

# **Geofizyczne rozpoznanie strefy wodonośnej na terenie gminy Ciasna**

**Wykonawca:**

**Dr hab. Bogdan Żogała**



Styczeń, 2019

## 1. Cel i zakres badań

Celem badań było geofizyczne rozpoznanie budowy hydrogeologicznej – strefy wodonośnej do głębokości ok. 80 m, na terenie gminy Ciasna.

Cel badań realizowany był metodą obrazowania opornościowego systemem Lund Imaging, w układzie pomiarowym Schlumberger-Wenner.

## 2. Metoda obrazowania oporności

Metoda pozwala określić rozkład oporności skał w ośrodku geologicznym do określonej głębokości, wynikającej z długości 1 pełnego rozstawu.

Opiera się na standardowych wariantach badań elektrooporowych – profilowaniach i sondowaniach oporności. W obydwu przypadkach wielkością bezpośrednio mierzoną w terenie jest opór elektryczny  $R$ :

$$R = \frac{\Delta U}{I} \quad [\Omega]$$

który jest proporcjonalny do oporności elektrycznej  $\rho$ :

$$\rho = kR \quad [\Omega\text{m}]$$

gdzie:  $k$  – współczynnik zależny od geometrycznego układu pomiarowego [m]

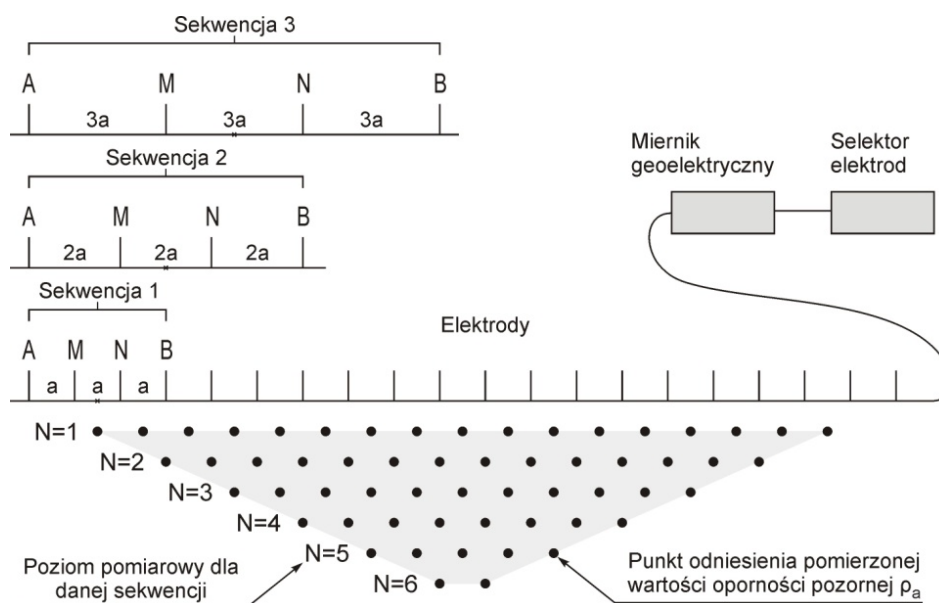
$\Delta U$  – różnica potencjałów [V]

$I$  – natężenie prądu [A]

Z uwagi na to, że ośrodek geologiczny jest elektrycznie anizotropowy, mierzona oporność jest zawsze opornością pozorną, będącą wypadkową różnych warstw skalnych.

W metodzie obrazowania oporności system pomiarowy składa się z określonej liczby elektrod, stabilizowanych wzdłuż profilu pomiarowego w stałej odległości od siebie. Odległość między elektrodami zależy od planowanej głębokości rozpoznania. Badania polegają na wykonaniu pojedynczych pomiarów oporności pozornej „chwilowym stałym” układem pomiarowym wzdłuż całego profilu pomiarowego. Następnie, automatycznie, w kolejnych sekwencjach następuje zwiększanie rozstawu realizowane poprzez wybór elektrod oddalonych od siebie o wielokrotności odstępu i kolejne powtarzanie pomiaru wzdłuż całego

