

AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA
W KRAKOWIE**

**PROJEKT PLANU REMEDIACJI SKŁADOWISKA ODPADÓW
PRZEMYSŁOWYCH „ZIELONA” NA TERENIE DAWNYCH
ZAKŁADÓW CHEMICZNYCH „ZACHEM” S.A.
W BYDGOSZCZY ORAZ REMEDIACJI ŚRODOWISKA
GRUNTOWO-WODNEGO W OBSZARZE ODDZIAŁYWANIA
SKŁADOWISKA
-ETAP I-**



**Wojewódzki Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej
w Toruniu**

Dofinansowano ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Toruniu

Kraków, luty 2017

Wykonawcy:

PROJEKTU PLANU REMEDIACJI SKŁADOWISKA
ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH „ZIELONA” NA TERENIE
DAWNYCH ZAKŁADÓW CHEMICZNYCH „ZACHEM” S.A.
W BYDGOSZCZY ORAZ REMEDIACJI ŚRODOWISKA
GRUNTOWO-WODNEGO W OBSZARZE
ODDZIAŁYWANIA SKŁADOWISKA
-ETAP I-



Kierownik projektu
dr inż. Mariusz Czop



dr inż. Dorota Pietrucin



Wykonano na zlecenie Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Bydgoszczy

Spis treści

1. Wprowadzenie	4
2. Technologiczne koncepcje remediacji obszaru	5
2.1. Wariant nr 1	5
2.2. Wariant nr 2	8
2.3. Wariant nr 3	11
2.4. Wariant nr 4	12
2.5. Prace dodatkowe	14
3. Harmonogram finansowo – czasowy wariantów remediacji	16
4. Kryteria wyboru i identyfikacja optymalnego sposobu remediacji	23
5. Podsumowanie i wnioski	26
Spis rysunków	28
Spis tabel	28
Spis załączników	28

1. Wprowadzenie

Podstawą formalno – prawną niniejszego opracowania, stanowiącego sprawozdanie z wykonania etapu nr I jest umowa nr 1/ZP/2017 o wykonanie projektu planu remediacji składowiska „Zielona” oraz obszaru jego oddziaływania, zawarta w dniu 10.01.2017 r. pomiędzy: Skarbem Państwa - Regionalną Dyрекcją Ochrony Środowiska w Bydgoszczy a Akademią Górniczo - Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Zgodnie z §2 ust. 2 w/w umowy etap I obejmuje:

- skompletowanie i weryfikację wyników badań i analiz, o których mowa w § 1 ust. 1 pkt 1 umowy, oraz
- opracowanie wariantowej koncepcji remediacji wraz z oszacowaniem całkowitych kosztów remediacji dla każdego z wariantów oraz zgodnie z postanowieniami § 1 ust.1 pkt 3 propozycją wariantu optymalnego.

Wykonawca niniejszej umowy – AGH, jest jednocześnie autorem opracowania pt. Kompleksowa ocena stanu zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego na terenie dawnych Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy wraz z określeniem wykazu działań koniecznych dla skutecznej remediacji z czerwca 2016 r., a co za tym idzie, zgodnie z § 1 ust. 1 pkt 1 umowy o wykonanie projektu planu remediacji składowiska „Zielona”, posiada odpowiednie zweryfikowane wyniki badań środowiska gruntowo-wodnego w obszarze oddziaływania składowiska, o których mowa w raportach i dokumentach wymienionych w tym opracowaniu. W ramach realizacji etapu I Wykonawca przekazuje Zamawiającemu bazę danych parametrów fizyko – chemicznych wód podziemnych w rejonie oddziaływania składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” za lata 2012 – 2015.

Najistotniejszą częścią sprawozdania z etapu I jest przedstawienie czterech wariantów technologicznych koncepcji remediacji obszaru badań. Zgodnie z §2 ust. 1 pkt. 3 umowy nr 1/ZP/2017 o wykonanie projektu planu remediacji składowiska „Zielona”, Wykonawcy (AGH) są zobowiązani do opracowania co najmniej trzech wariantów technologicznych koncepcji planu remediacji (przy czym co najmniej jeden z wariantów musi uwzględniać całkowite usunięcie lub skuteczne unieszkodliwienie źródła emisji zanieczyszczeń) oraz projektu planu remediacji dla wariantu najkorzystniejszego, zwanego dalej optymalnym, obejmującego składowisko odpadów przemysłowych „Zielona” wraz z obszarem jego oddziaływania na środowisko gruntowo-wodne.

Sprawozdanie z etapu nr I zostaje przedłożone przez wykonawców - AGH, zgodnie z §2 ust. 3 w/w umowy, Zamawiającemu - RDOŚ w Bydgoszczy oraz przedstawicielom Zamawiającego – Nadzorującym: dr hab. Małgorzacie Pruszkowskiej - Caceres oraz dr. hab. inż. Adamowi Postawie.

2. Technologiczne koncepcje remediacji obszaru

Opracowanie i zaprojektowanie optymalnego scenariusza remediacyjnego środowiska gruntowo – wodnego w obrębie chmury zanieczyszczeń związanych ze składowiskiem odpadów przemysłowych „Zielona, możliwe jest wyłącznie w oparciu o rzeczywiste zrozumienie procesu przenoszenia masy w strumieniu wód podziemnych oraz mechanizmów ogółu skomplikowanych procesów hydrogeochemicznych. Najistotniejsze znaczenie dla procedury projektowania skutecznej remediacji ma określenie celu środowiskowego podejmowanych prac. Najczęściej związany jest on oczyszczeniem środowiska do stanu akceptowalnego, gdyż osiągnięcie stanu naturalnego wymaga niewspółmiernie wysokich nakładów finansowych oraz dużego zaangażowania środków technicznych (Todd i in. 2005).

Projektowanie remediacji często obejmuje działania doraźne związane z ograniczaniem lub skutecznym powstrzymaniem rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Sytuacja taka ma miejsce w szczególności w sytuacji, gdy migrująca chmura zanieczyszczeń stwarza realne zagrożenie zanieczyszczenia ujęć wód podziemnych oraz może mieć wpływ na pogorszenie jakości wód powierzchniowych. Zasadnicza remediacja środowiska gruntowo-wodnego mająca na celu poprawę stanu środowiska związana jest z usuwaniem zanieczyszczeń z warstwy wodonośnej co docelowo prowadzi do zmniejszania się rozmiaru obszarów zanieczyszczonych. Remediacja w typowych warunkach wymaga zazwyczaj istotnych nakładów finansowych, rzędu dziesiątek czy setek milionów złotych oraz czasu rzędu kilku – kilkunastu lat.

W dalszej części opracowania przedstawiono 4 warianty technologicznych koncepcji remediacji obszaru badań. Zostały one zaproponowane dla skutecznego oczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego do stanu akceptowalnego, gdzie możliwe będzie wykorzystanie naturalnych procesów samooczyszczania środowiska wodnego (ang. monitored natural attenuation), z możliwością ich intensyfikacji poprzez procesy wspomagające (ang. enhanced monitored natural attenuation). Wszystkie alternatywne warianty remediacji zostały poddane szczegółowej ocenie w oparciu o specjalnie opracowaną metodykę, gdzie główne znaczenie mają: skuteczność likwidacji zagrożeń środowiska (tj. oczyszczenia środowiska) a ponadto nakłady finansowe konieczne do zaangażowania oraz czas remediacji.

2.1. Wariant nr 1

Wariant nr 1 koncepcji remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wraz z obszarem jego oddziaływania spełnia wymagania uwzględnienia całkowitego usunięcia źródła emisji zanieczyszczeń (zgodnie z §2 ust. 1 pkt. 3, umowy nr 1/ZP/2017).

W wariantcie tym bryła odpadów przemysłowych zdeponowanych na składowisku „Zielona”, na terenie dawnych Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy, która jest ciągle aktywnym ogniskiem zanieczyszczeń środowiska gruntowo – wodnego w założeniu ma zostać usunięta i skutecznie unieszkodliwiona. Rozważane są w tym kontekście metody termicznego unieszkodliwiania w odpowiednio przystosowanych instalacjach do spalania odpadów komunalnych i sanitarnych jak również w piecach cementowych. Usunięte i unieszkodliwione zostaną również

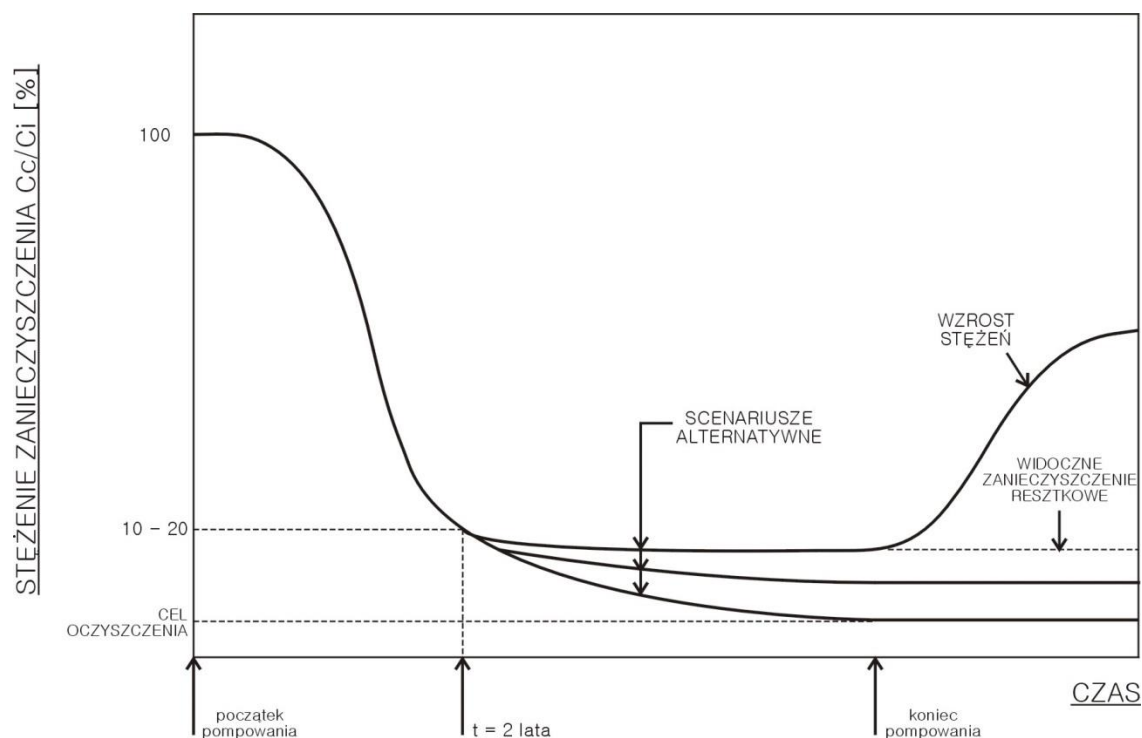
zanieczyszczone grunty zalegające poniżej bryły odpadów docelowo do głębokości około 3-3,5 m poniżej poziomu zwierciadła wód podziemnych.

