

Magda Bobrowska

Wpływ bioremediacji na własności fizyczne wybranych gruntów z terenu Legnicy zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi

ABSTRAKT

Praca obejmuje wyniki badań, na podstawie których określono wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych i bioremediacji na geologiczno-inżynierskie własności gruntów.

Stwierdzono, że zróżnicowanie fizyczno-chemiczne właściwości cieczy ropopochodnych powoduje niekorzystne zmiany w podłożu budowlanym, natomiast technologia bioremediacji powoduje obniżenie koncentracji zanieczyszczeń obecnych w gruncie do bezpiecznego poziomu, w efekcie czego dochodzi do odnowienia środowiska wodno-gruntowego. Wielkość zmian zależna jest głównie od rodzaju gruntu i stopnia jego zanieczyszczenia. Zaprezentowane wyniki wskazują, że tereny zanieczyszczone wymagają szczególnej uwagi przy ocenie ich przydatności do celów budowlanych.

Wstęp

Burzliwy rozwój różnych gałęzi przemysłu, w tym motoryzacyjnego, oraz rozwój miast i infrastruktury spowodował, że człowiek coraz częściej ingeruje w środowisko naturalne, nie zwracając uwagi na wynikające z tego powodu zagrożenia.

Często człowiek nie zdaje sobie sprawy, że wśród wszystkich awarii i wypadków prowadzących do skażenia gruntów około 40% stanowią zanieczyszczenia produktami ropopochodnymi, czyli benzynami, olejami mineralnymi lub napędowymi.

Źródła potencjalnych zanieczyszczeń związkami ropopochodnymi koncentrują się przede wszystkim wokół takich obiektów jak:

- stacje paliw,
- rafinerie,
- rurociągi przesyłowe,
- bazy magazynowe i przeładunkowe,
- tereny przemysłowe i poprzemysłowe,
- lotniska,
- bazy wojskowe,
- torowiska, bocznic kolejowe¹.

¹J. Surygała, E. Śliwka, *Charakterystyka produktów naftowych w aspekcie oddziaływań środowiskowych*, „Chemia i Inżynieria Ekologiczna” 1999, nr 6, 131–145, .

Z uwagi na dużą skalę problemu szczególne miejsce zajmują tutaj bazy wojskowe byłej armii radzieckiej, które rozmieszczone były w zachodniej i północno-zachodniej części Polski na powierzchni około 70 tys. ha. Na tych obszarach przeprowadzono szczegółowe badania, które wykazały, że główną uciążliwością jest zanieczyszczenie gruntu i wód podziemnych produktami naftowymi².

Likwidacja następstw skażenia środowiska produktami ropopochodnymi jest dość skomplikowanym problemem, obejmującym zagadnienia związane z procesami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi. Wyrazem dużej świadomości tego problemu są liczne prace naukowe, a także organizowane konferencje i sympozja poświęcone zagadnieniom rekultywacji terenów zdegradowanych. Na uwagę zasługują monografie Kołwzan³, Płazy⁴, a także Maliny⁵, które są poświęcone metodom likwidacji zagrożenia środowiska gruntowo-wodnego ze strony produktów naftowych.

Zagadnienia wpływu zanieczyszczeń ropopochodnych na geologiczno-inżynierskie własności gruntów były wielokrotnie poruszane. W większości prac autorzy analizowali zmiany własności gruntów nasyconych w warunkach laboratoryjnych substancjami ropopochodnymi. Natomiast w niniejszej pracy określono wielkości i kierunki zmian własności fizycznych gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi w odniesieniu do gruntów nie zanieczyszczonych – „czystych” i gruntów po zakończonej remediacji.

Geologiczno-inżynierska analiza własności gruntów skażonych produktami ropopochodnymi wymaga traktowania ich jako ośrodka czterofazowego, w przeciwieństwie do naturalnego podłoża gruntowego traktowanego jako klasyczny ośrodek trójfazowy.

Grunty nasycone substancjami ropopochodnymi wykazują istotne zmiany parametrów geotechnicznych, dlatego też powinny one być uwzględniane przy analizowaniu stateczności podłoża oraz obiektów budowlanych już istniejących lub projektowanych na podłożu zanieczyszczonym.

