

PRZEGLĄD METOD REMEDIACJI I PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE BIOREMEDIACJI W LIKWIDACJI ZANIECZYSZCZEŃ WĘGLOWODORAMI

Agnieszka Wolniewicz^{1,2*}, Józef Czechowski¹, Tomasz Kaliszewski¹, Roman Marecik²

¹ PROTE Technologie dla Środowiska Sp. z o.o., ul. Dziadoszańska 10, 61-248 Poznań

² Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań

* Autor do korespondencji: a.wolniewicz@prote.pl

STRESZCZENIE

Ze względu na powszechność i dostępność substancji ropopochodnych, stanowią one najczęstszą przyczynę zanieczyszczeń środowiska gruntowo-wodnego. Do usuwania zanieczyszczeń węglowodorami wykorzystuje się zarówno metody fizyczne, chemiczne oraz biologiczne. Porównując powyższe metody, to metody biologiczne są obecnie najczęściej stosowanymi w likwidacji węglowodorów zanieczyszczających środowisko gruntowo-wodne, zarówno w procesach remediacji metodą *in-situ*, tj. w miejscu występowania zanieczyszczenia jak również w remediacji *ex-situ* – polegającej na usunięciu zanieczyszczonej ziemi z miejsca skażenia i dalej przetwarzania w procesie odzysku. Metoda biologiczna powiązana z metodami fizycznymi została zastosowana do likwidacji zanieczyszczenia terenu przemysłowego zanieczyszczonego wskutek niewłaściwej gospodarki olejami w trakcie jego funkcjonowania oraz po zakończeniu działalności przemysłowej na przedmiotowym terenie. Do biologicznego oczyszczania gleby i ziemi zastosowano biopreparat oparty na bazie mikroorganizmów autochtonicznych. W trakcie realizacji procesu oczyszczania monitorowano spadek zawartości węglowodorów i skuteczność zastosowanego biopreparatu.

Słowa kluczowe: remediacja, substancje ropopochodne, bioaugmentacja, bioremediacja

REVIEW OF REMEDIATION METHODS AND PRACTICAL APPLICATION OF BIOREMEDIATION IN THE ELIMINATION OF HYDROCARBON CONTAMINATION

ABSTRACT

Due to the widespread availability of petroleum derivatives, they are the most common cause of soil and water pollution. Physical, chemical and biological methods are used to remove hydrocarbon pollution. Comparing the abovementioned methods, it can be stated that the biological ones are currently the most commonly used in the liquidation of hydrocarbons contaminating the soil and water environment, not only in the *in-situ* remediation process (in the place of contamination), but also in *ex-situ* remediation (the removal of contaminated soil from the site contamination and further processing in the recovery process). The biological method associated with physical methods was used to eliminate pollution of post-industrial land contaminated due to unsuitable oil management both during its existence and after the end of industrial activity in the area. For the soil and earth remediation, biopreparation based on indigenous microorganism was used. During the remediation process, the decrease in the hydrocarbon content and the effectiveness of the biopreparation used was observed.

Keywords: remediation, oil derivatives substances, bioaugmentation, bioremediation

WSTĘP

Substancje ropopochodne stanowią obecnie jedno z najczęstszych źródeł zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego. Do zanieczyszczenia gruntu i wód dochodzi m.in.

w wyniku prowadzonej działalności gospodarczej, awarii w trakcie dystrybucji i transportu paliw, zarówno z wykorzystaniem rurociągów przemysłowych, transportu kolejowego czy drogowego [Chemlal et al. 2013, Guarino et al. 2017, Manli et al. 2017].

W przypadku zanieczyszczenia gruntu konieczność jego usunięcia reguluje Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska (POŚ) oraz Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (ustawa szkodowa).

