

## Planowanie badań środowiskowych w kontekście doboru technologii remediacji

Ewa Iwanicka<sup>1</sup>, Weronika Grzybowska<sup>1</sup>, Marcin Biliniak<sup>1</sup>, Karolina Konopka<sup>1</sup>, Artur Golba<sup>1</sup>,  
Krystian Wysocki<sup>1</sup>, Kamil Gubała<sup>1</sup>



E. Iwanicka



W. Grzybowska



M. Biliniak



K. Konopka



A. Golba



K. Wysocki



K. Gubała

**Planning Environmental Investigation in the Context of Selecting Remediation Technologies.** *Prz. Geol.*, 72: 846–849; doi: 10.7306/2024.74

*Abstract.* Modern challenges related to environmental pollution require precise planning of environmental investigation, which form the foundation for selecting appropriate remediation technologies. This article discusses the key stages of planning environmental investigation, modern research technologies, and the importance of an integrated approach in the process of selecting remediation technologies, including their application in various contamination contexts. The planning of environmental investigation is a crucial element in the remediation technology planning process. Precisely defining research objectives, selecting appropriate research methods, obtaining representative samples, and conducting thorough analysis are fundamental to effective environmental pollution management. The efficient combination of these actions allows for the selection of the most appropriate remediation technologies, contributing to the improvement of environmental conditions. Analyzing the rationale and necessity of these studies, it becomes clear that they are highly desirable. Properly conducted environmental studies not only meet regulatory requirements but also provide critical information necessary for the effective management of the remediation process. Without accurate data on the type, extent, and location of contaminants, as well as the effectiveness of the remediation methods applied, it would be impossible to achieve satisfactory environmental outcomes. Thus, these studies constitute the most important baseline data, which, when used correctly, are a valuable source of information about the accuracy of the remediation process. They allow for the selection of appropriate parameters used during the process, help to model and influence the correctness of the adopted assumptions, and should be considered an essential requirement for achieving the intended effect.

**Keywords:** remediation, sozological investigation, stabilization, venting, bioremediation, MIHPT, OIHPT

Wiek XX, określany jako najkrótsze stulecie, był okresem kluczowym i przełomowym w kontekście uprzemysłowienia. Postęp technologiczny, obserwowany zarówno w Polsce, jak i na świecie, stanowił nie tylko szansę na zwiększenie innowacyjności w wielu aspektach życia, ale stał się również źródłem wielu współczesnych problemów ekologicznych. Przykładem, przedstawiającym konsekwencję silnej industrializacji i brak dbałości o stan otoczenia naturalnego, w tym niedopuszczalne zaniechanie działań w zakresie ochrony środowiska, są cieszące się dziś złą sławą tereny poprzemysłowe, silnie zdegradowane i zanieczyszczone, określane niegdyś jako wielkie Zakłady Chemiczne Zachem w Bydgoszczy. Próba rozwiązania istniejących problemów ekologicznych ma być nowo wprowadzona specustawa. Wskazano w niej pięć wielkoobszarowych terenów zdegradowanych w kraju (co do których niezbędne jest podjęcie działań związanych z poprawą środowiska), gdzie oprócz już wspomnianych zakładów w Bydgoszczy, znalazły się także tereny zakładów w Zgierzu, Tomaszowie Mazowieckim, Jaworznie i Tarnowskich Górach (Ustawa, 2023). Warto wspomnieć, że skala problemów ekologicznych nie ogranicza się tylko do wyżej wymienionych miejsc i jest znacznie większa, niż się powszechnie przy-

puszcza (Draniewicz, 2023). Postępowanie z takimi terenami określają zapisy rozporządzenia, w którym przedstawiono konieczne warunki do wykonania badań środowiskowych, w myśl obowiązującego ustawodawstwa. Następnym zdefiniowania negatywnego stanu środowiska, tożsamesego z niedopuszczalnym występowaniem stężeń wybranych pierwiastków chemicznych (Rozporządzenie, 2016) jest *poddanie gleby, ziemi i wód gruntowych działaniom mającym na celu usunięcie lub zmniejszenie ilości substancji powodujących ryzyko, ich kontrolowanie oraz ograniczenie rozprzestrzeniania się, tak aby teren zanieczyszczony przestał stwarzać zagrożenie dla zdrowia ludzi lub stanu środowiska, z uwzględnieniem obecnego i, o ile jest to możliwe, planowanego w przyszłości sposobu użytkowania terenu*, czyli przeprowadzenie remediacji (Ustawa, 2004). Powyższe działania jednoznacznie sugerują, że w przypadku określenia przesłanek świadczących o terenie potencjalnie zanieczyszczonym zasadnym będzie – wykonanie badań, zaś w przypadku stwierdzenia zanieczyszczeń w środowisku – dobór i wykonanie prac remediacyjnych. Remediacja może polegać nie tylko na metodach usunięcia zanieczyszczeń, ale również (po spełnieniu określonych warunków) na zmniejszeniu ilości zanieczysz-