Składowisko odpadów przemysłowych „Zielona” zajmuje powierzchnię około 11,3 ha z czego Izolowane Składowisko Odpadów (ISO) – około 4,3 ha zaś pozostały obszar – około 7 ha. Miąższość koniecznych do usunięcia odpadów i gruntów szacowana jest na około 7 m w obrębie ISO oraz około 10 m na pozostałym obszarze składowiska. Objętość koniecznych do usunięcia odpadów i zanieczyszczonych gruntów wynosi około 1001 tys. m³, z czego 662 tys. m³ zalega w strefie aeracji (tj. ponad poziomem zwierciadła wód podziemnych) natomiast 339 tys. m³ w warunkach zawodnienia (tj. w strefie poniżej zwierciadła wód podziemnych). Sumaryczna masa koniecznych do usunięcia odpadów i gruntów jest szacowana na astronomiczną wartość 2502,5 tys. ton. Ilość taka jest technicznie możliwa do przewiezienia do zakładu utylizacyjnego tylko transportem kolejowym.

Wyrobisko powstałe w miejscu wybranych odpadów i gruntów w kolejnym etapie remediacji będzie wypełniane materiałem obojętnym aż do jego wyrównania do poziomu oryginalnego terenu. Wymaga to wykorzystania około 1925 tys. ton naturalnych gruntów lub obojętnych materiałów odpadowych. Z uwagi na duże ilości mas ziemnych możliwe jest wypełnienie odkrywki tylko do poziomu około 1 m powyżej maksymalnego zalegania zwierciadła wód podziemnych. Ograniczy to ilość koniecznych do zastosowania materiałów wypełniających do poziomu 1237,5 tys. ton. Teren składowiska odpadów „Zielona” po zakończeniu wybierania odpadów oraz wypełniania materiałem obojętnym zostanie obsadzony roślinnością w celu przywrócenia mu dostępności i pełnych właściwości użytkowych.

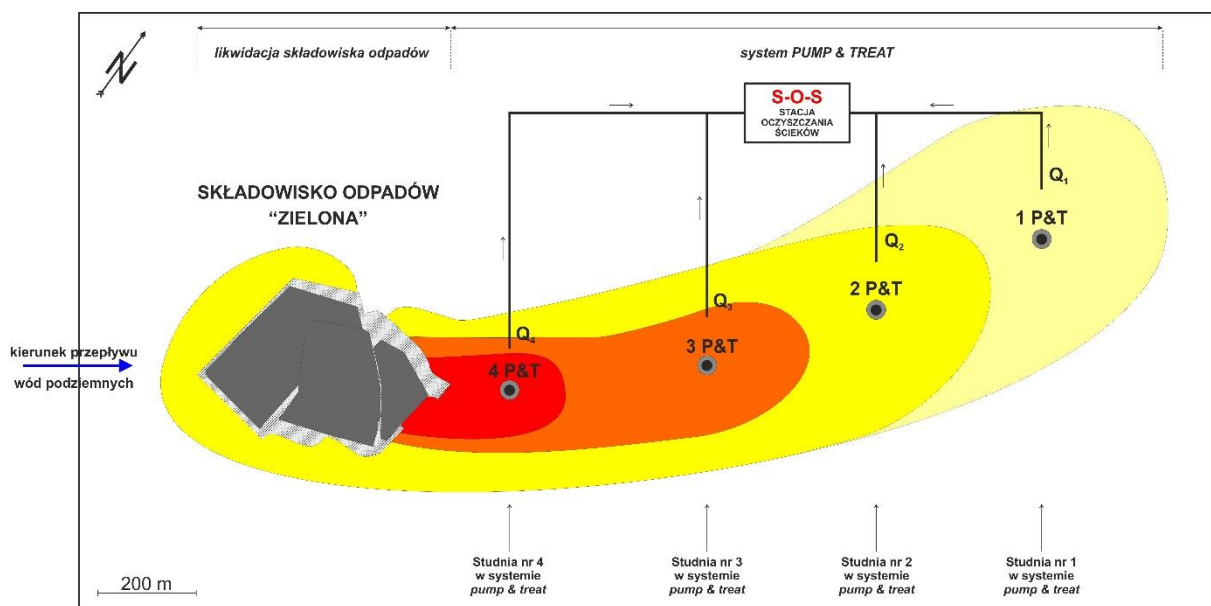
Rekomendowana do zastosowania dla potrzeb usunięcia chmury zanieczyszczeń propagujących się ze składowiska odpadów „Zielona” technika „pump-and-treat” (TP&T) polega na odpompowaniu zanieczyszczonej wody podziemnej, a następnie jej oczyszczeniu na powierzchni przed ponownym wtłoczeniem do warstwy wodonośnej, bądź zrzutem do odbiorników powierzchniowych. Metoda ta jest stosowana w sytuacji, gdy stężenia substancji zanieczyszczających są bardzo wysokie i ma na celu odpompowanie z górotworu głównej masy zanieczyszczeń. Jest odpowiednia dla chmur, które objęły znaczne powierzchnie warstwy wodonośnej (nawet ponad 10 km²), do głębokości ponad 100 m. Metoda pump-and-treat może być wykorzystana zarówno w celu zapobiegania pogorszenia stanu środowiska, ale przede wszystkim dla jego efektywnej poprawy. Żadna dostępna aktualnie technika nie jest tak wszechstronna i skuteczna (Holden i in. 1998). Jedną ze strategii użycia metody pump-and-treat jest oczyszczenie warstwy wodonośnej zgodnie z kierunkiem gradientu hydraulicznego (ang. downgradient aquifer restoration) oraz zatrzymanie propagacji chmury zanieczyszczeń (ang. plume cut-off) (NRC 1994, Cherry i in. 1992, Cohen i in. 1997).

Przykłady światowe (zebrane w Holden i in. 1998) wskazują, iż metoda pump-and-treat może prowadzić do skutecznej poprawy stanu środowiska gruntowo – wodnego tylko w warunkach likwidacji ogniska zanieczyszczenia. Jej samodzielne zastosowanie bez załatwienia problemu emisji zanieczyszczeń powoduje, że po wyłączeniu eksploatacji studni pompujących stężenie substancji zanieczyszczających ponownie rośnie, przy czym zazwyczaj do poziomu niższego niż obserwowane wartości początkowe (Rys. 1). Poziom jaki osiągają zanieczyszczenia jest tym niższy im większy jest ich ładunek usunięty ze środowiska.



Rys. 1. Typowy skutek metody pump-and-treat zanieczyszczonych wód podziemnych (Holden i in. 1998)

Legenda: C_c – aktualne stężenie zanieczyszczenia, C_i – stężenie początkowe zanieczyszczenia



Rys. 2. Schemat wariantu nr 1 technologicznej koncepcji remediacji obszaru

W świetle wykonanych i zweryfikowanych badań modelowych obszar zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego związany z oddziaływaniem składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” zajmuje powierzchnię około 100 ha (w tym 86,25 ha – chmura zanieczyszczeń + strefa buforowa). Przyjmując średnią miąższość warstwy wodonośnej na poziomie 7 m oraz współczynnik porowatości efektywnej $n_e = 0,25$, łączna objętość wód zanieczyszczonych w rejonie składowiska

odpadów „Zielona” wynosi 1,75 mln m³. Z kolei objętość zanieczyszczonych gruntów jest znacznie większa i wynosi do 7,0 mln m³.

Chmura zanieczyszczonych wód podziemnych związana ze składowiskiem odpadów przemysłowych „Zielona” zostanie w ramach planowanego wariantu I, odpompowana 4 zestawami studni głębinowych (po około 2-3 studnie każdy) przy szacowanej wydajności każdego z zestawów w granicach do 75 m³/h i depresji rzędu do 5 metrów. Przy założeniu sumarycznej wydajności systemu na średnim poziomie 300 m³/h ilość wody odpompowanej w ciągu 1 roku wyniesie 2,628 mln m³, zaś w perspektywie 5 lat osiągnie poziom 13,14 mln m³ (7,5-krotna wymiana wody w systemie).

Zanieczyszczone wody podziemne odprowadzane przez system TP&T, o parametrach ścieków przemysłowych, zostaną oczyszczone w dedykowanej oczyszczalni ścieków i odprowadzone do odbiorników powierzchniowych. Eksploatacja systemu TP&T przez okres do około 5 lat zapewni skuteczne usunięcie chmury zanieczyszczeń i obniżenie stopnia degradacji środowiska gruntowo – wodnego do stanu akceptowalnego (Rys. 2).

W ramach prowadzenia prac remediacyjnych dla potrzeb bieżącej kontroli ich postępu oraz mając na uwadze możliwości ich dalszej optymalizacji planuje się wykonanie sieci monitoringu środowiska gruntowo-wodnego. Będzie ona złożona z 5-6 piezometrów odwierconych w rejonie studni przechwytyjących zanieczyszczenia (średnia głębokość do 20 m, średnica 100-120 mm) z zamontowanymi czujnikami automatycznymi dla pomiaru ciśnienia oraz wybranych cech fizyko-chemicznych wód podziemnych. System monitoringu powinien zostać wykonany przed rozpoczęciem zasadniczej remediacji środowiska gruntowo-wodnego i pozostawiony po jego zakończeniu dla obserwacji naturalnych procesów samooczyszczania środowiska.

Wariant 1 jest działaniem związanym z dużą ilością koniecznych do zastosowania środków technicznych oraz uwzględniającym całkowite i jak najszybsze usunięcie zanieczyszczenia oraz minimalizację zagrożenia dla środowiska. Jest to również wariant najbardziej kosztowny.

2.2. Wariant nr 2

Wariant nr 2 koncepcji remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wraz z obszarem jego oddziaływania spełnia wymagania uwzględnienia skutecznego unieszkodliwienia źródła emisji zanieczyszczeń (zgodnie z §2 ust. 1 pkt. 3, umowy nr 1/ZP/2017).