Dla historycznego zanieczyszczenia powierzchni ziemi, przez które rozumie się zanieczyszczenie powierzchni ziemi, które zaistniało przed dniem 30 kwietnia 2007 r. lub wynika z działalności, która została zakończona przed dniem 30 kwietnia 2007 r. jak również – szkodę w środowisku w powierzchni ziemi w rozumieniu art.6 pkt 11 lit. c ustawy z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie, która została spowodowana przez emisję lub zdarzenie, od którego upłynęło więcej niż 30 lat opieramy się na zapisach ustawy Prawo Ochrony Środowiska. W przypadku, kiedy do zanieczyszczenia w powierzchni ziemi doszło po 30 kwietnia 2007 r. proces remediacji jest przeprowadzany zgodnie z regulacjami zawartymi w ustawie szkodowej, tj. ustawie z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie.

Obecnie proces usuwania zanieczyszczenia zarówno w przypadku historycznych zanieczyszczeń powierzchni ziemi jak i szkód w powierzchni ziemi określany jest jako remediacja, przez którą rozumiemy zgodnie z art. 101q. ustawy POŚ usunięcie zanieczyszczenia, przynajmniej do dopuszczalnej zawartości w glebie i w ziemi substancji powodujących ryzyko lub inne, prowadzące do usunięcia znaczącego zagrożenia dla zdrowia ludzi i stanu środowiska, z uwzględnieniem obecnego i, o ile jest to możliwe, planowanego sposobu użytkowania terenu, takie jak zmniejszenie ilości zanieczyszczeń, lub ograniczenie możliwości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń i kontrolowanie zanieczyszczenia poprzez okresowe prowadzenie badań zanieczyszczenia gleby i ziemi w określonym czasie, lub przeprowadzenie samooczyszczania powierzchni ziemi.

Ze szczegółowymi wymaganiami w zakresie remediacji można zapoznać się analizując bezpośrednio zapisy ustawy i stosownych do nich delegacji lub też korzystając z różnych serwisów w zakresie ochrony środowiska czy dostępnej literatury i publikacji, jak np. w publikacji [Wiśniewska, Pusz 2017].

Istnieje wiele metod prowadzenia remediacji środowiska zanieczyszczonego zarówno związkami organicznymi jak i nieorganicznymi.

Wśród metod remediacji gruntów można wyróżnić następujące metody: fizyczno-chemiczne, biologiczne i termiczne, zestalania i stabilizacji [Adamski 1993].

Dodatkowo metody te można podzielić na metody *ex-situ* i *in-situ*. Metoda *in-situ* - oznacza prowadzenie procesu remediacji w miejscu występowania zanieczyszczenia, bez konieczności przemieszczania gruntu. Metoda *ex-situ* - oznacza wymianę skażonego gruntu i dalsze zagospodarowanie powstałego odpadu poza terenem jego wytworzenia [Chowdhury et al. 2012].

W takim przypadku postępowanie z wytworzonymi w trakcie remediacji *ex-situ* opadami i spoczywające na wytwórcy odpadów obowiązki zostały zawarte w Ustawie z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach i stosownych rozporządzeniach do przedmiotowej ustawy. Należy również dodać, iż w przypadku gruntu zanieczyszczonego substancjami ropopochodnymi ustawodawca dopuścił możliwość prowadzenia procesu odzysku poza instalacjami i urządzeniami, a warunki jego prowadzenia czyli odzysk odpadu o kodzie ex 17 05 03* – gleba i ziemia zawierająca substancje ropopochodne w procesie R5 jako odzysk wydobytej gleby i ziemi polegający na usunięciu z niej substancji ropopochodnych zostały zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. 2015 poz. 796).

Dla wyżej wskazanych metod remediacji *in-situ* i *ex-situ* można zastosować dalszy podział jak poniżej:

1) metoda *in-situ*:

- metody biologiczne (bioremediacja, fitoremediacja),
- metody fizyczne (ekstrakcja parowa/napowietrzanie, wspomagana termicznie ekstrakcja parowa z gleby, stosowanie barier, elektroremediacja),
- metody chemiczne (przemywanie gleby, stabilizacja/immobilizacja).

