

**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 II-**



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

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

*Kraków, marzec 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 II-



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. CHARAKTERYSTYKA INSTALACJI OGRANICZAJĄCYCH ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ ZE SKŁADOWISKA ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH „ZIELONA” .....	5
2.1. CHARAKTERYSTYKA UJĘCIA BARIEROWEGO I PODCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW .....	5
2.2. CHARAKTERYSTYKA TZW. ŚCIANKI SZCZELNEJ .....	8
3. STAN CHEMICZNY WÓD PODZIEMNYCH W REJONIE DZIAŁANIA INSTALACJI .....	9
4. OCENA SKUTECZNOŚCI DOTYCHCZASOWEGO SPOSOBU DZIAŁANIA INSTALACJI .....	11
5. WYTYCZNE TECHNICZNO-EKSPLOATACYJNE DLA SKUTECZNEJ INSTALACJI PRZECHWYTYWANIA LUB EFEKTYWNEGO OGRANICZANIA MIGRACJI ZANIECZYSZCZONYCH WÓD.....	13
6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	22
7. LITERATURA .....	25
SPIS RYSUNKÓW .....	26
SPIS TABEL .....	26
SPIS ZAŁĄCZNIKÓW .....	26

## 1. Wprowadzenie

Podstawą formalno-prawną niniejszego opracowania, stanowiącego sprawozdanie z realizacji etapu nr II 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 pkt 2 w/w umowy etap II obejmuje:

- sporządzenie oceny skuteczności sposobu działania instalacji ograniczającej rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w środowisku gruntowo-wodnym w postaci istniejącego ujęcia barierowego i podczyszczalni ścieków oraz wytycznych techniczno-eksploatacyjnych dla tej instalacji.

Najistotniejszą częścią sprawozdania z etapu nr II jest zatem przedstawienie charakterystyki, nie istniejącej już na chwilę obecną, instalacji ograniczającej rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w środowisku gruntowo-wodnym w rejonie składowiska „Zielona”, w postaci ujęcia barierowego i podczyszczalni ścieków.

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano także wytyczne techniczno-eksploatacyjne dla nowej instalacji złożonej ze studni przechwytyjących i jednostki oczyszczania wód, której celem jest możliwie maksymalne ograniczenie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ze składowiska „Zielona” w obrębie środowiska gruntowo-wodnego.

Sprawozdanie z etapu nr II 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. Charakterystyka instalacji ograniczających rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”

### 2.1. Charakterystyka ujęcia barierowego i podczyszczalni ścieków

Ujęcie barierowe mające na celu przechwytywanie zanieczyszczeń ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” zostało wykonane w latach 1991 do 1992. Zlokalizowane jest w odległości około 800 ÷ 1000 m w kierunku na wschód od granicy Zakładów Chemicznych, w rejonie skrzyżowania ul. Płatnowskiej i linii kolejowej Bydgoszcz – Toruń.

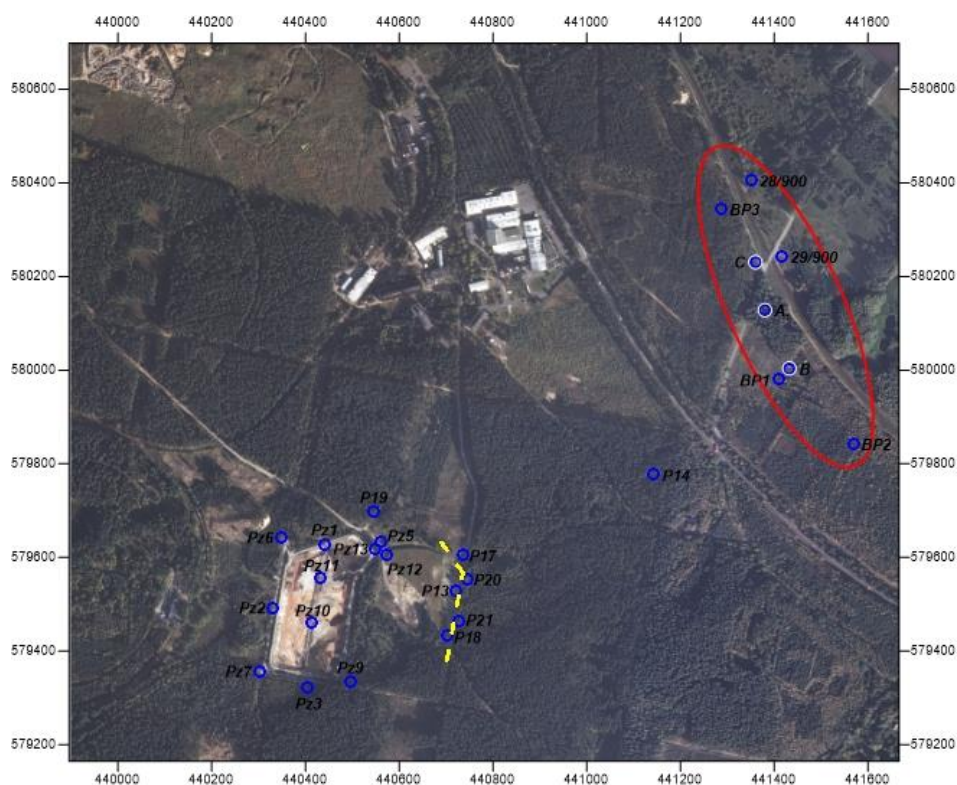
Ujęcie zbudowane było pierwotnie z trzech studni A, B i C o głębokości od 19,0 do 23,5 m oraz otworów obserwacyjnych BP1, BP2 i BP3. Wydajność eksploatacyjną ujęcia barierowego zatwierdzono na 85 m<sup>3</sup>/h przy depresji 4,0 m (Ułanowicz, 1992). W pozwoleniu wodno-prawnym dozwolony pobór wody z niewiadomych przyczyn ustalony został jednak na 30 m<sup>3</sup>/h i 700 m<sup>3</sup>/d (Smarzyński, 2005). Pod względem formalnym ujęcie pracowało w ramach zasobów eksploatacyjnych ujęcia wody chłodniczej rejonu d900 Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy. Po roku 1996, w związku ze znacznym spadkiem wydajności studni A, zlikwidowano ją a w roku 1997 wykonano otwór zastępczy A<sub>1</sub> (Zaleski, 1997).

Parametry techniczne poszczególnych studni i piezometrów wchodzących w skład ujęcia barierowego przedstawione zostały w poniższej tabeli (Tab. 1).

*Tabela 1. Parametry techniczne studni ujęcia barierowego na rok 2005 (Smarzyński, 2005)*

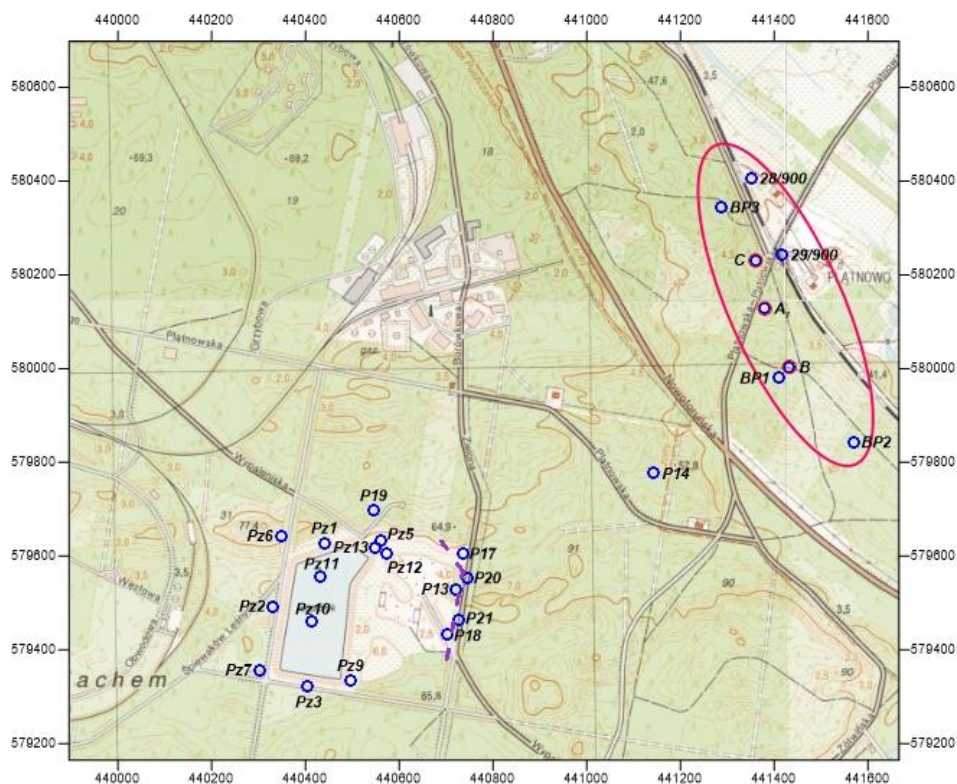
Otwór Parametr	Studnie ujęcia barierowego			Piezometry monitoringowe		
	A <sub>1</sub>	B	C	BP1	BP2	BP3
Głębokość [m]	20,5	19,0	23,5	26,0	26,0	25,5
Mięszkość warstwy wodonośnej [m]	15,0	13,5	16,0	22,0	>22,5	17,5
Filtr	Siatkowy 11¾"	PVC Pressag 280 mm	PVC Pressag 280 mm	PVC Pressag 165 mm	PVC Pressag 165 mm	PVC Pressag 165 mm
Długość filtra [m]	5,0	3,0	6,0	4,0	4,0	4,0
Wydajność maksymalna [m <sup>3</sup> /h]	28,4	15,0	40,0	-	-	-
Depresja [m]	3,4	3,5	4,0	-	-	-
Współczynnik filtracji [m/s]	2,03×10 <sup>-4</sup>	1,97×10 <sup>-4</sup>	3,25×10 <sup>-4</sup>	-	-	-

Ujęcie barierowe zostało zaprojektowane i wykonane w celu przechwycenia zanieczyszczonych wód podziemnych odpływających w kierunku wschodnim i północno – wschodnim ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”. Mimo silnego zanieczyszczenia wód podziemnych i realnego zagrożenia społeczności lokalnej zamieszkującej obszar zlokalizowany na odpływie wód do Wisły, eksploatacja ujęcia odbywała się wyłącznie w okresie od 1 kwietnia do 15 listopada. W pracy ujęcia notowane były również przestoje wywołane głównie przez przerwy w dostawie energii elektrycznej, ale również związane z awariami sprzętowymi.



