1. **Obszar badań**

Badania geofizyczne przeprowadzono na terenie miasta Działoszyce, położonego w południowej części województwa świętokrzyskiego, w powiecie pińczowskim. Miejscowość zlokalizowana jest   
w widłach rzek Jakubówka i Sancygniówka, będącej dopływem Nidzicy. Obszar ten charakteryzuje się długą i dobrze udokumentowaną historią osadniczą, sięgającą co najmniej XIII wieku, o czym świadczą najstarsze źródła pisane. W wyniku III rozbioru Polski w 1795 roku, Działoszyce znalazły się w granicach monarchii Habsburgów, pozostając w zaborze austriackim przez dwanaście lat. W latach 1807–1815 miejscowość należała do Księstwa Warszawskiego, a od 1815 roku – w wyniku postanowień kongresu wiedeńskiego – została włączona do Imperium Rosyjskiego, w którym pozostała przez ponad sto lat. Bliskość granicy z Austrią oraz sąsiedztwo Rzeczypospolitej Krakowskiej sprzyjały rozwojowi osadnictwa, w tym intensyfikacji osadnictwa żydowskiego, szczególnie w XIX wieku. W okresie II Rzeczypospolitej Działoszyce funkcjonowały jako lokalny ośrodek handlu płodami rolnymi (głównie zbożem, drobiem i trzodą chlewną). Działało tu również kilka niewielkich zakładów przemysłowych. Według spisu z 1921 roku, miasto liczyło 6755 mieszkańców, z czego około 80% stanowili Żydzi. Do 1939 roku liczba ludności zmniejszyła się do 5872 osób. W czasie okupacji niemieckiej doszło do eksterminacji społeczności żydowskiej. Po włączeniu Górnego Śląska do III Rzeszy wielu Żydów oraz Polaków przemieszczało się w kierunku Generalnej Guberni, co skutkowało wzrostem liczby ludności w rejonie Działoszyc. 2 września 1942 roku do miasta przybyły jednostki Gestapo z Miechowa, wydając rozkaz zgromadzenia całej ludności żydowskiej – zarówno z Działoszyc, jak i pobliskich miejscowości – na rynku miejskim. Do końca dnia zebrało się tam około 10 000 osób. Trzeciego września wydano rozkaz przetransportowania zgromadzonych do punktu zbornego pod Miechowem, a następnie – głównie – do obozu zagłady w Bełżcu. Większość osób skierowano pieszo na stację kolejową. Około 1500 osób, w tym osoby starsze oraz niezdolne do poruszania się, załadowano na wozy konne   
i samochody ciężarowe, po czym przewieziono na cmentarz żydowski, gdzie zostali rozstrzelani. Ich ciała pochowano w trzech zbiorowych mogiłach. W kolejnych dniach żołnierze niemieccy przeszukiwali domy opuszczone przez ludność żydowską, konfiskując i wywożąc mienie ruchome. Deportacje i eksterminacja doprowadziły do niemal całkowitego zaniku społeczności żydowskiej   
w Działoszycach oraz znaczącego spadku liczby ludności – po zakończeniu działań wojennych miasto liczyło mniej niż dwa tysiące mieszkańców.

Budowa geologiczna warstw przypowierzchniowych w rejonie Działoszyc zdominowana jest przez plejstoceńskie utwory eoliczne, głównie pokrywy lessowe i pyłowe. Ich miąższość wynosi przeciętnie od kilku do kilkunastu metrów, przy czym wykazują one znaczną zmienność morfologiczną zarówno   
w skali regionalnej, jak i lokalnej. Uzupełnieniem obrazu geologicznego są doliny płaskodenne rzek Jakubówki, Sancygniówki oraz Nidzicy, których osady stanowią holoceńskie piaski rzeczne i namuły wypełniające tarasy zalewowe oraz dna dolin. Osady te graniczą z polodowcowymi glinami zwałowymi związanymi z kompleksami glacjalnymi południowej Polski. W podłożu mogą lokalnie występować wychodnie gipsów lub anhydrytów wieku mioceńskiego, często w asocjacji z przewarstwieniami iłów, margli, wapieni marglistych, a także soli kamiennej i wapieni z obecnością siarki – jednostek litostratygraficznych zaliczanych do formacji z Krzyżanowic. Podsumowując, obszar objęty badaniami geofizycznymi charakteryzuje się dominacją osadów lessowych i pyłowych o niskiej oporności elektrycznej, lokalnie wzbogaconych o wkładki glin zwałowych oraz osadów aluwialnych.

1. **Opis metod**

W niniejszym rozdziale przedstawiono charakterystykę dwóch metod geofizycznych, które znalazły szerokie zastosowanie w badaniach archeologicznych – magnetometrii gradientowej oraz metody konduktometrycznej. Obie techniki należą do grupy nieinwazyjnych metod prospekcji geofizycznej   
i umożliwiają identyfikację struktur podpowierzchniowych o zróżnicowanych właściwościach fizycznych, bez konieczności prowadzenia prac ziemnych. Ich komplementarne właściwości pozwalają na skuteczne rozpoznanie zarówno anomalii związanych z antropogenicznymi przekształceniami środowiska gruntowego, jak i naturalnych zróżnicowań litologicznych. W dalszej części rozdziału omówiono podstawy fizyczne obu metod, zakres ich zastosowań, sposób prowadzenia pomiarów oraz specyfikę interpretacji uzyskiwanych danych w kontekście badań archeologicznych.

* 1. **Magnetometria**

Magnetometria to nieinwazyjna i powierzchniowa metoda geofizyczna, która mierzy natężenie ziemskiego pola magnetycznego. Zmiany w tym polu pozwalają odkrywać różne właściwości magnetyczne ośrodka, co znalazło zastosowanie w różnych dziedzinach. Stosowana jest w geologii do rozpoznawania struktur magmowych oraz w inżynierii do badania rurociągów i odkrywania niewybuchów. W dziedzinie archeologii pozwala na mapowanie pogrzebanych zabudowań i palenisk, czy też grobów.

Obiekty znajdujące się w zasięgu pola magnetycznego ulegają zjawisku indukcji, czyli namagnesowaniu. Stopień namagnesowania zależy od wektora natężenia **T** i podatności magnetycznej substancji, co pozwala na podział ciał na różne grupy. Diamagnetyki, paramagnetyki   
i antyferromagnetyki to ciała o różnym poziomie namagnesowania. Jednak to ferromagnetyki mają najmocniejsze oddziaływanie z polem magnetycznym, powodując zaburzenia w jego natężeniu.   
To właśnie te anomalie są identyfikowane w magnetometrii poszukiwawczej. Dzięki tej metodzie, możemy wnioskować o występowaniu różnorodnych struktur i obiektów ferromagnetycznych   
w skorupie ziemskiej. Odkrycie takich obiektów może być związane z występowaniem rud metali, złóż krystalicznych, żył magmowych czy też zlokalizowaniem obiektów archeologicznych czy reliktów historycznych. Magnetometria pozwala także na wykrywanie elementów podziemnych sieci uzbrojenia terenu.

W tym przypadku zastosowano wariant metody magnetometrycznej - pomiar pionowego gradientu pola. Technika ta polega na równoczesnym mierzeniu pola magnetycznego w dwóch sondach oddalonych od siebie. Im większa odległość między czujnikami, tym większy zasięg tej metody,   
co pozwala na badania w większych głębokościach. Głównym obszarem zastosowania tej metody są badania archeologiczne. Jest to dedykowane narzędzie, które pozwala na skuteczne odkrywanie pogrzebanych struktur i palenisk, bez konieczności wykonywania jednoczesnego pomiaru referencyjnego. Dzięki temu upraszcza się proces badawczy, a wyniki są dokładne i precyzyjne.

* 1. **Konduktometr (FDEM)**

Metoda konduktometryczna (FDEM lub slingram) jest jedną z metod elektromagnetycznych stosowanych w geofizyce. Kluczowe znaczenie dla działania konduktometru ma sposób generowania, przesyłania i odbierania prądu. Konduktometr wykorzystuje dwie cewki rozmieszczone w odstępach *s*. Pierwsza z tych cewek, cewka nadawcza, jest źródłem prądu o niskiej częstotliwości (od kilku do kilkudziesięciu kHz). Gdy prąd przepływa przez cewkę nadawczą, generuje to zmienne pole magnetyczne, określane jako pole pierwotne - **Hp**. To pierwotne pole magnetyczne ma kluczowe znaczenie, ponieważ przenika przez ośrodek skalny. W rezultacie w ośrodku generowane są prądy wirowe, co skutkuje wtórną indukcją magnetyczną. Cewka odbiorcza odgrywa równie ważną rolę. Rejestruje ona wtórne pole magnetyczne wytworzone w gruncie. Działa to na zasadzie indukcji magnetycznej, która prowadzi do przepływu prądu. Istnieje bezpośrednia korelacja między przewodnością ośrodka pod wpływem indukcji magnetycznej, a różnicą w natężeniu pola magnetycznego między polem generowanym w cewce nadawczej (**Hp**), a polem rejestrowanym przez cewkę odbiorczą (**Hs**). Podczas badań wykorzystano konduktometr z sześcioma parami cewek nadawczych i odbiorczych, co pozwoliło na jednoczesny pomiar przewodności gruntu na sześciu głębokościach. Podczas badania mierzone są jednocześnie dwa parametry: przewodność pozorna   
w celu zarejestrowania zmian w warunkach przewodności gruntu oraz względna wartość składowej pionowej pola magnetycznego. Ten tak zwany parametr fazowy (*in-phase*) umożliwia wykrywanie podziemnych obiektów metalowych.

1. **Przetwarzanie**

Obie metody wymagają wstępnego przetworzenia zarejestrowanych danych pomiarowych,   
a następnie ich właściwej interpretacji w kontekście geofizycznym i archeologicznym. Szczegółowy opis poszczególnych etapów przetwarzania danych zostanie przedstawiony odrębnie dla każdej   
z omawianych metod. Pomiary każdą z metod przeprowadzono na pięciu poligonach badawczych, zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie. Każdy z tych obszarów stanowił jednak odrębne zadanie interpretacyjne.

