

# **Raport z badań na Cmentarzu Żydowskim w Ostrowcu Świętokrzyskim w celu ustalenia lokalizacji masowego grobu z czasów Zagłady**

Autorzy: dr Sebastian Różycki; dr Szymon Oryński; Aleksander Schwarz

Niniejszy raport podsumowuje badania przeprowadzone przez Fundację Zapomniane i jej ekspertów w lipcu, sierpniu i październiku 2024 roku. Badania zostały przeprowadzone zgodnie z zasadami żydowskiego prawa religijnego (Halacha) oraz wytycznymi Komisji Rabinicznej ds. cmentarzy żydowskich w Polsce. Proces badawczy obejmował:

- interpretację historycznych zdjęć lotniczych w celu wyznaczenia obszaru do dalszych badań geofizycznych w terenie,
- badania geodezyjne – wyznaczanie terenu badań i mapowanie terenu, na którym przeprowadzone zostaną badania nieinwazyjne,
- badania geofizyczne z wykorzystaniem GPR (georadar) i magnetometru,
- badania z wykorzystaniem konduktometru.

## **Wprowadzenie: charakterystyka obszaru badań**

Ostrowiec Świętokrzyski to miasto powiatowe położone w centralnej Polsce, w Ziemi Sandomierskiej, w historycznej Małopolsce, wzdłuż rzeki Kamiennej. Znajduje się w województwie świętokrzyskim, które jest bogate w zabytki i atrakcje turystyczne. Jest to miejsce sięgające swoją historią do średniowiecza. Najstarsze wzmianki o terenach wchodzących w skład obecnego miasta pochodzą z XIV wieku, a o wsi Ostrów – która dała początek miastu Ostrowiec – również z XIV wieku. W okresie międzywojennym Ostrowiec rozwijał się dynamicznie dzięki licznym inwestycjom związanym z budową Centralnego Okręgu Przemysłowego, co przyczyniło się do wzrostu gospodarczego i urbanistycznego miasta. W 1924 r. miasto znacznie poszerzyło swoje granice i zostało wydzielone z powiatowego związku samorządowego powiatu opatowskiego, co oznaczało większą autonomię i możliwości rozwoju. W chwili wybuchu II wojny światowej Ostrowiec liczył około 30 tys. mieszkańców. W 1929 r. w mieście był jeden kościół i synagoga, co świadczyło

o zróżnicowanej społeczności religijnej. Wojska niemieckie zajęły Ostrowiec 8 września 1939 r., co zmusiło ludność do podjęcia walk o charakterze podziemnym i partyzanckim. Podczas II wojny światowej i okupacji niemieckiej, 11 tysięcy Żydów z Ostrowca zostało brutalnie zamordowanych. W Ostrowcu miały miejsce liczne publiczne egzekucje, w tym te, których ofiary spoczywają w poszukiwanym masowym grobie na terenie dawnego cmentarza żydowskiego.

Na budowę geologiczną warstw powierzchniowych w Ostrowcu Świętokrzyskim składają się głównie holoceni i plejstoceni piaski i żwiry, a także piaski, żwiry, torfy, mady rzeczne i namuły w dolinie Kamiennej. Lokalnie, na wzniesieniach, występują piaski i żwiry ze zlodowacenia środkowopolskiego (Riss).

### **Rozszerzona interpretacja zdjęć lotniczych**

Interpretację archiwalnych zdjęć lotniczych pozyskanych z Archiwum Narodowego Stanów Zjednoczonych oraz Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii dla Ostrowca Świętokrzyskiego przeprowadził dr inż. Sebastian Różycki.

#### **Cel badań**

Naszym zadaniem było zlokalizowanie masowego grobu na cmentarzu żydowskim w Ostrowcu Świętokrzyskim. Głównym materiałem wykorzystanym w tym zadaniu była fotografia wykonana w październiku 1945 roku. Przedstawiała ona ostrowieckich Żydów stojących w miejscu masowego grobu z czasów II wojny światowej.



Rys. 1. Zdjęcia wykonane w październiku 1945 r. na terenie cmentarza żydowskiego.

#### **Kwerendy archiwalne**

Na potrzeby interpretacji obszaru cmentarza żydowskiego w Ostrowcu Świętokrzyskim przeprowadzono kwerendy archiwalne w celu odnalezienia i pozyskania materiałów fotogrametrycznych i kartograficznych. Kwerendy objęły archiwa Stanów Zjednoczonych oraz Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK) w Polsce.

## **Zdjęcia lotnicze z lat 1939-1945 dostępne w Narodowych Archiwach i Rejestrach Stanów Zjednoczonych**

### **Administracja (NARA), Grupa rejestrów 373**

W ramach zlecenia poszukiwania zdjęć lotniczych przeprowadzono kwerendę w amerykańskim National Archives and Records Administration<sup>1</sup> (NARA) pod kątem fotografii obejmujących teren cmentarza w Ostrowcu Świętokrzyskim z lat 1939-1945. Kwerenda dotyczyła zbiorów z grupy 373.

Na zbiory grupy 373 składają się zestawy zdjęć lotniczych i satelitarnych oraz materiały kartograficzne i architektoniczne. Kwerenda obejmowała serię 373.3 składającą się ze zdjęć lotniczych wykonanych w latach 1935-1945 zarówno przez lotników niemieckich, jak i alianckich<sup>2</sup>.

Fotografie dostępne w archiwach znajdują się w domenie publicznej. Informacje ze strony internetowej Archiwów Narodowych Stanów Zjednoczonych (NARA) wskazują, że z zasobów znajdujących się w domenie publicznej można korzystać ze wskazaniem źródła:

*„Zdecydowana większość obrazów cyfrowych w katalogu online należy do domeny publicznej. W związku z tym nie jest wymagana pisemna zgoda na ich wykorzystanie. Będziemy wdzięczni za podanie National Archives and Records Administration jako oryginalnego źródła”.*

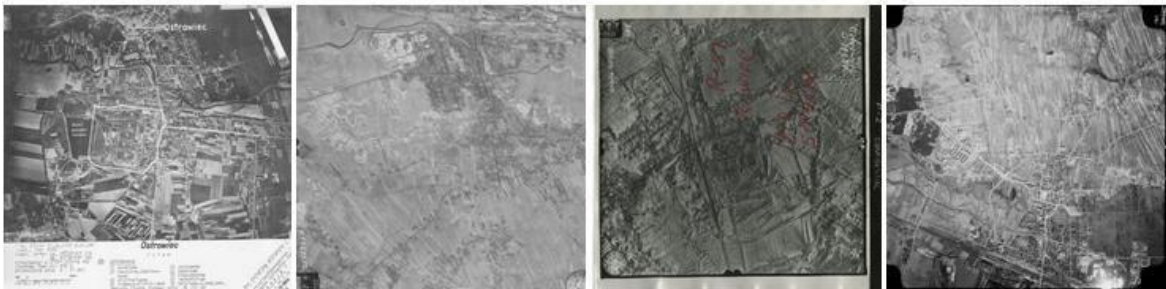
Na podstawie wyników kwerendy przeprowadzonej w archiwum stworzono listę fotografii cmentarza i uporządkowano dostępne fotografie w archiwum.

