

# Rozpoznanie geofizyczne działki 1/28 w Chorzowie na terenie Śląskiego Międzyuczelnianego Centrum Edukacji i Badań Interdyscyplinarnych w Chorzowie

Opracowali

**dr Maciej Mendecki**

**dr Jolanta Pierwoła**

**dr Krzysztof Jochymczyk**

**mgr Radosława Tomaszewska**

Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach

ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

## 1. Wprowadzenie

W dniach 25-26 lutego 2019 roku wykonano prace geofizyczne na terenie Śląskiego Międzyuczelnianego Centrum Edukacji i Badań Interdyscyplinarnych w Chorzowie (Rys.1). Celem badań było geofizyczne rozpoznanie płytkiej budowy geologicznej w rejonie działki 1/28 w Chorzowie za pomocą inwersyjnego obrazowania oporu (ERT, Electrical Resistivity Tomography) prezentującej zmiany oporności skał (oporu właściwego) oraz metody konduktometrycznej (EM, Electro-Magnetic) ze szczególnym uwzględnieniem występowania obiektów militarnych i innych zagrożeń podziemnych.



**Rys.1.** Lokalizacja profili badawczych, pomarańczowe linie – profile ERT, białe linie – profile EM.

## 2. Metody geofizyczne i metodyka prac badawczych

Badania przeprowadzono dwiema metodami geofizycznymi (metodą konduktometryczną i elektrooporową). Wybór metod został podyktowany tym, że obecność obiektów antropogenicznych pogrzebanych w gruncie powinna zmieniać właściwości pola elektrycznego i elektromagnetycznego w stosunku do tła, jakim jest naturalny grunt. Ponadto, zastosowane metody są często wykorzystywane podczas tego typu prac badawczych (np. Poręba i in., 2007; Papadopoulos I in., 2011; Cozzolino I in. 2012; Łanczont i in., 2014 Reci i in., 2015; ).

Metoda obrazowania oporności 2D (metoda elektrooporowa 2D) polega na wykonaniu serii pomiarów punktowych wzdłuż profilu badawczego na różnych głębokościach. Profil badawczy składa się z 41 elektrod umieszczonych w równych odstępach od siebie i połączonych kablem wielożyłowym z jednostką centralną (rejestrującą i sterującą pomiarem). Pojedynczy pomiar (w układzie Wenner-Schlumberger) odbywa się, gdy jednostka centralna, na którą składa się terrametr i selektor elektrod (Rys.2), ustali chwilowy układ pomiarowy, który tworzą cztery odpowiednio dobrane elektrody. Dwie skrajne elektrody są elektrodami prądowymi, budującymi zewnętrzne pole elektryczne w ośrodku geologicznym. Pole elektryczne tworzone jest przez generator prądu zainstalowany w terrametrze, który nadaje odpowiednie natężenie prądu z zakresu 5 - 200 mA (ustalonego przez operatora). Ośrodek geologiczny staje się w ten sposób naturalnym opornikiem dla prądu przepływającego między skrajnymi elektrodami rozstawu. Zgodnie z prawem Ohma (Telford i in., 1990; Milsom, 2007) opornik taki tworzy odpowiednią i proporcjonalną różnicę potencjałów, która jest mierzona przed dwie elektrody wewnętrzne za pomocą wbudowanego w terrametr woltomierza. Oporność (opór właściwy) obliczany jest jako stosunek zmierzonego napięcia do transmitowanego natężenia pomnożonego przez współczynnik geometryczny odpowiadający geometrii chwilowego układu elektrod. Odczyt odnosi się do geometrycznego środka układu elektrod. Następnie terrametr wybiera kolejne dwie pary elektrod i dokonuje pomiaru w nowym punkcie. Budowanie obrazu 2D odbywa się poprzez mierzenie wartości oporności w jednej linii poziomej (dla zadanej głębokości), a po skończeniu kombinacji chwilowych układów elektrod urządzenie zwiększa rozstaw między nimi, tym samym wybierając kolejną, głębszą linię pomiarową.

Długości linii pomiarowych wynoszące 40 m pozwoliły na rozpoznanie ośrodka do głębokości około 8 m p.p.t. Na profilu ERT 1 dokonano 421 odczytów, a na profilu ERT 2 – 441

odczytów odnoszących się do różnych lokalizacji poziomych i pionowych. Na obu profilach uzyskano maksymalne parametry pomiaru (natężenia prądu): 200 mA.