Bioremediacja i metody bioremediacyjne

Procesy oczyszczania środowiska gruntowo-wodnego spotkały się z zainteresowaniem dopiero w ostatniej dekadzie XX wieku, gdy zaczęto zwracać uwagę na stale postępujące zanieczyszczenie związane przede wszystkim z substancjami organicznymi, w tym ropopochodnymi⁶.

Obecnie brane są pod uwagę następujące grupy metod oczyszczania: metody fizyczne, chemiczne i fizykochemiczne, metody termiczne oraz biologiczne. Udział poszczególnych metod

² Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, *Identyfikacja i wycena szkód ekologicznych spowodowanych przez stacjonujące wojska Federacji Rosyjskiej. Raport końcowy*, Elwoj-Trio, Warszawa 1994.

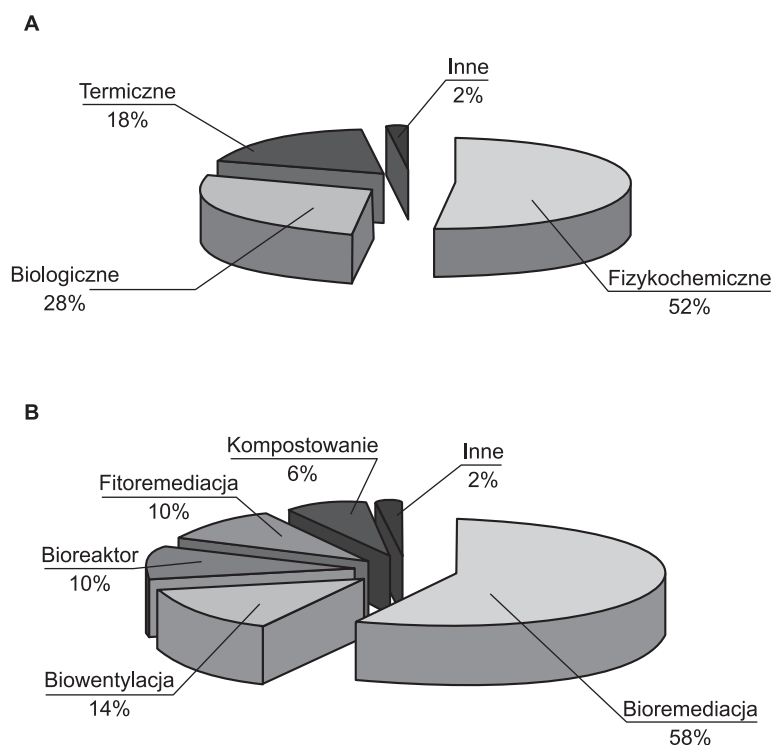
³ B. Kołwzan, *Bioremediacja gleb skażonych produktami naftowymi wraz z oceną ekotoksykologiczną*, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Seria: Monografie 44, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.

⁴ G. A. Płaza, *Bioremediacja gruntów zanieczyszczonych związkami ropopochodnymi z terenu rafinerii metodą biopryzm*, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Seria: Monografie 47, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.

⁵ G. Malina, *Likwidacja zagrożenia środowiska gruntowo-wodnego na terenach zanieczyszczonych*, Seria: Monografie 132, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.

⁶ *Ibidem*.

w oczyszczaniu środowiska gruntowo-wodnego jest różny, przy czym 52% stanowią metody fizykochemiczne (rys. 1A). Fizyczne metody rekultywacji obejmują zarówno proste metody inżynierskie, jak i skomplikowane metody procesowe⁷.



Rys.1. Procentowy udział poszczególnych technologii w oczyszczaniu środowiska gruntowo-wodnego

Źródło: P.T. Kostecki, E.J. Calabrese, *Hydrocarbon contaminated soils and groundwater. Analysis, Fate, Environmental and Public Health Effects. Remediation*, Lewis Pub., Inc., Boca Raton 1991; I.M. Head, I. Singleton, M.G. Milner, *Bioremediation. A critical review*, „Horizon Scientific Press”, Wymondham 2003.

Biologiczne metody rekultywacji obejmują następujące grupy metod: metody bioremediacyjne, które stanowią 58% wszystkich metod biologicznych, fitoremediacyjne, kompostowanie, bioreaktory, filtry biologiczne (rys. 1B). Biologiczne metody oczyszczania środowiska gruntowo-wodnego nie zaburzają struktury naturalnej środowiska oraz bezpośrednio po przeprowadzeniu procesu oczyszczania grunt nadaje się praktycznie do użytku. Jest to technologia bezodpadowa.