2) metoda *ex-situ*:

- metody biologiczne (bioremediacja, kompostowanie, bioreaktory/landfarming).
- metody fizyczne (spalanie, desorpcja termiczna, ekstrakcja parowa z gleby, zautomatyzowana segregacja gleby),
- metody chemiczne (dehalogenacja, stabilizacja/zestalanie, ekstrakcja rozpuszczalnikowa, chemiczne i fotochemiczne utlenianie / redukcja) [Chowdhury et al. 2012].

Powyższe metody mogą być wobec siebie komplementarne i stosowane łącznie lub wybiórczo, w zależności od zanieczyszczenia, indywidualnych możliwości technicznych jakie mogą być zastosowane na danym obszarze, preferencji podmiotu zobowiązanego do przeprowadzenia remediacji i innych czynników mających bezpośredni lub pośredni wpływ na wybór metody remediacji [Szczepaniak et al. 2016].

Przy wyborze sposobu prowadzenia remediacji zanieczyszczonego gruntu najczęściej uwagę poświęca się metodom biologicznym, gdyż są one przyjazne naturze, skuteczne i tanie [Nano et al. 2013, Cappello et al. 2015, Haghollahi 2016, Szulc et al. 2014, Marecik et al. 2015]. Metody te polegają na przyspieszeniu i optymalizacji naturalnych procesów rozkładu mikrobiologicznego zachodzących w środowisku. Podstawową rolę w procesach bioremediacji odgrywają mikroorganizmy zdolne do wykorzystywania zanieczyszczeń w charakterze źródła węgla i energii. W procesie bioremediacji wykorzystuje się mikroorganizmy mające zdolność metabolicznego rozkładu niebezpiecznych substancji w mniej toksyczne lub nietoksyczne związki [Chowdhury et al. 2012].

Bioremediacja zanieczyszczonego środowiska gruntowego zanieczyszczonego związkami organicznymi i nieorganicznymi może być prowadzona przy pomocy metod *ex-situ* i *in-situ*. W praktyce często zdarza się, że metody te są ze sobą łączone i komplementarne. Sporządzając projekt planu remediacji czy projekt działań naprawczych przy wyborze metody lub metod przeprowadzenia prac remediacyjnych należy brać pod

uwagę m.in. aspekty ekonomiczne, środowiskowe i czasowe. W tabeli 1 zestawiono porównanie metod remediacji *in-situ* i *ex-situ*.

Wybór metody i sposobu remediacji zależy od wielu czynników i jest on każdorazowo dobierany dla danego terenu poddawanego remediacji. Istotnym jest też dla każdej realizacji procesu remediacji posiadanie wykwalifikowanej i doświadczonej kadry, która dokonuje stosownej analizy w tym zakresie.

SPOSÓB I PRZEBIEG PROCESU REMEDIACJI

Obecnie w Polsce odpowiednim doświadczeniem w zakresie prowadzenia procesu remediacji może pochwalić się kilka firm. Do jednej z nich niewątpliwie należy PROTE Technologie dla Środowiska z Poznania. PROTE od ponad 20 lat specjalizuje się m.in. w likwidacji zanieczyszczeń naftowych w środowisku gruntowo-wodnym. Na przestrzeni swojej działalności przeprowadziła z powodzeniem kilkaset projektów poczynając od oceny stanu zanieczyszczenia środowiska, likwidacji katastrof ekologicznych, po rekultywację terenów małych stacji benzynowych czy transformatorowych oraz kompleksowe przygotowanie terenów pod planowane inwestycje. Realizowane przez firmę projekty w zakresie usuwania różnego rodzaju zanieczyszczeń węglowodorami prowadzone są przede wszystkim z wykorzystaniem metod biologicznych i to zarówno w procesie *in-situ* jak i *ex-situ*.

