


## Opracowanie badań geofizycznych

**Położenie:** Jaworzno, dz. nr 140/1 i 140/4 – Sadowa Góra

**Współrzędne:** zgodne z planem

**Metoda badań:** sondowanie i profilowania geoelektryczne

GEOLÓG DOKUMENTUJĄCY

  
mgr inż. Petemps Michał  
upr. MŚ nr II-1252; IV-0398; VI-0398

**Sporządził:**

Adam Frej

Artur Poręba





## Zarys stosowanych metod geoelektrycznych

Metodami geoelektrycznymi można wykazać zróżnicowaną budowę geologiczną danego obszaru, jeżeli tworzące go skały charakteryzują się różnymi własnościami elektrycznymi (Dźwinel, 1972).

Oporność ośrodka skalnego zależy od kilku czynników:

- składu procentowego minerałów tworzących skałę
- struktury i tekstury skały
- porowatości i szczelinowatości górotworu
- stopnia nasycenia i rodzaju medium nasycającego
- temperatury

Średnie, przybliżone wartości oporu dla różnych utworów geologicznych przedstawiono w tabeli 1.

| Utwór geologiczny                             | Oporność właściwa [ $\Omega m$ ] |
|---|----------------------------------|
| Wilgotne zglinione grunty oraz wilgotne gliny | 1-10                             |
| Wilgotne zailone grunty oraz gliny ilaste     | <10                              |
| Wilgotne ilaste i piaszczyste grunty          | 10-100                           |
| Gлина zwałowa                                 | 80-300                           |
| Gliny   | 5-100                            |
| Suche piaski i żwiry                          | 700-10000                        |
| Łupki   | 8-40                             |
| Piaskowce                                     | 80-1000                          |
| Węgle   | 10-800                           |
| Dolomity i wapienie                           | 1000-100000                      |
| Anhydryty                                     | 10000-1000000                    |
| Sól kamienna                                  | 10000-1000000                    |

Tab. 1 Średnie wartości oporności właściwej różnych utworów geologicznych (wg Sharma, 1997, Burger, 1992, Fajkiewicz, 1972).

Do podstawowych parametrów własności elektrycznych minerałów i skał (Plewa i Plewa, 1992) zalicza się:

- elektryczną oporność właściwą ( $\rho$ ) lub przewodność elektryczną właściwą ( $\sigma$ ),
- przenikalność elektryczną ( $\epsilon$ ),
- moduł piezoelektryczny ( $d$ ),
- aktywność elektrochemiczną ( $A$ ),
- zdolność skał do polaryzacji

W badaniach geofizycznych, prowadzonych przy wykorzystaniu prądów zmiennych o wysokiej częstotliwości mają znaczenie następujące parametry (Plewa i Plewa, 1992):

- liczba falowa

$$k^2 = \omega^2 \epsilon \mu = 4\pi^2 f^2 \epsilon \mu_0 \mu_r (m^{-2})$$

gdzie:

$f$ ,  $\omega$  - odpowiednio częstotliwość (Hz), oraz kątowna częstotliwość ( $rad \cdot s^{-1}$ ) prądu zmiennego,

$$\omega = 2\pi f$$

$\mu$  - przenikalność magnetyczna ( $H \cdot m^{-1}$ )

$\mu_0$  - przenikalność magnetyczna próżni ( $4\pi \cdot 10^{-7}$ ) (H·m<sup>-1</sup>)

$\mu_r$  - względna przenikalność magnetyczna

$\varepsilon$  - zespolona przenikalność elektryczna ośrodka (F·m<sup>-1</sup>)

- zespolona przenikalność elektryczna

$$\varepsilon = \varepsilon' - \varepsilon'' = \varepsilon' - i \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0} = \varepsilon' (1 - i \operatorname{tg} \delta)$$

gdzie:

$\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$  - rzeczywista i urojona składowa przenikalności elektrycznej,

$\varepsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni ( $8,85416 \cdot 10^{-12}$ )

$\sigma$  - przewodność elektryczna ośrodka skalnego (S·m<sup>-1</sup>)

$\operatorname{tg} \delta$  - tangens kąta stratności

- parametr względnych absolutnych wartości prądów przewodności ( $j_p$ ) przesunięcia

( $j_{pr}$ ) -  $P_{\sigma, \varepsilon}$

$$P_{\sigma, \varepsilon} = \frac{j_p}{j_{pr}} = \frac{1}{\omega \varepsilon \rho}$$

gdzie:

$\rho$  - elektryczna oporność właściwa ( $\Omega\text{m}$ )

Z opisu parametrów wynika, że mogą one być wyznaczone na podstawie wartości  $\varepsilon$ ,  $\mu$  i  $\rho$ . Pomiar oporu skał przy przepływie prądu stałego lub wolnozmiennego opiera się na wykorzystaniu prawa Ohma.

W metodzie elektroopornościowej, bazującej na przepływie prądu w ośrodku skalnym stosuje się szereg układów pomiarowych, różniących się rozmieszczeniem elektrod na powierzchni terenu. Niezwykle ważny jest dobór właściwego układu pomiarowego dla rozwiązywanego problemu. Wybór ten zależy od rodzaju i kształtu badanej struktury, spodziewanego kontrastu oporności, charakterystyki aparatury pomiarowej oraz poziomu występujących na obszarze badań ewentualnych zakłóceń (Rudzki, 2002).

Pośród cech konkretnego układu, które należy rozważyć, najważniejszymi są: wrażliwość układu na pionowe i poziome zmiany oporności badanego ośrodka, średnia głębokość prospekcyjna układu (Edwards, 1997), gęstość poziomego pokrycia profilu pomiarami oraz wielkość mierzonego sygnału (Rudzki, 2002 za: Loke, 1999a).

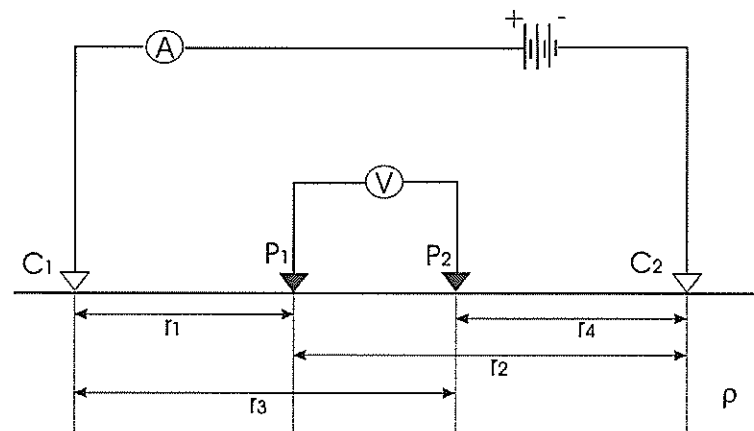
Metoda pomiaru oporności ośrodka skalnego w klasycznym układzie pomiarowym (składającym się z 4 elektrod pomiarowych) polega na pomiarze spadku potencjału między elektrodami pomiarowymi oraz pomiarze prądu w obwodzie zasilającym (rys. 1), a wartość oporności właściwej ośrodka oblicza się ze wzoru (Sorokin, 1956):

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I}$$

gdzie:

$k$  – współczynnik geometrii układu pomiarowego, zależny od rozstawów AB i MN

Wzór ten oparty jest na założeniu że ośrodek rozciąga się w nieskończoność, jest jednorodny i izotropowy. W rzeczywistości jednak badany ośrodek skalny nie jest jednorodny, a składa się z wielu warstw różniących się składem oraz budową. W takim wypadku wielkość  $\rho$  obliczona na podstawie w/w wzoru nie jest rzeczywistą opornością właściwą badanego ośrodka, zależy jednak od rzeczywistych oporności wszystkich niejednorodności z których składa się ośrodek. Dlatego wielkość opisana we wzorze nazywana jest w badaniach geoelektrycznych pozorną opornością właściwą ośrodka (Sorokin, 1956), i oznaczana jest  $\bar{\rho}$ .