Rys. 1. Lokalizacja składowiska „Zielona” oraz elementów instalacji wykonanych w celu ograniczenia rozprzestrzenianie się zanieczyszczenia, przedstawiona na ortofotomapie

Legenda: żółta przerywana linia – przesłona przeciwfiltracyjna tzw. ścianka szczelna (lokalizacja wg Smarzyński, 2005), obszar zakreślony czerwoną linią – rejon ujęcia barierowego, niebieskie punkty – studnie i piezometry



Rys. 2. Lokalizacja składowiska „Zielona” oraz elementów instalacji wykonanych w celu ograniczenia rozprzestrzenianie się zanieczyszczenia, przedstawiona na ortofotomapie

Legenda: fioletowa przerywana linia – przesłona przeciw filtracyjna tzw. ścianka szczelna (lokalizacja wg Smarzyński, 2005), obszar zakreślony czerwoną linią – rejon ujęcia barierowego, niebieskie punkty – studnie i piezometry



Odpompowywane z ujęcia barierowego wody podziemne kierowano do zakładowej sieci kanalizacyjnej i dalej do Centralnego Zbiornika Uśredniania Ścieków (CZU). Wkrótce po uruchomieniu ujęcia barierowego w 1992 roku okazało się, że ciągła eksploatacja w założonym okresie kwiecień – listopad i tak nie jest możliwa. Zrzut silnie zanieczyszczonych wód do sieci kanalizacyjnej, w sytuacji, gdy znajdowały się w niej ścieki o odczynie kwaśnym, powodował bowiem silną emisję siarkowodoru do atmosfery. Intensyfikacja procesu zachodziła w kolektorach kanalizacyjnych, kaskadach oraz nieistniejącym już obecnie CZU, przy stężeniu sumy siarkowodoru i siarczków ( $\text{H}_2\text{S} + \text{S}^{2-}$ ) wynoszącym 30 do 40 mg/L (Smarzyński, 2005).

Problemy z bezpiecznym odprowadzaniem wód z ujęcia spowodowały, że w latach 1992 do 1994 było ono eksploatowane bardzo nierównomiernie (warunkiem pracy ujęcia był neutralny lub zasadowy odczyn ścieków w punkcie zrzutu wód z ujęcia barierowego do kanalizacji). Dobowy czas pracy ujęcia wahał się wtedy od kilkunastu minut do kilkunastu godzin. Średnia wydajność godzinowa poszczególnych studni w latach 1992 do 1994 wynosiła: A – 15,4 m<sup>3</sup>/h, B – 13,7 m<sup>3</sup>/h i C – 30,5 m<sup>3</sup>/h. Z ujęcia odpompowano w tym okresie około 117,5 tys. m<sup>3</sup> zanieczyszczonej wody (Smarzyński, 2005). Dla uniknięcia problemów z emisją siarkowodoru, Wydział Badawczy Zakładów Chemicznych „Organika – Zachem”, opracował technologię oczyszczania wód pochodzących z ujęcia barierowego, która polegała na utlenianiu siarczków ( $\text{S}^{2-}$ ) do siarczanów ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) z wykorzystaniem podchlorynu sodu na katalizatorze Rang 19 (Technologia, 1993). Katalizator ten jest tlenkową formą katalizatora niklowego typu współstrąceniowego.

Brak jest szczegółowych danych charakteryzujących prace samej podczyszczalni ścieków, tj. Centralnego Zbiornika Uśredniania Ścieków (CZU). Jednak już w roku 2005 podczas konferencji naukowej Współczesne Problemy Hydrogeologii, w przewodniku sesji terenowej „Hydrogeologia Kujaw i Dolnego Powiśla” pracownicy Wydziału Ochrony Środowiska ZCh „Zachem” wspominają o „nieistniejącym obecnie Centralnym Zbiorniku Uśredniania Ścieków (CZU)”.

W oparciu o wykonany w 1995 r. model matematyczny filtracji [pisownia oryg.] ujęcia barierowego zalecono zmniejszenie wydajności ujęcia do około 25 - 30 m<sup>3</sup>/h oraz ograniczenie do minimum poboru ze studni B. Po roku 2008, zgodnie z zaleceniami autorów modelowania zaprzestano odprowadzania zanieczyszczonych wód podziemnych ze studni B ujęcia barierowego (Kuberski, 2009). Analiza dostępnych danych w zakresie eksploatacji ujęcia barierowego wskazuje jednak, że już od 2000 r. studnia B najprawdopodobniej nie była używana. Około 2010 r. zaprzestano eksploatacji studni A<sub>1</sub> a w 2015 r. nie podjęto żadnych działań w zakresie uruchomienia ostatniej czynnej studni C. W ostatnim okresie eksploatacji ujęcia barierowego ilość odpompowywanych wód była bardzo niska i wynosiła tylko około 10 – 50 tys. m<sup>3</sup>/rok a dodatkowo w 2013 r. ujęcie w ogóle nie zostało włączone do użytku.

Aktualnie we wszystkich studniach ujęcia nie ma infrastruktury w postaci pomp oraz zasilania, rurociągi do odprowadzania wody znajdują się natomiast w stanie dobrym. W związku dostępem osób postronnych do pozostawionych otworów studziennych zostały one zdewastowane w związku z kradzieżami elementów metalowych. Stan samych otworów studziennych nie jest znany i wymaga przeprowadzenia ich kamerowania, ale w związku z dłuższym postojem mogą one nie nadawać się do dalszego wykorzystania.

## 2.2. Charakterystyka tzw. ścianki szczelnej

W roku 2003, w związku z niesatysfakcjonującymi efektami eksploatacji ujęcia barierowego, wykonano drenaż wzdłuż ul. Zielonej na terenie Zakładów Chemicznych w ramach I etapu prac nad efektywnym przejmowaniem zanieczyszczeń z rejonu składowiska. W kolejnym etapie w roku 2004, w ramach kontynuacji zadania, rozpoczęto wykonywanie szczelnej przesłony przeciwfiltracyjnej (tzw. ścianki szczelnej), która miała, przynajmniej w teorii, uniemożliwić migrację zanieczyszczonych wód podziemnych poza teren Zakładów. W lutym 2005 roku zakończono w/w prace.

System przejmowania zanieczyszczeń z rejonu składowiska „Zielona” składa się ze szczelnej przesłony, wykonanej z zastosowaniem technologii kolumn DSM (ang. deep soil mixing) oraz jet-grouting’u (Andrzejewski, 2011) i ułożonego równolegle do niej drenażu odprowadzającego zanieczyszczone wody podziemne przez pompownię do kanalizacji zakładowej. Głębokość przesłony wg danych z projektu technicznego wynosi 10-11 m i powinna być ona dociągnięta do stropu słabo przepuszczalnych glin zwałowych.

System drenażowy wykonany został na głębokości około 5 m ale zasadniczo nie są dostępne jakiegokolwiek dane dotyczące jego eksploatacji. Jak się można domyślać dla jego poprawnego funkcjonowania konieczna była nieprzerwana praca przepompowni, która zapewne została zatrzymana w ramach likwidacji dawnych Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy. Należy zwrócić uwagę, że w warunkach nieprzejmowania zanieczyszczonych wód przed barierą przeciwfiltracyjną zachodzi zjawisko jej „opływania” także stanowi ona jedynie element modyfikujący przepływ wód podziemnych i nie zatrzymuje migracji zanieczyszczeń.

W celu monitorowania poprawności działania przesłony przeciwfiltracyjnej wykonano dwa otwory obserwacyjne (piezometry P20, P21) za przesłoną, na kierunku odpływu wód podziemnych. Badania realizowane we wspomnianych piezometrach dowiodły, iż instalacja bardzo słabo lub w ogóle nie wywiązuje się ze swej roli. Zanieczyszczenia migrują bowiem nadal w kierunku północno – wschodnim co sugeruje, że przesłona nie została dogłębiona do glin zwałowych stąd nie stanowi ona skutecznej bariery dla przepływu zanieczyszczeń.



### 3. Stan chemiczny wód podziemnych w rejonie działania instalacji

Analiza stopnia zanieczyszczenia czwartorzędowych wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” została odniesiona do wartości tła hydrogeochemicznego, wyznaczonego dla całego obszaru Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy.

Tło hydrogeochemiczne odpowiadające składowi chemicznemu niezanieczyszczonych wód podziemnych występujących w warunkach naturalnych zostało wyznaczone na podstawie opróbowania wód w strefie ujęcia „S” oraz w punktach stanowiących jego sieć monitoringową. Niezanieczyszczone wody podziemne czwartorzędowego piętra wodonośnego charakteryzują się zatem typem hydrogeochemicznym Ca-HCO<sub>3</sub>, o mineralizacji wody w granicach 242-406 mg/L, przy średniej arytmetycznej na poziomie 353 mg/L. Stężenia dominujących jonów wynoszą około 42-79 mg/L dla wapnia oraz w granicach 165-254 mg/L w przypadku wodorowęglanów (Pietrucin, 2015).

Analizy chemiczne składników nieorganicznych, odniesione do tła hydrogeochemicznego, wskazują, iż cały obszar dawnych Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy należy traktować jako zanieczyszczony. Obserwuje się tu pełne zróżnicowanie wód podziemnych pod względem typu hydrogeochemicznego. Analogiczna różnorodność charakteryzuje wody w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”.