<sup>1</sup> REMEA Sp. z o.o., ul. Bonifraterska 17, 00-203 Warszawa; [eiwanicka@rema.pl](mailto:eiwanicka@rema.pl), ORCID ID: 0009-0001-6458-8400; [wgrzybowska@rema.pl](mailto:wgrzybowska@rema.pl); [mbiliniak@rema.pl](mailto:mbiliniak@rema.pl); [kkonopka@rema.pl](mailto:kkonopka@rema.pl); [agolba@rema.pl](mailto:agolba@rema.pl); [kwysocki@rema.pl](mailto:kwysocki@rema.pl); [kgubala@rema.pl](mailto:kgubala@rema.pl)

czeń, ograniczeniu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń bądź kontrolowanym samooczyszczaniu (Ustawa, 2004). Respektując regulacje tej ustawy, w projektowaniu remediacji należy uwzględnić aktualne i docelowe warunki badanego terenu, więc, za zasadne uznaje się podjęcie próby dostosowania prac remediacyjnych, już od momentu stwierdzenia potencjalnych zanieczyszczeń.

Badania gruntu są kluczowym etapem w procesie oceny zanieczyszczenia i planowania sposobu remediacji. Tradycyjne metody badawcze, takie jak pobieranie próbek i ich analiza laboratoryjna, są podstawą rozpoznania rodzaju i zakresu zanieczyszczeń. W celu uzyskania bardziej szczegółowych i czasowo efektywnych wyników, coraz częściej stosuje się nowoczesne techniki *in situ*. Pierwszym etapem w planowaniu badań środowiskowych jest precyzyjne określenie celów badania. Zamierzenia te mogą obejmować identyfikację rodzaju i źródła zanieczyszczenia, co wiąże się z określeniem występowania substancji zanieczyszczających i ich pochodzenia. Ważne jest dokonanie oceny skali i zasięgu zanieczyszczenia. Kolejnym krokiem jest określenie potencjalnych dróg migracji zanieczyszczeń, co pozwala zrozumieć, w jaki sposób zanieczyszczenia mogą przemieszczać się przez strukturę gruntu, wodę i powietrze. Niezwykle istotna jest także ocena ryzyka dla zdrowia ludzi i środowiska, która polega na analizie, w jaki sposób zanieczyszczenia mogą wpływać na zdrowie ludzi, zwierząt i roślin.

Badania zanieczyszczeń obejmują identyfikację i ocenę obecności szkodliwych substancji w środowisku gruntowo-wodnym. Dobór odpowiednich metod badawczych jest kluczowy dla uzyskania wiarygodnych i reprezentatywnych danych. W zależności od rodzaju zanieczyszczenia, mogą być stosowane różne techniki badań. Tradycyjne metody polegają na pobieraniu próbek i przekazywaniu ich do laboratoriów, gdzie przeprowadza się szczegółowe analizy chemiczne. W Polsce, zgodnie z rozporządzeniem (2016), badania te powinny być realizowane w dwóch etapach: od badań ogólnych (wstępnych) do badań szczegółowych, jeśli wykryte zostaną zanieczyszczenia. Badania chemiczne są nieodłącznym elementem oceny stanu zanieczyszczenia środowiska. Analizy chemiczne próbek gleby, wody i powietrza pozwalają na wykrycie i ilościowe określenie substancji zanieczyszczających. Dzięki nim można dokładnie określić rodzaj i stężenie toksycznych związków (Rozporządzenie, 2016), co jest kluczowe dla zaplanowania skutecznych działań remediacyjnych. Nowoczesne techniki badań gruntu, takie jak: MIHPT (*Membrane Interface Probe Hydraulic Profiling Tool*), OIHPT (*Optical Interface Probe Hydraulic Profiling Tool*) czy *direct push* są nowatorskimi rozwiązaniami w procesie oceny zanieczyszczeń. Sonda MIHPT to urządzenie, które służy do wykrywania lotnych związków organicznych w gruncie (ryc.1). Dzięki niej można szybko i dokładnie mapować zanieczyszczenia na różnych głębokościach, co pozwala na lepsze zrozumienie rozkładu zanieczyszczeń na danym terenie. Sonda OIHPT jest wykorzystywana do identyfikacji i oceny zanieczyszczeń ropopochodnych w gruncie (ryc. 2). Sonda ta umożliwia

