowiązującymi normami. Czas rekultywacji gleby wyniósł 8 miesięcy co, w porównaniu z szacowanym czasem stosowania metody *in situ* w podobnych przypadkach, pozwoliło na skrócenie go ponad czterokrotnie.

### Podsumowanie

Technologia usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych metodą przyżmowania *ex situ* jest skuteczną, powszechnie wykorzystywaną technologią, szczególnie w przypadku, gdy ilość skażonej gleby jest stosunkowo niewielka.

Jednocześnie, wydobywanie oraz transport większych objętości zanieczyszczonych gleb produktami naftowymi są operacjami bardzo kosztownymi. Ponadto, realizowane na większą skalę mogą powodować uwalnianie do atmosfery dużej ilości lotnych węglowodorów, powodując dodatkowe skażenie środowiska naturalnego.

Oczyszczanie gleby zanieczyszczonej w miejscu jej zalegania (*in situ*) jest tańszą metodą, podczas której nie dochodzi do deformacji jej budowy i rzeźby terenu. Nie wymaga ona także naruszenia istniejącej infrastruktury technicznej. Metoda *in situ* posiada jednak także ujemne strony, które nie występują podczas oczyszczania metodą *ex situ*. Należy do nich znacznie dłuższy czas przebiegu rekultywacji co zwiększa prawdopodobieństwo migracji zanieczyszczeń ropopochodnych w głąb podłoża gruntowego oraz przemieszczania się ich do wód gruntowych.

Występujące często zróżnicowanie budowy geologicznej, głównie składu granulometrycznego, zwięzłości gleby oraz występowanie wód gruntowych utrudnia przeprowadzenie procesu napowietrzania i zasilania środowiska glebowego w składniki odżywcze. Utrudnione są również działania zabezpieczające przyległe tereny przed rozprzestrzenianiem się skażenia.

Mimo przedstawionych ograniczeń metoda ta jest preferowana w przypadku rozległych skażeń substancjami ropopochodnymi.

## Literatura

- [1] Cebula J., Rajca M.: Oczyszczanie gleb i gruntów. Wydawnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014.
- [2] Furdyn G., Kawala Z.: Odnowa zanieczyszczonych gruntów metodami *in situ*. *Ochrona Środowiska* 1996, nr 2 (61), 27-34.
- [3] Gierak A.: Zagrożenie środowiska produktami ropopochodnymi. *Ochrona Środowiska* 1995, 57, 31-34.
- [4] Karczewska A.: Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Wydawnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego, Wrocław 2012.
- [5] Kołwzan B.: Toksykologia gleb skażonych produktami ropopochodnymi., Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, *Inżynieria Ekologiczna* 2003, nr 8.
- [6] Kołwzan B.: Remediacja środowiska gruntowo-wodnego skażonego produktami naftowymi Podstawy naukowe i ich aplikacja na terenach zdegradowanych. Politechnika Wrocławska, 2007.
- [7] Nowak J.: Bioremediacja gleb z ropy naftowej i jej produktów. *Biotechnologia* 2008, nr 1 (80), 97-108.
- [8] Sarbak Z.: Wykorzystanie sorbentów w procesach oczyszczania gruntów. *Chemia Dydaktyka Ekologia Metrologia* 2010, nr 1 (15), 77-92.
- [9] Siuta J.: Technologie odolejania gruntów, odpadów, ścieków. *Inżynieria Ekologiczna* 2003.
- [10] Surygała J.: Ropa naftowa a środowisko przyrodnicze. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2001.

- [11] Turek S., Gnioda A., Marciocha D.: Oczyszczanie gleby w teorii i praktyce. Wydawnictwa WPŚ 2013.
- [12] Przygucki R.: Remediacja gleb zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi metodą kopcowania. Praca dyplomowa 2011.
- [13] Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.