Interpretacja pomiarów przeprowadzona została w formie inwersji 2D przy użyciu programu Res2Dinv. W rezultacie otrzymano dwuwymiarowe modele opornościowe ośrodka geologicznego (przekroje elektrooporowe) wzdłuż zaprojektowanych linii pomiarowych (Rys.1). Parametry pomiarowe przedstawiono w Tab.1.

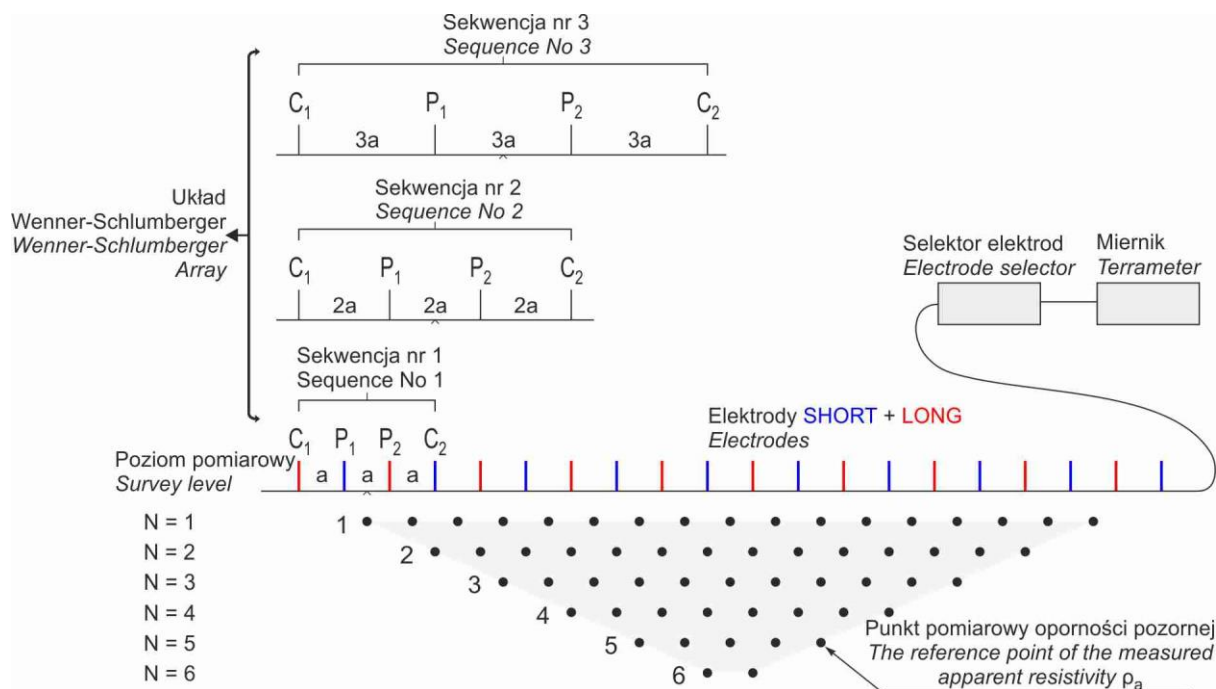
**Tab.1.** Parametry pomiarowe

Parametr pomiarowy	Wartość parametru
Układ pomiarowy	Schlumberger-Wenner
Odległość między elektrodami	1 m
Prąd maksymalny	200 mA
Prąd minimalny	200 mA
Czas trwania akwizycji danych	500 ms
Czas opóźnienia	400 ms
Liczba złożów	min. 2, max. 4

Zastosowano protokół pomiarowy Schlumberger-Wenner w wersji, co zapewniło najwyższą możliwą rozdzielczość, przy maksymalnym możliwym stosunku sygnału użytecznego do szumu, co jest bardzo istotne w rejonach o rozbudowanej infrastrukturze. Wszystkie pomiary wykonane zostały przy wysokich prądach 200 mA. Świadczy to o bardzo dobrej kontakcie elektroda – grunt. Odchylenia standardowe pomiędzy kolejnymi pomiarami w zaprogramowanych złożeniach w zdecydowanej większości nie przekraczały wartości 5%. Na każdym profilu metodą GPS RTK określono wysokości i współrzędne elektrod w układzie 2000, w tym współrzędne początku i końca każdego profilu (Tab. 2).

