



**W Y N I K I**  
**I N T E R P R E T A C J I**  
**badan geofizycznych i inspekcji telewizyjnej**  
**w studni głębinowej nr 2**  
**na ujęciu wód podziemnych**  
**SUW „Zachodnia” w Milanówku**

**Inwestor** : **Milanowskie Przedsiębiorstwo**  
**Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o.**  
ul. Spacerowa 4  
**05-822 Milanówek**

**Zlecniodawca** : **HYDROEKO - Biuro Poszukiwań i**  
**Ochrony Wód Sp. z o.o.**  
ul. Wąwozowa 25 lok. 48  
**02-796 Warszawa**

**Wykonawca** : **BLWM Sp. z o.o.**  
ul. Kozuchowska 20c  
**65-364 Zielona Góra**

**Numer projektu** : **0270**

**Opracowanie** : mgr Renata Górka      dr Tomasz Górka

## 1 Cel badań

Na podstawie umowy nr 0270/III/23 z dnia 19.04.2023 r. oraz oferty nr 0270/III/23/c z dnia 31.03.2023 r. firmie BLWM Sp. z o.o. powierzono zadanie wykonania badań geofizycznych i inspekcji telewizyjnej w studni głębinowej nr 2, zlokalizowanej na ujęciu wód podziemnych „SUW Zachodnia” w Milanówku. Celem badań była kompleksowa diagnostyka stanu technicznego otworu, z uwzględnieniem stopnia skorodowania kolumny rur okładzinowych, wypełnienia przestrzeni pierścieniowej za kolumną oraz rozkładu dopływów wód podziemnych do filtra. Badania obejmowały również realizację inspekcji telewizyjnej w warunkach dynamicznych, umożliwiającą analizę sygnalizowanego przez Zamawiającego problemu, tj. intensywnego piaszczenia z odcinka czynnego.

## 2 Lokalizacja

- **Kraj** : Polska
- **Województwo** : mazowieckie
- **Powiat** : grodziski
- **Miejscowość** : Milanówek
- **Współrzędne geogr.** : N 52°07'40" E 20°39'25"

## 3 Informacje wstępne

### Dane zlecniodawcy

- Zlecniodawca udostępnił kartę otworu wiertniczego, zawierającą dokumentację konstrukcyjną studni, litologiczny szkic przewierconych warstw geologicznych, wyniki badań i obliczeń hydrogeologicznych dla ujętej otworem warstwy wodonośnej, rodzaj i średnicę stosowanych narzędzi wiertniczych oraz informację dot. położenia zwierciadła wód podziemnych na czas realizacji wierceń.
- Odniesione do poziomu terenu dane głębokościowe z dokumentacji konstrukcyjnej studni zostały zachowane w niniejszej dokumentacji geofizycznej.
- Poniższe informacje zostały zaczerpnięte z karty otworu:

Średnica wiercenia : Wiercenie udarowo-okrętne w rurach  $\varnothing 20'' / \varnothing 18''$   
Rok budowy : 1979

Konstrukcja otworu : 0 - 22,0 m kolumna rur  $\varnothing 20''$   
0 - 45,0 m kolumna rur  $\varnothing 18''$  (usunięta z otworu)  
15,1 - 30,6 m rura nadfiltrowa  $\varnothing 14''$   
30,6 - 42,0 m filtr  $\varnothing 14''$  (złącze na głęb. ~ 37,5 m)  
42,0 - 45,0 m rura podfiltrowa  $\varnothing 14''$

Funkcja : Otwór ujmujący wodę pitną z pokładów czwartorzędu  
Rzędna wysokościowa : Poziom powierzchni terenu (p.t.) = 102,325 m n.p.m.

#### Dane zleceniobiorcy

Zwierciadło statyczne : 7,65 m p.p.t. (16.05.2023 podczas pracy studni nr 3)  
4,94 m p.p.t. (17.05.2023 podczas postoju studni nr 3)  
Głowica studzienna : 0,31 m n.p.t.

#### 4 Informacje dotyczące badań geofizycznych

- **Data pomiaru** : 16./17.05.2023
- **Punkt odniesienia** : poziom terenu
- **Rejestracja danych** : MZ / RG
- **Jednostka / aparatura** : M48 / Antares
- **Pomiary do głębokości** : 39,7 m
- **Program pomiarowy** :

TV-0	:	Inspekcja telewizyjna (w stanie spoczynku)
TV-1	:	Inspekcja telewizyjna (podczas pompowania)
CAL	:	Profilowanie średnicy
EMDS	:	Defektoskopia elektromagnetyczna
GR	:	Profilowanie gamma naturalne
NEUT	:	Profilowanie neutron-neutron
DENS	:	Profilowanie gamma-gamma gęstościowe
FLOW	:	Profilowanie przepływomierzem produkcyjnym
SAL	:	Profilowanie przewodności
TEMP	:	Profilowanie temperatury
- Zrealizowane badania diagnostyczne objęły statyczne badania geofizyczne (CAL, EMDS, GR, NEUT, DENS, FLOW-0-1/2, SAL/TEMP-0-1/2), badania podczas pompowania z wydajnością  $\sim 11,0 \text{ m}^3/\text{h}$  (FLOW-1-1/2, SAL/TEMP-1-1/2) oraz inspekcję telewizyjną w warunkach statycznych i dynamicznych. Pompowanie podczas badań hydrodynamicznych zostało w pełni zrealizowane przez MPWiK w Milanówku.
- Pomiary zestawem sond produkcyjnych realizowano wieloetapowo, wykonując pomiary w kierunku dna otworu z prędkością  $\sim 10 \text{ m/min}$ . Zarejestrowane krzywe z profilowania przepływomierzem produkcyjnym zostały skorygowane względem prędkości przemieszczania się urządzenia w otworze i średnicy wewnętrznej rur oraz przeliczone i przedstawione w jednostkach natężenia przepływu słupa wody [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].
- Pomiary przewodności elektrolitycznej (SAL) zostały przeliczone do stałej temperatury wynoszącej  $25^\circ\text{C}$ .
- Pomiar grubości ścian orurowania stalowego (defektoskopia elektromagnetyczna EMDS) jest pomiarem względnym co do odcinka orurowania o znanej grubości lub o grubości, która może zostać oszacowana z dużym prawdopodobieństwem. Z tego względu, jako przedział odniesienia dla badanego orurowania  $\varnothing 20''$  został wybrany odcinek referencyjny 8,0 - 9,0 m, w którym zarejestrowano najbardziej stałe sygnały pomiarowe. Na podstawie porównania danych kalibracyjnych, grubość ściany orurowania  $\varnothing 20''$  w tym interwale została wyznaczona na 11 mm. Wynik ten został skonfrontowany z normami dla rur o takiej samej średnicy oraz ustalony na podstawie różnicy pomiędzy wewnętrzną średnicą rur z profilowania CAL a zewnętrzną średnicą nominalną. Dla dokładniejszego

zobrazowania wyników, obok krzywej grubości ścian rur stalowych EMDS.WT [%] zostały przedstawione krzywe danych nieprzetworzonych z cewki A.

