

Piotr WITTBRODT

## **Zastosowanie metody przemywania do oczyszczania gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi** **Application of washing process for remediation of petroleum contaminated soils**

### **Wstęp**

Najważniejszym kierunkiem realizowanej obecnie polityki proekologicznej jest zapobieganie zanieczyszczaniu środowiska oraz stopniowa likwidacja skutków istniejących zanieczyszczeń, w tym skażenia gruntów i wód podziemnych substancjami ropopochodnymi. Substancje te wymagają szczególnej uwagi ze względu na powszechność występowania, a także szybki w ostatnim okresie wzrost zagrożenia, wynikający z rozwoju motoryzacji pociągającej za sobą zwiększenie liczby obiektów dystrybucyjnych i magazynowania paliw. Wiele zakładów przemysłowych wykorzystuje w swych technologiach różnorodne odmiany paliw i olejów. W przypadku awarii systemów technologicznych lub nieprawidłowego sposobu składowania produktów może dochodzić do zatruwania ośrodka gruntowego. Dążenie do likwidacji skutków zanieczyszczeń spowodowało rozwój technik mających na celu usunięcie substancji ropopochodnych ze środowiska gruntowo-wodnego. Likwi-

dacja ta jest na ogół trudna i kosztowna, często długoletnie prace nie przynoszą spodziewanych efektów. W artykule przedstawione są mechanizmy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ropopochodnych oraz metody oczyszczania gruntu, traktowane na świecie jako sprawdzone i powszechnie stosowane. Prowadzone są również badania sprawdzające efektywność metody przemywania. Artykuł został przygotowany w ramach pracy magisterskiej, wykonywanej w Katedrze Geotechniki SGGW.

### **Mechanizm rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń**

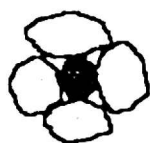
Substancje ropopochodne powstające w wyniku rafinacji ropy naftowej dzielą się na następujące grupy: benzyny, destylaty cięższe, takie jak: oleje napędowe, nafty, nafty lotnicze i lżejsze oleje opałowe oraz cięższe oleje opałowe i oleje silnikowe (Adamek i in. 1994). Substancje ropopochodne są złożoną mie-

szaniną związków organicznych, głównie węglowodorów, które zawierają atomy wodoru i węgla w stosunku 1,85 : 1, czasami azotu, tlenu i siarki. Mają zdolność do zmiany stanu przechodzenia z jednej fazy w drugą, np.: z płynnej w gazową, a także do migracji.

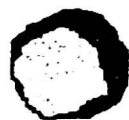
Po wycieku produkt ropopochodny przedostaje się przez strefę aeracji do warstwy wodonośnej, ulegając po części adsorpcji na ziarnach gruntu, po części zaś infiltrując aż do osiągnięcia poziomu wód podziemnych. W środowisku podziemnym produkty mogą występować w trzech fazach: lotnej, ciekłej (rozpuszczone w wodzie lub nie mieszające się z wodą) i stałej (zaadsorbowane przez grunt). Formy występowania produktów ropopochodnych w środowisku podziemnym przedstawia rysunek 1.

Stan fizyczny, w jakim produkty ropopochodne występują w środowisku gruntowo-wodnym, odgrywa istotną rolę, wpływa bowiem zarówno na migra-

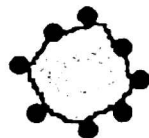
cję, jak również na możliwości oczyszczenia. Rozkład ilościowy zależy od typu produktów i od warunków geologiczno-hydrogeologicznych w miejscu skażenia. Większość substancji ropopochodnych występuje w środowisku gruntowo-wodnym jako produkty lotne, zaadsorbowane przez grunt lub jako nie mieszające się z wodą – pływające na powierzchni zwierciadła wody podziemnej. Produkty ropopochodne rozpuszczone w wodzie, mimo niewielkiej zawartości, nawet poniżej 10 p.p.m., mogą stanowić zagrożenie dla całej warstwy wodonośnej, z uwagi na ich rozprzestrzenianie się wraz z wodą. Ruch produktów ropopochodnych w strefie aeracji regulują podobne czynniki, jak w przypadku infiltracji wody, tj. siły grawitacji, napięcie powierzchniowe i kapilarność. W strefie saturacji wzrasta ruchliwość produktów w kierunku poziomym, prowadząc do rozszerzenia się plamy zanieczyszczenia (Malina i Szczepański, 1994, rys. 2).



między ziarnami gruntu  
*between soil particles*



jako błona wokół ziarna  
*like a membrane around the particle*



zaadsorbowane na ziarnie gruntu  
*adsorbed on the soil particle*

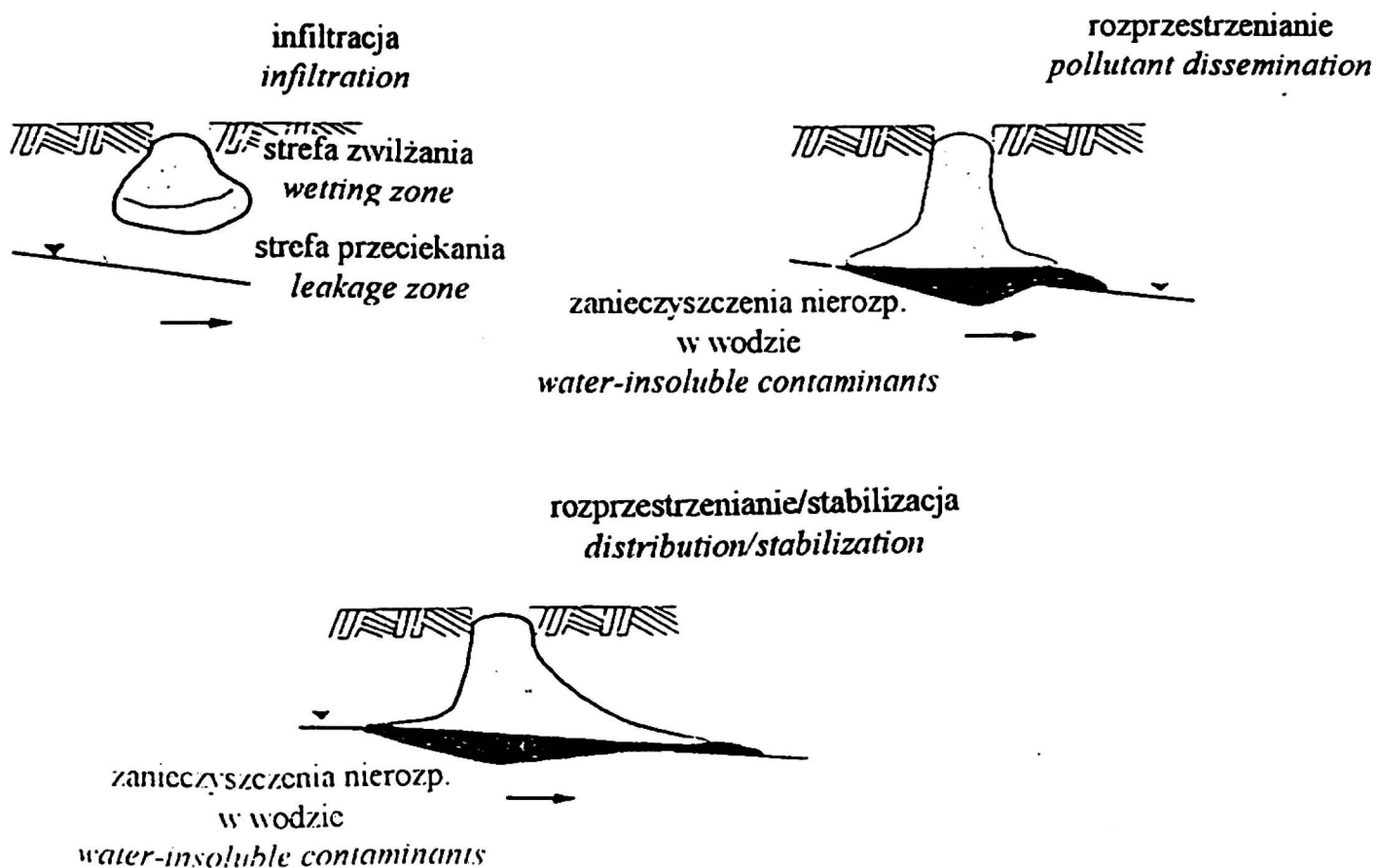


zaadsorbowane przez grunt  
*adsorbed in soil*



w szczelinach i porach ziarna gruntu  
*in cracks and porous media of soil*

Rys. 1. Formy występowania zanieczyszczeń w gruncie  
Fig. 1. The forms of contaminants in soil