Tabela 1. Zalety i wady metod remediacji

Table 1. Advantages and disadvantages of remediation methods

IN-SITU	
Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> ✓ prowadzenie prac na funkcjonujących obiektach, ✓ niezależność technologii od stopnia skomplikowania zabudowy terenu, ✓ rozłożenie proporcjonalnie do przyjętego kalendarza prac obciążenia finansowego, ✓ minimalizacja ilości powstających odpadów lub też ich całkowity brak, ✓ brak kosztów związanych z wydobyciem, transportem i zagospodarowaniem odpadów. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ wydłużony czas prowadzenia prac i tym samym uzyskania zakładanego efektu ekologicznego.
EX-SITU	
Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> ✓ czas prowadzonych prac - zanieczyszczenie jest usuwane w krótkim czasie, ✓ intensywność prowadzonych prac. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ czasowe wyłączenie terenu z eksploatacji, ✓ nakłady finansowe związane z wydobyciem, transportem oraz zagospodarowaniem odpadów ✓ ograniczone zastosowanie w pewnych warunkach zagospodarowania terenu np. obecności infrastruktury podziemnej, bliskość budynków itp.

Spośród zrealizowanych projektów kompleksowej rekultywacji/remediacji terenów przemysłowych na szczególną uwagę zasługuje zrealizowany przez PROTE projekt rekultywacji terenu byłej nasycalni podkładów kolejowych. Teren zanieczyszczony olejem krezotowym został poddany rekultywacji z wykorzystaniem kilku metod i sposobów m.in. metody fizycznej i biologicznej, jak również metod *in-situ* oraz *ex-situ on-site*. W trakcie badań stanu zanieczyszczenia powyższego terenu mając na uwadze rodzaj substancji zanieczyszczającej stwierdzono zanieczyszczenie w głównej mierze wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA), węglowodorami aromatycznymi (BTEX) oraz fenolami i krezolami. Przedmiotowy teren przemysłowy byłej nasycalni podkładów o łącznej powierzchni ok. 16 ha stanowił obszar silnie zdegradowany, o zaburzonej powierzchni przez liczne ślady różnych prac rozbiórkowych i ziemnych w postaci hałd ziemno-gruzowych oraz bruzd i wykopów po zlikwidowanych instalacjach podziemnych. Rozpoznanie budowy geologicznej przedmiotowego terenu sięgało do maksymalnej głębokości 12 m p.p.t. i obejmowało głównie osady czwartorzędowe, które reprezentowane były przede wszystkim przez piaski kwarcowe drobne, średnie i gruboziarniste, tudzież żwirki. Powierzchnia terenu ze względu na silną presję antropogeniczną ulegała nieustannym przekształceniom, stąd w wielu miejscach udokumentowano również nasypy niekontrolowane o miąższości dochodzącej nawet do 3 m p.p.t., zbudowane z mieszaniny piasku, gleby, gruzu ceglanego i betonowego oraz szlaki. Zwierciadło wód podziemnych, o charakterze swobodnym, zalegało na głębokości 3–6 m p.p.t. Zgodnie z założeniami projektowymi mając na uwadze rodzaj, poziom i powierzchnię zanieczyszczenia, rekultywacja przedmiotowego terenu polegała na zastosowaniu bioremediacji metodą *in-situ* w miejscach o niskim stopniu zanieczyszczenia – w obrębie poletek remediacyjnych, natomiast grunty silnie zanieczyszczone miały zostać w pierwszej kolejności wydobyte, a następnie poddane procesowi płukania, celem dalszego biologicznego oczyszczania na przyźnie technologicznej zlokalizowanej w obrębie prowadzonych prac. I tak, w pierwszej kolejności z terenu objętego rekultywacją usunięto zalegające na powierzchni odpady hałd ziemno - gruzowych. Przeprowadzono także rozbiórkę fundamentów, posadzek i piwnic budynków, hal produkcyjnych i pomieszczeń technologicznych, zwracając przy