Następujące zdjęcia lotnicze zostały pozyskane z NARA: - 31 maja 1944 r. (Luftwaffe - **sygnatura DT TM 3**), - 19 stycznia 1945 r. (Luftwaffe - **sygnatura GX 12366**), - 3 lutego 1945 r. (Luftwaffe - **sygnatura GX 8066**), - 19 kwietnia 1964 r. (Polska Służba Geodezyjna).

---

<sup>1</sup> Adres archiwów: National Archives at College Park, 8601 Adelphi Road, College Park, MD 20740-6001

<sup>2</sup> Kolekcja zdjęć wykonanych przez lotników alianckich liczy 2,863,800 sztuk, a przez lotników niemieckich - 1,209,520



Rys. 2. Od lewej zdjęcia lotnicze z: 05.1944, 01.1944, 02.1945, 04.1964.

## Metodologia badań

Do wyznaczenia granic mogiły zbiorowej oraz na potrzeby interpretacji wykorzystane zostaną dane archiwalne i aktualne dotyczące otaczającego terenu. Dane archiwalne w postaci zdjęć lotniczych wykonanych podczas II wojny światowej oraz map topograficznych stanowią główny materiał do odtworzenia granic cmentarza oraz analizy historycznego pokrycia terenu.

W niektórych przypadkach bardzo przydatnym źródłem informacji mogą być dane ze skaningu laserowego obrazujące ukształtowanie terenu. Aktualne dane w postaci zdjęć lotniczych zostaną wykorzystane do odniesienia (georeferencji) danych archiwalnych i pozwolą na wizualizację wybranych obiektów archiwalnych na aktualnym tle.

Do praktycznej interpretacji i analizy terenu wykorzystano oprogramowanie QGIS. W pierwszym etapie prac pozyskano warstwy wektorowe przedstawiające granicę cmentarza oraz obiekty terenowe i zniszczenia widoczne na zdjęciach z 1944 i 1945 roku: drogi, pozostałości budynków, zniszczenia terenu. Utworzone warstwy wektorowe pozwoliły na stworzenie załączników graficznych. Wszystkie dane uzyskane w wyniku interpretacji zostały zapisane w Państwowym Systemie Odniesień Przestrzennych: system 2000, strefa 7. Pozwoliło to na wygenerowanie współrzędnych geodezyjnych wybranych obiektów. Współrzędne te pozwolą na odwzorowanie zidentyfikowanych obiektów w terenie na zdjęciach lotniczych wykonanych w 1944 i 1945 roku.

## Interpretacja zdjęcia lotniczego wykonanego w 1944 r.

Cały cmentarz został utrwalony na fotografiach z lat 1944, 1945, 1964, których jakość jest satysfakcjonująca i ich interpretacja jest możliwa.

Czarno-białe zdjęcia lotnicze przedstawiają zarejestrowany obszar terenu w odcieniach szarości pomiędzy skrajnymi odcieniami bieli i czerni. Odcienie szarości na fotogramach są tak zwanymi bezpośrednimi cechami wyróżniającymi, które pomagają w identyfikacji obiektów. Odcień obiektu jest ściśle związany z promieniami odbitymi od obiektu i zarejestrowanymi na filmie. Obiekt ustawiony prostopadle do źródła światła będzie odbijał najwięcej promieni i będzie najjaśniejszy na zdjęciu, niezależnie od koloru, jaki fizycznie posiada. Na odcień obiektu na zdjęciu wpływa również charakter samej powierzchni. Im gładza powierzchnia, tym jaśniejsze tony na zdjęciu. Z kolei tony na zdjęciu określającym roślinność są zależne od czynnika fenologicznego, np. zielona trawa jest fotografowana w ciemnoszarym odcieniu, a wysuszona trawa - w jasnym odcieniu.

Inne bezpośrednie cechy wyróżniające to kształt, rozmiar i cień poszczególnych obiektów.

**Kształt** na zdjęciach lotniczych jest najczęściej używany do odróżniania obiektów naturalnych od obiektów stworzonych przez człowieka. Te ostatnie charakteryzują się regularnym geometrycznym kształtem. Wygląd zewnętrzny budynku w niektórych przypadkach pozwala nawet na rozpoznanie jego przeznaczenia (rozdzielenie budynków mieszkalnych od przemysłowych). Cienie dzielą się na cienie rzucane i cienie własne. Podczas czytania należy zorientować obraz względem źródła światła. Cień rzucany to cień rzucany przez obiekty na powierzchnię ziemi lub na inne obiekty. Cień własny to zacieniona część fotografowanego obiektu. Na podstawie cieni można obliczyć wysokość obiektu. Należy pamiętać, że cień rzucany na spadki terenu rośnie, a maleje w przypadku wznoszącego się terenu. Należy również pamiętać, że gdy słońce znajduje się nisko nad horyzontem (np. rano), cienie będą dłuższe, powodując deformację obiektu.