- Pomędzy pomiarami geofizycznymi a inspekcją TV występują niewielkie różnice głębokości, które są uwarunkowane technicznie. Z uwagi na wyższą dokładność rejestratora głębokości wyciągu do badań geofizycznych, jest ona traktowana jako referencyjna.
- Poniższa tabela przedstawia przebieg pomiarów geofizycznych oraz prac im towarzyszących. Skróty nazw poszczególnych profilowań odpowiadają indeksom przedstawionym na diagramach (objaśnienie skrótów patrz rozdz. 8).

• **Przebieg pomiarów** :

<b>16.05.2023</b>		
Badania statyczne przed pompowaniem	14:25	Mobilizacja jednostki pomiarowej i przygotowanie do badań
	14:35	Pomiar zwierciadła wód podziemnych = 7,65 m
	14:40	TV-0
	15:32	CAL
	15:48	GR
	16:03	NEUT

<b>17.05.2023</b>		
Badania statyczne przed pompowaniem	07:50	Mobilizacja jednostki pomiarowej i przygotowanie do badań
	07:55	Pomiar zwierciadła wód podziemnych = 4,94 m
	08:03	FLOW.Q/SAL/TEMP-0-1
	08:14	FLOW.Q/SAL/TEMP-0-2+ pomiar kalibracyjny
	08:18	Zaprogramowanie i montaż rejestratora ciśnieniowego

Badania dynamiczne podczas pompowania	08:20	Montaż pompy na głębokości ~ 12 m
	08:46	Pomiar zwierciadła wód podziemnych = 4,80 m
	08:54	Rozpoczęcie pompowania z wydajnością ~ 11 m <sup>3</sup> /h
	08:58	Regulacja pompy i zmiana wydajności pompowania
	09:02	Pomiar zwierciadła wód podziemnych = 10,40 m
	09:05	Pomiar zwierciadła wód podziemnych = 10,60 m
	09:10	FLOW.Q/SAL/TEMP-1-1 oraz FLOW.Q/SAL/TEMP-1-2
	09:20	Wyłączenie pompy i stabilizacja zwierciadła
	09:23	Demontaż pompy
	09:45	Pomiar zwierciadła wód podziemnych = 4,94 m
	10:09	Ponowny montaż pompy na głębokości ~ 12 m
	10:21	Rozpoczęcie pompowania
	10:30	TV-1
	10:40	Wyłączenie pompy i stabilizacja zwierciadła
	10:55	Demontaż pompy

Badania statyczne	11:26	DENS-S/-L
	11:45	EMDS
	12:15	Zakończenie pomiarów i demobilizacja jednostki pomiarowej

Tab. 1 Przebieg badań geofizycznych oraz prac im towarzyszących

## 5 Wyniki badań geofizycznych

Wszystkie pomiary geofizyczne oraz wyniki ich interpretacji zostały graficznie przedstawione na załączonym diagramie, stanowiącym integralną część dokumentacji z badań (Dok. 2). Dodatkowo zaprezentowano na nim wybrane kadry z przeprowadzonej w otworze inspekcji telewizyjnej. Wyniki badań dają się podsumować w następujący sposób:

### 5.1 Litologia

- Z uwagi na stalową konstrukcję studni oraz związany z tym brak możliwości wykorzystania technik elektrometrycznych, weryfikacja profilu litologicznego ogranicza się wyłącznie do oceny litologii na podstawie wskaźnika zailenia. W kontekście strefowej wydajności otworu, mechanicznej kolmatacji materiałem drobnoziarnistym, ewentualnego napływu wód o podwyższonej mętności, w tym piaszczenia i pylenia z warstwy wodonośnej, jest to jednak ważny parametr analizowanej wzdłuż profilu formacji skalnej.
- Na podstawie przeprowadzonych badań GR ocenić można, że w zmierzonym interwale wykształcenie litologiczne w znacznym stopniu pokrywa się z opisanym w karcie otworu profilem geologicznym. Zarejestrowane krzywe pomiarowe potwierdzają występowanie w górnych partiach odcinka warstw o dominacji składników sypkich (opisanych w karcie otworu jako piaski drobnoziarniste, lokalnie pylaste). Poniżej głębokości ~ 18,6 m, a w szczególności ~ 21,6 m, zaznacza się wzrost udziału materiału drobnoziarnistego, w tym frakcji pylasto – ilastych, które tworzą pakiet utworów słaboprzepuszczalnych, opisanych jako gliny zwałowe, miejscowo zwarte. Ich spąg, a zarazem strop ujętej otworem warstwy wodonośnej jest przy tym niejednoznaczny, jako że w górnym odcinku zawiera ona znaczną ilość frakcji drobnych, natomiast gliny są silnie piaszczyste. Ocenia się, że granica obu wydzieleni litologicznych znajduje się na poziomie ~ 28,4 m, przez co wypadać może nieco płycej niż wskazuje na to dokumentacja z wierceń.
- W obrębie warstwy wodonośnej, wysokie rejestrowane wartości mierzonego współczynnika API potwierdzają obecność formacji klastycznych o podwyższonym zaileniu (tj. piasków drobnoziarnistych, lokalnie pylastych) do poziomu ~ 38,0 m. Poniżej obserwuje się nieznaczny spadek wskaźnika zailenia. Podwyższone wartości krzywej GR na tym odcinku może mieć dodatkowo podłoże w procesach kolmatacji mechaniczno-chemicznej (co potwierdza przeprowadzona w otworze inspekcja telewizyjna).
- Podsumowując, w zmierzonym odcinku, ujętą filtrem warstwę budują w głównej mierze piaski o stosunkowo jednorodnym charakterze wykształcenia, jednak wysokiej, zawartości frakcji drobnych. Dolna część filtra nie została jednak objęta pomiarami, co było wynikiem zasypu, jaki utworzył się w jego obrębie na głębokości ~ 39,7 m. Ogólnie można ocenić, że opis wykształcenia litologicznego górotworu w badanym odcinku został podczas realizacji prac wiertniczych przeprowadzony skrupulatnie, choć mało szczegółowo.