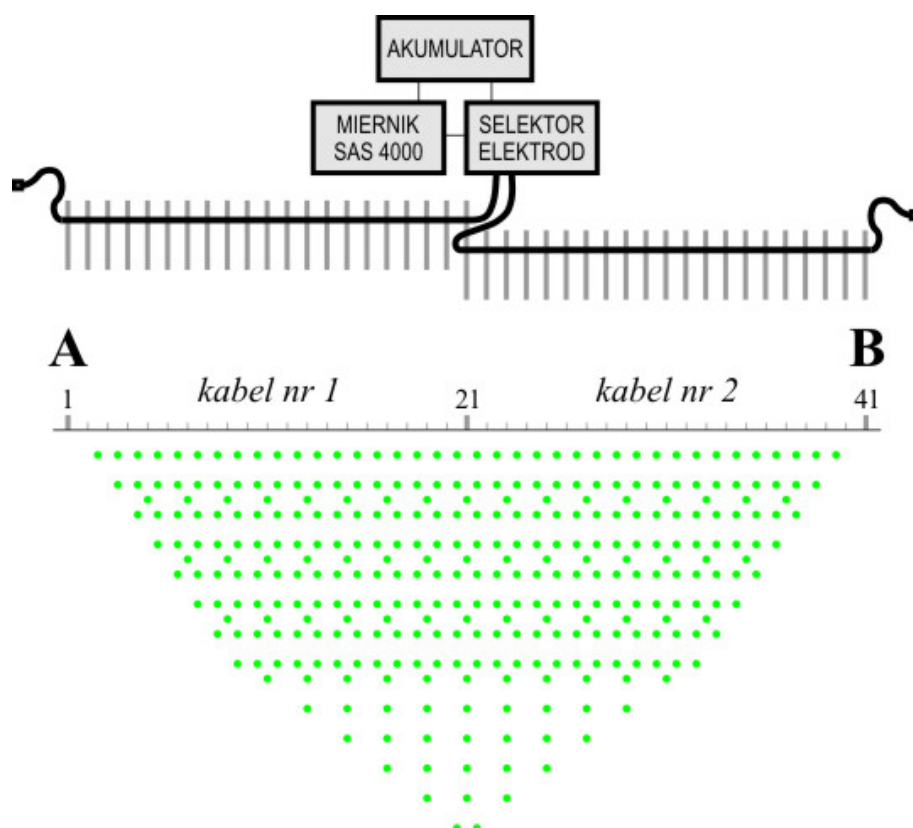
profilu. **Rys. nr 1** przedstawia typowe sekwencje pomiarowe dla układu Wennera, dla trzech początkowych konfiguracji elektrod.



**Rys. 1** Typowa sekwencja pomiarowa dla układu Wennera ([www.geometrics.com](http://www.geometrics.com))

W ten sposób pod względem rozkładu oporności pozornej opisany zostaje ośrodek ograniczony od góry powierzchnią terenu, od dołu głębokością penetracji dla maksymalnych wartości rozstawu elektrod, a z boków skrajnymi położeniami „chwilowych układów pomiarowych”. Uzyskuje się rozkład oporności pozornej na przekroju  $x, z$ , gdzie  $x$  jest odległością wzdłuż profilu, a  $z$  głębokością. Z uwagi na to, pomiary metodą obrazowania oporności nazywane są pomiarami 2D.

Na **Rys. nr 2** przedstawiono rozkład punktów pomiarowych dla układu Schlumberger-Wenner w wersji zagęszczonej przy wykorzystaniu 2 kabli pomiarowych.



**Rys.2** Schemat rozstawienia systemu pomiarowego Lund Imaging przy wykorzystaniu 2 kabli pomiarowych oraz rozkład punktów pomiaru oporności pozornej w wersji zagęszczonej

W skład systemu, oprócz wspomnianych elektrod wchodzi: sterowany mikrokomputerem selektor elektrod, miernik geoelektryczny, komplet kabli wielożyłowych oraz źródło zasilania - akumulator. Selektor umożliwia podłączenie do miernika dowolnej kombinacji czterech elektrod spośród wszystkich podłączonych do kabla wielożyłowego.

