

## **6. Badania magnetotelluryczne wraz z interpretacją geologiczną i geofizyczną**

**UWAGI WPROWADZAJĄCE:** Niniejszy rozdział został przygotowany przez podwykonawców zadania PSG, którzy, na zlecenie Państwowego Instytut Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego, zrealizowali badania magnetotelluryczne, odpowiednio:

**Geopartner Sp. z o.o.** (ul. Skośna 39B, 30-383 Kraków) – w rejonach badawczych Mokrzeszów i Grabin w r. 2015 (podrozdział 6.1)

*i*

**Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.** (ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa) – w rejonie badawczym Ciepłowody w r. 2017 (podrozdział 6.1).

### **6.1 Sprawozdanie z badań magnetotellurycznych w rejonach badawczych Mokrzeszów i Grabin** (Wykonawca: „Geopartner” sp. Z o.o.)

#### **6.1.1.Karta Informacyjna**

1. Rodzaj opracowania	Sprawozdanie z badań geofizycznych
2. Cel prac	Wyznaczenie rozkładu oporności w ośrodku geologicznym do głębokości co najmniej 1 km oraz określenie przydatności metody magnetotellurycznej na tle innych metod zastosowanych do realizacji przedsięwzięcia „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych – etap I”
3. Podstawa realizacji	Umowa nr 2/Geopartner/2015/IŁB z dnia 16.11.2015

4. Lokalizacja terenu badań Rejon miejscowości Grabin w województwie opolskim, powiecie opolskim gmina Niemodlin oraz rejon miejscowości Witoszów Górny w województwie dolnośląskim, powiecie świdnickim w gminie Świdnica.
5. Zakres robót Prace polowe metodą ciągłego profilowania magnetotellurycznego (CPMT) w paśmie MT/AMT wzdłuż dwóch profili o łącznej długości 5,5 km wraz z przetwarzaniem danych oraz interpretacją wyników
6. Zleceniodawca Państwowy Instytut Geologiczny -Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski im. Henryka Teisseyre'a we Wrocławiu, 53-122 Wrocław, Al. Jaworowa 19
7. Wykonawca prac Geopartner Sp. z o.o.  
ul. Skośna 39 B  
30-383 Kraków
8. Prace polowe, przetwarzanie i interpretacja danych:
- |                        |                 |                            |
|------------------------|-----------------|----------------------------|
| mgr inż. Adrian Bogacz | <i>geofizyk</i> |                            |
| mgr inż. Kinga Sito    | <i>geofizyk</i> | <i>upr. geolog. X-0227</i> |
| mgr inż. Łukasz Sito   | <i>geofizyk</i> | <i>upr. geolog. X-0224</i> |
| mgr inż. Maciej Szurek | <i>geofizyk</i> |                            |
| mgr inż. Paweł Targosz | <i>geofizyk</i> | <i>upr. geolog. X-0199</i> |
| dr inż. Marek Wojdyła  | <i>geofizyk</i> | <i>upr. geolog. X-0204</i> |
| Dominik Hołuj          | <i>geofizyk</i> |                            |

### 6.1.2. Wstęp

Sprawozdanie niniejsze dokumentuje wyniki badań geofizycznych metodą magnetotelluryczną (MT) w wersji ciągłego profilowania magnetotellurycznego (CPMT) w ramach realizacji przedsięwzięcia „*Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych – etap P*”. Podstawą wykonania prac była Umowa nr 2/Geopartner/2015/IŁB z dnia 16 listopada zawarta pomiędzy Państwowym Instytutem Geologicznym Państwowym - Instytutem Badawczym a spółką Geopartner.

Zasadniczym celem badań było głębokie rozpoznanie budowy geologicznej na 2 wytypowanych profilach zlokalizowanych w rejonie Mokrzeszowa i Grabina pod kątem określenia stref tektonicznych stwarzających warunki występowania wód termalnych. Badania MT miały stanowić nawiązanie do wcześniej wykonanych w tych rejonach prac geofizycznych, których celem było płytkie rozpoznanie młodych stref tektonicznych, z założeniem prześledzenia ich ewentualnej kontynuacji do głębokości rzędu 2-3 km.

Tereny do badań MT wytypowano w dwóch szczególnie interesujących rejonach Sudetów (lokalizacja na mapie tektonicznej Sudetów Cymermana, 2010; fig. 6.1.2 i 6.1.3): w strefie uskoku sudeckiego brzeżnego (USB) w rejonie Mokrzeszowa i w sąsiedztwie archiwalnego otworu Odra IG 5/I w Grabinie, w którym stwierdzono występowanie wysoko zmineralizowanych, intensywnie zgazowanych wód. Zgodnie z założeniami przedsięwzięcia, wykonanie badań MT miało, w szczególności, określić przydatność metody CPMT do rozwiązywania zagadnień strukturalnych związanych młodymi strefami tektonicznymi w Sudetach.

Prace polowe wykonano w dwóch lokalizacjach wskazanych przez Zamawiającego. Pierwszy z wykonanych profili magnetotellurycznych początkowo zaprojektowany był w rejonie miejscowości Mokrzeszów (woj. dolnośląskie). Po dokonaniu wizji terenowej zdecydowano się na przesunięcie profilu na wschód w rejon wsi Witoszów Górny (fig. 6.1.2). Przyczyną zmiany pierwotnej lokalizacji była obecność dużej stacji transformatorowej oraz linii przesyłowej wysokiego napięcia co mogłoby skutkować znacznym spadkiem stosunku sygnału użytecznego do zakłóceń w polowych danych magnetotellurycznych. Drugi profil o długości 3,5 kilometra wykonano w pobliżu wsi Grabin w województwie opolskim (fig. 6.1.3). Profil zaprojektowano tak, aby można go było dowiązać do otworu ODRA 5/I.

Terenowe prace geofizyczne wykonał w dniach 24 listopada do 01 grudnia zespół kierowany przez mgr. inż. Łukasza Sito przy użyciu aparatury magnetotellurycznej kanadyjskiej firmy Phoenix Geophysics Ltd. Punkt referencyjny, niezbędny do obliczenia niezakłóconych krzywych sondowań znajdował się w miejscowości Zdory w województwie warmińsko-

mazurskim. Prace obliczeniowe i interpretacyjne wykonano w siedzibie spółki Geopartner w Krakowie w dniach 02 do 10 grudnia 2014 roku.

### **6.1.3. Zakres wykonanych prac**

W ramach dokumentowanych prac wykonano:

- 21 sondowań magnetotellurycznych (SMT) wzdłuż profilu Mokrzeszów MT-1 (fig. 6.1.2) o długości 2,0 w pobliżu Witoszowa Górnego,
- 20 SMT wzdłuż profilu Grabin MT-1 długości 3,5 km (fig 6.1.3) ,
- przetwarzanie danych pomiarowych metodą *robust remote reference*,
- obliczenie przekrojów geoelektrycznych metodą inwersji 1D i 2D do głębokości ponad 4 km p.p.t,
- interpretację geofizyczną i graficzną wizualizację wyników.

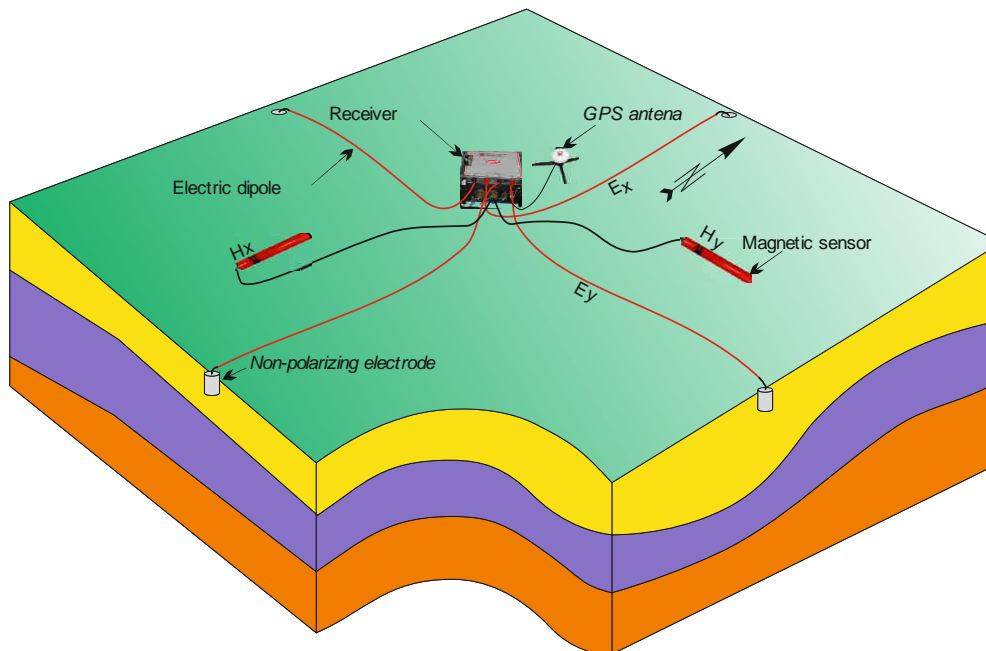
### **6.1.4. Metodyka pomiarów terenowych, przetwarzania i interpretacji danych MT/AMT**

Terenowe prace magnetotelluryczne objęły wykonanie 41 sondowań magnetotellurycznych wzdłuż profi o sumarycznej długości 5,5 km. W badaniach wykorzystana została metoda sondowań magnetotellurycznych w systemie profilowym-ciągłym (CPMT) w paśmie magnetotellurycznym – MT i audiomagnetotellurycznym – AMT. Rejestracje przebiegów czasowych wykonane zostały na punktach polowych przy użyciu odbiorników V8–6R RXU-3E oraz MTU-5A. W celu zmniejszenia wpływu zakłóceń elektromagnetycznych pomiary wykonywano dwupunktowo z tzw. magnetycznym punktem referencyjnym (*magnetic remote reference*). Bezpośrednio przed pomiarami wykonane zostały prace geodezyjne oraz kalibracja aparatury pomiarowej i czujników pola magnetycznego. W ramach prac geodezyjnych wytyczono położenia elektrod pomiarowych (dipoli) i czujników pola magnetycznego.

Prace terenowe polegały na rejestracji przebiegów czasowych składowych naturalnego pola elektromagnetycznego w paśmie MT/AMT na kolejnych stanowiskach pomiarowych wzdłuż linii profilu. Rejestracje odbywały się synchronicznie na punktach polowym i referencyjnym. Rejestracje składowych pola elektromagnetycznego realizowano w zakresie częstotliwości 0.001 – 10000 Hz. Czas rejestracji dla omawianych badań, na jednym punkcie

pomiarowym wynosił około 15 godzin. Rejestracje przebiegów czasowych przeprowadzone zostały w czterech zakresach częstotliwości oznaczonych: .ts2 (10400-900 Hz), .ts3 (780-40 Hz), .ts4 (33-5.6 Hz), .ts5 (4.7-0.001 Hz), o częstotliwościach próbkowania odpowiednio: 24000 Hz, 2400 Hz, 150 Hz, 15 Hz. Synchroniczne rejestracje na punktach polowym i referencyjnym skopiowano na dyski kompaktowe tworząc zbiory wejściowe do przetwarzania danych.

Podstawowy układ pomiarowy pozwala na rejestrację naturalnego pola EM przy pomocy pary wzajemnie prostopadłych dipoli elektrycznych  $E_x$ ,  $E_y$ , oraz dwóch czujników magnetycznych typu AMTC-30 (pasmo AMT) i MTC-80H (pasmo MT) do pomiaru składowych odpowiednio  $H_x$ ,  $H_y$ , lokalizowanych w pobliżu środka dipoli elektrycznych (fig 6.1.1). Wykonanie profilu ciągłego (CPMT) polegało na zastosowaniu ciągu układów pomiarowych magnetycznych i tellurycznych wzdłuż profilu z krokiem rzędu 100 metrów pomiędzy ich środkami. Dipole elektryczne zbudowane były z kabla ekranowanego typu CX-75 i pary uziemień w postaci elektrod niepolaryzujących. Dipole elektryczne i czujniki magnetyczne podłączano bezpośrednio do odbiornika. Przebiegi czasowe zapisywano bezpośrednio i niezależnie w każdym odbiorniku na kartach typu CompactFlash 512MB. Poziome składowe magnetyczne zarejestrowano przy azymucie takim samym jak dla dipoli elektrycznych. W celu zmniejszenia wpływu zakłóceń elektromagnetycznych pomiary wykonywano dwupunktowo z tzw. zdalnym punktem odniesienia (punkt referencyjny), na którym zapisywano składowe elektryczne i magnetyczne.



**Fig. 6.1.1.** Schemat układu pomiarowego MT

Przetwarzanie danych wykonano przy użyciu pakietu programów do przetwarzania danych MT/AMT firmy Phoenix Geophysics Ltd. (SSMT2000 oraz MT-Editor). Wszystkie wyniki zapisano w formacie SEG-EDI uznawanym za światowy standard w metodach geoelektrycznych.

Zarejestrowane przebiegi czasowe z sondowań MT/AMT były przedmiotem wielostopniowego processingu numerycznego wykonanego przy użyciu procedur typu robust zaimplementowanych do oprogramowania SSMT2000 firmy Phoenix Geophysics Ltd. W narzędziach wykorzystujących procedurę robust, zastosowanych we wspomnianym oprogramowaniu, przetwarzanie danych odbywa się w następujących etapach:

- grupowanie plików pomiarowych (.tbl, .ts?) w zsynchronizowanych grupach czasowych,
- weryfikacja wizualna danych – selekcja w domenie czasu,
- obliczanie transformaty Fouriera dla fragmentów przebiegów czasowych polowych i referencyjnych (z zastosowaniem FFT – Szybkiej Transformacji Fouriera),

- konstrukcja zbioru parametrycznego (\*.prm) do przetwarzania danych metodą robust,
- przetwarzanie danych – estymacja składowych impedancji (zbiory \*.?mt, \*.mt?).

Drugi etap przetwarzania danych objął przygotowanie krzywych sondowań (amplitudowych i fazowych) do interpretacji poprzez edycję ich poszczególnych składowych spektralnych. Wykorzystano do tego program komputerowy MT-Editor. Zbiorem wyjściowym były dane magnetotelluryczne zapisane w międzynarodowym formacie SEG-Edi.

Interpretacja danych magnetotellurycznych polegała na określeniu rozkładu oporności w ośrodku geologicznym i powiązaniu kompleksów geoelektrycznych, wydzielonych na podstawie krzywych pomiarowych, z kompleksami geologicznymi.

Interpretacja ilościowa wykonana została w oparciu o algorytmy do inwersji 1D i 2D danych magnetotellurycznych. Inwersja 1D wykonana została przy użyciu procedur „wygładzających” typu Occam. Inwersję 2D przeprowadzono wg algorytmu opartego na minimalizacji błędu metodą gradientów sprzężonych.

Model 1D zakłada brak zmienności poziomej oporności (model horyzontalnie warstwowanej półprzestrzeni). Inwersja 1D wg algorytmu Occama jest to metoda obliczania jednowymiarowego rozkładu oporności w ośrodku geologicznym na podstawie amplitudowych i fazowych krzywych sondowań. Podstawowym założeniem tej metody jest dążenie do uzyskania maksymalnie gładkiego (płynnego) rozwiązania. W rezultacie rozkład oporności w ośrodku geologicznym jest zgeneralizowany i pozbawiony wyraźnych kontrastów. Procedura minimalizacji funkcji błędu, opisującej rozbieżność danych pomiarowych i obliczonych dla założonego modelu skonstruowana została w taki sposób, aby kontrasty opornościowe były minimalne. W rezultacie, dla założonych warstw w modelu startowym zmianom podlegają ich oporności. Niewątpliwą zaletą metody jest jej pełna automatyzacja. Rola interpretatora sprowadza się do przygotowania danych, wprowadzenia ilości warstw oraz określenia interwału głębokościowego interpretacji.

Inwersję 2D wykonano dla obu orientacji układu pomiarowego (TE–mode + TM–mode). Określenie TE–mode i TM–mode odnosi się do tzw. polaryzacji elektrycznej (TE) i magnetycznej (TM) pola elektromagnetycznego. Polaryzacja elektryczna (TE–mode) oznacza

konfigurację pola elektromagnetycznego w ośrodku dwuwymiarowym, przy której wektor elektryczny jest równoległy do osi jednorodności, a magnetyczny jest do tej osi prostopadły. Polaryzacja magnetyczna (TM-mode) oznacza konfigurację odwrotną tzn. wektor magnetyczny jest równoległy do osi jednorodności, a wektor elektryczny prostopadły. Pojęcie polaryzacji określone zostało dla modelowego ośrodka 2D i prowadzi do obliczenia dwu par krzywych sondowań (amplitudowych i fazowych) w zależności od orientacji określonych składowych pola elektromagnetycznego. W rzeczywistości ośrodki geoelektryczne nie są idealnie dwuwymiarowe, a orientacja układu pomiarowego nie zawsze zgodna jest z osiami modelu geoelektrycznego. W tej sytuacji, w dużym uproszczeniu, za orientację TE-mode uznaje się taką konfigurację układu pomiarowego, gdzie składowa elektryczna (dipol elektryczny) jest prostopadła do profilu, a magnetyczna (czujnik magnetyczny) równoległa, natomiast za TM-mode – gdy składowa magnetyczna jest prostopadła, a elektryczna równoległa do profilu pomiarowego. Założenie takie względnie dobrze oddaje rzeczywistość, jeśli profil pomiarowy przecina poprzecznie struktury geologiczne (opornościowe). Takie założenie teoretyczne uzasadnia wykonanie inwersji 2D dla przekrojów, których kierunki są prawie prostopadłe do rozciągłości głównych struktur rejonu prac.

#### **6.1.5. Wyniki badań**

Finalnym efektem omówionych wyżej procedur interpretacyjnych stanowią załączone (fig. 6.1.4 i 6.1.5) przekroje geoelektryczne Mokrzeszów MT-1 i Grabin MT-1. Prezentują one strukturę przebadanych ośrodków geologicznych w konwencji izolinii oporności elektrycznych ze skalami kolorystycznymi eksponującymi kontrasty opornościowe serii skalnych występujących w rejonach przeprowadzonych badań. W objaśnieniach do wymienionych figur przedstawiono identyfikację geologiczną wydzieleni opornościowych, na przekrojach zaprezentowano elementy geologiczno- strukturalnej interpretacji w formie stref o charakterze tektonicznym, bądź wyraźnych granic litologicznych w głębokim podłożu.

Kontrasty opornościowe na przekroju Mokrzeszów MT-1 (fig. 6.1.4) eksponują zróżnicowanie litologii głównych formacji skalnych występujących w tym rejonie, niskooporowych (wartości oporności poniżej 150 omm) utworów kenozoicznych wypełniających



rów Mokrzyszowa i skał dewonu, które sklasyfikowano w 2 kategoriach: wysokooporowej (500 do powyżej 1000 omm) identyfikowanej jako skały zwarte, masywne i średniooporowej (200-500 omm) interpretowanej jako skały o zwiększonym stopniu spękania i zwietrzenia w strefach przyskokowych. Przekrój geoelektryczny Mokrzyszów MT-1 doskonale odzwierciedla tektonikę przebadanej strefy USB, wyraźnie pokazuje jego główną krawędź i jego schodowy charakter.

Zróznicowanie oporności na przekroju Grabin MT-1 (fig. 6.1.5) odzwierciedla znane fakty geologiczne, kompleks niskooporowych (4-150 omm) utworów trzeciorzędu i kredy i zalegających pod nim paragnejsów proterozoiku o wartościach oporności od około 150 do kilkudziesięciu tysięcy omm. W nawiązaniu do litologii otworu Odra IG 5/I niższe wartości oporności w stropie podłoża podkredowego należy wiązać z podwyższonym stopniem spękania i zwietrzenia, w głębszych partiach prawdopodobnie z niższym stopniem metamorfozy. Z tym czynnikiem należy wiązać ekstremalnie wysokie wartości oporności w głębokim (poniżej 2 km) podłożu. Wydaje się (co przedstawiono w objaśnieniach), że są one związane z wysokim stopniem metamorfozy kompleksów metamorficznych i prawdopodobnym występowaniem intruzji granitowych, co sugerują również geologiczne mapy ścięcia poziomego dla tego rejonu.

W kolorystyce przekroju Grabin MT-1, opracowanego w 2. wersjach głębokościowych, wyraźnie skonstrastowanych opornościowo kompleksów skalnych. Na przekroju zaznaczono te granice z ekstrapolacją (z głębokości 3-4 km) do powierzchni. Granice te mają prawdopodobnie tektoniczny charakter aczkolwiek nie ujawniają się wyraźnymi deniwelacjami stropu podłoża podkredowego. Do interesujących wniosków prowadzi analiza pozycji otworu Odra IG V/I na tle przekroju magnetotellurycznego. Wydaje się, że jego wynik nie jest przypadkowy. Jest on usytuowany w strefie tektonicznej o głębokich założeniach tektonicznych, której kontynuację do powierzchni potwierdza płytka wersja przekroju Grabin MT-1.

Ekstrapolacja do powierzchni terenu granicy geoelektrycznej zarejestrowanej na zachodnim odcinku przekroju (fragmentarycznie na głębokości 4.5-5 km) nawiązuje do waryscyjskiej strefy ścinania Brzeg-Nysa na mapie tektonicznej Sudetów i bloku

przedsudeckiego (fig. 6.1.2 i 6.1.3) oraz fotolineamentów satelitarnych związanych z doliną Nysy Kłodzkiej.

#### **6.1.6. Podsumowanie i wnioski**

1. W opinii autorów, przeprowadzone badania magnetotelluryczne dostarczają wysoce optymistycznych przesłanek dla zastosowania tej metody, jako skutecznego narzędzia głębokiego rozpoznania przewodzących wody podziemne struktur kruchych w Sudetach i na bloku przededsudeckim oraz wydają się bardzo przydatne do rozwiązywania zagadnień związanych z realizacją przedmiotowego przedsięwzięcia *„Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych”*
2. Przedstawione wyniki badań w formie przekrojów geoelektrycznych Mokrzeszów MT-1 i Grabin MT-1 dają obiektywny, fizyczny, choć zgrubny obraz istotnych strukturalnych aspektów budowy geologicznej wytypowanych do badań rejonów, do głębokości 4-5 km, który powinien być przedmiotem wnikliwej analizy geologicznej i interpretacji. Przedstawione na przekrojach elementy interpretacji należy traktować jako wstępne sugestie dla takiej interpretacji.
3. Zgodnie z założeniami metodycznymi przedmiotowego przedsięwzięcia, opracowane przekroje magnetotelluryczne powinny być skonfrontowane z wynikami płytkich badań geofizycznych w rejonie Mokrzeszowa i Grabina określenia związku zjawisk rejestrowanych w partiach płytkich z elementami budowy geologicznej występującymi na dużych głębokościach.

**6.2 Raport z badań magnetotellurycznych w rejonie Ciepłowody k. Ziębic, wzdłuż 2 linii profilowych: Ciepłowody I i Ciepłowody II (Wykonawca: Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.)**

*Autorzy opracowania:*

*mgr inż. Marek Sada*

*mgr inż. Joanna Figuła*

*Weryfikator:*

*dr hab. inż. Michał Stefaniuk*

**6.2.1 Wstęp**

Badania magnetotelluryczne w rejonie Ciepłowod k. Ziębic zrealizowano na zlecenie Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB) w ramach zadania geologicznego realizowanego przez PIG-PIB pt. "Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych – Etap 1". Badania magnetotelluryczne wykonane zostały wzdłuż dwóch linii profilowych o łącznej długości 3,6 km. Podstawą wykonania prac była Umowa nr 232/U/2017/377 z dnia 16.08.2017 r. Prace polowe wraz z przetwarzaniem oraz prace interpretacyjno –dokumentacyjne wykonano w oparciu o „Opis przedmiotu zamówienia (Zał. nr 1 do Umowy).

Prace polowe przeprowadzono przy użyciu przyrządów pomiarowych, zakupionych u renomowanych producentów sprzętu geofizycznego (systemy magnetotelluryczne firmy Phoenix Geophysics Ltd.). Do prac obliczeniowych i interpretacyjnych wykorzystywano specjalistyczne, nowoczesne oprogramowanie (pakiety programów), stosowane w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych (PBG) na podstawie posiadanych licencji i umów. Prace terenowe zrealizowała grupa pomiarowa PBG w Krakowie. Przetwarzanie i skatalogowanie danych pomiarowych oraz opracowanie map lokalizacyjnych oraz przekrojów geofizycznych, a także raport końcowy wykonano również w PBG w Krakowie. Prace przeprowadzono w drugiej połowie sierpnia 2017 r.

Łączny koszt badań magnetotellurycznych jest zgodny z kwotą podaną w umowie na realizację prac.

### 6.2.2. Cel prac

Celem prac magnetotellurycznych w miejscowości Ciepłowody k. Ziębic było rozpoznanie uwarunkowań geologiczno-strukturalnych i hydrogeologicznych do głębokości rzędu 2-3 km, metodą ciągłego profilowania magnetotellurycznego (CPMT) w paśmie częstotliwości AMT z rozszerzeniem o pasmo MT do częstotliwości min 0.01 Hz, ze zmiennym krokiem pomiarowym: od 50 m w strefach występowania młodych dyslokacji do 100 – 200 m na skrajnych odcinkach profili.