W proponowanym scenariuszu remediacyjnym stanowiącym wariant nr 2 składowisko odpadów „Zielona” zostanie ze wszystkich stron zabezpieczone przesłonami hydroizolacyjnymi (tzw. ściankami szczelnymi) dogłębnymi do utworów nieprzepuszczalnych, podścielających czwartorzędową warstwę wodonośną. Przesłona hydroizolacyjna zostanie zbudowana na długości ok. 2000 metrów i dogłębiona do ok. 10 metrów ppt. (tj. około 1 m poniżej w stosunku do średniej głębokości występowania utworów nieprzepuszczalnych w rejonie składowiska „Zielona”). Łączna powierzchnia koniecznej do wykonania przesłony hydroizolacyjnej, okonturowywującej całe składowisko odpadów przemysłowych „Zielona” wynosi 20,0 tys. m².

W kolejnym etapie unieszkodliwiania ogniska zanieczyszczeń cała powierzchnia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” zostanie pokryta materiałem nieprzepuszczalnym uniemożliwiającym infiltrację opadów atmosferycznych, które są czynnikiem wymywającym substancje zanieczyszczające z bryły odpadów a następnie przenoszą je do wód podziemnych.

Uszczelnienie powierzchni składowiska jest standardową metodą mającą na celu skuteczne ograniczenie lub docelowo powstrzymanie aktywności ogniska zanieczyszczeń.

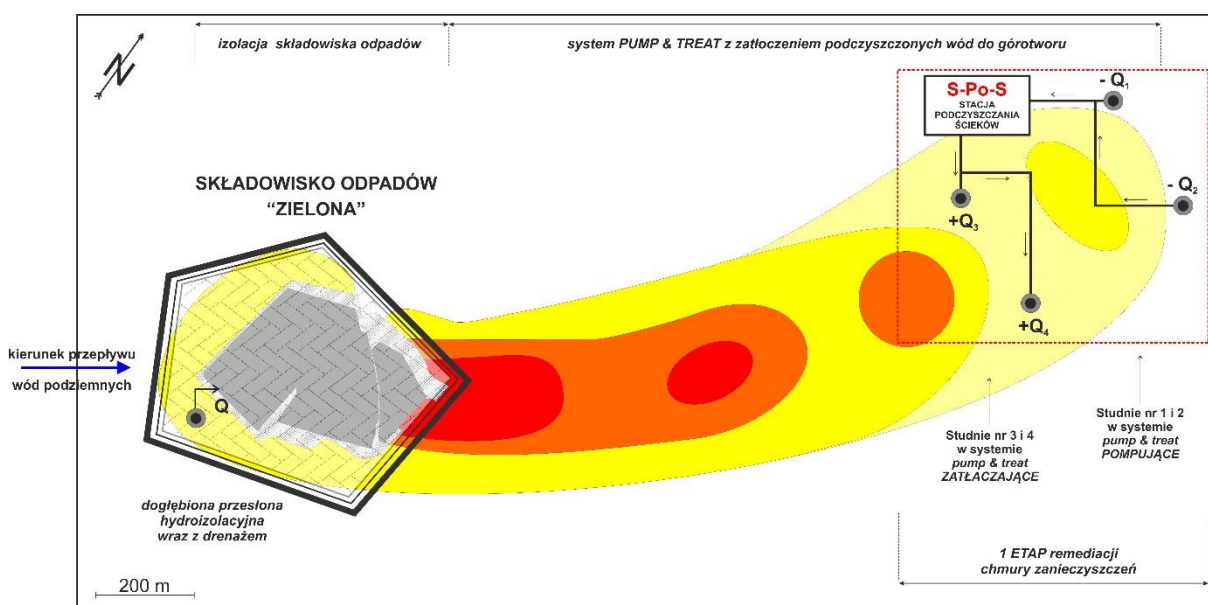
Powierzchnia jaka należy pokryć materiałem izolacyjnym wynosi ok. 18 ha (na który składa się cały teren składowiska – 11,3 ha wraz z tzw. otuliną – 6,7 ha). W wariancie nr 2 założono ponowne przykrycie całości składowiska warstwą izolacyjną, gdyż w świetle przeprowadzonych badań zastosowane w przeszłości na jego części geomembrany nie spełniają swojego zadania. Badania wilgotności bryły składowiska oraz gruntów i roztworów porowych w strefie aeracji stanowią dowody, że proces wymywania zanieczyszczeń zdeponowanych na składowisku zachodzi w dalszym ciągu.

Warstwa izolacyjna składowiska może zostać wykonana z wykorzystaniem sztucznych membran nieprzepuszczalnych jak również lokalnych utworów o niskiej przepuszczalności w postaci glin czwartorzędowych (współczynnik filtracji rzędu $10^{-7} - 10^{-9} \text{ m/s}$) (Koot i in., 2011). Miąższość warstwy utworów o niskiej przepuszczalności powinna zostać dobrana w zależności od ich współczynnika filtracji w granicach 0,5 – 2 m. Dla wspomnienia sukcesji roślinnej zaleca się w miarę możliwości pokrycie warstwy gliny humusem.

Wariant nr 2 w odniesieniu do bryły składowiska polega na zastosowaniu techniki sarkofagowania i stanowi skuteczny sposób unieszkodliwiania źródła emisji zanieczyszczeń. Wadą techniki jest pozostawienie odpadów w miejscu ich depozycji oraz stosunkowo wysokie koszty jej zastosowania, na które w największym stopniu składają się nakłady konieczne do poniesienia dla wykonania ścianek szczelnych.

Wewnątrz szczelnego sarkofagu powinny się znajdować co najmniej 2-3 otwory wiertnicze mające na celu stałą kontrolę poziomu zwierciadła wód w tej izolowanej strukturze oraz w miarę potrzeby umożliwiające odpompowanie ich nadmiaru. Średnica tych otworów w związku z ich wielofunkcyjnością powinna wynosić około 200 – 300 mm.

Z kolei w obrębie warstwy izolacyjnej przykrywającej bryłę składowanych odpadów powinien zostać wykonany system drenażu i monitoringu jakości wód ze spływu powierzchniowego opadów atmosferycznych.



Rys. 3. Schemat wariantu nr 2 technologicznej koncepcji remediacji obszaru

Chmura zanieczyszczeń w ramach wariantu nr 2 zostanie poddana remediacji techniką pump-and-treat (TP&T) zmodyfikowaną w celu ograniczenia nakładów finansowych. Odpompowanie chmury następować będzie etapowo dla autonomicznych paneli złożonych ze studni pompujących, jednostki podczyszczającej i studni zatłaczających. Pierwszy panel zlokalizowany będzie na aktualnym froncie chmury zanieczyszczeń, gdzie studnie pompowe (do 2-3 szt.) będą eksploatowane z wydajnością sumaryczną do około $50 \div 100 \text{ m}^3/\text{h}$. Po podczyszczeniu wód (niecałkowitej redukcji zanieczyszczeń (!)) zostaną one zatłoczone z powrotem do warstwy wodonośnej za pomocą studni iniekcyjnych (2-3 szt.) zlokalizowanych w odległości około $300 \div 400 \text{ m}$ w kierunku składowiska „Zielona” (Rys. 3).

Technika remediacji uwzględniająca ponowne zatłoczenie podczyszczonych wód podziemnych zapewnia nie tylko skuteczne oczyszczanie środowiska gruntowo – wodnego wraz z wymywaniem zanieczyszczeń zasorbowanych na gruncie (fazie stałej), ale stanowi również barierę hydrodynamiczną, która skutecznie zatrzymuje lub ogranicza propagację chmury zanieczyszczeń. Główną zaletą techniki jest zmniejszenie kosztów eksploatacji stacji podczyszczania wód wynikające z faktu niecałkowitej redukcji zanieczyszczeń.

Czas eksploatacji panelu studni remediacyjnych zależeć będzie od postępu w zakresie oczyszczania środowiska gruntowo-wodnego i jest wstępnie szacowany na około 5 lat. W tym okresie zostanie odpompowane i ponownie zatłoczone do warstwy wodonośnej w granicach $3,285 \text{ mln m}^3$ wód podziemnych. Ilość ta skutkować będzie nawet do około 7,5-krotną wymianą wody w systemie, a zatem identyczne oczyszczenie środowiska gruntowo-wodnego jak w przypadku wariantu 1.

Po oczyszczeniu pierwszego fragmentu chmury tj. osiągnięciu celów remediacyjnych, studnie iniekcyjne zostaną przekształcone w studnie pompowe a w odległości kolejnych $200 \div 300 \text{ m}$ na zachód od nich wywiercone zostaną nowe studnie iniekcyjne. Eksploatacja panelu nr 2 przebiegać będzie aż do oczyszczenia kolejnego fragmentu chmury zanieczyszczeń po czym nastąpi jego przekształcenie w kolejne panele nr 3 i 4 zbliżające się sukcesywnie do ogniska zanieczyszczeń. Parametry kolejnych paneli remediacyjnych proponowane są do przyjęcia jak dla opisanego powyżej panelu pierwszego.

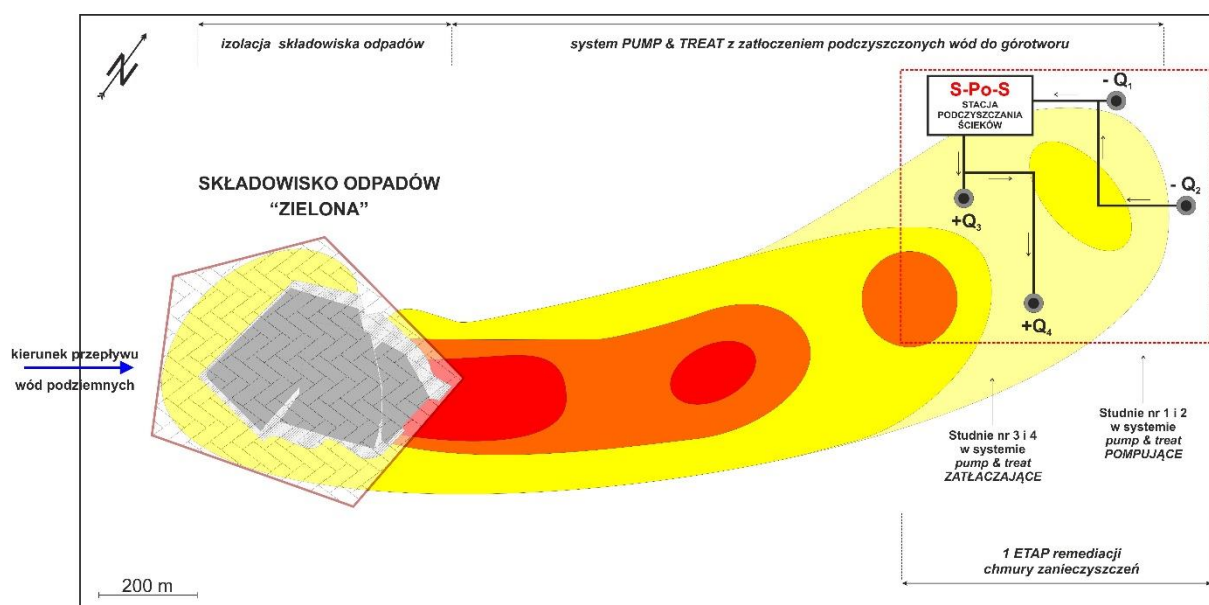
Sumarycznie przewiduje się eksploatację systemu remediacji chmury zanieczyszczonych gruntów i wód podziemnych w rejonie składowiska w okresie do około 20 lat, co skutkować będzie odpompowaniem i podczyszczeniem a następnie zatłoczeniem do górotworu około $13,14 \text{ mln m}^3$ wód. Ilość ta jest blisko 8-krotnie wyższa od objętości zanieczyszczonych wód podziemnych w obrębie aktualnego zasięgu strefy zanieczyszczonych gruntów i wód podziemnych związanych ze składowiskiem odpadów przemysłowych „Zielona”.