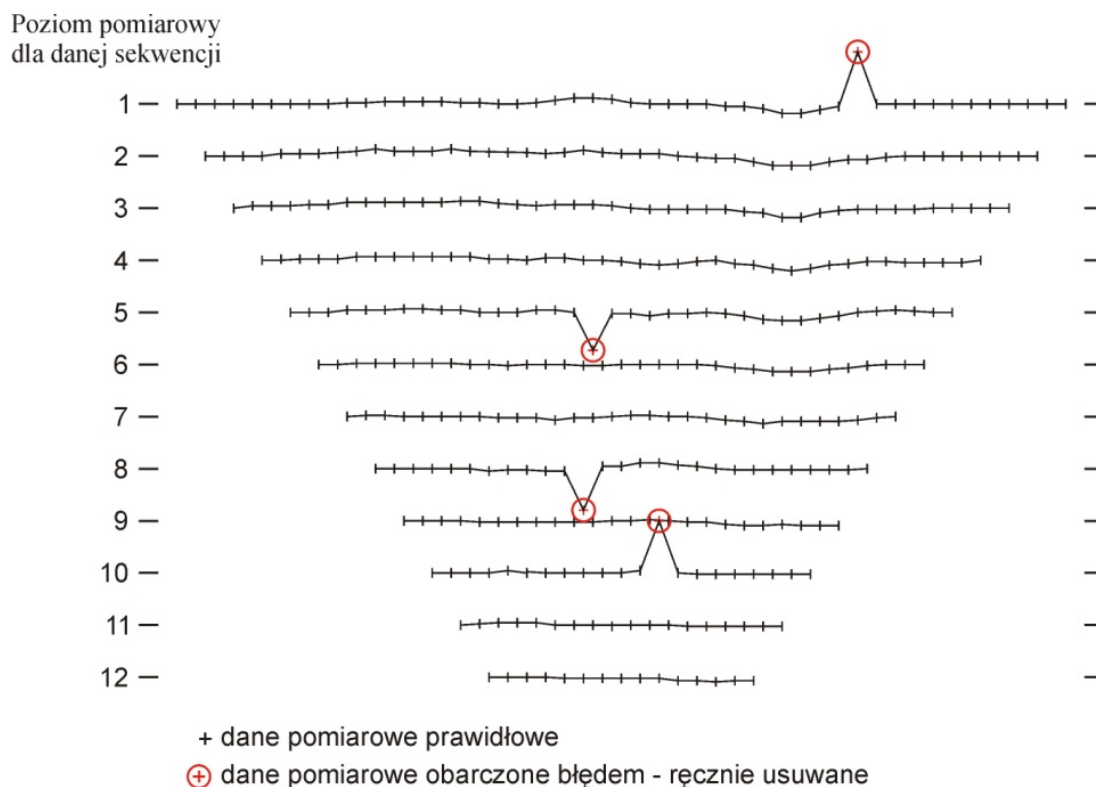
Każdorazowo, przed rozpoczęciem pomiarów, system należy zaprogramować oraz wykonać test elektrod.

Akwizycja danych pomiarowych jest automatyczna, z cyfrowym zapisem w pamięci komputera. Dla układu pomiarowego Schlumberger-Wenner przyjmuje się, że maksymalna głębokość rozpoznania jest rzędu  $1/5$  rozstawu skrajnych elektrod prądowych A i B.

## 2.1 Inwersja 2D wyników pomiarów

Wyniki pomiarów interpretowane są w programie Res2Dinv. Przed rozpoczęciem procesu inwersji, edytując dane pomiarowe sprawdza się ich jakość. Program daje możliwość

ręcznego zamaskowania pojedynczych, wyraźnie błędnych wartości (**Rys. nr 3**). Zamaskowane punkty (zaznaczone czerwonym kółkiem) nie są uwzględniane w późniejszym procesie inwersji. Dzięki temu wyraźnie poprawia się jakość uzyskanych danych.



**Rys. nr 3** Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych z wartościami oporności pozornej.  
Opcja ręcznego usuwania błędnych danych pomiarowych w programie Res2Dinv  
(Instrukcja obsługi programu Res2Dinv).