Rys. 2. Transport zanieczyszczeń w ośrodku gruntowo-wodnym  
 Fig. 2. The mobility of contaminants in soil and groundwater medium

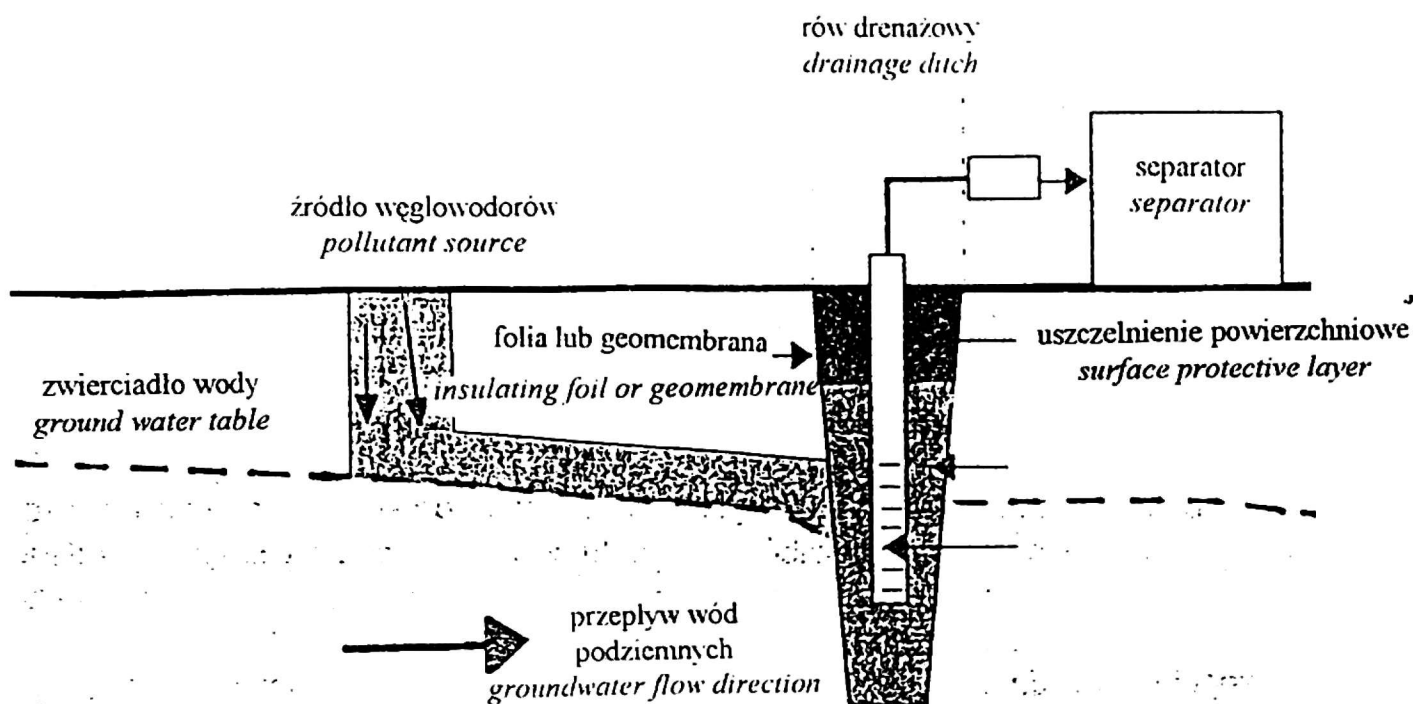
## Analiza metod oczyszczania gruntu

Ogólne postępowanie ze skażonym gruntem obejmuje unieruchomienie zanieczyszczeń przez zastosowanie barier izolacyjnych (fizycznych i hydraulicznych), technik stabilizacji oraz likwidację zanieczyszczeń, czyli dekontaminację opartą na generalnej strategii walki z substancjami zanieczyszczającymi. Oczyszczanie właściwe można przeprowadzić bez potrzeby wybierania skażonego gruntu, czyli na miejscu stosując tzw. metody *in situ* lub przez wydobycie gruntu i jego oczyszczenie specjalnymi technikami – metody *ex situ* (Malina i Szczepański 1994).

Do oczyszczania gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi

mi stosowane są następujące metody: pompowanie, przemywanie, metoda rolnicza, kompostowanie, wentylacja, bio-wentylacja oraz napowietrzanie wód podziemnych. Podstawową metodą usuwania wolnego produktu z gruntu i wód podziemnych jest pompowanie w otworach studziennych, czyli usuwanie zanieczyszczonej wody. Studnie można zainstalować w rowie drenażowym wypełnionym materiałem filtracyjnym, wykopany na co najmniej 1 m poniżej poziomu lustra wody. Typowy dren przedstawiony jest na rysunku 3.

Pompowanie w otworach studziennych można wykonać korzystając ze skimerów grawitacyjnych lub selektywnych, z systemu dwupompowego (pompowanie oddzielne wody i produktu), pompowania wody z produktem przy uży-



Rys. 3. Przekrój rowu drenażowego  
Fig. 3. The cross-section of drainage ditch

ciu jednej pompy z oddzieleniem faz na powierzchni (Adamek i in. 1994a).

Przemywanie gruntu polega na przeniesieniu zanieczyszczeń z gruntu do cieczy przemawającej. Ciecze, tj. alkalia, rozpuszczalniki, preparaty powierzchniowo czynne, woda itp. mogą być wstrzykiwane w głąb gruntu (in situ) lub mieszane ze skażonym uprzednio wydobytym gruntem (ex situ) (Grubbi Sitar 1994). Schemat instalacji przemawającej przedstawia rysunek 4.

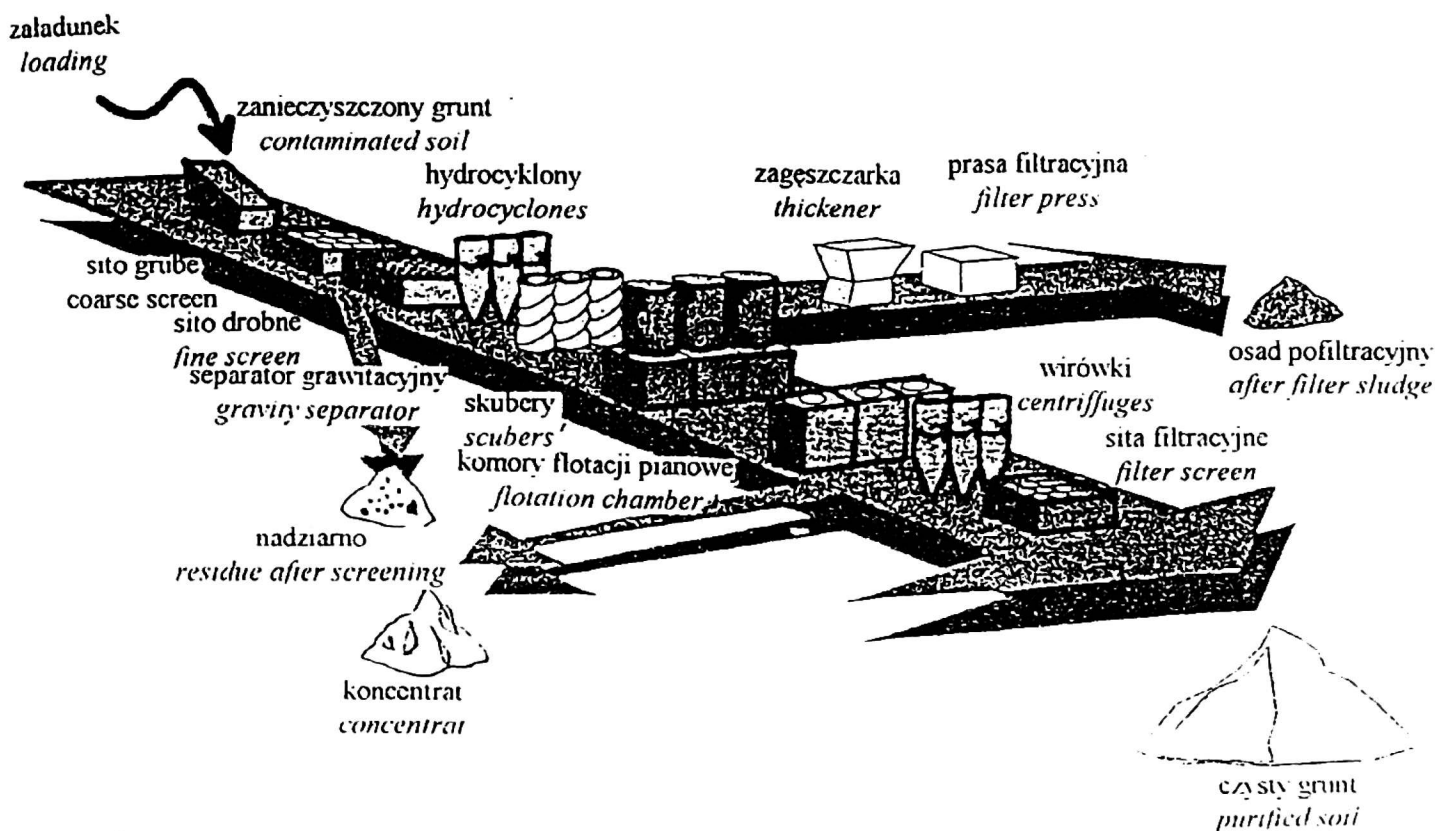
Najprostsza metoda tzw. rolnicza polega na rozłożeniu zanieczyszczonego gruntu cienką warstwą (o miąższości do 0,5 m), a następnie okresowym jej napowietrzaniu poprzez głębokie bronowanie lub przeorywanie. W przypadku gruntów o dużej toksyczności, bądź konieczności przechwytywania odcieków, zanieczyszczony grunt umieszcza się w płytkich