W ramach prowadzenia prac remediacyjnych dla potrzeb bieżącej kontroli ich postępu oraz mając na uwadze możliwości ich dalszej optymalizacji planuje się wykonanie sieci monitoringu środowiska gruntowo-wodnego. Będzie ona złożona z 5-6 piezometrów odwierconych w rejonie studni przechwytyjących zanieczyszczenia (średnia głębokość do 20 m, średnica 100-120 mm) z zamontowanymi czujnikami automatycznymi dla pomiaru ciśnienia oraz wybranych cech fizyko-chemicznych wód podziemnych. System monitoringu powinien zostać wykonany przed rozpoczęciem zasadniczej remediacji środowiska gruntowo-wodnego i pozostawiony po jego zakończeniu dla obserwacji naturalnych procesów samooczyszczania środowiska.

2.3. Wariant nr 3

Wariant nr 3 koncepcji remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wraz z obszarem jego oddziaływania spełnia wymagania uwzględnienia skutecznego unieszkodliwienia źródła emisji zanieczyszczeń (zgodnie z §2 ust. 1 pkt. 3, umowy nr 1/ZP/2017).

Wariant nr 3 technologicznych koncepcji remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” zakłada usunięcie najbardziej niebezpiecznych i charakteryzujących się dużą wilgotnością osadów zdeponowanych na części ISO składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” i ich skuteczne unieszkodliwienie, a następnie wykonanie podstawowej rekultywacji terenu. Objętość koniecznych do usunięcia osadów wynosi około 86 tys. m³, zaś ich masa szacowana jest na około 150 tys. ton. W kolejnym etapie nastąpi przykrycie bryły składowiska warstwą utworów nieprzepuszczalnych lub sztuczną membraną izolacyjną identycznie jak w wariacie nr 2 na powierzchni ok. 18 ha. Nie zostaną jednak wykonane kosztowne pionowe przesłony hydroizolacyjne (ścianki szczelne). Na podstawie wstępnych obliczeń analitycznych wydaje się, że odcięcie możliwości wnikania wód opadowych do bryły składowanych odpadów skutecznie zatrzyma proces wymywania zanieczyszczeń do wód podziemnych. Zanieczyszczenia już wymyte nie zostaną natychmiast zatrzymane tak jak w wariacie nr 2, ale zakłada się ich odpompowanie w ostatnim etapie remediacji chmury zanieczyszczeń.



Rys. 4. Schemat wariantu nr 3 technologicznej koncepcji remediacji obszaru

Remediacja chmury zanieczyszczonych wód podziemnych przebiegać będzie etapowo dokładnie w sposób opisany w wariacie 2 (Rys. 4). Odpompowanie chmury następować będzie dla kolejnych paneli złożonych ze studni pompujących, jednostki podczyszczającej i studni zatłaczających. Pierwszy panel zlokalizowany będzie na froncie chmury zanieczyszczeń, gdzie studnie pompowe (do 2-3 szt.) będą eksploatowane z wydajnością sumaryczną do około 50 ÷ 100 m³/h. Po podczyszczeniu wód (niecałkowitej redukcji zanieczyszczeń (!)) zostaną one zatłoczone z powrotem do warstwy wodonośnej za pomocą studni iniekcyjnych zlokalizowanych w odległości około 200 ÷ 300 m w kierunku składowiska „Zielona”. Zgodnie z wykonanymi symulacjami całkowita likwidacja chmury zanieczyszczeń ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wymaga wykonania co

najmniej 4 niezależnych paneli studni remediacyjnych, sukcesywnie zbliżających się do ogniska zanieczyszczeń.

Czas eksploatacji panelu studni remediacyjnych w wariantcie nr 3 będzie identyczny jak opisany wcześniej dla wariantu nr 2 i zależeć będzie od postępu w zakresie oczyszczania środowiska gruntowo-wodnego i jest wstępnie szacowany na około 5 lat. W tym okresie zostanie odpompowane i ponownie zatłoczone do warstwy wodonośnej w granicach 3,285 mln m³ wód podziemnych. Ilość ta skutkować będzie nawet do około 7,4-krotną wymianą wody w systemie, a zatem spowoduje identyczne efekty oczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego jak w przypadku wariantu nr 1.

Eksploatacja systemu remediacji chmury zanieczyszczonych gruntów i wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” przewidywana jest na okresie do około 20 lat, co skutkować będzie odpompowaniem i podczyszczeniem a następnie zatłoczeniem do górotworu około 13,14 mln m³ wód. Ilość ta jest blisko 8-krotnie wyższa od objętości zanieczyszczonych wód podziemnych w obrębie aktualnego zasięgu strefy zanieczyszczonych gruntów i wód podziemnych związanych ze składowiskiem odpadów przemysłowych „Zielona”.

W ramach prowadzenia prac remediacyjnych dla potrzeb bieżącej kontroli ich postępu oraz mając na uwadze możliwości ich dalszej optymalizacji planuje się wykonanie sieci monitoringu środowiska gruntowo-wodnego. Będzie ona złożona z 5-6 piezometrów odwierconych w rejonie studni przechwytyjących zanieczyszczenia (średnia głębokość do 20 m, średnica 100-120 mm) z zamontowanymi czujnikami automatycznymi dla pomiaru ciśnienia oraz wybranych cech fizyko-chemicznych wód podziemnych. System monitoringu powinien zostać wykonany przed rozpoczęciem zasadniczej remediacji środowiska gruntowo-wodnego i pozostawiony po jego zakończeniu dla obserwacji naturalnych procesów samooczyszczania środowiska.

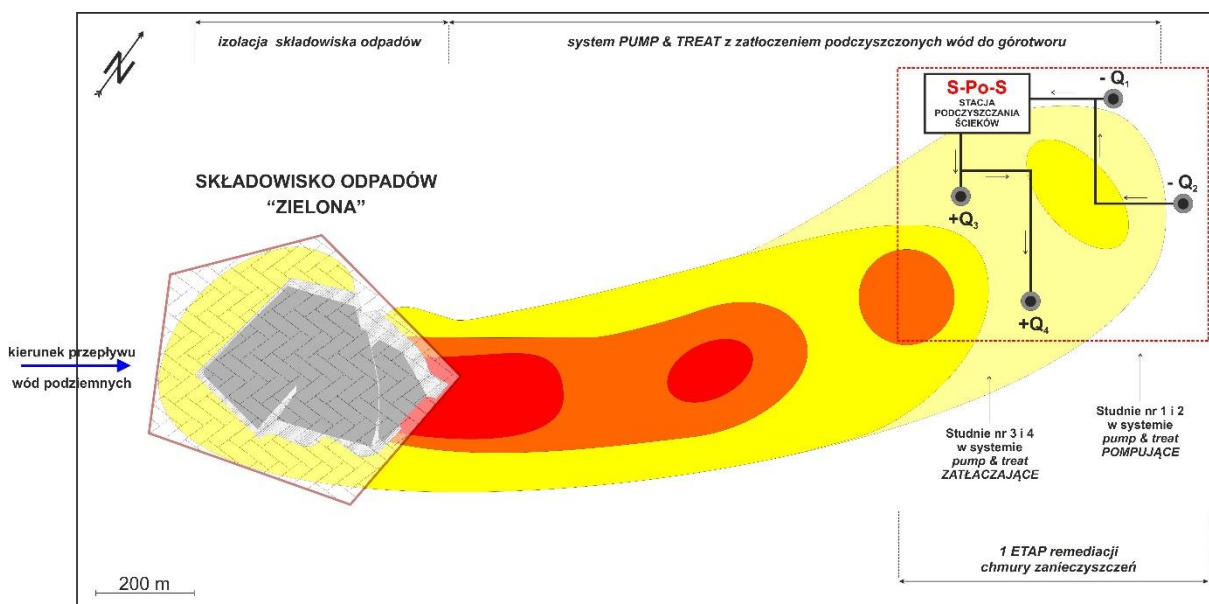
2.4. Wariant nr 4

Wariant nr 4 koncepcji remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wraz z obszarem jego oddziaływania spełnia wymagania uwzględnienia skutecznego unieszkodliwienia źródła emisji zanieczyszczeń (zgodnie z §2 ust. 1 pkt. 3, umowy nr 1/ZP/2017).

Wariant nr 4 technologicznych koncepcji remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” zakłada jego przykrycie warstwą utworów nieprzepuszczalnych lub sztuczną membraną izolacyjną identycznie jak w wariantach nr 2 i 3, na powierzchni ok. 18 ha. Nie zostaną jednak wykonane najbardziej kosztowne pionowe przesłony hydroizolacyjne (ścianki szczelne). Na podstawie wstępnych obliczeń analitycznych wydaje się, że odcięcie możliwości wnikania wód opadowych do bryły składowanych odpadów skutecznie zatrzyma proces wymywania zanieczyszczeń do wód podziemnych. Zanieczyszczenia już wymyte nie zostaną natychmiast zatrzymane tak jak w wariacie nr 2, ale zakłada się ich odpompowanie w ostatnim etapie remediacji chmury zanieczyszczeń.