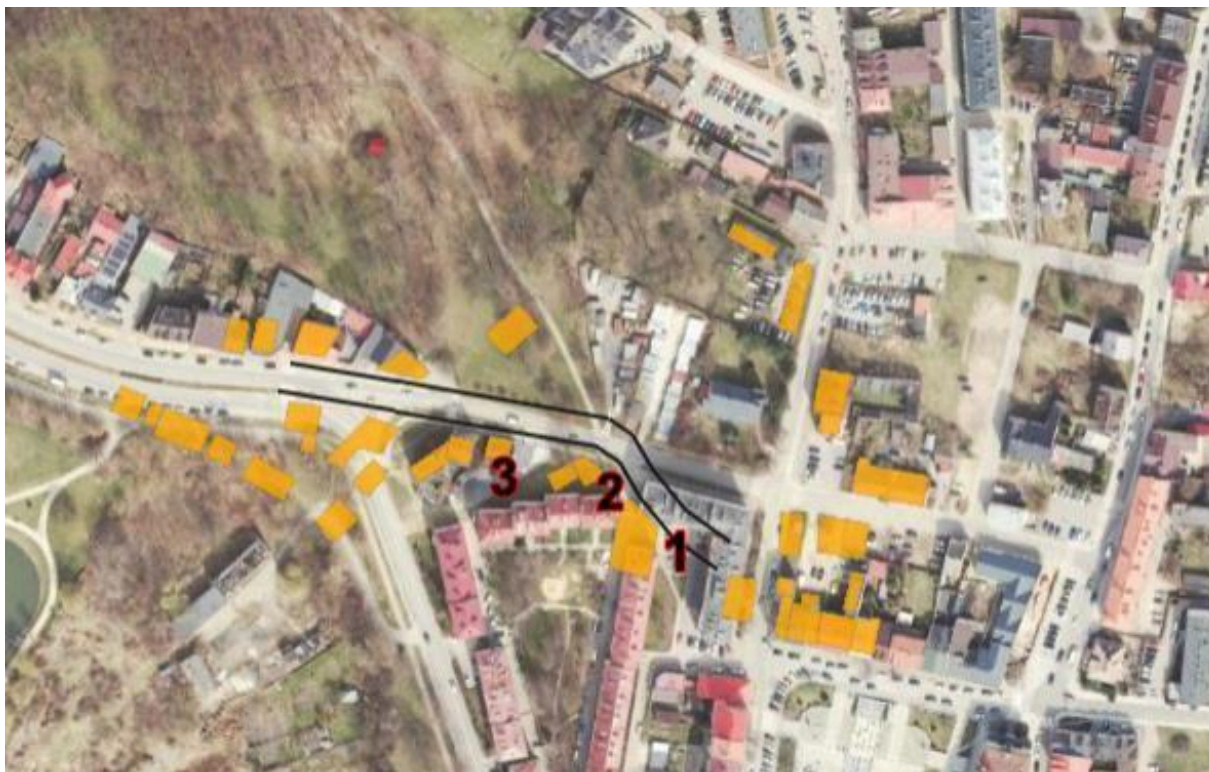
### **Proces interpretacji fotografii lotniczych**

Na zdjęciach wykonanych w 1945 r. w tle widoczne są budynki. Aby zlokalizować masowy grób w pierwszej kolejności odtworzono układ ulic i nieistniejących już budynków. W celu odwzorowania jak największej części miasta połączono ze sobą 2 zdjęcia (wykorzystując technikę dopasowania obrazów - Rys. 3).



Rys. 3. Numery wskazują budynki widoczne w 1945 r. oraz drogę.

Widoczne budynki (numery 1-3) i droga (numer 4) zostały zrekonstruowane na podstawie zdjęcia lotniczego z 1945 roku (Rys. 4).



Rys. 4. Budynki z 1945 roku. Widoczny zarys i przebieg drogi z 1945 r. (czarne linie). Jako podstawę wykorzystano ortofotomapę z 2022 roku.

Ścieżki, które znajdowały się na cmentarzu, zostały również zrekonstruowane na podstawie zdjęć lotniczych z 1945 roku. Na zdjęciach z 1945 roku widać śnieg, więc wydeptane ścieżki są wyraźnie widoczne.



Rys. 5. Budynki z 1945 roku. Widoczny zarys i przebieg drogi z 1945 r. (czarne linie). Szpilkami zostały oznaczone zdjęcia budynków, które znajdują się w tle głównego zdjęcia. Jako podstawę wykorzystano ortofotomapę z 1945 roku.

Aby zlokalizować grób, nad którym stoją ludzie w 1945 r., do zdjęcia dodano dodatkowe linie widoczności (Rys. 6).



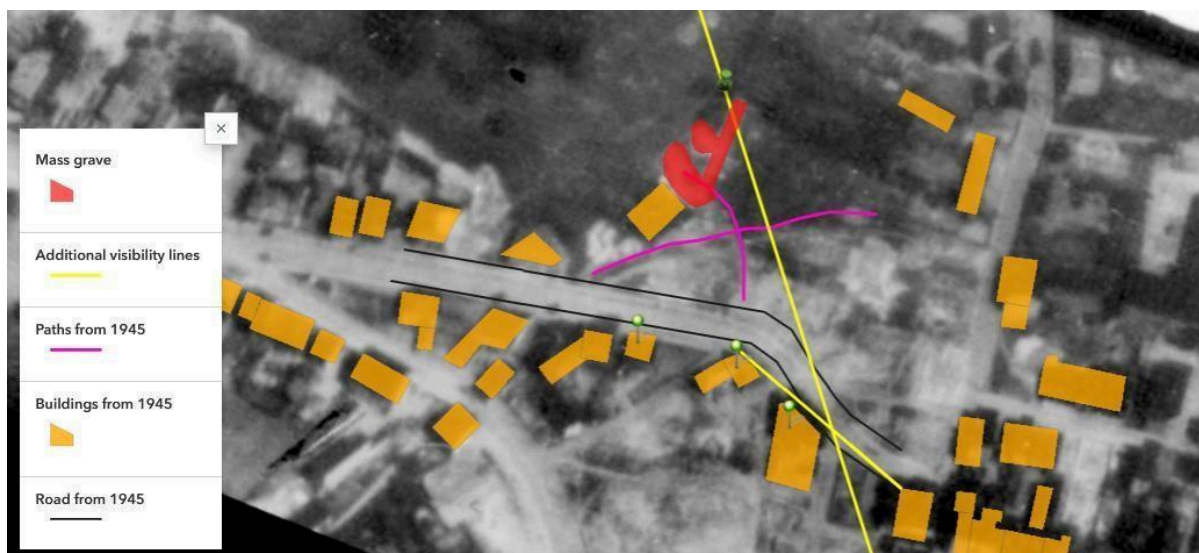
Rys. 6. Dodatkowe linie widoczności dodane do zdjęcia z 1945 roku.

Geoportal został uzupełniony o dodatkowe linie widoczności (Rys. 7).



Rys. 7. Geoportal został uzupełniony o dodatkowe linie widoczności. Jako podstawę wykorzystano ortofotomapę z 1945 roku.

Kolejnym krokiem była interpretacja zdjęcia lotniczego z 1944 roku. Udało się zidentyfikować dużą anomalię widoczną na ziemi. Prawdopodobnie są to masowe groby. **Linia widoczności pozwoliła określić miejsce, w którym zgromadzone były osoby ze zdjęcia.**



Rys. 8. Mapa końcowa. Pinezka oznacza miejsce wykonania zdjęcia. Jako podstawę wykorzystano ortofotomapę z 1944 roku.

Podsumowując, na podstawie opisanego powyżej procesu możliwe było wskazanie najbardziej prawdopodobnej lokalizacji grobu masowego na cmentarzu oraz wyznaczenie



obszaru do dalszych badań geofizycznych w terenie. Obszar został wyznaczony w terenie dzięki pomiarom geodezyjnym i w ten sposób wyniki interpretacji zdjęć lotniczych zostały przeniesione na topografię cmentarza żydowskiego.