Bioremediacja obecnie oferuje większą efektywność ekonomiczną i jest bardziej przyjazna środowisku niż inne metody oczyszczania. Jest metodą polecaną do szerokiego stosowania w walce z coraz bardziej powszechnym problemem skażenia wód i gruntów związkami ropo-

⁷ B. Gworek, *Technologie rekultywacji gleb*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2004.

pochodnymi. Jest to technologia korzystająca ze zdolności mikroorganizmów do rozkładu i transformacji zanieczyszczeń organicznych do związków mniej toksycznych lub substancji prostych CO₂ i wody⁸. Technologia ta ma przede wszystkim na celu przywrócenie środowiska do stanu nie stwarzającego zagrożenia dla otoczenia naturalnego, a także dla samego człowieka.

Bioremediacja nie jest technologią, którą można zastosować do każdego rodzaju zanieczyszczeń. Jak każda metoda, posiada ona pewne ograniczenia, są to: rodzaj skażeń, w stosunku do których można tę metodę zastosować, warunki panujące w miejscu, które należy poddać oczyszczeniu, oraz czas, w którym zanieczyszczenie powinno zostać usunięte. Szczególnie ważne jest również przeprowadzenie wstępnych badań laboratoryjnych, których wyniki będą podstawą do podjęcia decyzji co do szczegółowych rozwiązań bioremediacji.

Badania te, oprócz określenia rodzaju i struktury substancji chemicznych powodujących skażenie, powinny również umożliwić zdefiniowanie zależności szybkości procesu bioremediacji od takich parametrów jak: temperatura, pH, obecność tlenu, substancji biogennych oraz wilgotność gruntu. W tabeli 1 zestawiono podstawowe czynniki środowiska mające istotny wpływ na przebieg biodegradacji, a tym samym na efektywność tego procesu. Dzięki znajomości tych parametrów możliwe jest podejmowanie decyzji co do wyboru odpowiedniego rodzaju mikroorganizmów zastosowanych w procesie oczyszczania, rodzaju zastosowanych pożywek, jak i odpowiedniego napowietrzania.

Tabela 1. Czynniki środowiskowe wpływające na efektywność biodegradacji

| Parametry | Warunki wymagane dla wzrostu i aktywności mikroorganizmów | Optymalne warunki biodegradacji |
|---------------------|---|---------------------------------|
| Wilgotność względna | 25–28% | 30–90% |
| pH | 5,5–8,8 | 6,5–8,0 |
| Tlen | min. zawartości w porach 10% | 10–40% |
| Substancje odżywcze | N i P | C:N:P = 100:10:1 |
| Temperatura °C | 15–45 | 20–30 |
| Zanieczyszczenia | nietoksyczne | węglowodory: 5–10% s.m.g.* |
| Metale ciężkie | całkowite stężenie – 2000 ppm | 700 ppm |
| Rodzaje gleby | gleba lekka lub ił | — |

* s.m.g. – sucha masa gruntu

Źródło: M. Vidali, *Bioremediation*, An overview. Pure Appl. Chem., 2001, 73, 1163–1172.

Należy nadmienić, że bioremediacja jest technologią bezkonkurencyjną w porównaniu z tradycyjnymi metodami oczyszczania gruntu, szczególnie w przypadku gdy mamy do czynienia z dużymi obszarami skażonego gruntu, gdzie zastosowanie technik związanych z przemieszczaniem gruntu jest niemożliwe ze względu na skalę zjawiska. Jako przykład potencjalnego zastosowania bioremediacji można wymienić tereny skażone substancjami ropopochodnymi, na których przez długie lata stacjonowały wojska radzieckie, powodując swoją działalnością znaczną degradację środowiska gruntowo-wodnego.

⁸ *Encyclopedia of Environmental Microbiology*, 2002.

Metodyka badań

Zmiany niektórych własności fizycznych gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi określono na podstawie próbek gruntów pobranych z obszaru planowanego kompleksu rehabilitacyjno-sportowego przy ul. Pancерnej w Legnicy, na którym w trakcie wykonywania dokumentacji geotechnicznej stwierdzono zanieczyszczenia gruntów substancjami ropopochodnymi o stężeniu przekraczającym dopuszczalne wartości dla gruntów grupy „B”, do której zakwalifikowano powyższy kompleks⁹.