tym szczególną uwagę na prawidłową selekcję powstających odpadów. Teren, na którym stworzono przyzmię bioremediacyjną przygotowano w taki sposób, aby otrzymać płaską powierzchnię, pozbawioną jakichkolwiek elementów, które mogłyby uszkodzić polietylenową geomembranę o dużej gęstości (PEHD), która cechuje się wyższą wytrzymałością mechaniczną oraz posiada wyższą temperaturę topnienia. Odporna jest również na działanie węglowodorów i ich chloropochodnych, roztworów kwasów, zasad i soli oraz niską temperaturę. Przyzma ta stopniowo była nadbudowywana podczyszczanymi w procesie płukania gruntami zyskując po drodze strefę rdzeniową z przekruszem zanieczyszczonym i rurami napowietrzającymi wewnątrz przyzmy.

Istotnym elementem prowadzonej rekultywacji, ze względu na charakter zanieczyszczenia i jego poziom, było płukanie gruntu (*soil-washing*), określone również jako pranie gruntu, gdyż zastosowano m.in. środki powierzchniowo czynne. Ważną częścią procesu płukania było użycie specjalistycznych łyżek przesiewających, które mogły także pracować w zanurzeniu. Dzięki specjalnym tarczom trącym zanieczyszczona olejem ziemia była przecierana i to głównie powodowało odrywanie się cząstek organicznych, hydrofobowych od powierzchni ziaren mineralnych. Te powierzchnie po zwilżeniu wodą stawały się już nieprzyczepne dla większości niepolarnych z natury związków organicznych.

Płukanie gruntu dla każdej partii gruntu prowadzono trzykrotnie w jednym cyklu. W zbiorniku podzielonym na trzy części w pierwszej płukano grunty w obecności naturalnych biosurfaktantów, w drugiej traktowano wstępnie podczyszczony grunt biodegradowalnym detergentem, zaś w trzeciej komorze wyłącznie przepłukiwano „wyprane” w poprzednich zbiornikach partie gruntu. Po zakończeniu cyklu technologicznego poddany procesowi płukania/prania grunt był deponowany na izolowanej 2 milimetrową folią PEHD płycie odciekowej, a następnie w zależności od stopnia „wyprania” był on deponowany na przyzmię bioremediacyjnej lub trafiał do wykopów powstałych w wyniku usuwania zanieczyszczonego gruntu. Woda odciekowa, systemem drenaży trafiała zwrótnie do zbiorników płuczających tym samym zapewniano zamknięty obieg wód technologicznych wykluczając ich emisję do środowiska bez oczyszczenia.

W trakcie procesu płukania prowadzone były badania jego skuteczności, które potwierdziły, iż

przyjęta technologia trzykrotnego płukania zanieczyszczonych gruntów z wykorzystaniem łyżki przesiewającej dawała pozytywne efekty w postaci ujednoczonego i homogenicznego materiału, przy znaczącym obniżeniu ilości substancji organicznych w gruntach, dodatkowo zapewniając równomierne spulchnianie i napowietrzanie gruntu, co sprzyjało dalszym zabiegom związanym z bioremediacją. Proces płukania z wykorzystaniem łyżki powodował spadek zanieczyszczeń do 95%, w zależności od rodzaju gruntu poddawanego procesowi płukania oraz bazowego poziomu zanieczyszczenia. Wyniki analiz laboratoryjnych próbek gruntów poddanych procesowi płukania/prania wykazywały ilości zanieczyszczeń poniżej lub oscylujących na granicy normy dopuszczalnej dla gruntów przemysłowych.

Zgodnie z założeniami projektu rekultywacji, grunty wykazujące niewielką koncentrację zanieczyszczeń oraz grunty po procesie płukania, które wcześniej charakteryzowały się wysokim stopniem zanieczyszczenia poddane zostały bioremediacji z zastosowaniem preparatu wyprodukowanego na bazie glebowych mikroorganizmów autochtonicznych, starannie wyselekcjonowanych z próbek gruntów pozyskanych z terenu objętego rekultywacją. Inokulum mikrobiologiczne opracowano i przygotowano w ilościach półtechnicznych w warunkach laboratoryjnych, następnie prowadzono pod nadzorem biotechnologicznym w warunkach polowych produkcję w zakresie wymaganych dla prowadzonej remediacji.