### 5.2 Orurowanie i konstrukcja otworu

- Orurowanie studni nr 2 zostało badane technikami CAL, EMDS oraz pośrednio DENS-S. Otwór został skonstruowany w następujący sposób:
  - łącznik ze stali nierdzewnej (po rekonstrukcji obudowy studziennej),
  - kolumna stalowych rur okładzinowych  $\varnothing 20''$ ,
  - kolumna filtrowa  $\varnothing 14''$ ,

- Konstrukcja i stan techniczny otworu studziennego został podsumowany w poniższych podrozdziałach.

#### *Kolumna rur okładzinowych Ø 20"*

- Do poziomu ~ 13,4 m wykresy nieprzetworzonych danych z defektoskopii elektromagnetycznej EMDS (cewka A, element A1 do A9) charakteryzują się stosunkowo regularnym, choć głębokościowo zmiennym w rejestrowanych wartościach [mV], przebiegiem krzywych. W poszczególnych odcinkach orurowania blokowo pojawiają się niewielkie zmiany poziomu sygnału, co może wskazywać na pierwotne (już na etapie wierceń) nieznaczne różnice w grubości ścianki kolumny.
- Po przeliczeniu danych wyjściowych EMDS, kolumna rur stalowych Ø 20" w zmierzonym odcinku rury okładzinowej (do ~ 13,4 m) wykazuje nieznaczne odchylenia od referencyjnych wartości grubości ścianek. Ograniczają się one do całych odcinków rur i są przez to uwarunkowane materiałowo (użyto rur o nominalnie różnych wartościach grubości ścianki ± wahania związane z tolerancją materiałową). Lokalnie, szczególnie w górnych partiach kolumny (~ do 5,0 m) mogą nakładać się na nie redukcje o podłożu korozyjnym. Najbardziej grubościenny odcinek kolumny zaobserwowano w interwale ~ 5,0 – 10,6 m. W nim zanotowano najwyższą wartość mierzonego parametru. Najniższe wartości grubości zarejestrowano w strefie ~ 10,6 – 13,4 m. W odcinku tym zmierzona wartość stanowi redukcję o max. ~ 18% w stosunku do najgrubszego odcinka kolumny. Na całym zmierzonym odcinku rury okładzinowej ubytek masy stali można zatem uznać za mały do bardzo małego, biorąc szczególnie pod uwagę pierwotny okres oddania otworu do eksploatacji. Należy przy tym wziąć pod uwagę to, że korozje punktowe oraz uszkodzenia takie jak pęknięcia i rysy mniejsze od ¼ obwodu rury nie są wykrywalne za pomocą techniki EMDS.
- Według profilowania średnicy (CAL) w interwale od 1,8 m do 14,1 m wewnętrzna średnica rur okładzinowych Ø 20" waha się w zakresie ~ 478 do 486 mm. Na odcinku do ~ 1,8 m, w którym zabudowa obejmuje łącznik ze stali nierdzewnej, wzrasta ona do ~ 505 mm.
- Złącza rurowe w obrębie kolumny rur okładzinowych zostały zlokalizowane na następujących głębokościach (~): 5,0 m; 10,6 m.

#### *Kolumna filtrowa Ø 14"*

- Krawędź rury nadfiltrowej zlokalizowano na poziomie ~ 14,1 m p.p.t. Umiejscowiona jest ona stosunkowo centrycznie w obrębie kolumny rur okładzinowych.
- Kolumna filtrowa skonstruowana jest w następujący sposób:

14,1 - 29,3 m	Rura nadfiltrowa, Ø wewn. ~ 327 – 340 mm, skonstruowana z dwóch odcinków rur pełnych stalowych o długości ~ 7,6 m każdy
29,3 - 39,7 m	Filtr, Ø wewn. ~ 332 – 338 mm, skonstruowany z dwóch odcinków stalowych rur perforowa- nych otworowo ze złączem na głębokości ~ 36,9 m; dolna część jest zasypana – nie osiągnięto dolnej krawędzi filtra
- Na podstawie profilowania średnicy rur (CAL) stwierdzić można, że powierzchnia rur do poziomu ~ 29,3 m jest chropowata, a lokalnie obserwuje się zawężenia średnicy, będące

wynikiem obecności twardych pokryw inkrustacyjnych, głównie występujących w obrębie drugiego odcinka kolumny.

- Studnia dla poszczególnych sond pomiarowych drożna była do głębokości  $\sim 39,7$  m, na której zarejestrowano zawężenie średnicy, spowodowane obecnością zasypu. Sonda nie zanurzyła się w obręb zasypu, przez co można sądzić, że zasyp jest uformowany z twardego materiału klastycznego. Jeżeli, zgodnie z przedłożoną dokumentacją, w otworze zabudowano rurę podfiltrową o długości  $\sim 3,0$  m, a dolna część filtra wynosi  $\sim 4,4$  m, to w obrębie orurowania znajduje się  $\sim 4,6$  m osadów.
- Elementy kolumny (w szczególności górna krawędź filtra oraz rury nadfiltrowej) znajdują się na nieco odmiennej głębokości niż dokumentowana w karcie otworu. Różnica w ich posadowieniu wynosi odpowiednio  $\sim 1,3$  m i  $\sim 1,0$  m, co po części może być efektem obrania nieco różnego punktu odniesienia na czas realizacji robót wiertniczych i badań geofizycznych. Dolna krawędź filtra, z powodu zasypu, nie została osiągnięta pomiarami.
- Materiał z którego są wykonane rury kolumny oraz ich średnica zgadzają się z dokumentacją archiwalną. Średnica wewnętrzna w obrębie kolumny filtrowej jest jednak mocno nieregularna, co świadczy o obecności twardych inkrustacji na powierzchni ścian, a co potwierdza zapis zrealizowanej w otworze inspekcji telewizyjnej.
- Złącza rurowe w obrębie kolumny filtrowej zlokalizowano na następujących głębokościach ( $\sim$ ): 21,7 m; 29,3 m; 36,9 m. Złącza miejscowo zaznaczają się silnie jako znaczne poszerzenia średnicy, co przypuszczalnie jest związane ze słabszym ich dokręceniem podczas rurowania otworu.
- Dodatkowe wnioski względem wnętrza orurowania (według inspekcji TV), można podsumować w następujący sposób:

Element konstrukcyjny	Charakterystyka
Obudowa studni	<ul style="list-style-type: none"> <li>– obudowa naziemna termoizolacyjna,</li> <li>– w obrębie obudowy usytuowana jest jedna kolumna rur ze stali nierdzewnej, jej górna krawędź znajduje się <math>\sim 0,20</math> m n.p.t., bezpośrednio poniżej podstawy obudowy, w obrębie płyty betonowej, na której jest ona posadowiona;</li> <li>– rury ze stali nierdzewnej zostały wprowadzone do otworu w wyniku przedłużenia kolumny rur okładzinowych, w trakcie rekonstrukcji obudowy, zbudowanej z betonowych kręgów,</li> <li>– ich but zalega na głębokości <math>\sim 1,74</math> m p.p.t.</li> </ul>
Ściana rur pełnych	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ściana kolumny rur powyżej zwierciadła jest mocno chropowata, w górnej części miejscowo o silnej morfologii wskazującej na podłoże korozyjne; lokalnie pokryta cienkimi nalotami o barwie ochry żelazowej; poniżej złącza na głębokości <math>\sim 5,0</math> m barwa osadów zmienia się na ciemno – smolistą, co może wskazywać na dużą zawartość manganu osadzającego się w strefie wahań zwierciadła,</li> <li>– wraz ze wzrostem głębokości osady stają się jaśniejsze, przy czym miejscowo dominują miękkie pokrywy o żółtawej barwie,</li> <li>– na głębokości <math>\sim 14,2</math> m uwidacznia się górna krawędź traco-</li> </ul>

	<p>nej kolumny filtrowej, a jej górna część pokryta jest zarówno twardszymi nalotami o żółtawej barwie jak i miękkimi osadami, które pod wpływem ruchu kamery odrywają się od ścianki orurowania,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– wraz ze wzrostem głębokości ilość miękkich osadów znacząco wzrasta, a lokalnie przyjmują one postać bardzo bogato wykształconych wykwitów biogennych,</li> </ul>
Zwierciadło wód podziemnych	<ul style="list-style-type: none"> <li>– podczas badań zwierciadło stabilizowało się na głęb. ~ 7,65 m</li> <li>– powierzchnia zwierciadła stosunkowo klarowna, jedynie z pojedynczymi okruchami unoszącymi się na taflę,</li> </ul>
Słup wody	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bezpośrednio poniżej zwierciadła, w obrębie rur okładzinowych, słup wody klarowny, a widoczność dobra,</li> <li>– wraz ze wzrostem głębokości klarowność słupa wody pogarsza się, co ma związek ze zwiększającą się w nim ilością zawiesiny i wzrostem mętności,</li> <li>– w obrębie górnych partii filtra widoczność mocno spada, co jest dodatkowo spowodowane strąceniem materiału zdeponowanego na ściankach orurowania,</li> <li>– w wyniku inspekcji prowadzonej podczas pompowania klarowność słupa wody w obrębie kolumny filtrowej jedynie nieznacznie się polepsza; w celu poprawy widoczności inspekcję kontynuowano z obiektywem kamery skierowanym na ściany otworu,</li> <li>– podczas inspekcji prowadzonej w warunkach dynamicznych, na krawędzi rury nadfiltrowej i w obrębie zamka obserwuje się turbulentny ruch przepływającej wody; jednocześnie na tym docinku zaznacza się znaczna ilość piasku w pompowanym słupie wody; jego ilość sprawia wrażenie nieco spadać w obrębie rury nadfiltrowej, przez co ocenia się, że część materiału piaszczystego może przedostawać się przestrzenią pierścieniową pomiędzy orurowaniem <math>\varnothing 20''</math> a <math>\varnothing 14''</math>,</li> </ul>
Złącza rurowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– złącza rurowe są gwintowane; uwidacznia się na nich od kilku do kilkunastu zwojów gwintowych,</li> <li>– z powodu dużej ilości nalotów i inkrustracji nie wszystkie złącza rurowe dają się inspekcyjnie zlokalizować; ich położenie zostało jednak potwierdzone profilowaniem średnicy,</li> <li>– w obrazie video brak jest jednoznacznych śladów ich ewentualnej nieszczelności,</li> </ul>
Filtr	<ul style="list-style-type: none"> <li>– złącze będące górną krawędzią filtra, z powodu bardzo dużej ilości osadów, nie daje się zlokalizować inspekcyjnie; wg badań CAL lokuje się na poziomie ~ 29,3 m;</li> <li>– filtr według udostępnionej dokumentacji ma konstrukcję siatkową; szkielet filtra tworzy rura stalowa, perforowana otworowo, co jednak z uwagi na słabą widoczność podczas inspekcji prowadzonej statycznie, jest dość niejednoznaczne w ocenie;</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>– perforacje filtra są w znacznym stopniu pokryte osadem (pierwsze zauważalne na inspekcji prowadzonej w warunkach dynamicznych pojawiają się na głęb. ~ 30,3 m), ich prześwit jest znacznie ograniczony; siatka filtracyjna jest w przeważającej mierze niewidoczna; pojedyncze perforacje uwidaczniają się w górnych partiach filtra, natomiast poniżej głębokości ~ 31,8 m widoczność drastycznie spada, co uniemożliwia ocenę stanu technicznego jakichkolwiek elementów orurowania,</li> <li>– na głębokości ~ 31,3 m, na krawędzi perforacji, zaobserwowano nieznaczną ilość drobnoziarnistego piasku, sugerującą jednak również jego przedostawanie się do otworu przez filtr,</li> <li>– z powodu bardzo słabej widoczności perforacje w środkowym i dolnym odcinku filtra są niewidoczne,</li> </ul>
Dno otworu	– na poziomie ~ 39,7 m natrafiono na zasyp i na tym inspekcję zakończono

### 5.3 Przestrzeń pierścieniowa

- Wypełnienie przestrzeni poza kolumną rur osłonowych Ø 20” podsumowuje poniższe zestawienie:
 