**Tab. 2.** Współrzędne profilów pomiarowych

Numer profilu	Metraż	X <sub>2000/6</sub>	Y <sub>2000/6</sub>	H [m n.p.m]
Profil ERT 1	0,0	5573409	6566551	275.81
	3,0	5573405	6566552	275.78
	7,0	5573402	6566555	275.79
	20,0	5573391	6566560	275.84
	40,0	5573372	6566569	275.6
Profil ERT 2	2,0	5573408	6566560	275.81
	6,0	5573405	6566562	275.89
	20,0	5573392	6566569	275.76
	40,0	5573374	6566578	275.65



**Rys.2.** Schemat pomiaru w metodzie elektrooporowej 2D (Mendecki i in., 2018)

Metoda konduktometryczna jest zaliczana do grupy metod geoelektrycznych stosowanych do rozpoznania przypowierzchniowej budowy geologicznej i wykorzystuje zróżnicowane właściwości elektryczne oraz magnetyczne skał i obiektów podpowierzchniowych. Wynikiem pomiaru są dwie składowe pola elektromagnetycznego: część elektryczna (mierzona jako przewodność elektryczna wyrażona w mS/m) i część magnetyczna (mierzona jako składowa in-phase, ppt).

Pomiar wykonany został aparaturą EM38MK2 firmy Geonics Ltd. (Rys.3), która wykonuje pomiar do maksymalnej głębokości wynoszącej 1,5 m a wynik pomiaru odzwierciedla zmiany przewodności i podatności magnetycznej od powierzchni do maksymalnej głębokości.

Wewnątrz aparatury znajdują się trzy anteny (cewki), z których jedna jest anteną nadawczą a dwie odbiorczymi (Rys.4). Odległość między antenami w aparaturze wynosi 0.5 m i 1m. Antena nadawcza emituje fale elektromagnetyczne pierwotne, natomiast antena odbiorcza rejestruje wtórne pole elektromagnetyczne (Milsom 2007).