**Tabela 2. Wyniki analiz chemicznych wód podziemnych z sieci monitoringowej ujęcia barierowego**

PIEZOMETR	BP1	BP2	BP3					
głębokość	10,0	10,0	1,0	3,0	5,0	6,0	7,0	DNO
X (1992)	579979,48	579841,89	580344,87					
Y (1992)	441408,73	441570,39	441288,08					
N [°]	53°04'55,20"	53°04'50,63"	53°05'06,80"					
E [°]	18°07'30,05"	18°07'38,83"	18°07'23,32"					
rzędna terenu	41,19	43,38	44,68					
głęb. do zw.	2,80	3,95	6,76					
pH [-]	7,78	7,60	9,93	9,57	9,26	9,19	8,98	9,01
Eh [mV]	25	30	81	-	73	-25	-50	-129
EC [mS/cm]	0,290	0,483	2,230	2,540	2,650	2,690	2,840	2,870
Cl	16,83	17,72	175,26	159,10	159,10	160,35	175,01	171,89
HCO <sub>3</sub>	216,17	240,19	557,49	527,62	482,83	517,67	545,05	497,76
SO <sub>4</sub>	7,28	22,25	519,70	753,01	931,60	974,05	1107,64	1188,96
NO <sub>2</sub>	< 0,02	0,05	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
NO <sub>3</sub>	< 0,5	< 0,5	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
PO <sub>4</sub>	0,012	0,086	1,978	2,531	2,680	2,687	2,628	2,859
As	0,000065	0,000118	0,002087	0,001197	0,000647	0,000468	0,000417	0,008623
B	0,021	0,027	0,280	0,304	0,298	0,294	0,300	0,304
Ba	0,038	0,060	0,016	0,038	0,061	0,065	0,078	0,088
Ca	58,14	80,94	8,74	24,09	37,41	40,06	45,52	42,31
Fe	0,198	0,084	0,354	0,108	0,123	0,137	0,174	0,098
Hg	0,00027	0,00028	0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	0,00024
K	1,28	1,20	1,38	2,29	2,13	1,57	2,22	1,57

Li	0,0028	0,0033	0,0032	0,0029	0,0027	0,0028	0,0029	0,0027
Mg	6,84	8,64	2,77	5,09	6,56	6,79	7,88	7,46
Mn	0,056	0,219	0,023	0,054	0,083	0,089	0,105	0,076
Na	7,28	10,93	537,90	606,25	625,94	629,76	662,37	668,39
Pb	0,00004	0,00001	0,00054	0,00012	0,00007	0,00004	0,00008	0,00102
SiO <sub>2</sub>	13,76	23,94	7,34	10,33	10,97	10,82	10,92	10,48
Sr	0,174	0,415	0,031	0,063	0,095	0,099	0,117	0,108
Zn	0,0012	<0,0001	0,0092	0,0025	0,0037	0,0084	0,0091	0,0094

stężenia składników chemicznych w [mg/L]

W rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” badane próbki wód wykazują występowanie silnie przeobrażonych typów hydrogeochemicznych: czterojonowych (Na-Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>, Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>, Ca-Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>, Na-Ca-Cl-SO<sub>4</sub>, Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub>) i podrzędnie dwujonowych (Na-SO<sub>4</sub>) oraz trójjonowych (Na-Ca-Cl, Na-SO<sub>4</sub>-Cl) a także pięciodonowych (Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>-Cl, Ca-Fe-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl).

W rejonie bariery odwadniającej, próbki pobrane z sieci monitoringowej wykazały dominację wód trójjonowych (Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl, Ca-Cl-HCO<sub>3</sub>) oraz czterojonowych (Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>-Cl, Ca-Na-Cl-HCO<sub>3</sub>). Szczególnie zanieczyszczone wody, analogicznie jak w rejonie składowiska mają typ pięciodonowy (Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl-NO<sub>3</sub>, Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-NO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>).

Wody podziemne w rejonie ujęcia barierowego, będące w zasięgu oddziaływania składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”, mają charakter zasadowy (odczyn pH 8-10) oraz redukcyjny, i charakteryzują się przewodnością elektrolityczną właściwą na poziomie około 2,2-2,9 mS/cm. Wody te charakteryzują się stosunkowo wysokimi stężeniami siarczanów (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ok. 500-1200 mg/L), chlorków (Cl<sup>-</sup> ok. 150-175 mg/L), wodorowęglanów (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ok. 500 -560 mg/L) oraz sodu (Na<sup>+</sup> ok. 500 - 700 mg/L) (Tab. 2).

Analiza zawartości substancji organicznych w wodach podziemnych rejonu ujęcia barierowego w piezometrach BP1, BP3 i 29/900 wykazała bardzo wysokie stężenia fenoli lotnych (odpowiednio 6,44 mg/L, 1,19 mg/L oraz aż 15,2 mg/L) oraz wysokie stężenia związków haloorganicznych oznaczanych jako suma AOX (odpowiednio 2,04 mg/L w BP1, 2,62 mg/L w BP3 oraz 1,79 mg/L w otworze 29/900). W wodach tych oznaczono również hydroksybifenyle (0,23 mg/L – BP1, 0,11 mg/L – BP3 oraz 0,05 mg/L – 29/900), a także wykryto obecność difenylosulfonu, oktylofenoli i estrów oktylofenolooksyetylenowych (Tab. 3).

W roku 2013 w studni ujęcia barierowego C oznaczono wysokie stężenie siarkowodoru - H<sub>2</sub>S, równe 36,50 mg/L.

**Tabela 3. Wybrane wyniki analiz chemicznych wód podziemnych z piezometrów 29/900, BP1 i BP3**

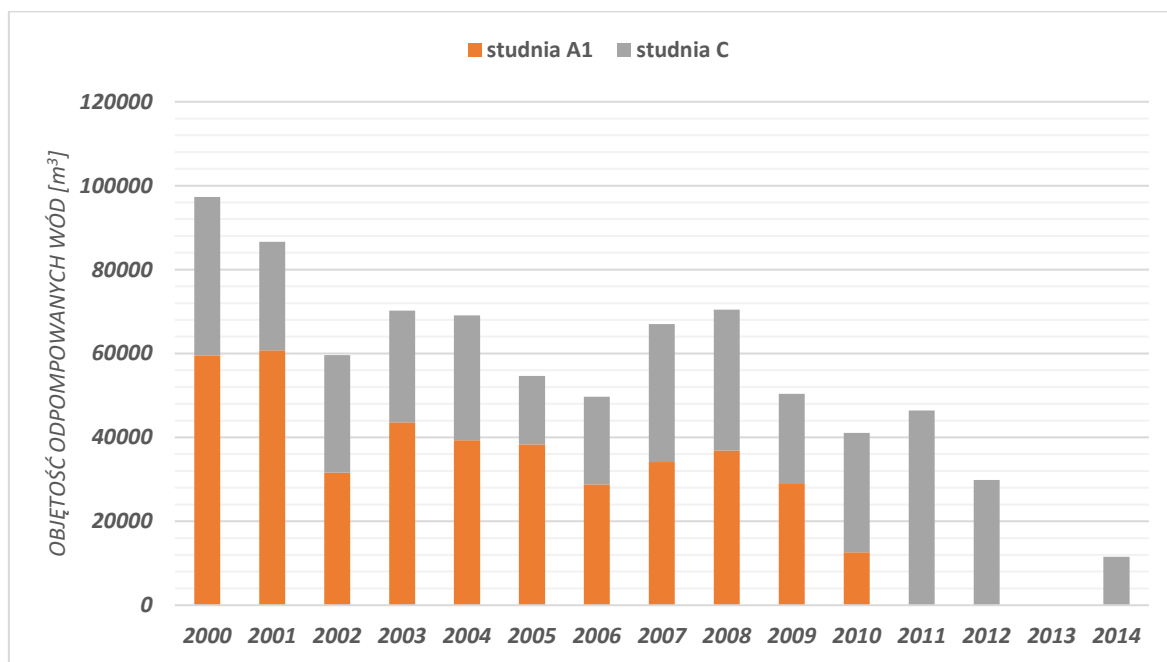
PIEZOMETR	29/900	BP1	BP3
fenole	15,2	6,44	1,19
zw. haloorganiczne (AOX)	1,79	2,04	2,62
hydroksybifenyle	0,05	0,23	0,11
difenylosulfon	0,02	0,02	< 0,01

stężenia składników chemicznych w [mg/L]

## 4. Ocena skuteczności dotychczasowego sposobu działania instalacji

Analiza skuteczności dotychczas stosowanych systemów i instalacji zmierzających do zatrzymania lub ograniczenia emisji zanieczyszczeń ze składowiska odpadów „Zielona” jest bardzo utrudniona z uwagi na niedostatki w danych. Wynika on z jednej strony z bardzo małego zakresu badań monitoringowych realizowanych w ramach eksploatacji ujęcia barierowego i ścianki szczelnej z drugiej zaś niedotrzymywania tego obowiązku.

Dane dotyczące ilości zanieczyszczonych wód podziemnych odprowadzanych z wykorzystaniem ujęcia barierowego udało się pozyskać tylko dla okresu 2000-2014. Eksploatacja ujęcia była w tym czasie prowadzona tylko w studniach A<sub>1</sub> oraz C a ilość odpompowywanych wód zmniejszała się od początkowych około 85-95 tys. m<sup>3</sup>/rok (w latach 2000-2001) do około 50-70 tys. m<sup>3</sup>/rok (w latach 2002-2009) a następnie od 2010 r., poniżej 50 tys. m<sup>3</sup>/rok aż do zatrzymania ujęcia po 2014 r. Zasadniczo już w 2011 r. zaznacza się okres, gdzie ujęcie jest eksploatowane niezgodnie z przyjętymi założeniami, gdyż wyłączona zostaje studnia A<sub>1</sub>. W 2012 r. ilość odpompowanej wody wyniosła tylko około 30 tys. m<sup>3</sup>/rok zaś w kolejnym roku (2013 r.) ujęcie w ogóle nie było eksploatowane. Uruchomione je jeszcze w 2014 r. z bardzo niewielką wydajnością i odpompowano tylko około 10 tys. m<sup>3</sup> wody ze studni C (Rys. 3).