szybkie i precyzyjne wykrywanie obecności substancji ropopochodnych, co jest niezwykle istotne w przypadku terenów przemysłowych, gdzie zanieczyszczenia ropopochodne są bardzo powszechne i mogą stanowić poważne zagrożenie dla środowiska oraz zdrowia ludzkiego. Technologia *direct push* (ryc. 3) polega na bezpośrednim wprowadzaniu sondy do gruntu, w celu pobierania materiału do badań lub przeprowadzania pomiarów *in situ*. Metoda ta jest szybka i minimalnie inwazyjna, co pozwala na efektywne przeprowadzenie badań. Planowanie badań środowiskowych w kontekście doboru technologii remediacji wymaga zrozumienia i zastosowania odpowiednich metod oceny zanieczyszczeń gruntu. Dzięki wymienionym technikom badawczym możliwe staje się szybkie i efektywne identyfikowanie i ocenianie zanieczyszczeń. Integracja tych technik z tradycyjnymi metodami badawczymi pozwala na kompleksowe podejście do problemu zanieczyszczenia gruntów.

W trakcie samego procesu remediacji regularne badania środowiskowe są niezbędne do monitorowania postępów i skuteczności zastosowanych metod (Wolniewicz i in., 2018). Dzięki temu możliwe jest wprowadzanie na bieżąco korekt w strategii remediacji, co optymalizuje cały proces



Ryc. 1. Sondowania środowiskowe sondą MIHPT (Remea Sp. z o.o.)

Fig. 1. Environmental soundings using the MIHPT probe (Remea Sp. z o.o.)



Ryc. 2. Sonda do badań środowiskowych OIHPT (Remea Sp. z o.o.)

Fig. 2. Environmental investigation probe OIHPT (Remea Sp. z o.o.)



Ryc. 3. Liner z pobraną próbką gruntu w technologii direct push (Remea Sp. z o.o.)

Fig. 3. Liner with a soil sample taken using direct push technology (Remea Sp. z o.o.)

i zwiększa jego efektywność. Monitorowanie pozwala również na szybkie reagowanie na nieoczekiwane zmiany w rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń lub w warunkach środowiskowych. Po zakończeniu działań remediacyjnych badania środowiskowe stanowią potwierdzenie prawidłowości wykonanych prac. Końcowe badania stanowią również dokumentację potwierdzającą spełnienie wymagań prawnych i ekologicznych. Samo sformułowanie badań jest pojęciem niezwykle szerokim i złożonym i dotyczy nie tylko oceny stanu środowiska, ale stanowi również narzędzie do efektywnego i właściwego zarządzania procesem remediacji. Innowacyjne badania mogą dotyczyć próby optymalizacji i realnego odzwierciedlenia wskaźnika stężenia pierwiastków chemicznych w gruncie, wspomóc technicznie proces remediacji (wskazując skuteczność czynników w odniesieniu do poszczególnych składowych i całości procesu) i co najważniejsze, być źródłem oszczędności w prognozowanych kosztach (Traczyński, 2023). Każdorazowo powinny być analizowane w odniesieniu do danych warunków geologicznych, hydrogeologicznych oraz ogólnych, które panują w zanieczyszczonym środowisku.

Innowacyjne podejście do omawianego zagadnienia i postępową identyfikację stanu jakości środowiska pozwalają na określenie kierunku strategii remediacji. Zarówno tematyka związana z możliwościami badawczymi, jak i samymi metodami remediacyjnymi stanowią zagadnienia relatywnie nowe, ciągle rozwijane i udoskonalane. W niniejszym artykule zawarto przykłady wybranych technik remediacyjnych, które różnią się nie tylko podejściem metodycznym, ale przede wszystkim miejscem, w których są prowadzone opisywane działania.