Równolegle też do prowadzonej bioremediacji kontrolowano skuteczność produkowanego preparatu poprzez prowadzenie doświadczenia polegającego na badaniu zmian stężenia WWA w gruntach przed płukaniem oraz poddanych płukaniu w funkcji czasu i potraktowanych wyprodukowanym biopreparatem, inicjując tym samym proces bioremediacji. Bioremediację prowadzono przez 50 tygodni. Na podstawie wyników analiz w obu przypadkach uzyskano spadek wartości badanych zanieczyszczeń w czasie, co jest o tyle istotne, że przygotowany na bazie mikroorganizmów autochtonicznych biopreparat, pozostawał równie skuteczny redukując zanieczyszczenia w próbce poddanej płukaniu czyli o zmniejszonej ekotoksyczności, jak i w próbce surowej, gdzie oprócz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych o wysokim stężeniu znajdowały się z pewnością inne węglowodory.

Bezpośrednio bioremediacji poddawane były grunty o niskim stopniu zanieczyszczenia na po-

letkach rekultywacyjnych oraz grunty deponowane na przymie technologicznej. Monitoring procesu rekultywacji prowadzony był w obrębie obszarów, które były w pierwszej kolejności pochodną rozpoznanych procesów technologicznych i przypadków rozpoznanego zanieczyszczenia, następnie zaś związane były z utworzonymi ostatecznie poletkami remediacyjnymi i powstałą przymą bioremediacyjną.

W wyniku przeprowadzonego procesu bioremediacji gleb i gruntów na terenie poletek uzyskano wymagane wartości stężeń dla terenów przemysłowych dla badanych substancji chemicznych, które przed rozpoczęciem rekultywacji kilkukrotnie przekraczały najwyższe dopuszczalne stężenia. Grunty zgromadzone na kwaterze bioremediacyjnej po zakończeniu prac charakteryzowały się jeszcze stosunkowo dużą koncentracją zanieczyszczeń, w szczególności w zakresie sumy WWA oraz zawartości antracenu i fluorantenu. Stan ten nie był zaskoczeniem, gdyż takie były również założenia przyjęte już na etapie projektowania procesu rekultywacji, gdzie zakładano, że dla słabiej upranego lub zdeponowanego na przymie technologicznej, tuż przed zakończeniem robót gruntu, proces bioremediacji będzie przebiegał wolniej.

Niemniej jednak w trakcie procesu biologicznej dekompozycji zanieczyszczeń gruntów zdeponowanych na przymie w prowadzonych punktach pomiarowych odnotowano spadki zanieczyszczenia sumy WWA rzędu ok. 47-92%. Efekty przeprowadzonej rekultywacji terenu były nasycalni podkładów kolejowych spotkały się z pozytywną opinią zleceniodawcy jak również organu nadzorującego proces rekultywacji.

PODSUMOWANIE

Bioremediacja jest najczęściej stosowaną metodą likwidacji zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi. Znajduje ona zastosowanie zarówno dla remediacji prowadzonej w miejscu występowania zanieczyszczenia, jak również dla oczyszczania gruntu na przymach remediacyjnych. W przypadku bioremediacji trudniej biodegradowalnych związków jakimi niewątpliwie są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne o wysokich stężeniach, w zależności jednak od rodzaju gruntu zastosowanie może znaleźć metoda fizycznego płukania/prania gruntów. Zastosowanie metody płukania/prania gruntów

pozwała na znaczne obniżenie pierwotnego stężenia węglowodorów, które w skrajnych wypadkach mogłyby oddziaływać toksycznie na mikroorganizmy i tym samym hamować proces bioremediacji.