Następnie ustala się parametry inwersji takie jak: metodę inwersji, współczynnik tłumienia, ilość kolejnych iteracji. Po tych czynnościach bezpośrednio przechodzi się już do samego procesu inwersji. Inwersja kończy się, gdy zostaną przeprowadzone wszystkie zaprogramowane iteracje lub, gdy w kolejnych iteracjach błąd absolutny *Abs error* zmienia się w sposób nieznaczny. Gdy pomiar wykonywany jest w terenie zróżnicowanym morfologicznie, proces inwersji przeprowadza się z uwzględnieniem topografii, wprowadzając wysokość, np. pierwszej i ostatniej zastabilizowanej elektrody. Końcowym efektem przeprowadzonej inwersji jest zawsze przekrój elektrooporowy wzdłuż badanego profilu w funkcji głębokości. Na przekroju barwami zaznaczone są poszczególne warstwy i odpowiadające im oporności.

## 2.2 Ograniczenia i uwarunkowania techniczne metody obrazowania opornościowego

- Każdy pomiar musi być wykonany wzdłuż ciągu prostoliniowego;
- Ciąg pomiarowy nie może być projektowany w terenie o dużych deniwelacjach;
- Infrastruktura naziemna i podziemna typu ogrodzenia, budynki, trasy komunikacyjne, kolektory ściekowe, kable energetyczne, wodociągi, itp., a także ciekły powierzchniowe w dużym stopniu ograniczają, a czasem uniemożliwiają pomiar;
- Jednostkowa długość ciągu pomiarowego zawsze zależy od żądanej głębokości rozpoznania. Głębokość rozpoznania to ok. 1/5 rozstawu pomiędzy elektrodami skrajnymi i osiągnięta jest tylko w centralnej części ciągu pomiarowego;
- Wszystkie elektrody muszą być stabilizowane w stałych odległościach od siebie, która zależy wyłącznie od planowanej głębokości rozpoznania;
- Wzrost głębokości rozpoznania zawsze skutkuje zmniejszeniem rozdzielczości, a warstwy o małej miąższości nie uwidoczną się w przekroju elektrooporowym.

## 3. Zakres wykonanych prac terenowych

Przed przystąpieniem do pomiarów dokonano wizji terenowej pod kątem dostępności badanego terenu i sprawdzenia maksymalnej planowanej długości prostoliniowych rozstawów.

Pomiary wykonano wzdłuż 2 profili A-B i C-D o długości odpowiednio 1000 m i 800 m i z odległością między elektrodami równą 10 m (*Załącznik nr 1 - lokalizacja profili pomiarowych*). Zastosowano protokół pomiarowy Schlumberger-Wenner w wersji zagęszczonej.

Zaprojektowane długości ciągów pomiarowych powinny zapewnić rozpoznanie geoelektryczne do głębokości ok. 80 m.

Prostoliniowe ciągi pomiarowe wytyczono geodezyjnie metodą przedłużeń. Współrzędne początków i końców profili zamieszczono w *Tab. nr 1 - wykaz współrzędnych profili pomiarowych*.

**Tab. 1** Wykaz współrzędnych profili pomiarowych

Oznaczenie profilu	Metraż	Układ współrzędnych WGS 84	
		N	E
<b>A-B</b>	0 <sub>(A)</sub>	50° 48' 11,02''	18° 32' 8,64''
	1000 <sub>(B)</sub>	50° 47' 44,54''	18° 32' 37,9''
<b>C-D</b>	0 <sub>(C)</sub>	50° 48' 2,74''	18° 31' 44,22''
	800 <sub>(D)</sub>	50° 48' 6,68''	18° 32' 24,61''

Zaprogramowane parametry pomiarowe przedstawiono w **Tab. nr 2** – *ustalone parametry pomiarowe*.

**Tab. 2** Ustalone parametry pomiarowe

Parametr pomiarowy	Wartość parametru
Układ pomiarowy	Schlumberger-Wenner zagęszczony
Odległość między elektrodami	10 m
Prąd maksymalny	200 mA
Prąd minimalny	10 mA
Czas opóźnienia odczytu	5 ms
Czas odczytu	4 ms
Liczba sumowań	min. 2, max. 4
Max. odchylenie standardowe dla danego rozstawu	1 %

#### 4. Wyniki badań

Zastosowany protokół pomiarowy Schlumberger-Wenner zapewnia bardzo wysoką rozdzielczość, przy jednocześnie wysokim stosunku sygnału użytecznego do szumu, co jest bardzo korzystne dla badań elektrooporowych.