Badania przeprowadzono na trzech poligonach badawczych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca upamiętnienia Cmentarza Żydowskiego w Działoszycach oraz na dwóch dodatkowych obszarach pomiarowych, położonych w pewnym oddaleniu – po przeciwnych stronach drogi leśnej. Teren badań charakteryzował się znacznym stopniem złożoności w kontekście zastosowanych metod geofizycznych. Dla trzech pierwszych poligonów istotnym źródłem zakłóceń była przebiegająca w pobliżu linia energetyczna. Dodatkowo, w bezpośredniej bliskości poligonów   
2 i 3 zlokalizowane jest metalowe ogrodzenie pomnika, co znacząco wpłynęło na jakość danych. Obszary te cechowały się najwyższym poziomem zakłóceń w przypadku obu metod pomiarowych.

Czwarty poligon zlokalizowany był w obrębie wąwozu lessowego, po jednej stronie drogi, natomiast piąty – w niewielkiej dolinie po stronie przeciwnej. Na tych dwóch stanowiskach główne zakłócenia wynikały z obecności porozrzucanych fragmentów metalu, takich jak druty, puszki, stare naczynia czy kapsle. W miarę możliwości teren został uprzątnięty przed rozpoczęciem prac pomiarowych.

* 1. **Magnetometria**

Pomiar został wykonany w quasi-regularnej siatce pomiarowej wzdłuż profili oddalonych od siebie   
o około 50 cm, z uwzględnieniem obszarów w których pomiar ten nie był możliwy do przeprowadzenia – gęsta szata roślinna lub drzewa. Przetwarzanie danych wykonane zostało wykonane z użyciem standardowych procedur. Do dalszego przetwarzania nie były uwzględniane pomiary zaburzone   
i przesterowane, oraz punktowe anomalie (tzw. szpilki). Za takie punktowe anomalie wybrane zostały punktu o wartościach przekraczających 1000 nT/m względem obydwu sąsiadujących punktów pomiarowych. Następnie dane zostały wyinterpolowane za pomocą procedury *krigingu*,   
z jednoczesnym wykluczeniem obszarów niepokrytych danymi. Na rysunkach obszary o dodatniej wartości pionowego gradientu zaznaczono kolorem pomarańczowym, natomiast o wartości ujemnej kolorem niebieskim.

Pionowy gradient magnetyczny liczony jest jako różnica pomiędzy odczytem na dolnej sondzie względem odczytu na sondzie górnej. W przypadku wykonywanych pomiarów oddalenie pomiędzy czujnikami wynosiło 1m, ponieważ koncentrowaliśmy się na efektach od struktur przypowierzchniowych. Dodatni efekt magnetyczny powinien zostać uzyskany bezpośrednio nad obszarami obfitującymi w obiekty ferromagnetyczne, natomiast ujemny w pewnym oddaleniu   
od nich. Z uwagi na bliskość elementów metalowych, jak wspomniany płot, skrajne wartości widoczne na mapie rozkładu gradientu pionowego pola magnetycznego należy utożsamiać właśnie   
z nimi.

* 1. **Konduktometr (FDEM)**

Badanie przeprowadzono w quasi-regularnej siatce, w tym w obszarach, w których pomiar ten był niemożliwy - gęste zarośla / drzewa. Przetwarzanie danych odbywało się przy użyciu standardowych procedur. Pomiary zaburzone i przesterowane, a także anomalie punktowe (tzw. szpilki) nie były brane pod uwagę w dalszym przetwarzaniu. Przeprowadzono jednowymiarową interpretację danych opornościowych, tj. dla każdej krzywej terenowej obliczono krzywą modelową, tak aby błąd dopasowania był jak najmniejszy. Za dopuszczalny błąd uznano wartość nie większą niż 5%. Interpretacja 1D została przeprowadzona oddzielnie dla każdego punktu pomiarowego, który został potraktowany jako osobne sondowanie. Dane zostały następnie interpolowane przy użyciu procedury *krigingu*, przy jednoczesnym wykluczeniu obszarów nieobjętych danymi. Na rysunkach miejsca   
o wysokich wartościach oporności zaznaczono kolorem czerwonym, a miejsca o niskich wartościach oporności kolorem niebieskim.

1. **Przedstawienie wyników**

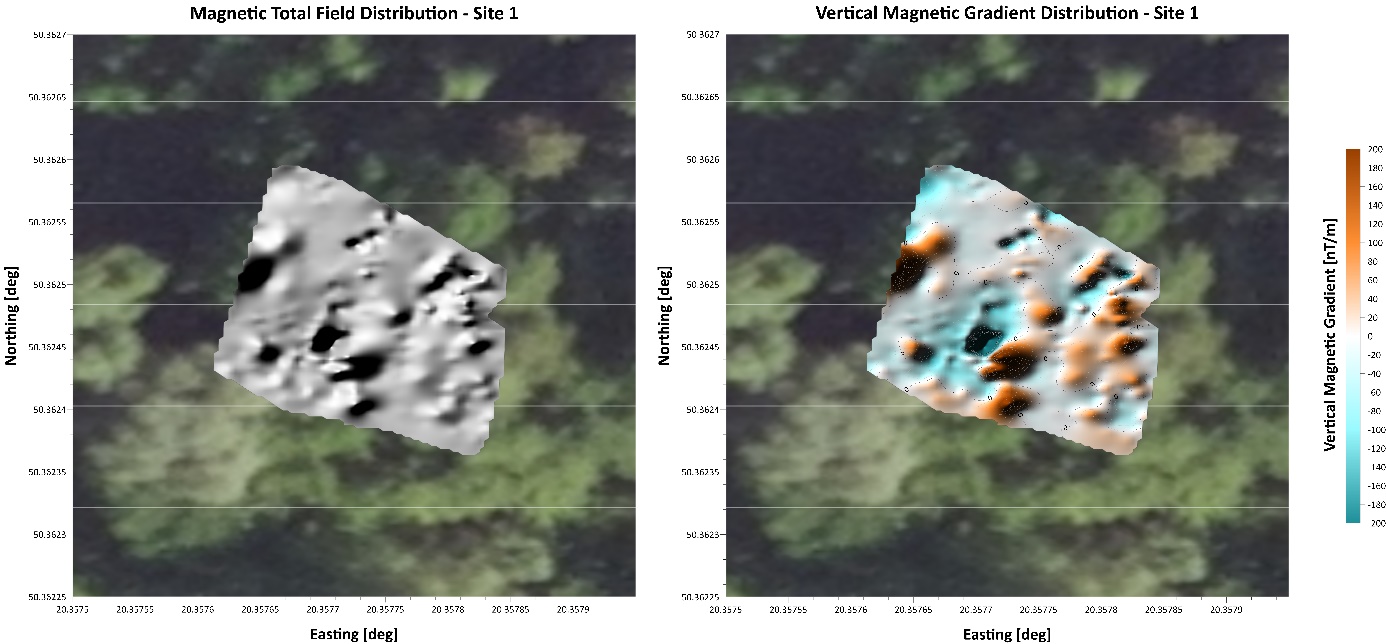
W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki pomiarów geofizycznych uzyskane w trakcie badań na pięciu wyznaczonych poligonach badawczych. Każdy z obszarów analizowany jest oddzielnie, zgodnie z ustaloną kolejnością. Prezentację wyników otwierają mapy uzyskane w ramach pomiarów magnetycznych. Dla każdego obszaru jako pierwsze zamieszczono zestawienie dwóch map: po lewej stronie przedstawiono rozkład pełnego pola magnetycznego na mapie cieniowanej, natomiast po prawej – mapę pionowego gradientu magnetycznego. W celu wyeliminowania wpływu zmian globalnych i umożliwienia analizy jedynie anomalii rezydualnych, dane pełnego pola magnetycznego zostały uprzednio znormalizowane. Proces normalizacji oparto na danych referencyjnych pochodzących z Centralnego Obserwatorium Geofizycznego w Belsku, udostępnianych za pośrednictwem sieci *Intermagnet*.

W dalszej kolejności dla każdego obszaru przedstawiono analogiczny zestaw map, na których zaznaczono potencjalne struktury mogące odpowiadać miejscom pochówków. Mapy te mają na celu wizualizację możliwych interpretacji anomalii geofizycznych w kontekście poszukiwanych obiektów archeologicznych.

W analogicznej strukturze zaprezentowano wyniki uzyskane metodą konduktometryczną. Dla każdego z analizowanych obszarów przygotowano zestaw sześciu map prezentujących rozkład przewodności (odwrotności oporności właściwej) dla wybranych głębokości: 0,25 m, 0,5 m, 0,8 m, 1,1 m, 1,6 m oraz 2,3 m. Następnie, na każdą z tych map naniesiono oznaczenia lokalizacji potencjalnych obiektów   
o cechach mogących wskazywać na obecność struktur grobowych. Taki schemat prezentacji umożliwia porównanie wyników uzyskanych z wykorzystaniem dwóch niezależnych metod oraz ocenę spójności interpretacji przestrzennej.

* 1. **Obszar 1**

Na rysunkach Fig. 1.1 oraz Fig. 1.2 przedstawiono wyniki pomiarów magnetometrycznych wykonanych na obszarze oznaczonym jako poligon 1. Na mapie rozkładu pełnego pola magnetycznego widoczny jest wyraźnie zarysowany, quasi-prostokątny obszar anomalii, który w centralnej części pokrywa się   
z charakterystycznym układem przejścia pomiędzy maksimum dodatnim a maksimum ujemnym na mapie pionowego gradientu pola magnetycznego. Układ ten może wskazywać na obecność przekopanej struktury – najprawdopodobniej w formie liniowego obiektu, takiego jak rów, interpretowanego wstępnie jako potencjalna zbiorowa mogiła. Na uwagę zasługuje fakt, że anomalia ta układa się prostopadle do kierunku prowadzonych profili pomiarowych, co zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia tzw. efektu śladu związanego z kierunkowością akwizycji danych.   
W pozostałej części poligonu obserwuje się liczne punktowe anomalie o trudnym do jednoznacznego zinterpretowania charakterze, co wskazuje na znaczny poziom zakłóceń i zaszumienia badanego obszaru.