wykopach zabezpieczonych geomembraną. Przekrój przez poletko rekultywacyjne przedstawia rysunek 5 (Adamek i in. 1995)

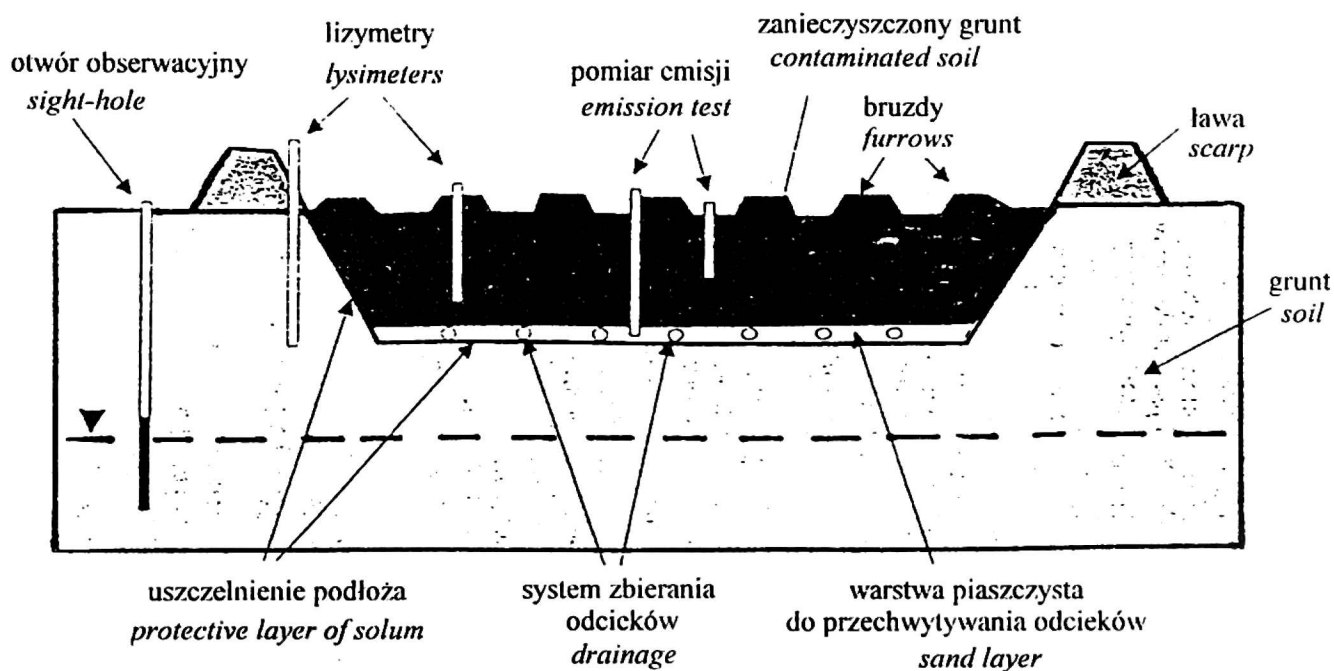
Kompostowanie zbliżone jest do metody rolniczej, z tą różnicą, że grunt jest napowietrzany nie przez przeorywanie bądź bronowanie, ale przez system perforowanych rur umieszczonych wewnątrz przyzmy. Odmianą kompostowania jest technologia „Cum Bac<sup>®</sup>” opracowana przez holenderską firmę Heidemij NV.

Technologia ta (nazywana stymulowaną metodą rolniczą) polega na umieszczeniu zanieczyszczonego gruntu w płytkim wykopie uzbrojonym w system drenażowy i rury napowietrzające. Wydłużona przyzma przykryta jest tunelem foliowym, wyposażonym w system spryskiwaczy, którymi doprowadzana jest woda i substancje odżywcze. W podłożu





Rys. 4. Schemat metody przemywania gruntu  
 Fig. 4. The scheme of soil washing process



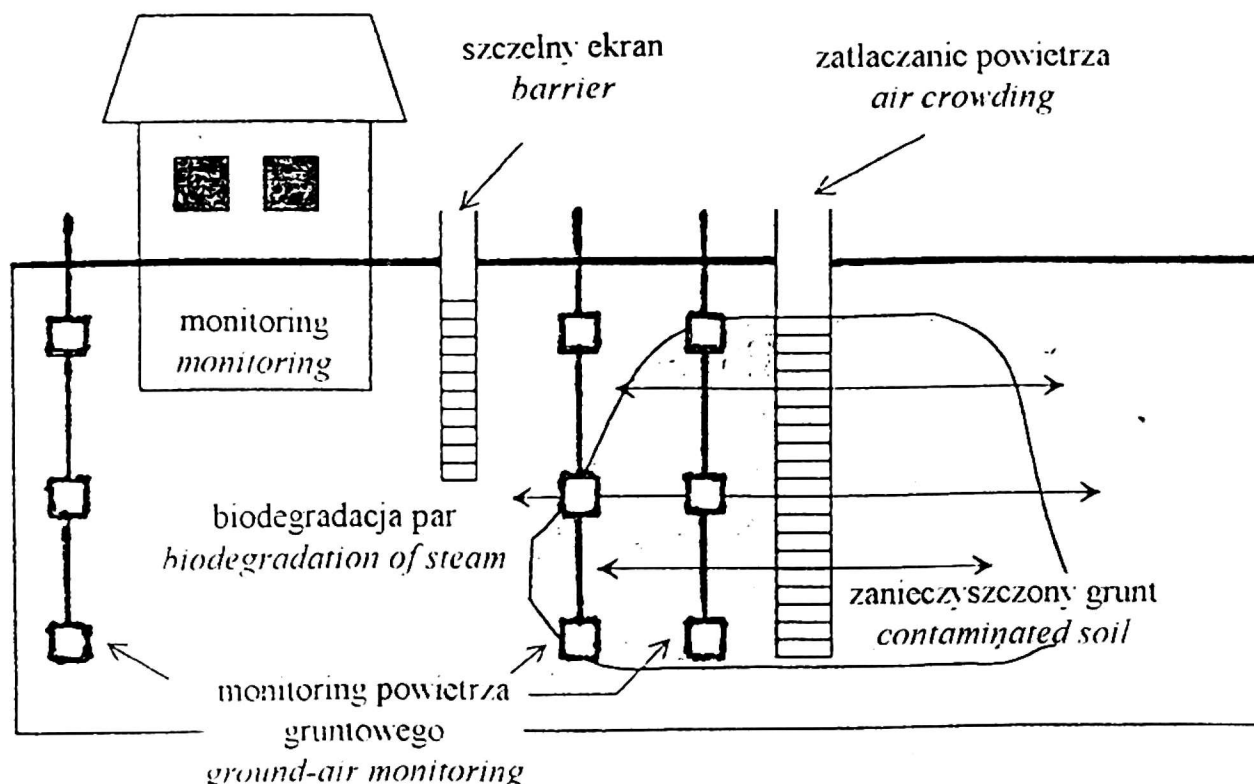
Rys. 5. Metoda rolnicza – przekrój przez poletko rekultywacyjne  
 Fig. 5. The agricultural method – the cross-section of decontaminated field

pryzmy, za pomocą dmuchaw, wytworzone jest podciśnienie w celu właściwego napowietrzenia. Woda w systemie cyrkuluje w układzie zamkniętym (Siuta 1997).