Rys. 1. Metoda pomiaru oporności ośrodka (Burger, 1992).

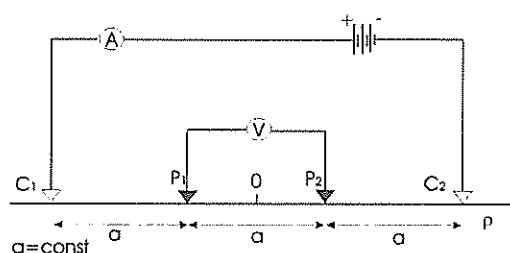
Wartość potencjału dla elektrod P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub> przedstawia się następująco (Burger, 1992):

$$V_{P_1} = \frac{i\rho}{2\pi r_1} - \frac{i\rho}{2\pi r_2} \quad V_{P_2} = \frac{i\rho}{2\pi r_3} - \frac{i\rho}{2\pi r_4}$$

po obliczeniu różnicy potencjałów oporność pozorna ośrodka będzie wyrażona przez:

$$\bar{\rho} = \frac{2\pi\Delta V}{i} \left( \frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}} \right)$$

W metodzie elektroopornościowej stosowane są różne układy pomiarowe, które należy dostosować w zależności od warunków pomiarowych oraz charakteru rozpoznania geofizycznego. Stosowane są układy symetryczne i niesymetryczne (Sharma, 1997, Burger, 1992, Kearey i Brooks, 1991, Stenzel i Szymanko, 1973). Do symetrycznych układów należy układ Wennera (rys. 2), stosowany najczęściej w profilowaniach elektrooporowych.



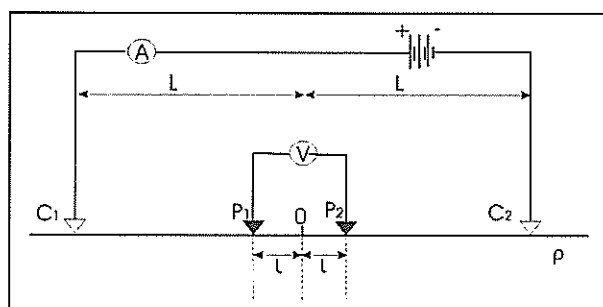
Pozorną oporność dla takiego układu obliczamy ze wzoru:

$$\bar{\rho} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

Rys. 2. Układ Wennera symetryczny.

Układ Wennera jest dość czuły na zmiany oporności elektrycznej wraz z głębokością, mniej natomiast czuły na jej zmiany w kierunkach horyzontalnych. Układ ten charakteryzuje się najsilniejszym poziomem mierzonego sygnału (Sharma, 1997, Rudzki, 2002).

Innym układem symetrycznym, stosowanym zazwyczaj w sondowaniach elektrooporowych jest układ Schlumbergera (gradientowy symetryczny, rys. 3).



Pozorną oporność dla takiego układu obliczamy ze wzoru:

$$\bar{\rho} = \frac{\pi L^2}{I} \frac{\Delta V}{2l}$$

Rys. 3. Układ Schlumbergera (gradientowy, symetryczny).

Układ Schlumbergera charakteryzuje się średnią czułością na zmiany oporności ośrodka tak z głębokością, jak i w kierunkach horyzontalnych. Dla układu powinno stosować się zależność:  $L \gg l$ . Średnia głębokość śledzenia tego układu jest większa o ok. 10% niż w przypadku układu Wennera przy zastosowaniu tego samego rozstawu elektrod prądowych (Rudzki, 2002). Oprócz wymienionych układów istnieje jeszcze szereg innych konfiguracji elektrod, takich jak układy dipolowe równikowe czy układ trójelektrodowy, niesymetryczny (układ Humela, Stenzel i Szymanko, 1973). Układy pomiarowe oprócz specyfiki kierunku rozpoznania mają różną głębokość penetracji.

W pomiarach elektrooporowych przy użyciu wyżej wymienionych układów stosowane są następujące procedury pomiarowe:

- profilowania oporności,
- sondowania oporności,
- obrazowanie oporności (pseudotomografia oporu).

Profilowania polegają na wykorzystaniu różnic oporu właściwego kontaktujących ze sobą utworów geologicznych występujących w zasięgu rozptywu prądu i następujących wzdłuż wybranego kierunku obserwacji. W profilowaniach najczęściej stosuje się jeden układ pomiarowy, przy identycznej geometrii układu dla wszystkich pomiarów. Czasem profilowania uzupełnia się pomiarami o płytszym rozpoznaniu, mającym na celu zbadanie zmienności warstwy przypowierzchniowej górotworu. Optymalnym rozstawem elektrod jest taki układ, gdzie warstwa lub inny obiekt zalegający w górotworze podlegający profilowaniom będzie wywoływał największą anomalię oporności pozornej (Dźwinel, 1972). Dane profilowań przedstawia się w postaci krzywych na wykresach (dla pojedynczych profili

pomiarowych) lub mapach izook oporności pozornej (dla kilku profili pomiarowych). Przy pomocy profilowań oporności możemy lokalizować epicentra obiektów oraz kontakty obiektów o różnej oporności, kierunek rozciągłości oraz niekiedy kierunek upadu (Zuberek i in., 1985). W profilowaniach oporności nie można jednak uzyskać informacji o pionowym rozkładzie oporności, co ogranicza interpretację ilościową.

Sondowania elektroopornościowe pozwalają w przeciwieństwie do profilowań w przypadku poziomego zalegania warstw o różnych opornościach rozpoznanie górotworu w kierunku pionowym. Wyznaczenie oporności pozornej w sondowaniach polega na zwiększaniu rozstawu elektrod prądowych nad punktem pomiarowym, co powoduje zwiększenie głębokości penetracji górotworu. Sondowania można prowadzić jeżeli górotwór zbudowany jest z warstw poziomych o stałych opornościach.

Zmiany mierzonego parametru wskazują na pionowe następstwo warstw. Wykonanie kilku sondowań na jednym profilu pomiarowym pozwala poznać przekrój geologiczny pod profilem pomiarowym.

Obecnie rozwój technik obliczeniowych oraz zastosowanie komputerów pozwala na dokładną analizę uzyskanych w trakcie pomiarów danych (Inman i in., 1973, Edwards, 1977, Zhody, 1989). Stosowanych jest wiele komercyjnych programów, działających w oparciu o złożone algorytmy matematyczne. Reasumując, sondowania elektroopornościowe pozwalają nam na interpretację zarówno jakościową jak i ilościową.

## Opis stosowanej metodyki pomiarowej wykorzystanej w pomiarach oraz lokalizacja punktów pomiarowych - Jaworzno, rejon Sadowa Góra

W rejonie ulicy ul. Sadowa Góra (miasto Jaworzno) przeprowadzono pomiary elektroopornościowe w wariacie sondowań elektroopornościowych, co pozwoliło rozpoznać górotwór (pionowe następstwo warstw) do kilkunastu, kilkudziesięciu metrów. Przeprowadzono również profilowania elektroopornościowe, które miały na celu rozpoznanie zmienności warstw przypowierzchniowych. Pomiary prowadzono w lipcu 2015 roku.