Rys. 3. Ilości zanieczyszczonych wód podziemnych odpompowywanych z poszczególnych studni ujęcia barierowego, w latach 2000-2014

W kolejnych latach w związku z likwidacją Zakładów Chemicznych „Zachem” i wygaśnięciem pozwolenia wodno-prawnego na eksploatację ujęcia barierowego jego działalność została zawieszona a stan ten trwa do chwili obecnej. Jednocześnie w poszczególnych studniach ujęcia dokonano demontażu agregatów pompowych, rurociągów odprowadzających wodę oraz zasilania w energię elektryczną. Studnie i piezometry narażone na niczym nieograniczony dostęp osób nieupoważnionych ulegają postępującej dewastacji i trudno jest obecnie wyrokować co do ich stanu technicznego i ewentualnej przyszłej przydatności.

Głównym mankamentem w eksploatacji ujęcia barierowego było prowadzenie odpompowywania wód od początku kwietnia do końca listopada, z przerwą na sezon zimowy. Takim sposobem w okresie łącznie 4 miesiące (od początku grudnia do końca marca) zanieczyszczenia, których migracja ulegała intensyfikacji w związku z funkcjonowaniem ujęcia, miały pełną możliwość przemieszczania się w kierunku terasy Wisły.

Kolejnym mankamentem w pracy ujęcia barierowego było sukcesywne ograniczanie ilości odpompowywanych wód aż do poziomu rzędu około 1/3 początkowej wartości (tj. poniżej 40-50 tys. m<sup>3</sup>) i wyłączenie studni B oraz A<sub>1</sub>. W takich warunkach, bowiem nie było możliwe przejście całego strumienia zanieczyszczonych wód, które mogły swobodnie przemieszczać się w kierunku terasy Wisły.

Dla okresu funkcjonowania ujęcia barierowego w latach 2009-2014 dostępne są również wyniki badań składu chemicznego odprowadzanych za jego pośrednictwem zanieczyszczonych wód podziemnych. Badania te charakteryzują się niską częstotliwością oraz bardzo dużym rozrzutem wyników i zasadniczo nie pozwalają na wiarygodną ocenę skuteczności funkcjonowania bariery przechwytyjącej chmurę zanieczyszczeń ze składowiska odpadów „Zielona”. W ogóle bowiem w ramach eksploatacji bariery nie rozważano problemu jej skuteczności pod kątem ładunku zanieczyszczeń koniecznego czy też zakładanego do docelowego usunięcia ze środowiska gruntowo-wodnego. Należy też zwrócić uwagę, że w okres 2009-2014 praktycznie następowało wygaszanie aktywności ujęcia barierowego, gdzie jego wydajność spadła do poziomu poniżej 1/3 pierwotnie założonej wydajności (tj. do około 40-50 tys. m<sup>3</sup>/rok w stosunku do początkowych około 115 tys. m<sup>3</sup>/rok).

Główne znaczenie w zakresie redukcji ładunku zanieczyszczeń obecnych w środowisku, wynikający z gorszych parametrów jakościowych ujmowanych wód oraz dłuższego czasu eksploatacji miała studnia C. Średni ładunek zanieczyszczeń usuwanych ze środowiska z odpompowanymi z niego wodami wynosił dla niej w granicach 2,5-6 tys. kg/miesiąc. Największe wartości pod względem ładunku zanieczyszczeń przyjmowała suma chlorków i siarczanów (Cl+SO<sub>4</sub>), gdzie fenole i rozpuszczony węgiel organiczny stanowiły odpowiednio około 100 – 250 kg/miesiąc oraz 200-600 kg/miesiąc.

Średni ładunek zanieczyszczeń usuwanych ze środowiska z odpompowanymi z niego wodami wynosił dla studni A<sub>1</sub> około 2-4 tys. kg/miesiąc, przy czym główne znaczenie w tym względzie miała suma chlorków i siarczanów (Cl+SO<sub>4</sub>). Ładunek usuwanych ze środowiska gruntowo-wodnego substancji organicznych, wyrażanych w postaci fenoli oraz rozpuszczonego węgla organicznego był zdecydowanie mniejszy i wynosił najczęściej od kilkudziesięciu do około 100 kg/miesiąc. Należy przy tym zwrócić uwagę, że badania jakościowe w studni A<sub>1</sub> zostały wykonane tylko w latach 2009-2010.

Ładunki zanieczyszczeń przechwytywane przez system bariery studni ujęciowych w latach 2009-2014 w odniesieniu do najbardziej szkodliwych substancji organicznych, należy uznać za bardzo małe, gdyż w warunkach 8-miesięcznej eksploatacji nie przekraczały one kilku tysięcy kilogramów.

Należy zwrócić uwagę, że w świetle oszacowań dokonanych na bazie szczegółowego opróbowania środowiska gruntowo-wodnego oraz zaawansowanego modelowania numerycznego, ładunek zanieczyszczeń zgromadzonych w obrębie tylko chmury zanieczyszczonych wód podziemnych migrujących ze składowiska odpadów „Zielona” wynosi: 15 tys. chlorków (Cl), 5,75 tys. ton siarczanów (SO<sub>4</sub>), 1,9 tys. ton substancji organicznych oraz 0,5 tys. ton fenolu.

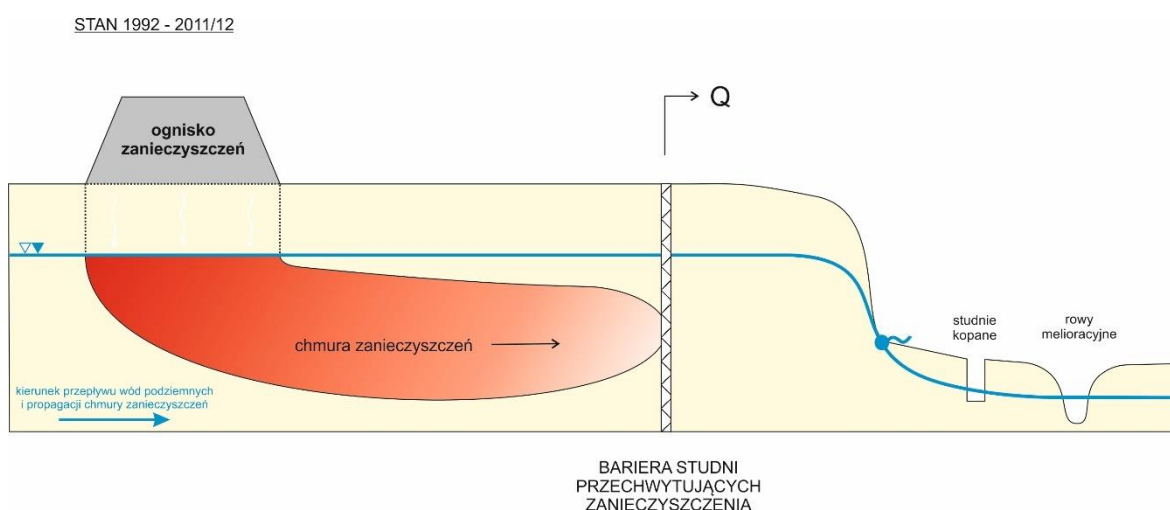
## 5. Wytyczne techniczno-eksploatacyjne dla skutecznej instalacji przechwytywania lub efektywnego ograniczania migracji zanieczyszczonych wód

Odbudowa i uruchomienie bariery studni przechwytyjących zanieczyszczenia migrujące ze składowiska opadów „Zielona” jest działaniem o charakterze priorytetowym i z uwagi na realne zagrożenie okolicznych mieszkańców powinno być podjęte bezzwłocznie czy nawet w trybie awaryjnym, przy maksymalnym uproszczeniu wszelkich koniecznych formalności.

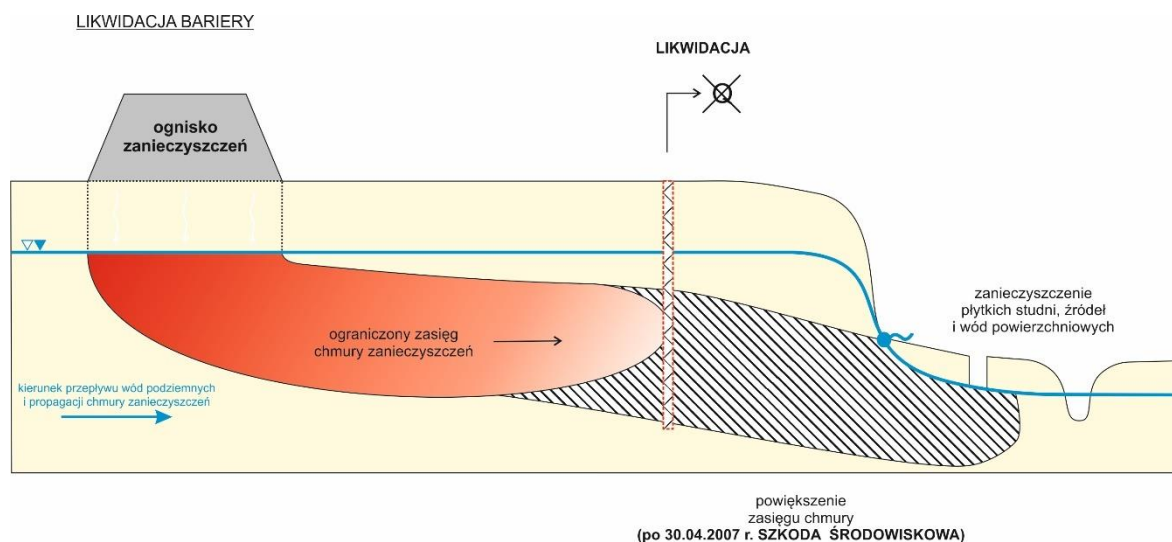
Bariera studni przechwytyjących pomimo wszystkich swoich mankamentów, przede wszystkim nieciągłej eksploatacji i jej wyłączania na okres zimowy oraz nieuzasadnionego obniżania wydajności do poziomu który nie zapewniał przejmowania strumienia zanieczyszczeń, generalnie ograniczała ilość substancji toksycznych w środowisku gruntowo-wodnym. Zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń nie było wprawdzie wysokie, ale istniały techniczne możliwości rozbudowy bariery i zwiększenie stopnia jej skuteczności (Rys. 4).