*Fig.1.1. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)   
w granicach obszaru badawczego nr 1.*

Obraz zawierający tekst, zrzut ekranu

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

*Fig.1.2. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)  
w granicach obszaru badawczego nr 1 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym   
z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

Na kolejnych rysunkach (Fig. 1.3 oraz Fig. 1.4) przedstawiono rozkład oporności elektrycznej dla poligonu 1, uzyskany z wykorzystaniem metody konduktometrycznej. W zbliżonym obszarze,   
w którym wcześniej zarejestrowano wyraźną anomalię magnetyczną, widoczna jest dominująca struktura opornościowa. Charakteryzuje się ona niskimi wartościami oporności   
w przypowierzchniowych partiach, do głębokości około 1 metra, przechodzącymi następnie   
w strefę oporności podwyższonej. Taki układ jest wyraźnie kontrastowy względem otaczającego podłoża, w którym zmienność oporności z głębokością jest znacznie mniej zróżnicowana. Interpretacja tej anomalii może sugerować obecność obiektu antropogenicznego – potencjalnie zbiorowej mogiły – w której szczątki ludzkie znajdują się poniżej głębokości 1 metra, a przestrzeń nad nimi została zasypana materiałem dobrze przewodzącym, takim jak lokalnie występujące gliny lub namuły rzeczne. Tego rodzaju kontrast oporności może być efektem zarówno właściwości materiału wypełniającego, jak i zaburzeń strukturalnych w naturalnym układzie litologicznym.

***Obraz zawierający zrzut ekranu, tekst

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.***

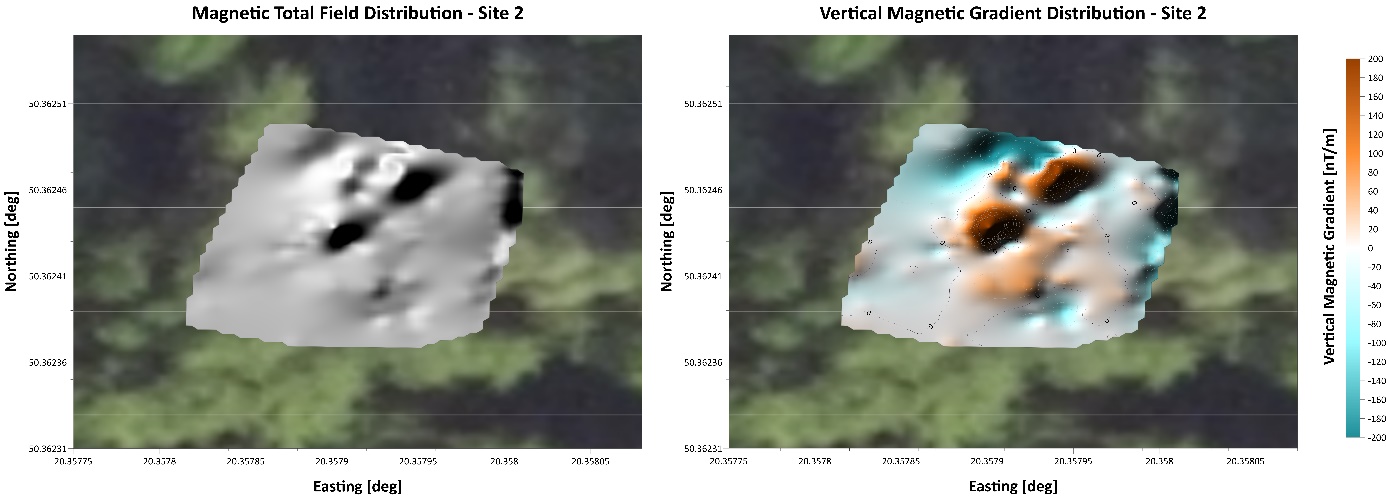
*Fig.1.3. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 1.*

*Obraz zawierający zrzut ekranu, tekst

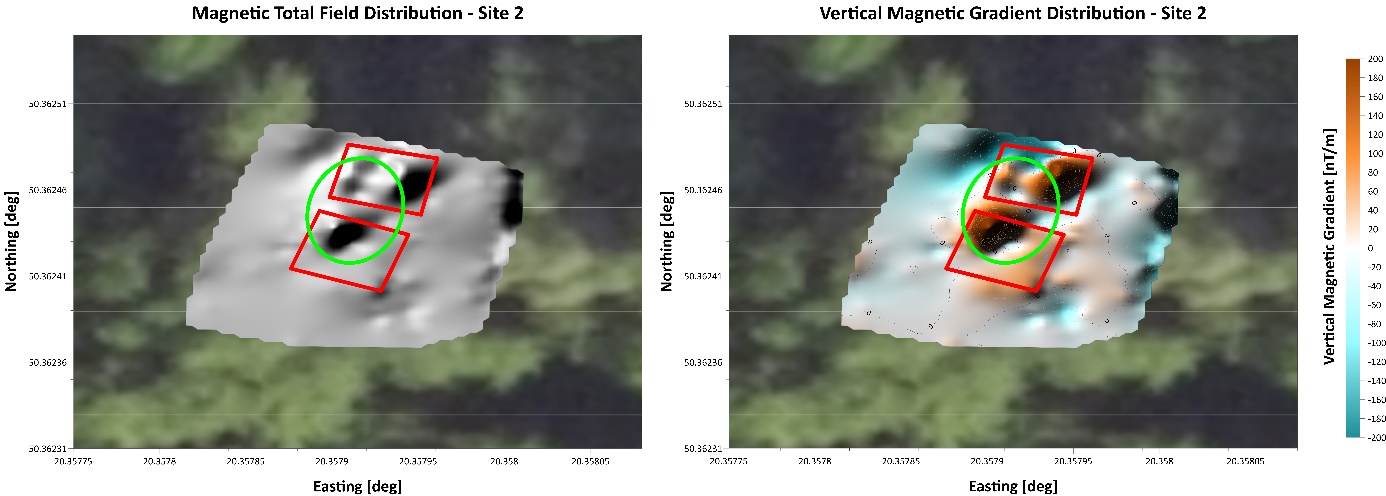
Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna. Fig.1.4. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 1 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

* 1. **Obszar 2**

Na rysunkach Fig. 2.1 oraz Fig. 2.2 zaprezentowano wyniki pomiarów magnetometrycznych wykonanych na obszarze oznaczonym jako poligon 2. W północnej części badanego obszaru widoczna jest struktura anomalna w postaci dwóch blisko zlokalizowanych maksimów pionowego gradientu pola magnetycznego, przedzielonych lokalnym minimum. Układ ten znajduje swoje odzwierciedlenie również na mapie pełnego pola magnetycznego, jednak cała struktura ma charakter mniej wyraźny i trudniejszy do jednoznacznej interpretacji w porównaniu   
z anomalią zaobserwowaną w poligonie 1. Dodatkowo, we wschodniej części poligonu widoczny jest silny efekt magnetyczny, który należy jednoznacznie wiązać z obecnością metalowego ogrodzenia pomnika, znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie obszaru pomiarowego.   
W porównaniu do poligonu 1, liczba punktowych anomalii zakłócających interpretację jest mniejsza, co przekłada się na nieco wyższy poziom czytelności danych. Warto podkreślić,   
że poligony 1 i 2 przylegają do siebie bezpośrednio, co umożliwia ich wzajemne odniesienie przestrzenne w dalszej analizie.

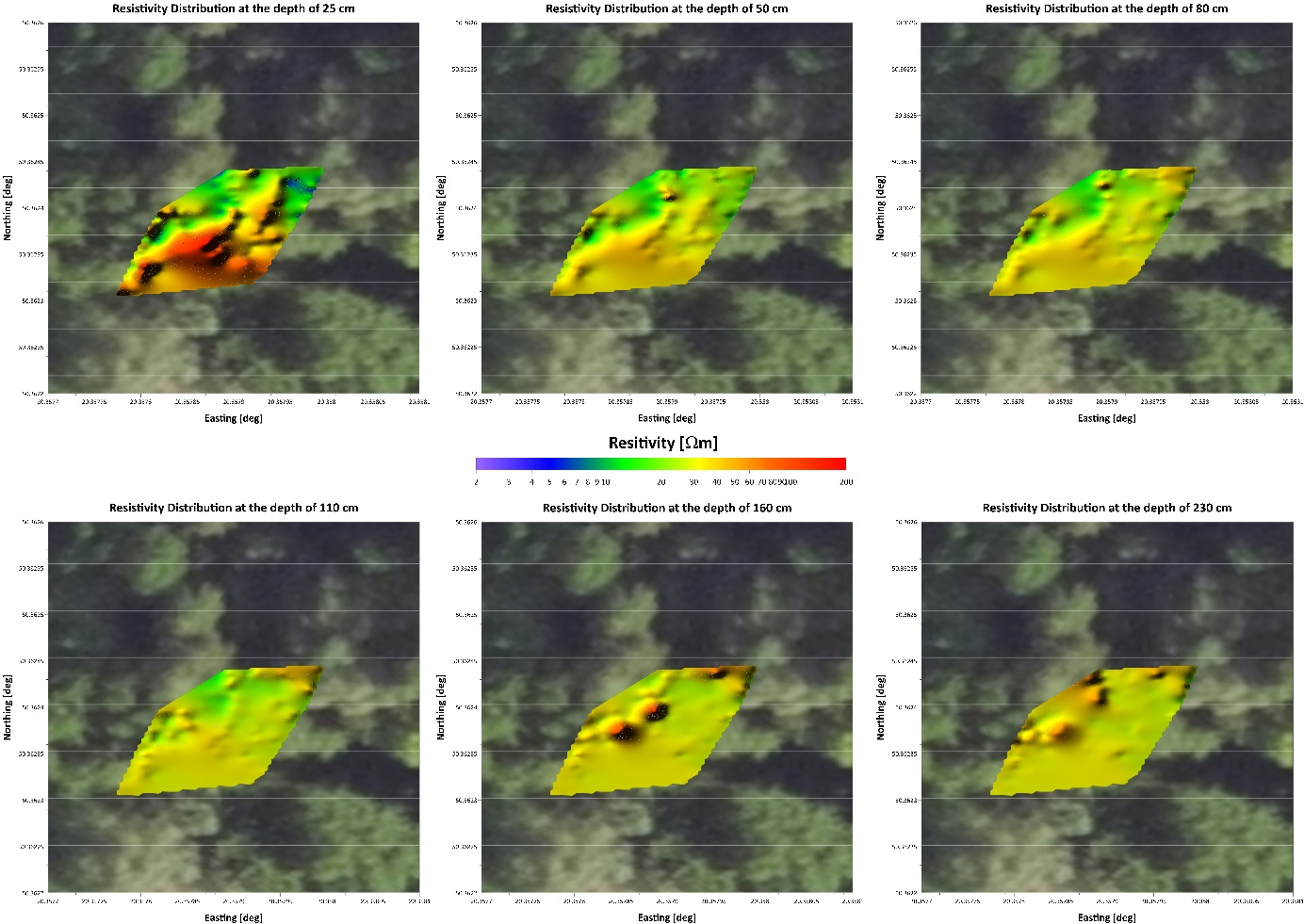


*Fig.2.1. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)   
w granicach obszaru badawczego nr 2.*