Gr\_2\_1 527108.400 5643412.531  
Gr\_2\_2 527111.192 5643406.979  
Gr\_2\_3 527114.033 5643408.808  
Gr\_2\_4 527111.511 5643412.799  
Gr\_2\_5 527111.230 5643409.861  
utm34N

W rezultacie uzyskano szczegółowe współrzędne wskazujące obszar (wskazane na powyższym obrazku), pozwalające na identyfikację wyznaczonego obszaru w terenie.

Badania georadarowe i magnetometryczne przeprowadzono w terenie w obrębie zidentyfikowanego obszaru (proces badawczy i wyniki opisano poniżej).

## **Interpretacja badań geofizycznych z wykorzystaniem radaru penetrującego grunt**

### **Metoda**

Georadar (ang. ground-penetrating radar, GPR), to metoda geofizyczna o wysokiej rozdzielczości i mobilności. GPR używa wysokoczęstotliwościowych fal radiowych (zwykle

w zakresie 10 MHz do 2,6 GHz). Nadajnik i antena GPR emitują falę elektromagnetyczną w głąb ziemi. Gdy napotyka ona na pograżony w ziemi obiekt lub granicę między materiałami o różnych przenikalnościach elektrycznych, może zostać odbita, załamana lub rozproszona z powrotem na powierzchnię. Antena odbiorcza rejestruje zmiany w sygnale powrotnym. Zasady działania są podobne do sejsmiki, jednak metody GPR wykorzystują falę elektromagnetyczną zamiast akustycznej. Głębokość badania GPR może być ograniczona przez przewodność elektryczną podłoża, częstotliwość wysyłanego sygnału i moc promieniowania. Wzrost przewodności elektrycznej tłumi wprowadzoną falę elektromagnetyczną, co skraca głębokość penetracji. Wyższe częstotliwości nie penetrują tak głęboko jak niższe, jednak mogą zapewnić lepszą rozdzielczość. Analiza takich danych pomiarowych jest możliwa dzięki specjalistycznemu oprogramowaniu, które generuje obrazy przypominające przekroje przez badane medium. Przykłady takich przekrojów obejmują geologiczne warstwowanie gruntów i skał, struktury budowlane (np. dróg, mostów), podziemne przeszkody i pustki, zabytki archeologiczne, instalacje podziemne oraz wiele innych.

W omawianym przypadku badania zostały przeprowadzone przy użyciu urządzenia Mala RAMAC GPR z anteną ekranowaną o częstotliwości 500 MHz. Dane zostały zebrane wzdłuż 5 równoległych profili, po prawej stronie chodnika oraz 3 równoległych do siebie profili po jego lewej stronie. Profile zostały wykonane w odległości około 1 metra od siebie, natomiast szerokość oddzielającego je chodnika wynosiła 3 metry. Długości poszczególnych profili wynosiły około 22 metrów.

### **Przetwarzanie danych**

Przetwarzanie danych zostało wykonane z użyciem standardowych procedur o nieco różniących się parametrach dla kolejnych profili. Na podstawie danych geologicznych średnia prędkość fali elektromagnetycznej w badanych utworach została oszacowana na 0.13 m/ns. Zastosowana została następująca sekwencja przetwarzania:

- Move starttime – Jest to procedura mająca na celu korektę 0 sygnału. Wykonywana jest osobno dla każdej trasy poprzez przesunięcie czasu zerowego – na pierwsze wejście fali. Ma to na celu korektę głębokości. Dla profili WYS 1 korekta ta wynosiła -3.2 ns.
- Bandpassbutterworth 350-650 MHz – Jest to filtr pasmowy przepustowy Butterwortha, który ma na celu odcięcie sygnału o częstotliwościach znacznie wyższych lub niższych od sygnału nadawanego z anteny. W tym przypadku przyjęto

okno o szerokości 300 MHz, tak aby środkowa częstotliwość odpowiadała częstotliwości anteny.

- Subtract mean (dewow) – Filtr ten oblicza średnią wartość dla każdej trasy, korzystając z okna czasowego, które jest podane jako parametr filtra. Wyznaczona średnia wartość jest odejmowana od wartości centralnej, co pozwala na usunięcie dudnienia niskoczęstotliwościowego, zwanego jako "wowing".
- Subtract DC shift – Jest to procedura mająca na celu usunięcie szumów generowanych przez aparaturę i związanych z zasilaniem prądem stałym. Procedura ta jest niezbędna przy przetwarzaniu danych ze starszego typu anten. Okno czasowe zostało dobrane w taki sposób, aby ominąć część sygnału o wysokiej amplitudzie i skupić się jedynie na jego końcowym fragmencie, a więc od 15 do 60 ns.
- Background removal - Działanie tego filtra polega na usuwaniu tła, czyli szumów i innych zakłóceń, które nie są interesujące z punktu widzenia badania. Dzięki temu, uzyskane wyniki są bardziej precyzyjne i pozwalają na bardziej dokładne zobrazowanie struktury podłoża.
- Time cut – Zastosowany został również filtr wycięciowy, aby usunąć część zapisu, w której nie spodziewamy się już sygnału użytecznego, w omawianym przypadku wycięto sygnał poniżej 50 ns.
- Gain function - Normalizacja amplitudy sygnału w całym danych poprzez zastosowanie funkcji wzmocnienia na dla wszystkich tras.

Filtry te są niezwykle istotne w przetwarzaniu sygnału GPR, ponieważ umożliwiają one skuteczne usunięcie zakłóceń i poprawienie jakości uzyskanych wyników.