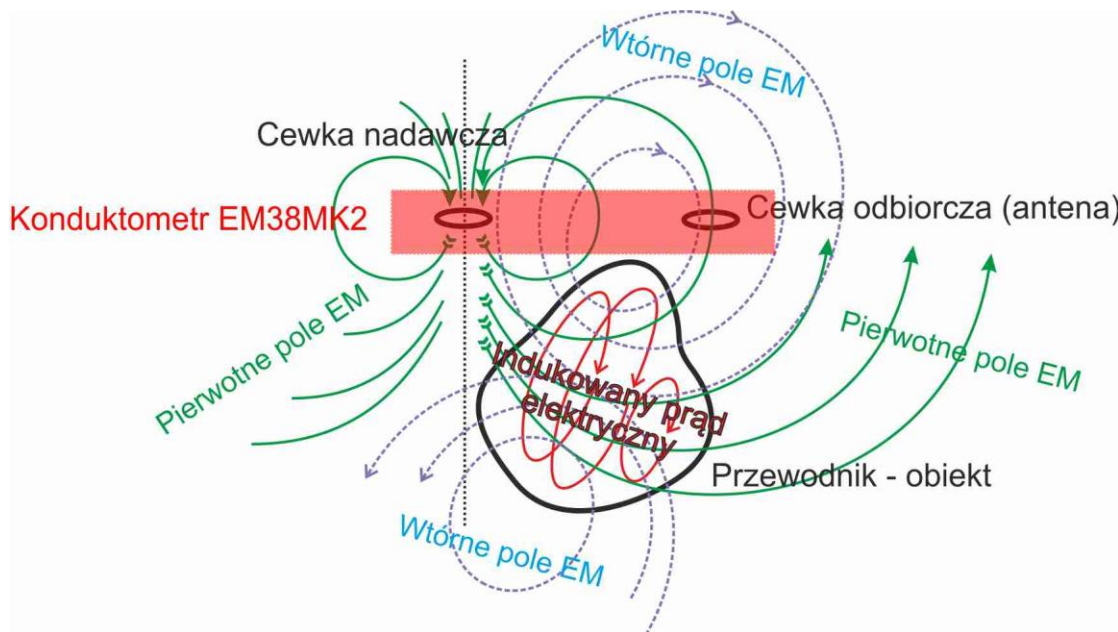




**Rys.3.** Aparatura EM38MK2 podczas pomiaru w terenie.

Rysunek 4 przedstawia zasadę działania aparatury. W pierwszej kolejności antena nadawcza wysyła falę elektromagnetyczną pierwotną do gruntu, która w skałach i obiektach znajdujących się pod powierzchnią terenu indukuje prąd elektryczny. Indukowany prąd zgodnie z

równaniami Maxwella powoduje powstanie wtórnego pola elektromagnetycznego, a to z kolei jest rejestrowane przez anteny odbiorcze (Milsom 2007).



**Rys.4.** Schemat pomiaru metodą konduktometryczną z wykorzystaniem aparatury EM38MK2 dla rozstawu 0.5 m (Milsom, 2007)

Pomiary wykonane zostały w siatce, która składała się z odpowiednio dobranych linii pomiarowych, co pozwoliło na opracowanie map zmienności mierzonych parametrów do głębokości 0,75 i 1,5 metra. Profile próbkowane były z częstotliwością 3 próbek na sekundę.

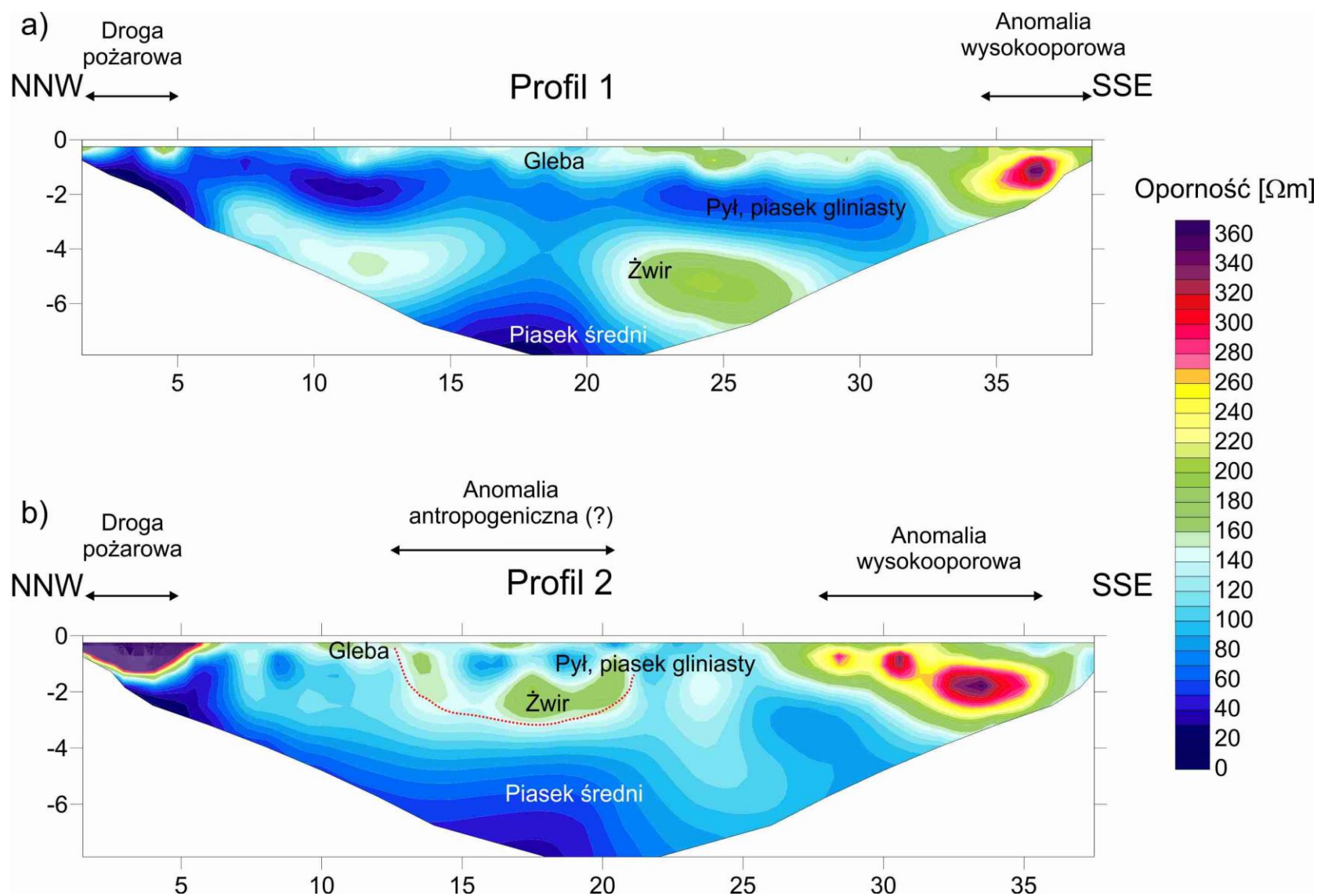
Mapy wykonano w programie Surfer12, gdzie do interpolacji punktów pomiarowych wykorzystano metodę kriging.