Aktualnie w związku z niepodjęciem działalności przez barierę w 2015 roku już od 2,5 roku zanieczyszczenia migrujące ze składowiska „Zielona” mogą swobodnie przemieszczać się na obszar terasy Wisły. Problem ten jest o tyle istotny, że chmura zanieczyszczeń ma tendencję dopływu do płytkich wód podziemnych i wód powierzchniowych, co stwarza zagrożenie dla korzystających z nich okolicznych mieszkańców (Rys. 5). Jak już wspomniano wielokrotnie elementy infrastruktury technicznej bariery przechwytywającej zostały zdemontowane a stan techniczny studni, ulegających postępującej dewastacji nie jest obecnie znany.

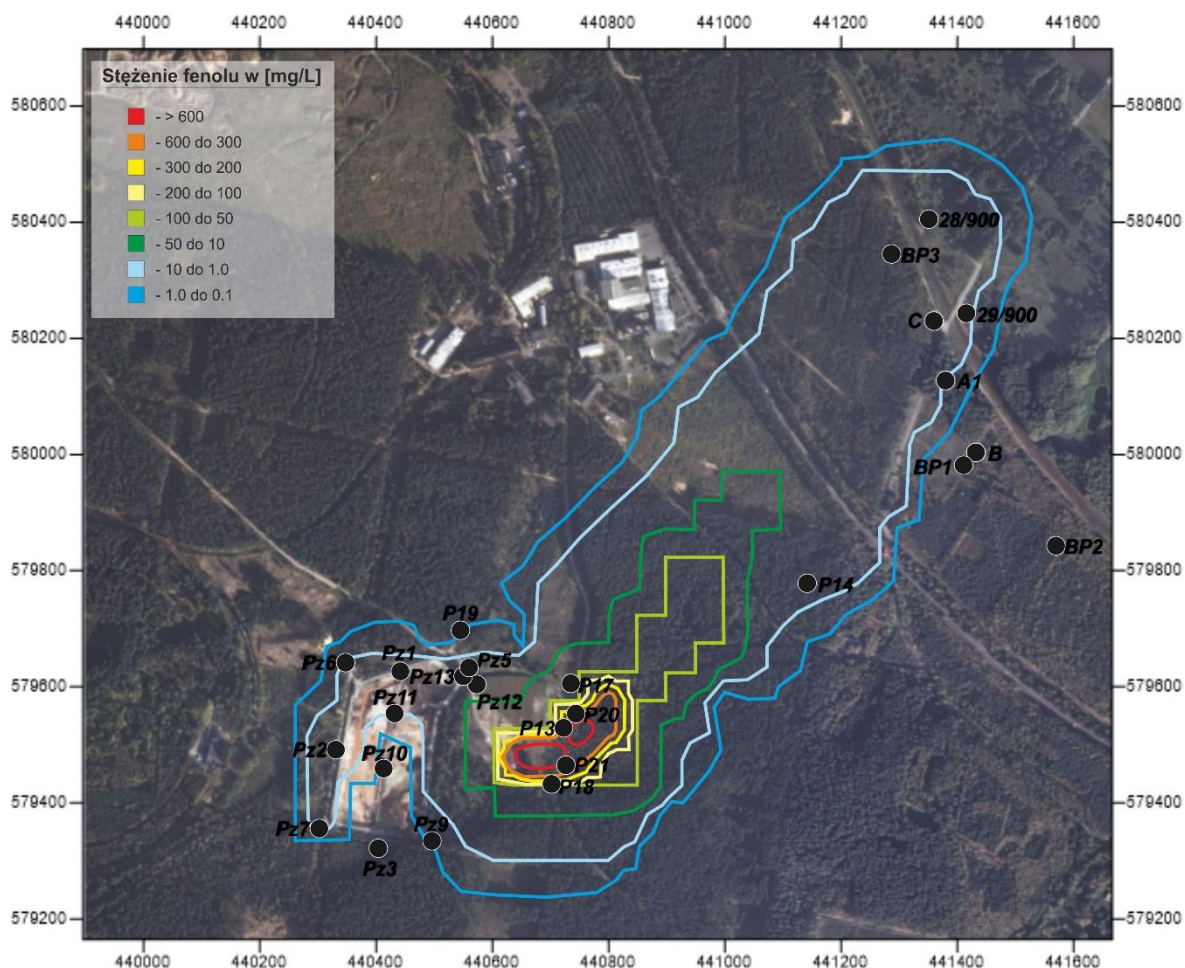
Wyniki badań modelowych zweryfikowanych na podstawie badań zanieczyszczenia wód podziemnych w studniach i piezometrach, wskazują, że front chmury zanieczyszczeń po wyłączeniu ujęcia barierowego przemieścił się istotnie w kierunku wschodnim (Rys. 6). Dalsze zwlekanie z uruchomieniem bariery skutkować będzie dalszą propagacją zanieczyszczeń, powiększaniem strefy zanieczyszczonych gruntów i wód podziemnych oraz eskalacją zagrożeń dla okolicznej ludności.



Rys. 4. Warunki funkcjonowania skutecznej bariery przechwytywającej zanieczyszczenia i ograniczającej zasięg chmury zanieczyszczeń



Rys. 5. Powiększenie zasięgu chmury zanieczyszczeń oraz zagrożenia dla płytkich studni, źródeł i wód powierzchniowych związane z likwidacją bariery studni przechwytyjących zanieczyszczenia



Rys. 6. Zasięg chmury fenoli zanieczyszczających wody podziemne w rejonie składowiska odpadów „Zielona” – na podstawie wyników badań modelowych



Wytyczne dla przywrócenia skutecznej bariery studni przechwytyjących są rozważane w nawiązaniu do dwóch wariantów jej wykonania. Kluczowe znaczenie dla właściwego funkcjonowania bariery ma:

- konieczność jej ciągłej eksploatacji (przez cały rok, bez przerw),
- minimalna sumaryczna wydajność eksploatacyjna na poziomie powyżej 27 m<sup>3</sup>/h (tj. 650 m<sup>3</sup>/d i 236,6 tys. m<sup>3</sup>/rok), która to wartość odpowiada strumieniowi wód podziemnych w przekroju chmury zanieczyszczeń ze składowiska odpadów „Zielona” przemieszczającym się w kierunku terasy Wisły.

**Wariant 1 – maksymalne wykorzystanie istniejącej infrastruktury technicznej tj. studni ujęciowych A1, B i C oraz infrastruktury technicznej dawnych ZCh „Zachem” w tym oczyszczalni „Kapuściska” przejętej przez Chemwik sp. z o.o.**

Wariant ten obejmuje uruchomienie bariery eksploatowanych w przeszłości studni A1, B i C z wydajnością 35 m<sup>3</sup>/h tj. nieco większa niż oszacowany przepływ strumienia zanieczyszczonych wód wynoszący około 30 m<sup>3</sup>/h, przy założeniu ciągłego pompowania wody przez cały rok. Ważnym elementem bariery jest system monitorowania jej pracy złożony z odpowiednio opomiarowanych sąsiednich piezometrów, w tym około 4-5 nowoodwierconych. Wody odpompowywane z bariery w założeniu mają być kierowane do oczyszczalni Chemwik sp. z o.o. (dawna oczyszczalnia „Kapuściska”) poprzez nowowyprowadzony rurociąg o sumarycznej długości około 2 km.

W wariantach tych konieczne jest:

- wykonanie projektu robót geologicznych dla potrzeb awaryjnego uruchomienia instalacji studni przechwytyjących uwzględniającego odwiercenie nowych piezometrów obserwacyjnych oraz docelowe wykonanie operatu wodno-prawnego dla potrzeb uzyskania pozwolenia wodno-prawnego na pompowanie zanieczyszczonych wód i ich zrzut po oczyszczeniu do wód powierzchniowych;

**koszt realizacji: 50 000 zł**

termin realizacji: 0-3 miesiąc, w tym 1-2 miesiące na przygotowanie i zatwierdzenie PRG

- wykonanie przeglądu technicznego studni A1, B i C w tym kamerownia dla potrzeb wiarygodnej oceny stanu otworów i ewentualna ich renowacja wraz z remontem obudowy i doprowadzeniem energii elektrycznej;

**koszt realizacji: 300 000 zł**

termin realizacji: 0-3 miesiąc

- zakup i zabudowa agregatów pompowych w studniach A1 (optymalna wydajność eksploatacyjna 15-20 m<sup>3</sup>/h), B (10-15 m<sup>3</sup>/h) i C (25-30 m<sup>3</sup>/h);

**koszt realizacji: 200 000 zł**

termin realizacji: 4-6 miesiąc



- wykonanie rurociągu łączącego studnie barierowe z terenem oczyszczalni „Kapuściska” o długości około 2000 m i średnicy około 150-200 mm wraz z projektem i koniecznymi uzgodnieniami (1 mb = 500 zł);

**koszt realizacji: 1 000 000 zł**

termin realizacji: 0-9 miesiąc

- odwiercenie 4-5 piezometrów w rejonie studni przechwytyjących zanieczyszczenia (głębokość do 20 m, średnica 100-120 mm, 1 mb wiercenia z zarurowaniem = 1500 zł - docelowo piezometry z zafiltrowaniem strefowym, wielopoziomowym);

**koszt realizacji: 150 000 zł**

termin realizacji: 4-6 miesiąc

- montaż czujników poziomu zwierciadła wody oraz wybranych parametrów fizykochemicznych wód w studniach ujęciowych i piezometrach;

**koszt realizacji: 150 000 zł**

termin realizacji: 6 miesiąc

- montaż systemu pomiarowego zawartości substancji organicznych w wodzie na wlocie do oczyszczalni oraz na zrzucie do odbiornika powierzchniowego;

**koszt realizacji: 150 000 zł**

termin realizacji: 6 miesiąc

- budowa dedykowanej instalacji do oczyszczania wód odprowadzanych przez studnie barierowe;