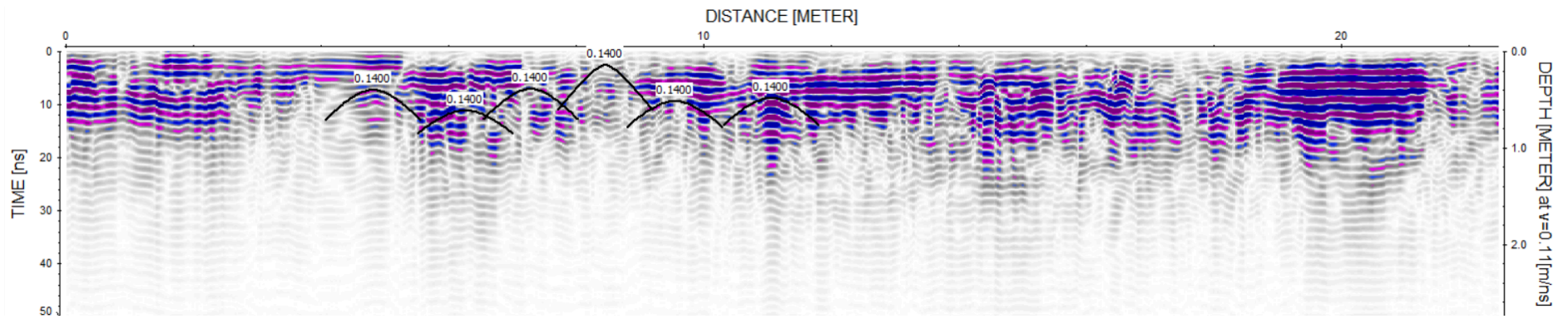
### **Przedstawienie wyników**

Na poniższych ilustracjach przedstawione są echogramy dla kolejnych profili oznaczonych jako OSW1\_01 - OSW1\_08. Jako pierwsze przedstawione są profile na wschód od chodnika (Rys. 1, Rys. 5), gdzie numeracja rośnie wraz z oddaleniem od niego. Następnie przedstawione są wyniki dla profili na zachód od chodnika (Rys. 6), gdzie również numeracja rośnie wraz z oddaleniem od przeszkody. Charakterystyczną cechą dla wszystkich omawianych profili jest różnica w parametrach geoelektrycznych ośrodka wzdłuż każdego z profili. Wyraźnie widoczne jest zwiększone tłumienie fali w początkowych częściach profili, w porównaniu z końcowymi. Granicę tę można wyznaczyć między 10, a 12 mb profilu. Ma to także wpływ na maksymalny zasięg penetracji, który jest większy, dla końcowej części badanych profili. Widoczne jest także silne zróżnicowanie pomiędzy profilami na wschód oraz na zachód od chodnika.

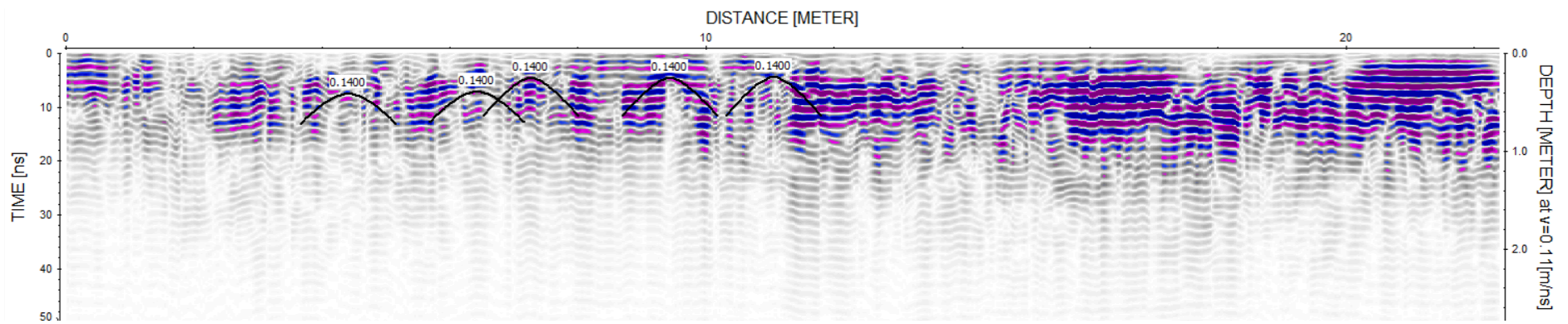
Oslabienie amplitudy sygnału występuje w przeważającej większości na profilach zlokalizowanych na wschód od chodnika (OSW1\_01-OSW1\_05) w początkowej części każdego z nich. Efekt ten jest najsilniejszy dla pierwszych 3 profili i słabnie w miarę oddalania się od chodnika. Może to mieć związek z odmiennym materiałem zalegającym na relatywnie niewielkich głębokościach. Takie wytłumienie sygnału jest związane z obszarem o obniżonej oporności. Mogą to być występujące w tym obszarze lokalnie mady, lub gliny, ale bardziej prawdopodobny jest sztucznie naniesiony inny materiał.

Na wszystkich profilach zaznaczone zostały hiperbole dyfrakcyjne, występujące dosyć licznie, jednak – dominują one w płytkich warstwach i są bardzo krótkie i lokalne. Zaznaczone hiperbole mają wyrysowane znacznie większe ramiona jedynie w celu większej czytelności. Istotne w interpretacji jest jedynie maksimum hiperboli. Większość z nich można przypisać do głębokości nie przekraczającej 1 m pod powierzchnią terenu. Głębokość ta jest szacowana na podstawie estymowanej średniej prędkości fali w ośrodku – więc możliwe są niewielkie odchylenia w zakresie głębokości. W niektórych przypadkach hiperbole występują także płycej. Znacznie powszechniej pojawiają się one w początkowej części profili po wschodniej stronie chodnika. Bardzo charakterystyczne jest grupowe występowanie hiperboli dyfrakcyjnych na niewielkim obszarze, co może świadczyć o silnie zmieniających się parametrach fizycznych na małym obszarze. Nieznaczne rozbieżności pomiędzy poszczególnymi profilami mogą wynikać z trudności pomiarowych. Należy mieć na uwadze, że odległość wzdłuż profilu jest określana z pomocą odometru (koła przyczepionego do anteny), który cechuje się pewną niepewnością pomiarową.

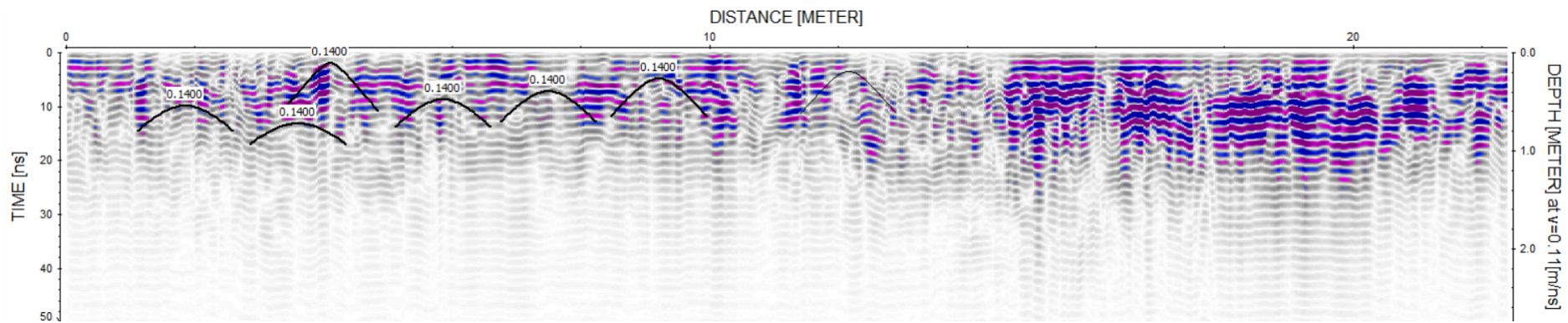
Dla profili oznaczonych jako OSW1\_01 oraz OSW1\_02 występuje nagromadzenie anomalii pomiędzy 4, a 12 metrem profilu, przy jednoczesnym braku wyraźnych zmian sygnału w dalszej jego części. Najsilniejsze anomalie są widoczne na profilu oznaczonym, jako OSW1\_03 i pojawiają się od samego początku profilu. W przypadku pozostałych dwóch profili po wschodniej stronie anomalie w początkowych ich częściach są mniej wyraźne niż w przypadku poprzednich profili, pojawią się z kolei inne w dalszej części. W tym przypadku należy mieć jednak na uwadze fakt, że dwa ostatnie profile prowadzone były w bezpośrednim otoczeniu drzew oraz krzewów.