Pomiary wykonane zostały w zdecydowanej większości przy prądach niskich i bardzo niskich, rzędu 20 - 10 mA. Odchylenia standartowe pomiędzy kolejnymi pomiarami w zaprogramowanych sumowaniach cechowały się bardzo dużym rozrzutem, w zakresie od kilku do kilkudziesięciu procent. W bardzo wielu przypadkach rejestrowane były wartości ujemne, szczególnie wzdłuż profilu C-D. W wielu przypadkach aparatura zawieszała się.

Świadczy to o ekstremalnie trudnych warunkach pomiarowych – występowaniu bardzo silnych pól zakłócających.

Wyniki badań terenowych interpretowane były metodą inwersyjną w programie Res2Dinv firmy Geotomo Software. Inwersję wykonano metodą najmniejszych kwadratów z algorytmem wygładzającym, z uwzględnieniem topografii.

Przyjęto następujące parametry inwersyjne (**Tab. nr 3** – parametry przyjęte do inwersji).

**Tab. 3** Parametry przyjęte do inwersji

Parametry inwersji	Przyjęte rozwiązanie / wartość
Ilość punktów pomiarowych / maksymalna / zarejestrowana / przyjęta do inwersji	Profil A-B - 1008 / 916 / 809 Profil C-D - 782 / 504 / 361
Ilość poziomów pomiarowych (sekwencji)	17
Ilość dopasowań (iteracji)	min. 5, max. 7
Metoda rozwiązania zadania prostego	metoda elementów skończonych
Metoda inwersji	metoda inwersji gładkiej
Współczynnik tłumienia $\lambda$	wartość inicjalna - 0,1 wartość minimalna - 0,01
Filtr wygładzający C ( $C = C_z/C_x$ )	1,0

W wyniku inwersji uzyskano przekroje opornościowe 2D, gdzie oś pozioma to długość profilu pomiarowego, a oś pionowa uzyskana głębokość rozpoznania. Rozkład oporności prezentowany jest w skali barwnej. Wyniki przedstawione są w **Zal. nr 2** – zmiany oporności wzdłuż profili pomiarowych A-B i C-D.

Miarą jakości uzyskanych przekrojów jest błąd absolutny (*Abs. error*). Jego wartości na poziomie do kilku procent świadczą o bardzo dobrym dopasowaniu modeli do badanego ośrodka geologicznego, a zatem o dużej ich wiarygodności. Im błąd dopasowania rośnie, tym wiarygodność modeli spada. Jego wartość w granicach 10 % wskazują już na małą ich wiarygodność, a zaś w granicach kilkudziesięciu procent modele są niewiarygodne i nie podlegają interpretacji.