0,0 - 1,6 m	Brak wypełnienia lub bardzo luźne upakowanie materiału wypełniającego przestrzeń za rurą w odcinku zrekonstruowanym (bardzo niskie wartości gęstości objętościowej materiału, ewentualnie jego częściowe wypłukanie w strefie przyotworowej),
1,6 - 3,8 m	Wypełnienie materiałem piaszczystym (suchym) o nieco zmiennej z głębokością porowatości i gęstości objętościowej (przypuszczalnie przez samozasyp przewierconej formacji skalnej lub częściowo urobkiem wiertniczym),
3,8 - 10,2 m	Wypełnienie materiałem piaszczystym (mokrym) o stosunkowo jednolitej porowatości i gęstości objętościowej (przez samozasyp przewierconej formacji skalnej),
10,2 - 11,8 m	Wypełnienie materiałem piaszczystym (mokrym) o podwyższonej porowatości i obniżonej gęstości objętościowej (luźne upakowanie materiału wypełniającego),
11,8 - 14,0 m	Wypełnienie materiałem piaszczystym (mokrym) o stosunkowo jednolitej porowatości i gęstości objętościowej (przez samozasyp przewierconej formacji skalnej),
poniżej 14,0 m	Brak danych pomiarowych dot. wypełnienia
- W wyniku interpretacji pomiarów radiometrycznych (DENS, NEUT) ocenia się, że przestrzeń pierścieniowa za kolumną rur okładzinowych niemal na całej długości pomiarowej jest wypełniona poprzez samozasyp przewierconej formacji skalnej materiałem piaszczy-

stym o lokalnie zmiennej z głębokością porowatości i gęstości objętościowej. W najbardziej przypowierzchniowym odcinku (tj. w interwale obejmującym zasypaną starą obudowę studzienną) brak jest wypełnienia bezpośrednio przylegającego do ściany rur lub upakowanie materiału wypełniającego jest bardzo luźne.

- Pomiary zostały wykonane do głębokości zalegania traconej kolumny filtrowej, przez co brak jest możliwości weryfikacji obecności uszczelnienia technicznego (korek łożowy) za kolumną rur okładzinowych  $\varnothing 20''$ . Szczelności konstrukcji, na podstawie analizy pomiarów dynamicznych, została opisana poniżej.
- Na podstawie przeprowadzonych profilowań neutronowych ocenia się, że na czas prowadzenia badań, granica strefy saturacji (nasylenia wodą) w obrębie pierwszego poziomu wodonośnego znajdowała się na poziomie  $\sim 3,8$  m.

#### 5.4 Warunki hydrodynamiczne i hydrochemiczne

Poniższe wyniki pomiarów i ich interpretacje odnoszą się do panujących w trakcie realizacji badań warunków hydraulicznych i hydrochemicznych w studni, przy czym należy wziąć pod uwagę, że warunki dynamiczne w studniach bezpośrednio sąsiadujących mogą mieć wpływ na wyniki pomiaru.

*Statycznie (w stanie spoczynku)*

- Zwierciadło wód podziemnych w stanie spoczynku stabilizowało się na  $\sim 4,94$  m p.p.t.
- W stanie równowagi hydrostatycznej obserwuje się następujące wartości przewodności i temperatury w profilu otworu:

Element konstrukcyjny	Głębokość	Przewodność [mS/cm] w T = 25°C	Temperatura [°C]
Rura okładzinowa	4,9 - 14,1 m	$\sim 0,63$	$\sim 10,1 \Rightarrow 10,2$
Rura nadfiltrująca	14,1 - 29,3 m	$\sim 0,63$	$\sim 10,2 \Rightarrow 10,3$
Filtr	29,3 - 38,5 m	$\sim 0,62 \Rightarrow 0,65$	$\sim 10,3 \Rightarrow 10,1$
Rura podfiltrująca	Brak danych pomiarowych		

Tab. 2 Parametry fizykochemiczne słupa wody w studni nr 2 w stanie spoczynku

- W stanie równowagi hydrostatycznej, od zwierciadła wód podziemnych aż do górnej krawędzi filtra (oraz nieco głębiej, do  $\sim 31,7$  m) obserwuje się stałe wartości przewodności rzędu  $\sim 0,63$  mS/cm [25°C]. Poniżej tego poziomu, mineralizacja wód nieznacznie wzrasta wraz z głębokością do  $\sim 0,65$  mS/cm [25°C] przy końcowej głębokości pomiarowej. Profil zarejestrowanej w stanie spoczynku temperatury wskazuje również na stałe wartości mierzonego parametru rzędu  $\sim 10,2^\circ\text{C}$  na tym samym odcinku. W obrębie filtra temperatura nieznacznie spada.
- Na podstawie analizy krzywych FLOW.Q-0-1/2 i SAL-/TEMP-0-1/2 oraz powyżej zestawionych obserwacji nie obserwuje się silnego pionowego ruchu słupa wody w otworze w stanie spoczynku. Nie da się go jednak całkowicie wykluczyć do poziomu  $\sim 31,7$  m.