Przeprowadzony proces rekultywacji terenu poprzemysłowego z zastosowaniem łączonych metod i sposobów rekultywacji pozwolił na uzyskanie oczekiwanego efektu ekologicznego, a tym samym na dalsze zagospodarowanie zdegradowanego i zanieczyszczonego wcześniej terenu.

BIBLIOGRAFIA

1. Adamski W. 1993. Nowoczesne technologie rekultywacji skażonych gleb. *Ochrona środowiska* 1-2/1993, 7-17.
2. Cappello S., Calogero R., Santisi S., Genovese M., Denaro R., Genovese L., Giuliano L., Mancini G, Yakimov MM. 2015. Bioremediation of oil polluted marine sediments: A bio-engineering treatment. *Int Microbiol.* 18 (2), 27-34.
3. Chemlal R., Abdi N., Lounici H., Drouiche N., Pauss A., Mameri N. 2013. Modeling and qualitative study of diesel biodegradation using biopile process in sandy soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 78, 43- 48.
4. Chowdhury S., Bala NN. and Dhauria P. 2012. Bioremediation – a natural way for cleaner environment. *International Journal of Pharmaceutical. Chemical and Biological Sciences*, 2(4), 600-611.
5. Czechowski J. 2016. Dokumentacja powykonawcza. *PROTE Technologie dla Środowiska*, Poznań.
6. Guarino C., Spada V., Sciarrillo R. 2017. Assessment of three approaches of bioremediation (Natural Attenuation, Landfarming and Bioaugmentation – Assisted Landfarming) for a petroleum hydrocarbons contaminated soil. *Chemosphere* 170, 10-16.
7. Haghollahi A., Fazelipour M.H., Schaffie M. 2016. The effect of soil type on the bioremediation of petroleum contaminated soils. *Journal of Environmental Management* 180, 197-201.
8. Manli W., Wei L., Warren A. D., Xiqiong Y., Kaili C., David K., Liming C. 2017. Bioremediation of hydrocarbon degradation in a petroleum contaminated soil and microbial population and activity determination. *Chemosphere* 169, 124-130.
9. Marecik, R., Chrzanowski, T., Piotrowska-Cyplik, A., Juzwa, W., Biegańska-Marecik, R. 2015. Rhizosphere as a tool to introduce a soil-isolated hydrocarbon-degrading bacterial consortium into a wetland environment. *International Biodeterioration and Biodegradation.* 97, 135-142.
10. Nano G., Borroni A., Rota R., 2003. Combined slurry and solid phase bioremediation of diesel contaminated soils. *Journal of Hazardous Material* 100, 79-94.
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. 2015 poz. 796).
12. Szczepaniak, Z., Czarny, J., Staninska-Pięta, J., Lisiecki, P., Zgoła-Grześkowiak, A., Cyplik, P., Chrzanowski, Ł., Wolko, Ł., Marecik, R., Juzwa, W., Glazar, K., Piotrowska-Cyplik, A. 2016. Influence of soil contamination with PAH on microbial community dynamics and expression level of genes responsible for biodegradation of PAH and production of rhamnolipids. *Environmental Science and Pollution Research.* 23(22), 23043-23056.
13. Szulc, A., Ambrożewicz, D., Sydow, M., Ławniczak, Ł., Piotrowska-Cyplik, A., Marecik, R., Chrzanowski, Ł. 2014. The influence of bioaugmentation and biosurfactant addition on bioremediation efficiency of diesel-oil contaminated soil: Feasibility during field studies. *Journal of Environmental Management.* 132, 121-128.
14. Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska (Dz.U. 2018 poz. 799).
15. Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (Dz.U. 2018 poz. 954).
16. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2018 poz. 992).
17. Wiśniewska M., Pusz A. 2017. Postępowanie z zanieczyszczonymi terenami przemysłowymi w aspekcie nowych przepisów prawnych – część I. Historyczne zanieczyszczenie powierzchni ziemi. *Inżynieria Ekologiczna*, 18 (1), 227–23.