## 5. Interpretacja

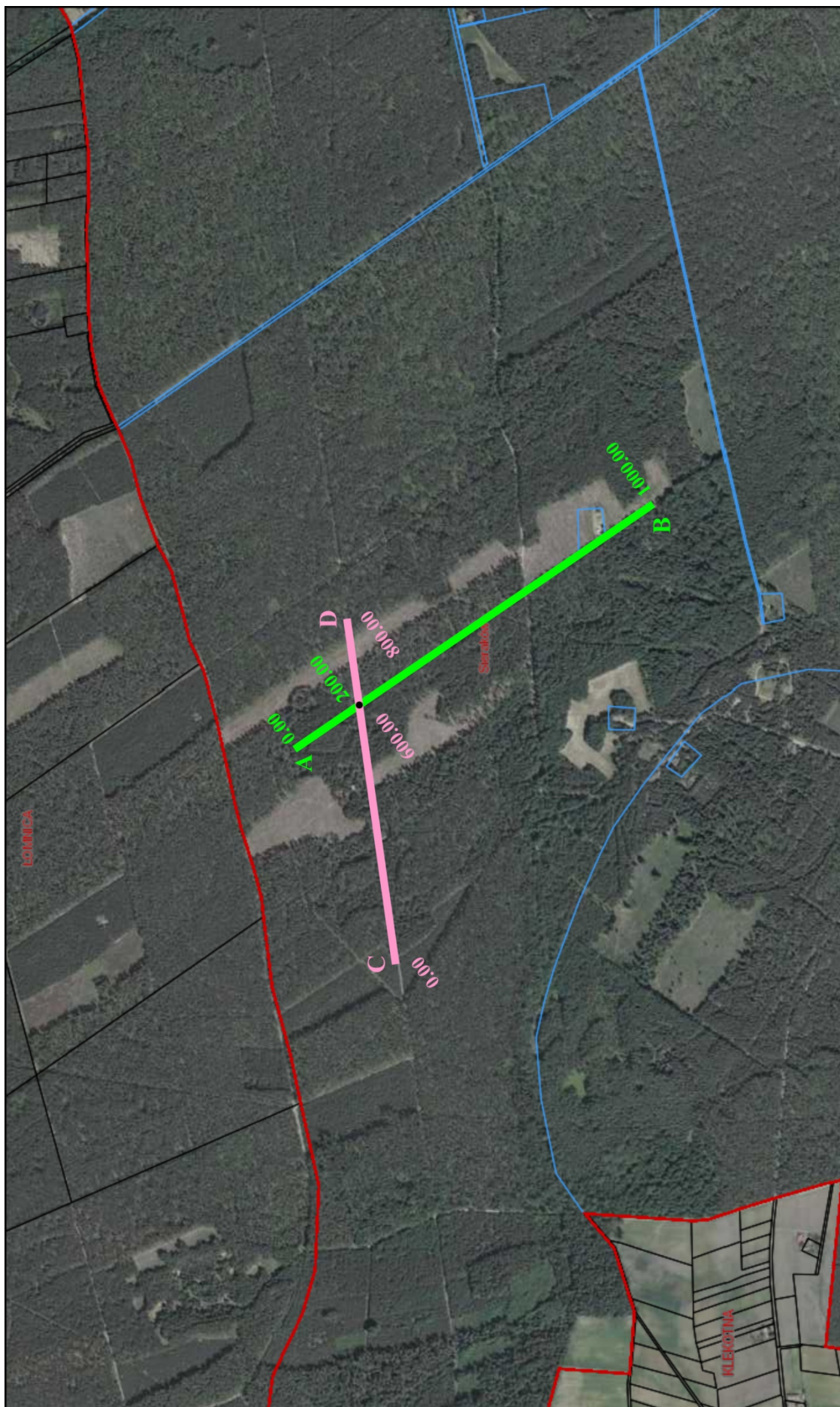
Zastosowany rozstaw elektrod oraz protokół pomiarowy zapewniły rozpoznanie geoelektryczne (zmian oporności) do głębokości ok. 75 – profil A-B i ok. 65 m – profil C-D (**Zał. nr 2**). Rozpoznanie zmian oporności rozpoczyna się dopiero od ok. 6 m p.p.t., co wynika z geometrii zastosowanego układu pomiarowego.

Uzyskane przekroje elektrooporowe obarczone są jednak wysokimi błędami dopasowania (*Abs. error*). Błąd dopasowania dla przekroju A-B jest na poziomie 10,7 %, a na przekroju C-D 22,9 %. Wiarygodność przekroju A-B jest zatem niewielka, a błąd dopasowania na przekroju C-D dyskwalifikuje jego dalszą interpretację. Brak korelacji opornościowej w punkcie przecięcia się obydwu profili.