Sondowania elektroopornościowe prowadzono aparaturą geoelektryczną SAS 300C (tabela 1), stosując rozstawy wymienione w tabeli nr 2.

W rejonie badań wykonano trzy sondowania o rozstawie AB=20m oraz dwa sondowania o rozstawie AB=200m.

|                         |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Producent:              | ABEM (Szwecja)                    |
| Mierzone parametry:     | Oporność elektryczna ( $\Omega$ ) |
| Impedancja wejściowa:   | 10M $\Omega$                      |
| Zakres wejściowy:       | 0-500V                            |
| Rozdzielczość:          | +/- 1 $\mu$ V                     |
| Dokładność:             | +/-2 (przy 1 M $\Omega$ )         |
| Czasy cykli pomiarowych | 3,6, 7,2, 14,4 s.                 |
| Zasilanie:              | akumulator 12V, 4Ah               |

Tab.1 Specyfikacja miernika geoelektrycznego SAS 300C (Instrukcja obsługi Terrameter SAS 300C).

| Lp. | MN/2 [m] | AB/2 [m] |
|-----|----------|----------|
| 1.  | 0,2      | 1        |
| 2.  | 0,2      | 1,5      |
| 3.  | 0,2      | 2        |
| 4.  | 0,2      | 3        |
| 5.  | 0,2      | 4        |
| 6.  | 0,2      | 5        |
| 7.  | 0,2      | 6        |
| 8.  | 0,2      | 8        |
| 9.  | 1        | 6        |
| 10. | 1        | 8        |
| 11. | 1        | 10       |
| 12. | 1        | 12       |
| 13. | 1        | 16       |
| 14. | 1        | 20       |
| 15. | 4        | 16       |
| 16. | 4        | 20       |
| 17. | 4        | 25       |
| 18. | 4        | 30       |
| 19. | 4        | 40       |
| 20. | 4        | 60       |
| 21. | 8        | 40       |
| 22. | 8        | 60       |
| 23. | 8        | 80       |
| 24. | 8        | 100      |

Tab. 2 Zastosowane rozstawy pomiarowe w sondowaniach elektroopornościowych.

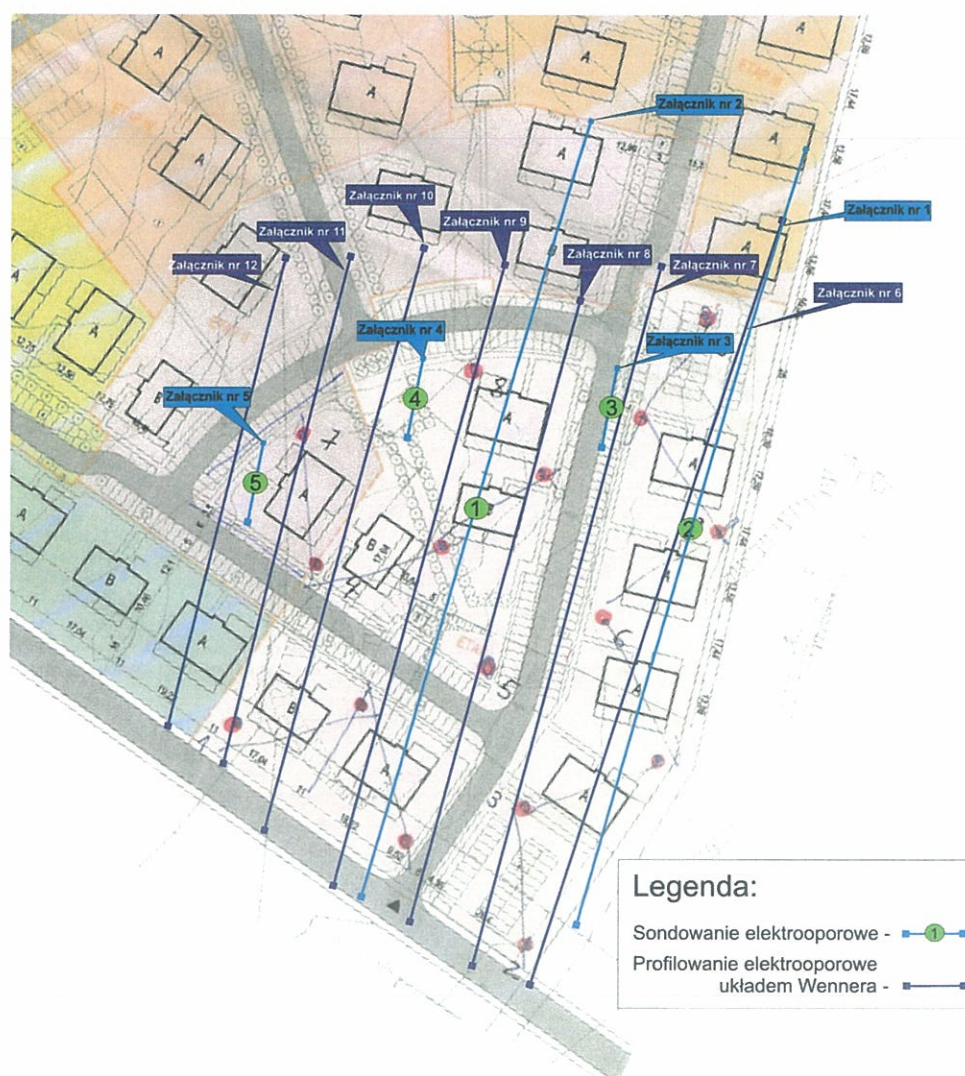
Profilowania elektroopornościowe prowadzono układem Wennera symetrycznym, a pomiar realizowano miernikiem GEOHM C (tab. 3).

|                      |  |
|----------------------|--|
| Producent:           | GOSSEN METRAWATT GMBH (Niemcy)                 |
| Mierzone parametry:  | Oporność elektryczna gruntu ( $\Omega m$ )     |
| Częstotliwość pracy: | 128Hz  |
| Napięcie maksymalne: | 50V  |
| Zakres prądu:        | 100 $\mu A$ , 1mA, 10mA                        |
| Pomiar oporności:    | 0,01 $\Omega$ ÷ 20k $\Omega$ oraz 50k $\Omega$ |
| Zasilanie:           | akumulator LR14 x 4                            |

Tab. 3 Specyfikacja miernika geoelektrycznego GEOHM C (Instrukcja obsługi GEOHM C).

Współczynnik geometryczny obliczono zgodnie ze wzorem zawartym w części teoretycznej pracy. Zastosowano układy pomiarowe o rozstawie  $a=5m$  (seria 1) oraz  $a=10m$  (seria 2) na 7 profilach pomiarowych.

Rozstawy dla sondowania elektroopornościowego były optymalizowane do sytuacji terenowej, biorąc pod uwagę infrastrukturę powierzchniową, wykorzystując geometrię układu ujętą w tabeli 2. Lokalizację sondowań oraz profilowań przedstawiono na poniższym planie sytuacyjnym.



Szkic terenowy rejonu badań z ujętym sondowaniem elektroopornościowym oraz profilami pomiarowymi elektrycznej oporności pozornej górotworu.



