

# **Rozpoznanie strefy osuwiskowej w oparciu o zmiany oporności na terenie miejscowości Ujsolę**

Wykonawca:



**Dr hab. Bogdan Żogała .....**

Grudzień, 2017

## 1. Cel i zakres badań

Celem badań było geoelektryczne rozpoznanie stoku górskiego w miejscowości Ujsoły, miejscu wskazanym przez Zleceniodawcę, pod kątem możliwej obecności strefy osuwiskowej. Pomiary wykonano wzdłuż 2 profili o długości 80 m i 120 m. Zastosowano rozstawy elektrod zapewnił rozpoznanie geoelektryczne do głębokości odpowiednio: ok. 16 m i ok. 20 m.

## 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]

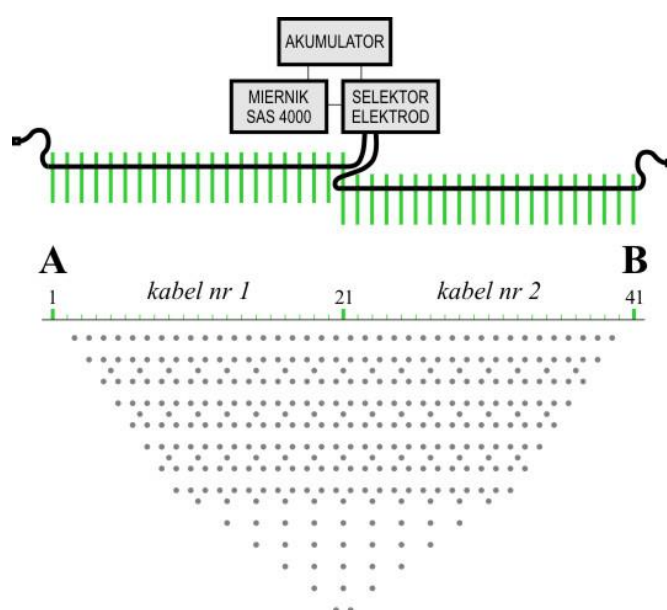
$\Delta U$  – różnica potencjałów [V]

$I$  – natężenie prądu [A]

Z uwagi na to, że ośrodek geologiczny jest elektrycznie anizotropowy, mierzona oporność zawsze jest opornością pozorną  $\rho_a$ , 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.

Z uwagi na sposób pomiaru, metoda obrazowania oporności jest połączeniem klasycznych metod elektrooporowych – profilowania oporności (ze względu na przemieszczanie stałego układu pomiarowego wzdłuż profilu) i sondowania oporności (ze względu na sukcesywny wzrost głębokości przy zwiększaniu rozstawu w kolejnej sekwencji). Przestrzenny rozkład pomierzonych wartości oporności pozornej jest o wiele bardziej równomierny niż w przypadku klasycznych metod elektrooporowych. Na **Rys. nr 1** przedstawiono rozkład punktów pomiarowych dla układu Schlumberger-Wenner w wersji zagęszczonej przy wykorzystaniu 2 kabli pomiarowych.



**Rys. nr 1** Schemat rozstawienia systemu pomiarowego Lund Imaging przy wykorzystaniu 2 kabli pomiarowych oraz rozkład punktów pomiaru oporności pozornej – w wersji zagęszczonej

W ten sposób pod względem rozkładu oporności opisany zostaje ośrodek geologiczny ograniczony od góry powierzchnią terenu, od dołu głębokością penetracji dla maksymalnych wartości rozstawu elektrod, a z boków skrajnymi położeniami „chwilowych układów pomiarowych”. Dlatego pomiary takie nazywane są pomiarami 2D.