Metoda wentylacji gruntu, nazywana metodą podciśnieniowego usuwania par węglowodorów, polega na zmniejszeniu koncentracji lotnych składników produktów ropopochodnych zaadsorbowanych w strefie aeracji gruntu. Składniki lotne usuwane są z gruntu przez system rurociągów, w którym wytworzone jest podciśnienie za pomocą pompy próżniowej. Rurociągi ssąco-tłoczące oddalone są od siebie w przeciętnych warunkach 3–7 m. Średnice studni zawierają się w przedziale 50–300 mm. Pompa powinna wytwarzać podciśnienie minimum 250 mb (Adamek i in. 1995).

Biowentylacja jest procesem napowietrzania gruntu w celu utrzy-

nia aktywności mikrobiologicznej i przyspieszenia procesu biorekultywacji. Węglowodory ropopochodne są generalnie biodegradowane przez mikroorganizmy, które mają zdolność wykorzystania tych produktów jako źródła węgla w środowisku odpowiednio utlenionym i w obecności substancji odżywczych. Wykorzystanie tlenu atmosferycznego do intensyfikacji biodegradacji opiera się na przepływie powietrza przez zanieczyszczony grunt w ilości i w sposób umożliwiający zapewnienie natlenienia dla biodegradacji aerobowej oraz zminimalizowanie powstawania gazów zanieczyszczonych węglowodorami. Dodanie substancji odżywczych i wody może być pożądane w celu zwiększenia tempa biodegradacji, ale nie jest konieczne. Cechą charakterystyczną biowentylacji jest stosowanie perforowanych, w wąskich odstępach, sond pomiarowych do poboru prób po-



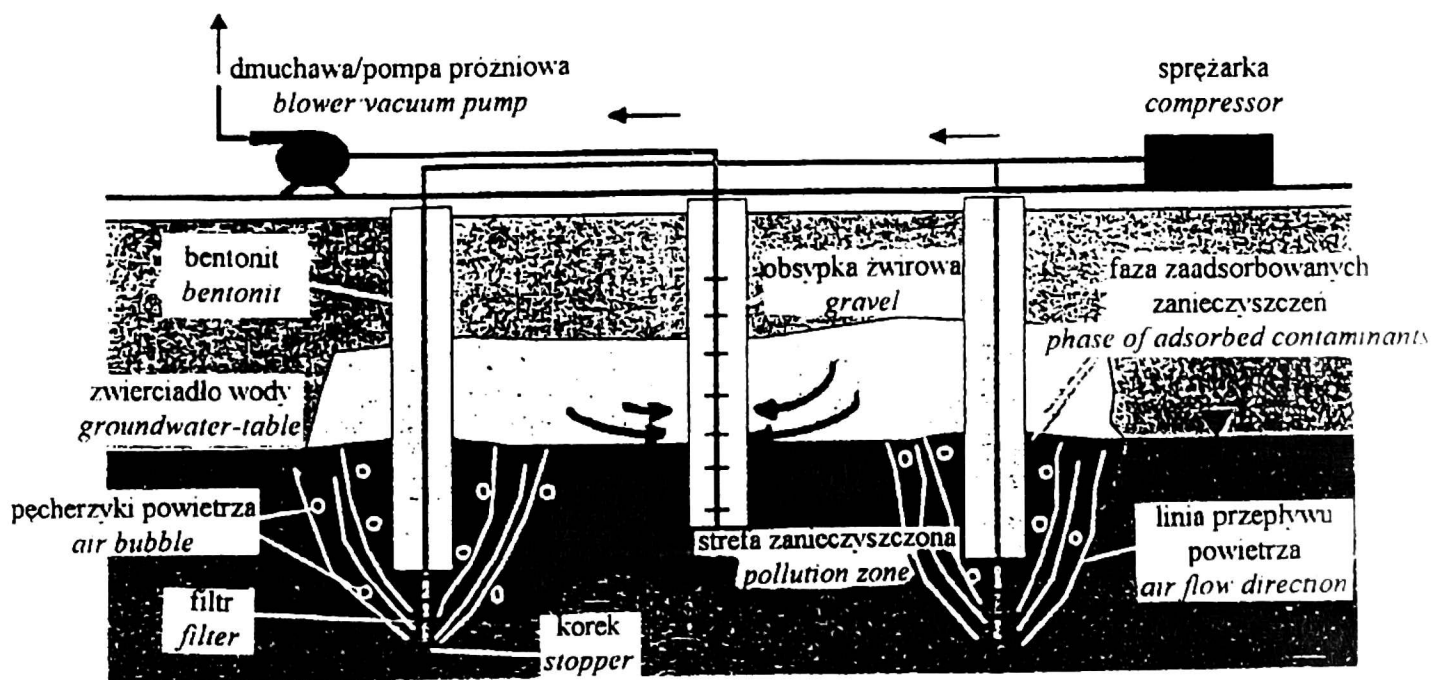
Rys. 6. Schemat instalacji napowietrzającej  
Fig. 6. The scheme of bioventilation method

wietrza gruntowego. Sondy te są potrzebne do pomiarów lokalnych stężeń tlenu, ponieważ poziom tlenu w otworach wentylacyjnych nie jest reprezentatywny dla warunków lokalnych. Na rysunku 6 przedstawiono system bioaeracji, zakładający wyłącznie wtłaczanie powietrza (Adamek i in. 1995a).

Napowietrzanie wód podziemnych jest metodą usuwania zanieczyszczeń ze strefy saturacji, stosowaną częściej zamiast kosztownego wypompowywania wód podziemnych i ich oczyszczania na powierzchni. Metoda szczególnie skuteczna w odniesieniu do lotnych i łatwo biodegradalnych węglowodorów ropopochodnych, takich jak: BTX, etylobenzen, węglowodory chlorowane oraz rozpuszczalniki chlorowcopochodne. Sprężone powietrze jest wtłaczane do strefy saturacji gruntu. Efektywność metody napowietrzania zależy głównie od dwóch czynników: przepuszczalności gruntu i podziału faza rozproszona/para.

Czynnikiem mogącym ograniczyć efektywność napowietrzania strefy saturacji jest zawartość jonu żelazowego ( $Fe^{+2}$ ). W trakcie dostarczania powietrza żelazo ulega utlenieniu do jonu żelazowego ( $Fe^{+3}$ ), kolmatując strefę wokół filtrów otworów napowietrzających. Metoda napowietrzania wód podziemnych bardzo często stosowana jest łącznie z wentylacją gruntu w strefie aeracji (przechwytywanie par węglowodorów). Schemat systemu napowietrzania przedstawia rysunku 7 (Adamek 1995a).

Wybór metody oczyszczania środowiska gruntowo-wodnego, skażonego substancjami ropopochodnymi, zależy od: warunków gruntowych, ograniczeń wynikających z możliwości technicznych, istniejących norm prawnych, wymagań ochrony środowiska oraz kosztów. Koszty zależą głównie od założonych rezultatów oczyszczania, rosną zdecydowanie w miarę wzrostu wymagań. Wyróżnione w artykule metody



Rys. 7. Schemat napowietrzania warstwy wodonośnej  
Fig. 7. The aeration of water-bearing layer

oczyszczania gruntu i wód podziemnych charakteryzują się bardzo dobrymi relacjami kosztów w stosunku do uzyskanego celu. Obecnie są one stosowane w krajach Europy Zachodniej w 95% prowadzonych prac rekultywacyjnych i pozwalają wykonać oczyszczanie szybciej, efektywniej i taniej, niż pompowanie i uzdatnianie zanieczyszczonych wód czy wywóz zanieczyszczonego gruntu na składowiska specjalne.

Generalnie metody oczyszczania *ex situ* charakteryzują się wyższymi nakładami inwestycyjnymi i kosztami operacyjnymi systemu w porównaniu z zabiegami przeprowadzanymi w miejscu skażenia (*in situ*). Wyższe nakłady związane są głównie ze środkami przeznaczonymi na wydobycie gruntu oraz montaż i transport urządzeń oczyszczających.