### 3. Wyniki prac geofizycznych

Podczas prac badawczych w Chorzowie wykonano dwa profile elektrooporowe o długości 40 m (Rys.5a i 5b) zorientowane NNW – SSE. Na obu profilach uzyskane modele elektrooporowe są zbliżone. Ogólnie ośrodek geologiczny na terenie badań charakteryzuje się niskim oporem właściwym (10 do 140  $\Omega\text{m}$ ). Na profilu ERT 1 (Rys.5a) przy powierzchni występuje warstwa wyżej oporowa gleby (140 do 220  $\Omega\text{m}$ ) w stosunku do tła, której miąższość wynosi ok. 1,0 m. W końcowej części profilu (między 35m a 40m profilu) zaznacza się wysokooporowa anomalia, której wartość przekracza 300  $\Omega\text{m}$ . Poniżej tej warstwy uwidacznia się obecności osadów o drobnoziarnistej frakcji (pył, piasek gliniasty) (<http://geologia.pgi.gov.pl>), które charakteryzują się wartościami oporu właściwego w zakresie od 40 do 80  $\Omega\text{m}$ . Te drobnoziarniste osady zalegają na warstwie żwirów o oporach właściwych z zakresu do 160 do 200  $\Omega\text{m}$ . W spągu profilu ERT 1 występują piaski średnie, których opór właściwy charakteryzuje się wartościami poniżej 160  $\Omega\text{m}$ . Nie stwierdzono występowania anomalii związanych z obecnością obiektów antropogenicznych, układ warstw jest typowy dla naturalnych osadów czwartorzędowych. Jedyne wątpliwości może budzić anomalia między 35 a 40 m bieżącym profilu (do głębokości 3,5 m).

Na profilu ERT 2 analogicznie do głębokości 1,0 m występuje warstwa gleby oraz w części końcowej profilu (między 28 m a 35 m) kontynuuje się anomalia wysokooporowa występująca na profilu ERT 1 ( $> 300 \Omega\text{m}$ ). Anomalia stwierdzona w części NNW (między 0 m a 5 m) związana jest z obecnością infrastruktury. Poniżej poziomu glebowego zinterpretowano cienką warstwę niskooporową związaną z występowaniem pyłów i piasków gliniastych. W centralnej części profilu ERT 2 między 12 m a 22 m bieżącym profilu, na głębokości około 1,5 m do 3,0 m zaznacza się anomalia wysokooporowa o wartościach rzędu 120 – 200  $\Omega\text{m}$ , jest to najprawdopodobniej kontynuacja warstwy żwirów z profilu ERT 1, niemniej jednak jej kształt i głębokość mogą sugerować także antropogeniczne pochodzenie struktury. Poniżej znajdują się osady piasków średnich. Kształty anomalii w strefach: 1) pomiędzy 12 a 22 m; 2) pomiędzy 28 a 35 m; sygnalizują, że mogą mieć one pochodzenie antropogeniczne.