### 6.2.3. Lokalizacja obszaru prac

Obszar prac położony jest w województwie dolnośląskim, w powiecie ząbkowickim, w gminie wiejskiej Ciepłowody. Rejon ten należy do RDLP Wrocław, Nadleśnictwo Henryków. Według podziału Mapy topograficznej Polski układu „1965” w skali 1: 25 000 (6.2.1) wykonane prace zlokalizowane są na arkuszu: 473.11 Ciepłowody. Pod względem geograficznym rejon prac leży na Przedgórzu Sudeckim w obrębie Wzgórz Dobrzeńskich, Niemczańskich, Szklarskich i Lipowych.

*Tabela 6.2.3.1. Wykaz punktów pomiarowych dla profili magnetotellurycznych w rejonie badawczym Ciepłowody.*

nr pkt-u	Współrzędne geograficzne Wgs84		Współrzędne prostokątne układ 1992		Wysokość h [m]
	długość geograficzna $\lambda$	szerokość geograficzna $\varphi$	x [m]	y [m]	
1-C-17					
C1_02	16,88386111	50,69094448	350578,64	315907,8	335
C1_03	16,8865	50,69038892	350763,2	315840,72	306
C1_03A	16,88719444	50,69019448	350811,61	315817,71	300
C1_04	16,88786111	50,69005559	350858,24	315800,93	299

C1_05	16,8885	50,68983336	350902,64	315774,94	293
C1_06	16,88913889	50,68969448	350947,31	315758,22	286
C1_07	16,88980556	50,68952781	350993,85	315738,35	282
C1_08	16,89044444	50,68930559	351038,26	315712,37	280
C1_09	16,89113889	50,68913892	351086,77	315692,44	280
C1_10	16,89180556	50,68897225	351133,31	315672,58	278
C1_11	16,89244444	50,68880559	351177,89	315652,77	275
C1_12	16,89308333	50,68863892	351222,47	315632,96	276
C1_13	16,89372222	50,68847225	351267,06	315613,15	275
C1_14	16,89438889	50,68830559	351313,6	315593,29	273
C1_15	16,895	50,68808336	351356,05	315567,36	273
C1_16	16,89563889	50,6879167	351400,63	315547,55	271
C1_17	16,89627778	50,68772225	351445,13	315524,66	270
C1_18	16,89691667	50,68747225	351489,45	315495,59	271
C1_19	16,89758333	50,68730559	351536	315475,73	267
C1_20	16,89819444	50,68713892	351578,62	315455,98	267
C1_21	16,89886111	50,68694448	351625,08	315433,03	266
C1_22	16,89947222	50,68675003	351667,62	315410,19	267
C1_23	16,90008333	50,68652781	351710,07	315384,27	269
C1_24	16,90077778	50,68633336	351758,49	315361,26	266
C1_24A	16,90136111	50,68613892	351799,07	315338,48	268
C1_25	16,90202778	50,68594448	351845,53	315315,53	264
C1_26	16,90455556	50,68511114	352021,4	315217,85	259
C1_27	16,907	50,68427781	352191,39	315120,35	263
2-C-17					
C2_1	16,87725	50,66922225	350042,64	313506,75	295
C2_2	16,88002778	50,6694167	350239,47	313522,74	302

C2_3	16,88272222	50,66997225	350431,56	313579,05	293
C2_4	16,88344444	50,67011114	350483,02	313593,03	289
C2_5	16,88413889	50,67022225	350532,42	313603,97	288
C2_6	16,88483333	50,67030559	350581,74	313611,83	284
C2_7	16,8855	50,6704167	350629,18	313622,84	286
C2_8	16,88619444	50,67052781	350678,59	313633,79	285
C2_9	16,88688889	50,67061114	350727,9	313641,65	285
C2_10	16,88755556	50,67072225	350775,34	313652,66	281
C2_11	16,88827778	50,67080559	350826,62	313660,46	280
C2_12	16,88894444	50,67094448	350874,15	313674,56	276
C2_13	16,88969444	50,67102781	350927,39	313682,31	276
C2_14	16,89030556	50,67111114	350970,82	313690,34	279
C2_15	16,891	50,67119448	351020,14	313698,21	280
C2_15A	16,89169444	50,67127781	351069,45	313706,07	278
C2_15B	16,89238889	50,67136114	351118,77	313713,94	277
C2_15c	16,89311111	50,67144448	351170,04	313721,75	277
C2_16	16,89377778	50,67152781	351217,4	313729,67	277
C2_17	16,89652778	50,67194448	351412,95	313770,46	274

#### 6.2.4. Ogólna charakterystyka obszaru badań i zarys budowy geologicznej

Gmina Ciepłowody leży na Przedgórzu Sudeckim w obrębie mezoregionu fizyczno – geograficznego zwanego Wzgórzami Niemczańsko – Strzelińskimi. W ukształtowaniu powierzchni wyraźnie zaznaczają się pasma wzniesień i rozdzielających je obniżień, wykorzystywanych przez dopływy Odry (Ślęzę z Małą Ślężą i Oławę) oraz dopływy Nysy Kłodzkiej. W obrębie gminy w skład mezoregionu wchodzi następujące mikroregiony: Wzgórze Szklarskie, Wzgórze Dobrzeńskie, Kotlina Henrykowska.

Wzgórza Szklarskie to niewielkie pasmo wzgórz będące podjednostką Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich, stanowiącą teren o podobnym charakterze. Pasma o długości ponad 8 kilometrów i rozciąga się na linii północ - południe, od okolic miejscowości Niemcza do granic miejscowości Ząbkowice Śląskie. Są to niewysokie w większości bezleśne wzniesienia nieprzekraczające 400 m n.p.m., opadające w kierunku wschodnim do doliny Ślęzy. Zachodnie zbocza pasma ogranicza Szklarka i są bardziej strome. Najwyższym szczytem pasma jest Siodlasta (384m n.p.m.) położona na południowym krańcu pasma, niedaleko od miejscowości Siodłowice. Wzgórza Szklarskie położone są w dorzeczu Odry. Największą rzeką jest Szklarka lewostronny dopływ Ślęzy zbierająca wody z zachodnich zboczy wzgórz, ze wschodnich zboczy wody odprowadzane są przez potoki stanowiące dopływy Ślęzy. Wzgórza charakteryzują się urozmaiconą rzeźbą terenu o płaskich wierzchołkach wzniesień i średnim nachyleniu zboczy pasma, w które wcinają się doliny potoków. Wzgórza mają charakterystyczną strukturę dla grzbietów i wzgórz wyspowych oraz przedgórz o cechach twarżeli i ostańców. Naturalne odsłonięcia skalne są stosunkowo rzadkie i ograniczają się jedynie do zboczy i wciętych dolin potoków. Wzgórza, charakteryzując się płaskimi wierzchołkami i łagodnymi stokami, tworzą różnicę wysokości terenu sięgające ok. 160 m. Najwyższe wzniesienia występują w południowej części wzgórz.

Wzgórza Dobrzeńskie to niewielkie pasmo wzgórz będące podjednostką Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich, stanowiącą teren o podobnym charakterze. Pasma o długości ponad 20 kilometrów, rozciąga się południkowo, od północnej granicy miejscowości Stolec na południu do okolic miejscowości Maleszów na północy. Są to niewysokie w większości bezleśne wzniesienia nieprzekraczające 400 m n.p.m., opadające łagodnie w kierunku wschodnim do doliny małej Ślęzy. Zachodnie zbocza pasma ogranicza Żelowicka Struga i są one strome. Najwyższym szczytem pasma jest Cierniowa Kopa (384m n.p.m.) położona na południowym krańcu pasma. Z większych wzniesień to: Babia Góra (357m n.p.m.), Kawia Góra (Łysica) (339m n.p.m.), Kamieńczyk (341m n.p.m.), Góra Twardziel (358m n.p.m.). Wzgórza charakteryzują się urozmaiconą rzeźbą terenu z ostrymi spadkami zboczy po stronie zachodniej, w które wcinają się doliny potoków i głębokie wąwozy wcięte w leżącym krystalicznym podłożu. Naturalne odsłonięcia skalne są stosunkowo rzadkie i ograniczają się jedynie do zboczy

i wciętych dolin potoków. Wzgórza powstały w czasie najstarszych ruchów górotwórczych i nie podlegały zmianom w czasie późniejszych fałdowań. Ostateczny wygląd wzgórza otrzymały w okresie epoki lodowcowej, kiedy to lądolód skandynawski naniósł w doliny grubą warstwę osadów. Wzgórza zbudowane są ze skał metamorficznych metamorfiku niemczańsko kamienieckiego. Tworzą go sjenity niemczańskie - łupki krystaliczne, głównie łupki dwuływczykowe i gnejsy biotytowe z wkładkami gnejsów leptytowych, w których znajdują się wychodnie granitów i bazaltów. Kotlina Henrykowska stanowi płaskie obniżenie obejmujące wschodnią część gminy. Najwyżej położony punkt (339 m n.p.m.) zlokalizowany jest w pobliżu miejscowości Piotrowice Polskie, a najniżej położony (223 m n.p.m.) w rejonie Muszkowic. Położenie gminy w mezoregionie Wzgórz Niemczańsko-Strzelińskich powoduje, że krajobraz nie jest monotony; wzgórza, charakteryzując się płaskimi wierzchołkami i łagodnymi stokami, tworzą deniwelację terenu sięgającą ok. 160 m. Najwyższe wzniesienia występują w zachodniej i południowo - zachodniej części gminy tworząc krajobraz o znaczących walorach. Pod względem geologicznym opisywany teren należy do bloku przedsudeckiego. Występują tu paleozoiczne skały metamorficzne (łupki ływczykowe, para- i ortognejsy) zaliczane do środkowowarwicyjskiego progu krystalicznego. Podłoże krystaliczne w ciągu setek milionów lat uległo wielu procesom tektonicznym, powodując powstanie głębokich szczelin i rozłamów oraz gęstej sieci spękań skalnych. Przeważające głębokości występowania skał paleozoicznych to 40-50 m p.p.t. (*„Strategia Rozwoju Gminy Ciepłowody do 2014 roku”*, 2009 r.)

Miejscowość Ciepłowody położona jest na Przedgórzu Sudeckim około 6 km na SE od Niemczy w województwie dolnośląskim. Jest to obszar gdzie ukształtowanie powierzchni jest urozmaicone, ma charakter pagórkowaty. Różnice terenu wahają się od 260 m n.p.m. na północnym krańcu wsi do 303 m n.p.m. na południowym. Przez wieś przepływa mała Śleza, do której wpadają liczne strumienie (*na podstawie „Dokumentacji badań geoelektrycznych, temat: „Ciepłowody”, 1988 r.*).

W budowie geologicznej omawianego rejonu biorą udział: czwartorzęd, neogen oraz utwory prekambryjskie. Utwory te zostały rozpoznane nielicznymi wierceniami wykonanymi na terenie miejscowości Ciepłowody



### ***Podłoże podkenozoiczne***

Rejon miejscowości Ciepłowody znajduje się w strefie dyslokacyjnej Niemczy (Kamieniec Ząbkowicki Unit, wg. *Cymerman*, 2004), która oddziela krę Sowiogórską od kompleksu skał krystalicznych Strzelina i Ziębic. Dyslokacyjną strefę Niemczy budują różnego rodzaju skały, które mają charakter mylonityczny i są produktem zmienionych tektonicznie gnejsów sowiogórskich. W rejonie Ciepłowod podłoże zbudowane jest z prekambryjskich łupków łuszczukowych. Zostało ono dokładnie rozpoznane do głębokości 120 m podczas wiercenia otworu zastępczego Ia. Podłoże nawiercono na głębokości 19,2 m. Z prekambryjskich łupków łuszczukowych Zlewnia mleka Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Grodkowie w 1988 roku ujmowała wody szczelinowe.

### ***Neogen***

Osady neogenu to miocenijskie iły, pyły i piaski oraz pliocenijskie iły pstry stwierdzone wierceniami. Na omawianym obszarze miąższość osadów neogenu wykazuje dużą zmienność, w otworze Ia wynosi 16,7 m.

### ***Czwartorzęd***

Występuje na neogenie lub bezpośrednio na starszym podłożu. Wykształcony jest głównie, jako less i glina lessopodobna. Występują też pyły piaszczyste oraz na niewielkich przestrzeniach piaski i żwiry. Miąższość utworów czwartorzędowych (gliny piaszczyste) w otworze Ia wynosi 2,5 m.

W dolinach Małej Ślęzy i jej dopływów występują utwory holocenijskie w postaci aluwialnych piasków i mułków. Miąższość czwartorzędu jest tutaj trochę większa na co wskazuje głębokość studni kopanych (5-8 m). Studnie położone są w dolinie Małej Ślęzy w stosunkowo małej odległości od jej brzegów.

Lokalizację sondowań magnetotellurycznych na tle Szczegółowej mapy geologicznej Sudetów 1:25000, arkusz Ciepłowody (opr.: J. Wójcik. 1968) przedstawiono na fig. 6.2.2 natomiast na fig. 6.2.3 w skali 1:50000 przedstawiono lokalizację sondowań

magnetotellurycznych na podkładzie obejmującym fragment Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000, arkusze: Wałbrzych (opr. A. Bossowski, L. Sawicki, J. Wroński, 1980) i Kłodzko (opr. L. Sawicki, 1980).

### **6.2.5. Zakres prac**

#### Polowe prace geodezyjne

W ramach polowych prac geodezyjnych:

- wytyczono układy pomiarowe dla 49 punktów sondowań zlokalizowanych na dwóch profilach magnetotellurycznych o łącznej długości 3,6 km,
- wytyczono układ pomiarowy dla punktu referencyjnego.

#### Sondowania profilowe (CPMT)

W ramach polowych prac magnetotellurycznych:

- wykonano sondowania profilowe na 2 profilach w ilości 49 CPMT.

#### Przetwarzanie danych pomiarowych

W pierwszym etapie przetwarzania danych wykonano:

- grupowanie plików pomiarowych (\*.tbl, \*.ts?) zawierających przebiegi czasowe w zsynchronizowanych grupach czasowych,
- weryfikację wizualną danych – selekcję w domenie czasu,
- obliczenie transformaty Fouriera dla fragmentów przebiegów czasowych polowych i referencyjnych,
- zbiór parametryczny (\*.prm) do przetwarzania danych metodą robust,
- przetwarzanie danych – estymację składowych tensora impedancji (zbiory \*.?mt, \*.mt?).

W drugim etapie przetwarzania danych wykonano:

- edycję składowych spektralnych (zbiory \*.mpk),
- eksport przetworzonych przebiegów czasowych do międzynarodowego formatu SEG-EDI.

#### Interpretacja ilościowa:

Interpretacja ilościowa obejmowała:

- interpretację 1D sondowań geoelektrycznych wykonanych metodą Occama,

- interpretację 2D NLCG wzdłuż dwóch profili o łącznej długości 3,6 km,
- interpretacja geologiczna wzdłuż dwóch profili pomiarowych.

#### **6.2.6. Metodyka prac terenowych**

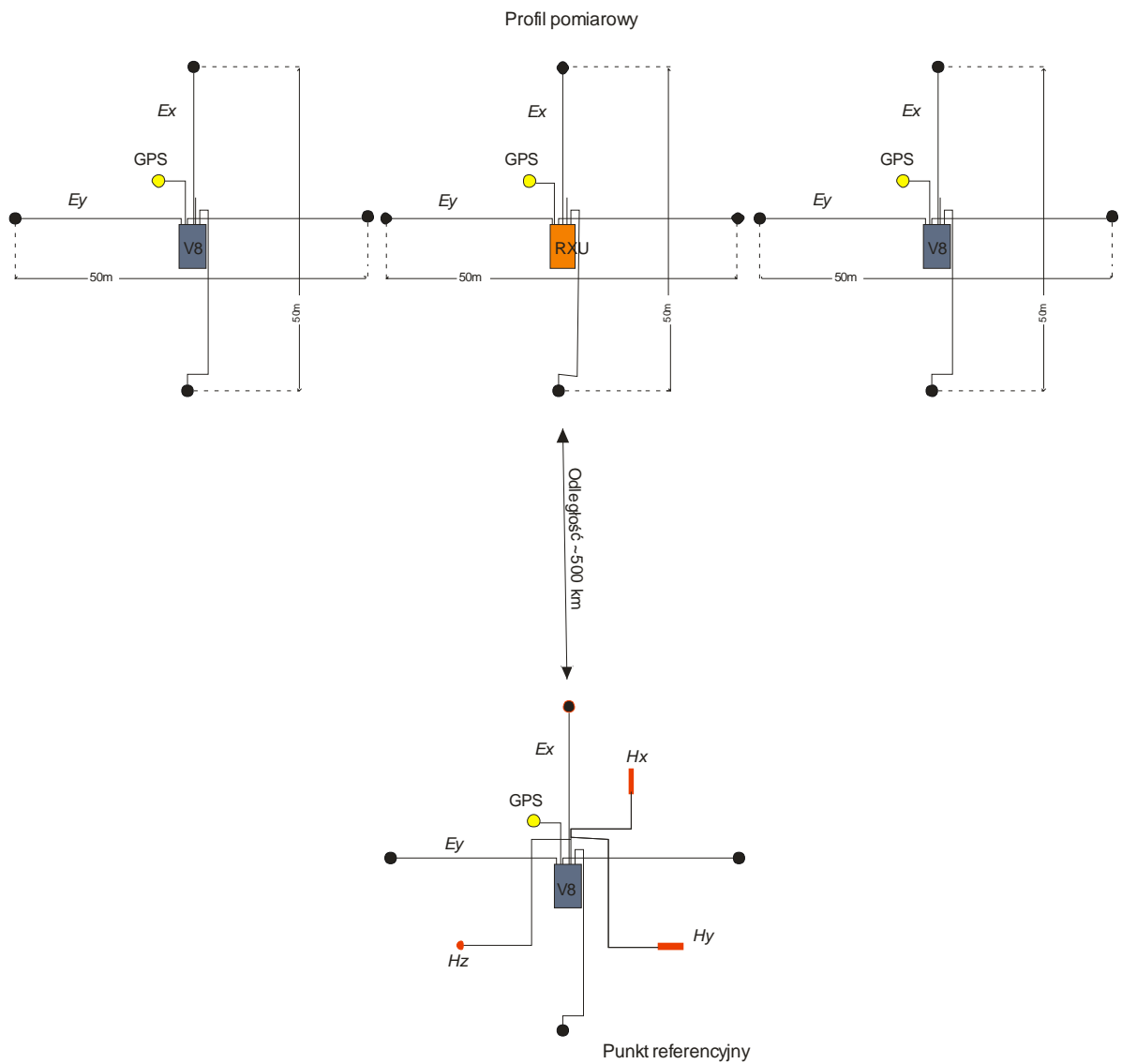
Badania geofizyczne metodą magnetotelluryczną zostały wykonane wzdłuż dwóch linii profilowych o łącznej długości 3,6 km w miejscowości Ciepłowody k. Ziębic celem rozpoznania uwarunkowań geologiczno-strukturalnych i hydrogeologicznych do głębokości 2-3 km, metodą ciągłego profilowania magnetotellurycznego (CPMT). Prace terenowe polegały na rejestracji przebiegów czasowych składowych naturalnego pola elektromagnetycznego generowanego przez oscylacje jonosfery i odległe wyładowania atmosferyczne. W badaniach została wykorzystana metoda sondowań magnetotellurycznych w paśmie audiomagnetotellurycznym – AMT z rozszerzeniem o pasmo magnetotelluryczne – MT. Pomiarów wykonano zmiennym krokiem pomiarowym: od 50 m w strefach występowania młodych dyslokacji do 100-200 m na skrajnych odcinkach profilu. Rejestracje przebiegów czasowych odbywały się niezależnie w czterech zakresach częstotliwości oznaczonych: .ts2 (10400-900 Hz), .ts3 (780-40 Hz), .ts4 (33-5.6 Hz), .ts5 (4.7-0.001 Hz), o częstotliwościach próbkowania odpowiednio: 24000 Hz, 2400 Hz, 150 Hz, 15 Hz. Rejestracje odbywały się synchronicznie na dwóch punktach: połowym oraz na tak zwanym magnetycznym punkcie referencyjnym (ang. *magnetic remote reference site*) w celu eliminacji zakłóceń elektromagnetycznych. Podczas pomiarów punkt referencyjny zlokalizowany był w odległości ok. 500 km od linii profili w miejscowości Paszowa (województwo podkarpackie, powiat leski, gmina Olszanica).

Bezpośrednio przed właściwymi pomiarami wykonana została kalibracja aparatury pomiarowej i czujników pola magnetycznego. Kalibracja aparatury pomiarowej polegała na ustaleniu związku rejestrowanych parametrów elektrycznych z parametrami pola zewnętrznego. Układy pomiarowe sondowań MT/AMT (fig. 6.2.5) składały się z naprzemiennie stosowanych odbiorników V8-6R oraz RXU-3ER. Podstawowy układ pomiarowy sondowań MT/AMT składał się z odbiornika V8-6R (pomiar składowych elektrycznych i magnetycznych), układ ten był naprzemiennie stosowany z odbiornikiem RXU-3ER (pomiar tylko składowych elektrycznych), co pozwoliło na rejestrację naturalnego pola EM przy pomocy dwóch par wzajemnie

prostopadłych dipoli elektrycznych  $E_x$ ,  $E_y$ , oraz trzech czujników magnetycznych typu AMTC-30 (pasmo AMT) i MTC-50 (pasmo MT) do pomiaru składowych odpowiednio  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ , lokalizowanych w pobliżu środka dipoli elektrycznych. Dipole elektryczne wykonane były z kabla ekranowanego typu CX-75 i pary uziemień w postaci elektrod niepolaryzujących PE4 ( $Pb/PbCl_2$ ) lub  $Cu/CuSO_4$ . Dipole elektryczne i czujniki magnetyczne były podłączane bezpośrednio do odbiornika V8-6R. Przebiegi czasowe zapisywane były bezpośrednio na kartach typu CompactFlash512MB.

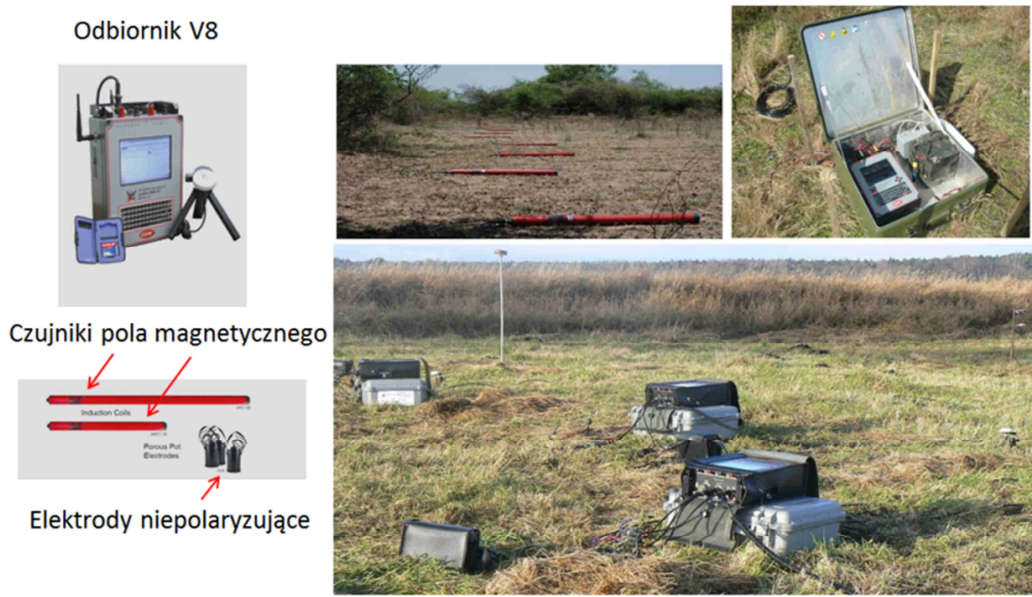


**Fig. 6.2.4.** Zdjęcia z prac terenowych z rejonu miejscowości Ciepłowody z wykorzystaniem aparatury firmy Phoenix Geophysics Ltd



- Objaśnienia:
- Hx, Hy - czujniki poziomych składowych pola magnetycznego
  - Ex, Ey - dipole pomiarowe składowych pola elektrycznego
  - V8 - pięciokanałowy odbiornik składowych pola elektrycznego i magnetycznego
  - RXU - trójkanałowy odbiornik składowych pola elektrycznego
  - Hz - czujnik pionowej składowej pola magnetycznego
  - - elektroda niepolaryzująca
  - - odbiornik GPS

**Fig 6.2.5.** Schemat układu pomiarowego profilowań magnetotellurycznych



**Fig. 6.2.6.** Aparatura pomiarowa i czujniki pola magnetycznego

## 6.2.7. Przetwarzanie i interpretacja danych magnetotellurycznych

### 6.2.7.1. Przetwarzanie danych magnetotellurycznych

Przetwarzanie danych magnetotellurycznych wykonane zostało w oparciu o programy SSMT2000 oraz MT-Editor firmy Phoenix Geophysics Ltd., a także system do przetwarzania i interpretacji danych geofizycznych WinGLink firmy Geosystem Srl. Przebiegi czasowe z sondowań magnetotellurycznych MT/AMT były poddawane wielostopniowemu processingowi numerycznemu z wykorzystaniem procedur typu *robust* zaimplementowanych do oprogramowania SSMT2000.net firmy Phoenix Geophysics. Robust processing to statystyczna, iteracyjna metoda processingu oparta na metodzie najmniejszych kwadratów. W trakcie przetwarzania danych z zastosowaniem estymatorów typu *robust* identyfikuje się i eliminuje dane związane z szumem, którego rozkład odbiega od rozkładu normalnego i którego niewielka ilość może znacząco obciążać estymowany parametr (impedancję).