## Wyniki badań – Jaworzno, rejon Sadowa Góra dz. nr 140/1 i 140/4

Interpretacji poddano serię danych pomiarowych z pięciu sondowań elektroopornościowych. Zestawienie interpretacji i wyników zostały przedstawione w załącznikach do niniejszej pracy. Miąższości i wartości oporności wyinterpretowanych warstw przedstawiono w poniższych tabelach.

| Sondowanie 1<br>AB=200m |                  |                  | Sondowanie 2<br>AB=200m |                  |                  | Sondowanie 3<br>AB=20m |                  |                  |
|-------------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------|
| Oporność<br>[Ωm]        | Miaższość<br>[m] | Głębokość<br>[m] | Oporność<br>[Ωm]        | Miaższość<br>[m] | Głębokość<br>[m] | Oporność<br>[Ωm]       | Miaższość<br>[m] | Głębokość<br>[m] |
| 569                     | 0,41             |                  | 1049                    | 0,77             |                  | ok.650                 | 2,2              |                  |
| 74                      | 1,4              | 0,41             | 34                      | 3,6              | 0,77             | 39                     |                  | 2,2              |
| 20                      | 5,1              | 1,8              | 115                     | 53               | 4,4              |                        |                  |                  |
| 82                      |                  | 6,9              | 51                      |                  | 57               |                        |                  |                  |

| Sondowanie 4<br>AB=20m |                  |                  | Sondowanie 5<br>AB=20m |                  |                  |
|------------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------|
| Oporność<br>[Ωm]       | Miaższość<br>[m] | Głębokość<br>[m] | Oporność<br>[Ωm]       | Miaższość<br>[m] | Głębokość<br>[m] |
| 909                    | 1,7              |                  | 1094                   | 0,82             |                  |
| 122                    |                  | 1,7              | 41                     | 5                | 0,82             |
|                        |                  |                  | 163                    |                  | 5,8              |

Na podstawie wyników łącznie wyznaczono trzy warstwy o wyraźnym kontraście mierzonego parametru, które zaznaczają się na krzywych sondowań elektroopornościowych. Warstwa pierwsza - przypowierzchniowa o miąższości ok. 0,4m – 2,2m i oporności rzędu 570-1100[Ωm] została wyinterpretowana na wszystkich pięciu sondowaniach. Ogólnie można wiązać ją z warstwą humusu i/lub gruntami piaszczystymi, czy też piaskami zaglinionymi.

Poniżej wyinterpretowano warstwę drugą o miąższości ok. 3,6m – 5,1m i oporności rzędu 20-41[Ωm]. Pomierzone wartości oporności odpowiadają tabelarycznym wartościom glin oraz m.in. gruntów wilgotnych ilastych i piaszczystych. Pomiedzy warstwą pierwszą i drugą w przypadku sondowania nr 1 oraz pod warstwą pierwszą przypowierzchniową w przypadku sondowania nr 4 wyinterpretowano warstwę, którą pominięto w ogólnym modelu elektroopornościowym obszaru objętego badaniami. Poniżej znajduje się warstwa trzecia o oporności rzędu 82 - 163[Ωm] i miąższości prawdopodobnie kilkudziesięciu metrów. Pomierzone wartości oporności odpowiadają tabelarycznym wartościom glin zwałowych oraz m.in. piaskowców, jednakże nie wyklucza się również występowania zwietrzliny skał wysokoopornościowych takich jak wapień triasowe (występujące w podłożu rejonu badań) wypełnionej i przemieszanej z w/w utworami, czy też spękanych, zawodnionych skał triasowych.

Interpretacja profilowań elektroopornościowych ma charakter jakościowy. Wartości oporności pozornej otrzymane metodą profilowań elektroopornościowych wykazały zmienność mierzonego parametru w płytkich warstwach przypowierzchniowych; dla rozstawu  $a=5\text{m}$  (I seria pomiarowa) otrzymano wartości w przedziale 28 - 280 a dla  $a=10\text{m}$  (II seria pomiarowa) uzyskano wartości oporności w przedziale 51 – 96  $\Omega\text{m}$

Na krzywych zmian oporności pozornej obserwuje się wyraźne zaburzenia mierzonego parametru w warstwach przypowierzchniowych dla rozstawu  $a=5\text{m}$ , które mogą być związane z różną miąższością wysokoopornościowej warstwy pierwszej, którą wyinterpretowano na wszystkich wykonanych sondowaniach elektroopornościowych, a także ze zmienną wilgotnością gruntu oraz zmianami w geologii obszaru objętego pomiarami.

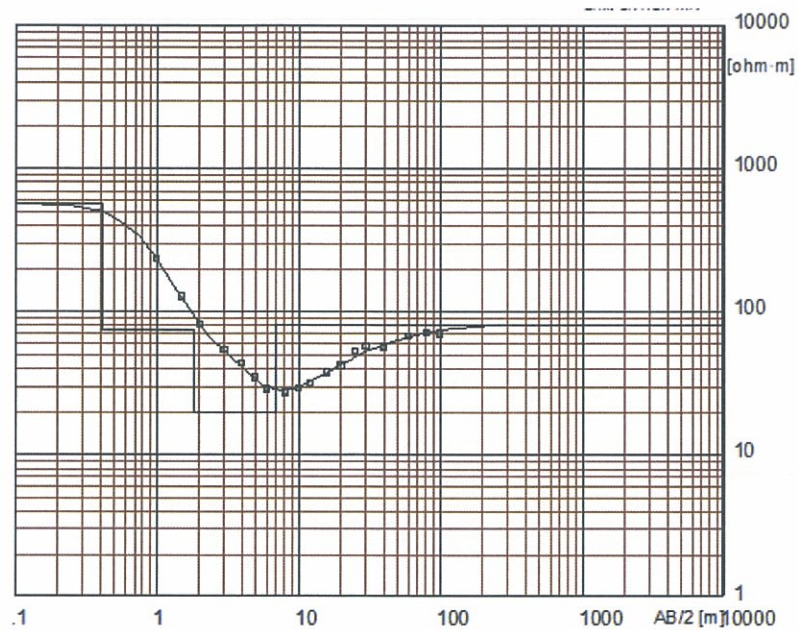
**W części przypowierzchniowej można wykluczyć występowanie pustek oraz stref poluźnionych, związanymi z działalnością górniczą poeksploatacyjnych na odcinku przeprowadzonych profilowań elektroopornościowych.**

**Wyniki badań geofizycznych należy ściśle korelować z wierceniami geologicznymi (potwierdzić wyinterpretowane warstwy) oraz dostępnymi danymi geologicznymi w celu uniknięcia wieloznaczności interpretacji danych geofizycznych.**