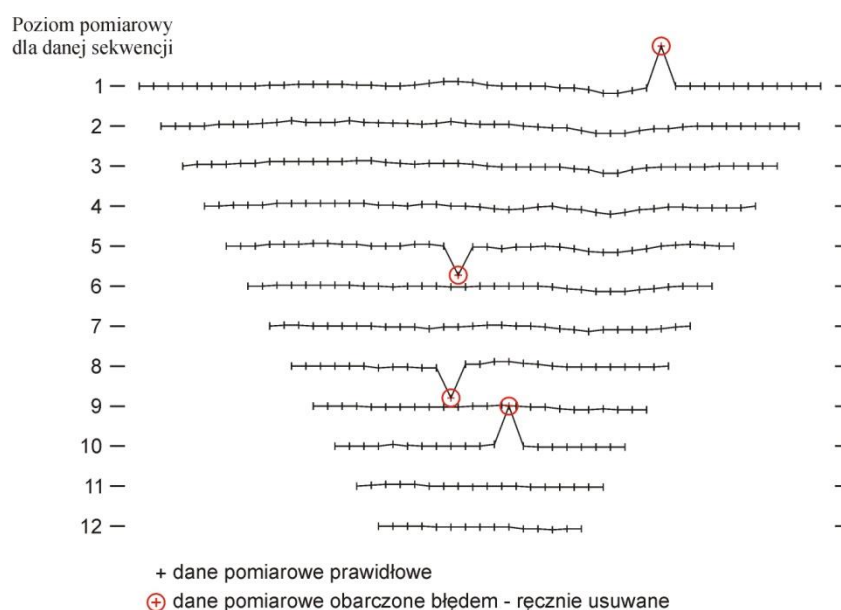
W skład systemu, oprócz wspomnianych elektrod wchodzi: sterowany mikrokomputerem selektor elektrod, miernik geoelektryczny, komplet kabli wielożyłowych oraz źródło zasilania - akumulator. Selektor umożliwia podłączenie do miernika dowolnej kombinacji czterech elektrod spośród wszystkich podłączonych 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 zastosowanego 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 2**). Zamaskowane punkty (zaznaczone czerwonym kółkiem) nie są uwzględniane w późniejszym procesie inwersji. Dzięki temu wyraźnie poprawia się jakość uzyskanych danych.



**Rys. nr 2** 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 rozwiązania zadania prostego, współczynnik tłumienia, ilość kolejnych iteracji, metodę inwersji. Po tych czynnościach bezpośrednio przechodzi się już do samego procesu inwersji. Inwersja kończy się, gdy zostaną

przeprowadzone wszystkie zaprogramowane iteracje (dopasowania) lub, gdy w kolejnych iteracjach średni błąd kwadratowy RMS zmienia się w sposób nieznaczny.

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.

### **3. 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.

### **4. Zakres wykonanych prac terenowych**

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

Przy lokalizacji profili kierowano się ograniczeniami i uwarunkowaniami technicznymi metody oraz dostępnością terenu.

Profile wytyczono geodezyjnie metodą GPS z odbiornikiem Trimble. Metodą GPS wyznaczono także współrzędne początku i końca każdego profilu oraz wysokości bezwzględne każdej elektrody. W **Tab. nr 1** zamieszczono współrzędne X, Y, H początku i końca każdego profilu

w układzie geodezyjnym 2000/5, a także przeliczone na układ WGS 84.

**Tab. 1** Wykaz współrzędne profili pomiarowych

Oznaczenie profilu	Metraż	Układ współrzędnych 2000			Układ współrzędnych WGS 84	
		X <sub>2000/5</sub>	Y <sub>2000/5</sub>	H <sub>2000/5</sub>	N	E
<b>A-B</b>	0 (A)	5484693,96	6581038,70	573,12	49° 29' 36,68''	19° 07' 07,33''
	80 (B)	5484630,61	6581045,68	526,52	49° 29' 34,63''	19° 07' 07,63''
<b>C-D</b>	0 (C)	5484720,00	6580877,42	601,23	49° 29' 37,61''	19° 06' 59,34''
	120 (D)	5484627,53	6580887,71	525,54	49° 29' 34,61''	19° 06' 59,78''

Pomiary oporności wykonano wzdłuż 2 profili o długości 80 m i 120 m i oznaczonych odpowiednio jako A-B i C-D (**Zał. nr 1**). Zastosowano protokół pomiarowy Schlumberger-Wenner w wersji zagęszczonej oraz dwa kable pomiarowe. Elektrody stabilizowano w stałej odległości równej 2 m i 3 m.