W narzędziach wykorzystujących procedurę „robust”, zastosowanych we wspomnianym oprogramowaniu, przetwarzanie danych przebiega w dwóch etapach.

W pierwszym etapie przetwarzania wykonano:

- grupowanie plików pomiarowych (.tbl, .ts?) w zsynchronizowanych grupach czasowych,
- weryfikację wizualną danych – selekcja w domenie czasu,
- obliczanie transformaty Fouriera dla fragmentów przebiegów czasowych połowych i referencyjnych (z zastosowaniem FFT – Szybkiej Transformacji Fouriera),
- konstrukcję zbioru parametrycznego (\*.prm) do przetwarzania danych metodą robust,
- przetwarzanie danych – estymacja składowych impedancji (zbiory \*.?mt, \*.mt?).

Drugi etap przetwarzania danych obejmował przygotowanie krzywych sondowań (amplitudowych i fazowych) do interpretacji poprzez edycję ich poszczególnych składowych spektralnych. Wykorzystany został do tego program komputerowy MT-Editor. Zbiorem wyjściowym były dane magnetotelluryczne zapisane w międzynarodowym formacie SEG-Edi.

#### 6.2.7.2. Interpretacja danych magnetotellurycznych

Interpretacja danych magnetotellurycznych polegała na określeniu rozkładu oporności w ośrodku geologicznym i powiązaniu kompleksów geoelektrycznych, wydzielonych na podstawie krzywych pomiarowych, z kompleksami geologicznymi. Wyniki zostały zinterpretowane oraz opracowane z użyciem oprogramowania WinGLink firmy Geosystem Srl. oraz Surfer firmy Golden Software.

Interpretację ilościową wykonano w oparciu o algorytmy do inwersji 1D i 2D danych magnetotellurycznych. Inwersja 1D wykonana została przy użyciu procedur „wygładzających” typu Occam, natomiast inwersję 2D przeprowadzono według algorytmu NLCG (*Non-Linear Conjugate Gradient*).

Inwersja 1D według algorytmu Occama jest metodą komputerowego obliczania jednowymiarowego rozkładu oporności w ośrodku geologicznym na podstawie amplitudowych i fazowych krzywych sondowań. Podstawowym założeniem tej metody jest dążenie do uzyskania

maksymalnie gładkiego (płynnego) rozwiązania. W rezultacie rozkład oporności w ośrodku geologicznym jest zgeneralizowany i pozbawiony wyraźnych kontrastów. W praktyce program komputerowy zakłada model startowy w postaci ośrodka poziomo warstwowanego o miąższościach warstw rosnących regularnie z głębokością, zgodnie ze skalą logarytmiczną. Procedura minimalizacji funkcji błędu, opisującej rozbieżność danych pomiarowych i obliczonych dla założonego modelu skonstruowana została w taki sposób, aby kontrasty opornościowe były minimalne. W rezultacie, dla założonej a priori ilości warstw w modelu startowym, zmianom podlegają ich oporności. Niewątpliwą zaletą metody jest jej pełna automatyzacja. Ingerencja interpretatora sprowadza się do przygotowania danych, wprowadzenia ilości warstw oraz określenia interwału głębokościowego interpretacji.

Inwersja 2D metodą NLCG polega na iteracyjnym dopasowaniu dwuwymiarowego ośrodka geoelektrycznego do krzywych pomiarowych amplitudowych i fazowych, z wykorzystaniem metody minimalizacji nieliniowych gradientów sprzężonych. Funkcja błędu opisująca sumaryczną rozbieżność pomiędzy danymi empirycznymi i obliczonymi teoretycznie dla modelu, jest minimalizowana w kolejnych krokach iteracyjnych, prowadzących do stopniowej modyfikacji modelu startowego. W swoim założeniu metoda NLCG dąży do modelu wygładzonego. Stopień wygładzenia określony jest przed rozpoczęciem procesu inwersji poprzez parametr tłumienia  $\tau$ . Wyższe  $\tau$  daje w wyniku bardziej wygładzony model kosztem gorszego dopasowania krzywych pomierzonych do modelowych. Dla uzyskania optymalnego rozwiązania została wykonana inwersja 2D dla kilkudziesięciu modeli startowych o zmiennych parametrach tłumienia. Rozwiązanie zagadnienia inwersji jest wieloznaczne, tzn. istnieje wiele różnych modeli, które można dopasować do danych empirycznych z zadowalającą dokładnością. W tej sytuacji istotne dla prawidłowego wykorzystania programu jest odpowiednie narzucenie więzów urealnających uzyskane rozwiązanie, oraz odpowiednich warunków początkowych w postaci modelu startowego. Modelem takim może być jednorodna półprzestrzeń (najprostszy model) lub też mniej lub bardziej złożony dwuwymiarowy model geoelektryczny. Wprowadzenie modelu bliskiego rzeczywistości ogranicza zakres zmienności jego parametrów w procesie minimalizacji i prowadzi na ogół do dobrych rozwiązań. Dodatkowym czynnikiem poprawiającym jakość modelu wynikowego są więzy w postaci stałych wartości wybranych parametrów lub



ograniczenia zakresu ich zmienności. Dobrym wyjściem, zwłaszcza dla względnie płaskich modeli geoelektrycznych jest ograniczenie zmienności parametrów warstw geoelektrycznych dla elementów skończonych obejmujących otwory wiertnicze. Miąższości i oporności warstw określone na podstawie profilowań elektrometrii wiertniczej na ogół dobrze oddają rzeczywisty model geoelektryczny i narzucają prawidłowe rozwiązanie zagadnienia inwersji.

### **6.2.8. Wyniki prac**

Interpretacja ilościowa 1D wykonana została w oparciu o algorytm wg „Occama” zaimplementowany do systemu interpretacyjnego WinGLink (fig 6.2.7 i 6.2.8). Inwersję 1D policzono dla krzywych o orientacji xy układu pomiarowego, a wyniki przedstawiono w postaci przekrojów oporności. Uzyskane rozkłady oporności na podstawie inwersji 1D posłużyły jako modele startowe do obliczenia inwersji 2D.

Dwuwymiarowe modelowanie (inwersja 2D) wykonane zostało z wykorzystaniem algorytmu NLCG (Non-Linear Conjugate Gradient) dostępnego w ramach systemu WinGLink firmy Geosystem Srl. Stosowanie tego algorytmu pozwala w odpowiednich warunkach na rozpoczęcie procesu modelowania inwersyjnego bez szczegółowych założeń odnośnie parametrów ośrodka, czyli modelem startowym może być jednorodna półprzestrzeń. Jednak takie rozwiązanie nie zawsze daje zadowalające rezultaty, dlatego dla rozwiązania tego zadania zdecydowano się przyjąć jako model startowy wyniki inwersji 1D. W wyniku przeprowadzonej inwersji 2D uzyskano modele o średnim błędzie kwadratowym (R.M.S.) równym 2.05 dla przekroju 1-C-17 i 1.78 dla przekroju 2-C-17.

Proces przejścia od modelu startowego jednowymiarowego (kolejne iteracje) do modelu dwuwymiarowego przedstawiony został na figurach 6.2.9a – 9j i 6.2.10a -10j. Figury 6.2.9a i 6.2.10a przedstawiają przekroje geoelektryczne po jednej iteracji modelu startowego, a więc rozkład oporności zaprezentowany na nich jest bardzo bliski rozkładowi oporności uzyskanemu na podstawie inwersji 1D. Kolejne iteracje powodują dalszą modyfikację modeli, a ostatnie z nich przedstawiają obraz najbardziej zbliżony do wynikowego modelu dwuwymiarowego (fig. 6.2. 9k, fig. 6.2.10k).

Z punktu widzenia geoelektrycznego przekrój 1-C-17 charakteryzuje się generalnie stosunkowo wysokimi wartościami oporności (fig. 6.2.9) Wzdłuż całego przekroju warstwa przypowierzchniowa (do kilkudziesięciu metrów) posiada oporność od kilkunastu do około 100  $\Omega$ m i można ją powiązać z osadami kenozoiku. Interesująca natomiast jest część poniżej osadów kenozoiku, która z punktu widzenia geologicznego związana jest ze skałami proterozoiku. Według mapy geologicznej są to łupki łyszczkowe i gnejsy oczkowe plagioklazowo – mikroklinowe. Na geoelektrycznym przekroju 1-C-17 widoczny jest wyraźny kontrast opornościowy pomiędzy sondowaniami C1\_6 i C1\_7 oraz C1\_17 i C1\_18, który można powiązać ze granicami litologicznymi lub strefami uskoku. Obszar pomiędzy sondowaniami C1\_6 i C1\_18 to strefa obniżonych oporności, natomiast fragment przekroju na zachód od sondowania C1\_6 i wschód od sondowania C1\_18 charakteryzuje się raczej wysokimi wartościami oporności. Według badań magnetotellurycznych spąg strefy obniżonych wartości oporności sięga 1500 - 2000 metrów poniżej poziomu morza. Analizując przekrój geoelektryczny 1-C-17 oraz rozkład oporności z głębokości 500 m p.p.m. na tle mapy geologicznej (fig. 6.2.11) wydaje się, że opisana niskooporowa strefa związana jest z łupkami metamorficznymi, które są prawdopodobnie zeszczelinowane i wypełnione wodami termalnymi lub zmineralizowanymi. Poprzez analogię do części zachodniej przekroju (od sondowań C1\_01 do C1\_06) być może wschodnia (od sondowania C1\_18 do C1\_27), wyskooporowa część przekroju związana jest ze skałami typu gnejsu, ale również: granitoidów, granitognejsu

Niskooporowa strefa występuje także na przekroju 2-C-17 (fig. 6.2.10) oddalonym o około 2 km na południe od przekroju 1-C-17. Z punktu widzenia geoelektrycznego przekrój 2-C-17 jest podobny do poprzedniego. Przypowierzchniowe osady, miąższości kilkudziesięciu metrów charakteryzują się opornościami rzędu kilkunastu, kilkudziesięciu  $\Omega$ m. Wspomniana wyżej niskooporowa anomalia będąca kontynuacją anomalii z przekroju 1-C-17 jest zlokalizowana pomiędzy sondowaniami C2\_4 i C2\_15c. Ciekawe jest także to, że anomalie niskooporowe na obu profilach są porównywalnej szerokości. Zatem w ujęciu przestrzennym na zachód od miejscowości Ciepłowody występuje szeroki na około 600 - 700 metrów pas charakteryzujący się niskimi wartościami oporności. Strop tej anomalii zaznacza się na wysokości 100 m n.p.m., natomiast spąg sięga nawet do 2 km p.p.m. Na podstawie badań

magnetotellurycznych, można wyciągnąć wniosek, że opisany pas prawdopodobnie zbudowany jest z łupków, być może lokalnie ze szczelinami wypełnionym zmineralizowanymi fluidami. Podsumowując, na przekrojach inwersyjnych 2D wyraziście zaznaczają się strefy o radykalnie obniżonych wartościach oporności. Strefy te wiązać można ze zmianami litologicznymi (grafityzacja łupków) lub co bardziej prawdopodobne, że są to anomalne strefy zeszcelinowania wypełnione wodą o podwyższonej mineralizacji i temperaturze. Proponowana jest dokładniejsza analiza tej strefy poprzez wykonanie dodatkowych dwóch lub nawet czterech profili, w tym jednego dłuższego profilu w ujęciu regionalnym, co pozwoli na konstrukcję map na różnych głębokościach i wykreślenie kierunku przebiegu tej anomalii.







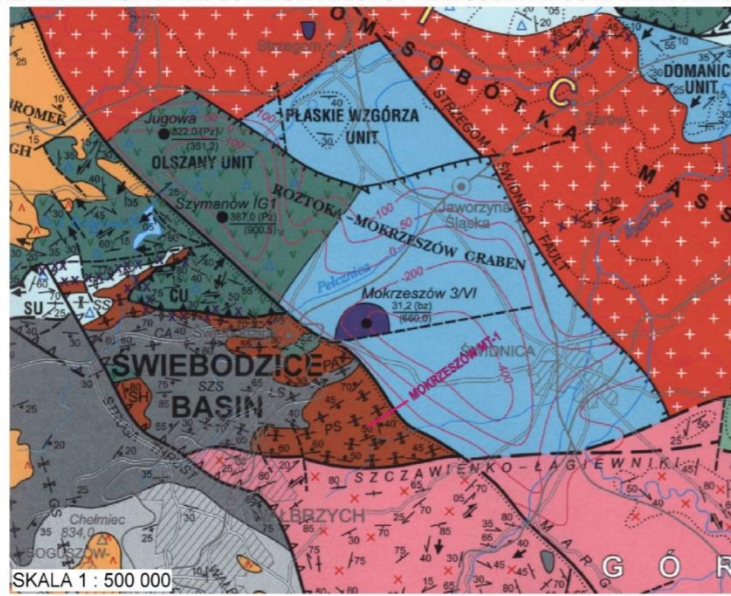
### **6.2.9. Podsumowanie, wnioski i rekomendacje**

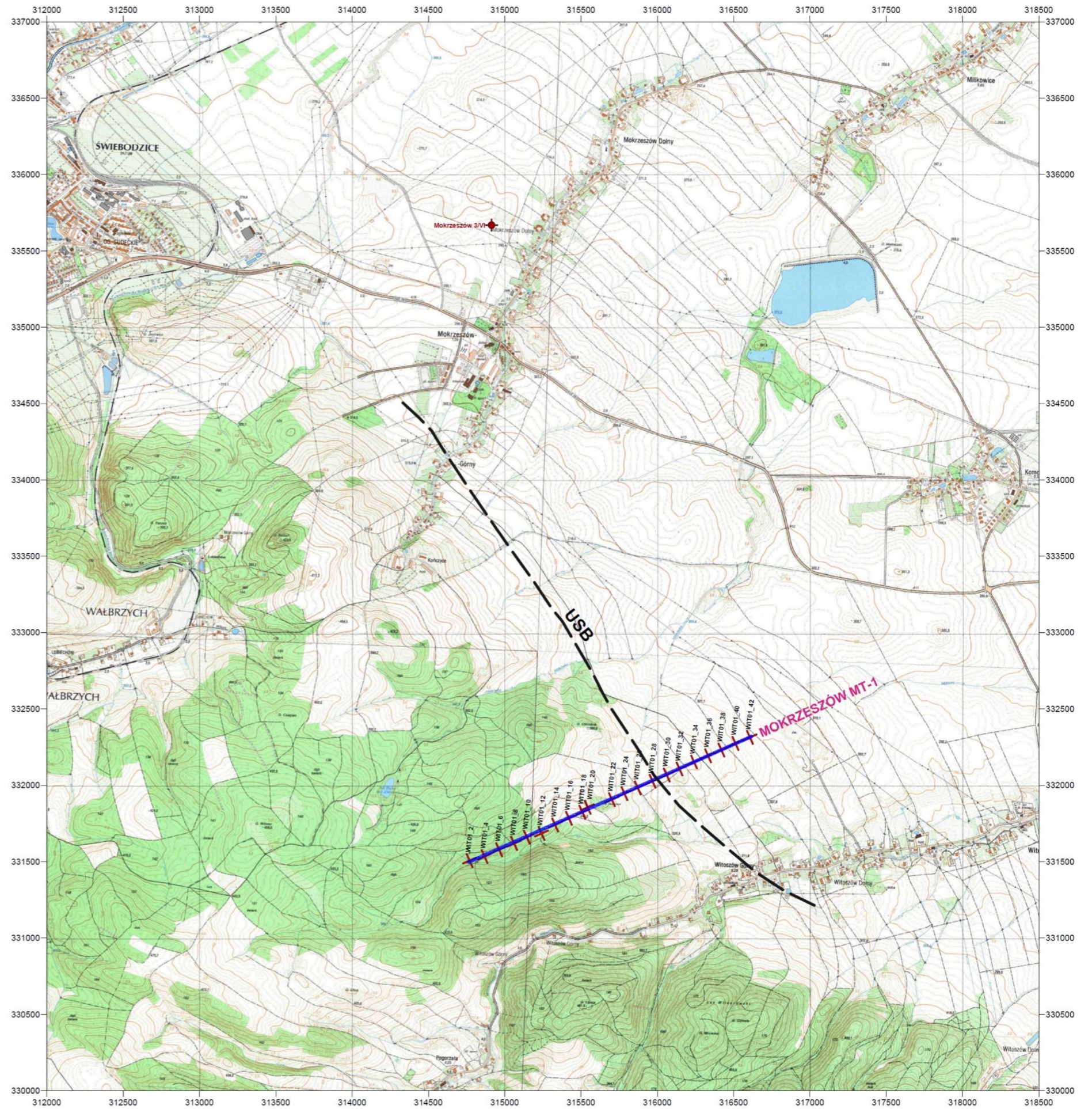
1. W ramach projektu wykonano w sumie 49 sondowań magnetotellurycznych, w trakcie realizacji prac i wstępnego opracowywania wyników stwierdzono potrzebę wykonania dodatkowych w stosunku do zaplanowanych sondowań oznaczonych C1\_03A, C1\_24A, C2\_15A, C2\_15B, C2\_15C,
2. Wykonano przetwarzanie danych typu *robust* z referencyjnym punktem magnetycznych dla 49 sondowań magnetotellurycznych,
3. Wykonano 2 przekroje 1D wg algorytmu Occama do głębokości 4 km p.p.m., które posłużyły jako modele startowe do inwersji 2D,
4. Wykonano 2 przekroje 2D na podstawie algorytmu NLCCG do głębokości 4 km p.p.m.,
5. Wyinterpretowano pas o szerokości 600 - 700 metrów charakteryzujący się niskimi wartościami oporności zarówno na przekroju 1-C-17 jak i na 2-C-17. Jego strop jest na wysokości 100 m n.p.m., natomiast spąg sięga nawet do 2 km p.p.m. Z punktu widzenia litologicznego to prawdopodobnie łupki, być może ze szczelinami wypełnionymi zmineralizowanymi i ciepłymi fluidami,
6. Otoczenie ww. pasa niskooporowego to stosunkowo wyskooporowe skały, prawdopodobnie gnejsy oczkowe plagioklazowo – mikroklinowe,

7. Lokalizacja stref uskokowych zinterpretowanych na przekroju sejsmicznej tomografii refrakcyjnej jest zgodna z lokalizacją kontrastu opornościowego na przekroju magnetotellurycznym,
8. Potwierdzenie zaproponowanej koncepcji jest możliwe poprzez wykonanie otworów wiertniczych. Ewentualny otwór wiertniczy weryfikujący potencjalną strefę zeszcelinowania łupków metamorficznych powinien być kierunkowy, zlokalizowany w okolicy sondowań C1\_15 lub C2\_45, zakrzywiony w kierunku wschodnim, o głębokości do 1000 m,
9. Wysoce zalecane jest wykonanie w rejonie Ciepłowodów dodatkowych czterech profili magnetotellurycznych, co pozwoli na uszczegółowienie geologii obszaru badań, a także rozpoznanie przestrzennej lokalizacji uskoku. Dla tematów magnetotellurycznych o zakresie około 40 -50 sondowań (1-2 profile) optymalny czas realizacji wynosi (bez procedury uzyskania praw wstępu na tereny leśne):
  - 2 dni robocze na mobilizację,
  - 9 dni roboczych na roboty terenowe,
  - 1 dzień roboczy na dokończenie przetwarzania danych,
  - 5 dni roboczych na interpretację i przygotowanie raportu,
  - procedura uzyskania praw wstępu na tereny leśne wynosi około 1 miesiąca.

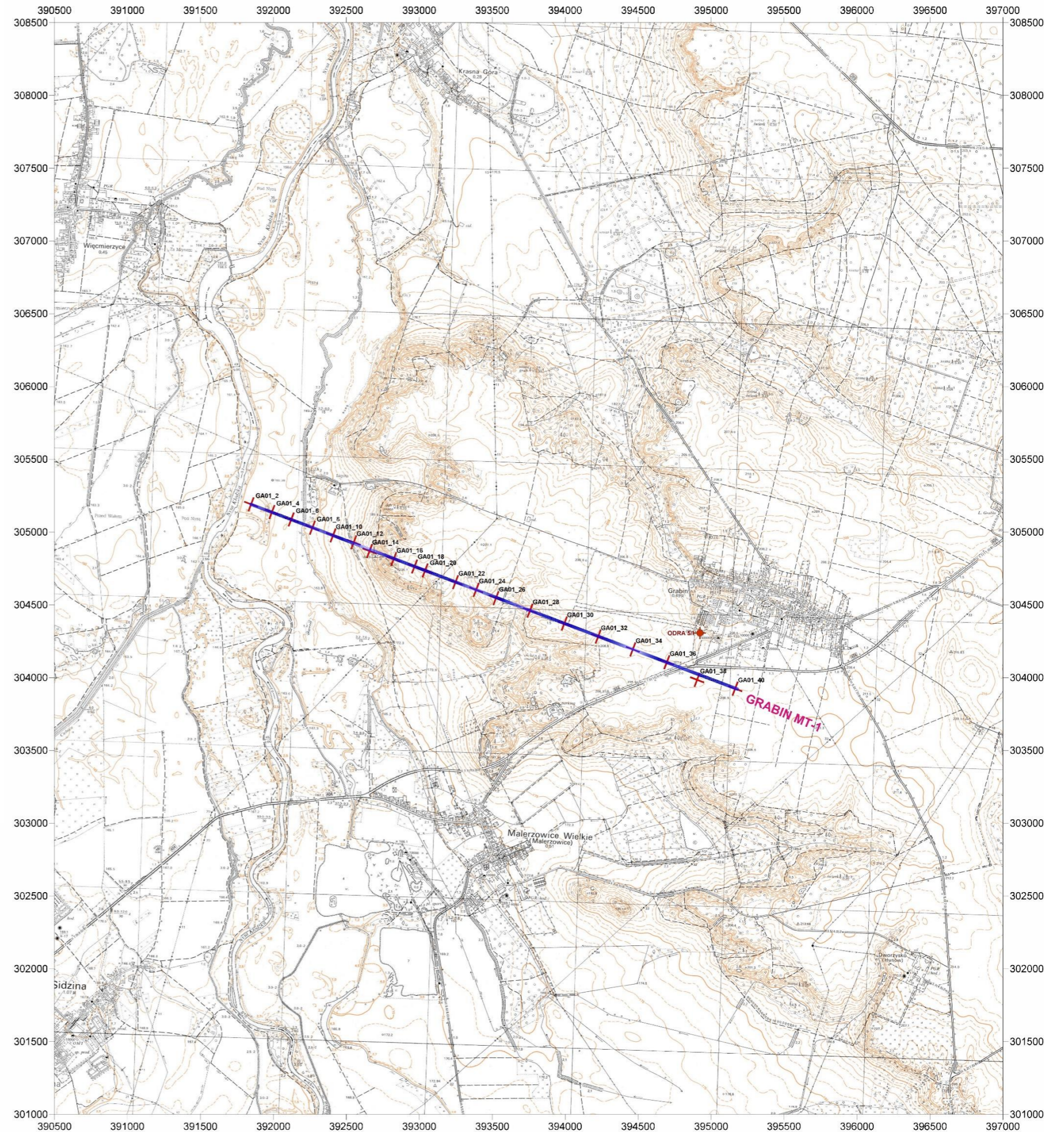
### **Spis cytowanej literatury i materiałów archiwalnych**

- Cymerman Z.**, 2010 - *Mapa tektoniczna Sudetów i bloku przedsudeckiego*. Skala 1:200 000, Wyd. 2. PIG-PIB.
- Gamble T.D., Goubau W.M., Clarke J.**, 1979 - Magnetotellurics with remote reference. *Geophysics*, 44, 55-68.
- Jaworska A., Kowalski A.**, 1988 - Dokumentacja badań geoelektrycznych, temat: „Ciepłowody”, Archiwum Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych, Warszawa – Kraków.
- Strategia Rozwoju Gminy Ciepłowody do 2014 roku**, 2009 - <http://bip.cieplowody.pl>

WYKONAWCA:	 GEOPARTNER Sp. z o. o. ul. Skośna 39 B 30-383 Kraków	Fig. 6.1.2.
ZLECENIODAWCA:	 PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY- PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY Oddział Dolnośląski im. Henryka Teisseyre'a we Wrocławiu 53-122 Wrocław, Al. Jaworowa 19	
OPRACOWANIE:	<p align="center"><b>SPRAWOZDANIE</b>          z badań geofizycznych metodą magnetotelluryczną          w ramach realizacji przedsięwzięcia „Młode strefy tektoniczne a warunki          geotermalne w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych          i termometrycznych – etap I”</p>	
TYTUŁ:	<p align="center">Lokalizacja profilu magnetotellurycznego Mokrzeszów MT-1</p>	
OBJAŚNIENIA:	<ul style="list-style-type: none"> <li> - stanowiska pomiarowe sondowań magnetotellurycznych (SMT)</li> <li> WIT01_2 - nazwa stanowiska sondowania magnetotellurycznego</li> <li> - linia przekroju magnetotellurycznego</li> <li> - otwór wiertniczy</li> </ul> <p><b>MOKRZESZÓW 3/VI</b> - nazwa otworu wiertniczego</p>	
	<p align="center"><b>LOKALIZACJA PROFILU MOKRZESZÓW MT-1          NA MAPIE TEKTONICZNEJ SUDETÓW I BLOKU PRZEDSUDECKIEGO Z. CYMERMANA</b></p>  <p>SKALA 1 : 500 000</p>	
	PAŃSTWOWY UKŁAD WSPÓLRZĘDNYCH 1992, POZIOM ODNIESIENIA KRONSZTADT	SKALA: 1 : 20 000
	<p align="center"><b>KRAKÓW, GRUDZIEŃ 2015</b></p>	