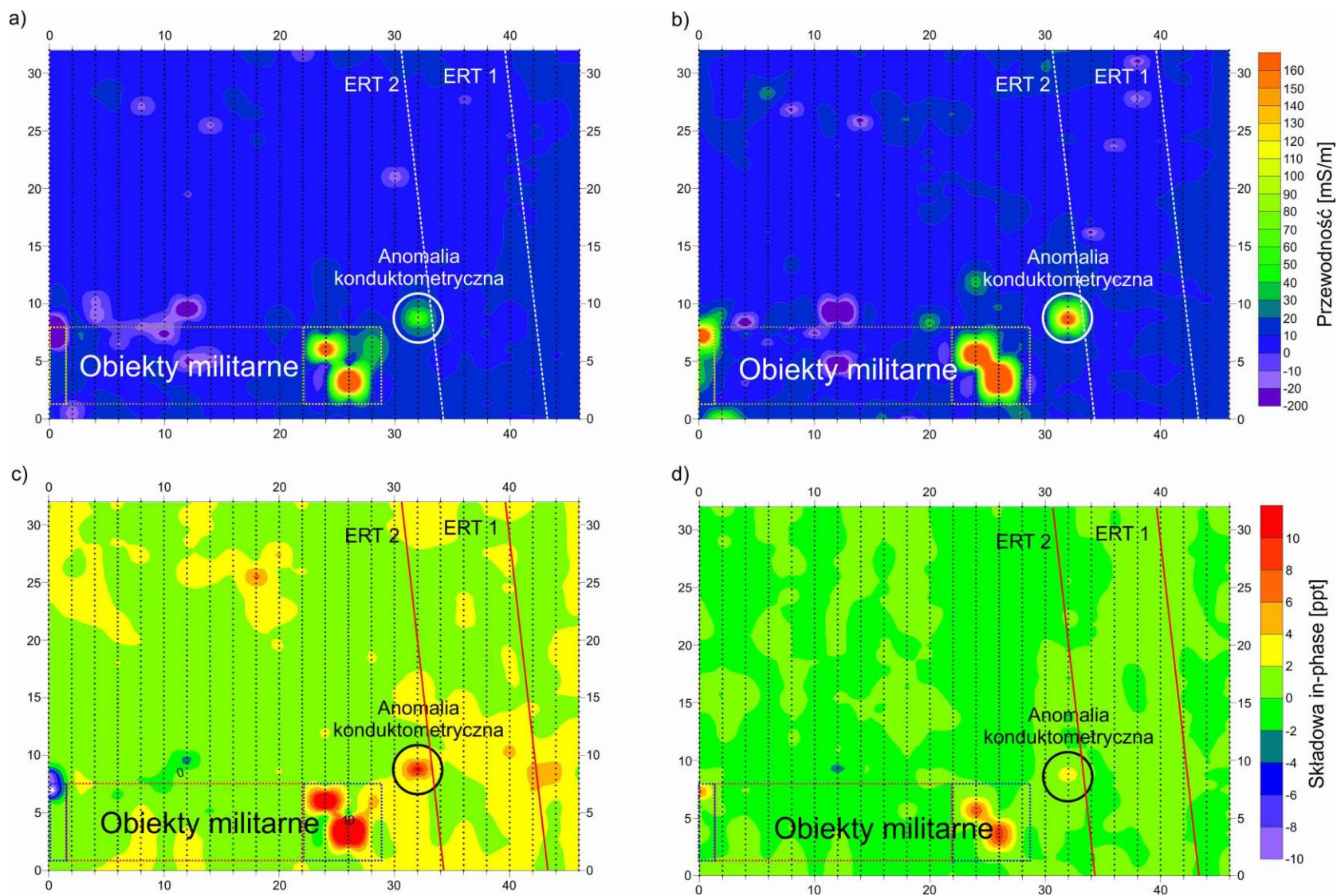
**Rys.5.** Wyniki pomiarów ERT, a) profil ERT 1; b) profil ERT 2.

Na badanym terenie wykonano 24 profile konduktometryczne o długości 32 m każdy, wytyczone równolegle w odstępach 2 m. Wzdłuż profili zmierzono zmiany przewodności elektrycznej i podatności magnetycznej do głębokości 0,75 m oraz 1,5 m (Rys.6). Wyniki badań zestawiono w postaci map pokazujących zmienność parametrów elektromagnetycznych na badanym obszarze.