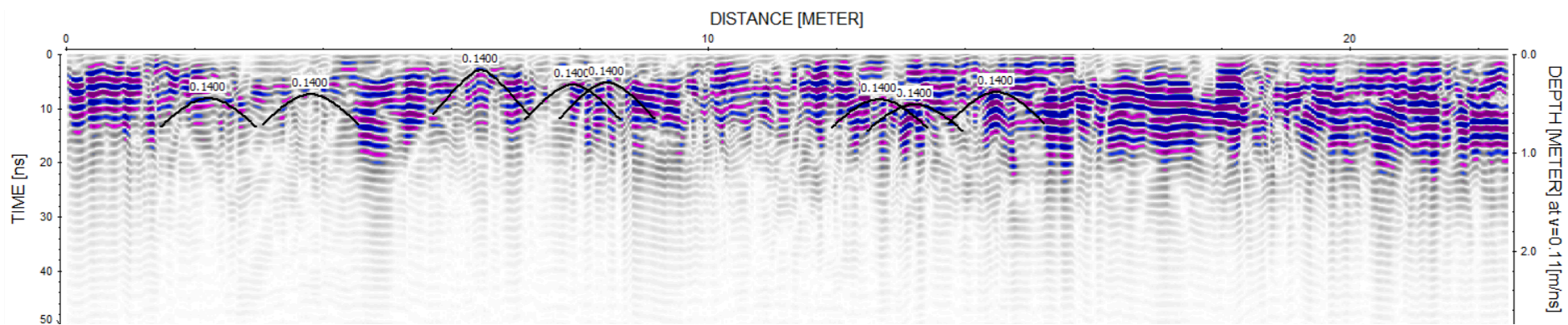
Rys. 9. Profil OSW 1\_01



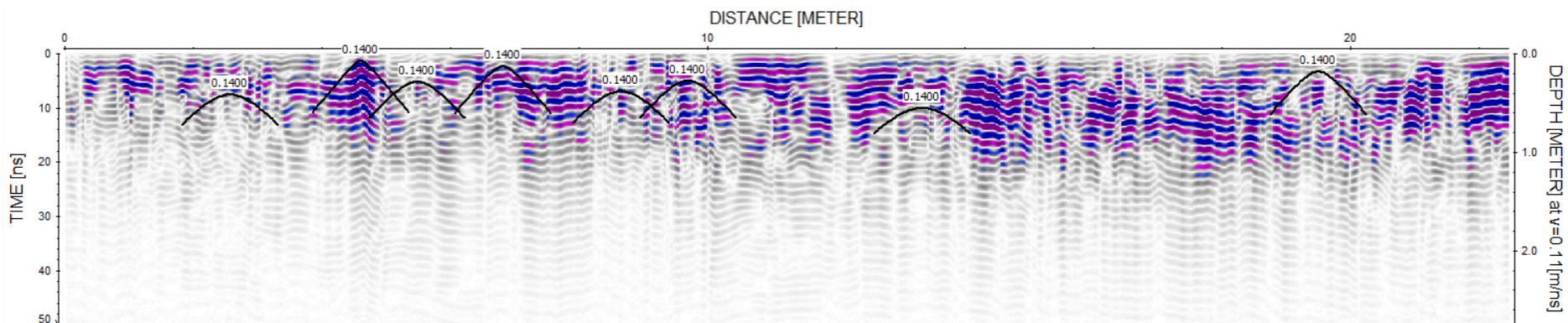
Rys. 10. Profil OSW 1\_02



Rys. 11. Profil OSW 1\_03

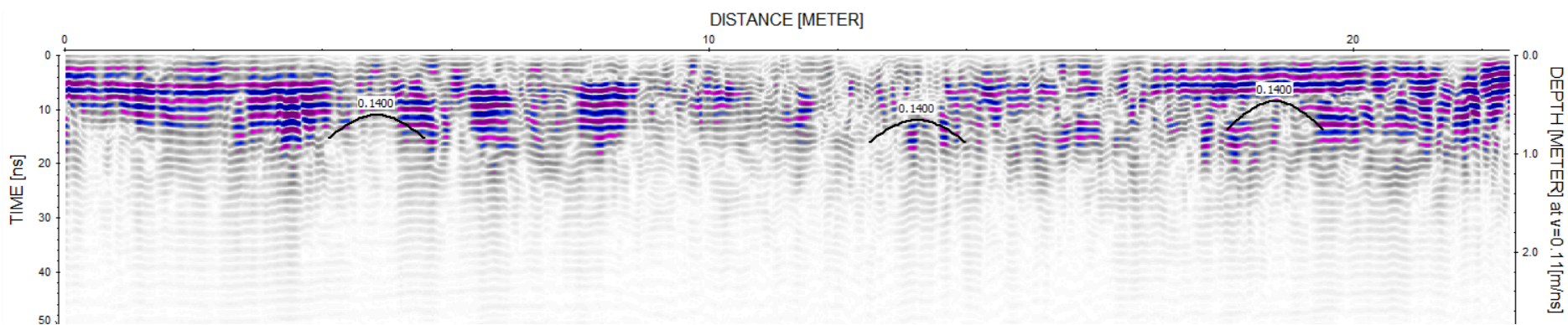


Rys. 12. Profil OSW1\_04

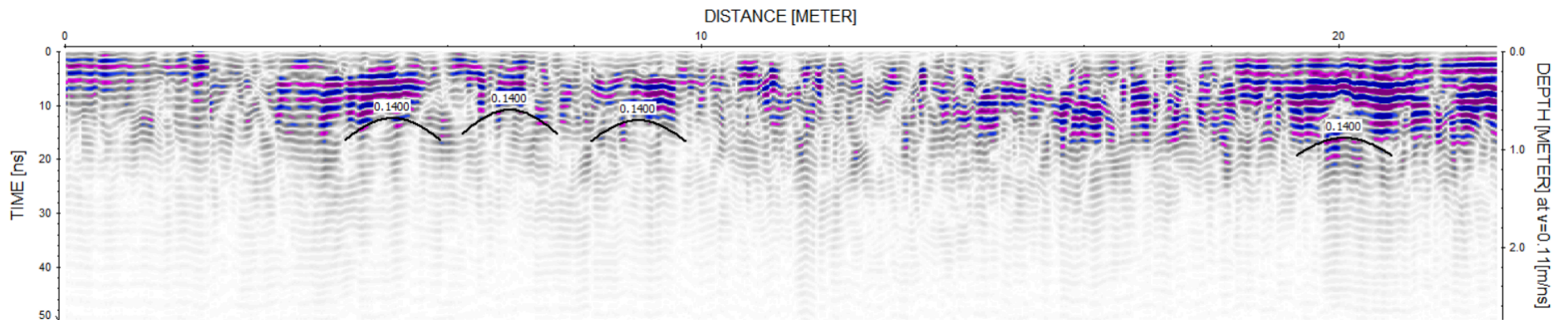


Rys. 13. Profil OSW1\_05

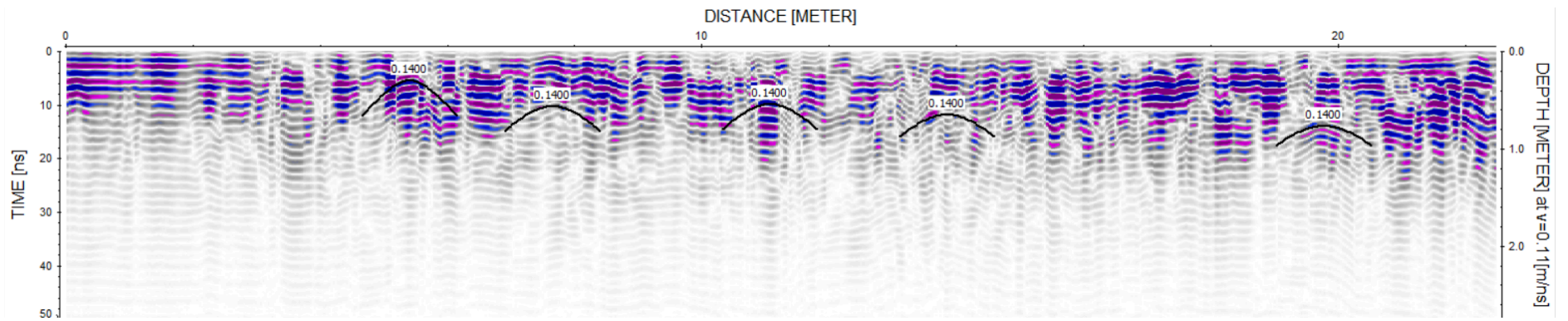
W przypadku profili wykonanych po drugiej stronie chodnika (OSW1\_06-OSW1\_08) nie występują tak silne zróżnicowanie w tłumieniu fali elektromagnetycznej na długości profilu. Jedynie w okolicach między 10, a 13 metrem w przypadku profili OSW1\_06 oraz OSW1\_07 pojawia się niewielki efekt. Także jeśli chodzi o występujące hiperbole dyfrakcyjne, pojawiają się one w znacznie mniejszej liczbie oraz nie tworzą zdecydowanych skupisk w przeciwieństwie do omawianych wcześniej.



Rys. 14. Profil OSW1\_06



Rys. 15. Profil echogramu OSW1\_07