#### **Literatura:**

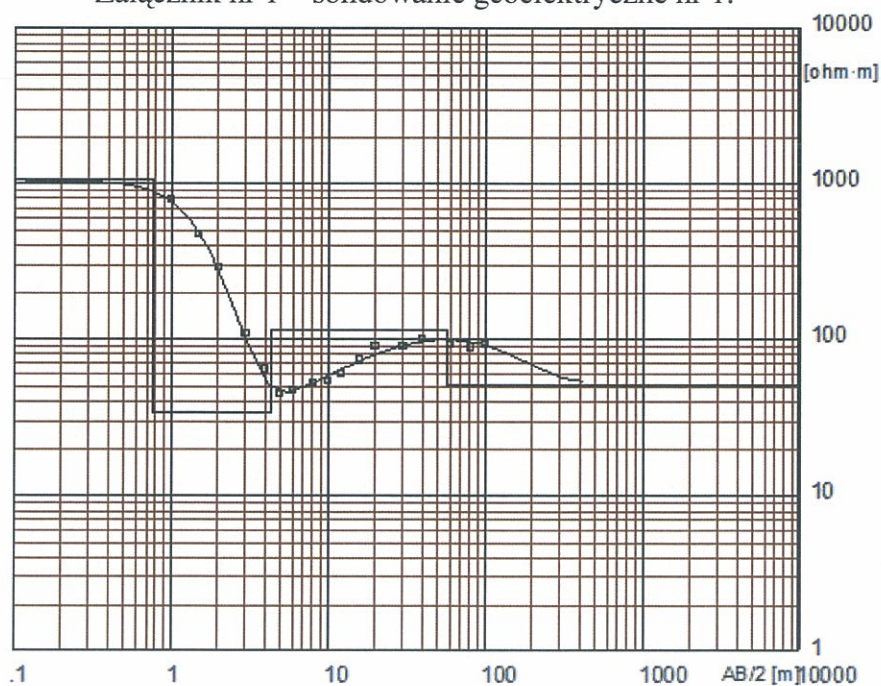
- Burger, R.H., 1992, Exploration geophysics of the shallow subsurface, Prentice-Hall,  
Dźwinel, J., 1972, [w]: Fajkiewicz, Z. [red], Zarys geofizyki stosowanej, Wydawnictwa Geologiczne, s. 923  
Edwards, L.S., 1977, A modified pseudosections for resistivity and induced polarisation, Geophysics, vol. 42, No. 8, s. 1020-1036  
Inman, J.R., 1975, Resistivity inversion with ridge regression, Geophysics, vol. 40, 798-817.  
Kearey, P., Brooks, M., 1991, An introduction to geophysical exploration, Blackwell Scientific Publications, Oxford  
Plewa, M., Plewa, S., 1992, Petrofizyka, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa  
Rudzki, M., 2002, Zastosowanie metody tomografii elektrooporowej do wykrywania podziemnych obiektów Antropogenicznych, Publications of IG PAN, vol M-27, No 352, s. 195-210  
Sharma, P.V., 1997, Environmental and engineering geophysics, Cambridge University Press, s. 499  
Sorokin, L.W., 1956, Geofizyka poszukiwawcza, Wydawnictwa Geologiczne, s. 467  
Stenzel, P., Szymanko, J., 1973, Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa  
Zuberek, W. M., 2003, „Rola i zadania geofizyki w ochronie środowiska”, Zesz. Nauk. Pol. Śl., seria Górnictwo, z.256  
Zhody, A. A. R., 1989, A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. Geophysics, vol.54, (2), s. 245–253

15



| Model       |           |       |  |
|-------------|-----------|-------|--|
| Resistivity | Thickness | Depth |  |
| [ohm·m]     | [m]       | [m]   |  |
| 569         | .41       | .41   |  |
| 74          | 1.4       | 1.8   |  |
| 20          | 5.1       | 6.9   |  |
| 82          |           |       |  |

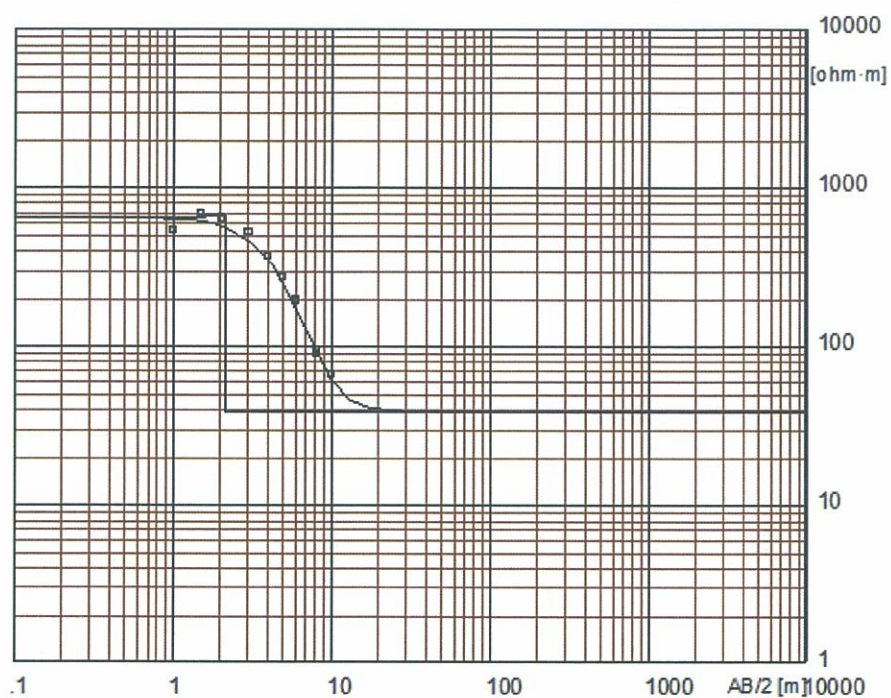
Załącznik nr 1 – sondowanie geoelektryczne nr 1.



| Model       |           |       |  |
|-------------|-----------|-------|--|
| Resistivity | Thickness | Depth |  |
| [ohm·m]     | [m]       | [m]   |  |
| 1049        | .77       | .77   |  |
| 34          | 3.6       | 4.4   |  |
| 115         | 53        | 57    |  |
| 51          |           |       |  |

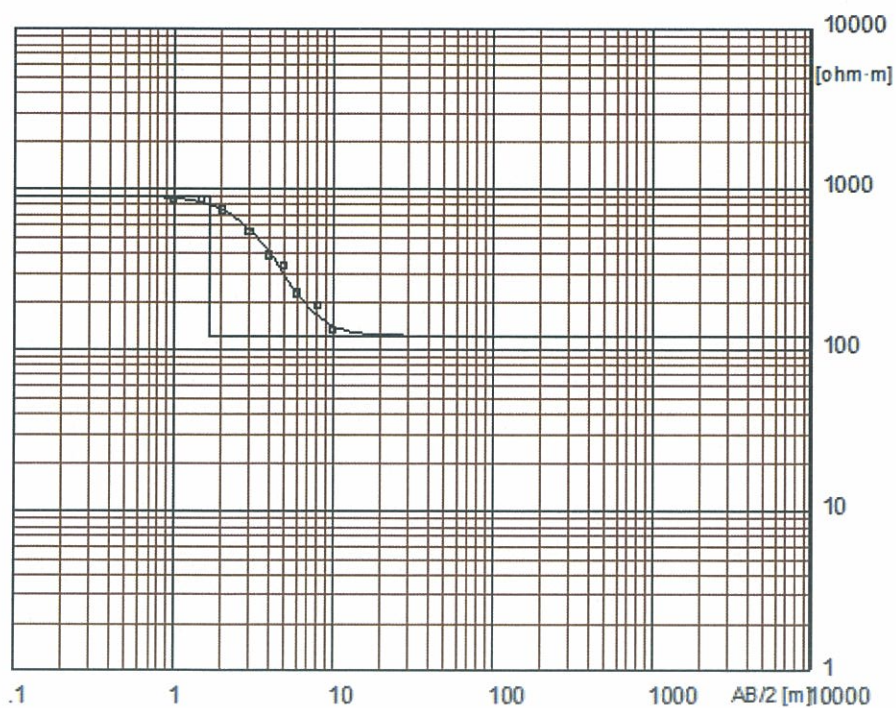
Załącznik nr 2 – sondowanie geoelektryczne nr 2.