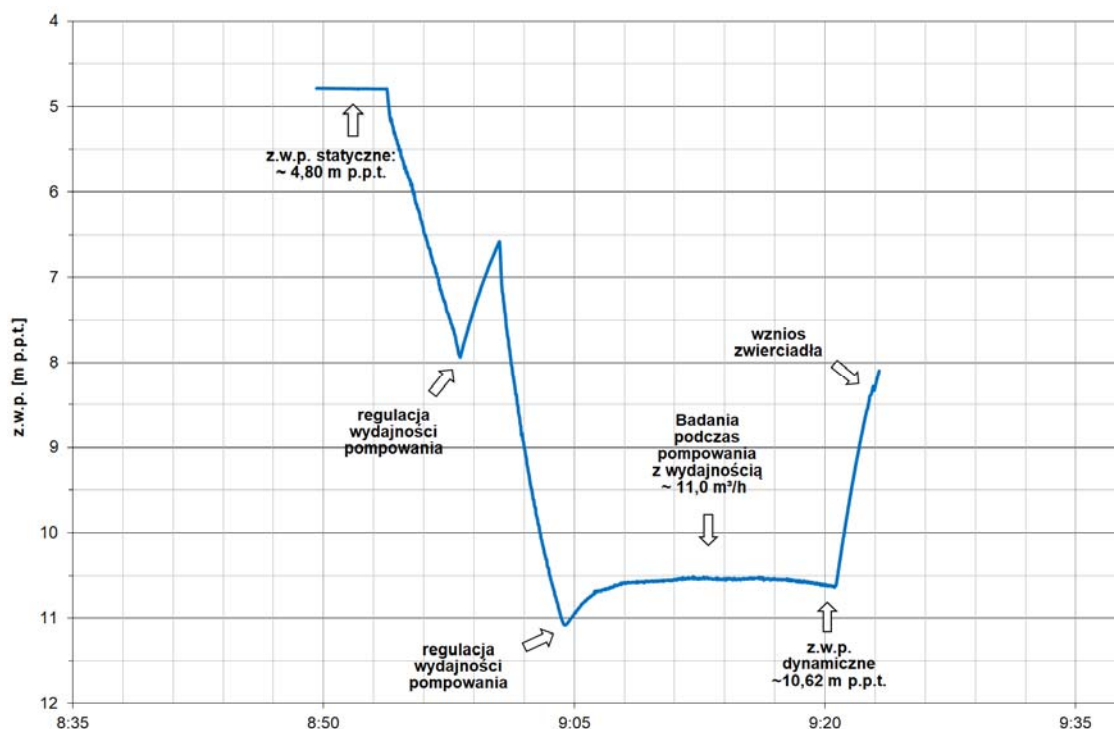
*Dynamicznie (podczas pompowania)*

- Podczas pompowania z wydajnością  $\sim 11,0 \text{ m}^3/\text{h}$  wyznaczono na podstawie pomiarów FLOW.Q-1-1/2 następujący rozkład dopływu wód podziemnych do filtra:

Głębokość [m]	Dopływy przy wydajności pompowania $\sim 11 \text{ m}^3/\text{h}$			
	%	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{m}^3/\text{h}$ na 1 m filtra	$\text{m}^3/\text{h}$ na 1 m filtra / 1mS
29,3 - 30,1	2	0,2	0,3	0,1
30,1 - 30,7	32	3,3	5,5	0,9
30,7 - 31,6	2	0,2	0,2	0,0
31,6 - 32,6	42	4,2	4,2	0,7
32,6 - 33,7	12	1,2	1,1	0,2
33,7 - 39,7	10	1,0	0,2	0,0

Tab. 3 Rozkład dopływów do części czynnej kolumny filtrowej

- zwierciadło statyczne: 4,80 m p.p.t.
  - zwierciadło dynamiczne: 10,62 m p.p.t.
  - depresja: 5,82 m
  - wydajność na przepływomierzu FLOW:  $\sim 11,0 \text{ m}^3/\text{h}$
  - wydajność jednostkowa:  $1,72 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{mS}$
- Podczas pompowania z wydajnością  $\sim 11,0 \text{ m}^3/\text{h}$  zwierciadło wód podziemnych obniżyło się o 5,82 m z 4,80 m na 10,62 m (pomiar rejestratorem ciśnieniowym). To odpowiada wydatkowi jednostkowemu wynoszącemu  $1,72 \text{ m}^3/\text{h}$  na 1 m depresji. Należy jednak przy tym zaznaczyć, że z uwagi na wcześniejszą regulację wydajności pompy oraz znaczny wpływ studni sąsiadującej, zwierciadło dynamicznie podczas prowadzenia badań nie udało się w pełni ustabilizować. Rzeczywista wydajność jednostkowa otworu może wypaść zatem nieco inna. Średni właściwy wydatek jednostkowy filtra wynosi  $0,2 \text{ m}^3/\text{h mS}$  na 1 m filtra. Wartości wydatku jednostkowego w przeliczeniu na 1 m filtra dla poszczególnych stref dopływu prezentuje tabela dopływów (Tab. 3). Pomiar położenia zwierciadła wód podziemnych w studni prezentuje rycina 1.
  - Analizując krzywe FLOW.Q-1-1/2 ocenić można, że rozkład wody do filtra jest silnie nierównomierny. Przy wydajności pompowania  $\sim 11,0 \text{ m}^3/\text{h}$  objętościowo najwięcej wody do otworu dopływa w jego górnym odcinku (do  $\sim 32,6 \text{ m}$ ) (łącznie  $\sim 78\%$ ). Najwyższą właściwą wydajnością jednostkową w przeliczeniu na 1 m filtra charakteryzują się przy tym strefy  $\sim 30,1 - 30,7 \text{ m}$  oraz  $\sim 31,6 - 32,6 \text{ m}$ , znacznie przekraczając średnią wydajność jednostkową całej części czynnej. Na czas realizacji badań, jednostkowo stosunkowo mało aktywną strefą jest środkowy i dolny fragment filtra poniżej  $\sim 32,6 \text{ m}$ . Dopływy w interwałach  $\sim 29,3 - 30,1 \text{ m}$  oraz  $30,7 - 31,6 \text{ m}$  należy przy tym również ocenić jako śladowe.



Ryc. 1. Położenie zwierciadła wód podziemnych w studni 2 podczas realizacji badań (dane z rejestratora ciśnieniowego skrócone do czasu realizacji pomiarów dynamicznych)

- Mineralizacja dopływającej wody na niemal całym zmierzonym odcinku (a w szczególności w strefie najwyższych odnotowanych dopływów) przyjmuje wartości wyższe w stosunku do tych zarejestrowanych w czasie spoczynku. Wahają się one w granicach  $\sim 0,69 - 0,72 \text{ mS/cm}$  [ $25^\circ\text{C}$ ], przy czym wody dopływające w dolnej strefie charakteryzują się zauważalnie niższą mineralizacją. Rośnie ona jednak nieco z czasem trwania eksploatacji. Przebieg krzywej temperatury podczas pompowania charakteryzuje się niewielkim spadkiem parametru wraz z głębokością, a wartości oscylują na poziomie  $\sim 10,2 - 10,3^\circ\text{C}$ .
- Na podstawie analizy krzywych pomiarowych z indeksem „-1”, podczas pompowania rejestruje się pewną strefowość hydrogeochemiczną w obrębie otworu. Jest to zauważalne szczególnie w mineralizacji dopływających do otworu wód. W strefie poniżej  $\sim 32,6 \text{ m}$  dopływają wody o niższej przewodności a różnica pomiędzy wodami dopływającymi z dołu a zmieszany słupem wody z obu dopływów wynosi  $\sim 50 \mu\text{S/cm}$ .
- Porównując profile zarejestrowane w stanie spoczynku oraz podczas pompowania ocenia się, że w najpłytszych partiach filtra, zarówno śladowo w stanie spoczynku oraz podczas pompowania, do otworu dopływać mogą wody pochodzące z nadległej warstwy wodonośnej. Oznaczałoby to brak szczelności konstrukcji, a w szczególności szczelności posadowionej w utworach słaboprzepuszczalnych kolumny rur okładzinowych  $\varnothing 20''$ .