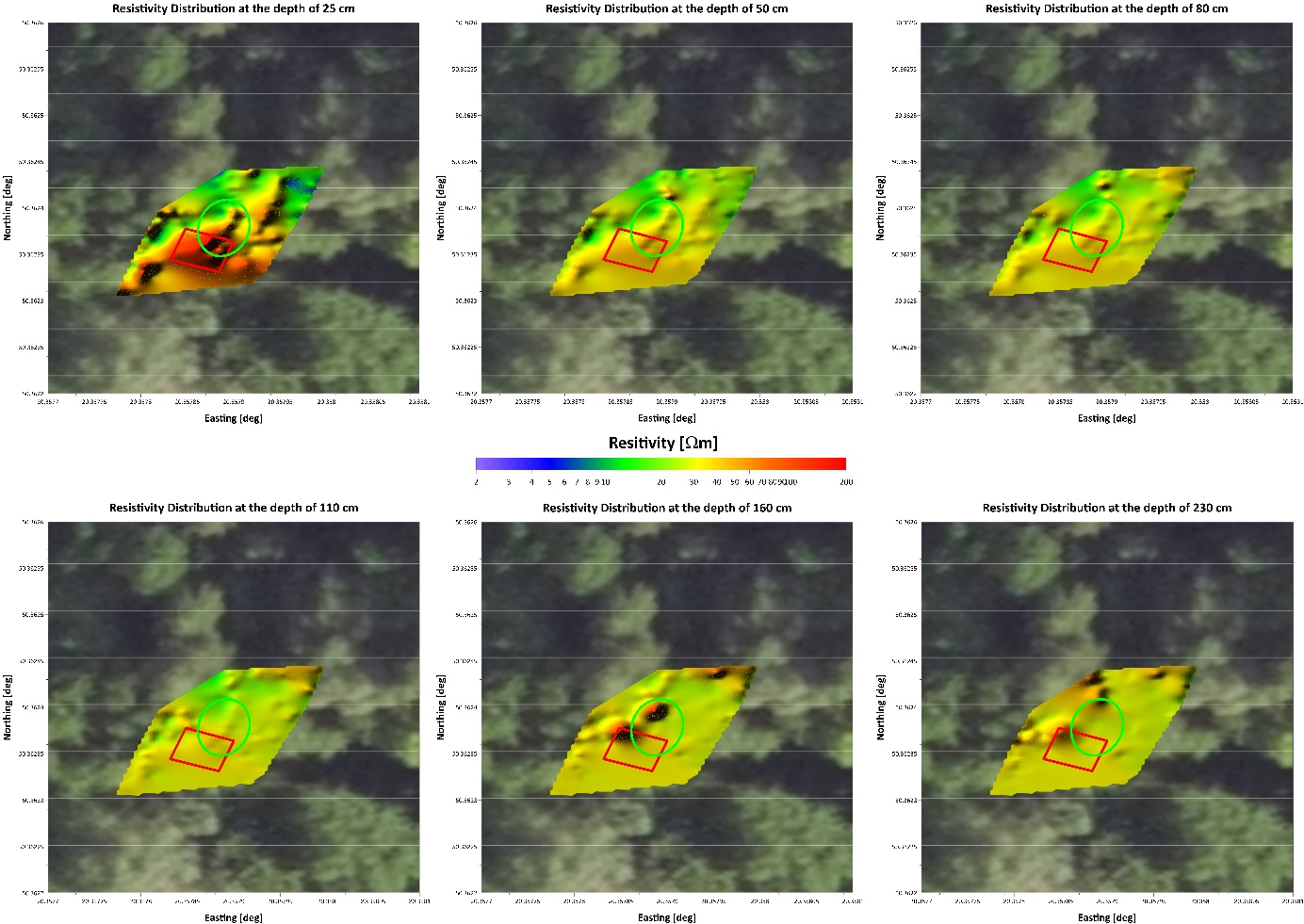


*Fig.2.2. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)  
w granicach obszaru badawczego nr 2 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym   
z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

Odmienny obraz w porównaniu do danych magnetycznych prezentuje rozkład oporności elektrycznej ośrodka, zobrazowany na rysunkach Fig. 2.3 oraz Fig. 2.4. W danych tych widoczna jest wyraźna liniowa anomalia zlokalizowana we wschodniej części poligonu, którą można jednoznacznie utożsamiać z przebiegiem metalowego ogrodzenia, wcześniej zidentyfikowanego również jako źródło zakłóceń w pomiarach magnetycznych. Szczególnie w płytszych przedziałach głębokości uwidacznia się wyraźna dwudzielność badanego obszaru – południowa część poligonu charakteryzuje się wyższymi wartościami oporności, natomiast część północna wykazuje niższe wartości. Zróżnicowanie to stopniowo zanika wraz ze wzrostem głębokości.   
W centralnej części poligonu pojawia się dodatkowo zgrupowanie punktowych anomalii, pokrywające się przestrzennie z obszarem anomalii zarejestrowanej w danych magnetycznych.   
W interpretacji zdecydowano się pozostawić jedynie południowy z zaznaczonych prostokątów, który koreluje z anomalią wysokooporową, potencjalnie wskazującą na antropogeniczne przekształcenie ośrodka. Brak natomiast wyraźnej korelacji dla najbardziej na północ wysuniętej struktury, co nie pozwala na jednoznaczne jej zinterpretowanie jako potencjalnego obiektu docelowego.

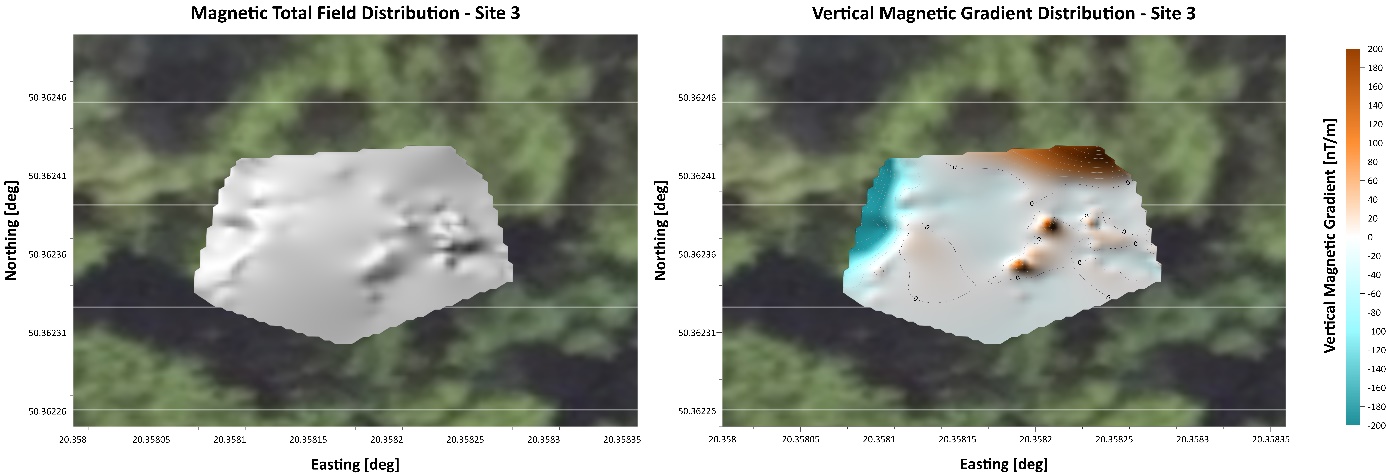
******

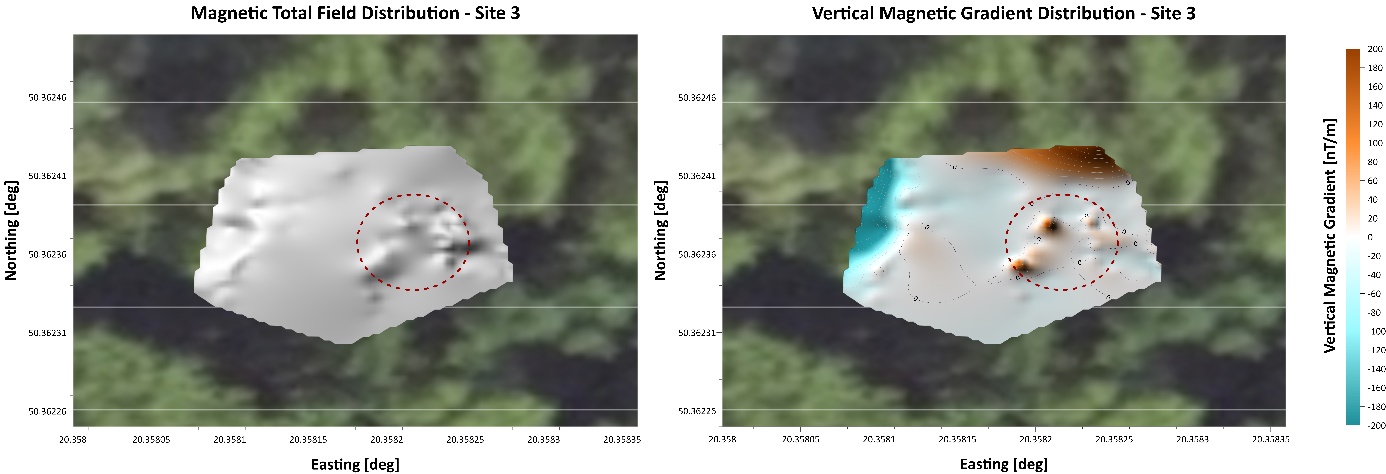
*Fig.2.3. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 2.*

* Fig.2.4. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 2 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