**koszt realizacji: 8 000 000 zł**

termin realizacji: 0-9 miesiąc

**SUMARYCZNY KOSZT BUDOWY INSTALACJI: 10 000 000 zł**

**BIEŻĄCA EKSPLOATACJA INSTALACJI z wydajnością do 35 m<sup>3</sup>/h tj. 300 000 m<sup>3</sup>/rok (szacunkowy koszt oczyszczenia 1 m<sup>3</sup> zanieczyszczonej wody = 50 zł) – 15 000 000 zł/rok**

**KOSZT BUDOWY I OBSŁUGI SYSTEMU:**

1 rok: 14 000 000 zł (10 mln zł – budowa instalacji + 4 mln zł – 3 miesięczna eksploatacja)

2 rok: 15 000 000 zł

3 rok: 15 000 000 zł

4 rok: 15 000 000 zł

5 rok: 15 000 000 zł

**KOSZT CAŁKOWITY (dla 5 lat): 74 000 000 zł**

**Mocne punkty rozwiązania:**

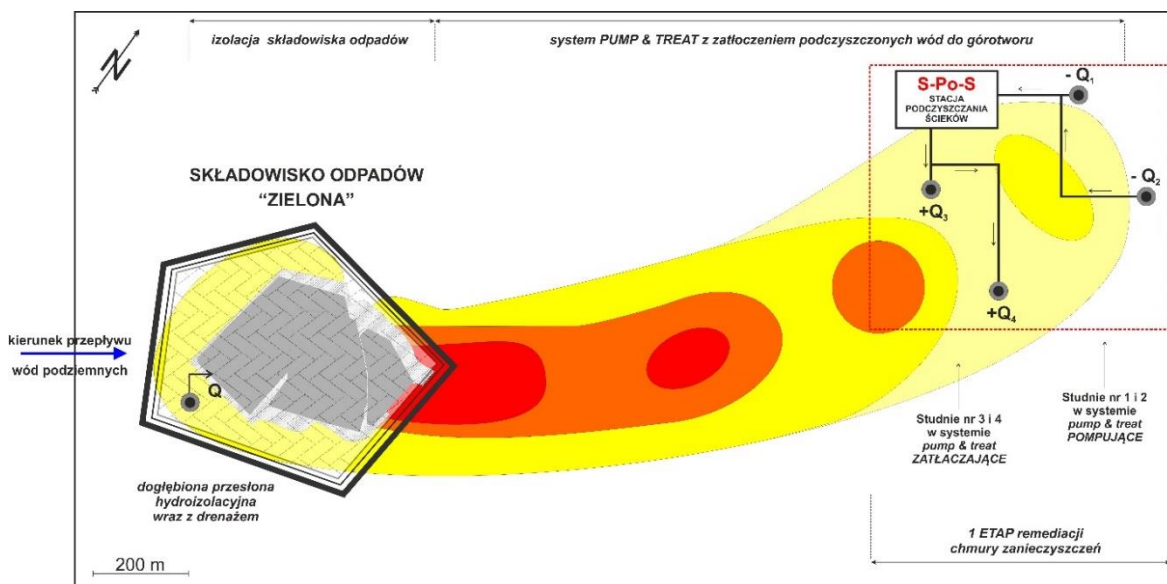
- a) maksymalne wykorzystanie istniejących obiektów,
- b) możliwość relatywnie szybkiej realizacji (do 9 miesięcy).

#### Słabe punkty rozwiązania:

- a) wysokie koszty rurociągu łączącego barierę z oczyszczalnią,
- b) najprawdopodobniej znaczne formalności w związku z budową rurociągu i jego prowadzeniem pod torami kolejowymi i możliwe znaczne opóźnienia w realizacji
- c) wysokie koszty oczyszczania wód w związku z ich odprowadzaniem do odbiorników powierzchniowych,
- d) możliwość istotnego zwiększenia kosztów oczyszczania wody, nawet do poziomu około 100 – 200 zł za 1 m<sup>3</sup>,
- e) stosunkowo niewielka wydajność systemu (35 m<sup>3</sup>/h, tylko o około 20% wyższa od obliczonego dopływu wód zanieczyszczonych – 27 m<sup>3</sup>/h),
- f) utrzymywanie „status quo” w zakresie warunków migracji chmury zanieczyszczeń, bez możliwości ograniczenia ładunku zanieczyszczeń w obrębie warstwy wodonośnej.

#### Wariant 2 – wykonanie nowego ujęcia barierowego złożonego z istniejących studni A1, B i C oraz nowego otworu D a także dwóch studni iniekcyjnych ST1 i ST2 wraz z dedykowaną jednostką podczyszczania wód (projekt InnoGREEN)

Wariant ten obejmuje uruchomienie nowej bariery przechwytującej złożonej z 2 grup studni: a) C i D – główne studnie oraz b) A1 i B – studnie wspomagające. Poszczególne grupy studni będą eksploatowane z sumaryczną wydajnością odpowiednio 35-40 m<sup>3</sup>/h oraz 10-15 m<sup>3</sup>/h, przy założeniu ciągłego pompowania wody przez cały rok.



Rys. 7. Schemat wariantu nr 2 w ramach technologicznej koncepcji remediacji obszaru

Ważnym elementem bariery jest system monitorowania jej pracy złożony z odpowiednio opomiarowanych sąsiednich piezometrów, w tym około 4-5 nowoodwierconych. Wody odpompowywane z głównych studni bariery (C i D) w założeniu mają być kierowane dedykowanej jednostki podczyszczania a następnie zatłaczane do górotworu poprzez studnie ST1. Z kolei wody

odprowadzane ze studni A1 i B będą z uwagi na stosunkowo niższy poziom zanieczyszczeń zatłaczane bez podczyszczania do górotworu za pośrednictwem studni ST2 (Rys. 7, 8).

Zastosowanie wariantu 2 dla bariery studni przechwytyjących zaplanowane jest w sposób umożliwiających rozpoczęcie skutecznej remediacji chmury zanieczyszczenia (I etap).

Remediacja ta przebiegać będzie z zastosowaniem techniki pump-and-treat (TP&T) zmodyfikowanej w celu ograniczenia nakładów finansowych. Odpompowanie chmury następować będzie etapowo dla autonomicznych paneli złożonych ze studni pompujących, jednostki podczyszczającej i studni zatłaczających (Rys. 7). Lokalizacja paneli (w tym studni D, ST1 i ST2) zostanie zaprojektowana po przeprowadzeniu badań uszczegóławiających, mających na celu potwierdzenie położenia frontu chmury zanieczyszczeń wód podziemnych ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”, w tym wykonaniu otworu pilotowego.

W wariantcie tym konieczne jest:

- wykonanie projektu robót geologicznych dla potrzeb awaryjnego uruchomienia instalacji studni przechwytyjących uwzględniającego odwiercenie nowych studni i piezometrów obserwacyjnych oraz docelowe wykonanie operatu wodno-prawnego dla potrzeb uzyskania pozwolenia wodno-prawnego na pompowanie zanieczyszczonych wód i ich wprowadzanie do górotworu;

**koszt realizacji: 50 000 zł**

termin realizacji: 0-3 miesiąc, w tym 1-2 miesiące na przygotowanie i zatwierdzenie PRG

- wykonanie przeglądu technicznego studni A1, B i C w tym kamerownia dla potrzeb wiarygodnej oceny stanu otworów i ewentualna ich renowacja wraz z remontem obudowy i doprowadzeniem energii elektrycznej;

**koszt realizacji: 300 000 zł**

termin realizacji: 0-3 miesiąc

- odwiercenie nowych studni D (pompowa) oraz ST1 i ST2 (iniekcyjne) (głębokość do 30 m, średnica 250 – 300 mm, długość filtra około 15 m – 1 mb wiercenia z zarurowaniem 1000 zł) wraz z doprowadzeniem energii elektrycznej do studni D

**koszt realizacji: 150 000 zł**

termin realizacji: 0-5 miesiąc

- zakup i zabudowa agregatów pompowych w studniach A1 (optymalna wydajność eksploatacyjna 10-15 m<sup>3</sup>/h), B (10-15 m<sup>3</sup>/h) oraz C i D (po 30-35 m<sup>3</sup>/h);

**koszt realizacji: 250 000 zł**

termin realizacji: 4-6 miesiąc

- wykonanie rurociągu łączącego studnie barierowe C i D z dedykowaną jednostką podczyszczania wód i studnią iniekcyjną oraz studnie barierowe A1 i B ze studnią iniekcyjną, sumaryczna długości około 750 m i średnicy około 150-200 mm wraz z projektem i koniecznymi uzgodnieniami (1 mb = 500 zł);

**koszt realizacji: 375 000 zł**

termin realizacji: 0-9 miesiąc

- odwiercenie 4-5 piezometrów w rejonie studni przechwytyjących zanieczyszczenia (głębokość do 20 m, średnica 100-120 mm, 1 mb wiercenia z zarurowaniem = 1500 zł - docelowo piezometry z zafiltrowaniem strefowym, wielopoziomowym);

**koszt realizacji: 150 000 zł**

termin realizacji: 4-6 miesięcy

- montaż czujników poziomu zwierciadła wody oraz wybranych parametrów fizykochemicznych wód w studniach ujęciowych i piezometrach;

**koszt realizacji: 150 000 zł**

termin realizacji: 6 miesięcy

- montaż systemu pomiarowego zawartości substancji organicznych w wodzie na wlocie do stacji podczyszczania wód oraz na odprowadzeniu wód do studni iniekccyjnej ST1;

**koszt realizacji: 175 000 zł**

termin realizacji: 6 miesięcy

- budowa dedykowanej instalacji do podczyszczania lub oczyszczania wód odprowadzanych przez studnie barierowe czy też ewentualne dostosowanie istniejących instalacji i urządzeń;

**koszt realizacji: 8 000 000 zł**

termin realizacji: 0-12 miesięcy

**SUMARYCZNY KOSZT BUDOWY INSTALACJI: 9 600 000 zł**

**BIEŻĄCA EKSPLOATACJA INSTALACJI** z wydajnością do 50 m<sup>3</sup>/h tj. 450 000 m<sup>3</sup>/rok (szacunkowy koszt podczyszczania 1 m<sup>3</sup> zanieczyszczonej wody = 30 zł) – **13 500 000 zł/rok**