## 6 Podsumowanie

- Na podstawie przeprowadzonych badań geofizycznych konstrukcję studni nr 2 należy uznać za zgodną z dostarczoną dokumentacją (zbiorczym zestawieniem wyników wiercenia). Niemniej jednak obserwuje się różnice w głębokościowym usytuowaniu poszczególnych elementów kolumny filtrowej (górnej krawędzi filtra oraz krawędzi rury nadfiltrowej), które wynoszą odpowiednio  $\sim 1,3$  m i  $\sim 1,0$  m. Po części może to być efektem obrania nieco różnego punktu odniesienia na czas realizacji robót wiertniczych i badań geofizycznych. Powyższe nie wpływa jednak wydajnościowo na warunki eksploatacji.
- Opis wykształcenia litologicznego górotworu w badanym odcinku został podczas realizacji prac wiertniczych przeprowadzony poprawnie. Przewierconą formację skalną tworzą w głównej mierze piaski o drobnym charakterze uziarnienia, miejscowo o dość podwyższonym wskaźniku zailenia. Wzrost udziału materiału drobnoziarnistego (pylasto - ilastego), zaznacza się głównie poniżej  $\sim 18,6$  m, a w szczególności  $\sim 21,6$  m. Ujęty filtrem odcinek warstwy wydaje się przez to być bardziej zailony niż wskazuje na to rozpoznanie litologiczne z okresu wierceń. Może to jedynie częściowo wpływać na zaobserwowany podczas prowadzenia badań dynamicznych nierównomierny rozkład dopływów wód do części czynnej. Choć poniżej  $\sim 38,0$  m obserwuje się nieznaczny spadek wskaźnika zailenia, nie przekłada się to na wzrost wydajności odcinka. Ocenia się zatem, że nierównomierność dopływów ma głównie podłoże w kolmatacji chemiczno – biologicznej.
- W wyniku przeprowadzonych w otworze badań nie stwierdzono przerwania ciągłości zarówno kolumny rur okładzinowych jak i kolumny filtrowej  $\varnothing 14$ . Na podstawie profilowania średnicy rur (CAL) stwierdzić można, że powierzchnia rur do poziomu  $\sim 29,3$  m jest stosunkowo nierówna. Odcinkowo obserwuje się zawężenia średnicy, będące wynikiem obecności pokryw inkrustacyjnych, głównie występujących w dolnej części rury nadfiltrowej oraz w filtrze.
- Na podstawie badań defektoskopowych EMDS kolumna rur okładzinowych nie wykazuje znacznych odchyśleń od referencyjnych wartości grubości ścianek, a uwidacznia głównie redukcje, które w przeważającej mierze są uwarunkowane materiałowo, będąc wynikiem zabudowy odcinków orurowania o nominalnie nieco różnych grubościach. Zmierzone redukcje grubości wynoszą do  $\sim 18\%$  w stosunku do najgrubszego odcinka kolumny. Najbardziej cienkościennie fragmenty rury zaobserwowano przy tym w strefie  $\sim 10,6 - 13,4$  m. Biorąc pod uwagę pierwotny okres oddania otworu do eksploatacji, wagowy ubytek masy stali można uznać za mały. Na podstawie realizowanej w otworze inspekcji telewizyjnej ściana kolumny rur powyżej zwierciadła wód podziemnych jest mocno chropowata, miejscowo o silnej morfologii wskazującej również na podłoże korozyjne.
- Przestrzeń pierścieniowa za kolumną rur okładzinowych niemal na całej długości pomiarowej jest wypełniona poprzez samozasyp przewierconej formacji skalnej materiałem piaszczystym o lokalnie zmiennej z głębokością porowatości i gęstości objętościowej. W najbardziej przypowierzchniowym odcinku (tj. w interwale obejmującym zasypaną starą obudowę studzienną) brak jest wypełnienia bezpośrednio przylegającego do ściany rur lub upakowanie materiału wypełniającego jest bardzo luźne. Na podstawie przeprowadzonych profilowań neutronowych ocenia się, że na czas prowadzenia badań, zwierciadło wód podziemnych w obrębie pierwszego poziomu wodonośnego znajdowało się na poziomie  $\sim 3,8$  m.
- Rozkład dopływów wody do filtra jest silnie nierównomierny. Przy wydajności pompowania  $\sim 11,0$  m<sup>3</sup>/h objętościowo najwięcej wody do otworu dopływa w jego górnym odcinku (do  $\sim 32,6$  m) (łącznie  $\sim 78\%$ ). Najwyższą właściwą wydajnością jednostkową w przelicze-

niu na 1 m filtra charakteryzują się przy tym strefy  $\sim 30,1 - 30,7$  m oraz  $\sim 31,6 - 32,6$  m. Z uwagi na znaczny spadek zwierciadła dynamicznego, pompowania z wyższą wydajnością (bliższą eksploatacyjnej) nie były możliwe.

- Na podstawie realizowanej w otworze inspekcji telewizyjnej perforacje filtra są w znacznym stopniu pokryte osadem, a ich prześwit jest znacznie ograniczony. Siatka filtracyjna jest w przeważającej mierze niewidoczna, co jest efektem kolmatacji o podłożu chemiczno – biologicznym.
- Podczas pompowania rejestruje się nieznaczłą strefowość hydrogeochemiczną w obrębie otworu, co jest zauważalne szczególnie w mineralizacji dopływających do otworu wód. W strefie poniżej  $\sim 32,6$  m dopływają wody o nieco odmiennej przewodności, przez co nie da się wykluczyć, że w najpłytszych partiach filtra do otworu dopływać mogą wody pochodzące z nadległej warstwy wodonośnej. Uważa się przez to, że konstrukcja otworu nie zapewnia należytej izolacji hydraulicznej w obrębie przestrzeni pierścieniowej, przez co możliwa jest migracja wód za orurowaniem pomiędzy poziomami wodonośnymi. Zarówno przepływ w warunkach równowagi hydrostatycznej jak i silnie nierównomierny dopływ podczas pompowania, skoncentrowany głównie przy górnej krawędzi filtra, sugerują napływ wód pochodzących z płycej położonego poziomu. Może mieć to wpływ na warunki fizykochemiczne, w tym intensywniejszy rozwój procesów kolmatacji chemicznej oraz okresowe obciążenie mikrobiologiczne ujmowanych otworem wód.