* 1. **Obszar 3**

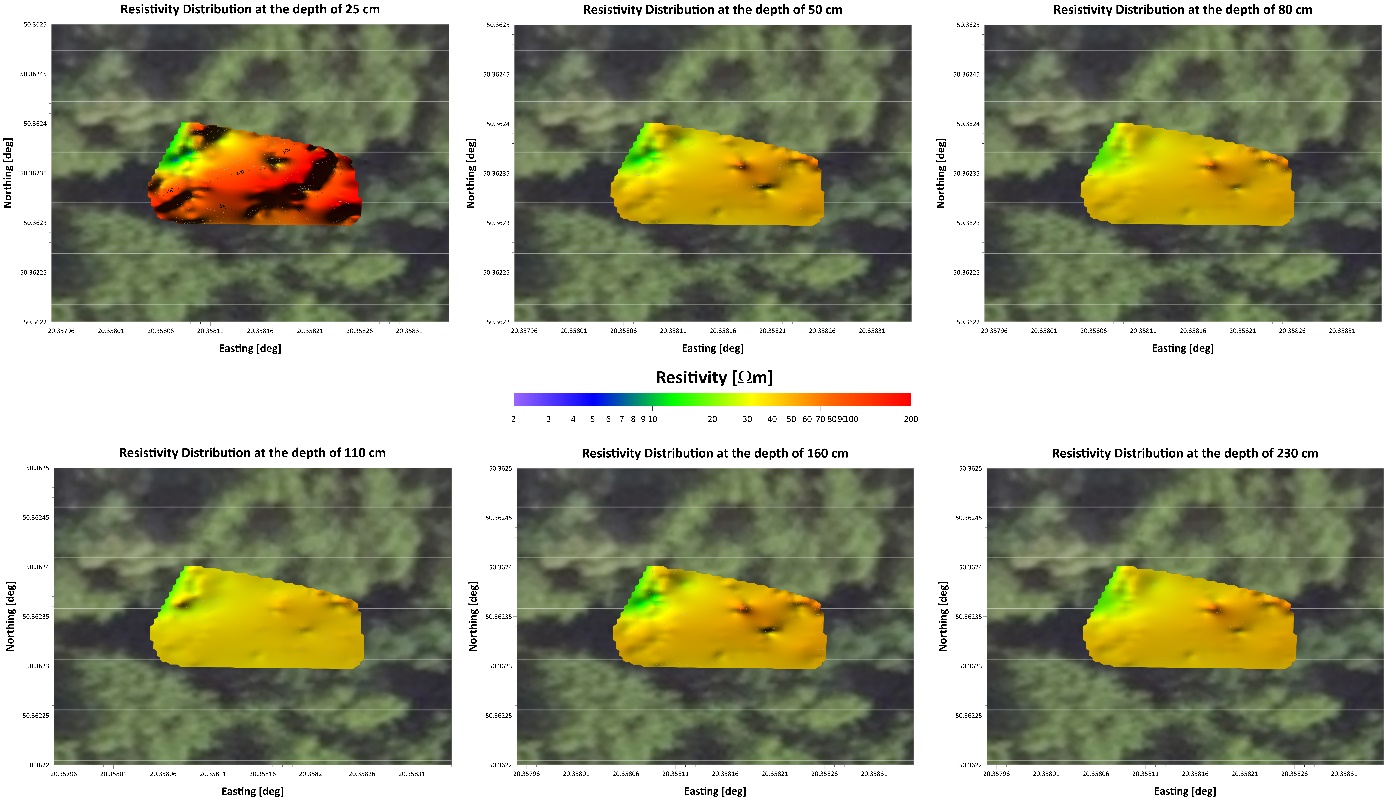
Wyniki pomiarów magnetometrycznych dla poligonu 3, przedstawione na rysunkach Fig. 3.1 oraz Fig. 3.2, wydają się stosunkowo jednoznaczne w interpretacji. Dominującą anomalię zlokalizowano   
w zachodniej części obszaru, gdzie obserwuje się silny efekt magnetyczny będący konsekwencją obecności metalowego ogrodzenia pomnika. W centralnej części poligonu zarejestrowano natomiast zgrupowanie dodatnich anomalii punktowych w mapie pionowego gradientu pola magnetycznego, które częściowo znajduje swoje odzwierciedlenie w nieregularnym rozkładzie pełnego pola magnetycznego. Struktura ta została oznaczona bordowym przerywanym okręgiem jako obszar   
o niejednoznacznym charakterze interpretacyjnym – brak jednoznacznych przesłanek pozwalających na określenie jej genezy, przy jednoczesnym wskazaniu na jej potencjalnie antropogeniczne pochodzenie.

*Fig.3.1. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)   
w granicach obszaru badawczego nr 3.*

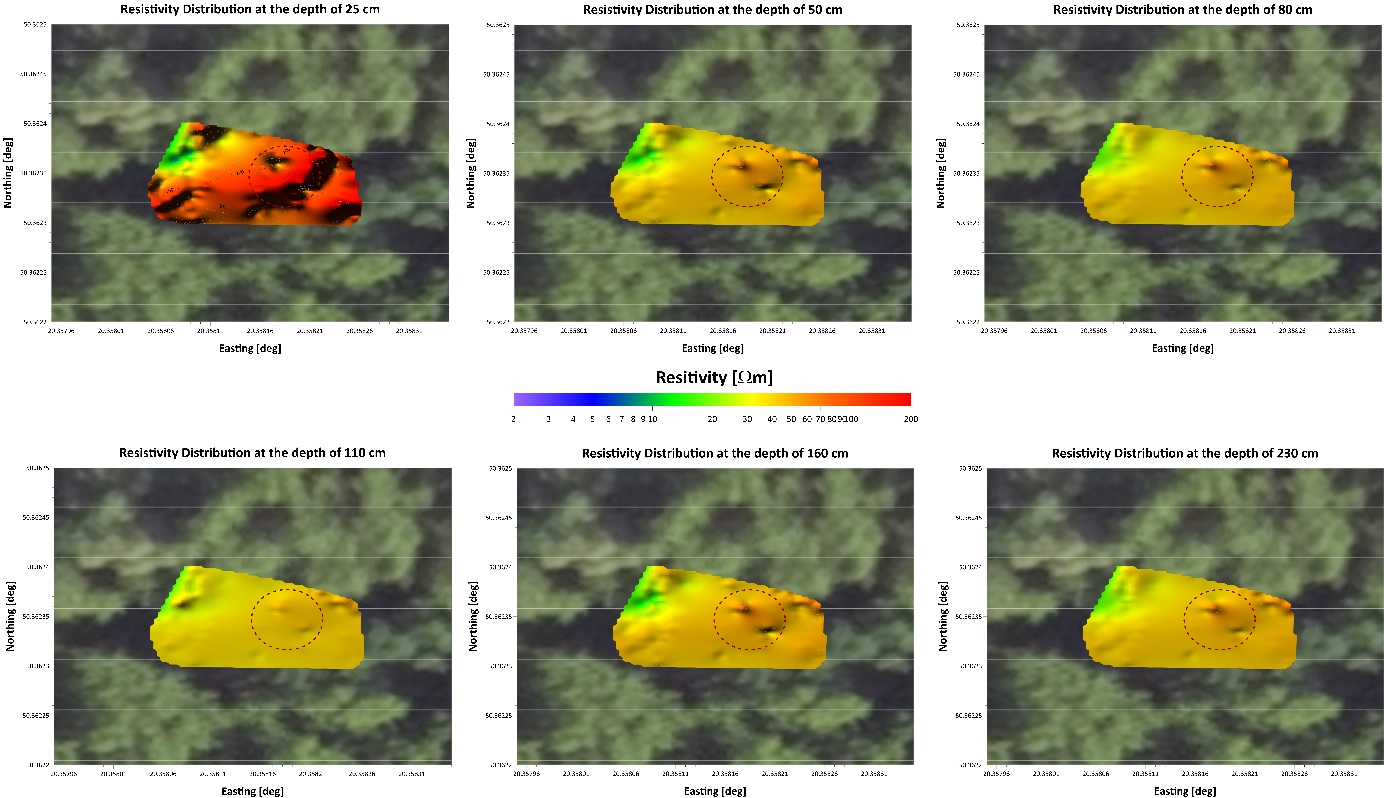


*Fig.3.2. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)  
w granicach obszaru badawczego nr 3 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym   
z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

Na rysunkach Fig. 3.3 oraz Fig. 3.4 przedstawiono rozkład oporności elektrycznej dla poligonu 3. Podobnie jak w przypadku danych magnetometrycznych, również tutaj dominującą cechą interpretacyjną jest silna anomalia zlokalizowana w zachodniej części obszaru, będąca efektem oddziaływania metalowego ogrodzenia pomnika. Na uwagę zasługuje istotny wzrost wartości oporności przypowierzchniowej warstwy w porównaniu do wcześniej analizowanych poligonów, pomimo ich bezpośredniego sąsiedztwa. Może to wskazywać na lokalne zróżnicowanie właściwości litologicznych lub warunków wilgotnościowych. Wschodnia część poligonu charakteryzuje się obecnością zgrupowania punktowych anomalii – lokalnych maksimów oporności – których geneza pozostaje niejednoznaczna. Chociaż ich rozmieszczenie wskazuje na pewną spójność przestrzenną, brak jest wyraźnej korelacji z wynikami magnetycznymi lub kontekstem archeologicznym, co utrudnia jednoznaczną interpretację ich charakteru.