Metoda przemywania gruntu jest zabiegiem rekultywacyjnym najbardziej skutecznym, natychmiastowa redukcja zanieczyszczeń może dochodzić do 100% i znaczna część oczyszczonego gruntu może być ponownie wykorzystana. Krótkim czasem oczyszczania charakteryzują się także metody: rolnicza i pryzmowanie, procesy te trwają od kilku miesięcy do 2 lat. Jednak metody te nie sprawdzają się przy wysokiej koncentracji substancji ropopochodnych – ponad 50 000 mg/kg oraz metali ciężkich powyżej 2500 mg/kg. Przemywanie gruntu jest nieopłacalne w przypadku małych ilości skażonego gruntu i traci sens ekonomiczny przy próbie oczyszczania gruntów zwięzłych (np. ilastych). Metoda rolnicza, prosta od strony projektowej i konstrukcyjnej, wymaga dużych powierzchni, jest skuteczna w odniesieniu do

składników o wolnym tempie biodegradacji, jednak przy konieczności uszczelnienia podłoża, wielokrotnie rosną nakłady kapitałowe. Zależy też w dużym stopniu od pór roku i warunków klimatycznych. Metoda napowietrzania wód podziemnych jest zabiegiem tańszym niż naziemne systemy oczyszczania wody, w których poważny problem stanowią: pompowanie, uzdatnianie i zrzut wody, może być stosowana łącznie z wentylacją gruntu. Aby zapobiec niebezpieczeństwu wzbudzenia migracji zanieczyszczenia, należy tworzyć ekrany izolacyjne (np. bariery fizyczne), zabezpieczające przed rozprzestrzenianiem się plamy zanieczyszczenia. W metodzie wentylacji gruntu uzyskanie redukcji zanieczyszczenia powyżej 90% jest trudne, przeciętnie dochodzi do 50%. Metoda jest mało skuteczna w gruntach zwięzłych, niedogodność stanowi oczyszczanie par węglowodorów, które jest kosztowne i nieefektywne w odniesieniu do węglowodorów o niskiej lotności. Oczyszczanie trwa w optymalnych warunkach od 6 miesięcy do 2 lat. Metoda biowentylacji charakteryzuje się wyższymi kosztami operacyjnymi i dłuższym czasem rekultywacji niż w przypadku wentylacji gruntu. Biowentylacja nie gwarantuje całkowitego usunięcia zanieczyszczenia na terenach o charakterze warstwowym, niskiej przepuszczalności, wysokiej zawartości frakcji ilastej, a wysokie stężenie produktów naftowych może być toksyczne dla mikroorganizmów. Zarówno metoda wentylacji, jak i biowentylacji cechuje się prostą techniką i łatwością w instalowaniu urządzeń.



Każda z przedstawionych tu metod ma wiele zalet i ograniczeń, nie istnieje metoda uniwersalna, która jest efektywna w każdych warunkach. Niektóre metody można wykorzystywać w kombinacji z innymi, np. metoda przemywania z metodą biowentylacji. Stosowane w praktyce metody są w różnym stopniu sprawdzone, niektóre z nich są ciągle w fazie badań.

## **Badania efektywności metody przemywania**

### **Metodyka badań**

Badania przeprowadzono w dwóch lejach Imhoffa, tzn. znormalizowanych pojemnikach w kształcie odwróconych stożków, o pojemności 1 dm<sup>3</sup> każdy. Przezroczysta obudowa pojemników pozwala obserwować zmiany zachodzące w przemywanym gruncie. Leje Imhoffa ustawiono w stojaku wewnątrz plastikowej kuwety, pozwalającej na gromadzenie się popłuczyn. Do oczyszczania użyto próbek gruntu (piasek drobny), w których średnia zawartość substancji ropopochodnych wynosiła 2253,2 mg/kg oraz 26 143,6 mg/kg. Pierwszy z gruntów o zanieczyszczeniu 2253,2 p.p.m. umieszczono w leju Imhoffa nr 1, natomiast grunt o zanieczyszczeniu 26 143,6 p.p.m. w leju nr 2. Grunt zagęszczano w lejach i zalewano płynnymi preparatami przemywającymi. Preparaty wsiąkały w grunt pod wpływem własnego ciężaru. Przemywanie gruntów przeprowadzono następującymi preparatami: Bio-b(a), Petro-clean i Sintan. Właściwości zasto-

sowanych preparatów podano w następnym rozdziale. Grunt o zanieczyszczeniu większym przemywano dodatkowo w kuwecie za pomocą środka Sintan i następnie płukano go wodą destylowaną.

Badania stanu zanieczyszczenia próbek gruntu, zarówno przed jak i po przemyciu przeprowadzono w aparacie Soxtherm. Próbki gruntu o masie ok. 20 g pobierano do szklanego słoja i przechowywano w temperaturze poniżej 4°C. Następnie próbki suszono w temperaturze 105°C przez 2 godziny i chłodzono w eksykatorze do temperatury pokojowej. Z każdej suchej próbki pobierano po dwie 5-gramowe porcje gruntu.

Odważone porcje gruntu umieszczano w cylinderkach (gilzach), przykryto watą wolną od tłuszczu i wkładano do wysuszonych i zważonych zlewek ekstraktora. Do każdej zlewki wiano ok. 0,140 dm<sup>3</sup> eteru naftowego, nałożono uszczelki i wraz z gilzami zainstalowano w aparacie. Aparat Soxtherm jest w pełni zautomatyzowany. Urządzenie uruchamiano po wprowadzeniu odpowiedniego programu ekstrakcji. Po zakończeniu ekstrakcji zlewki wypłukano rozpuszczalnikiem z pozostałości poekstrakcyjnej i całość przeniesiono do mniejszych naczynek wagowych, zważonych wcześniej z dokładnością do 0,1 mg. Naczynko z pozostałością po ekstrakcji wysuszono w temperaturze 30°C, ochłodzono w eksykatorze do temperatury pokojowej i zważono (Krych 1993).

Zawartość substancji ropopochodnych w suchej masie badanej próbki (X) obliczono według wzoru:



$$X = \frac{(m - m_1)1000}{m_2} \text{ mg/kg}$$

gdzie:

$m$  – masa naczynka z pozostałością po ekstrakcji [g],

$m$  – *weight of extraction measure* [g],

$m_1$  – masa naczynka [g],

$m_1$  – *weight of measure* [g],

$m_2$  – masa próbki użytej do oznaczenia [kg],

$m_2$  – *weight of signed specimen* [kg]

## Właściwości zastosowanych preparatów

W badaniach laboratoryjnych użyto trzy preparaty: Bio-b(a), Petro-clean i Sintan. Preparaty Bio-b(a) i Petro-clean są rozprowadzane przez firmę bioArcus, która jest wyłącznym dystrybutorem na Polskę produktów International Bioremediation Services (IBS Ltd). Producentem preparatu Sintan jest firma Sintac GmbH z Niemiec. Bio-b(a) jest wodnym roztworem zawierającym ekstrakty roślinne i substancje powierzchniowo czynne w stosunku do węglowodorów. Produkt rozcieńcza się w stosunku 1:100. Po rozcieńczeniu ma on barwę żółtawą, specyficzny zapach chemiczny i odczyn obojętny (pH = 7). Produkt ten usuwa ciężkie oleje i smary. Bio-b(a) jest bezpieczny w użyciu i w pełni ulega biodegradacji.

Petro-clean zawiera substancje powierzchniowo czynne, kwasy organiczne i ekstrakty roślinne w postaci koncentratu. Po rozcieńczeniu (1 : 50) roztwór jest bezbarwny o zapachu specyficznym (chemicznym) i pH = 7 i służy do usuwania wszelkiego rodzaju węglowodorów

ropopochodnych (ropa naftowa, ciężkie frakcje rafinacji ropy, woski i parafiny).

Sintan jest środkiem oczyszczającym zanieczyszczony grunt; jest on polecany przez renomowane instytuty w Niemczech i Polsce. Sintan jest nasyconym roztworem substancji powierzchniowo czynnych o małej lepkości, dzięki czemu przenika i rozbija plamy olejowe oraz poprawia warunki działania bakterii glebowych, ułatwiając dostęp tlenu i substancji odżywczych do strefy skażeń. Po wprowadzeniu roztworu do gruntu, w niedługim czasie preparat zaczyna penetrować zanieczyszczenia, rozdrabniać je i wymywać. Powłoka substancji ropopochodnych zostaje rozbita i tworzy bardzo drobne cząsteczki. Sintan równomiernie dostaje się pod olej, co umożliwia oddzielenie oleju od gruntu. Dodanie w następnym etapie wody powoduje dalsze oddzielenie rozpuszczonych frakcji oleju. Całkowicie oddzielone cząstki nie mają już żadnego oparcia i są wypłukiwane z gruntu. Po pewnym okresie olej zostaje rozbity na mikrokrople, co ułatwia ich bakteryjny biologiczny rozkład. Sintan jest bezbarwny o zapachu specyficznym i pH = 7, po wymieszaniu z powietrzem pieni się.