Na terenie tym występują głównie grunty sypkie i mało spójne, reprezentowane przez piaski, żwiry, piaski gliniaste, pospółki gliniaste i pyły. Dla gruntów tych oznaczono wybrane własności fizyczne – skład granulometryczny, wilgotność naturalną, wilgotność optymalną, gęstość objętościową, współczynnik filtracji i ścisłość. Własności te badano dla gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi oraz dla tych samych rodzajów gruntów po zakończonej bioremediacji. Dodatkowo z badanego obszaru pobrano grunty o zbliżonym składzie granulometrycznym, gdzie nie stwierdzono zanieczyszczenia substancjami ropopochodnymi w celu wykonania tych samych badań i porównania ich z wynikami uzyskanymi dla gruntów wyżej wymienionych.

W niniejszej pracy skoncentrowano się głównie na wynikach badań uzyskanych dla pospółek gliniastych z uwagi na to, iż miąższość tych osadów na przeważającej części obszaru jest dwu-, a nawet trzykrotnie większa niż pozostałych gruntów.

Wszystkie badania wykonano wg metodyki opisanej przez E. Myślińską¹⁰, zgodnie z obowiązującymi w Polsce normami. Klasyfikację gruntów nieskalistych mineralnych wykonano na podstawie normy PN-86/02480. Oznaczenie wilgotności gruntu polegało na wysuszeniu próbek do stałej masy w temperaturze $105^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ i określeniu procentowej straty masy próbki w stosunku do fazy stałej. Oznaczenie gęstości objętościowej gruntu obejmowało określenie masy gruntu i jego objętości. Gęstość tę wyznaczono metodą pierścienia tnącego, która jest metodą najprostszą, najszybszą i – co najważniejsze – dokładną.

W trakcie badania wilgotności optymalnej gruntu określono ilość wody, jakiej należy użyć podczas zagęszczenia gruntu, aby uzyskał on największe zagęszczenie, a więc uzyskał maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego. Badania tego typu wykonuje się przede wszystkim przy zagęszczeniu gruntów pod nawierzchnie drogowe czy inne obiekty budowlane¹¹.

Badanie ścisłości gruntu polegało na zmniejszeniu objętości badanego gruntu pod wpływem przyłożonego obciążenia, czyli na zmniejszeniu się objętości jego porów wskutek wzajemnego przesunięcia się cząstek gruntu względem siebie i zmniejszenia się odległości między cząsteczkami przez zmniejszenie się grubości błonek wody zagęszczonej w punktach ich kontaktu¹². Wielkość ścisłości gruntów zależy od składu granulometrycznego gruntu, składu mineralnego – zwłaszcza frakcji ilowej (wzrost zawartości tej frakcji powoduje wzrost

⁹ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi, Dz.U. 02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.

¹⁰ E. Myślińska, *Laboratoryjne badania gruntów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.

¹¹ *Ibidem*.

¹² A. Wiłun, *Zarys geotechniki*, wyd. 3, WKiŁ, Warszawa, 1987.

ściśliwości), porowatości, wilgotności, składu kompleksu wymiennego (obecność jonów o niskiej wartościowości wpływa na wzrost ściśliwości) oraz składu chemicznego i stopnia mineralizacji wody porowej, a także tekstury gruntu. W gruntach o niskiej przepuszczalności, takich jak grunty spoiste, osiadanie jest znacznie wolniejsze niż w gruntach sypkich, a proces osiadania kończy się prawie bezpośrednio po ich obciążeniu. Przy zmniejszeniu obciążenia grunt zwiększa swoją objętość, nie odzyskując przy tym swojej pierwotnej objętości. Badanie ściśliwości przeprowadzono w edometrze, oznaczając moduł ściśliwości pierwotnej w zakresie obciążenia $0 \div 0,4$ MPa.

Współczynnik filtracji określono jako zdolność gruntu do przepuszczania wody przy istnieniu różnicy ciśnień wody. Współczynnik ten zależy przede wszystkim od uziarnienia badanego gruntu, jego porowatości, składu mineralnego i temperatury wody. Czynnikiem powodującym przepływ wody w warunkach naturalnych są siły grawitacji ziemskiej, dążące do wyrównywania różnic poziomów wody. Do wykonania tego badania posłużył nam aparat typu ITB-ZWK2. Badanie to wykonano na próbkach gruntów o naruszonej strukturze, uprzednio wysuszonych.