W przypadku technologii *ex situ*, która polega na kontrolowanym usunięciu zanieczyszczonego gruntu do projektowanej głębokości (Hańderek, 2021), badania pozwalają wytypować lokalizację i wskazać koncentrację miejsc zanieczyszczonych. Jest to istotne w kontekście szacowania kubatury zanieczyszczonych mas ziemnych. Podmioty podejmujące przedsięwzięcia inwestycyjne powinny projektować działania w taki sposób, aby maksymalnie zapobiegać wytwarzaniu odpadów (Smol i in., 2019), co jest osiągalne przy zagęszczeniu miejsc poboru próbek w siatce badawczej. Większa liczba punktów badawczych przekłada się na zwiększoną liczbę danych charakteryzujących stężenia zanieczyszczeń w pobranych próbkach gruntu, z uwzględnie-

niem różnych interwałów głębokości. Zagęszczenie siatki badawczej odpowiada więc weryfikacji poprawności i zwiększeniu dokładności przy klasyfikacji powstającego odpadu. W metodzie remediacji *ex situ* odpady stanowią bowiem nieodłączny produkt uboczny prac (Janiszewska, 2021), a ich ilość i przyjęta klasyfikacja stanowią składową końcowego wyniku finansowego inwestycji. W przypadku odpadów klasyfikowanych jako niebezpieczne (17 05 03\*, tj. gleba i ziemia, w tym kamienie, zawierające substancje niebezpieczne, np. PCB [Rozporządzenie, 2014]), koszt unieszkodliwienia jest znacząco wyższy, niż dla odpadów klasyfikowanych jako inne niż niebezpieczne (17 05 04 tj. gleba i ziemia, w tym kamienie, inne niż wymienione w 17 05 03 [Rozporządzenie, 2014]).

Klasyfikacji odpadów dokonuje się zgodnie obowiązującym ustawodawstwem (Ustawa, 2012), przy czym działanie może odbywać już na wstępnym etapie projektowanych prac, kiedy to, uwzględniając właściwości i charakterystykę powstających odpadów, przyporządkowuje się im odpowiednią grupę oraz podgrupę, a także w trakcie właściwych robót, kiedy to, z wykorzystaniem specjalistycznych urządzeń (np. detektorów lotnych związków organicznych czy spektrofotometrów), monitorowana jest zawartość niewielkiej ilości wydobytej próbki. Działania kontrolne pozwalają więc ograniczać ilość odpadów niebezpiecznych, odzwierciedlając ich rzeczywistą kubaturę na podstawie rzeczywistych pomiarów, a sam proces zapewnia dodatkowo bezpieczeństwo pracownikom, automatycznie sygnalizując sytuację potencjalnie niebezpieczną. Z chwilą całkowitego usunięcia zanieczyszczonego gruntu, niezbędna jest weryfikacja poprawności przyjętych założeń projektowych. Pobierane są więc próbki końcowe, które pozwalają potwierdzić osiągnięcie zamierzonego efektu ekologicznego.

W przypadku technik bioremediacji, w których do oczyszczania środowiska gruntowo-wodnego wykonuje się zraszanie bądź zatłaczanie zanieczyszczonego gruntu preparatami mikrobiologicznymi, wspomaga się naturalnie zachodzące reakcje chemiczne (Waraczewska i in., 2018), a prowadzone badania odgrywają istotną rolę już od chwili wyboru preparatu. W zależności od zdefiniowanego problemu, dopuszcza się zastosowanie preparatu komercyjnego, zawierającego określone szczepy mikroorganizmów, lub też zaleca się opracowanie biopreparatu autoktonicznego, który będzie przeznaczony do konkretnego środowiska (Supel i in., 2013). Całość prac bioremediacyjnych powinna być poprzedzona testami, w których ocenia się skuteczność dobranego preparatu w warunkach laboratoryjnych. Podczas prac właściwych, bioremediację należy monitorować w trakcie, oceniając nie tylko pożądane spadki zanieczyszczeń, ale również określając i kontrolując przydatność bioremediacji, parametry biostymulacji, potencjał biodegradacyjny, zawartość biogenów, liczebność i aktywność enzymatyczną bakterii, mikrobiomy glebowe (Tabernačka, 2014), pH czy potencjał redox gleby. Prowadzenie badań w trakcie procesu ma więc istotny wpływ na prawidłowy i skuteczny przebieg procesu bioremediacji.