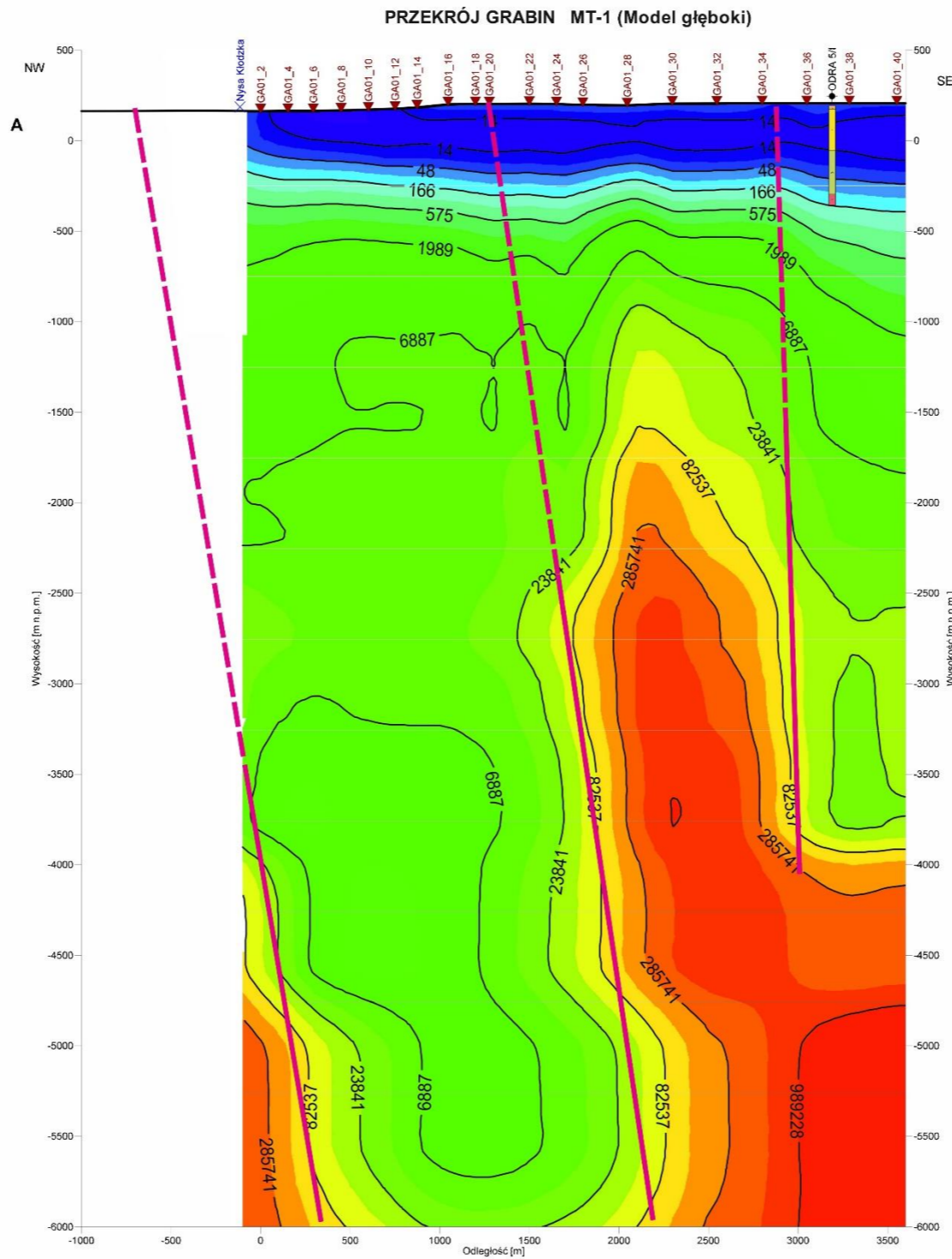


WYKONAWCA:	<b>geopartner</b> GEOPARTNER Sp. z o. o. ul. Skośna 39 B 30-383 Kraków	Fig. 6.1.3.
ZLECENIODAWCA:	PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY- PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY Oddział Dolnośląski im. Henryka Teisseyre'a we Wrocławiu 53-122 Wrocław, Al. Jaworowa 19	
OPRACOWANIE:	<p align="center"><b>SPRAWOZDANIE</b> z badań geofizycznych metodą magnetotelluryczną w ramach realizacji przedsięwzięcia „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych – etap I”</p>	
TYTUŁ:	Lokalizacja profilu magnetotellurycznego Grabin MT-1	
OBJAŚNIENIA:	<p> <span style="color: red;">+</span> - stanowiska pomiarowe sondowań magnetotellurycznych (SMT)  <b>GA01_2</b> - nazwa stanowiska sondowania magnetotellurycznego   - linia przekroju magnetotellurycznego   - otwór wiertniczy ODRA IG 5/I  <b>ODRA IG 5/I</b> - nazwa otworu wiertniczego </p>	
	<p align="center"><b>LOKALIZACJA PROFILU GRABIN MT-1 NA MAPIE TEKTONICZNEJ SUDETÓW I BLOKU PRZEDSUDECKIEGO Z. CYMERMANA</b></p>  <p>SKALA 1 : 200 000</p>	
	PAŃSTWOWY UKŁAD WSPÓLRZEDNYCH 1992. POZIOM ODNIESIENIA KRONSTADT	SKALA: 1 : 20 000
	<b>KRAKÓW, GRUDZIEŃ 2015</b>	

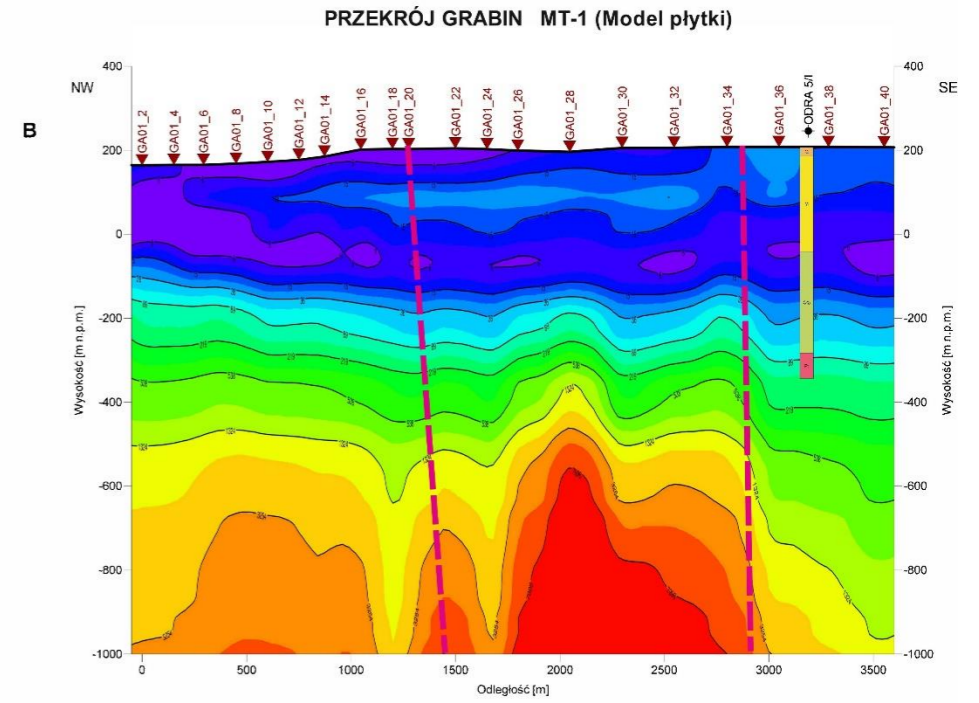




WYKONAWCA:	GEOPARTNER Sp. z o. o. ul. Skońska 39 B 30-383 Kraków	Fig. 6.1.5.																						
ZLECENIODAWCA:	PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY- PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY Oddział Dolnośląski im. Henryka Teisseyre'a we Wrocławiu 53-122 Wrocław, Al. Jaworowa 19																							
OPRACOWANIE:	<p align="center"><b>SPRAWOZDANIE</b> z badań geofizycznych metodą magnetotelluryczną w ramach realizacji przedsięwzięcia „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych – etap I”</p>																							
TYTUŁ:	Przekrój geoelektryczny Grabin MT-1 na podstawie interpretacji wykonanych pomiarów magnetotellurycznych																							
OBJAŚNIENIA:	<p>▼ - stanowisko pomiarowe sondowania magnetotellurycznego (SMT)</p> <p>GA01_2 - nazwa stanowiska sondowania magnetotellurycznego</p> <p><b>SKALA WARTOŚCI OPORNOŚCI ELEKTRYCZNYCH w [omometrach] Z IDENTYFIKACJĄ GEOLOGICZNĄ</b></p> <table border="1"> <tr> <td>989228</td> <td>skala modelu płytkiego</td> </tr> <tr> <td>285741</td> <td></td> </tr> <tr> <td>82537</td> <td>skály proterozoiku-starszego paleozoiku o wysokim stopniu metamorfozy, z prawdopodobnymi intruzjami granitu</td> </tr> <tr> <td>23841</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6887</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1989</td> <td>skály proterozoiku-starszego paleozoiku o niższym stopniu metamorfozy</td> </tr> <tr> <td>575</td> <td></td> </tr> <tr> <td>166</td> <td></td> </tr> <tr> <td>48</td> <td></td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>niskooporowy kompleks utworów trzeciorzędu i kredy</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> </tr> </table> <p><b>ELEMENTY INTERPRETACJI GEOLOGICZNEJ ROZKŁADU OPORNOŚCI NA PRZEKROJU</b></p> <p>- granice litologiczne bądź tektoniczne w głębokim podłożu z prawdopodobną ekstrapolacją do powierzchni</p>		989228	skala modelu płytkiego	285741		82537	skály proterozoiku-starszego paleozoiku o wysokim stopniu metamorfozy, z prawdopodobnymi intruzjami granitu	23841		6887		1989	skály proterozoiku-starszego paleozoiku o niższym stopniu metamorfozy	575		166		48		14	niskooporowy kompleks utworów trzeciorzędu i kredy	4	
989228	skala modelu płytkiego																							
285741																								
82537	skály proterozoiku-starszego paleozoiku o wysokim stopniu metamorfozy, z prawdopodobnymi intruzjami granitu																							
23841																								
6887																								
1989	skály proterozoiku-starszego paleozoiku o niższym stopniu metamorfozy																							
575																								
166																								
48																								
14	niskooporowy kompleks utworów trzeciorzędu i kredy																							
4																								
	KRAKÓW, GRUDZIEŃ 2015																							

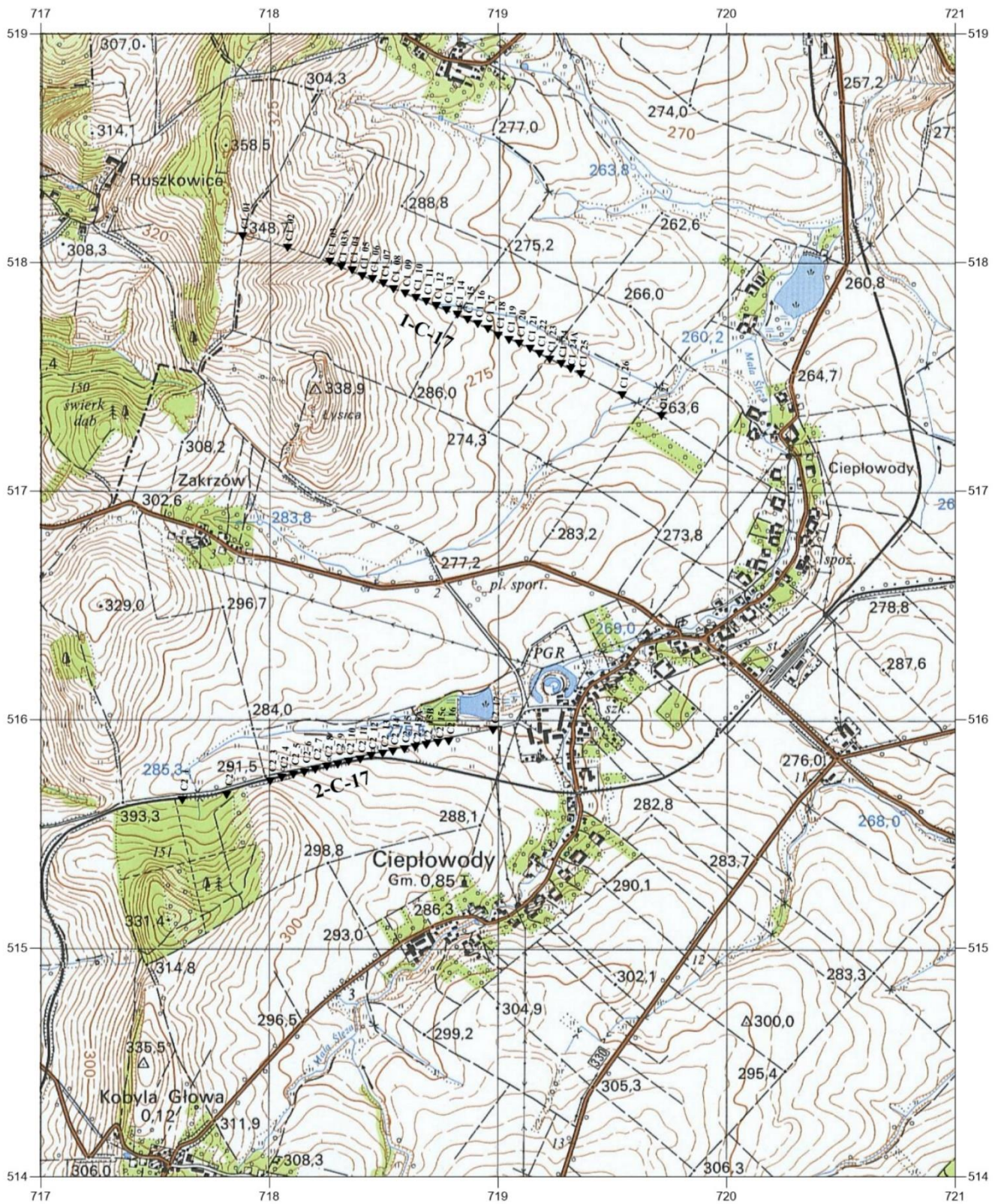


SKALA POZIOMA: 1 : 20 000  
SKALA PIONOWA: 1 : 20 000



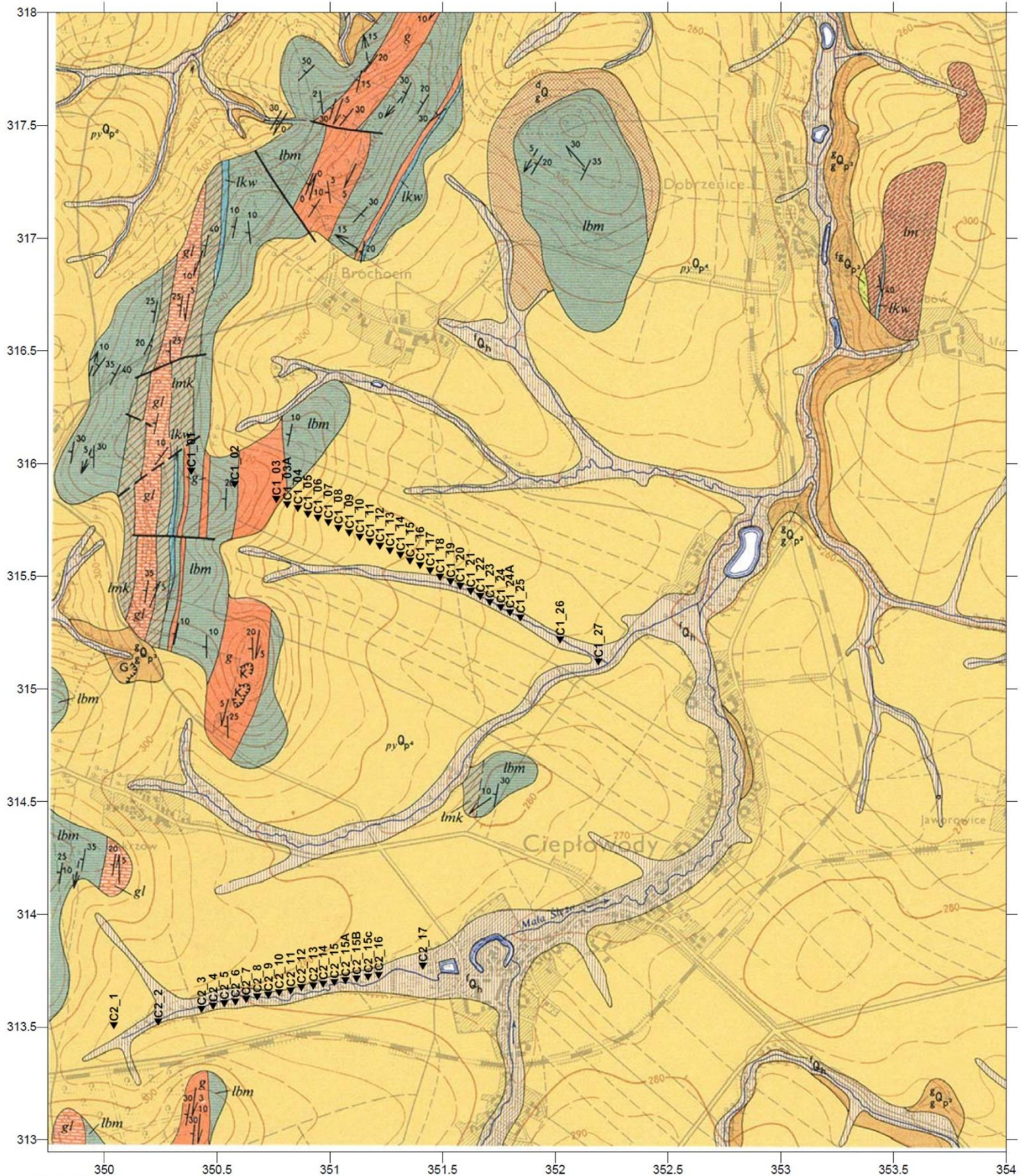
SKALA POZIOMA: 1 : 20 000  
SKALA PIONOWA: 1 : 10 000





▼ c2\_16  
sondowanie MT/AMT

Fig. 6.2.1. Lokalizacja wykonanych prac na tle mapy topograficznej, skala 1 : 25 000  
podkład: Mapa Topograficzna Polski - układ "1965", arkusz: 473.11 Ciepłowodzie



**Objaśnienia:**









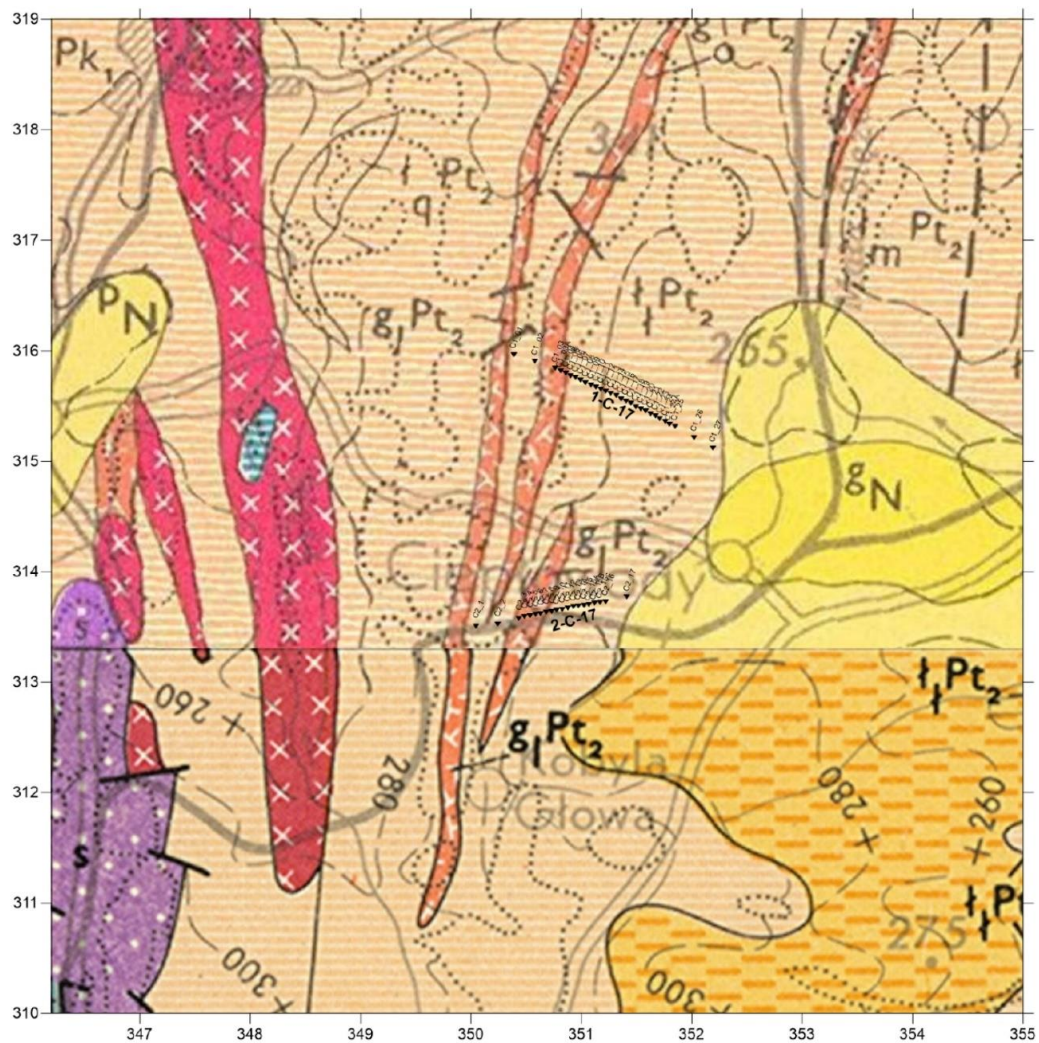
- |   |  |   |
|---|--|---|
|  | Osady rzeczne w ogólności                            |  sondowanie MT |
|  | Gliny pylaste lessopodobne i lessy                   |   |
|  | Gliny zwałowe  |   |
|  | Gnejsy leptytowe                                     |   |
|  | Łupki muskowitowe z mikroklinem                      |   |
|  | Gnejsy plagioklazowo-mikroklिनowe, blastoporfirowe   |   |
|  | Łupki dwutyszczykowe i paragnejsy z mikroklिनizowane |   |

Fig. 6.2.2. Lokalizacja wykonanych prac na podstawie mapy geologicznej, skala 1:25 000  
 podkład: Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów- arkusz Ciepłowodny (fragment)



Objaśnienia:

▼ sondowanie MT/AMT

- g<sub>N</sub> Zwiry i piaski kwarcowo-skalieniowe, lokalnie ility (g - seria Gozdniczy)
- p<sub>N</sub> ility zielone i brunatne w stropie miejscami pstre mułki i piaski, pokłady i soczewy węgla brunatnych, podrzednie zwiry (p - seria poznańska) kaolinowe gliny zwietrzelinowe (gka)
- p<sub>N</sub> Bazalty oraz inne skały formacji bazaltowej i ich tufy
- Granodiority i monzogranity
- s<sub>Ps</sub> Amfibolity
- Serpentyny
- Pt<sub>2</sub> Gnejsy leptytowe (g<sub>l</sub>), gnejsy syllimanitowe (g<sub>s</sub>), gnejsy oczkowe plagioklazowo-mikroklinowe (g<sub>o</sub>), gnejsy biotytowe (g<sub>b</sub>) } Skały masywu Wądroża Wielkiego, północnej osłony masywu strzegomskiego, synklinorium Wzgórz Niemczanskich i metamorfiku Wzgórz Strzełińskich
- Pt<sub>2</sub> Łupki muskowitowe (l<sub>m</sub>), łupki łuszczkowe (l<sub>l</sub>), łupki ikwarcytu grafitowe (l<sub>g</sub>)
- g<sub>l</sub>Pt<sub>2</sub> Gnejsy leptytowe, gnejsy aplitowe
- l<sub>l</sub>Pt<sub>2</sub> Łupki łuszczkowe, lokalnie z granatami

Fig. 6.2.3. Lokalizacja wykonanych prac na tle mapy geologicznej, skala 1 : 50 000 podkład: Mapa Geologiczna Polski - arkusze: Wałbrzych i Kłodzko (fragment)

Objaśnienia:

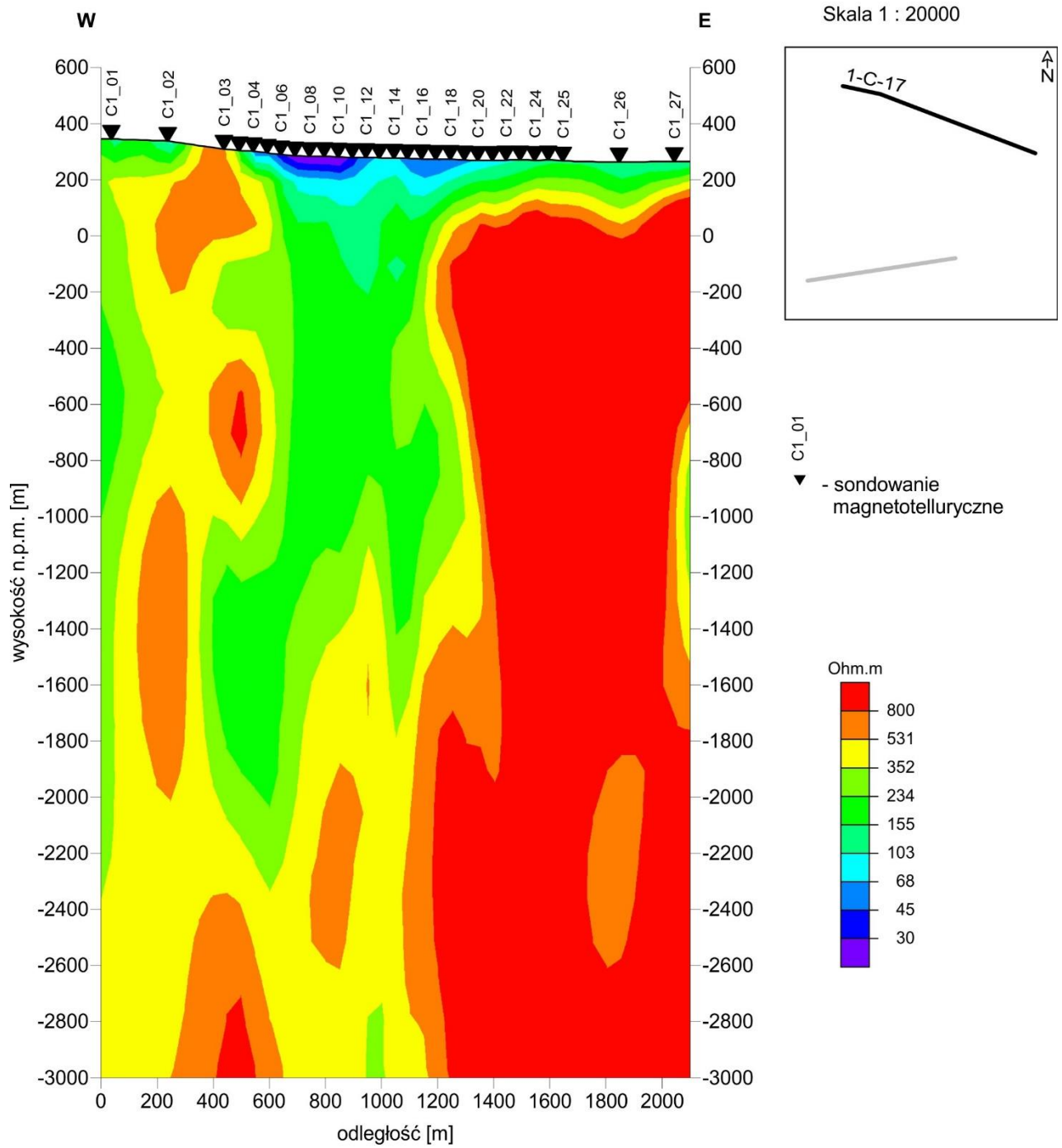


Fig. 6.2.7. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 1D wg algorytmu Occama, skala 1:20000

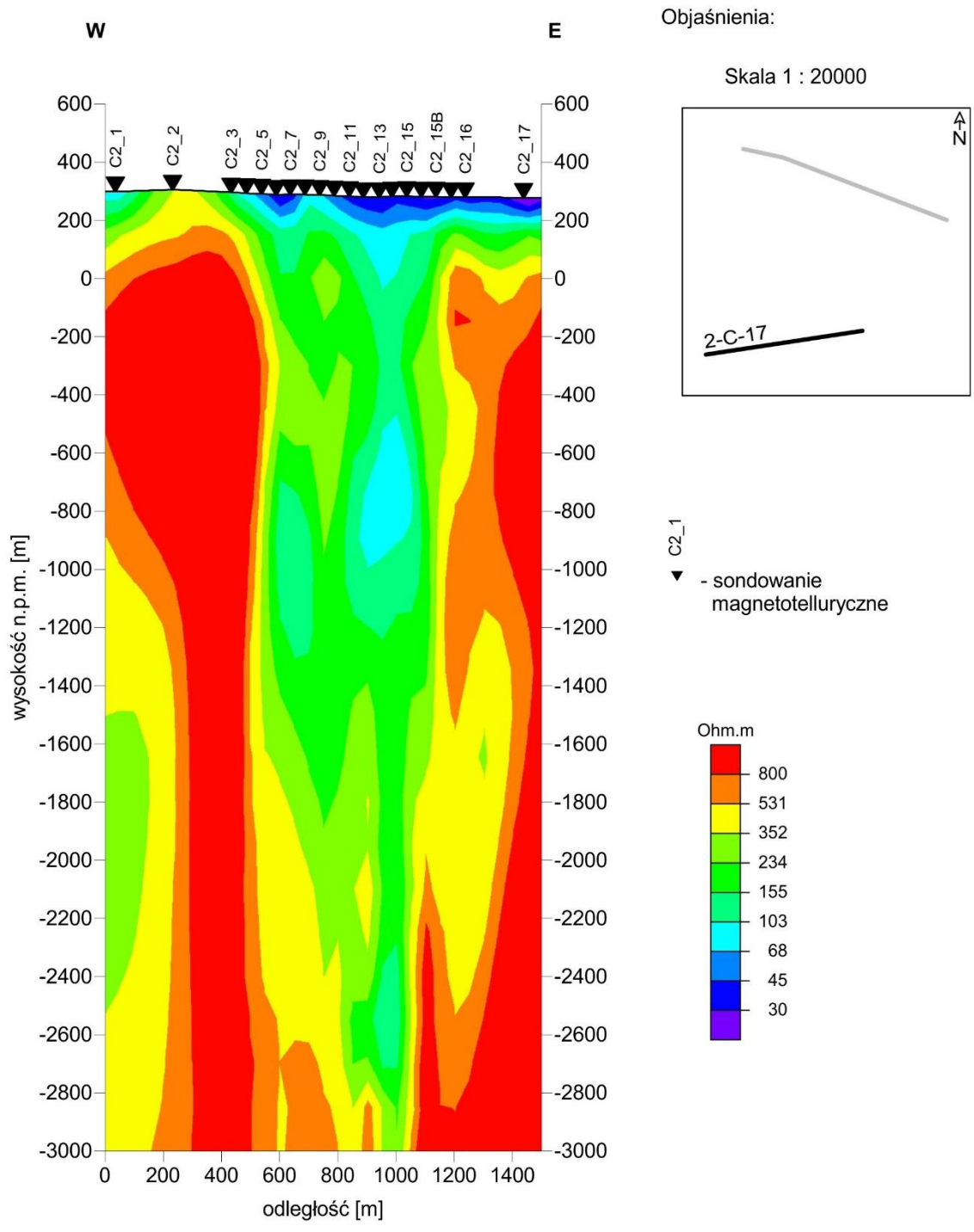


Fig. 6.2.8. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 1D wg algorytmu Occama, skala 1:20000

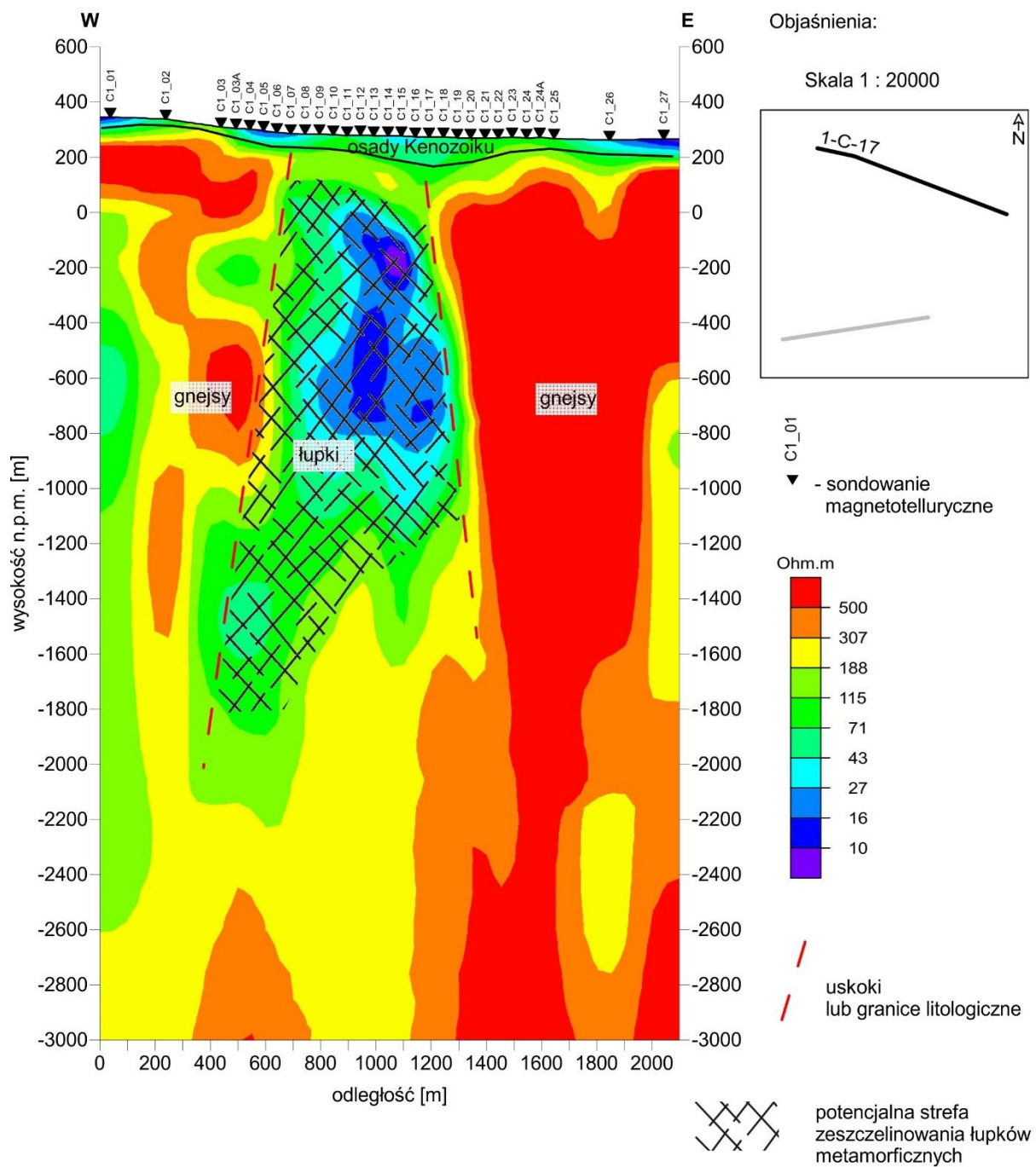


Fig. 6.2.9 Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLGG wraz z interpretacją geologiczną, skala 1:20000

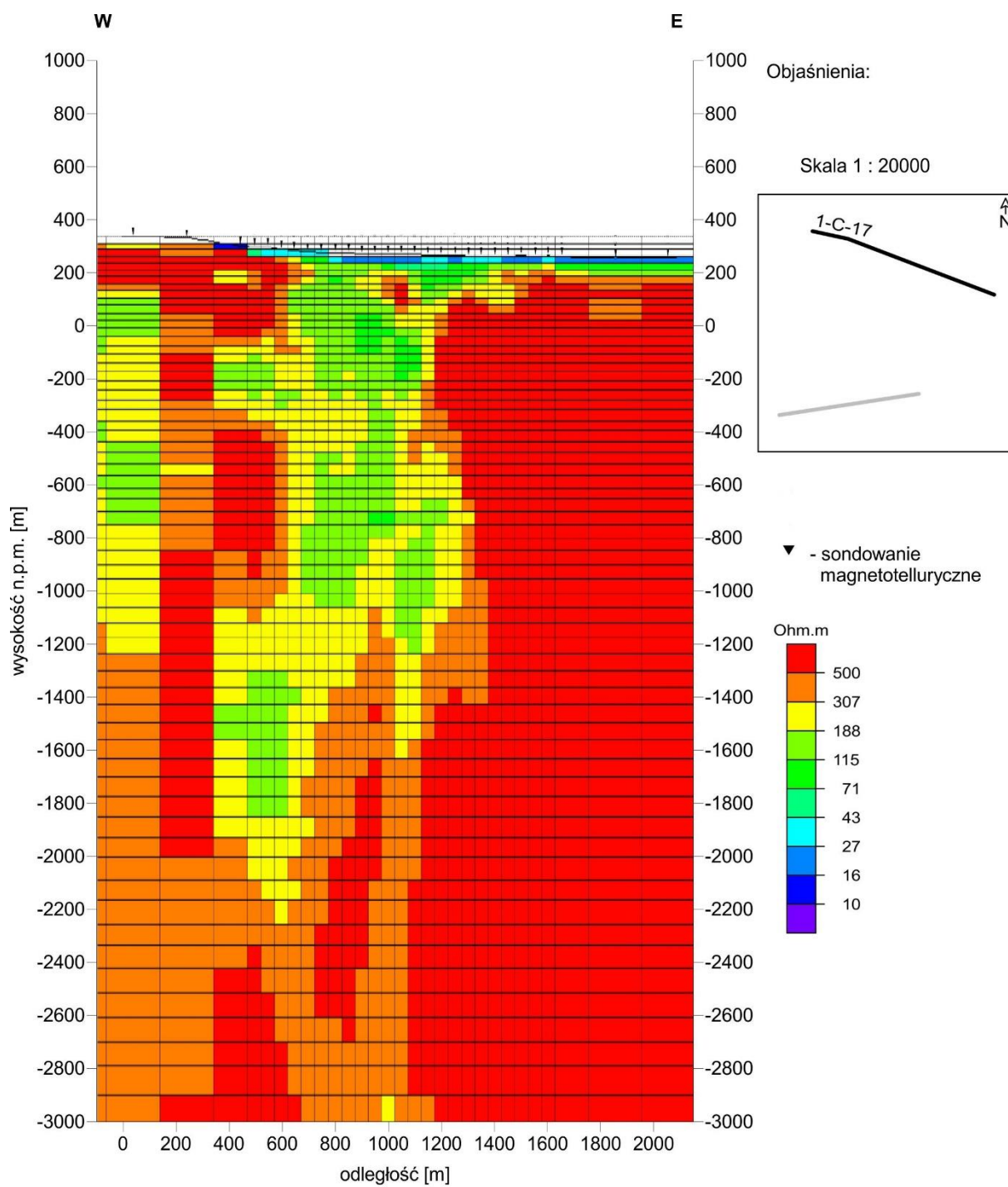


Fig. 6.2.9a. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 1)

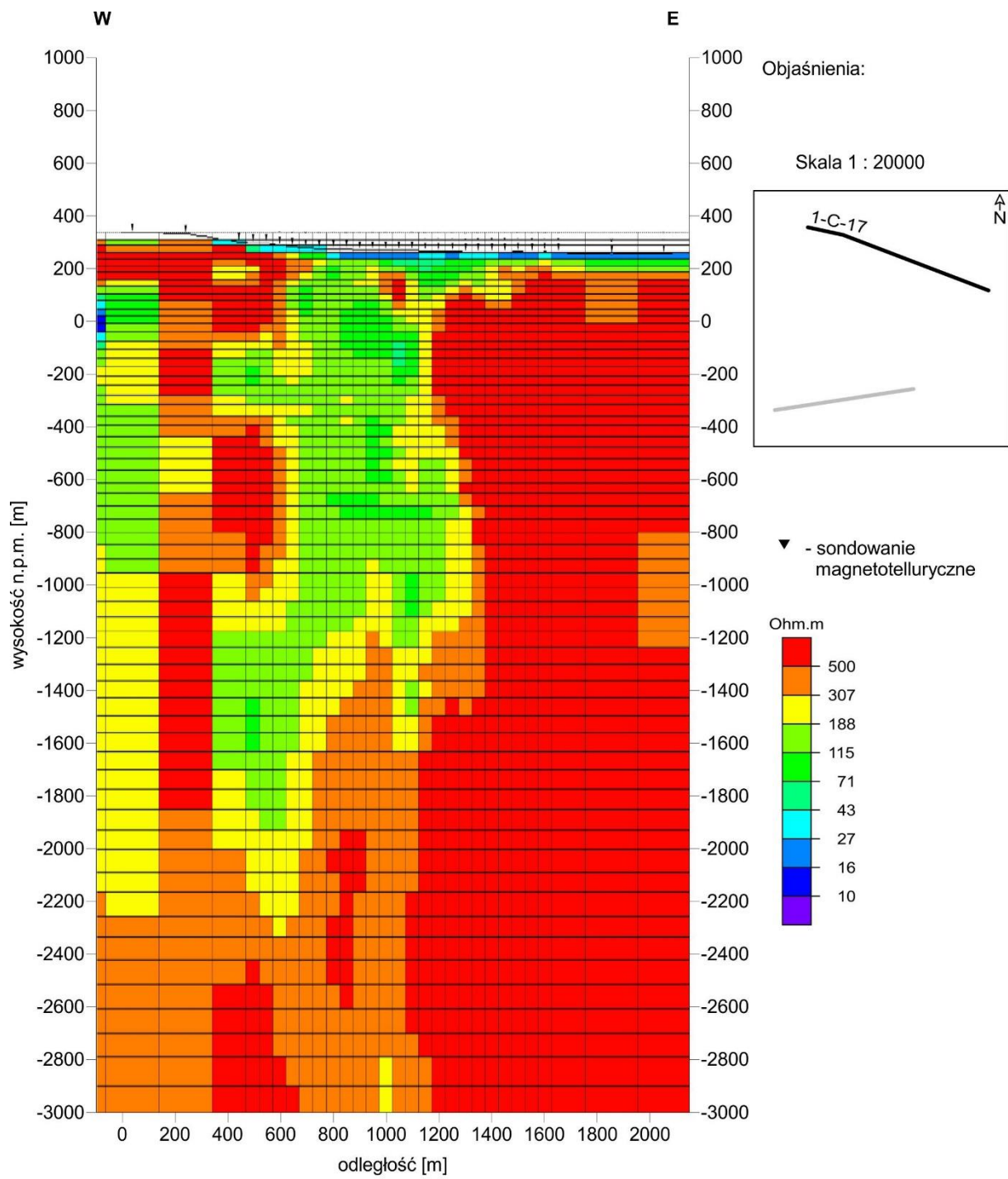


Fig. 6.2.9b. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 3)



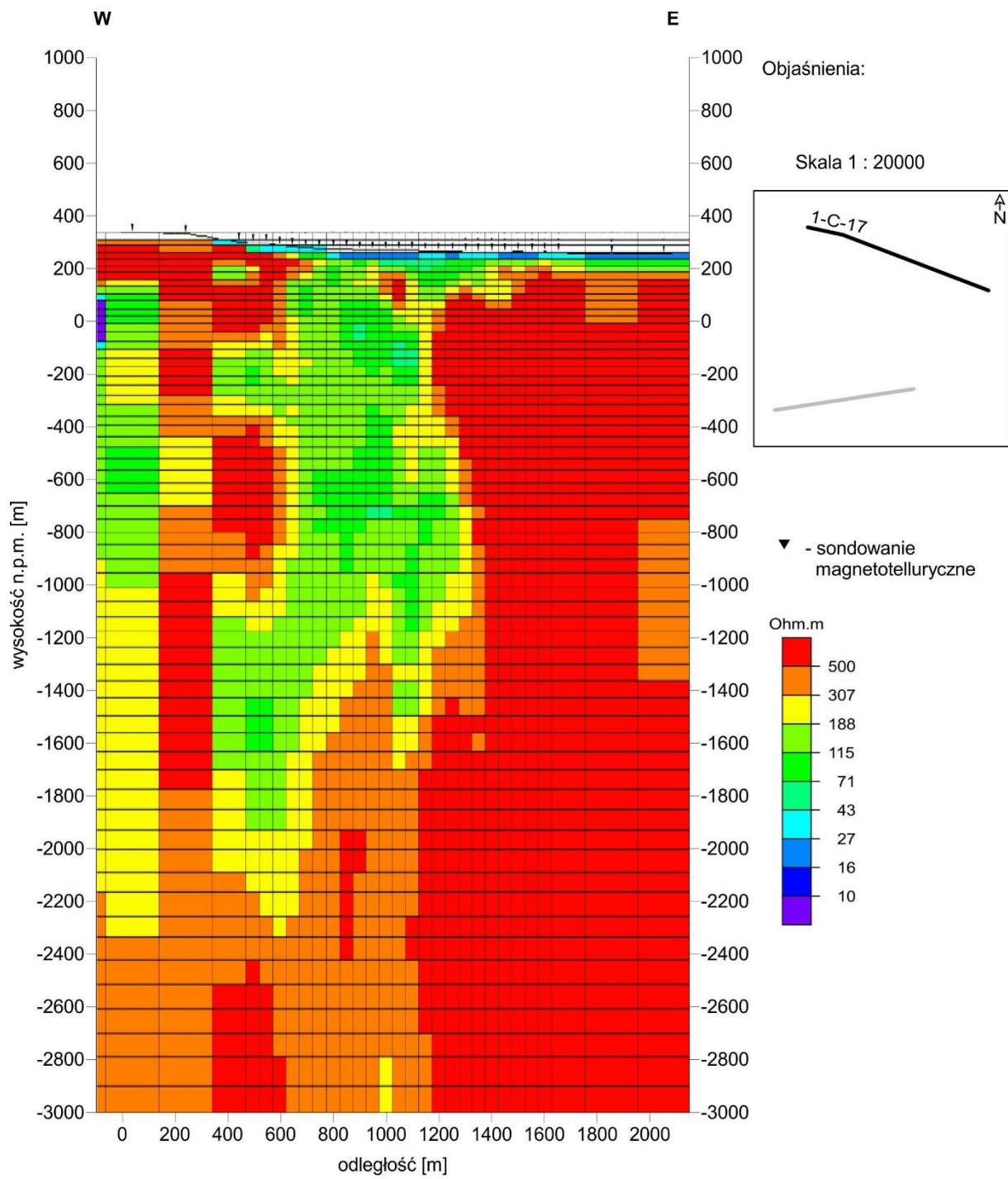


Fig. 6.2.9c. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 5)

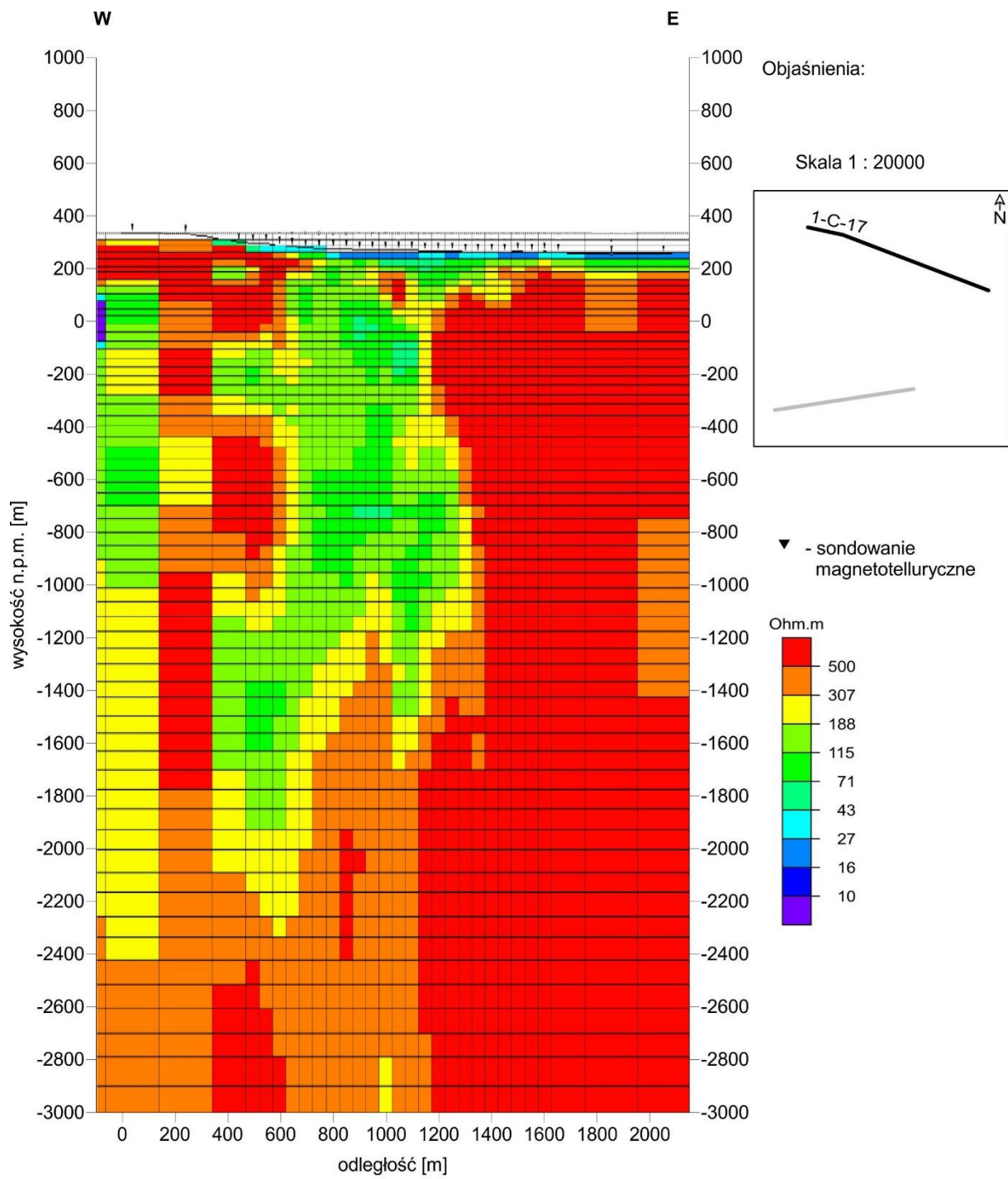


Fig..6.2.9d. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 7)