**KOSZT BUDOWY I OBSŁUGI SYSTEMU:**

1 rok: 9 600 000 zł (tylko koszt budowy)

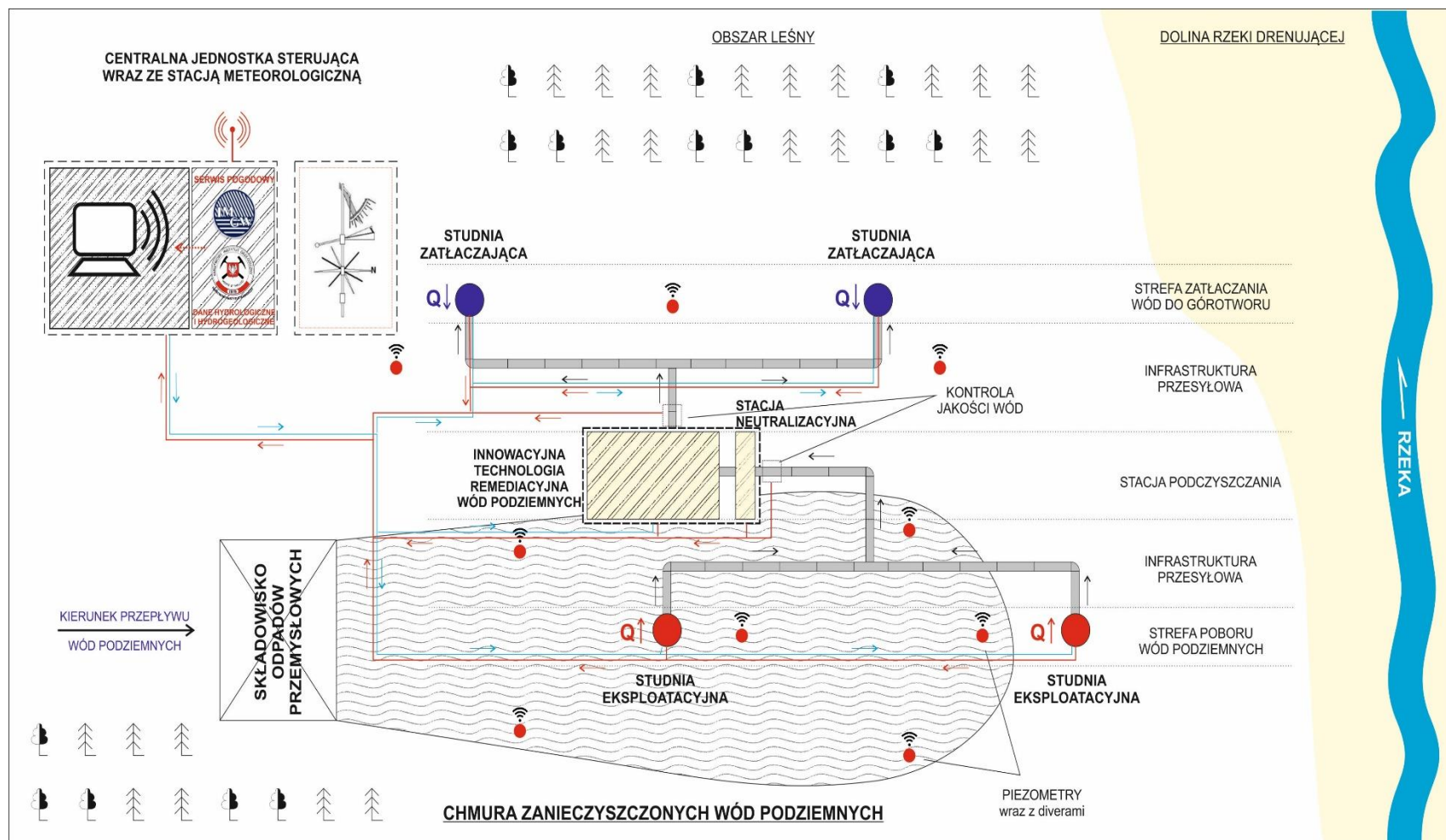
2 rok: 13 500 000 zł

3 rok: 13 500 000 zł

4 rok: 13 500 000 zł

5 rok: 13 500 000 zł

**KOSZT CAŁKOWITY (DLA 5 LAT): 63 600 000 zł**



Rys. 8. InnoGREEN – innowacyjny system remediacji środowiska gruntowo-wodnego dedykowany dla warunków w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”

**Mocne punkty rozwiązania:**

- a) maksymalne wykorzystanie istniejących obiektów,
- b) niższe koszty realizacji wariantu (około 5 mln zł),
- c) wyższa wydajność systemu ( $50 \text{ m}^3/\text{h}$ , blisko 2-krotnie wyższa niż dopływ zanieczyszczonych wód równy około  $27 \text{ m}^3/\text{h}$ )
- d) realizacja systemu bardziej elastycznego i możliwego do dalszego rozwijania tzn. zapewniającego nie tylko przejmowanie zanieczyszczeń, ale również ograniczenie ich ilości na znacznym obszarze chmury zanieczyszczeń (płynne przejście do docelowej remediacji chmury zanieczyszczeń),
- e) budowy elementów systemu w obszarach leśnych z dala od zabudowań mieszkalnych oraz innych elementów infrastruktury napowierzchniowej (drogi, linie kolejowe itp.), istotnie mniejsza długość koniecznych do wykonania rurociągów,
- f) niższe koszty podczyszczania wód i ich wykorzystanie do wymywania zanieczyszczeń z górotworu (zabsorbowanych w gruncie)

**Słabe punkty rozwiązania:**

- a) dłuższy przewidywany okres realizacji (do 12 miesięcy),
- b) najprawdopodobniej znaczne formalności w związku z budową dedykowanej stacji podczyszczania wód na obszarze leśnym,
- c) możliwość pewnego zwiększenia kosztów podczyszczania wody, do poziomu około 50-60 zł za  $1 \text{ m}^3$ .

## 6. Podsumowanie i wnioski

- I. Opracowanie niniejsze stanowi sprawozdanie z realizacji Etapu 2 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 dokonano oceny skuteczności systemów i instalacji wykonanych dotychczas dla potrzeb ograniczenia rozprzestrzeniania się w środowisku gruntowo-wodnym zanieczyszczeń ze składowiska odpadów „Zielona”. Najistotniejsze znaczenie w tym względzie miała ocena skuteczności działania nie istniejącej już obecnie bariery studni przechwytyjących chmurę zanieczyszczeń ze wspomnianego najpoważniejszego ogniska zanieczyszczeń na terenie dawnych Zakładów Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy.
- III. Ocena skuteczności funkcjonowania bariery studni przechwytyjących dokonana w ramach opracowania opiera się na tylko bardzo fragmentarycznych danych z ostatniego okresu działania w/w systemu w latach 2000-2014. Począwszy od 2015 r. ujęcie barierowe nie jest eksploatowane, zdemontowano agregaty pompowe w studniach i rozebrano rurociągi tłoczne oraz instalację elektryczną. W warunkach swobodnego dostępu osób postronnych obserwuje się postępującą dewastację studni ujęciowych, przy czym możliwe jest również ich zniszczenie lub znaczące uszkodzenie (m.in. poprzez zasypywanie wrzucanymi przedmiotami).
- IV. Głównymi zidentyfikowanymi mankamentami w eksploatacji ujęcia były: 1) jego okresowe działanie tylko w okresie kwiecień-listopad i wyłączanie w sezonie zimowym, 2) zbyt mała jego wydajność, niewystarczająca na przejęcie całego strumienia zanieczyszczeń (minimalna wydajność konieczna dla osiągnięcia tego celu oszacowana została na 236,6 tys. m<sup>3</sup>/rok), 3) nieuzasadnione zmniejszanie wydajności ujęcia od blisko 100 tys. m<sup>3</sup>/rok w latach 2000-2001 do poniżej 50 tys. m<sup>3</sup>/rok po roku 2010, 4) nieuzasadnione wyłączenie z eksploatacji studni A<sub>1</sub> po 2010 r.
- V. W ramach opracowania przeprowadzono również ocenę skuteczności ścianki szczelnej i towarzyszącego jej systemu drenażu wykonanych w rejonie składowiska odpadów „Zielona” dla potrzeb ograniczenia migracji zanieczyszczeń z tego ogniska. Na podstawie danych z badań próbek wody w piezometrach w rejonie w/w instalacji można stwierdzić, że nie spełnia ona założonych celów. Wynika to najprawdopodobniej z jej niedogłębienia do stropu utworów nieprzepuszczalnych i braku eksploatacji pompowni odprowadzającej zanieczyszczone wody podziemne z równoległego do niej systemu drenażowego do systemu kanalizacyjnego i oczyszczalni ścieków. Dodatkowo nie bez znaczenia w tym względzie są też inne powody tj. generalnie zła lokalizacja i zbyt mała długość ścianki. W warunkach, gdy po jej wschodniej stronie nie podjęto żadnych działań remediacyjnych, stężenia zanieczyszczeń w tej strefie występują na poziomie zbliżonym jak po jej zachodniej stronie. Mało tego stężenia zanieczyszczeń były by takie same lub podobne w warunkach bez ścianki szczelnej.