Natomiast proces bioremediacji polegał na aplikacji do gruntu atestowanego biopreparatu sporządzonego na bazie autochtonicznych organizmów rozkładających związki węglowodorów na $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Do oczyszczania zastosowano biopreparat BK-2 i BK-3 posiadający atest wydany przez Państwowy Zakład Higieny. Został on sporządzony przez Zakład Biologii i Ekologii Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, a następnie przekazany firmie prowadzącej prace remedacyjne.

Oczyszczanie gruntu prowadzone było do momentu uzyskania poziomu nieprzekraczającego dopuszczalne stężenie dla gruntów grupy B¹³, tj. w przypadku wykorzystania ich do celów pozarolniczych:

- benzyn 5 mg/kg s.m.,
- olejów mineralnych 200 mg/kg s.m.

Wyniki badań

Punktem wyjściowym przedstawionych wyników badań są własności fizyczne gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi, następnie do nich odniesione zostały własności gruntów po zakończonej bioremediacji i gruntów, które nie były zanieczyszczone.

Badania prowadzone były na gruntach o nienaruszonej strukturze i na gruntach o naruszonej strukturze. Przedstawione wyniki są średnią 3–5 oznaczeń.

W gruntach skażonych *in-situ* uzyskane wyniki badań wskazują na niewielkie zmiany w rozkładzie uziarnienia. Jest to wynik na granicy błędu. Dlatego badanie składu granulometrycznego w tym przypadku posłużyło jako wskaźnik identyfikacji tych gruntów. Jak wynika z literatury, ewentualne zmiany mogą zachodzić w procentowej zawartości frakcji ilowej ze względu na charakter oddziaływania pomiędzy cząstkami minerałów ilastych a związkami ropopochodnymi¹⁴.

¹³ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. ...

¹⁴ D. Izdebska-Mucha, *Wpływ benzyny i oleju napędowego na właściwości deformacyjne monomineralnych ilów wzorcowych oraz gruntów spoistych*, praca doktorska, archiwum Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2003.

W badanych próbkach udział frakcji ilowej wynosił kilka procent (tabela 2), w związku z tym zmiany zachodzące w tej frakcji mieszczą się w granicach błędu. W wyniku długotrwałego oddziaływania substancji ropopochodnych na grunty zauważalny jest wzrost gęstości objętościowej (ρ) z 1,75 do 1,96 Mg/m³ oraz wzrost gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (ρ_d) z 1,690 do 1,817 Mg/m³, obliczonych na podstawie pomierzonych wartości wilgotności naturalnej i gęstości objętościowej gruntu.

Zagęszczalność gruntów oceniana była na podstawie badań w aparacie Proctora. Wyznaczana była wilgotność optymalna, przy której grunt uzyskuje maksymalną wartość gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (ρ_{dmax}).

Tabela 2. Zestawienie wyników badań własności fizycznych pospółek gliniastych

| Parametry | Grunt zanieczyszczony | Grunt czysty | Grunt po bioremediacji |
|---|-----------------------|-----------------------|---|
| Zawartość f_k+f_z [%] | 22,8 | 25,92 | 23,4–29,04 |
| Zawartość f_p [%] | 68,3 | 53,44 | 55,86–61,68 |
| Zawartość f_{π} [%] | 9,62 | 16,98 | 10,04–20,74 |
| Zawartość f_i [%] | 5,25 | 3,66 | 4,38–6,86 |
| Wilgotność naturalna (w_n) [%] | 4,16–4,25 | 3,41–3,51 | 4,29–7,52 |
| Gęstość objętościowa (ρ) Mg/m ³ | 1,96 | 1,75 | 1,81 |
| Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego (ρ_d) Mg/m ³ | 1,817 | 1,690–1,692 | 1,774 |
| Wilgotność optymalna (w_{opt}) [%] | 3,4 | 6,3 | 5,2–6,6 |
| Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_{dmax} [g/cm ³] | 2,386 | 2,223 | 2,203–2,283 |
| Wodoprzepuszczalność k_{10} [m/s] | $6,829 \cdot 10^{-4}$ | $5,190 \cdot 10^{-5}$ | $1,433 \cdot 10^{-4}$ – $4,835 \cdot 10^{-4}$ |
| Edometryczny moduł ścisłości pierwotnej M_0 (kPa) | 30 200 | 35 672,2 | 32 500 |

f_k+f_z – frakcja kamienista i żwirowa; f_p – frakcja piaskowa; f_{π} – frakcja pyłowa; f_i – frakcja ilowa