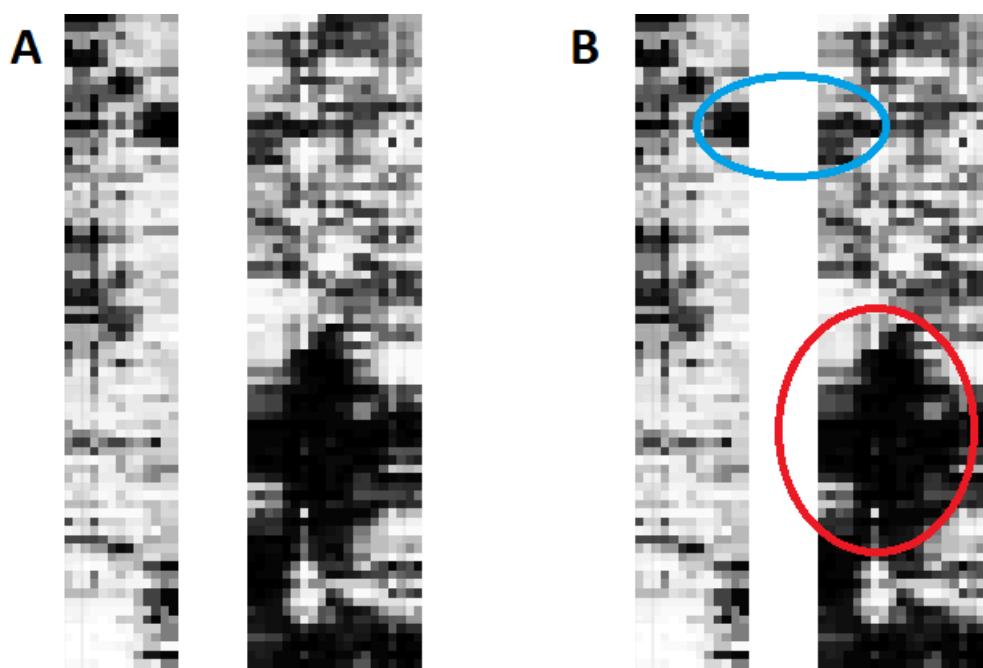


Rys. 16. Profil echogramu OSW1\_08



Na przetworzonych echogramach hiperbole dominują w bardzo płytkim zakresie, widoczne na surowych danych hiperbole z większych głębokości nie są już obserwowalne. Najprawdopodobniej są to wielokrotne odbicia, które zostały wyeliminowane podczas przetwarzania.

Jako podsumowanie interpretacji został wykonany obraz 3D, z którego wycięty został przekrój poziomy dla przedziału głębokości od 80 cm do 110 cm pod powierzchnią terenu. Obraz ten jest oczywiście uśredniony, ale pozwala uchwycić przybliżoną lokalizację najsilniejszych anomalii. Są one zaznaczone na poniższym rysunku (Rys. 17) czerwonym kółkiem. Niebieskim okręgiem z kolei zaznaczono drugi obszar występowania anomalii, ale jest ona znacznie mniej wyraźna i co bardziej istotne przecięta przez chodnik – więc trudno w jednoznaczny sposób określić jej pochodzenie.