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
Długość profilu / odległość między elektrodami	Profil A-B - 80 m / 2 m Profil C-D - 120 m / 3 m
Prąd maksymalny	200 mA
Prąd minimalny	20 mA
Czas trwania impulsu prądowego	5 ms
Czas opóźnienia	4 ms
Liczba sumowań	min. 2, max. 4

## 5. 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 większości przy prądach wysokich i bardzo wysokich, rzędu 200 - 100 mA. Odchylenia standartowe pomiędzy kolejnymi pomiarami w zaprogramowanych sumowaniach cechowały się stosunkowo niewielkim rozrzutem, w zakresie od 0,01 do maksymalnie 5 %. Większość w zakresie 0,01 do 0,5 %.

Wyniki badań terenowych interpretowane były metodą inwersyjną w programie Res2Dinv firmy Geotomo Software ([www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com)). Inwersję wykonano metodą najmniejszych kwadratów z algorytmem wygładzającym.

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 / Ilość punktów przyjętych do inwersji	Profil A-B - 330 / 325 Profil C-D - 328 / 323
Ilość poziomów pomiarowych	Profil A-B - 17 Profil C-D - 16
Ilość dopasowań (iteracji)	min. 4; max. 5
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 elektrooporowe 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 **Zał. nr 2.1 i Zał. nr 2.2** – zmiany oporności wzdłuż profili pomiarowych.

Miarą jakości uzyskanych przekrojów elektrooporowościowych jest średni błąd kwadratowy RMS. Jego wartości na poziomie do kilku procent, a takie uzyskano, świadczą o bardzo dobrym dopasowaniu modeli do badanego ośrodka geologicznego, a zatem o dużej ich wiarygodności.