Wyniki badań konduktometrycznych na badanym terenie z 2 różnych głębokości wykazały brak znacznych anomalii geofizycznych. Na wszystkich mapach (Rys.6a-d) można zauważyć silną anomalię (przewodność pozorna  $>140$  mS/m i składowa in-phase  $> 6$  ppt) związaną z obecnością obiektów militarnych („wieżyczki - strzelnice”). Obiekt pomiędzy nimi charakteryzuje się ujemnymi wartościami przewodności i składowej in-phase, co świadczyć może o obecności pustek. Niemniej jednak, anomalie te znajdują się poza terenem planowanej inwestycji. W obszarze objętym planowaną inwestycją wyinterpretowano koncentryczną, dodatnią anomalię na 17 profilu EM (32 m) w odległości około 9 metrów od drogi pożarowej. Zaznacza się ona na wszystkich mapach uzyskanych metodą konduktometryczną. Jej nienaturalny charakter wskazuje na pochodzenie antropogeniczne.

## **Podsumowanie**

Dane elektrooporowe przetworzone w programie Res2Dinv dały wynik końcowy zadowalający, który charakteryzuje się niskim błędem RMS, pozwalającym ocenić jakość modelu przekroju elektrooporowego jako bardzo dobrą. Pomiary konduktometryczne również charakteryzują się dobrą jakością i powtarzalnością, co pozwala stwierdzić, że wyniki pomiarów są wiarygodne. Analiza i interpretacja danych wykazała obecność interesujących anomalii geofizycznych wartych zweryfikowania metodami bezpośrednimi (wykop, odwiert). Wskazane jest płytkie rozpoznanie omówionych anomalii ERT w częściach końcowych profili (SSE), prawdopodobnej struktury antropogenicznej w centralnej części profilu ERT 2 oraz koncentrycznej anomalii EM, która zaznacza się na 32 metrze lokalnego układu współrzędnych (profil 17), w odległości około 9 metrów od drogi pożarowej.



**Rys.6.** Wyniki pomiarów przewodności elektrycznej: a) do głębokości 1,5m; b) do głębokości 0,75 m oraz składowej in-phase c) do głębokości 1,5 m; c) do głębokości 0,75 m.

## Literatura

- Cozzolino, M., Di Giovanni, E., Mauriello, P., Vanni Desideri, A., & Patella, D. (2012). Resistivity tomography in the park of Pratolino at Vaglia (Florence, Italy). *Archaeological Prospection*, 19(4), 253-260.
- Łanczont, M., Sytnyk, O., Bogucki, A., Madeyska, T., Krajcarz, M., Krajcarz, M. T., Koropeczyk, R., Zogala, B., Tomek, T. & Kusiak, J. (2014). Character and chronology of natural events modifying the Palaeolithic settlement records in the Ihrovytsia site (Podolia, the Ukraine). *Quaternary International*, 326, 213-234.
- Mendecki, M., Świder, M., Nowaczyńska, I., Mamak, A., Odrobińska, J., Piotrowska, P., Rewers, J. & Tymińska, A. (2018) Geofizyczne rozpoznanie zasięgu kry jurajskiej w Gołaszynie k. Łukowa. *Przegląd Geologiczny*, 66(1), 48-54.
- Milsom, J. (2007). *Field geophysics* (Vol. 25). John Wiley and Sons.
- Papadopoulos, N. G., Tsourlos, P., Papazachos, C., Tsokas, G. N., Sarris, A., & Kim, J. H. (2011). An algorithm for fast 3D inversion of surface electrical resistivity tomography data: Application on imaging buried antiquities. *Geophysical Prospecting*, 59(3), 557-575.
- Poręba, A., Zuberek, W., Nogaj-Chachaj, J., Kotyrba, A., & Siwek, S. (2007). Archaeological objects in loesses recognized by GPR research at the site Karmanowice, Poland. *Acta Geophysica*, 55(4), 640-651.
- Reci, H., Jata, I., & Bushati, S. (2015). Ert method for the detection of buried archaeological objects in Apollonia & Bylis, Albania. *Romanian Reports in Physics*, 67(2), 665-672.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics* (Vol. 1). Cambridge university press.
- Strona internetowa: <http://geologia.pgi.gov.pl>