Remediacja chmury zanieczyszczonych wód podziemnych przebiegać będzie etapowo dokładnie w sposób opisany w wariantach nr 2 i 3 (Rys. 5). Odpompowanie chmury następować będzie dla kolejnych paneli złożonych ze studni pompujących, jednostki podczyszczającej i studni zatłaczających. Pierwszy panel zlokalizowany będzie na froncie chmury zanieczyszczeń, gdzie studnie pompowe (do 2-3 szt.) będą eksploatowane z wydajnością sumaryczną do około 50 ÷ 100 m³/h. Po podczyszczeniu wód (niecałkowitej redukcji zanieczyszczeń (!)) zostaną one zatłoczone z powrotem

do warstwy wodonośnej za pomocą studni iniekcyjnych zlokalizowanych w odległości około 200 ÷ 300 m w kierunku składowiska „Zielona”. Zgodnie z wykonanymi symulacjami całkowita likwidacja chmury zanieczyszczeń ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wymaga wykonania co najmniej 4 niezależnych paneli studni remediacyjnych, sukcesywnie zbliżających się do ogniska zanieczyszczeń.



Rys. 5. Schemat wariantu nr 4 technologicznej koncepcji remediacji obszaru

Czas eksploatacji panelu studni remediacyjnych w wariantcie nr 3 będzie identyczny jak opisany wcześniej dla wariantów nr 2 i 3 oraz zależeć będzie od postępu w zakresie oczyszczania środowiska gruntowo-wodnego i jest wstępnie szacowany na około 5 lat. W tym okresie zostanie odpompowane i ponownie zatłoczone do warstwy wodonośnej w granicach 3,285 mln m³ wód podziemnych. Ilość ta skutkować będzie nawet do około 7,4-krotną wymianą wody w systemie, a zatem spowoduje identyczne efekty oczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego jak w przypadku wariantu nr 1.

Eksploatacja systemu remediacji chmury zanieczyszczonych gruntów i wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” przewidywana jest na okresie do około 20 lat, co skutkować będzie odpompowaniem i podczyszczeniem a następnie zatłoczeniem do górotworu około 13,14 mln m³ wód. Ilość ta jest blisko 8-krotnie wyższa od objętości zanieczyszczonych wód podziemnych w obrębie aktualnego zasięgu strefy zanieczyszczonych gruntów i wód podziemnych związanych ze składowiskiem odpadów przemysłowych „Zielona”.

W ramach prowadzenia prac remediacyjnych dla potrzeb bieżącej kontroli ich postępu oraz mając na uwadze możliwości ich dalszej optymalizacji planuje się wykonanie sieci monitoringu środowiska gruntowo-wodnego. Będzie ona złożona z 5-6 piezometrów odwierconych w rejonie studni przechwytyjących zanieczyszczenia (średnia głębokość do 20 m, średnica 100-120 mm) z zamontowanymi czujnikami automatycznymi dla pomiaru ciśnienia oraz wybranych cech fizykochemicznych wód podziemnych. System monitoringu powinien zostać wykonany przed rozpoczęciem zasadniczej remediacji środowiska gruntowo-wodnego i pozostawiony po jego zakończeniu dla obserwacji naturalnych procesów samooczyszczania środowiska.

2.5. Prace dodatkowe

Ostatni etap remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wraz z obszarem jego oddziaływania wymagał będzie dłuższej i dokładnej kontroli dla skutecznego usunięcia zanieczyszczeń, które z pewnym opóźnieniem mogą emitować się z bryły odpadów przykrytych utworami nieprzepuszczalnymi.

W końcowym okresie stosowania aktywnych metod remediacyjnych w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” proponuje się rozpoczęcie obserwacji naturalnych procesów samooczyszczania wód podziemnych pod kątem oceny realnych możliwości dalszego polepszania stanu środowiska wodnego. Stężenia zanieczyszczeń w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” dla stanu aktualnego są zbyt wysokie, aby metody samooczyszczania (ang. monitored natural attenuation - MNA) mogły być skuteczne. Jednak po odpompowaniu dominującej masy zanieczyszczeń metodą pump-and-treat (w granicach do 80% ładunku) oraz ograniczeniu infiltracji substancji ze składowiska, stężenia zanieczyszczeń mogą spaść do poziomu odpowiedniego dla skutecznego przebiegu metod samooczyszczania.

Metody samooczyszczania są powszechnie opisywane w literaturze fachowej od lat 90. XX wieku, ze względu na niskie koszty w zakresie ograniczenia zanieczyszczenia wód podziemnych. Stosuje się je najczęściej w przypadku, kiedy zanieczyszczenie nie stanowi bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia i życia ludności oraz nie powoduje wystąpienia poważnych zagrożeń środowiskowych. Metoda ta jest wykorzystywana w odniesieniu do szerokiego spektrum substancji zanieczyszczających, w tym w szczególności: związków chloroorganicznych, benzenu, toluenu, etylobenzenu i ksyleny (BTX) oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), a także fenoli i bifenili oraz pestycydów i substancji nieorganicznych (Sara, 2003).

Metody samooczyszczania nie mogą absolutnie stanowić poważnej alternatywy dla aktywnych metod remediacyjnych. Ich przebieg wymaga bardzo długiej perspektywy czasu, a dla obiektów silnie zanieczyszczonych jak składowisko odpadów „Zielona” może nie dawać widocznych efektów. Wdrożenie metod ma jednak sens w ostatnim okresie funkcjonowania aktywnej remediacji, gdzie przyczynia się do obniżenia poziomu zanieczyszczenia. Elementem wspomagającym ocenę skuteczności procesów samooczyszczania jest znajomość reakcji kształtujących skład chemiczny wód podziemnych lub zachodzących w chmurze zanieczyszczeń. Przykładowo w odniesieniu do składowiska „Zielona” kluczowe znaczenie dla rozpadu związków chloroorganicznych ma obecność fenolu. Bakterie odpowiedzialne za rozpad związków chloroorganicznych mają bowiem możliwość pobierania energii z rozkładanego fenolu, którego obecność w środowisku gruntowo – wodnym kilkukrotnie przyspiesza proces (Hopkins i in. 1993)

W przypadku niezadowalających rezultatów procesów samooczyszczania należy przyspieszyć rozpad substancji organicznych i nieorganicznych z wykorzystaniem wspomagania procesów samooczyszczania (ang. enhanced monitored natural attenuation - EMNA). Najlepsze efekty mogą zostać osiągnięte poprzez zainiektowanie do zanieczyszczonej warstwy wodonośnej bakterii metanogennych z klasy *Archaeobacteria* lub *Methanothermea*.

Po zakończeniu aktywnej remediacji omawianego obszaru oraz w trakcie przebiegu naturalnych procesów samooczyszczania kontynuowane będą badania monitoringowe środowiska gruntowo-wodnego w studniach odwierconych dla potrzeb przechwytywania i iniekcji wód zanieczyszczonych oraz w piezometrach wykonanych dla kontroli procesu remediacyjnego i innych pobliskich otworach.

Ostatnim elementem kończącym remediację terenu składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wraz z obszarem związanego z nim zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego są

prace porządkowe, w tym związane z urządzeniem powierzchni terenu (budowa lub likwidacja elementów infrastruktury technicznej – drogi dojazdowe, ścieżki spacerowe, budynki itp., nasadzenia roślinności i in.).

3. Harmonogram finansowo – czasowy wariantów remediacji

Aktywne działania remedacyjne tj. pompowanie wód zanieczyszczonych i ich ponowne zatłaczanie do górotworu, wywiezienie i utylizacja odpadów, posadowienie pionowych przeston hydroizolacyjnych czy przykrycie powierzchni składowiska utworami nieprzepuszczalnymi, wiążą się z koniecznością wykonania kosztownych elementów infrastruktury technicznej. Niemniej największy wpływ na ogólne koszty remediacji środowiska gruntowo-wodnego mają zazwyczaj nakłady konieczne do poniesienia na budowę i bieżącą eksploatację stacji do oczyszczania/podczyszczania zdegradowanych wód.

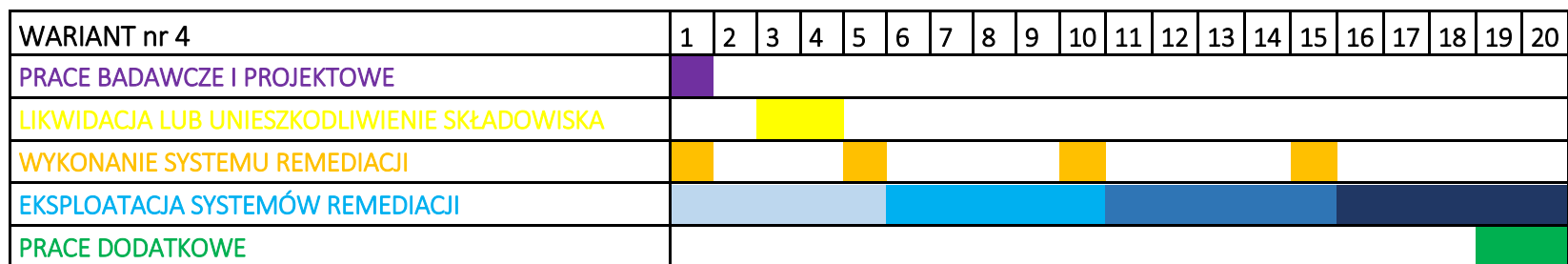
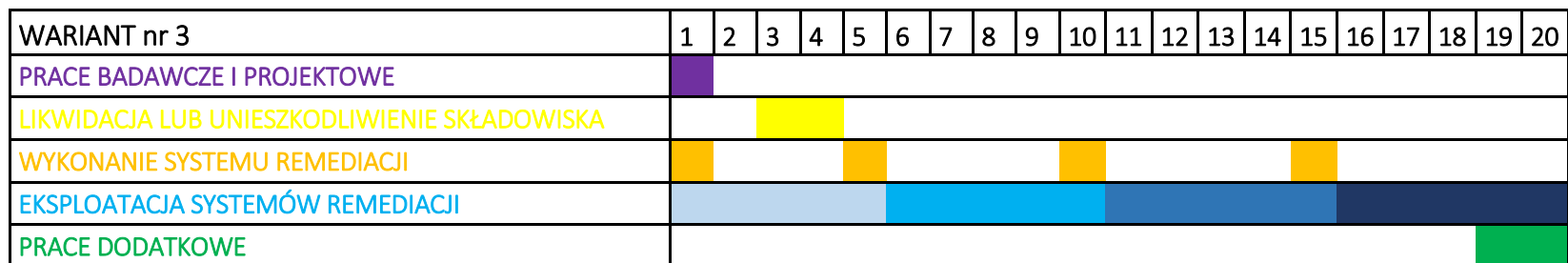
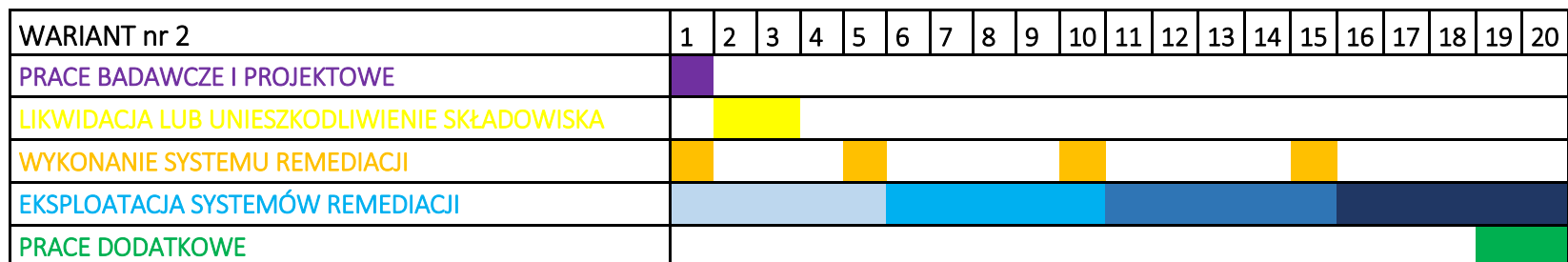
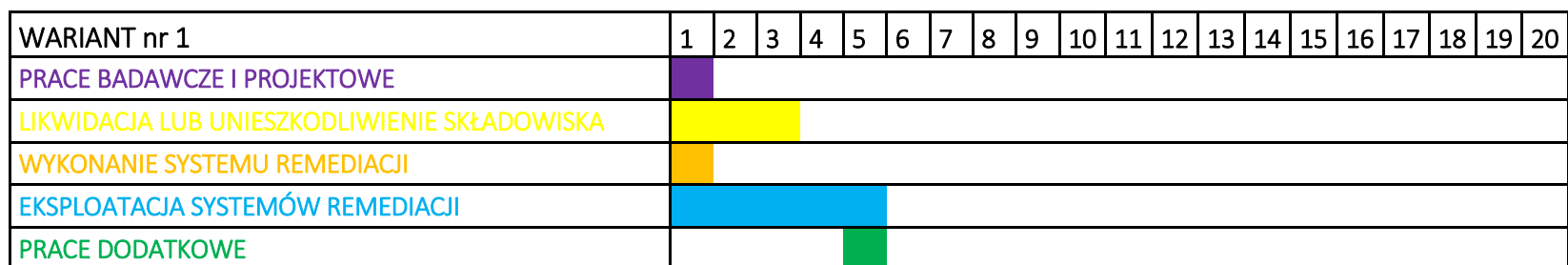
W kolejnej tabeli przedstawiono sumaryczne koszty realizacji poszczególnych wariantów remedacyjnych, w tym z uwzględnieniem podziału na prace badawcze i projektowe, prace remedacyjne (w tym likwidacja lub unieszkodliwienie składowiska odpadów oraz wykonanie systemu remediacji) a także bieżącą eksploatację systemu i prace dodatkowe (Tab. 1).