## 6. Interpretacja, wnioski

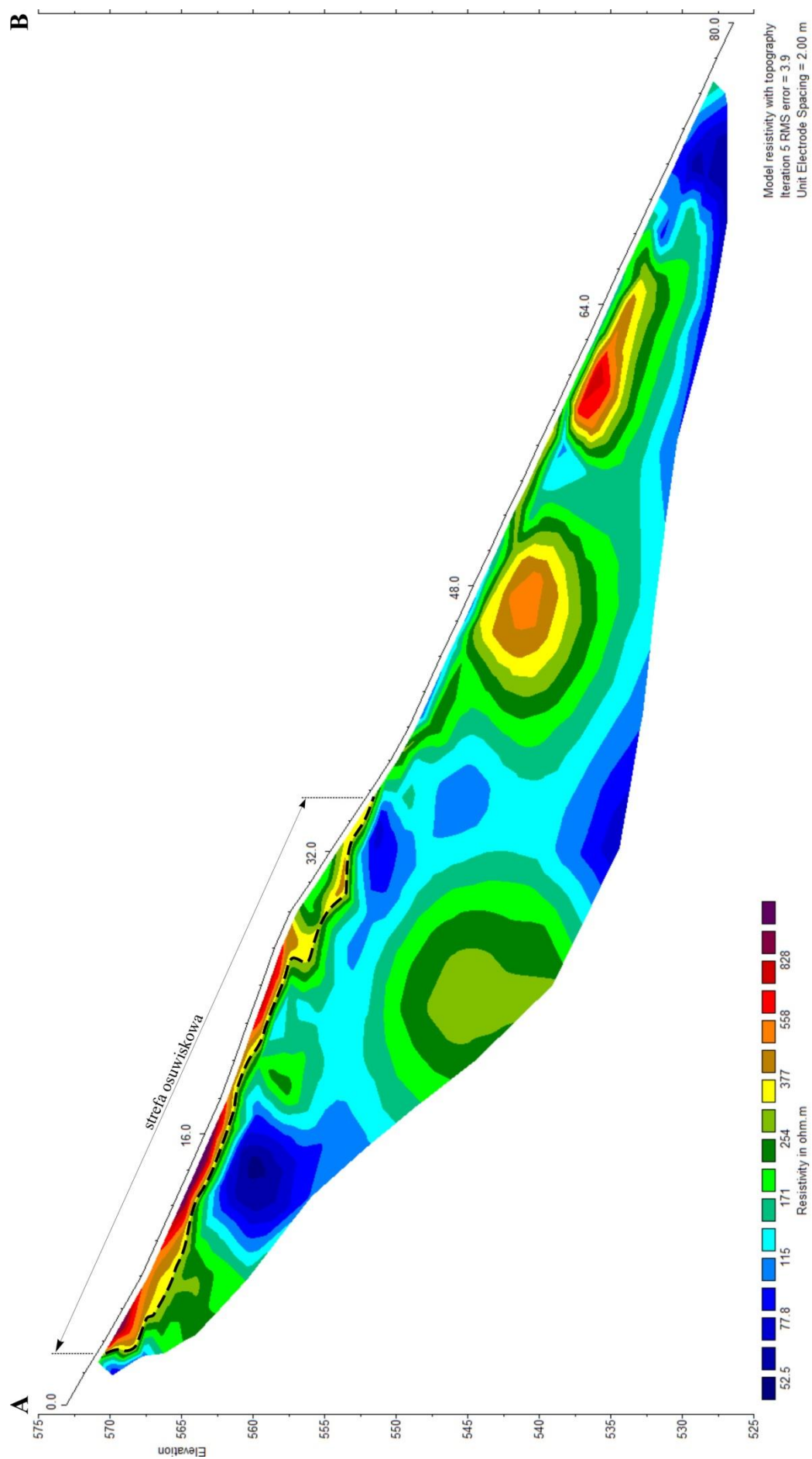
Zastosowany rozstaw elektrod oraz protokół pomiarowy zapewniły rozpoznanie geoelektryczne (zmian oporności) wzdłuż badanych profili do głębokości ok. 16 m p.p.t. – profil A-B oraz ok. 20 m p.p.t. – profil C-D.

Na badanym obszarze uzyskano oporności w stosunkowo niskim zakresie, bo od ok. 50  $\Omega\text{m}$  do ok. 850  $\Omega\text{m}$  (**Zał. nr 2.1 i 2.2**), z czego najwyższe, powyżej 300  $\Omega\text{m}$  jedynie w stropowych partiach przekrojów. Badany obszar można zatem zaliczyć do nisko opornościowego, co jest charakterystyczne dla fliszu.