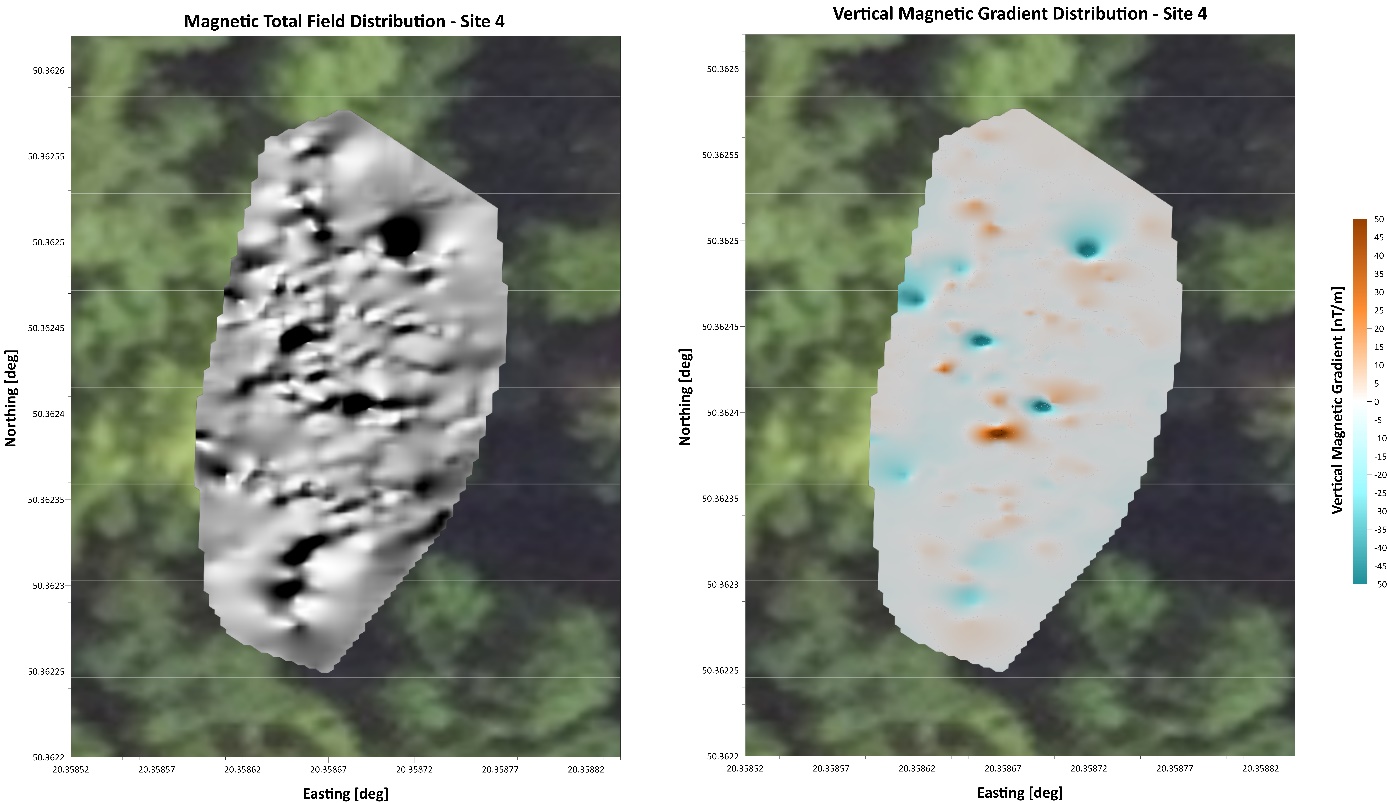
******

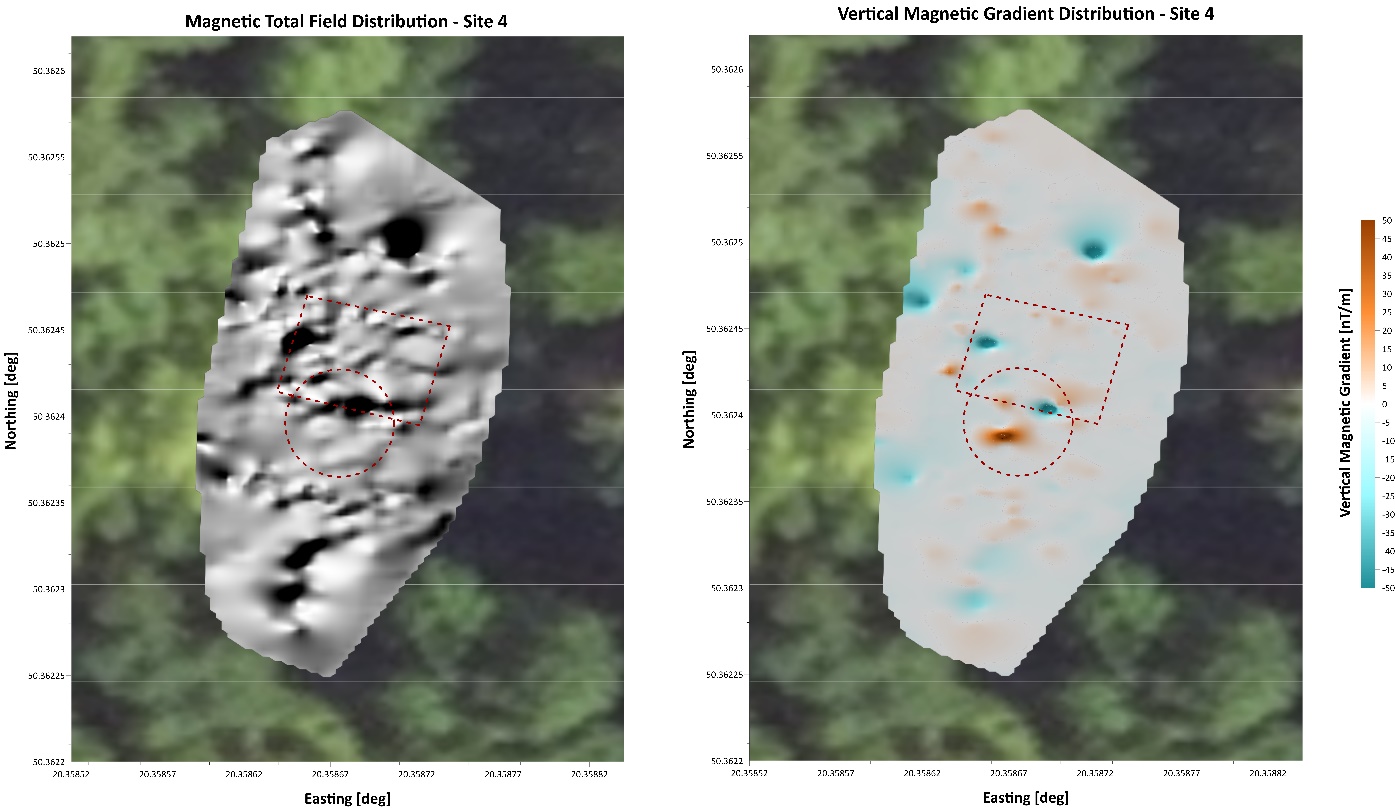
*Fig.3.3. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 3.*

* Fig.3.4. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 3 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

* 1. **Obszar 4**

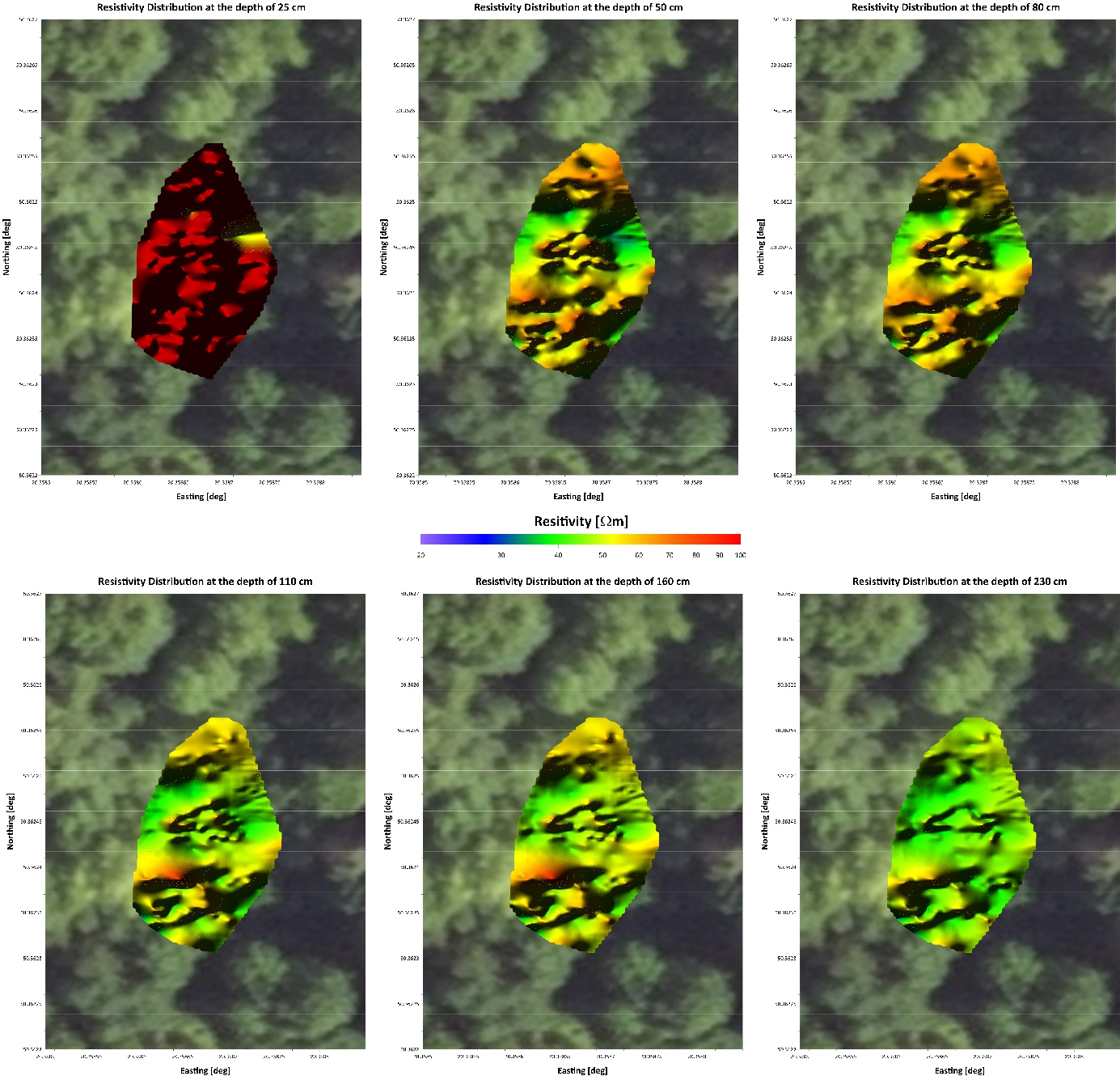
Wyniki pomiarów magnetometrycznych dla poligonu nr 4 przedstawiono na rysunkach Fig. 4.1 oraz Fig. 4.2. Jedną z kluczowych cech odróżniających ten obszar od wcześniej analizowanych jest wyraźne osłabienie efektu magnetycznego. Wartości gradientu pionowego mieszczą się   
w zakresie od -50 do +50 nT/m, co kontrastuje ze skalą od -200 do +200 nT/m stosowaną   
w prezentacjach danych dla poligonów 1–3. Niższy poziom sygnału przekłada się na ogólnie słabszy kontrast anomalii magnetycznych w tym obszarze. W centralnej części poligonu zarejestrowano niewielkie nagromadzenie lokalnych maksimów i minimów gradientu magnetycznego, które częściowo korespondują z liniowymi strukturami widocznymi na mapie pełnego pola. Jednakże, korelacja ta nie jest jednoznaczna, a interpretacja zarysów tych struktur jest znacznie mniej oczywista niż w przypadku, na przykład, poligonu 1. Potencjalny obszar występowania struktury o charakterze antropogenicznym oznaczono bordowym przerywanym prostokątem oraz okręgiem, jako strefę wymagającą dalszej weryfikacji.