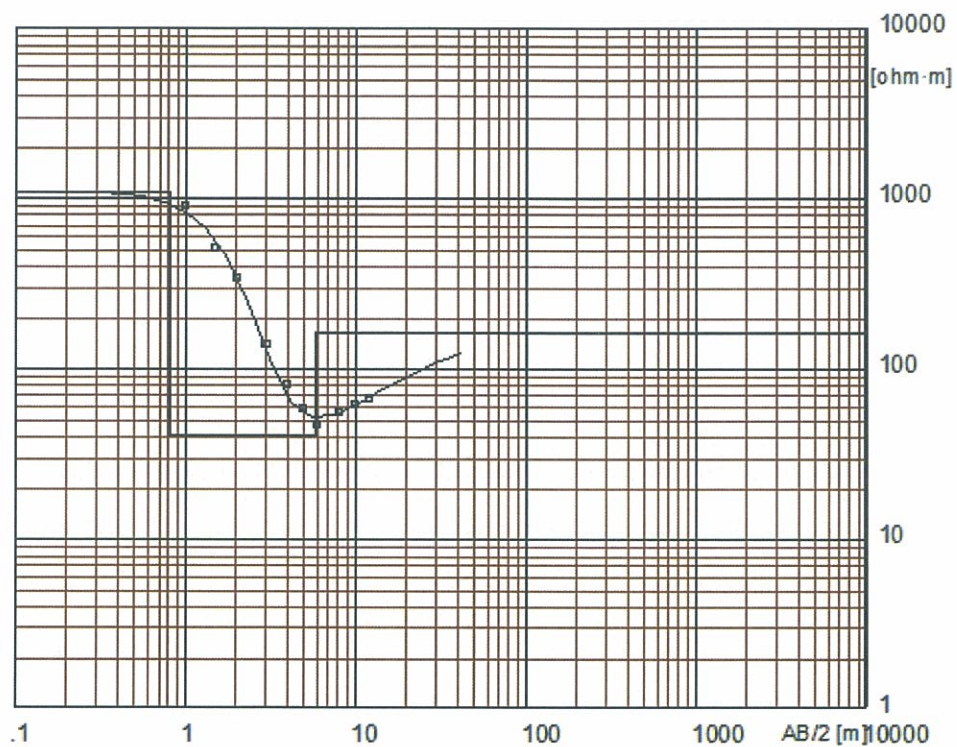
| Model       |           |       |  |
|-------------|-----------|-------|--|
| Resistivity | Thickness | Depth |  |
| [ohm·m]     | [m]       | [m]   |  |
| 655         | 1.6       |       |  |
| 663         | .58       | 1.6   |  |
| 39          |           | 2.2   |  |

Załącznik nr 3 – sondowanie geoelektryczne nr 3.



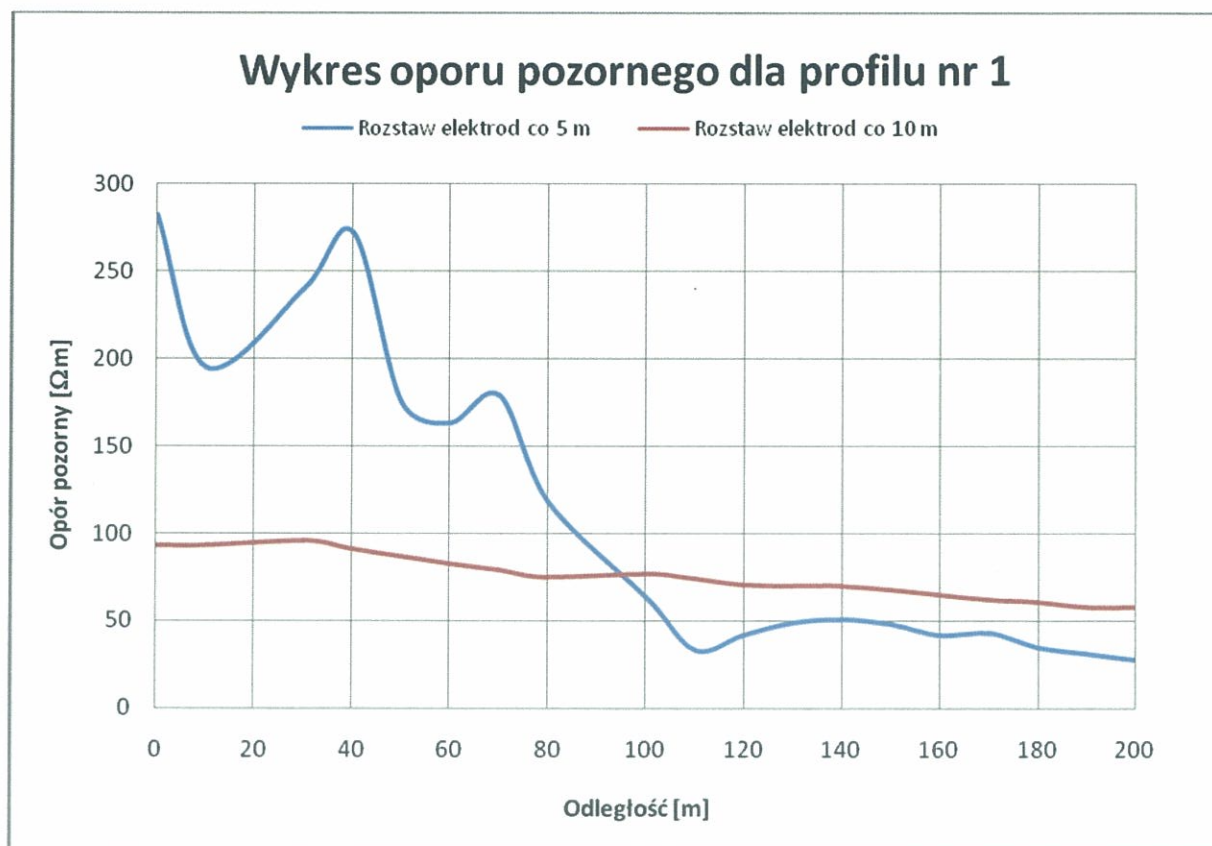
| Model       |           |       |  |
|-------------|-----------|-------|--|
| Resistivity | Thickness | Depth |  |
| [ohm·m]     | [m]       | [m]   |  |
| 909         | 1.7       |       |  |
| 122         |           | 1.7   |  |

Załącznik nr 4 – sondowanie geoelektryczne nr 4.



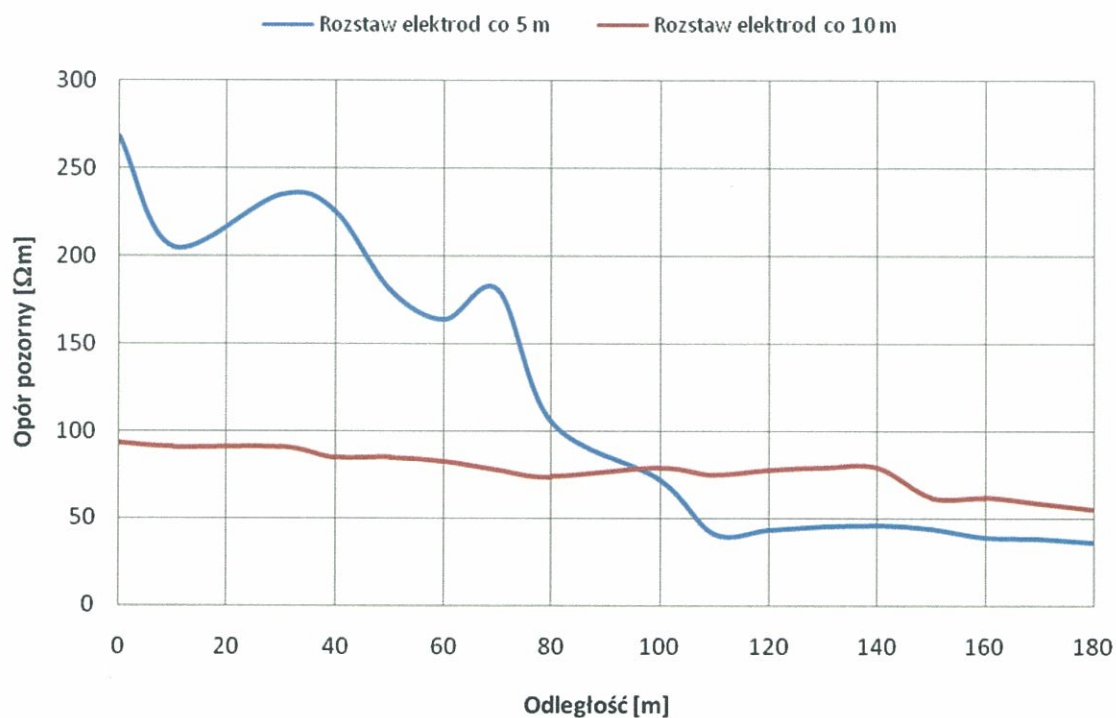
| Model | Resistivity | Thickness | Depth |
|-------|-------------|-----------|-------|
|       | [ohm·m]     | [m]       | [m]   |
|       | 1094        | .82       |       |
|       | 41          | 5         | .82   |
|       | 163         |           | 5.8   |