## 7 Zalecenia

- Na podstawie przeprowadzonych badań ocenia się, że otwór studzienny nr 2 jest w stanie technicznym umożliwiającym jedynie warunkowy dalszy pobór wód podziemnych. Zaobserwowany niemal pięciokrotny spadek wydajności jednostkowej w stosunku do okresu realizacji wierceń ( $7,86 \Rightarrow 1,72 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{mS}$ ) wymusza bezzwłoczne prowadzenie w otworze zabiegów regeneracyjnych w celu jego usprawnienia. W wyniku analizy danych z badań przepływomierzem produkcyjnym ocenia się przy tym, że powyższe zabiegi powinny w szczególności objąć środkowe i dolne partie filtra, w interwale głębokości poniżej  $\sim 32,6$  m. Podczas ewentualnego prowadzenia powyższych prac należy pamiętać jednak, że rura nadfiltrowa i filtr są pokryte osadem w stopniu uniemożliwiającym pełną ocenę ich stanu technicznego. Mogą przez to wykazywać korozję ścianki w skali, w której ich stan lokalnie może nie wytrzymać zbyt intensywnych metod renowacji (np. jettingu wysokociśnieniowego lub metod pneumoimpulsowych).
- Sugerując się jednak tym, że studnia obecnie znajduje się na poziomie sprawności  $\sim 22\%$ , jej powrót do stuprocentowego stanu wyjściowego jest najpewniej niemożliwy. W takim przypadku efekty regeneracji mogą okazać się niezadawalające. Mając na uwadze stan techniczny kolumny filtrowej, w tym w szczególności zaobserwowane piaszczenie zarówno z przestrzeni pierścieniowej pomiędzy kolumnami rur, jak i z samego filtra, eksploataotorowi ujęcia w pierwszej kolejności zaleca się rozważenie przeprowadzenia rekonstrukcji otworu, polegającej na wymianie całej kolumny filtrowej. Przy takiej ewentualności, biorąc pod uwagę drobnoziarniste wykształcenie warstwy wodonośnej, powodujące problemy z pyleniem lub piaszczeniem drobnym osadem, zaleca się zarurowanie otworu filtrem nowszej generacji (np. szczelinowym PVC lub typu Johnson) o mniejszej średnicy (np. DN300), umożliwiając w ten sposób wprowadzenie obsypki o większym zasięgu radialnym niż  $\sim 5$  cm, jak jest to obecnie wykonane. Granulację obsypki (ewentualnie dwu-

warstwowej) i szerokość szczeliny dobrać natomiast należy do bardzo drobnoziarnistego wykształcenia warstwy. Sugerując się wyżej opisanymi nieszczelnościami, umożliwiającymi migrację wód za kolumną rur okładzinowych, zaleca się rurę nadfiltrową wyprowadzić do wierzchu, a całą przestrzeń pierścieniową, w tym w szczególności odcinek od buta kolumny  $\varnothing 20''$  do spągu utworów słaboprzepuszczalnych (tj.  $\sim 28,4$  m) szczelnie wypełnić materiałem na bazie itu (compactonitem lub pokrewnym). Zaleca się przy tym stosowanie materiałów uszczelniających, które z uwagi na wzbogacenie ich składu tlenkami żelaza lub piaskiem cyrkonowym, są łatwe w identyfikacji technikami geofizycznymi (tj. materiałów gamma- lub magnetoaktywnych, np. Mikolit 300M, Quellon WP, DantoPlug Super M, Wetronit 51/10).

- W przypadku podjęcia decyzji o prowadzeniu wyżej wymienionych prac, możliwości techniczne oraz względy ekonomiczne ich realizacji pozostawia się do indywidualnej analizy inwestorowi, w konsultacji z nadzorem geologicznym ujęcia. BLWM Sp. z o.o. zobowiązuje się przy tym do pełnienia stałej funkcji doradczej, w ramach przeprowadzanych w otworze badań i wyników ich interpretacji.

## 8 Oznaczenia

Objaśnienie stosowanych skrótów dla oznaczenia krzywych pomiarowych w dokumentacji graficznej (zał. 1):

– CAL	:	Profilowanie średnicy, mechaniczny pomiar wewnętrznej średnicy orurowania średnicomierzem 3-ramiennym
– GR	:	Profilowanie gamma, synchroniczny pomiar naturalnego promieniowania gamma za pomocą umieszczonych ekranowanych detektorów,
– EMDS.A1...A9	:	Defektoskopia elektromagnetyczna, nieprzetworzone krzywe z cewki A, Element A1 do A9
– EMDS.WT_20"	:	Defektoskopia elektromagnetyczna, ilościowa analiza skorodowania rur stalowych, grubość ścianki orurowania 20" wyrażona w [%]
– NEUT	:	Profilowanie neutron - neutron, pomiar rozproszonego promieniowania neutronowego, będącego miarą zawartości wodoru w mierzonym ośrodku
– DENS-S/L	:	Profil. gamma-gamma gęstościowe, detektor bliski/daleki, Pomiar rozproszonego promieniowania gamma będącego miarą gęstości objętościowej mierzonego ośrodka
– FLOW.Q-0-1/2	:	Profilowanie przepływomierzem produkcyjnym, natężenie przepływów pionowych, pomiar zerowy w warunkach równowagi hydrostatycznej
– FLOW.Q-1-1/2	:	Profilowanie przepływomierzem produkcyjnym, natężenie przepływów pionowych, pomiary podczas pompowania z określoną wydajnością
– SAL-0-1/2	:	Profilowanie przewodności elektr. [25°C], pomiar zerowy w warunkach równowagi hydrostatycznej

- TEMP-0-1/2 : Profilowanie temperatury, pomiar zerowy w warunkach równowagi hydrostatycznej
- SAL-1-1/2 : Profilowanie przewodności elektr. [25°C], pomiary podczas pompowania z określoną wydajnością
- TEMP-1-1/2 : Profilowanie temperatury, pomiary podczas pompowania z określoną wydajnością

## 9 Dokumentacja przekazana zleceniodawcy

Lp.	Nazwa dokumentu	Raport nr	Dok. nr
1.	Dokumentacja opisowa – orzeczenie geofizyczne p.t. „Wyniki interpretacji badań geofizycznych i inspekcji telewizyjnej w studni głębinowej nr 2 na ujęciu wód podziemnych SUW Zachodnia w Milanówku”	1	1
2.	Dokumentacja graficzna – diagram p.t. „Badania geofizyczne w studni głębinowej nr 2 na ujęciu wód podziemnych SUW Zachodnia w Milanówku”	1	2
3.	Inspekcja TV + wybrane kadry na nośniku USB	1	3