## Przebieg badań

Przemywanie preparatem Bio-b(a). Na 1 dm<sup>3</sup> zanieczyszczonego gruntu użyto 2,4 dm<sup>3</sup> środka (po rozcieńczeniu). Wcześniejsze badania w aparacie Soxhtherm wykazały, że ta ilość preparatu Bio-b(a) zawierała 37 656 µg substancji ekstrahujących się eterem naftowym (detergenty, woski, kwasy tłuszczowe i in-

ne) w przeliczeniu na  $\text{dm}^3$ . Preparat powoli infiltrował przez próbki gruntu w obu lejach Imhoffa W przypadku gruntu nr 2 zaobserwowano na ściankach leja tłusty nalot. Po przepuszczeniu całej objętości Bio-b(a) pobrano próbki gruntu do badań na zawartość zanieczyszczeń. Popłuczyny o barwie kawowej miały przyjemny zapach i niższe  $\text{pH} = 6$  w porównaniu z odczynem preparatu. Na rysunku 8 przedstawiono przemywanie gruntu za pomocą preparatu Bio-b(a).

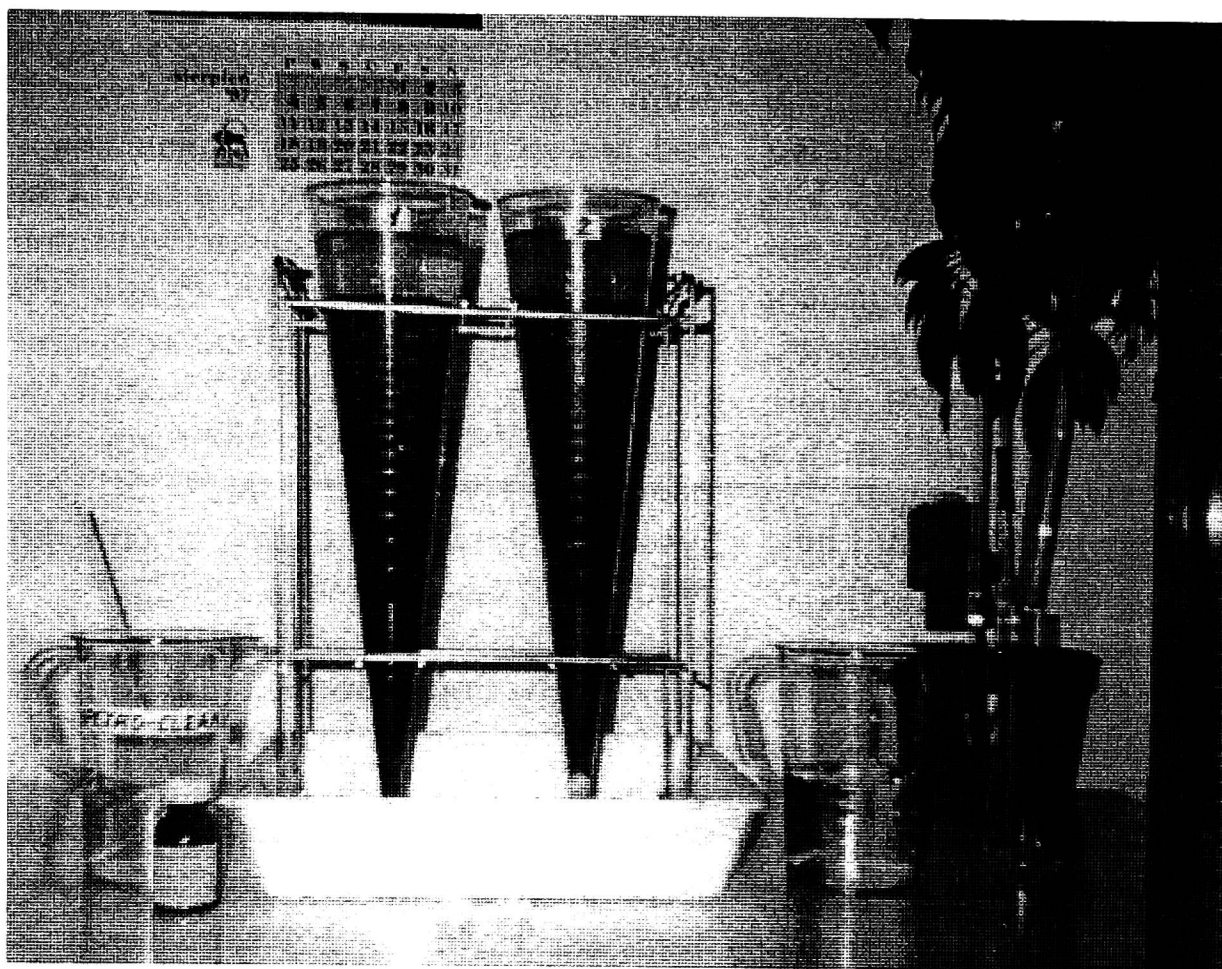
**Przemywanie preparatem Petro-clean.** Do przemycia  $1 \text{ dm}^3$  zanieczyszczonego piasku użyto  $1,8 \text{ dm}^3$  preparatu (po rozcieńczeniu). Zastosowana dawka Petro-clean zawierała  $41\ 652 \mu\text{g}$  substan-

cji rozpuszczających się w eterze naftowym w przeliczeniu na  $\text{dm}^3$ . Roztwór nad powierzchnią próbek gruntu zmętniał (szczególnie w leju nr 2), a na powierzchni zwierciadła roztworu widoczne były drobne pierścienie olejowe. Po przepłukaniu grunt zmienił barwę na nieco jaśniejszą. Na ściankach zasobników wystąpiły plamy emulsji olejowej. Popłuczyny były ciemne o  $\text{pH} = 6,5$ . Na rysunku 9 zauważyć można zmętnienie roztworu Petro-clean w leju nr 2.

**Przemywanie preparatem Sintan.** Na  $1 \text{ dm}^3$  skażonego gruntu użyto  $2 \text{ dm}^3$  preparatu Sintan. Sintan zawierał on znacznie więcej substancji ekstrahujących się eterem naftowym, niż poprzednio za-



Rys. 8. Przemywanie prób gruntu przy użyciu Bio-b(a)  
Fig. 8. The soil washing process by Bio-b(a)



Rys. 9. Przemycanie prób gruntu przy użyciu środka Petro-clean  
 Fig. 9. The soil washing process by Petro-clean