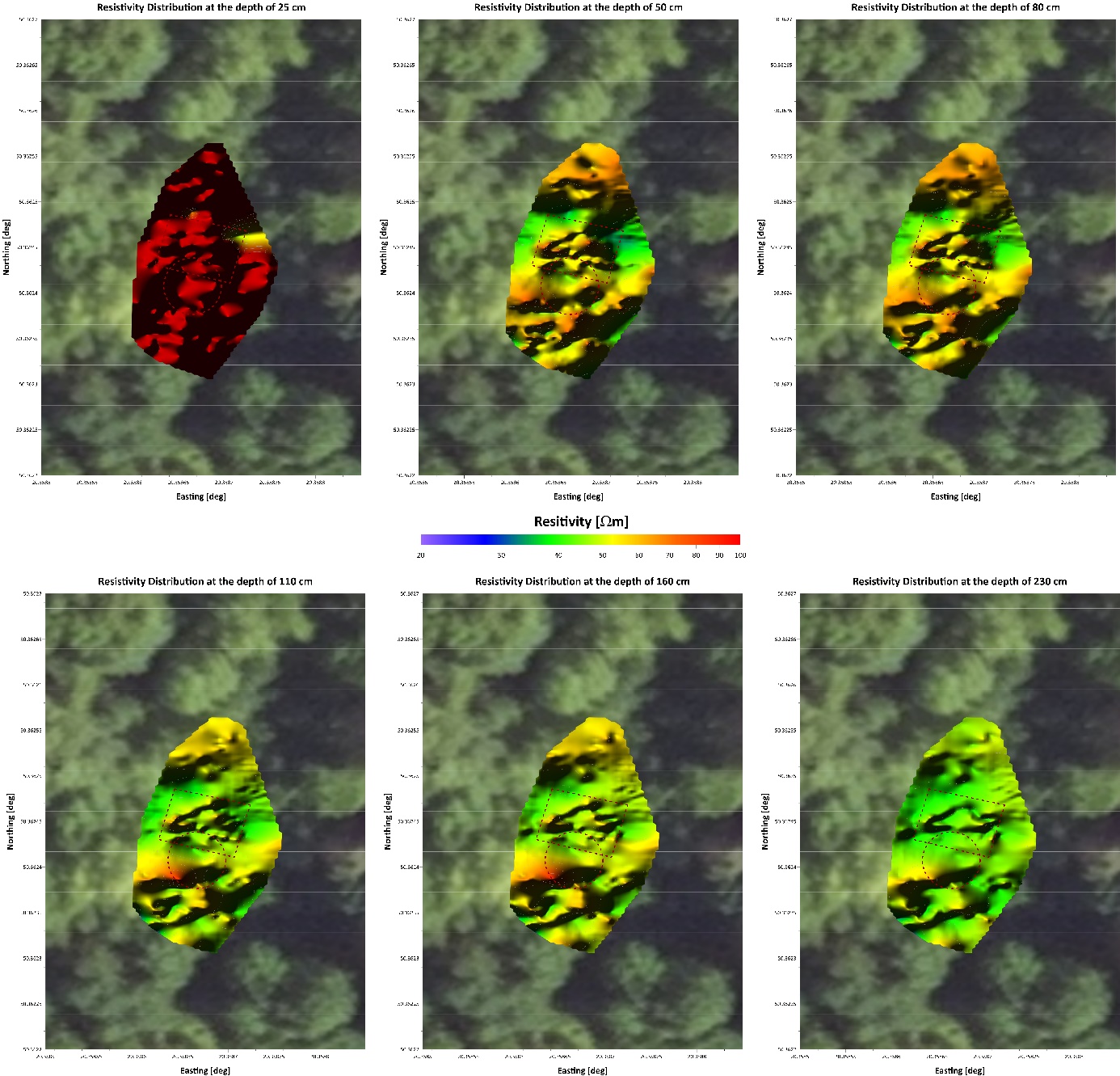
*Fig.4.1. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)   
w granicach obszaru badawczego nr 4.*

*Fig.4.2. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)  
w granicach obszaru badawczego nr 3 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym   
z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

W przypadku poligonu 4 zdecydowanie bardziej obiecujące rezultaty uzyskano z zastosowaniem metody konduktometrycznej. Wyniki te przedstawiono na rysunkach Fig. 4.3 oraz Fig. 4.4. Pomijając warstwę przypowierzchniową, dla której zarejestrowano skrajnie wysokie wartości oporności – najprawdopodobniej wynikające z przesuszenia warstw lessowych – w głębszych partiach widoczny jest wyraźny, liniowy schemat zmian oporności, przebiegający poprzecznie względem osi wąwozu. W północnej i południowej części obszaru dominują struktury o wyższej oporności, natomiast w centralnej części zarysowuje się strefa o niższej oporności elektrycznej względem otoczenia, przypominająca morfologicznie rodzaj kanału lub rowu.

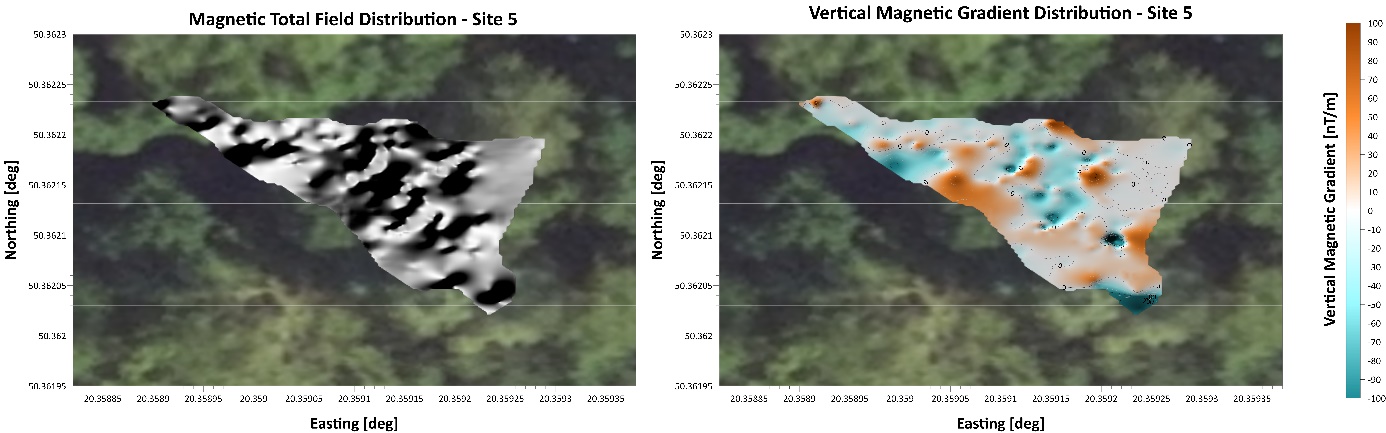
W obrębie tej strefy, na głębokościach do około 1 metra, występuje struktura o podwyższonej oporności – porównywalnej do wartości obserwowanych w warstwach otaczających. Poniżej tego poziomu oporność ponownie spada, zbliżając się do wartości tła geologicznego. Zjawisko   
to może wskazywać na obecność wypełnionej przestrzeni (np. jamy lub rowu), zasypanej materiałem pochodzącym z otoczenia – co byłoby zgodne z możliwym scenariuszem antropogenicznego zasypania. Warto podkreślić, że pozycja tej struktury przestrzennie koreluje   
z anomalią magnetyczną opisaną wcześniej, co wzmacnia hipotezę o obecności potencjalnego obiektu archeologicznego. Jednocześnie, z uwagi na specyfikę ukształtowania terenu i genezę wąwozu, nie można wykluczyć udziału naturalnych procesów denudacyjnych w kształtowaniu obserwowanego rozkładu oporności.

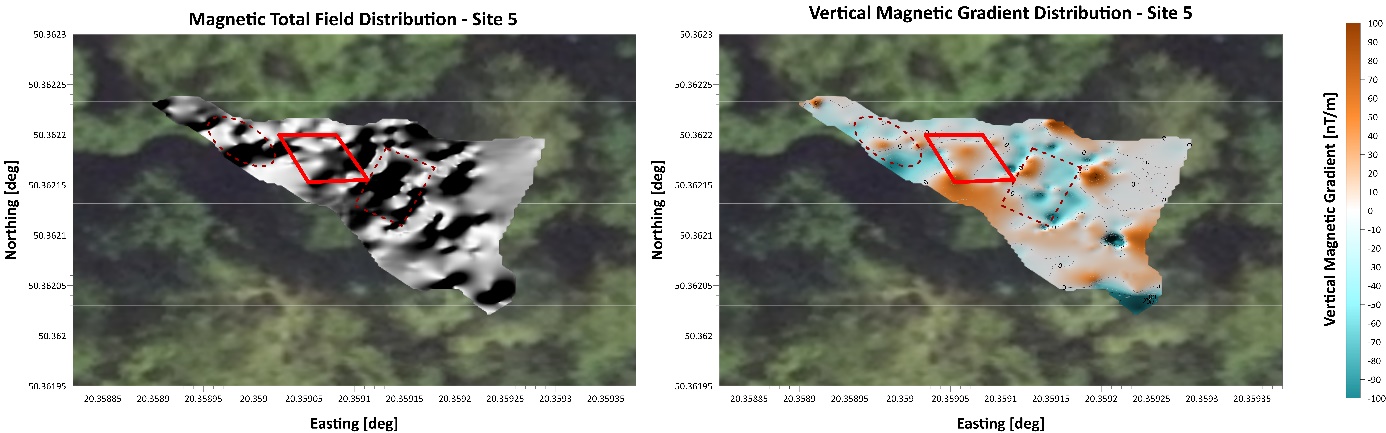
*******Fig.4.3. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 4.*

* Fig.4.4. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 4 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