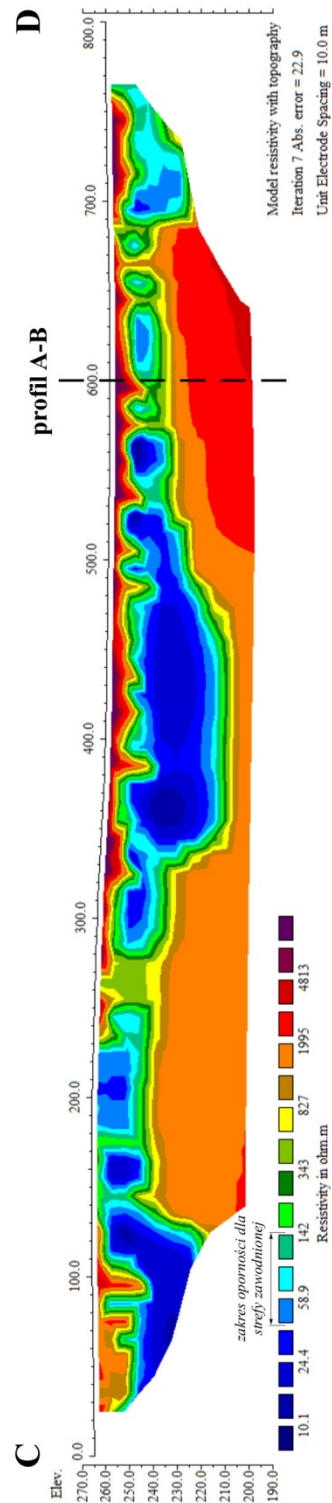
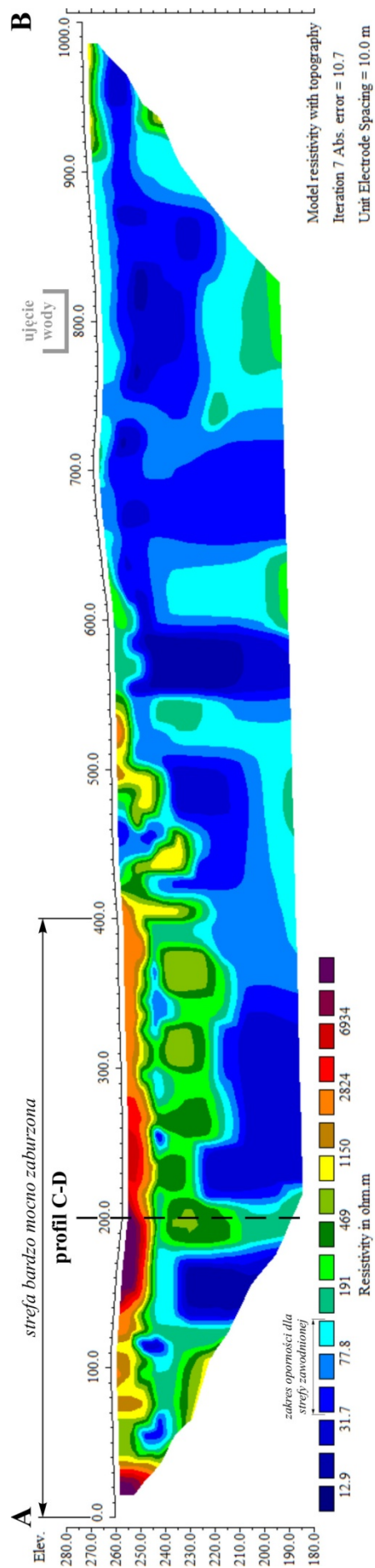
Przekrój A-B charakteryzuje się bardzo szerokim zakresem oporności, bo od ok. 13  $\Omega\text{m}$  do ponad 7 k $\Omega\text{m}$ . Na badanym terenie jest on zdecydowanie za wysoki. Budowa geologiczna nie wskazuje tu na oporności powyżej 1 k $\Omega\text{m}$  i na tak duży ich rozrzut.

Na badanym obszarze:

- najniższy zakres oporności w granicach do ok. 40 - 50  $\Omega\text{m}$  wskazuje, że w budowie geologicznej dominują skały ilaste i ilasto-piaszczyste. W takich warstwach poziomy wodonośne nie występują, nie wyklucza to jednak ich zawilgocenia;
- oporności powyżej 50  $\Omega\text{m}$  do ok. 120  $\Omega\text{m}$  wskazują na osady piaszczyste i piaszczysto-żwirowe. W takim zakresie oporności można spodziewać się stref zawodnionych.
- oporności powyżej 120 wskazują na dominację osadów suchych, częściowo zwięzłych. Nie można wykluczyć ich zawilgocenia.;
- najwyższe zakresy oporności prawdopodobnie związane są z zakłóceniami. Występują one w stropowych partiach przekroju, szczególnie do metrażu ok. 400. Odcinek ten opisany został jako *strefa bardzo mocno zaburzona*. Ma ona jednak wpływ na pozostałe partie przekroju, w tym szczególnie na te głębokie.



Załącznik nr 1 Lokalizacja ciągów pomiarowych A-B i C-D



Załącznik nr 2 Zmiany oporności wzdłuż profili pomiarowych A-B i C-D