Venting, będący pomocniczą technologią remediacji, polega na ekstrakcji powietrza z gruntu (Halmemies i in., 2003) za pomocą jednostki centralnej, wyposażonej w adsorbent. Dobór parametrów projektowanego systemu do odsysania zanieczyszczonego powietrza gruntowego jest realizowany na podstawie właściwości podłoża oraz charakterystyki substancji zanieczyszczających (Janiszewska i in., 2017). Technika ma na celu zmniejszenie toksyczności

stwierdzonych substancji poprzez stworzenie kontrolowanego przemieszczania powietrza, sterowanego za pomocą systemu składającego się z rur i pomp. Venting wymaga prowadzenia stałego monitoringu jakości powietrza (na wejściu i wyjściu z instalacji), pomiarów natężenia, wilgotności, co gwarantuje kontrolę nad prawidłowym przebiegiem ekstrakcji i wskazuje ewentualną konieczność korygowania dobranych założeń.

Zasada działania metody *pump and treat* jest analogiczna do procesu ventingu (z różnicą polegającą na wypompowaniu zanieczyszczonej wody i późniejszym wtłaczaniu oczyszczonego już płynnego medium z powrotem do osrodka gruntowego). Przed budową instalacji właściwej, zasadne jest przeprowadzenie badań pilotażowych, pozwalających na zaprojektowanie instalacji i wskazanie jej optymalnych parametrów, a także określenie czasu potrzebnego do osiągnięcia zamierzonego efektu (Russell Boulding, 1996). Proces wymaga ciągłego monitorowania przebiegu, a stosowane systemy pozwalają zbierać dane pomiarowe, wizualizować zachodzące zmiany, a także szybko reagować, w przypadku wystąpienia sytuacji krytycznych.

Z kolei w procesie stabilizacji, który stanowi fizykochemiczny sposób zmniejszania mobilności substancji niebezpiecznych w podłożu gruntowo-wodnym (Sherwood i in., 2001), mechanicznie przekształca się związki zanieczyszczające w formy mniej rozpuszczalne, immobilizowane i nietoksyczne dla środowiska. Dzieje się tak za sprawą spoiwa hydraulicznego, którego dobór zależy od rodzaju i stężenia zanieczyszczeń w osrodku. Wypadkową procesów chemicznych, zachodzących między iniektem a zanieczyszczeniem w gruncie, jest powstanie bryły o niskim współczynniku filtracji, której właściwości zapobiegają wymywaniu się substancji niebezpiecznych (Iwanicka i in., 2020). Prace badawcze w procesie stabilizacji dotyczą działań w laboratorium i obejmują poszukiwanie zestawu mieszanek, której właściwości pozwolą na zmniejszenie wymywalności zanieczyszczonych mas i zagwarantują osiągnięcie oczekiwanej wytrzymałości związanych elementów w określonym czasie. Ponadto pozwalają na wykonywanie monitoringu w trakcie robót właściwych poprzez kontrolę parametrów formowania kolumn, od zagłębienia mieszadła po osiągnięcie projektowanej głębokości. Jakość procesu należy kontrolować, pobierając losowo wybraną bryłę i poddając ją serii badań – na ścisłanie oraz na wymywalność. Niezależnie od wyboru techniki remediacji, należy podkreślić, że badania mają jednoznaczny i znaczący wpływ na całość działań i decydują o jakości procesu oczyszczania środowiska.

W każdej technologii remediacji zarówno dla metod pozwalających na osiągnięcie zakładanego efektu ekologicznego w miejscu występowania zanieczyszczenia, jak i dla metod, w których doprowadza się stan środowiska do pożądanego stanu tj. „przenosząc problem w inne miejsce” – badania odgrywają istotną rolę przed, w trakcie oraz po zakończeniu procesu remediacji. Planowanie badań środowiskowych jest kluczowym elementem w procesie doboru technologii remediacji. Precyzyjne określenie celów badania, odpowiedni dobór metod badawczych, reprezentatywne próbki oraz dokładna analiza są fundamentem dla skutecznego zarządzania zanieczyszczeniami środowiskowymi. Efektywne połączenie tych działań pozwala na wybór najbardziej odpowiednich technologii remediacji, co przyczynia się do poprawy stanu środowiska i ochrony zdrowia publicznego. Analizując słuszność i potrzebę badań, jest

ona niezwykle pożądana. Prawidłowo przeprowadzone badania środowiskowe nie tylko spełniają wymogi regulacyjne, ale dostarczają także krytycznych informacji potrzebnych do efektywnego zarządzania procesem remediacji. Bez dokładnych danych dotyczących rodzaju, zakresu i lokalizacji zanieczyszczeń, jak również skuteczności zastosowanych metod remediacji, niemożliwe byłoby osiągnięcie zadowalających wyników ekologicznych. Badania stanowią więc najważniejsze dane wyjściowe, które – odpowiednio wykorzystywane – stają się źródłem cennych informacji na temat prawidłowości procesu remediacji. Pozwalają na dobór odpowiednich parametrów wykorzystywanych w trakcie procesu, modelują i wpływają na prawidłowość przyjętych założeń, a ich wykonanie należy traktować jako niezbędną konieczność do osiągnięcia zamierzonego efektu.