* 1. **Obszar 5**

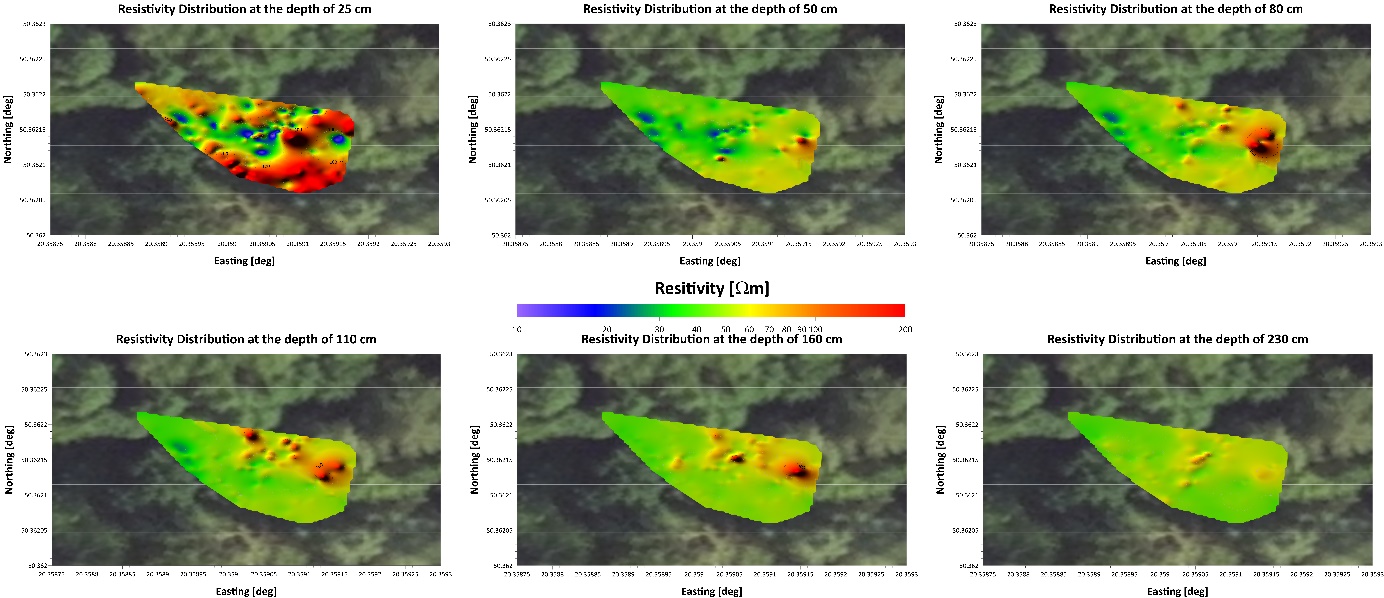
Poligon 5 zlokalizowany był przy leśnej drodze, a dokładniej w rejonie rozwidlenia dwóch dróg leśnych, co nadało mu nietypowy, trójkątny kształt. Wyniki pomiarów magnetometrycznych zaprezentowano na rysunkach Fig. 5.1 oraz Fig. 5.2. W porównaniu z poligonem 4 zarejestrowane anomalie są silniejsze, jednak należy zaznaczyć, że obszar ten charakteryzował się dużym stopniem zanieczyszczenia – obecne były liczne porozrzucane przedmioty metalowe, takie jak fragmenty drutu, garnki, butelki oraz inne elementy mogące generować zakłócenia. Wzdłuż północnego obrzeża poligonu, sąsiadującego   
z drogą, widoczne jest zgrupowanie punktowych maksimów i minimów gradientu magnetycznego, jednak interpretacja ich genezy jest utrudniona. Obszar ten cechuje się również nieregularnym, trudnym do jednoznacznego określenia rozkładem pełnego pola magnetycznego. W związku   
z obecnością licznych zaburzeń i niejednoznacznością sygnału, uzyskane wyniki należy traktować   
z dużą ostrożnością, jako materiał pomocniczy, który wymaga uzupełnienia i weryfikacji innymi metodami.

*Fig.5.1. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)   
w granicach obszaru badawczego nr 5.*

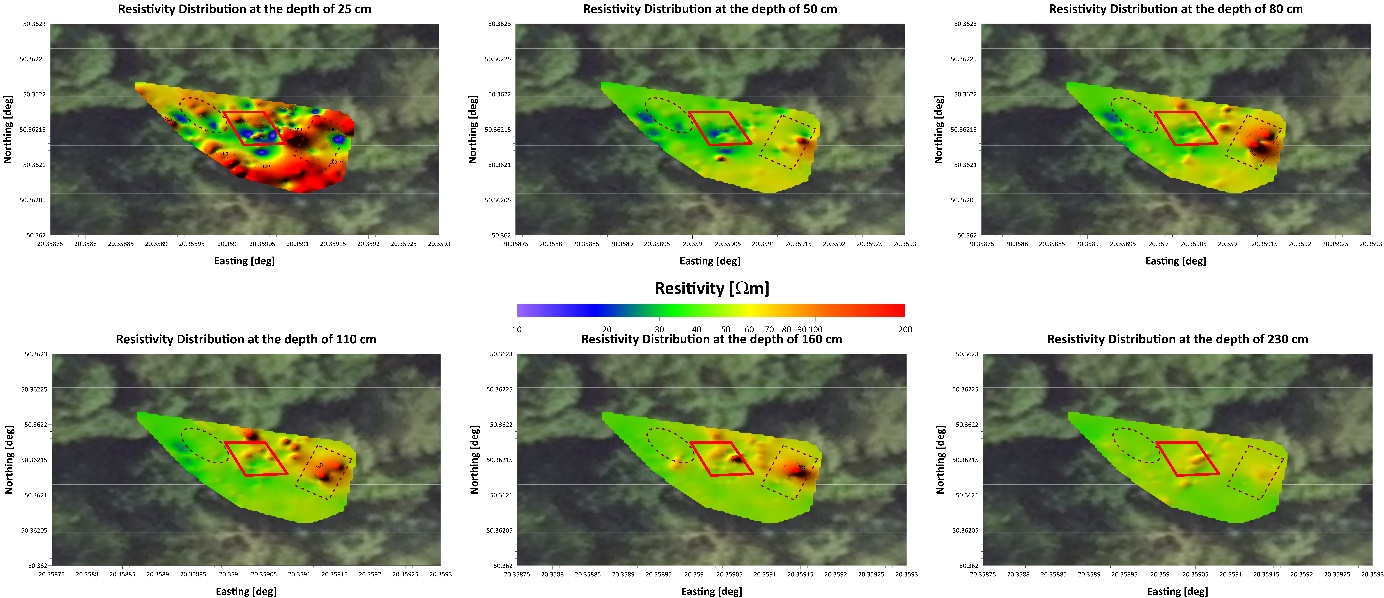


*Fig.5.2. Rozkład pełnego pola magnetycznego (po lewej) oraz pionowego gradientu pola magnetycznego (po prawej)  
w granicach obszaru badawczego nr 5 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym   
z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

Wyniki pomiarów konduktometrycznych dla poligonu 5 przedstawiono na rysunkach Fig. 5.3 oraz Fig. 5.4. Najbardziej wyróżniającą się strukturą w danych opornościowych jest wysokooporowa strefa zlokalizowana w północno-wschodniej części poligonu, interpretowana jako usypana hałda ziemna znajdująca się w bezpośrednim sąsiedztwie drogi. Struktura ta jest szczególnie dobrze widoczna w zakresie głębokości od około 0,8 do 1,6 metra pod powierzchnią terenu, natomiast nie odznacza się wyraźnie w maksymalnym zakresie głębokości pomiaru. W pozostałych partiach obszaru zarejestrowano lokalne punktowe minima oporności, występujące do głębokości około 0,5 metra. Część z tych anomalii wykazuje częściową korelację z danymi magnetometrycznymi, jednak ich rozproszenie i płytkie położenie wskazują, że mogą one być związane z niewielkimi obiektami metalowymi zalegającymi w przypowierzchniowych warstwach – takimi jak odnotowane wcześniej druty, fragmenty naczyń czy butelki. Jedyną anomalią, dla której zachodzi istotna   
i spójna korelacja pomiędzy danymi opornościowymi i magnetycznymi, pozostaje wspomniana hałda, której obecność należy wiązać z nienaturalnym przekształceniem powierzchni terenu.

******

*Fig.5.3. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 5.*

* Fig.5.4. Rozkład oporności elektrycznej ośrodka na głębokościach 0.25, 0.5, 0.8, 1.1, 1.6 oraz 2.3m w granicach obszaru badawczego nr 5 z zaznaczonym na czerwono obiektem anomalnym wyinterpretowanym z danych magnetycznych oraz na zielono wyinterpretowanym z danych konduktometrycznych.*

1. **Podsumowanie wyników**

Przeprowadzone pomiary geofizyczne z wykorzystaniem magnetometrii gradientowej oraz metody konduktometrycznej umożliwiły identyfikację szeregu struktur o potencjalnym znaczeniu archeologicznym, jak również rozpoznanie obiektów i zjawisk o charakterze zakłócającym. Charakter oraz intensywność zarejestrowanych anomalii różniły się istotnie pomiędzy analizowanymi poligonami, co wynikało zarówno z lokalnych warunków geologicznych i geomorfologicznych,   
jak i obecności elementów zakłócających, takich jak ogrodzenia metalowe czy porozrzucane obiekty wtórne.

Najbardziej wyraziste i spójne przestrzennie anomalie zarejestrowano na poligonach 1 i 4, gdzie dane obu metod wskazują na obecność struktur o potencjalnym antropogenicznym charakterze. Szczególnie w przypadku poligonu 1 korelacja pomiędzy wynikami magnetycznymi i opornościowymi pozwala na wstępne rozpoznanie anomalii mogącej odpowiadać zbiorowej mogile. Również na poligonie 4, pomimo osłabionych efektów magnetycznych, dane konduktometryczne wykazały obecność struktur mogących mieć znaczenie w kontekście poszukiwawczym.

Poligony 2 i 3 cechowały się obecnością zakłóceń związanych z bliskością ogrodzenia oraz zmiennym stopniem zaszumienia danych, jednak także tam zaobserwowano lokalne korelacje pomiędzy obiema metodami. W przypadku poligonu 5, ze względu na znaczne zaśmiecenie terenu oraz nietypowy układ topograficzny, interpretacja danych jest najbardziej problematyczna – jedynie w obrębie hałdy ziemnej w północno-wschodniej części zarejestrowano spójną anomalię konduktometryczną, częściowo potwierdzoną przez dane magnetyczne.

Raport sporządzono 27.03.2024

dr inż. Szymon Oryński