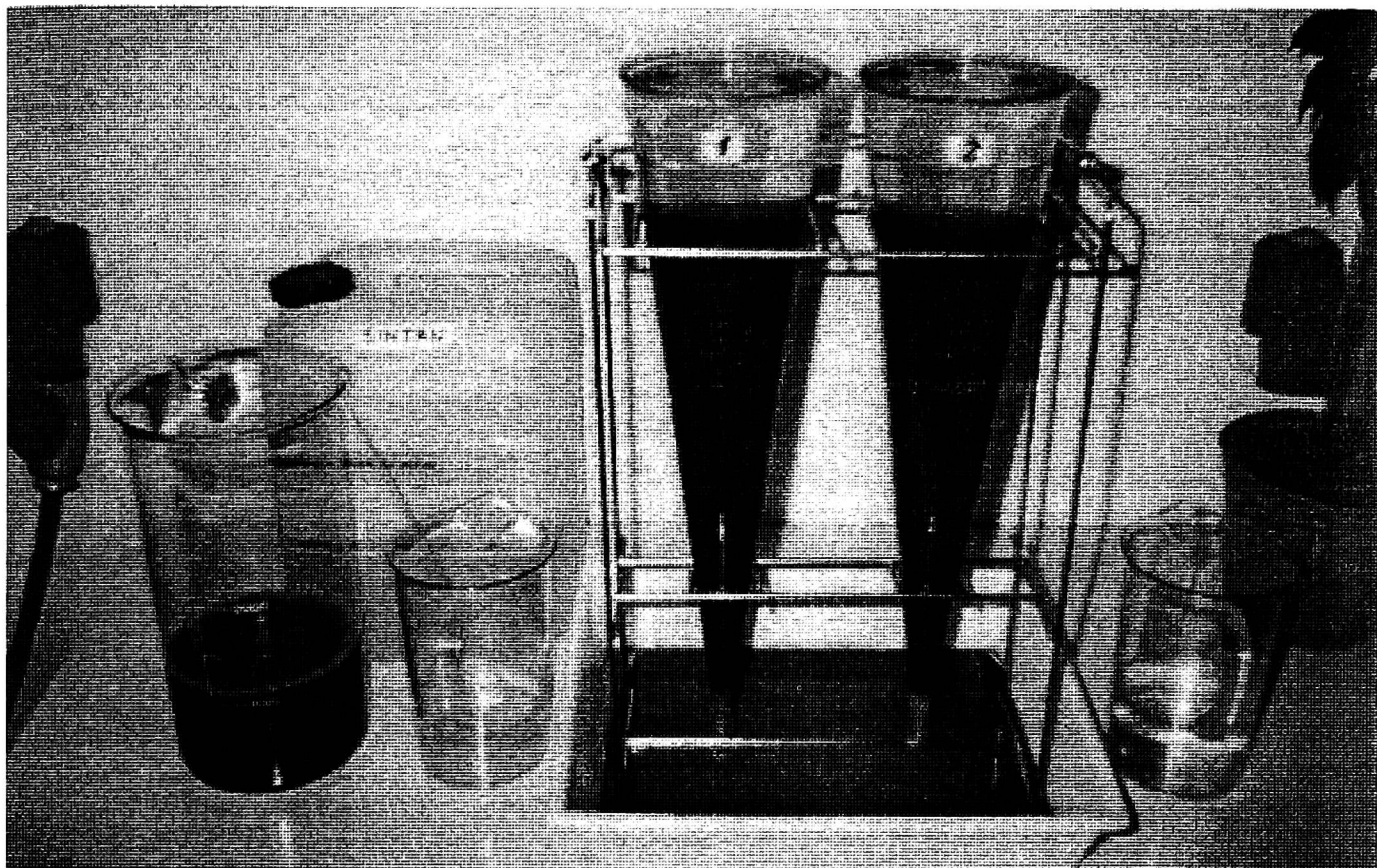
stosowane środki, wartość ich dochodziła do 1 337 200  $\mu\text{g}$ , przeliczając na  $\text{dm}^3$ . Preparat przesączał się powoli przez obie próbki gruntu, przy czym znacznie wolniej przez grunt nr 2. Zanieczyszczenia znajdujące się przy powierzchni gruntu nie wypływały na jakość cieczy przemycanej. Popłuczyny o barwie ciemnobrązowej wytworzyły kremową pianę (kontakt z powietrzem) oraz gąbczasty osad. Rysunek 10 pokazuje przesączenie się preparatu przez zanieczyszczony grunt.

**Przemycanie piasku preparatem Sintan w kuwecie z mieszaniem.** Zanieczyszczony grunt nr 2 przepłukano w kuwecie za pomocą Sintanu stosując na

1  $\text{dm}^3$  luźnego gruntu 2  $\text{dm}^3$  preparatu. Zalany preparatem grunt mieszano ręcznie. W kuwecie wytworzyła się piana barwy kawowej. Na powierzchni preparatu widoczne były pływające pierścienie olejowe w kształcie ameby. Olej przylegał do ścianek pojemnika. Popłuczyny o barwie ciemnobrązowej odprowadzano do zlewki, w której na dnie wytworzył się jaśniejszy osad, zawierający drobne części gruntu. Oczyszczoną masę gruntu, po usunięciu popłuczyn, poddano kilkukrotnemu płukaniu w wodzie destylowanej i po wysuszeniu pobrano próbki do badań.

Istnieje przypuszczenie, że substancje zawarte w preparatach przemycających, oznaczone podczas ekstrakcji, zostały zatrzymane w trakcie ich przemie-





Rys. 10. Przemycanie prób gruntu przy użyciu Sintanu  
Fig. 10. The soil washing process by Sintan

szczania się przez próbki gruntu. Oznaczone wartości (X) zredukowano o zawartość substancji ekstrahujących się eterem naftowym występujących w użytej objętości środka.

### Analiza wyników badań

Wyniki badań zostały przedstawione jako średnie zawartości substancji ekstrahujących się eterem naftowym. Średnie wartości zanieczyszczeń i wielkość redukcji przedstawiono w tabeli.

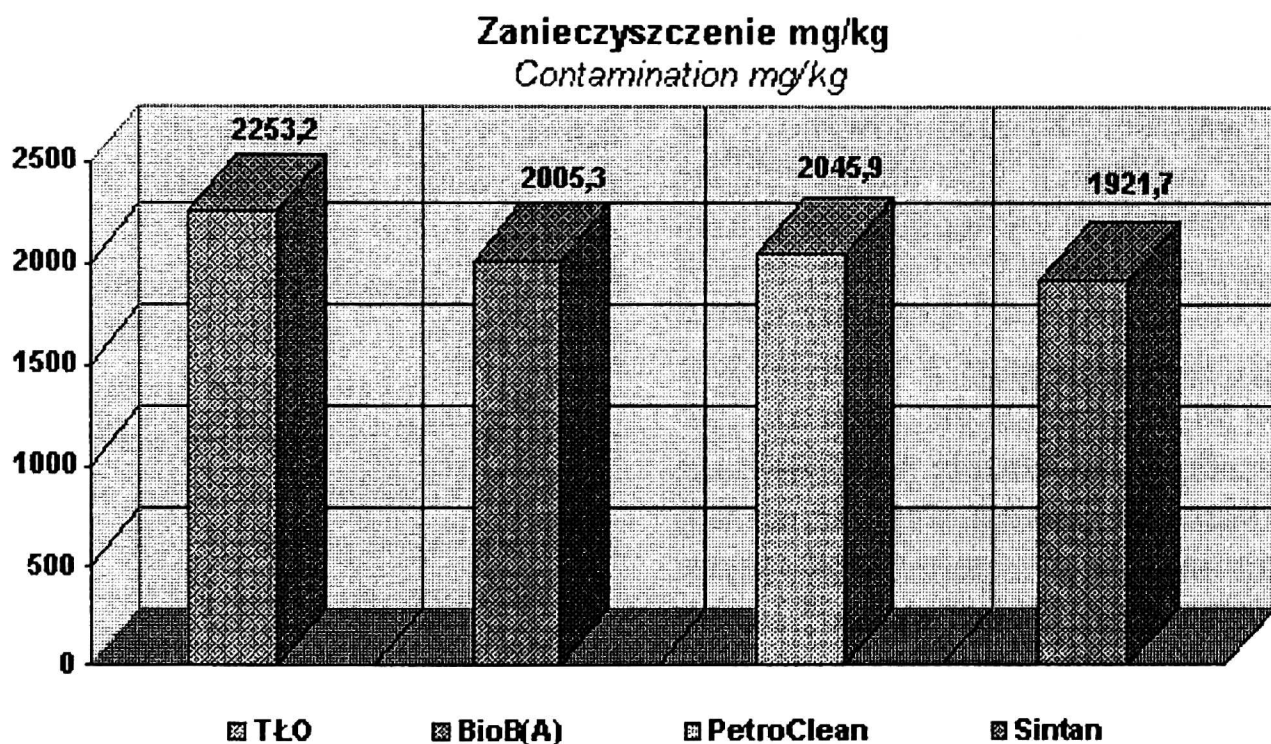
W przypadku gruntu nr 1 redukcja zanieczyszczeń wahała się od 9% do 15%. Bio-b(a) oczyścił skażony grunt w 11%, Petro-clean – 9,2%, a Sintan, działający skuteczniej, zredukował zanieczyszczenie o 14,7%. Efektywność oczyszczania gruntu nr 1 przedstawiono na rysunku 11.

W przypadku gruntu nr 2 redukcja zanieczyszczenia wynosiła 56,8% przy zastosowaniu preparatu Bio-b(a), Petro-clean oczyścił grunt w 42,4%. Działanie Sintanu okazało się najskuteczniejsze wśród użytych środków (redukcja 69% – 91%). Efektywność przemycania gruntu nr 2 przedstawia rysunek 12.

Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że zastosowane preparaty oczyściły grunt nr 1 do poziomu około 2000 mg/kg, natomiast grunt nr 2 w różnym stopniu, w zależności od preparatu. Najbardziej skutecznym środkiem oczyszczającym jest Sintan, który zredukował zanieczyszczenia nawet do 90%. Większą efektywność w procesie przemycania można osiągnąć przeprowadzając zabiegi *ex situ* przez wydobycie skażonego gruntu i dokładne jego wymieszanie z preparata-

TABELA 1. Wartości zanieczyszczenia w oczyszczonym gruncie  
 TABLE 1. The value of contaminants in purified soil

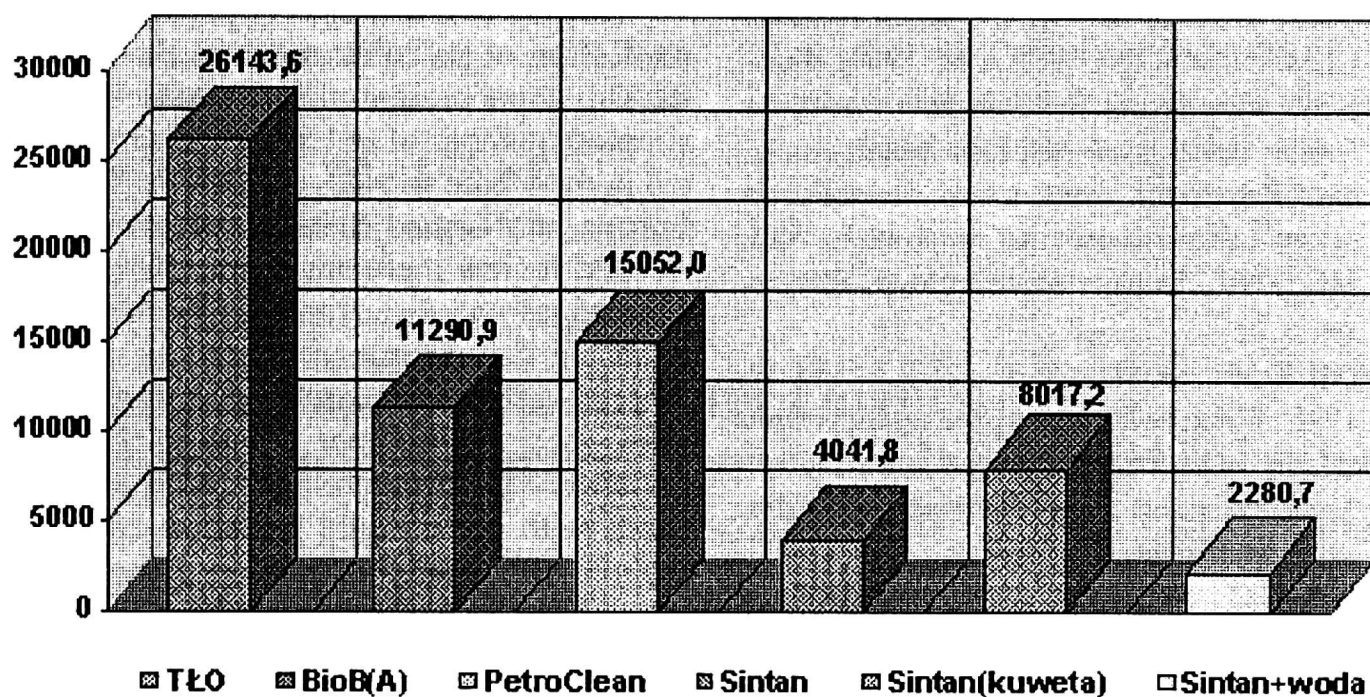
Przemity grunt nr 1 → tło zanieczyszczenia 2253,2 mg/kg The decontaminated soil 1 → background of contamination – 2253.2 mg/kg			
Zastosowane preparaty The applied agents	Ilość badań Number of research	Wartości zanieczyszczenia w oczyszczonym gruncie, mg/kg The value of contaminants in purified soil, mg/kg	Redukcja zanieczyszczenia, % The reduction of contaminants, %
Bio-b(a)	6	2 005,3	11,0
Petro-clean	4	2 045,9	9,2
Sintan	4	1 921,7	14,7
Przemity grunt nr 2 → tło zanieczyszczenia 26 143,6 mg/kg The decontaminated soil 2 → background of contamination – 26 143.6 mg/kg			
Bio-b(a)	2	11 290,9	56,8
Petro-clean	2	15 052,0	42,4
Sintan	2	4 041,8	84,5
Sintan (kuweta)	2	8 017,2	69,3
Sintan (+H <sub>2</sub> O)	2	2 280,7	91,3



Rys. 11. Efektywność przemywania prób gruntu nr 1  
 Fig. 11. The efficiency of soil washing in soil specimen 1



Zanieczyszczenie mg/kg  
Contamination mg/kg



Rys. 12. Efektywność przemywania prób gruntu nr 2  
Fig. 12. The efficiency of soil washing in soil specimen 2

mi w specjalnie dostosowanych urządzeniach. Gdy przemyty grunt podda się płukaniu w wodzie, efekty oczyszczania będą bliskie 100% (grunt + Sintan + woda). Dodatkową zaletą oczyszczania w warunkach ex situ jest natychmiastowe, w krótkim czasie, usunięcie zanieczyszczeń.

## Wnioski

1. Przed przystąpieniem do zabiegów rekultywacyjnych należy dokładnie rozpoznać wielkość i rodzaj zanieczyszczenia, właściwości fizykochemiczne, geologiczne i hydrogeologiczne zanieczyszczonego terenu oraz ocenić przewidywane koszty przedsięwzięcia. Czynniki te będą wpływały na wybór odpowiedniej metody oczyszczania.

2. Z przeprowadzonych badań wynika, że najbardziej skutecznym środkiem przemywającym jest Sintan, który zredukował zanieczyszczenie w 91,3%. Gdy przemyty grunt podda się jeszcze płukaniu w wodzie, efekty oczyszczania mogą być bliskie 100%.

3. Do oczyszczania gruntów o bardzo wysokim zanieczyszczeniu nie zaleca się stosowania preparatów Bio-b(a) i Petro-clean z uwagi na ich małą skuteczność.

4. Popłuczyny powstające w wyniku prowadzenia procesu oczyszczania należy kierować do stacji utylizacji lub odpowiednich instalacji separujących olej. Zaleca się utylizowanie ścieków metodą elektrochemiczną, polegającą na oddzieleniu oleju od wody w wyniku przepuszczania przez emulsję olejową prądu elektrycznego.

## Literatura

- ADAMEK M., JENDROŚKA J., KOŚLACZ R., ULMAN-BORTNOWSKA M. 1994: *Wskazówki metodyczne wykonywania badań na terenie istniejących obiektów magazynowania i dystrybucji paliw w celu sporządzenia oceny oddziaływania na środowisko*. Wyd. MOŚZNiL, Departament Geologii. Warszawa.
- ADAMEK M., KOŚLACZ R., ZIELIŃSKI W. 1995: *Wskazówki metodyczne wykonywania rekultywacji gruntów i wód podziemnych zanieczyszczonych produktami naftowymi*. Wyd. MOŚZNiL. Warszawa.
- GRUBB G.D., SITAR N. 1994: *Evaluation of technologies for in-situ cleanup of DNAPL contaminated sites*. USEPA Publishing, Washington.
- KRYCH W. 1993: *Metodyka badań zawartości substancji ekstrahujących się eterem naftowym w wodzie, ściekach, glebie, szlamach, osadach i odpadach za pomocą ekstraktora SOX THERM 2000, typ S 306 AK*, Wyd. ABB Zamech Ltd . Elbląg.
- MALINA G., SZCZEPAŃSKI A. 1994: *Likwidacja zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi w środowisku wodno-gruntowym*. Wyd. PIOŚ, Warszawa.
- SIUTA J., 1997: *Technologie odolejania gruntów, odpadów, ścieków*. Wyd. Ekoinżynieria, Lublin.

## Summary

**Application of washing process for remediation of petroleum contaminated soils.** This paper presents the most effective and simplest methods of soil remediation, respected in the whole world, generally in Western Europe and United States. In short content-related review there are characterized both advantages and disadvantages of these methods. In the experiment there was applied the soil washing process. Petroleum-polluted sand, specimen number 1 with background pollution 2253.2 p.p.m. and specimen number 2 with background pollution 26 143.6 p.p.m., were placed in Imhoffs funnels and treated for rewashing preparations: BIO-B(A), PETRO-CLEAN and SINTAN. The SINTAN was the most effective agent, giving the following size of contaminants reduction:

- BIO-B(A) – up to 56.8%,
- PETRO-CLEAN – up to 42.4%,
- SINTAN – up to 91.3%.

In case of two-times or three-times soil washing, the effectiveness of decontamination process would surely increase but ventures expenditures would be very high.

### Author's address:

P. Wittbrodt  
Giermków St, 21,9  
82–300 Elbląg  
Poland