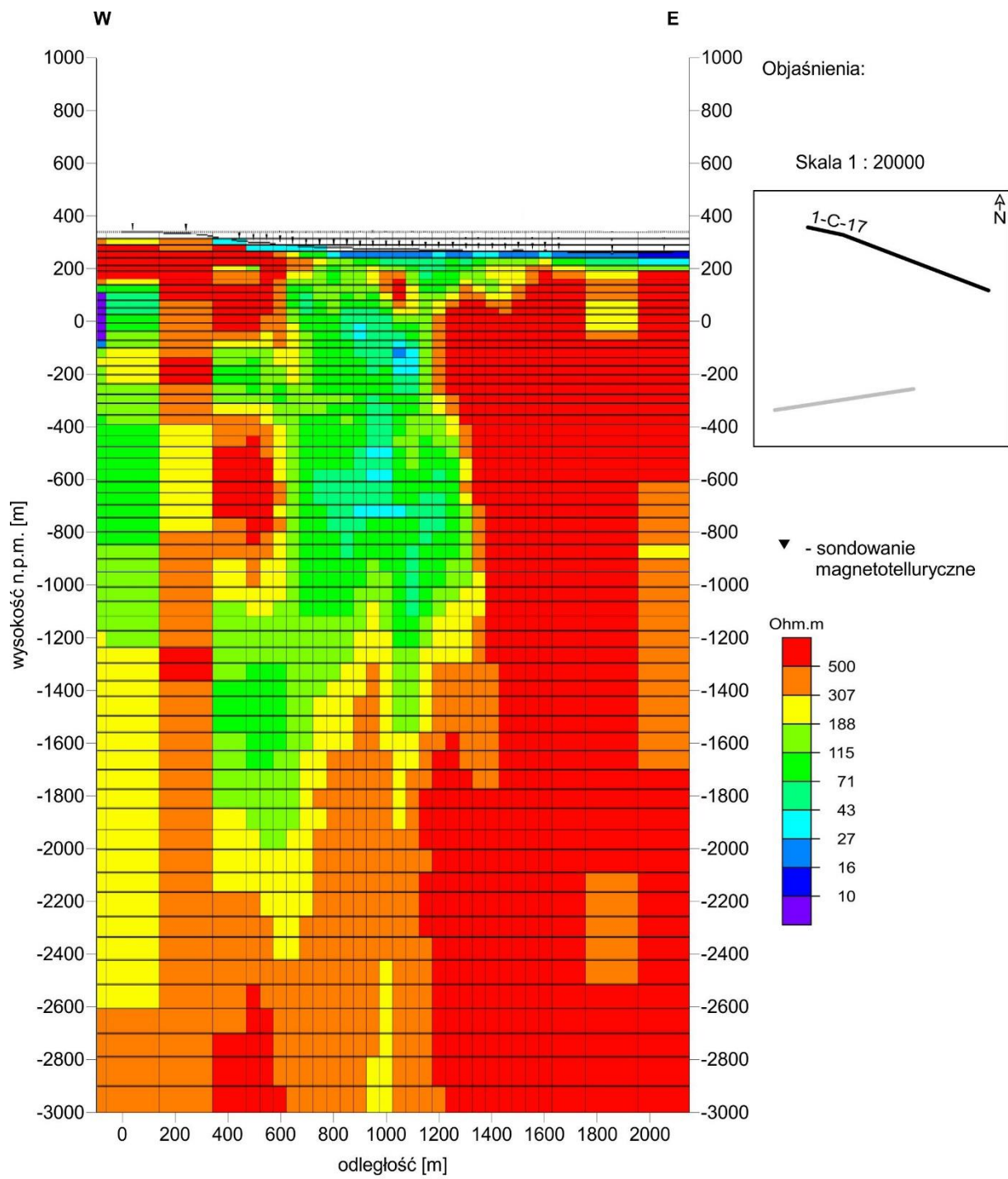


Fig. 6.2.9e. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 9)

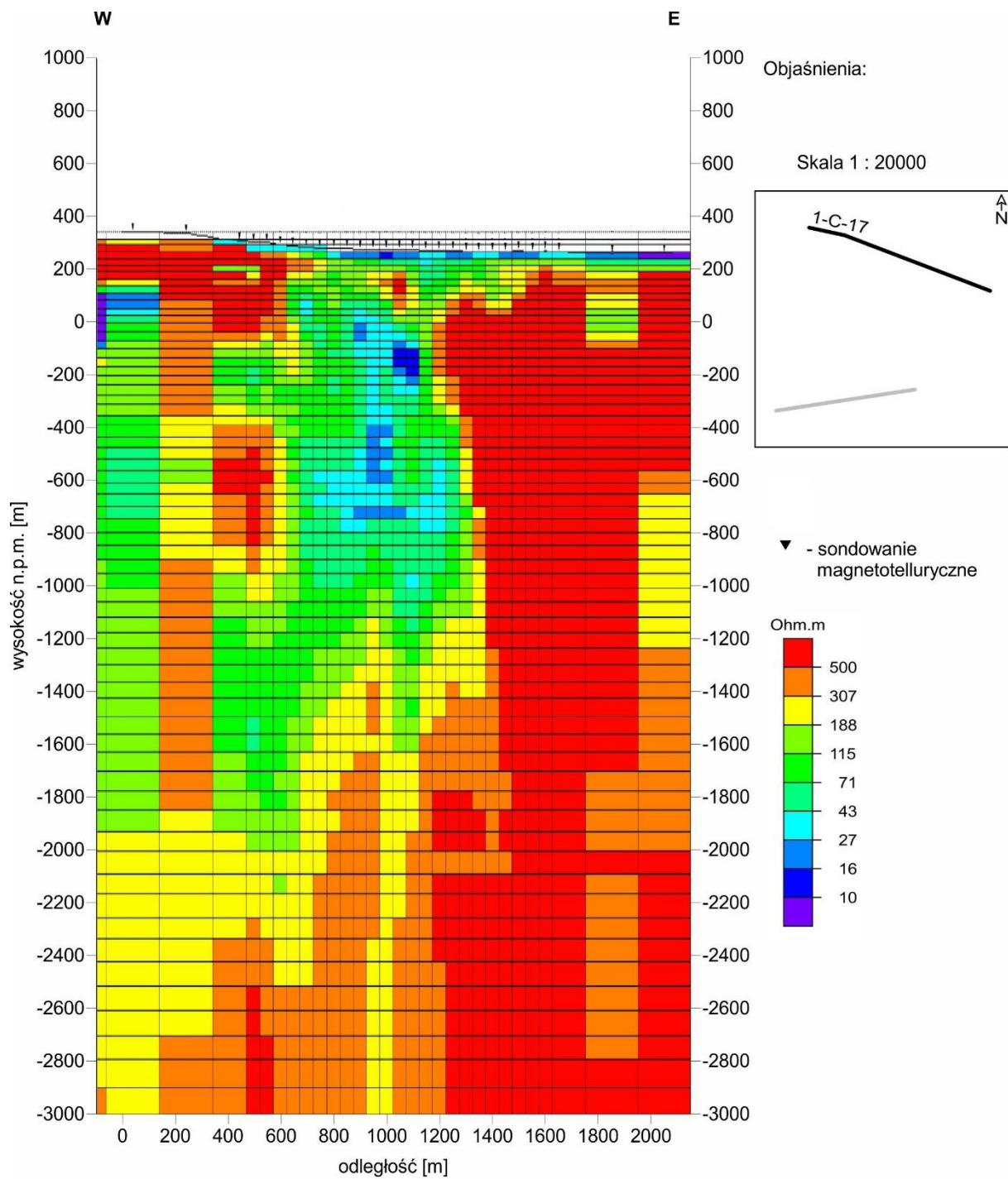


Fig. 6.2.9f. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 11)

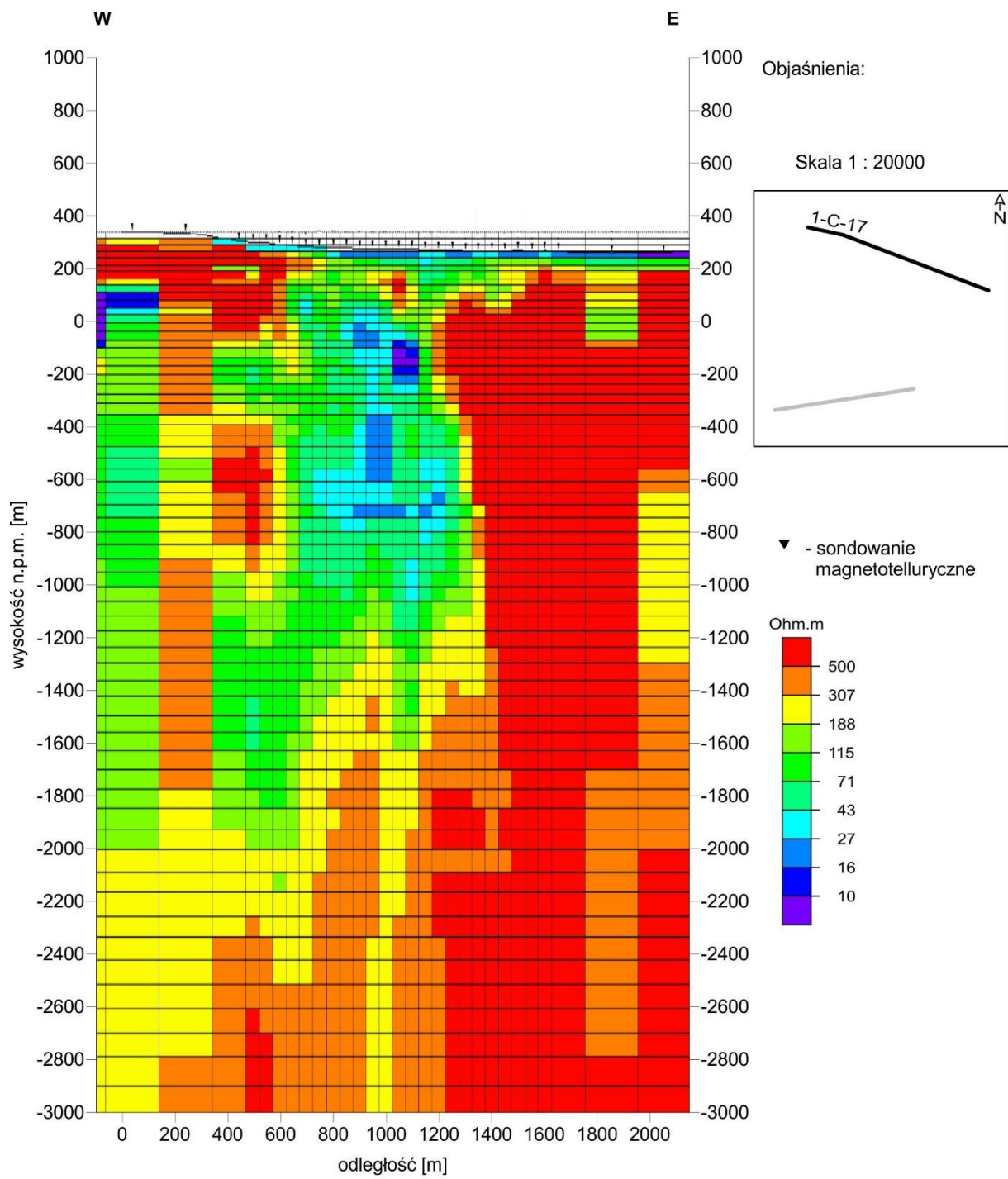


Fig. 6.2.9g. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 13)

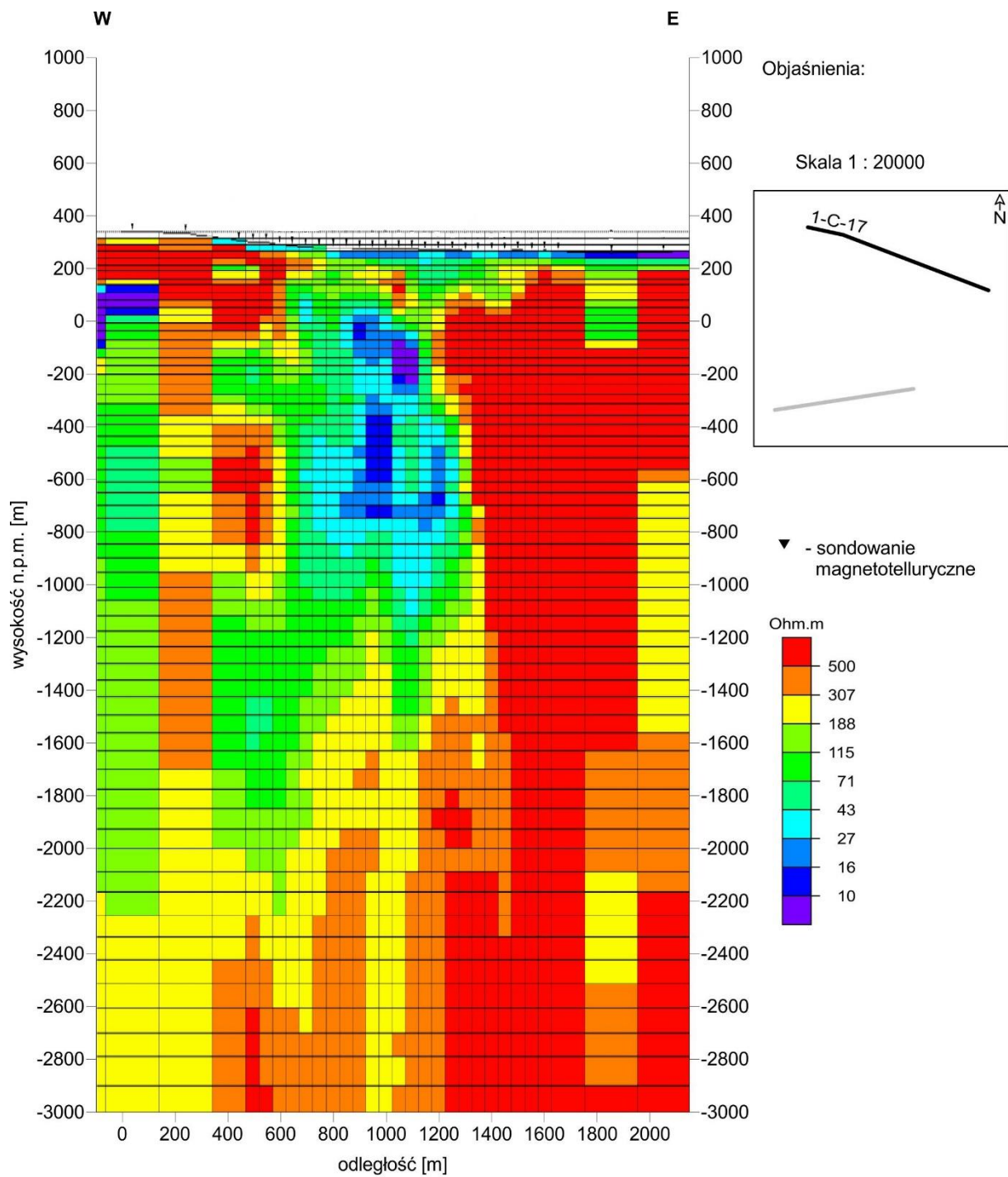


Fig. 6.2.9h. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 15)

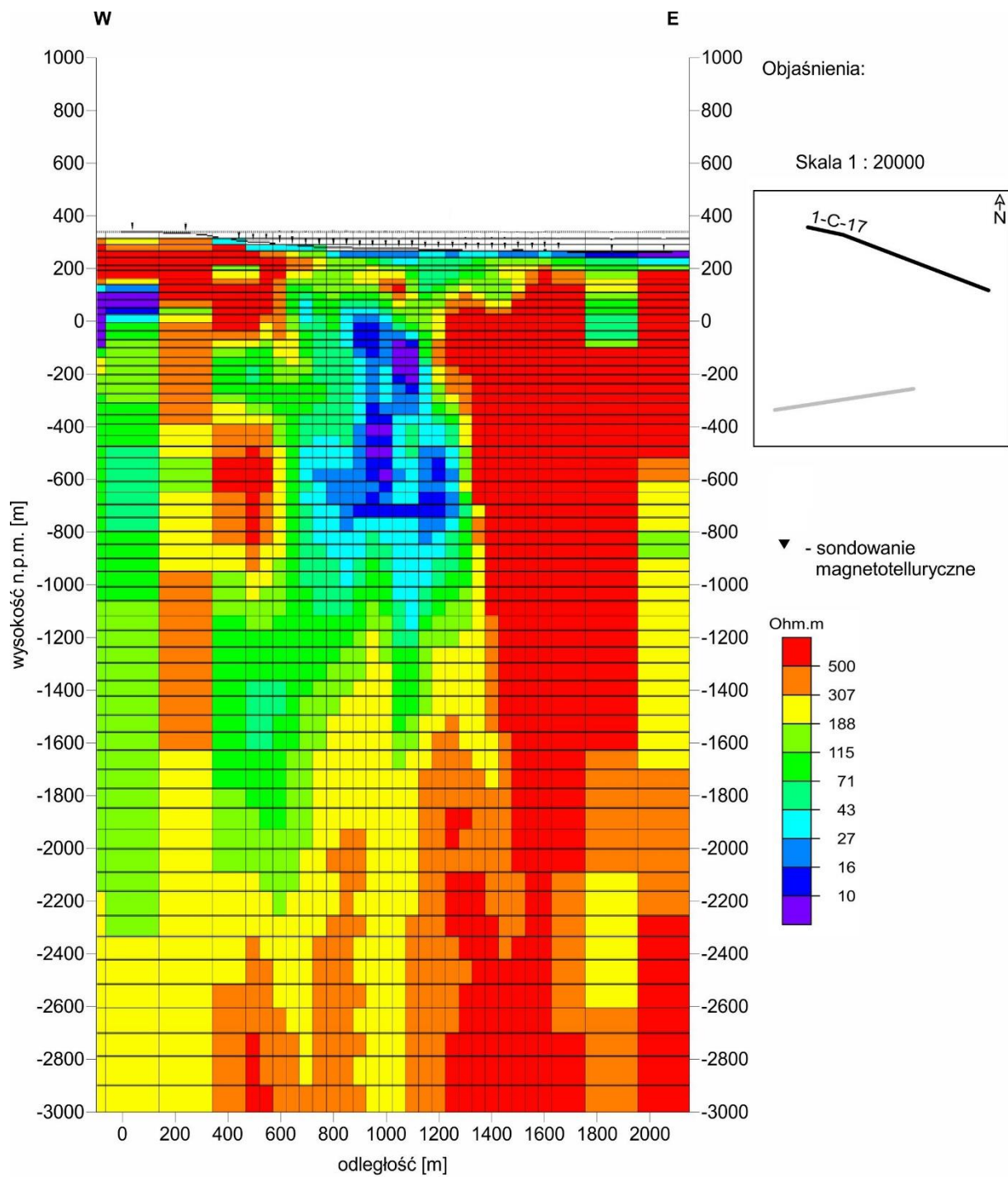


Fig. 6.2.9i. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCCG (iteracja 17)

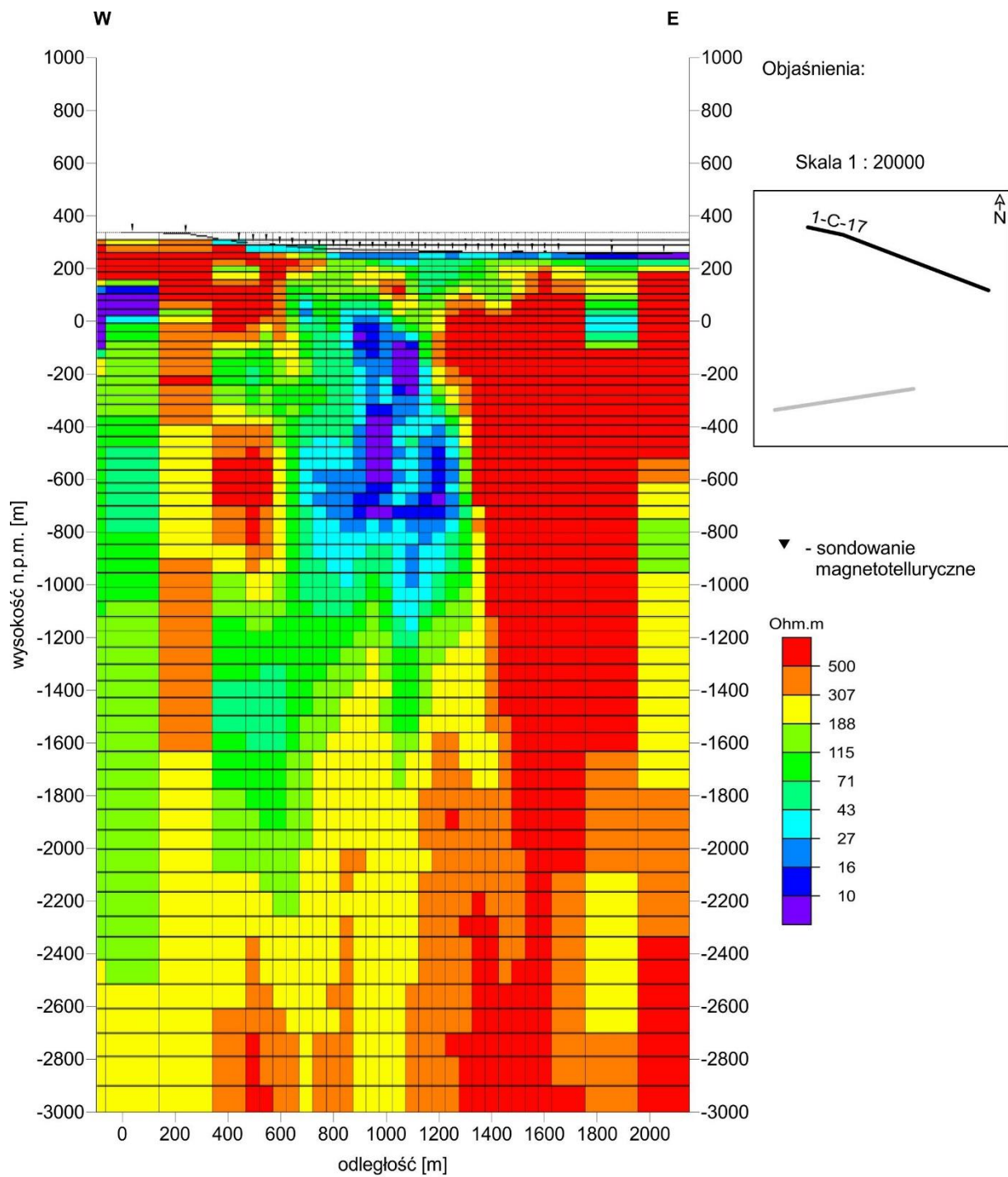


Fig. 6.2.9j. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLGG (iteracja 19)



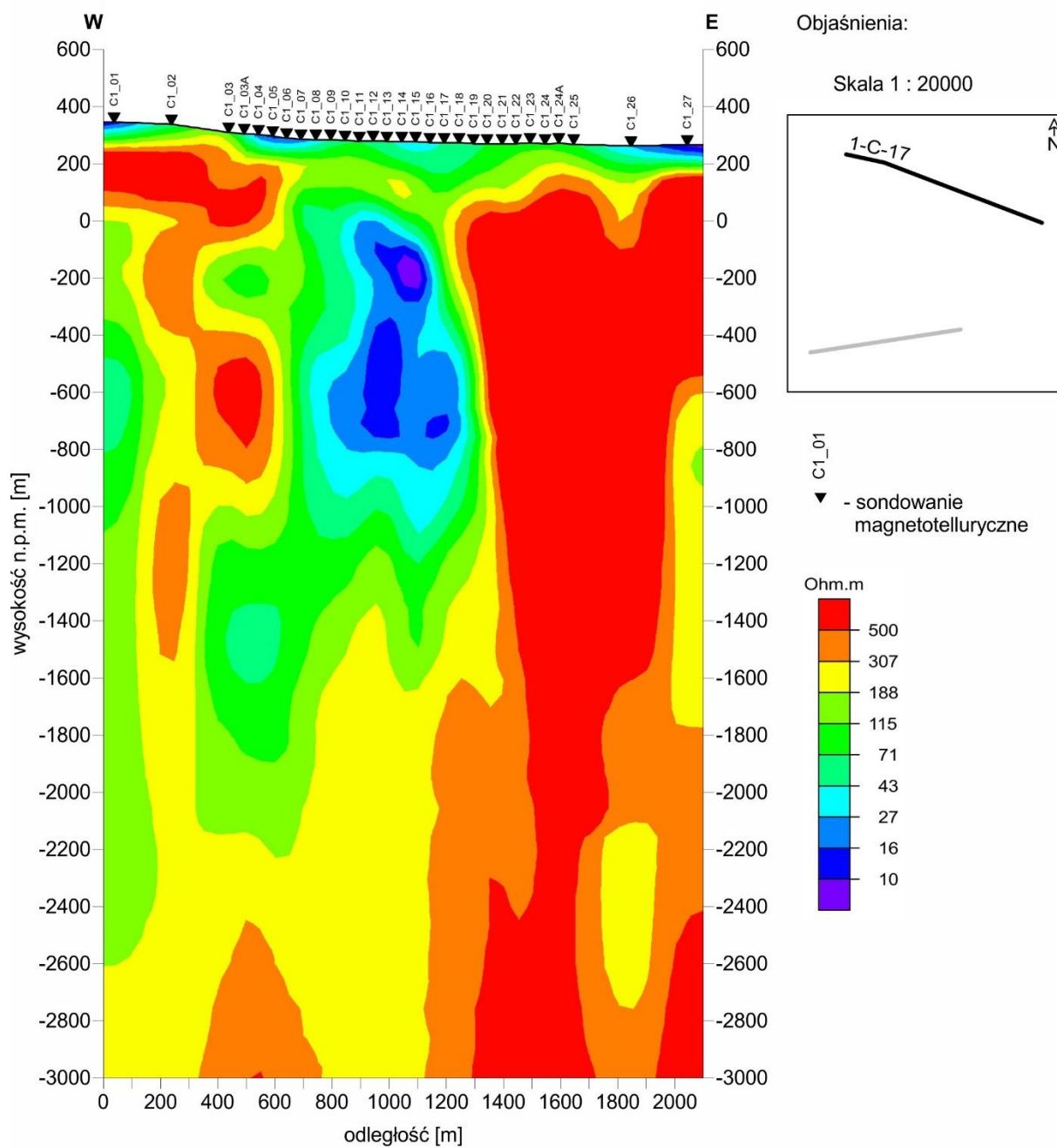


Fig. 6.2.9k. Rozkład oporności wzdłuż profilu 1-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCT

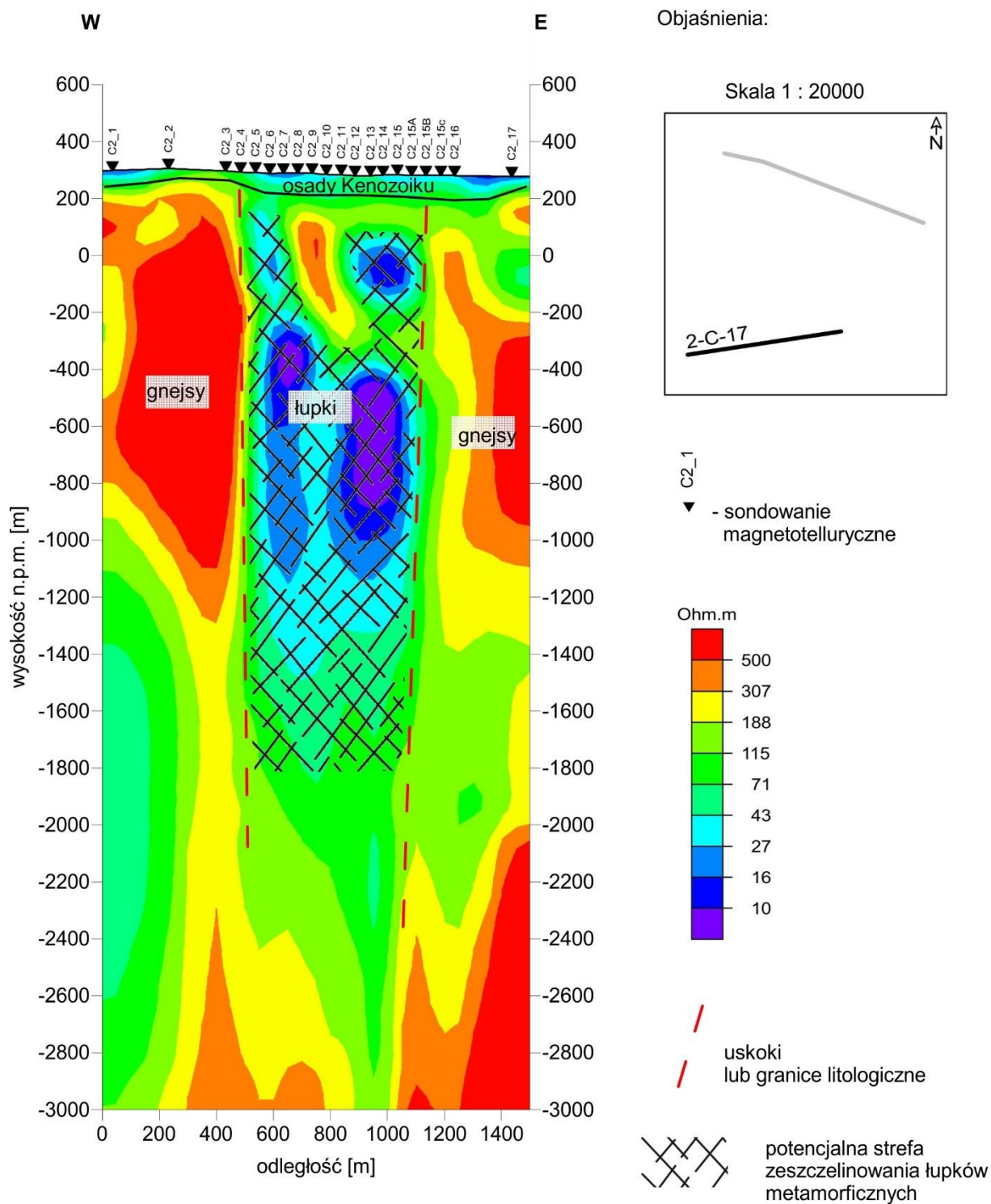


Fig. 6.2.10. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG wraz z interpretacją geologiczną, skala 1:20000

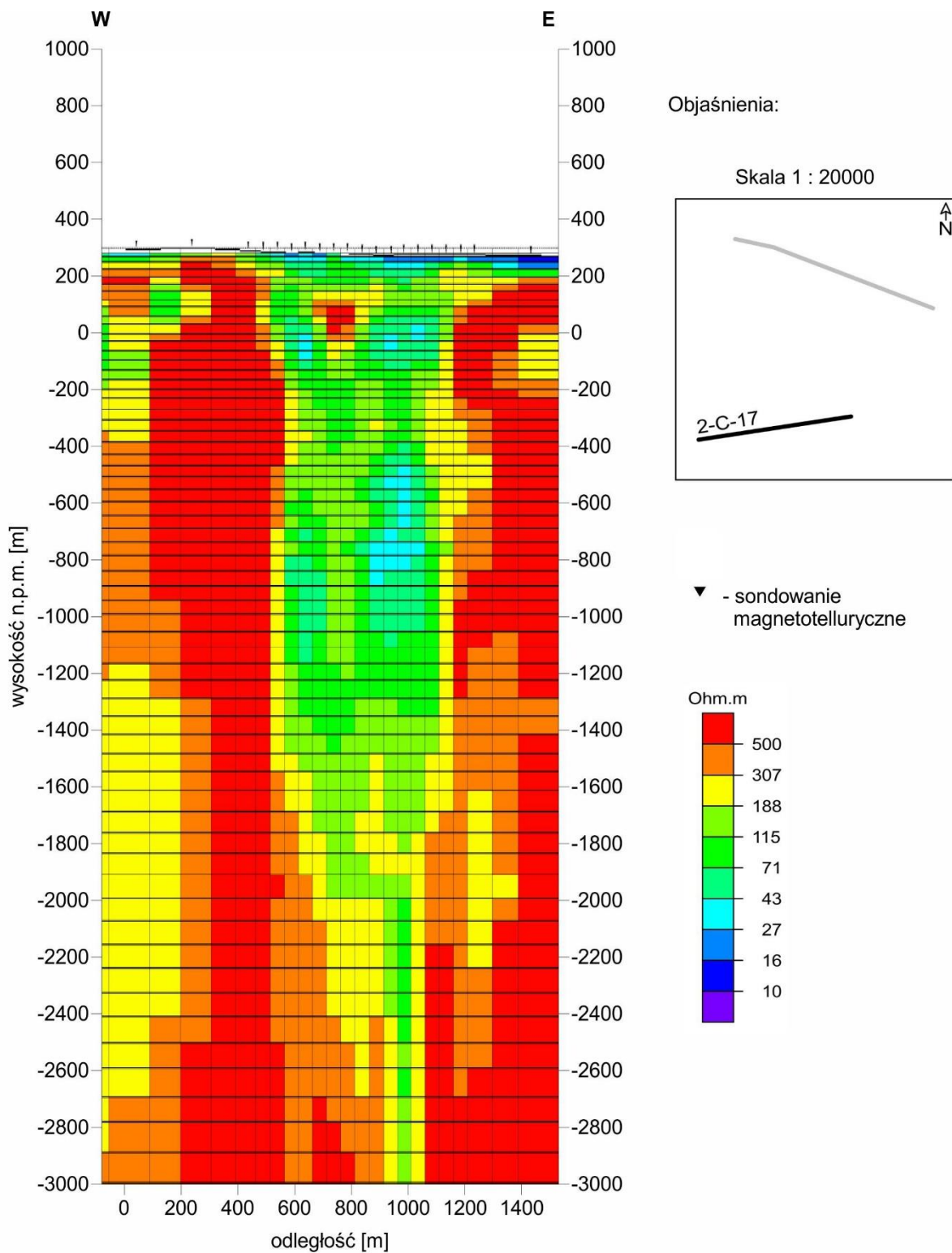


Fig. 6.2.10a. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 1)

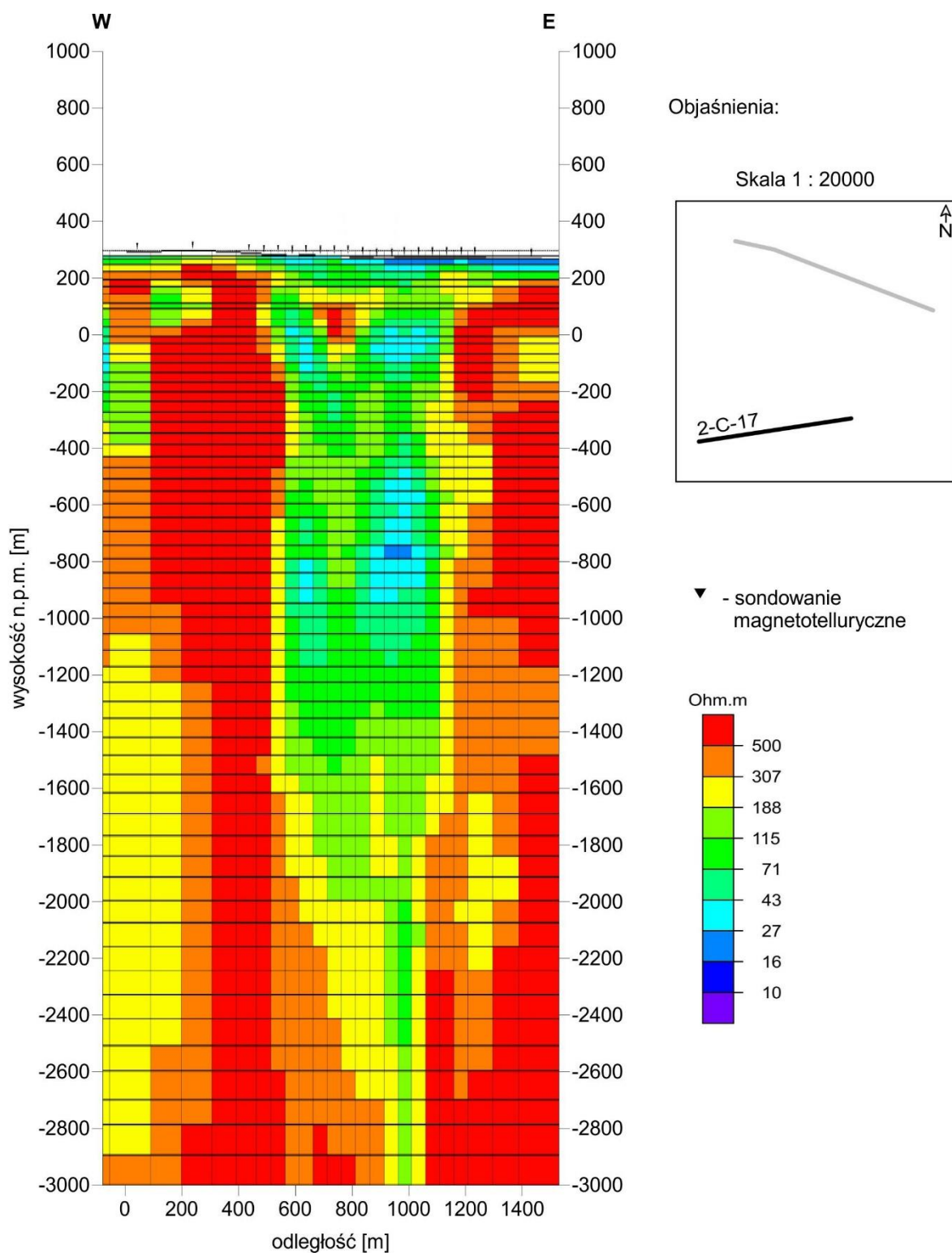


Fig. 6.2.10b. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 3)

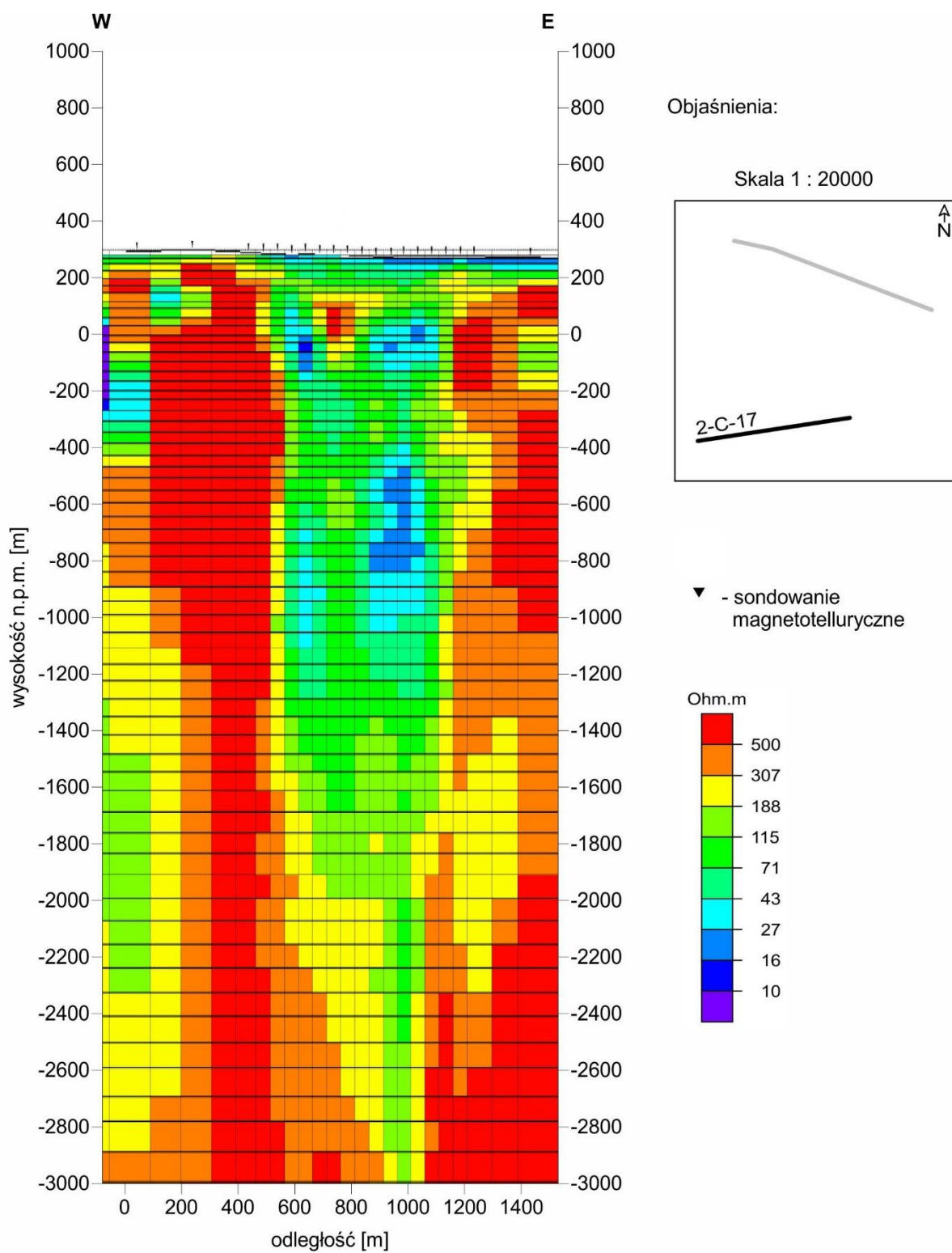


Fig. 6.2.10c. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 5)

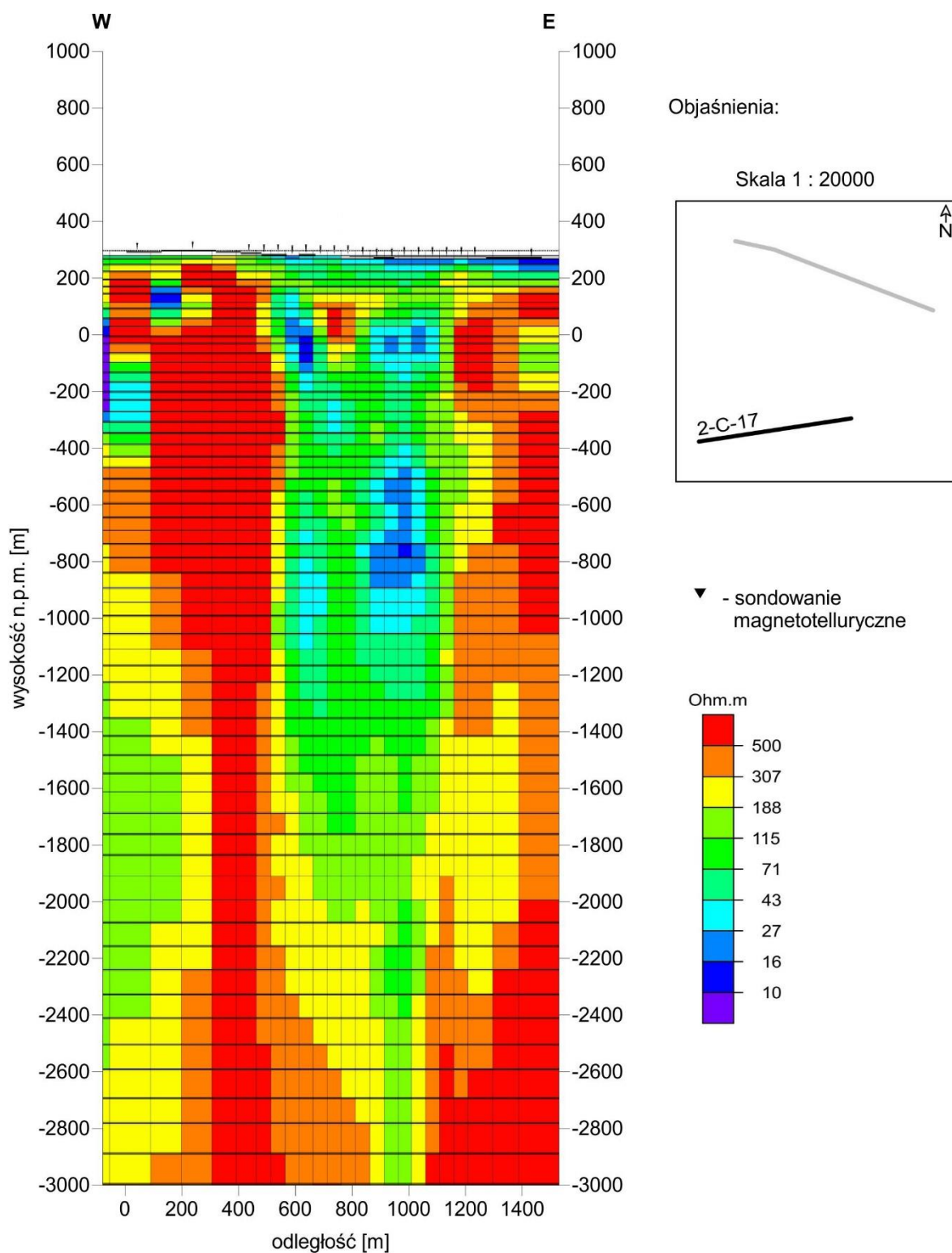


Fig. 6.2.10d. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 7)

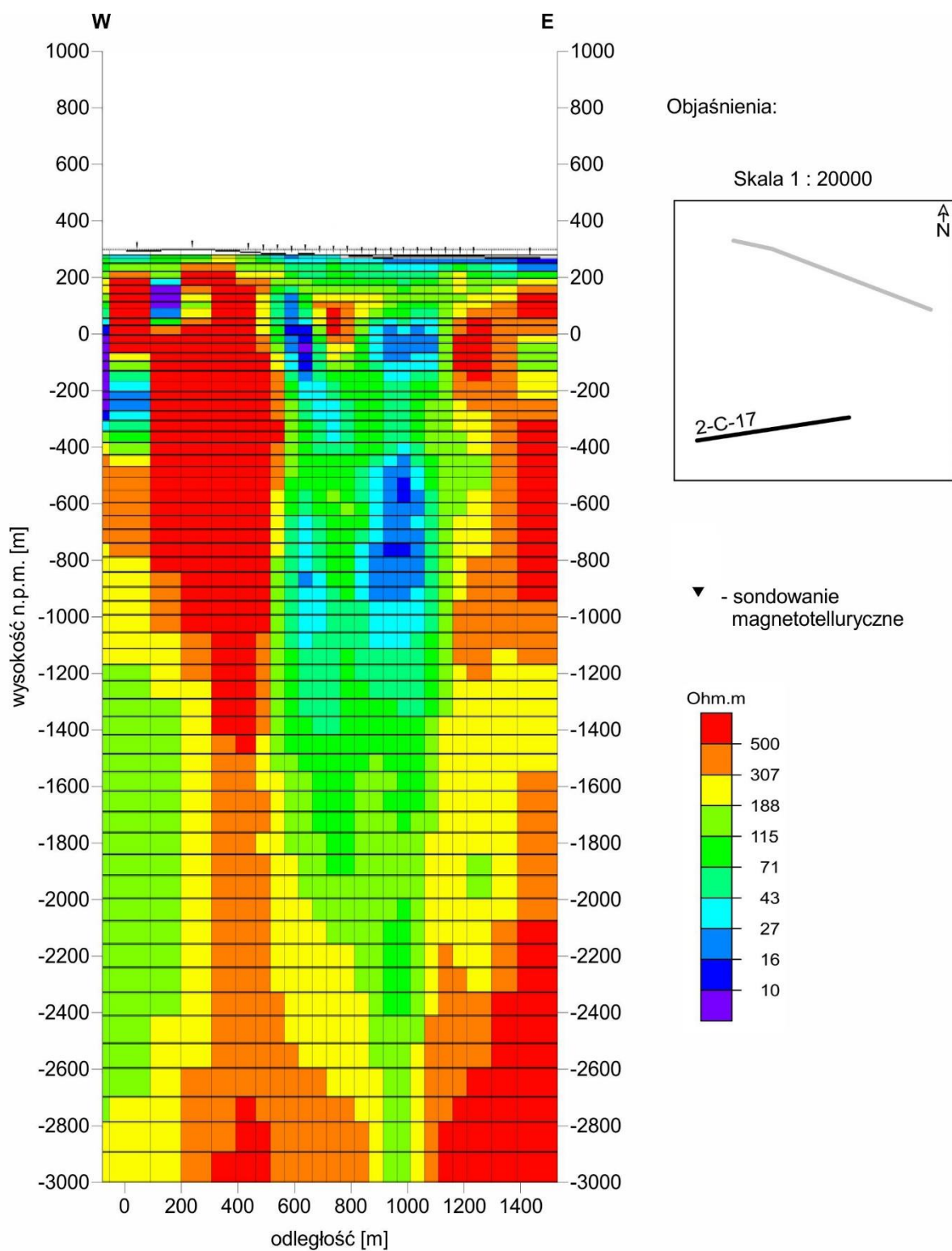


Fig. 6.2.10e. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLGC (iteracja 9)