Ocena zagęszczalności gruntów jest istotna dla wykorzystania ich jako nasypy lub do wymiany gruntów słabonośnych.

Badane grunty zanieczyszczone uzyskują najwyższe wartości ρ_{dmax} w porównaniu do gruntów czystych i po zakończonej bioremediacji, przy najniższej wartości wilgotności optymalnej (tabela 2).

Uzyskane wyniki pomiarów współczynnika filtracji wskazują, że w badanych pospółkach gliniastych woda najlepiej będzie się przemieszczać w gruntach zanieczyszczonych, natomiast w gruntach czystych i oczyszczonych współczynnik filtracji (k) zmniejsza się o jeden rząd wartości (tabela 2). Nie jest to zgodne z danymi z literatury¹⁵. Wielkość badań dowodzi, że substancje ropopochodne wolniej przemieszczają się w środowisku gruntowym niż woda¹⁶. Należy zauwa-

¹⁵ D. Izdebska-Mucha, *op. cit.*

¹⁶ D. E. Fereman, D. E. Daniel, *Permeation of compacted clay with organic chemicals*, „Journal of Geotechnical Engineering ASCE” 1986, vol. 112, no. 7; D. Izdebska-Mucha, *op. cit.*

żyć, że badania te były prowadzone na czystych minerałach ilastych, natomiast w przedstawionej pracy badany jest grunt polimineralny o kilkuprocentowej zawartości frakcji ilowej.

Z przeprowadzonych badań również widać, że zanieczyszczenie gruntu substancjami ropopochodnymi spowodowało zwiększenie ich ściśliwości. Wynika to z faktu, że obecne w gruntach substancje ropopochodne o niskiej stałej dielektrycznej i słabej rozpuszczalności w wodzie zmieniają rozkład sił międzycząsteczkowych w gruncie, dając efekt „poślizgu”, umożliwiając łatwiejsze przemieszczanie się ziaren, cząstek i przyjmowanie przez nie bardziej stabilnego położenia. Wokół ziarn i cząstek gruntu tworzą się otoczki z oleju, które są przyczyną zmian oporu tarcia przy wzajemnych przemieszczeniach¹⁷.

Przeanalizowanie uzyskanych wyników badań wskazuje, że proces bioremediacji jest efektywną metodą rewitalizacji środowiska, zarówno pod względem ekologicznym, ekonomicznym, jak i geotechnicznym. Natomiast wyniki badań gruntów oczyszczonych są porównywalne z wynikami gruntów nie zanieczyszczonych – „czystych”.

Zakończenie

Wpływ substancji ropopochodnych na własności fizyczne gruntów jest coraz częściej analizowany w literaturze polskiej i zagranicznej. Powszechność występowania i użytkowania ropy naftowej oraz produktów jej przetwarzania prowadzi do coraz większego zanieczyszczenia środowiska paliwami czy olejami. Zanieczyszczone grunty mogą działać jako wtórne, długotrwałe ogniska zanieczyszczenia, zarówno gruntów, jak i wód podziemnych.

Dlatego też istniejąca wiedza z różnych dyscyplin naukowych wykorzystywana jest do opracowania technologii oczyszczania środowiska wodno-gruntowego, w tym m.in. bioremediacji. Bioremediacja jest procesem naturalnym i przyjaznym dla środowiska. Podczas tego procesu następuje rozkład wielu substancji szkodliwych do produktów nietoksycznych, a więc problem składowania i oczyszczania materiału zanieczyszczonego jest wyeliminowany.

W niniejszej pracy przedstawiono wpływ bioremediacji na własności gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi. Wyniki badań laboratoryjnych dowodzą, że obecność związków ropopochodnych w badanych próbkach gruntu powoduje:

- wzrost ich gęstości objętościowej,
- wzrost przepuszczalności,
- zwiększenie ściśliwości.