Z punktu widzenia finansowego wariant nr 1 jest najbardziej niekorzystny (koszt blisko 2,6 mld zł). Warianty 2 i 3 są zasadniczo porównywalne ze sobą i odróżnia je istotnie kwoty poniesione na usunięcie i utylizację 150 tys. ton najbardziej niebezpiecznych odpadów oraz na wykonanie szczelnej, pionowej przesłony izolacyjnej wokół składowiska „Zielona”. Najmniej kosztowny okazał się wariant nr 2 i w związku z powyższym rekomenduje się jego realizację.

Pod względem czasu realizacji najkrótszy tj. trwający 5 lat jest wariant nr 1, o ekstremalnie wysokich kosztach realizacji. Charakteryzuje się on dużą intensywnością prowadzonych prac i znacznym rozmiarem stosowanej infrastruktury technicznej. Warianty nr 2 i nr 3 są wprawdzie znacznie dłuższe tj. zaplanowano je na 20 lat ale zapewniają bardziej zrównoważone prowadzenie remediacji w bardziej bezpiecznych warunkach i przy mniejszym zaangażowaniu infrastruktury technicznej (Rys. 6).

Tabela 1. Porównanie kosztów na realizację poszczególnych wariantów remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” oraz obszaru jego oddziaływania [mln zł]

RODZAJ DZIAŁAŃ	WARIANT NR 1	WARIANT NR 2	WARIANT NR 3	WARIANT NR 4
Prace badawcze i projektowe	6,5	10,0	10,0	10,0
Likwidacja lub unieszkodliwienie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”	1 060,4	91,3	126,75	58,5
Wykonanie systemu remediacji środowiska gruntowo-wodnego MP&T	108,0	35,0	35,0	35,0
Eksploatacja systemów remediacji MP&T	1 395,0	630,6	630,6	630,6
Prace dodatkowe	15,0	15,0	15,0	15,0
SUMA	2584,9	781,9	817,35	749,1



Rys. 6. Harmonogram czasowy realizacji poszczególnych wariantów remediacyjnych (w latach)

Szczegółowy wykaz elementów wpływających na przedstawione w tabeli koszty wariantów remediacyjnych został przedstawiony poniżej.

1. PRACE BADAWCZE

- a) badania stanu jakościowego gleb i gruntu (z uwzględnieniem strefy przemieszczenia chmury zanieczyszczeń poza granicę zakładu) **koszt: 1,0 mln zł**
- b) wykonanie systemu lokalnego monitoringu środowiska gruntowo-wodnego dla potrzeb planowanej remediacji (z wykorzystaniem istniejących piezometrów oraz do około 5-6 nowych otworów wraz z odpowiednimi czujnikami), **koszt: 0,75 mln zł**
- c) opróbowanie sieci monitoringowej (pobór próbek i analizy fizykochemiczne zgodnie z odpowiednimi założeniami metodycznymi, w kolejnych cyklach rocznych), **koszt: 0,25 mln zł rocznie**
- d) badania uwarunkowań dla emisji zanieczyszczeń ze składowiska odpadów „Zielona” (m.in. badania ilości zanieczyszczeń zgromadzonych na składowiskach, badanie szczelności warstw izolacyjnych, badanie gruntu w podłożu składowisk), **koszt: 0,5 mln zł**
- e) badania atmogeochemiczne powietrza glebowego i ewentualnych szkodliwych substancji lotnych w strefie aeracji gruntów oraz na obszarach chmur zanieczyszczeń wód podziemnych, **koszt: 0,75 mln zł**

KOSZT CAŁKOWITY: 3 mln zł + 0,25 mln rocznie

2. PRACE PROJEKTOWE

Zakres etapu został istotnie ograniczony w związku z dotychczasowymi badaniami i pracami projektowymi wykonanymi przez AGH, związane głównie z:

- a) uaktualnieniem badań modelowych w skali regionalnej i lokalnej
- b) wykonaniem projektu technicznego systemu remediacyjnego (wszystkich elementów infrastruktury technicznej systemu).

KOSZT CAŁKOWITY: 2 mln zł

3. LIKWIDACJA LUB UNIESZKODLIWIENIE SKŁADOWISKA ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH „ZIELONA”

Wariant nr 1

Koszty realizacji wariantu z podziałem na poszczególne rodzaje działalności przedstawione zostały w tabeli.

Tabela 2. Kalkulacja kosztów realizacji wariantu nr 1 w zakresie likwidacji lub unieszkodliwienia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”

Lp.	Rodzaj działalności	Ilość [jednostka]	Cena jednostkowa [zł]	Wartość ogółem [zł]
1.	wydobycie odpadów i zanieczyszczonych gruntów	2 502 500 [t]	20	50 050 000
2.	transport odpadów do zakładu utylizacyjnego	2 502 500 [t]	75	187 687 500
3.	utylizacja odpadów przemysłowych (termiczna)	2 502 500 [t]	250	625 625 000
4.	transport materiału obojętnego i wypełnienie przestrzeni po wybranych odpadach i zanieczyszczonych gruntach	1 925 000 [t]	100	192 500 000
5.	rekultywacja terenu	18 [ha]	250 000	4 500 000
SUMA				1 060 362 500

Wariant nr 2

Koszty realizacji wariantu z podziałem na poszczególne rodzaje działalności przedstawione zostały w tabeli.

Tabela 3. Kalkulacja kosztów realizacji wariantu nr 2 w zakresie likwidacji lub unieszkodliwienia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”

Lp.	Rodzaj działalności	Ilość [jednostka]	Cena jednostkowa [zł]	Wartość ogółem [zł]
1.	wykonanie konturu zamkniętego wokół składowiska z pionowych przesłon hydroizolacyjnych (ścianki szczelinowe)	20 000 [m ²]	2 500	50 000 000
2.	przykrycie składowiska warstwą izolacyjną	18 [ha]	2 000 000	36 000 000
3.	wykonanie otworów monitoringowych/drenażowych	3 [szt.]	250 000	750 000
4.	rekultywacja terenu	18 [ha]	250 000	4 500 000
SUMA				91 250 000

Wariant nr 3

Koszty realizacji wariantu z podziałem na poszczególne rodzaje działalności przedstawione zostały w tabeli.

Tabela 4. Kalkulacja kosztów realizacji wariantu nr 3 w zakresie likwidacji lub unieszkodliwienia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”

Lp.	Rodzaj działalności	Ilość [jednostka]	Cena jednostkowa [zł]	Wartość ogółem [zł]
1.	przykrycie składowiska warstwą izolacyjną o podwyższonych parametrach	18 [ha]	3 000 000	54 000 000
2.	wydobycie odpadów i zanieczyszczonych gruntów	150 000 [t]	30	4 500 000
3.	transport odpadów do zakładu utylizacyjnego	150 000 [t]	75	11 250 000
4.	utylizacja odpadów przemysłowych (termiczna)	150 000 [t]	250	37 500 000
5.	transport materiału obojętnego i wypełnienie przestrzeni po wybranych odpadach i zanieczyszczonych gruntach	150 000 [t]	100	15 000 000
6.	rekultywacja terenu	18 [ha]	250 000	4 500 000
SUMA				126 750 000

Wariant nr 4

Koszty realizacji wariantu z podziałem na poszczególne rodzaje działalności przedstawione zostały w tabeli.