- VI. W opracowaniu przedstawiono wytyczne techniczno-eksploatacyjne dla skutecznej, nowej instalacji złożonej ze studni przechwytyjących i jednostki oczyszczania wód, której celem jest możliwie maksymalne ograniczenie rozprzestrzeniania się w obrębie środowiska gruntowo-wodnego, zanieczyszczeń ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona”. Analiza ta przedstawiona została dla dwóch wariantów instalacji: a) Wariant 1 - z maksymalnym wykorzystaniem istniejącej infrastruktury oraz b) Wariant 2 – z wykonaniem innowacyjnego systemu pompowania-oczyszczania-zatłaczania dedykowanego dla warunków na omawianym obszarze.
- VII. Zatłaczanie wód podczyszczonych (o zredukowanym poziomie zanieczyszczeń) do górotworu ma na celu stworzenie bariery hydraulicznej i zatrzymanie propagacji chmury zanieczyszczeń ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” oraz co najważniejsze oczyszczanie gruntów z zasorbowanych na nich zanieczyszczeń poprzez ich sukcesywne „przepłukiwanie” wodą o coraz lepszej jakości. Parametry jakościowe podczyszczanych wód, zatłaczanych powrotnie do górotworu zostaną określone w ramach projektu szczegółowego instalacji i z całą pewnością nie będą powodować wtórnego zanieczyszczenia środowiska. Należy podkreślić, że realizacja wariantu 2 dla funkcjonowania bariery przechwytyjącej zanieczyszczenia stanowi pierwszy etap dla kompleksowej remediacji całego omawianego obszaru (przedstawionej w ramach realizacji Etapu I), gdzie poszczególne panele studni pompujących i zatłaczających będą sukcesywnie zbliżać się do składowiska „Zielona”.
- VIII. Żaden z zaproponowanych wariantów uruchomienia bariery studni przechwytyjących (wariant 1 i 2) nie eliminuje całkowicie występującego zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego, ale nie taki jest cel w/w działań. Przywrócenie funkcjonowania bariery drenażowej ma tylko i wyłącznie na celu doraźną ochronę obszaru terasy Wisły i zatrzymanie propagacji chmury zanieczyszczeń ze składowiska „Zielona”. W związku z wykorzystaniem płytkich wód podziemnych przez zamieszkujących w/w obszar mieszkańców, nie można dopuścić do ich dalszej degradacji i należy podjąć jak najszybsze działania dla ich aktywnej ochrony czy też przywrócenia działalności środków ich ochrony. Wyeliminowanie zanieczyszczeń ze środowiska zakładają natomiast warianty kompleksowej remediacji w/w składowiska wraz z towarzyszącą mu chmurą zanieczyszczeń, przedstawione w ramach etapu I.
- IX. Dla potrzeb realizacji skutecznego systemu ograniczania rozprzestrzeniania się w środowisku gruntowo-wodnym zanieczyszczeń ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” rekomenduje się Wariant 2. Zakłada on konieczność ciągłej eksploatacji systemu (przez cały rok, bez przerw) z sumaryczną wydajnością eksploatacyjną  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  na poziomie blisko dwukrotnie wyższym niż, niż wartość odpowiadająca strumieniowi wód podziemnych w przekroju chmury zanieczyszczeń ze składowiska odpadów „Zielona” przemieszczającemu się w kierunku terasy Wisły (tj.  $27 \text{ m}^3/\text{h} = 650 \text{ m}^3/\text{d} = 236,6 \text{ tys. m}^3/\text{rok}$ ).
- X. Wariant 2 z racji tylko podczyszczania odpompowywanych z górotworu wód podziemnych i ich ponownego zatłaczania do strefy zanieczyszczonego środowiska gruntowo-wodnego jest bardziej korzystny pod względem ekonomicznym a koszty budowy instalacji wraz z kosztami jej eksploatacji dla przyjętego 5 letniego okresu rozliczeniowego wynoszą 63,6 mln zł i są o ponad 10 mln zł niższe niż oszacowane dla Wariantu 1.

- XI. Wariant 2 jest również bardziej korzystny pod względem parametrów efektywności, gdyż poprzez oczyszczanie fragmentu chmury zanieczyszczeń stanowi pierwszy etap dla jej całościowej remediacji. W tym kontekście rozważany Wariant 1 jest znacznie mniej korzystny, gdyż ma na celu tylko przejmowanie dopływających zanieczyszczeń co skutkuje jedynie utrzymywaniem „status quo” w zakresie stanu zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego na omawianym obszarze
- XII. System *InnoGREEN* został zaprojektowany dla warunków lokalnych w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” w ramach współpracy AGH z wiodącymi przedsiębiorstwami wyspecjalizowanymi w procesach remediacji wód podziemnych i oczyszczania ścieków przemysłowych, w tym z przemysłu chemicznego. System w zakresie poszczególnych jego elementów składowych, w tym jednostki oczyszczającej składa się z modułów przetestowanych w realnych warunkach. Całość instalacji z uwagi na jej nowy i innowacyjny charakter nie była testowana w warunkach rzeczywistych tj. na terenie dawnych ZCh „Zachem” w Bydgoszczy, ale podejmowane są działania dla uruchomienia tego typu badań w ramach projektów B+R.
- XIII. Koszty dedykowanej jednostki dla oczyszczania/podczyszczania wód oszacowano na podstawie wyceny przygotowanej przez firmę wyspecjalizowaną w procesach remediacji wód podziemnych i oczyszczania ścieków przemysłowych, dla potrzeb planowanego projektu B+R. Koszt ten uwzględnia jedynie nakłady na wytworzenie instalacji bez nakładów na jej eksploatację w zakładanym okresie 5 lat, które zostały uwzględnione w kosztach ponoszonych w związku z oczyszczaniem/podczyszczaniem wód. W ramach instalacji oczyszczania/podczyszczania wód wykorzystane zostaną moduły opierające się na procesach jednostkowych: flokulacji, flotacji, utleniania medium gazowym i cieplnym, filtracji i sorpcji.
- XIV. W związku z bardzo korzystnymi parametrami hydrogeologicznymi na omawianym obszarze obserwuje się dużą dynamikę migracji zanieczyszczeń, które w warunkach likwidacji ujęcia barierowego mają niczym nie ograniczoną możliwość przemieszczania się na obszar terasy Wisły, gdzie okoliczna ludność korzysta z płytko zalegających wód podziemnych oraz wód powierzchniowych. Brak działań w zakresie uruchomienia skutecznego systemu przechwytywania zanieczyszczeń migrujących ze składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” na obszar terasy Wisły stwarza istotne zagrożenie dla zdrowia jego mieszkańców. Mając powyższe na uwadze działania zmierzające do odtworzenia ochronnej funkcji bariery studni przechwytyjących zanieczyszczenia powinny być traktowane jako priorytetowe.

## 7. Literatura

1. Andrzejewski W., 2011 – Raport sozologiczny z analizą odpadów. Geoprogram. Bydgoszcz
2. Kuberski D., Kuśmierski K., Celejowska – Tokar P., 2009 - Raport roczny z obserwacji i kontroli wód podziemnych (monitoringu lokalnego) w rejonie tzw. barierowego ujęcia wody Zakładów Chemicznych ZACHEM S.A. w Bydgoszczy w roku 2008. Warszawa
3. Pietrucin D., 2015 - Migracja zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych w środowisku wodnym, na przykładzie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” w Zakładach Chemicznych „Zachem” w Bydgoszczy. Rozprawa doktorska. Kraków
4. Smarzyński A., Sadowski O., 2005 – Ujęcie barierowe jako element systemu przejmującego zanieczyszczone wody gruntowe z rejonu składowisk przy ul. Zielonej w Bydgoszczy. Hydrogeologia Kujaw i Dolnego Powiśla. Przewodnik Sesji terenowych. Toruń
5. Technologia, 1993 – Technologia utylizacji wód z ujęcia „barierowego”. Praca badawcza zespołu Wydziału Badawczego Zakładów Chemicznych „Organika – Zachem” w Bydgoszczy
6. Ułanowicz M., 1992 – Dokumentacja hydrogeologiczna i projekt badań hydrogeologicznych ujęcia barierowego Zakładów Chemicznych w Bydgoszczy przy ul. Płątnowskiej, Przedsiębiorstwo Geologiczne Zakład w Gdańsku. Gdańsk
7. Zaleski A., 1997 – Aneks do dokumentacji hydrogeologicznej ujęcia wód podziemnych z utworów czwartorzędowych – wykonanie otworu zastępczego A1 oraz likwidacja studni A na terenie ujęcia „barierowego” Zakładów Chemicznych „Organika – Zachem” przy ul. Płątnowskiej w Bydgoszczy, Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne Sp. z o.o. w Gdańsku. Gdańsk

## Spis rysunków

Rys. 1. Lokalizacja składowiska „Zielona” oraz elementów instalacji wykonanych w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia, przedstawiona na ortofotomapie.....	6
Rys. 2. Lokalizacja składowiska „Zielona” oraz elementów instalacji wykonanych w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia, przedstawiona na ortofotomapie.....	6
Rys. 3. Ilości zanieczyszczonych wód podziemnych odpompowanych z poszczególnych studni ujęcia barierowego, w latach 2000-2014 .....	11
Rys. 4. Warunki funkcjonowania skutecznej bariery przechwytyjącej zanieczyszczenia i ograniczającej zasięg chmury zanieczyszczeń .....	13
Rys. 5. Powiększenie zasięgu chmury zanieczyszczeń oraz zagrożenia dla płytkich studni, źródeł i wód powierzchniowych związane z likwidacją bariery studni przechwytyjących zanieczyszczenia .....	14
Rys. 6. Zasięg chmury fenoli zanieczyszczających wody podziemne w rejonie składowiska odpadów „Zielona” – na podstawie wyników badań modelowych.....	14
Rys. 7. Schemat wariantu nr 2 w ramach technologicznej koncepcji remediacji obszaru .....	17
Rys. 8. InnoGREEN – innowacyjny system remediacji środowiska gruntowo-wodnego dedykowany dla warunków w rejonie składowiska odpadów przemysłowych „Zielona” .....	20

## Spis tabel

Tabela 1. Parametry techniczne studni ujęcia barierowego na rok 2005 (Smarzyński, 2005).....	5
Tabela 2. Wyniki analiz chemicznych wód podziemnych z sieci monitoringowej ujęcia barierowego.	9
Tabela 3. Wybrane wyniki analiz chemicznych wód podziemnych z piezometrów 29/900, BP1 i BP3 .....	10

## Spis załączników

Załącznik nr 1. Karta otworu ujęcia barierowego A <sub>1</sub>	
Załącznik nr 2. Karta otworu ujęcia barierowego B	
Załącznik nr 3. Karta otworu ujęcia barierowego C	