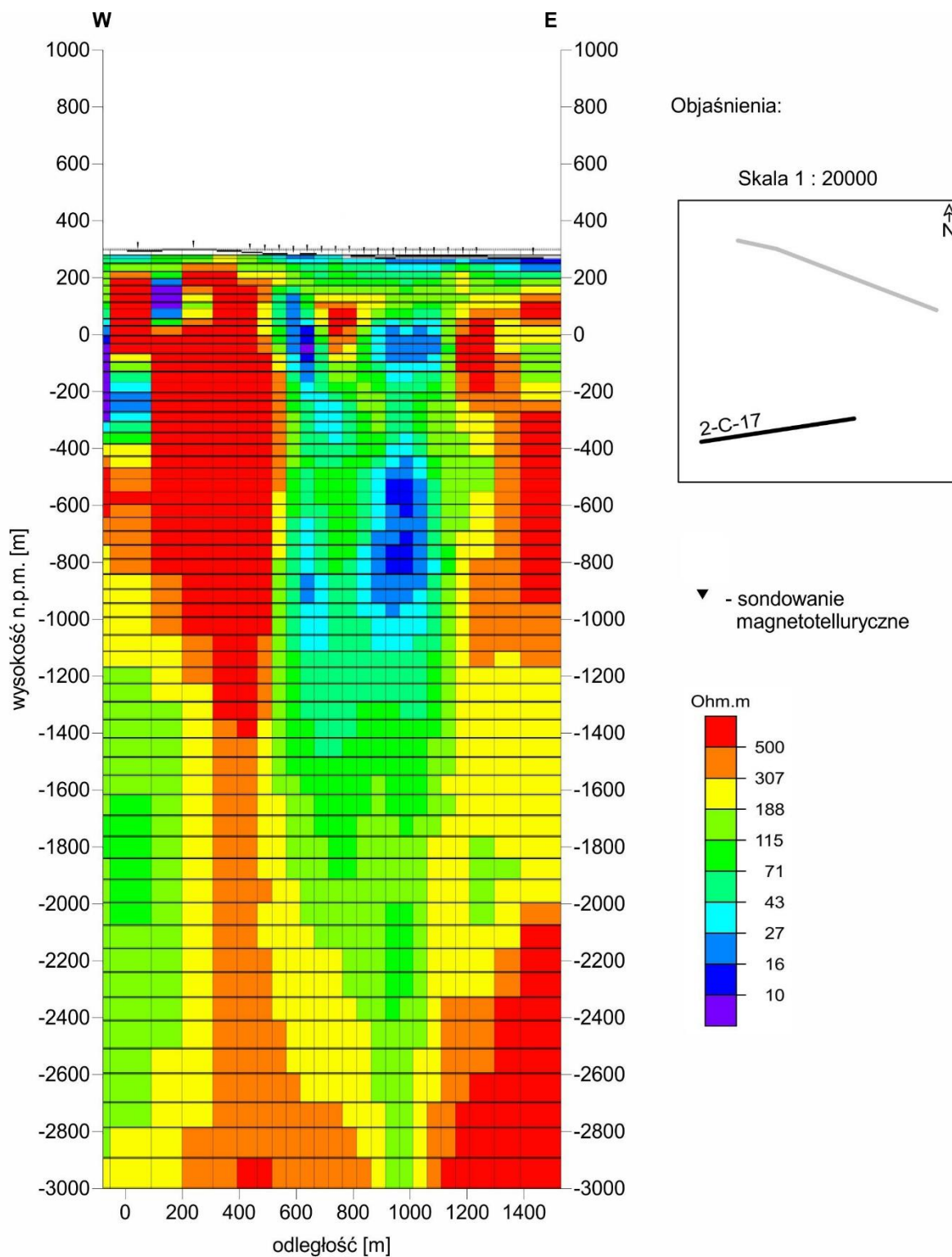


Fig. 6.2.10f. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 11)



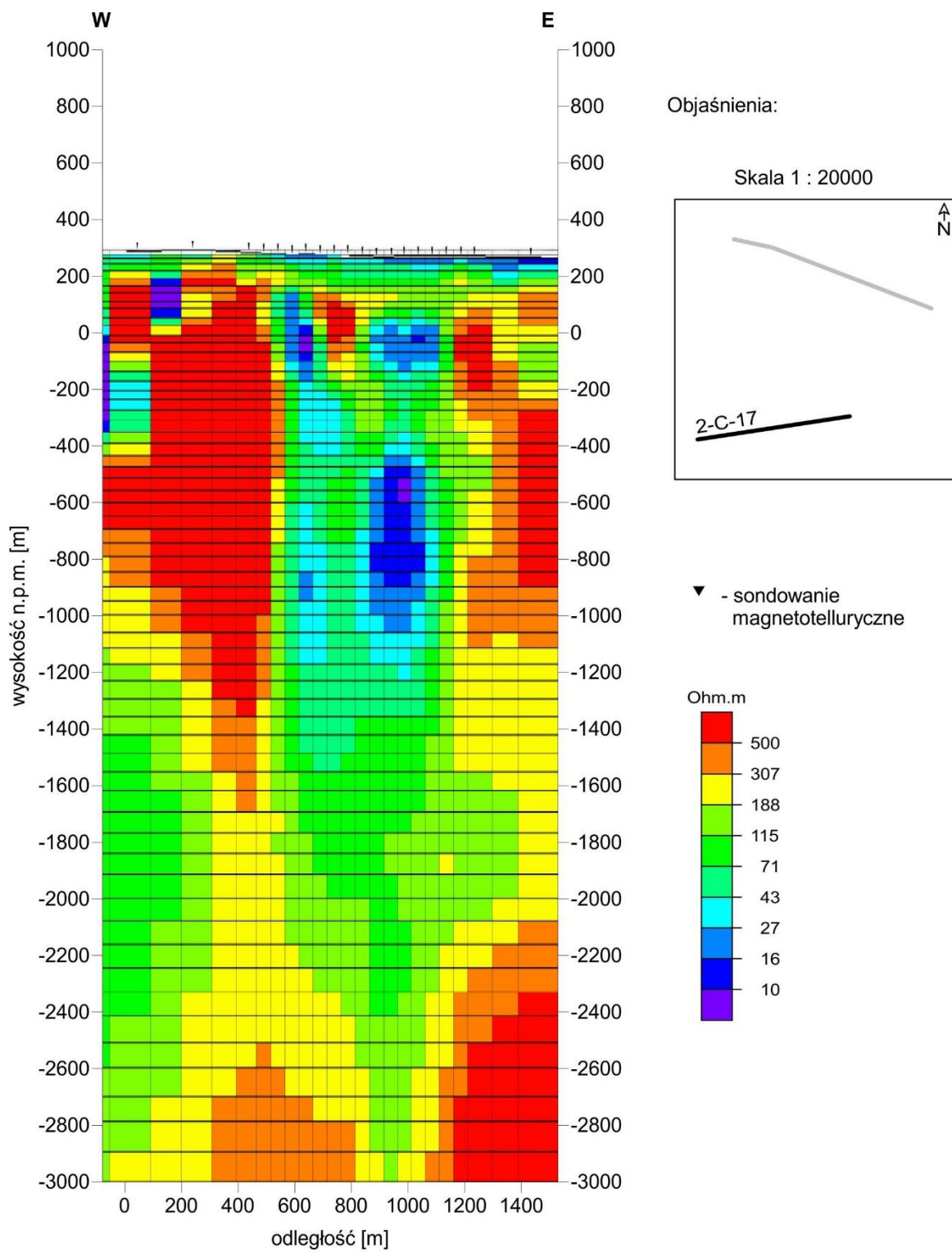


Fig. 6.2.10g. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 13)

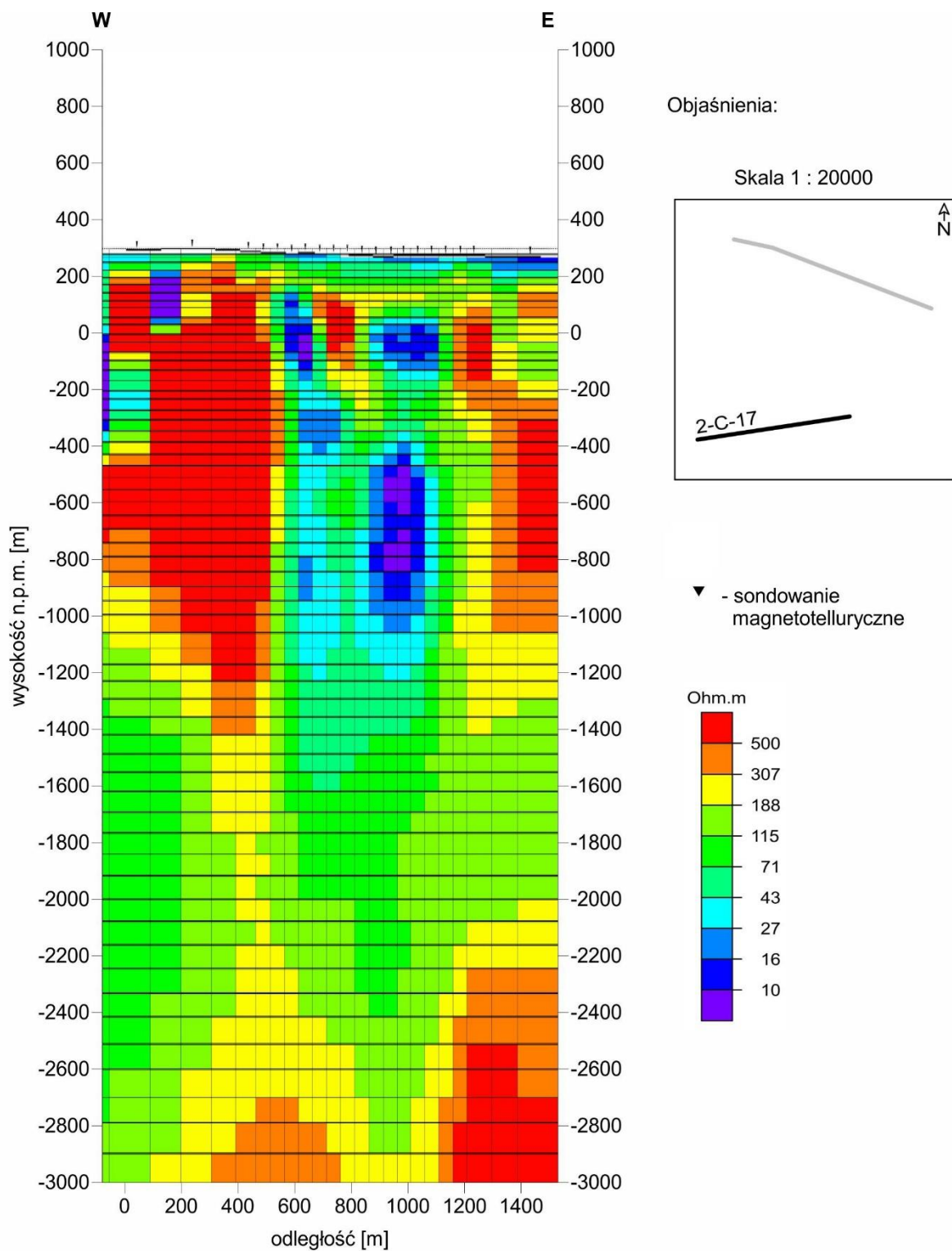


Fig. 6.2.10h. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 15)

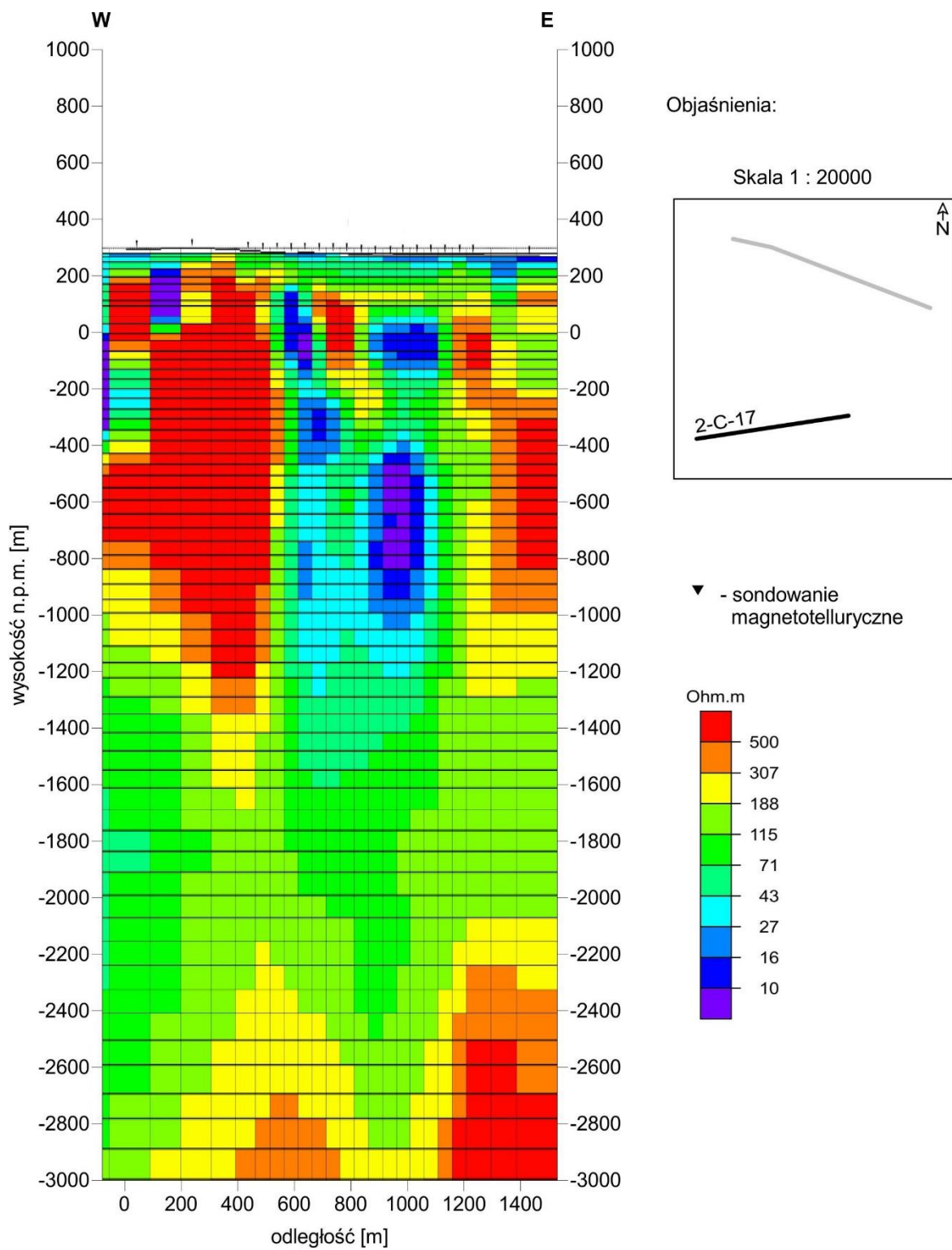


Fig. 6.2.10i. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG (iteracja 17)

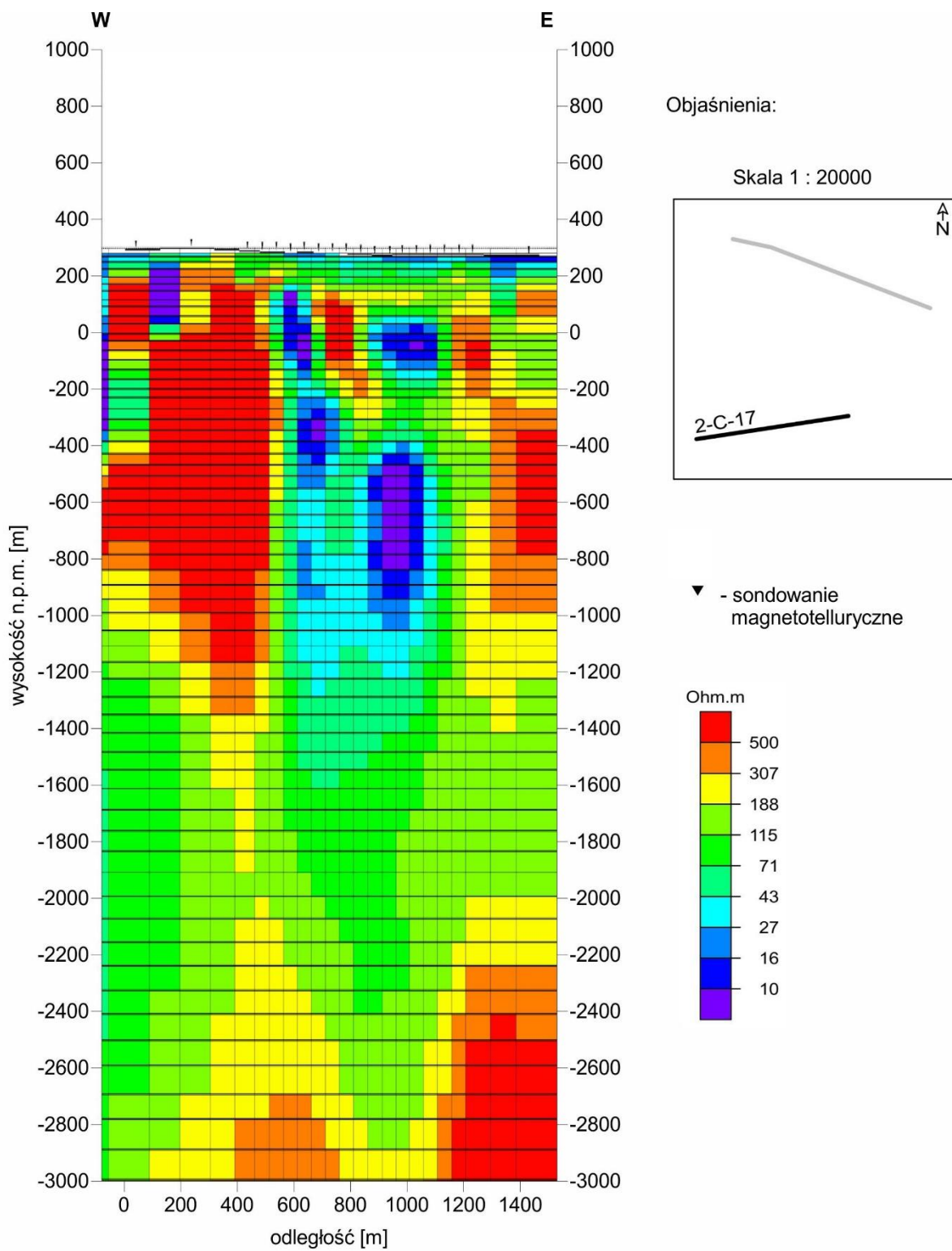


Fig. 6.2.10j. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCCG (iteracja 19)

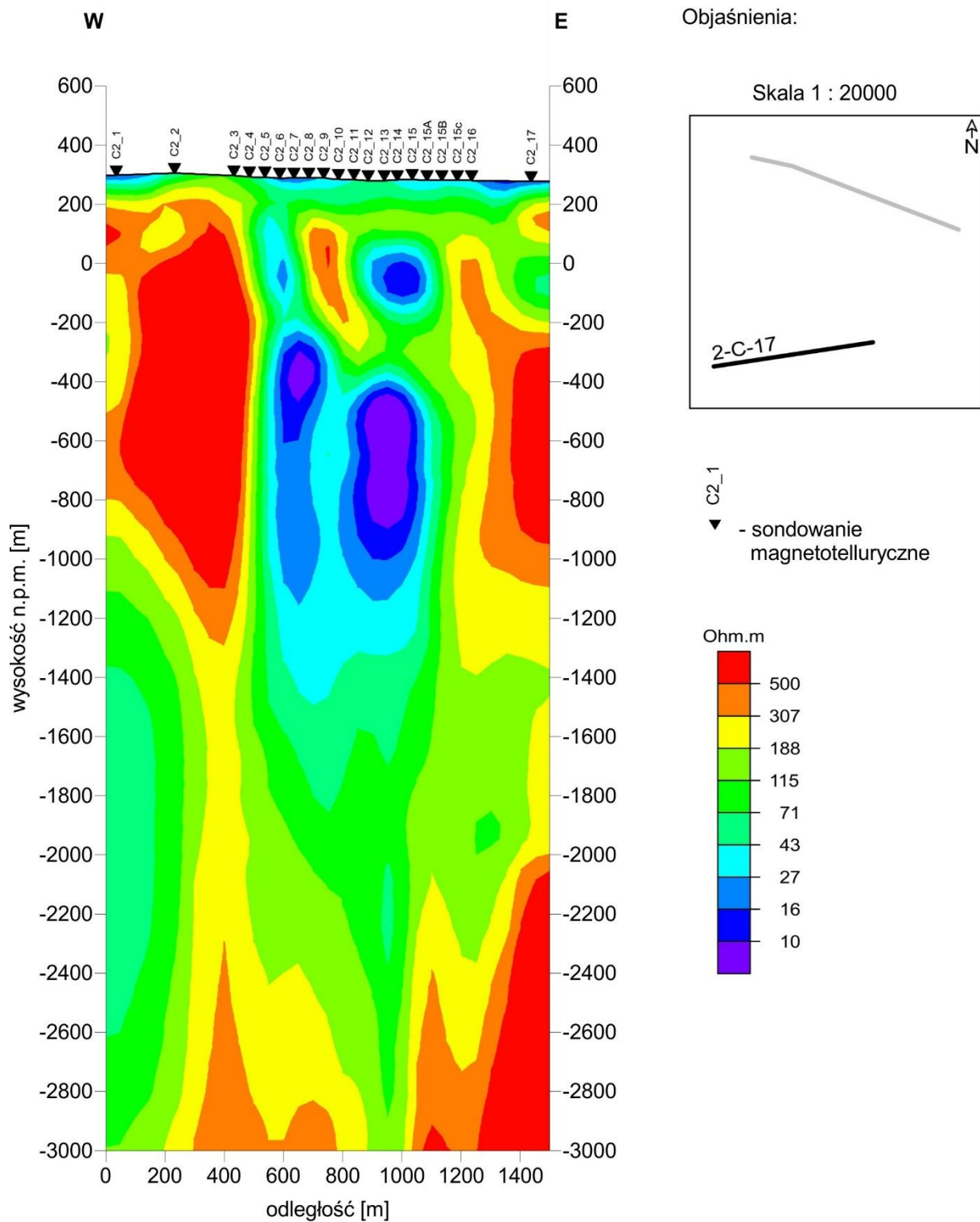
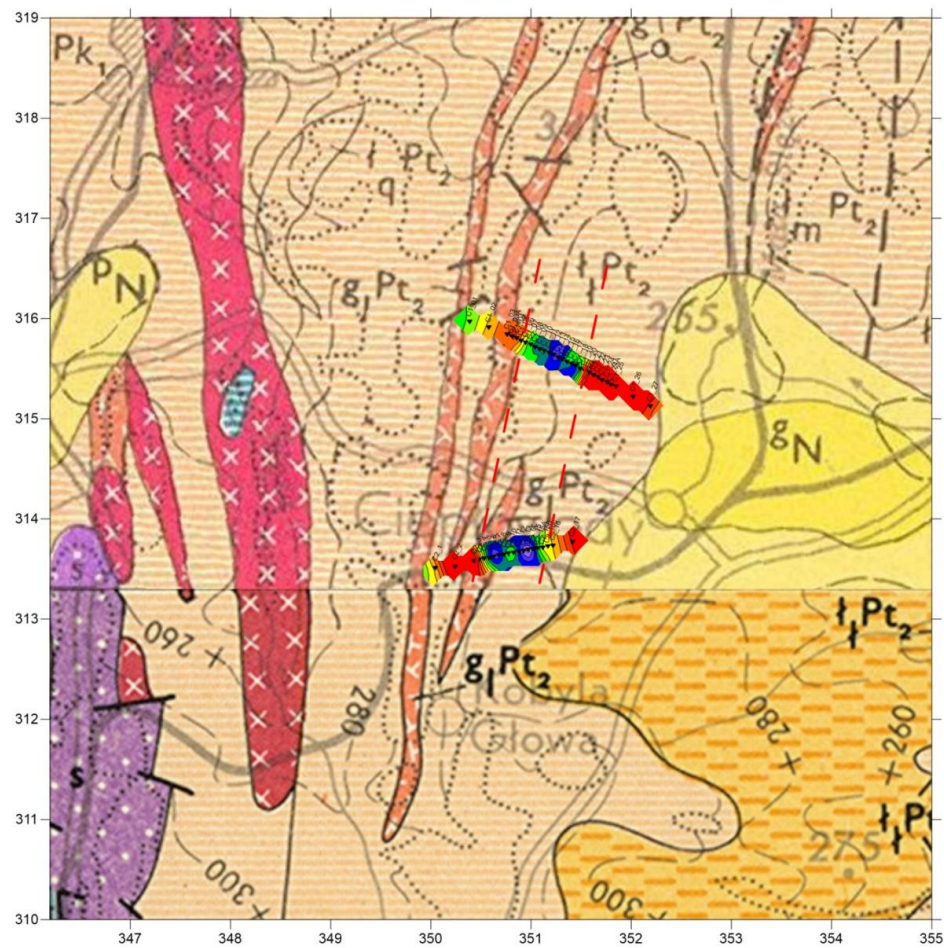


Fig. 6.2.10k. Rozkład oporności wzdłuż profilu 2-C-17 na podstawie inwersji 2D wg algorytmu NLCG



Objaśnienia:

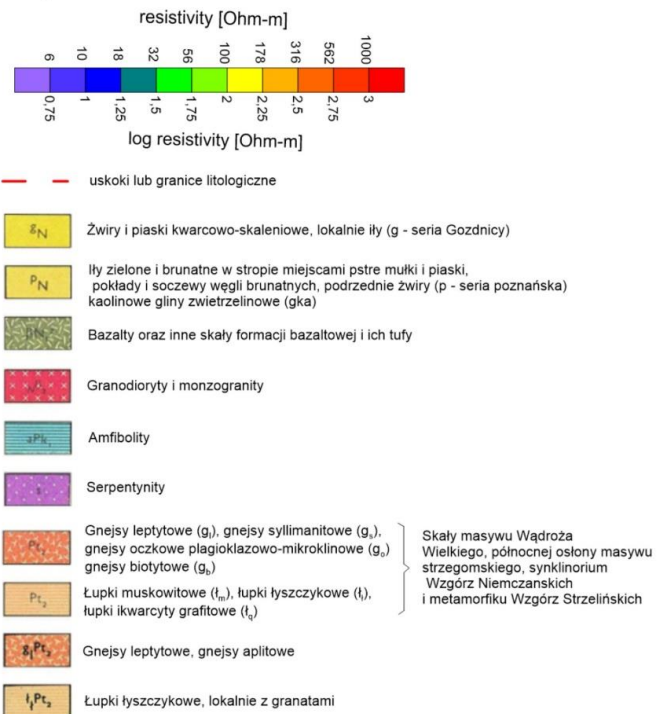


Fig. 6.2.11. Rozkład oporności na głębokości 500 m p.p.m. na tle mapy geologicznej. Skala 1 : 50000