Tabela 5. Kalkulacja kosztów realizacji wariantu nr 4 w zakresie likwidacji lub unieszkodliwienia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”

Lp.	Rodzaj działalności	Ilość [jednostka]	Cena jednostkowa [zł]	Wartość ogółem [zł]
1.	przykrycie składowiska warstwą izolacyjną o podwyższonych parametrach	18 [ha]	3 000 000	54 000 000
2.	rekultywacja terenu	18 [ha]	250 000	4 500 000
SUMA				58 500 000

4. WYKONANIE SYSTEMU REMEDIACJI ŚRODOWISKA GRUNTOWO-WODNEGO

Głównym czynnikiem wpływającym na koszt wykonania systemu remediacyjnego ma ilość koniecznych do odwiercenia studni (pompujących i iniekcyjnych), długości rurociągów do przepompowywania wód a ponadto wydajność układu, która wpływa na wycenę kluczowej jednostki oczyszczania/podczyszczania wód (Tab. 6, 7).

Tabela 6. Wykaz elementów technicznych do realizacji w poszczególnych wariantach systemu remediacji środowiska gruntowo-wodnego

WSKAŹNIKI TECHNICZNE	WARIANT NR 1	WARIANT NR 2	WARIANT NR 3	WARIANT NR 4
Liczba studni [szt.]	12	15	15	15
Długość rurociągów [km]	4	5	5	5
Wydajność systemu [m ³ /h]	300	75	75	75

Tabela 7. Porównanie kosztów na realizację poszczególnych wariantów remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” oraz obszaru jego oddziaływania [zł]

WSKAŹNIKI TECHNICZNE	Cena jednostkowa [zł/jednostkę]	WARIANT NR 1	WARIANT NR 2	WARIANT NR 3	WARIANT NR 3
Wykonanie studni	500 000 zł/szt.	6 000 000	7 500 000	7 500 000	7 500 000
Wykonanie rurociągu	500 000 zł/km	2 000 000	2 500 000	2 500 000	2 500 000
Wykonanie stacji oczyszczania/ podczyszczania remediowanych wód	25 000 000 zł/szt. (Q _{max} 75 m ³ /h)	100 000 000	25 000 000	25 000 000	25 000 000
SUMA		108 000 000	35 000 000	35 000 000	35 000 000

5. KOSZTY EKSPLOATACYJNE

Kategoria ta ma kluczowe znaczenie dla budżetu projektu remediacyjnego, w którym może stanowić nawet do 80% całkowitych nakładów finansowych. Dla potrzeb niniejszego opracowania koszty eksploatacyjne obliczono (Tab. 8) stosując następujące założenia:

- bieżąca obsługa instalacji, remonty, uzupełnienia (do około 10-15% sumy całkowitej),
- koszty oczyszczania wód z systemu remediacyjnego, do poziomu parametrów umożliwiających ich zrzut do wód powierzchniowych – cena jednostkowa 100 zł/m³,
- koszty tylko podczyszczania wód z systemu remediacyjnego, w celu ograniczenia ładunku zanieczyszczeń – cena jednostkowa 40 zł/m³ (średnia dla przedziału 30-50 zł/m³).

Tabela 8. Porównanie kosztów na realizację poszczególnych wariantów remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” oraz obszaru jego oddziaływania [zł]

WSKAŹNIKI TECHNICZNE	Cena jednostkowa [zł/jednostkę]	WARIANT NR 1	WARIANT NR 2	WARIANT NR 3	WARIANT NR 3
Obsługa, remonty, uzupełnienia	15% wartości instalacji	16 200 000	5 250 000	5 250 000	5 250 000
Oczyszczanie wody	100 zł/m ³	262 800 000	-	-	-
Podczyszczanie wody	40 zł/m ³	-	26 280 000	26 280 000	26 280 000
ROCZNE KOSZTY EKSPLOATACYJNE		279 000 000	31 530 000	31 530 000	31 530 000
CZAS TRWANIA REMEDIACJI [LATA]		5	20	20	20
CAŁKOWITE KOSZTY EKSPLOATACYJNE		1 395 000 000	630 600 000	630 600 000	630 600 000

6. KOSZTY DODATKOWE

W ramach tej kategorii uwzględniono:

- koszty dodatkowych zabiegów remediacyjnych (w tym technik „*in situ*”) dla uzyskania odpowiedniego stanu środowiska (doczyszczanie terenu i środowiska gruntowo-wodnego),
- koszty uporządkowania i urządzenia terenu, dodatkowych nasadzeń roślinności i in.,
- rezervę na nieprzewidziane sytuacje, w tym awaryjne.

KOSZT CAŁKOWITY: 15 mln zł

4. Kryteria wyboru i identyfikacja optymalnego sposobu remediacji

Wybór optymalnego sposobu remediacji dla obszaru składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wraz ze strefą zanieczyszczonych gruntów i wód podziemnych występujących w obrębie chmury zanieczyszczeń jest bardzo trudnym i skomplikowanym zadaniem, dodatkowo obarczonym dużą odpowiedzialnością.

Pod względem teoretycznym wybór optymalnego sposobów remediacji środowiska wodno-gruntowego zazwyczaj opierają się na dwóch podstawowych założeniach:

1. Rekomendowana metoda musi stanowić rozwiązanie kompromisowe z punktu widzenia potrzeb społecznych i środowiskowych oraz możliwości ekonomicznych i technicznych.
2. Rekomendowana metoda powinna mieć najmniejszy wskaźnik kosztochłonności w stosunku do skuteczności. Przy czym za skuteczność metody przyjmuje się osiągnięcie poziomu oczyszczenia środowiska do stanu akceptowalnego założonego w projekcie z uwzględnieniem kryterium czasowego.

W celu zrównoważonej realizacji procesu remediacji, należy oprócz w/w aspektów dokonać szczegółowej oceny krytycznych czynników indywidualnych dla każdego proponowanego wariantu. Czynniki, indywidualnie dostosowane dla potrzeb remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” umieszczono w tabeli poniżej (Tab. 9). Najważniejszymi elementami podlegającymi ocenie są w tym przypadku: skuteczność likwidacji zagrożeń środowiska, wielkość nakładów finansowych, w tym kosztów eksploatacyjnych oraz czas remediacji.

Tabela 9. Kryteria oceny punktowej w procedurze wyboru optymalnej metody remediacji

OCENA	CZYNNIKI KRYTYCZNE I KATEGORIE PUNKTOWE
<u>SKUTECZNOŚĆ LIKWIDACJI ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA</u>	
0	BRAK DZIAŁAŃ LUB DZIAŁANIA DORAŻNE
1	OGRANICZENIE PROPAGACJI LUB ZATRZYMANIE ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ
2	OGRANICZENIE LUB ZATRZYMANIE EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ Z OGNISKA
3	OGRANICZENIE ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ W ŚRODOWISKU GRUNTOWO – WODNYM DO POZIOMU 50% WARTOŚCI POCZĄTKOWEJ
4	OGRANICZENIE ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ W ŚRODOWISKU GRUNTOWO – WODNYM DO POZIOMU 20-50% WARTOŚCI POCZĄTKOWEJ
5	OGRANICZENIE ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ W ŚRODOWISKU GRUNTOWO – WODNYM DO POZIOMU PONIŻEJ 20% WARTOŚCI POCZĄTKOWEJ
<u>EFEKTYWNOŚĆ KOSZTOWA REMEDIACJI</u>	
0	> 25 mln zł/ha
1	20 ÷ 25 mln zł/ha
2	15 ÷ 20 mln zł/ha
3	10 ÷ 15 mln zł/ha
4	5 ÷ 10 mln zł/ha
5	< 5 mln zł/ha

<u>CZAS KONIECZNY DLA PRZEPROWADZENIA SKUTECZNEJ REMEDIACJI ŚRODOWISKA</u>	
0	> 50 lat
1	25 ÷ 50
2	15 ÷ 25
3	10 ÷ 15
4	5 ÷ 10
5	< 5 lat

Ocena wariantu remediacyjnego jest dokonywana poprzez zsumowanie punktów przypadających na poszczególne kryteria. Sumaryczny wynik punktowy jest w zależności od swojej wartości decydujący dla możliwości zastosowania wariantów, zgodnie z klasyfikacją przedstawioną w kolejnej tabeli (Tab. 10). W przypadku identycznej oceny punktowej ocenianych wariantów, kryterium decydującym o ich realizacji stanowią niższe nakłady finansowe lub krótszy czas realizacji.

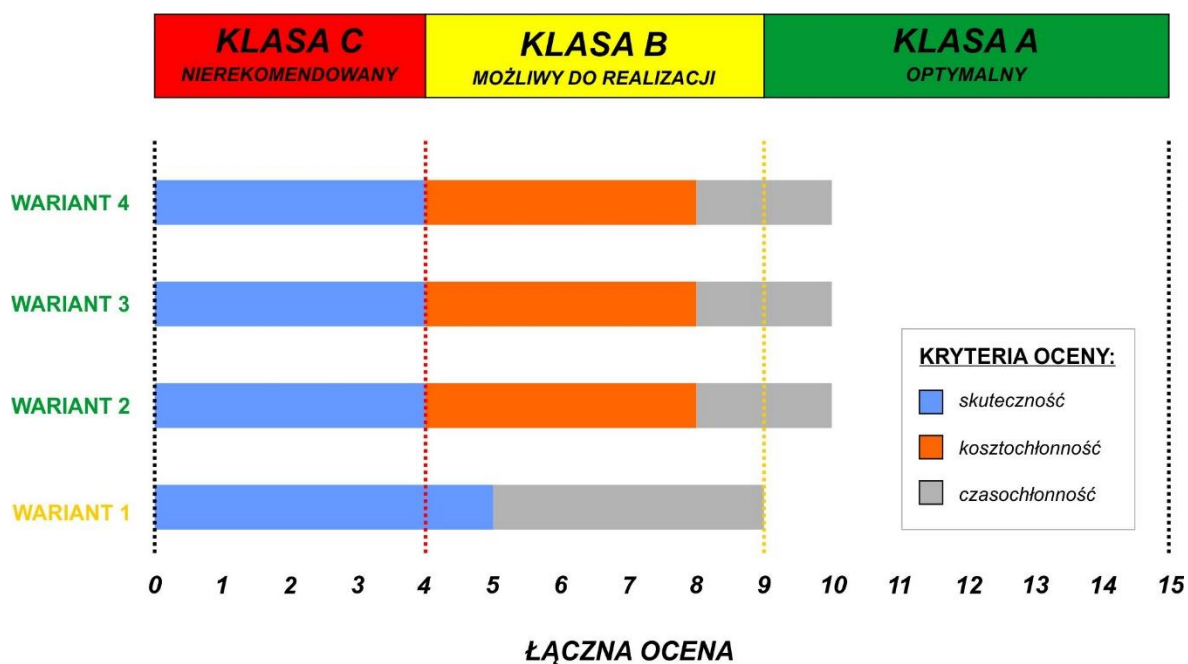
Tabela 10. Kategoryzacja wyników oceny wariantów remediacji środowiska gruntowo-wodnego