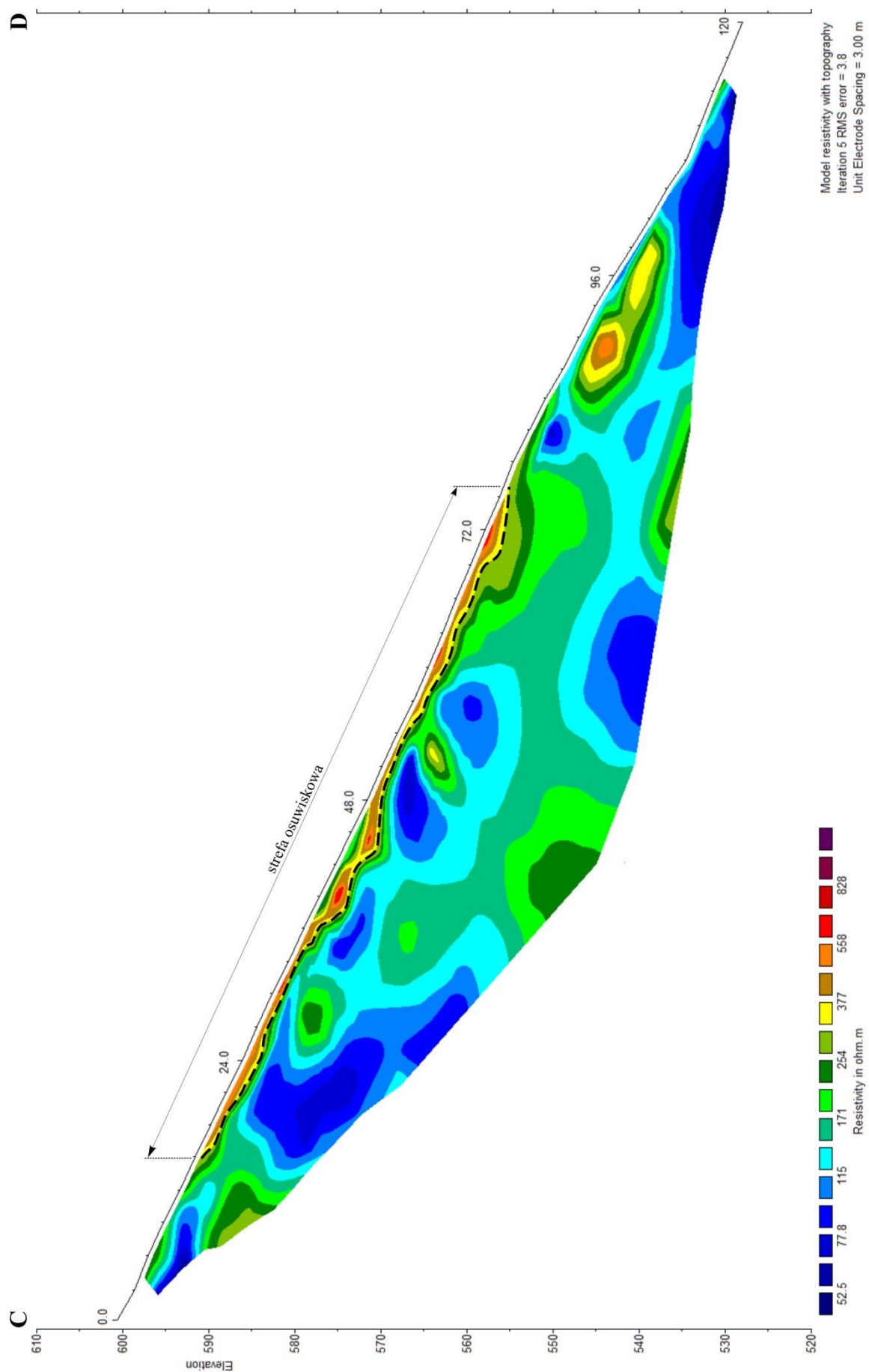
Cienka przypowierzchniowa warstwa wysokoopornościowa o miąższości rzędu 0,5 – 2,0 m, obecna na obydwu przekrojach, wyraźnie wiąże się z obecnością rumoszu skalnego i utworów zwietrzelinowych. Można ją korelować z płytką strefą osuwiskową. Płaszczyzna poślizgu zaznaczona została czarną linią przerywaną i koreluje ona ze spągiem opisywanej warstwy wysokooporowej. Na przekroju A-B strefa osuwiskowa obecna jest pomiędzy 3 m i 36 m, a na przekroju C-D pomiędzy 15 m i 76 m.

Warstwy zalegające w pozostałych partiach przekrojów, cechują się już znacznie niższymi opornościami i wiążą się ze skałami piaskowcowymi, prawdopodobnie spękanymi i zawodnionymi. W niewielkim stopniu mogą być one zailone, na co wskazują oporności do ok. 50 – 70  $\Omega\text{m}$ .





ZaŁ. 2.1 Zmiany oporności wzdŁuŁ profilu pomiarowego A-B. Linia czarna przerywana zaznaczono wyinterpretowanĄ pŁaszczynę poŁizgu.



Załącznik 2.2 Zmiany oporności wzdłuż profilu pomiarowego C-D. Linia czarna przerywana zaznaczono wyinterpretowaną płaszczyzną poslizgu.