## LITERATURA

- DRANIEWICZ B. 2023 – Bomby ekologiczne (zanieczyszczenia powierzchni ziemi) – Węzłowe aspekty prawne. *Palestra*, 11: 71–88.
- HALMEMIES S., GRÖNDAHL S., ARFFMAM M., NENONEN K., TUHKANEN T. 2003 – Vacuum extraction based response equipment for recovery of fresh fuel spills from soil. *J. Hazardous Materials*, 97 (1–4): 127–143.
- HANDERER M. 2021 – Cele remediacji a rola akredytowanych laboratoriów – aspekty praktyczne. *Prawne Problemy Górnictwa i Ochrony Środowiska*, 1: 1–11; <https://doi.org/10.31212/PPGOS.2021.01.04>
- IWANICKA E., JANISZEWSKA S., KODA E. 2020 – remediacja i stabilizacja zanieczyszczonego podłoża pod istniejącymi budynkami – analiza przypadku. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 19 (1): 63–71.
- JANISZEWSKA S., 2021 – Strach przed powstającymi odpadami poremediacyjnymi. Teraz środowisko; <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Odpady-poremediacyjne-Remea-10655.html>
- JANISZEWSKA S., BIAŁOBRZESKI T., KRUSZYŃSKA E., CIEPIELA K. 2017 – Przegląd metod oczyszczania gruntów i wód gruntowych in situ. *Prz. Geol.*, 65, (10/2): 908–915.
- ROZPORZĄDZENIE, 2016 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi. *Dz.U.* 2016 poz. 1395.
- ROZPORZĄDZENIE, 2014 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów *Dz.U.* 2014 poz. 1923
- RUSSELL BOULDING J. 1996 – *Pump-and-Treat Ground-Water Remediation A Guide for Decision Makers and Practitioners*, Wyd. United States Environmental Protection Agency.
- SHERWOOD L.J., QUALLS R.G. 2001 – Stability of phosphorus within a wetland soil following ferric chloride treatment to control eutrophication. *Environ. Sc. Technol.*, 35 (20): 4126–4131.
- SMOŁ M., KULCZYCKA J., CZAPLIKA-KOTAS A., WŁÓKA D. 2019 – Zarządzanie i monitorowanie gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce w kontekście realizacji gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 108: 165–184.
- SUPEL P., PETRYSZAK P., KASZYCKI P. 2013 – Bioremediacja gleby zanieczyszczonej ksenobiotykami z wykorzystaniem autochtonicznych drobnoustrojów glebowych. 2. Przykłady i perspektywy zastosowań. *EPISTEME*, 1 (20): 201–218.
- TABERNACKA A. 2014 – Biologiczne oczyszczanie wód podziemnych z chlorowcopochodnych etenu. *Ochrona środowiska*, 36 (1): 9–13.
- TRACZYŃSKI K. 2023 – <https://www.geotest.pl/blog/optimalizacja-kosztow-remediacji-dzieki-badaniom-szczegolowym-ocena-zanieczyszczenia>.
- USTAWA, 2001 – Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. *Dz.U.* 2001 Nr 62 poz. 627 ze zm.
- USTAWA, 2012 – Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach. *Dz.U.* 2013 poz. 21 ze zm.
- USTAWA, 2023 – Ustawa z dnia 16 czerwca 2023 r. o wielkoobszarowych terenach zdegradowanych. *Dz.U.* 2023 poz. 1719 ze zm.
- WARACZEWSKA Z., NIEWIADOMSKA A., GRZYB A. 2018 – Wybrane metody bioremediacji in situ z wykorzystaniem mikroorganizmów. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 18, 3 (63): 65–78.
- WOLNIEWICZ A., CZĘCHOWSKI J., KALISZEWSKI T., MARECIK R. 2018 – Przegląd metod remediacji i praktyczne zastosowanie bioremediacji w likwidacji zanieczyszczeń węglowodorami. *Inżynieria Ekologiczna*, 19 (5): 47–52.

Praca wpłynęła do redakcji 28.08.2024 r.  
Akceptowano do druku 9.12.2024 r.