Załącznik nr 5 – sondowanie geoelektryczne nr 5.



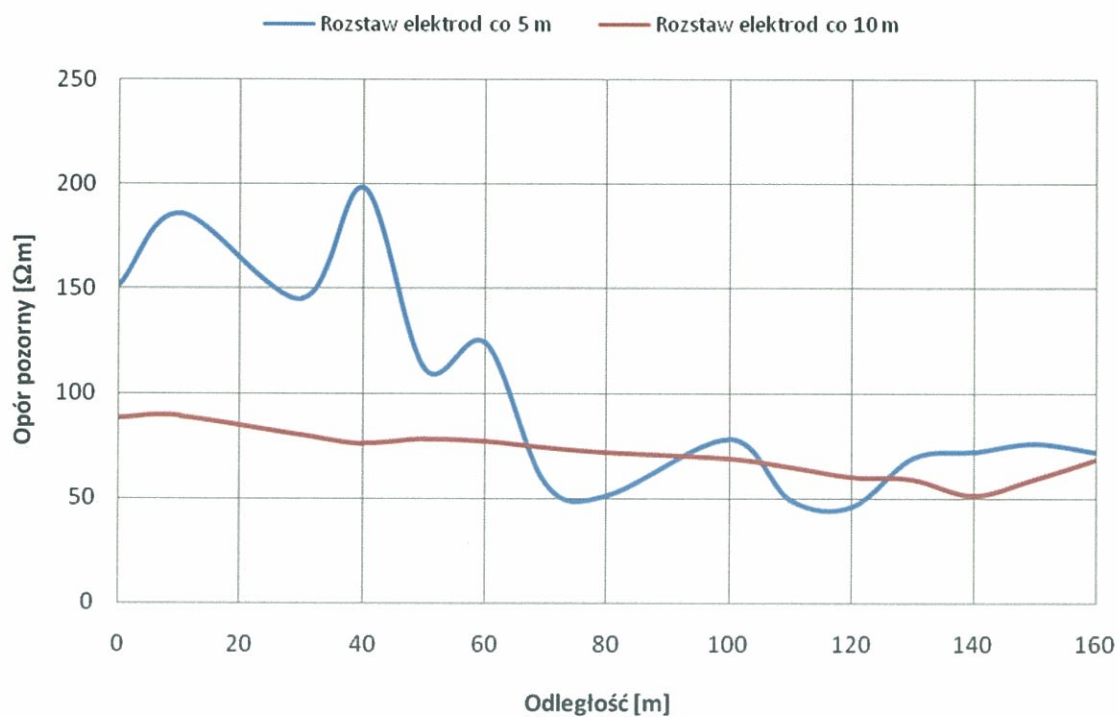
Załącznik nr 6 – profilowanie geoelektryczne nr 1.

## Wykres oporu pozornego dla profilu nr 2



Załącznik nr 7 – profilowanie geoelektryczne nr 2.

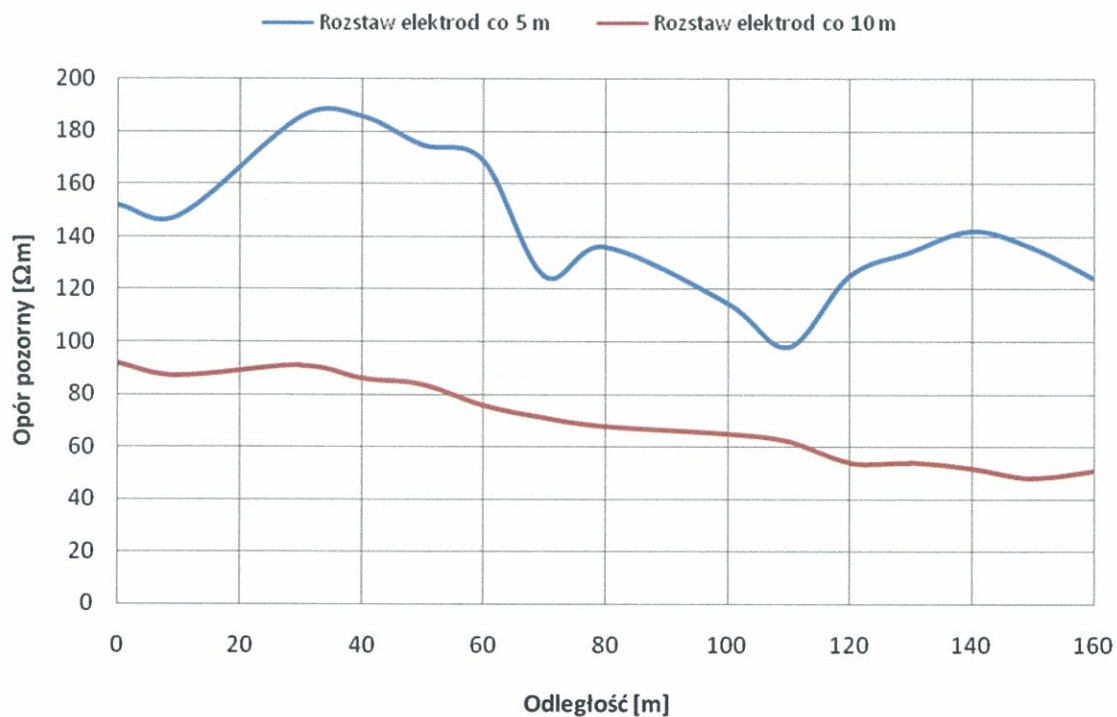
## Wykres oporu pozornego dla profilu nr 3



Załącznik nr 8 – profilowanie geoelektryczne nr 3.