Natomiast własności gruntów oczyszczonych po zakończonej bioremediacji „poprawiają się” i zbliżają do wartości stwierdzonych w gruntach czystych. Grunty po bioremediacji mogą zostać ponownie wykorzystane do rekultywacji powierzchni w strefie C – urbanistyczno-sozologicznej¹⁸, budowy nasypów komunikacyjnych, zabudowy ziemnej zbiorników paliwowych, a także do izolowania odpadów na składowiskach.

W celu potwierdzenia słuszności stosowania procesu bioremediacji gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi, planowana jest kontynuacja badań, oraz wykonanie badań modelowych celem stwierdzenia, czy własności gruntów oczyszczonych poprawiają się, osiągając wartości zbliżone do gruntów nie zanieczyszczonych.

¹⁷ E. Korzeniowska-Rejner, *Wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na charakterystykę geotechniczną gruntów stanowiących podłoże budowlane*, „Inżynieria Morska i Geotechnika” 2001, nr 2.

¹⁸ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. ...

Prezentowane w pracy badania były finansowane przez Państwową Wyższą Szkołę Zawodową w Legnicy (grant wewnętrzny: 2006; 2007).

Literatura

- Encyclopedia of Environmental Microbiology*, 2002.
- Fereman D.E., Daniel D.E., *Permeation of compacted clay with organic chemicals*. Journal of Geotechnical Engineering ASCE vol.112, no. 7, 1986.
- Główny Inspektorat Ochrony środowiska, *Identyfikacja i wycena szkód ekologicznych spowodowanych przez stacjonujące wojska Federacji Rosyjskiej. Raport końcowy*, Elwoj-Trio, Warszawa 1994.
- Gworek B., *Technologie rekultywacji gleb*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2004.
- Head I.M., Singleton I., Milner M.G., *Bioremediation. A critical review*, „Horizon Scientific Press”, Wymondham 2003.
- Izdebska-Mucha D., *Wpływ benzyny i oleju napędowego na właściwości deformacyjne monomineralnych ilów wzorcowych oraz gruntów spoistych*, praca doktorska, archiwum Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2003.
- Kołwzan B., *Bioremediacja gleb skażonych produktami naftowymi wraz z oceną ekotoksykologiczną*, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Seria: Monografie 44, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
- Korzeniowska-Rejner E., *Wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na charakterystykę geotechniczną gruntów stanowiących podłoże budowlane*, „Inżynieria Morska i Geotechnika” 2001, nr 2.
- Kostecki P.T., Calabrese E.J., *Hydrocarbon contaminated soils and groundwater. Analysis, Fate, Environmental and Public Health Effects. Remediation*, Lewis Pub., Inc., Boca Raton 1991.
- Malina G., *Likwidacja zagrożenia środowiska gruntowo-wodnego na terenach zanieczyszczonych*, Seria: Monografie 132, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
- Myślińska E., *Laboratoryjne badania gruntów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001.
- Płaza G.A., *Bioremediacja gruntów zanieczyszczonych związkami ropopochodnymi z terenu rafinerii metodą biopryzm*, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Seria: Monografie 47, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
- Surygała J., Śliwka E., *Charakterystyka produktów naftowych w aspekcie oddziaływań środowiskowych*, „Chemia i Inżynieria Ekologiczna” 1999, nr 6, 131–145, .
- Vidali M., *Bioremediation, An overview*. Pure Appl. Chem. 2001, 73, 1163–1172, .
- Wiłun A., *Zarys geotechniki*, wyd. 3, WKiŁ, Warszawa, 1987.

Normy i rozporządzenia

Polska Norma (PN-86/02480). Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi, Dz. U. 02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.

ABSTRACT

**Influence of bioremediation
on physical properties of oil-polluted soils from Legnica**

This research paper includes the results which were a base to define an influence of oil pollution and bioremediation on geological-engineering properties of soils.

Presented results prove that the difference in physico-chemical characteristics of oil substances results from unfavourable changes in geological-engineering parameters of the ground soil. However, technology of bioremediation causes a drop of concentration oil pollution in the soil to a safe level which effects in the renewal of the water-ground environment. Laboratory tests show that the range of changes depends on the soil type and the pollution level. Contaminated area should be then carefully examined when evaluated in the aspect of land development.