PRZEDZIAŁ PUNKTOWY	REKOMENDACJA DLA WARIANTU	KLASA ROZWIĄZANIA
≥ 10 pkt	Optymalny, rekomendowany do zastosowania	Klasa A
5 ÷ 9 pkt	Możliwy do zastosowania	Klasa B
< 5 pkt	Nierekomendowany	Klasa C

Wyboru optymalnego sposobu remediacji rejonu składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” wraz z chmurą zanieczyszczonych wód podziemnych dokonano w oparciu o przedstawioną powyżej metodykę. Zestawienie ocen poszczególnych czynników krytycznych z podziałem na warianty technologiczne remediacji przedstawiono w tabeli poniżej (Tab. 11) oraz na diagramie (Rys. 7):

Tabela 51. Ocena wariantów koncepcyjnych remediacji rejonu składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”

CZYNNIKI KRYTYCZNE	WARIANT 1	WARIANT 2	WARIANT 3	WARIANT 4
SKUTECZNOŚĆ LIKWIDACJI ZAGROZEŃ ŚRODOWISKA	5	4	4	4
WIELKOŚĆ NAKŁADÓW FINANSOWYCH	0	4	4	4
CZAS REMEDIACJI	4	2	2	2
OCENA PUNKTOWA:	9	10	10	10



Rys. 7. Diagram identyfikacji optymalnego, rekomendowanego do zastosowania wariantu remediacji

Na podstawie przeprowadzonej oceny wariantów technologicznych zaproponowanych dla potrzeb remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” oraz środowiska gruntowo-wodnego w strefie jego oddziaływania jako wariant optymalny, rekomendowany do realizacji wskazane zostały warianty nr 2, 3 i 4.

Wszystkie zaproponowane rozwiązania charakteryzują się wskaźnikiem oceny wg metodyki AGH na poziomie 10 pkt. (Klasa A) a przy czym ich sumaryczne koszty są bardzo zbliżone i zawierają się w przedziale 749,1 – 817,35 mln zł. Kwota różnicy pomiędzy najtańszym i najdroższym spośród optymalnych wariantów remediacji wynosi 68,25 mln zł, co stanowi tylko niespełna 9% średnich kosztów obliczonych dla wariantów nr 2, 3 i 4. Różnica ta jest zatem niższa od przyjętej na 20% rezerwy nadmiarowej w oszacowywaniu kosztów poszczególnych wariantów remediacyjnych.

Należy podkreślić że wszystkie spośród zaproponowanych rozwiązań tj. warianty nr 2, 3 i 4 gwarantują usunięcie ze środowiska gruntowo-wodnego do 80% zanieczyszczeń oraz skuteczną likwidację zagrożeń środowiskowych i dla okolicznej ludności.

Dłuższy okres realizacji projektu remediacyjnego przewidziany dla wariantów nr 2, 3 i 4 (20 lat) pozwala obniżyć roczne nakłady finansowe na remediację do poziomu około 40 mln zł, gdzie decydujące znaczenie dla jego wartości mają koszty podczyszczania wód podziemnych (26,28 mln zł tj. około 67%).

5. Podsumowanie i wnioski

- I. Opracowanie niniejsze stanowi sprawozdanie z realizacji Etapu 1 zadania naukowo-badawczego pt. „Projekt planu remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” na terenie dawnych Zakładów Chemicznych „Zachem” S.A. w Bydgoszczy oraz remediacji środowiska gruntowo-wodnego w obszarze oddziaływania składowiska”.
- II. W ramach opracowania zaproponowane zostały łącznie trzy warianty remediacji składowiska „Zielona” i strefy jego oddziaływania. Wszystkie warianty charakteryzują się wysoką skutecznością tj. prowadzą do likwidacji zagrożeń środowiskowych i dla okolicznej ludności a także zapewniają usunięcie ze środowiska gruntowo-wodnego do około 80% ładunku zanieczyszczeń.
- III. Wariant nr 1 zakłada wybranie, wywiezienie i skuteczne unieszkodliwienie odpadów i zanieczyszczonych gruntów a następnie rekultywację terenu (z wypełnieniem powstałej odkrywki) i przywrócenie mu pełni funkcji użytkowych. W odniesieniu do zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego (chmury zanieczyszczeń) proponuje się jednocześnie uruchomienie 4 paneli studni odprowadzających zanieczyszczone wody z górotworu z łączną wydajnością 300 m³/h. Po oczyszczaniu wód w dedykowanej stacji przewiduje się ich zrzut do cieków powierzchniowych. Wariant został rozplanowany na 5 lat a jego realizacja wymaga bardzo dużych nakładów finansowych na poziomie prawie 2,6 mld zł.
- IV. Wariant nr 2 zakłada wykonanie szczelnego sarkofagu dla bryły odpadów na składowisku „Zielona” oraz strefy najbardziej zanieczyszczonych gruntów. Sarkofag będzie się składał ze szczelnego systemu pionowych przesłon izolacyjnych (ścianek szczelinowych) o łącznej długości do około 2000 m, okonturowujących składowisko oraz z warstwy izolacyjnej przykrywającej powierzchnię bryły całego składowiska wraz z niewielką strefą buforową (łącznie do 18 ha). W zakresie zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego (chmury zanieczyszczeń) proponuje się sukcesywne uruchamianie 4 paneli studni odprowadzających zanieczyszczone wody z górotworu, każdy pracujący po 5 lat z wydajnością 75 m³/h. Po podczyszczaniu wód przewiduje się ich zatłoczenie do górotworu. Wariant został rozplanowany na 20 lat a jego realizacja wymaga nakładów finansowych na poziomie blisko 782 mln zł.
- V. Wariant nr 3 zakłada wywiezienie i skuteczną utylizację najbardziej niebezpiecznych odpadów z części ISO (około 150 tys. ton) a następnie wykonanie dla bryły odpadów na składowisku „Zielona” ochronnej warstwy nieprzepuszczalnej o podwyższonych parametrach izolacyjnych, która przykrywa powierzchnię bryły całego składowiska wraz z niewielką strefą buforową (łącznie do 18 ha). W zakresie zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego (chmury zanieczyszczeń) proponuje się sukcesywne uruchomienie 4 paneli studni odprowadzających zanieczyszczone wody z górotworu, każdy pracujący po 5 lat z wydajnością 75 m³/h. Po podczyszczaniu wód przewiduje się ich zatłoczenie do górotworu. Wariant został rozplanowany na 20 lat a jego realizacja wymaga nakładów finansowych na poziomie niespełna 818 mln zł.

- VI. Wariant nr 4 zakłada wykonanie dla bryły odpadów na składowisku „Zielona” ochronnej warstwy nieprzepuszczalnej o podwyższonych parametrach izolacyjnych, która przykrywa powierzchnię całego składowiska wraz z niewielką strefą buforową (łącznie do 18 ha). W zakresie zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego (chmury zanieczyszczeń) proponuje się sukcesywne uruchomienie 4 paneli studni odprowadzających zanieczyszczone wody z górotworu, każdy pracujący po 5 lat z wydajnością 75 m³/h. Po podczyszczaniu wód przewiduje się ich zatłoczenie do górotworu. Wariant został rozplanowany na 20 lat a jego realizacja wymaga nakładów finansowych na poziomie niespełna 750 mln zł.
- VII. W wyniku analizy zaproponowanych wariantów remediacji, w oparciu o ich ocenę na podstawie odpowiednio zidentyfikowanych czynników krytycznych wg metodyki AGH jako rozwiązania optymalne i rekomendowane do zastosowania dla składowiska odpadów „Zielona” i jego strefy oddziaływania wybrane zostały warianty nr 2, 3 i 4 (Klasa A). Wszystkie warianty zapewniają osiągnięcie identycznych celów środowiskowych w tym samym przedziale czasowym 20 lat. Warianty optymalne dodatkowo charakteryzują się bardzo zbliżonymi kosztami całkowitymi w przedziale 749,1 – 817,35 mln zł, tj. na poziomie około 7,5 – 8,2 mln zł/ha terenu poddawanego remediacji (tj. obszaru składowiska wraz z towarzyszącą mu chmurą zanieczyszczeń).

Spis rysunków

Rys. 1. Typowy skutek metody pump-and-treat zanieczyszczonych wód podziemnych (Holden i in. 1998)	7
Rys. 2. Schemat wariantu nr 1 technologicznej koncepcji remediacji obszaru	7
Rys. 3. Schemat wariantu nr 2 technologicznej koncepcji remediacji obszaru	9
Rys. 4. Schemat wariantu nr 3 technologicznej koncepcji remediacji obszaru	11
Rys. 5. Schemat wariantu nr 4 technologicznej koncepcji remediacji obszaru	11
Rys. 6. Harmonogram czasowy realizacji poszczególnych wariantów remediacyjnych	17
Rys. 7. Diagram identyfikacji optymalnego, rekomendowanego do zastosowania wariantu remediacji.....	25

Spis tabel

Tabela 1. Porównanie kosztów na realizację poszczególnych wariantów remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” oraz obszaru jego oddziaływania [mln zł].....	16
Tabela 2. Kalkulacja kosztów realizacji wariantu nr 1 w zakresie likwidacji lub unieszkodliwienia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”	19
Tabela 3. Kalkulacja kosztów realizacji wariantu nr 2 w zakresie likwidacji lub unieszkodliwienia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”	19
Tabela 4. Kalkulacja kosztów realizacji wariantu nr 3 w zakresie likwidacji lub unieszkodliwienia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”	20
Tabela 5. Kalkulacja kosztów realizacji wariantu nr 4 w zakresie likwidacji lub unieszkodliwienia składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”	20
Tabela 6. Wykaz elementów technicznych do realizacji w poszczególnych wariantach systemu remediacji środowiska gruntowo-wodnego	21
Tabela 7. Porównanie kosztów na realizację poszczególnych wariantów remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” oraz obszaru jego oddziaływania [zł].....	21
Tabela 8. Porównanie kosztów na realizację poszczególnych wariantów remediacji składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” oraz obszaru jego oddziaływania [zł].....	22
Tabela 9. Kryteria oceny punktowej w procedurze wyboru optymalnej metody remediacji	23
Tabela 10. Kategoryzacja wyników oceny wariantów remediacji środowiska gruntowo-wodnego....	24
Tabela 11. Ocena wariantów koncepcyjnych remediacji rejonu składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”	24

Spis załączników

Załącznik 1. Baza danych parametrów fizyko-chemicznych wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” za lata 2012-2015
--