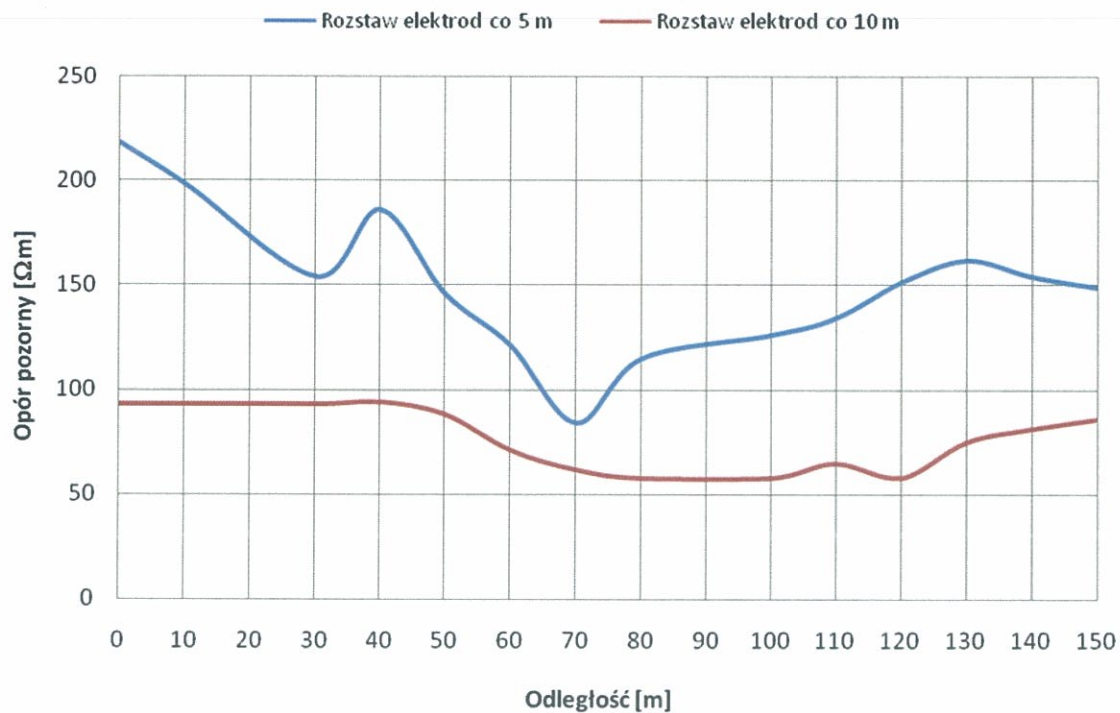


### Wykres oporu pozornego dla profilu nr 4



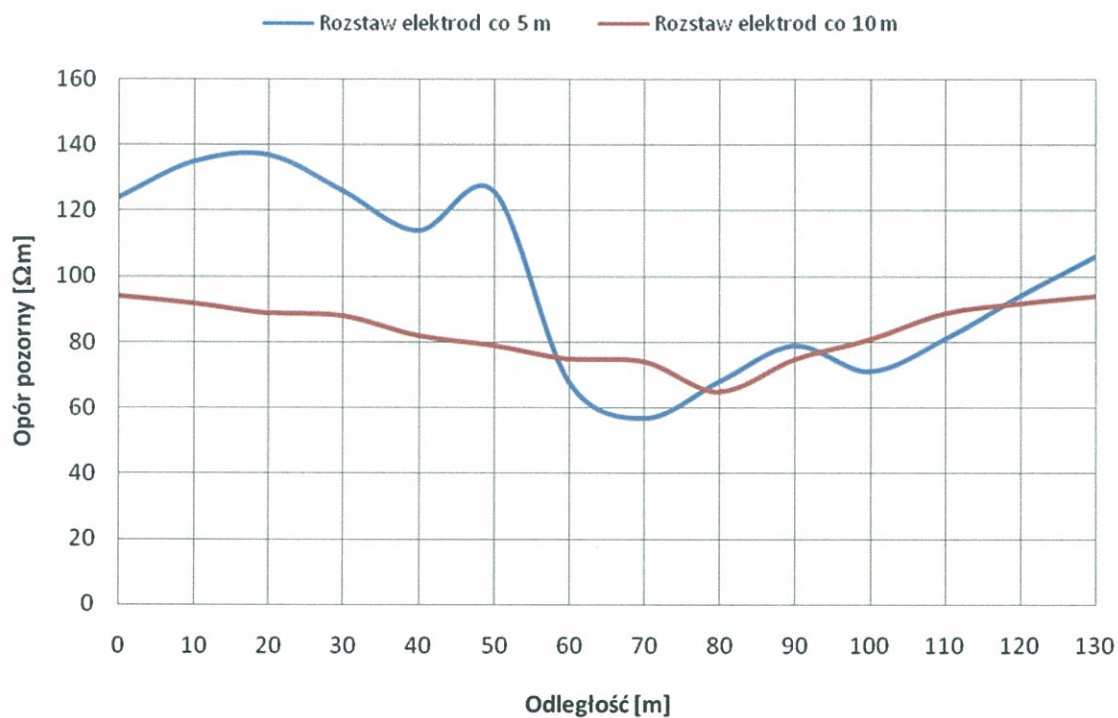
Załącznik nr 9 – profilowanie geoelektryczne nr 4.

### Wykres oporu pozornego dla profilu nr 5



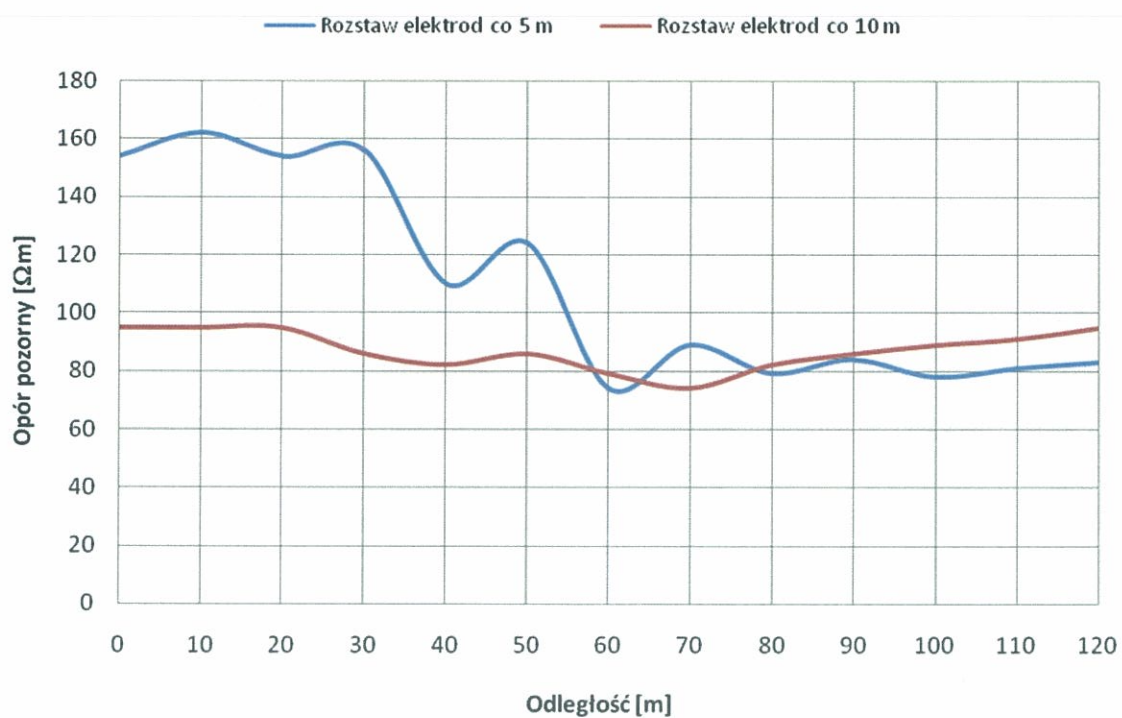
Załącznik nr 10 – profilowanie geoelektryczne nr 5.

## Wykres oporu pozornego dla profilu nr 6



Załącznik nr 11 – profilowanie geoelektryczne nr 6.

## Wykres oporu pozornego dla profilu nr 7



Załącznik nr 12 – profilowanie geoelektryczne nr 7.