Rys. 17. Uśredniony przekrój poziomy między profilami dla głębokości 80-110 cm poniżej poziomu gruntu. A - surowy obraz, B - obraz z zaznaczonymi anomaliami.

Ta licznie występujące płytkie hiperbole dyfrakcyjne, odpowiadające prędkością warstwom, w których się znajdują mogą świadczyć o lokalnych zmianach stałej dielektrycznej badanego

ośrodka. Mając na uwadze lokalizację badań – można utożsamiać zgrupowanie takich hiperboli dyfrakcyjnych z występowaniem miejsc pochówku. Niewielka głębokość może być związana ze stropem materiału, którym zasypywany był grób, różniące się od warstw otaczających, a następnie przykrytego płytką (50 cm?) jednolitą warstwą w ramach deniwelacji terenu.

## **Interpretacja badań geofizycznych przy użyciu magnetometru**

### **Opis metody**

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 reliktyw 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.

### **Przetwarzanie danych**

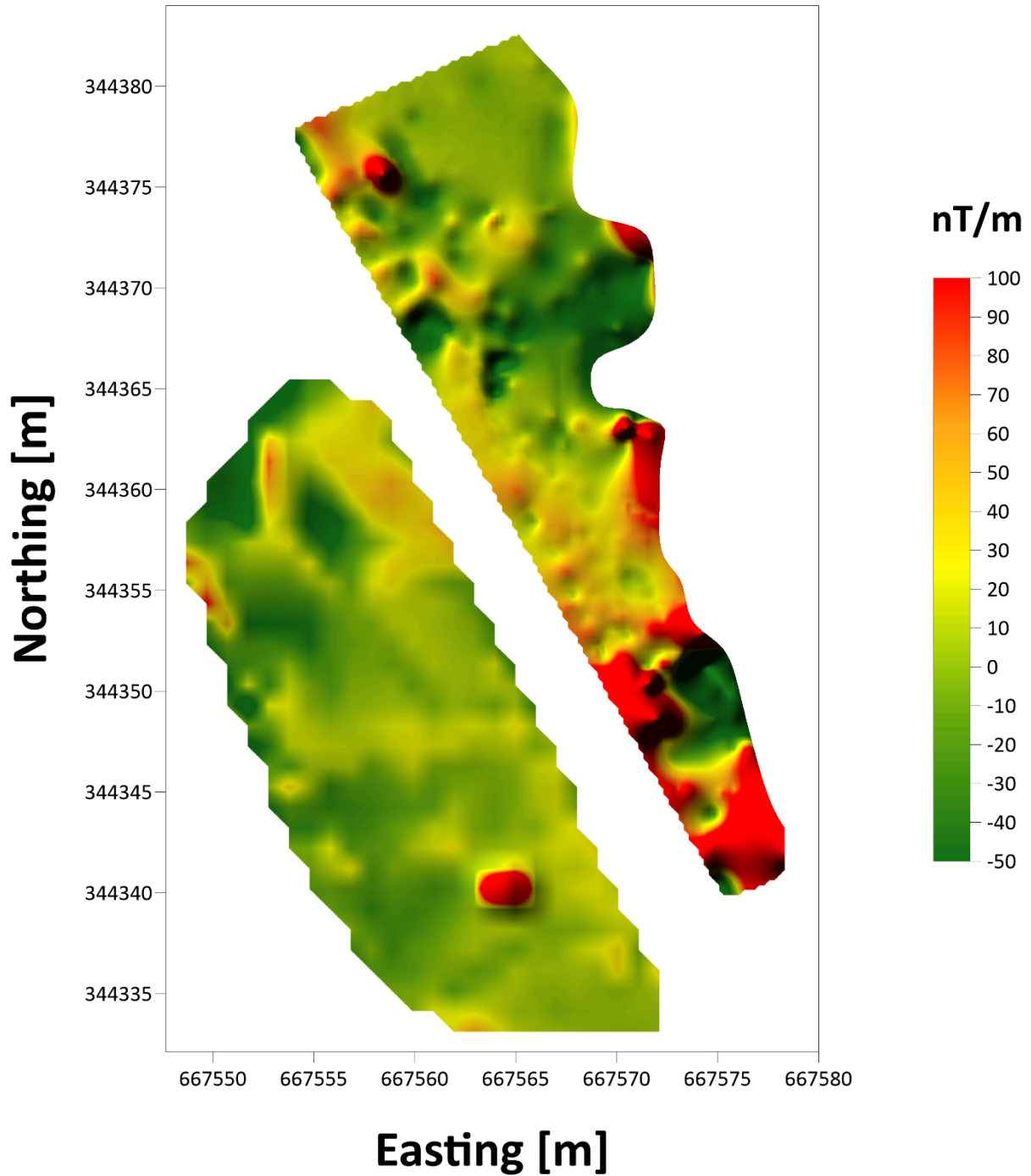
Pomiar został wykonany w quasi-regularnej siatce pomiarowej, z uwzględnieniem obszarów w których pomiar ten nie był możliwy do przeprowadzenia – gęste zarośla / drzewa. Przetwarzanie danych wykonane zostało z użyciem standardowych procedur. Do dalszego przetwarzania nie były uwzględniane pomiary zaburzone i przesterowane, oraz punktowe anomalie (tzw. szpilki). Za takie punktowe anomalie wybrane zostały punktu o wartościach przekraczających 500 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 czerwonym, natomiast o wartości ujemnej kolorem zielonym.

### **Przedstawienie wyników**

Badania wykonane zostały w dwóch bardzo blisko siebie położonych poligonach w bezpośredniej bliskości Cmentarza Żydowskiego w Ostrowcu Świętokrzyskim. Przeprowadzono je na dwóch poligonach badawczych, przedzielonych chodnikiem. Przedstawione zostaną one jednocześnie z zaznaczoną strukturą, która je rozdziela. Niestety, obszar badań stanowi wyzwanie dla tej metody badawczej. Znajduje się on w bezpośredniej bliskości metalowego ogrodzenia, które ogranicza obszar badawczy od wschodu, oraz w pobliżu metalowej ławki, która również oddziałuje na efekt pomiaru. Na kolejnych rysunkach (Rys. 18, Rys. 19) zestawione zostały wyniki przestrzennego rozkładu pionowego gradientu magnetycznego.

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 oraz ławka, skrajne wartości widoczne na mapie rozkładu gradientu pionowego pola magnetycznego należy utożsamiać właśnie z nimi. Natomiast z punktu widzenia poszukiwanego obiektu najbardziej perspektywiczny jest fragment o podniesionej wartości w centralnej części obszaru.

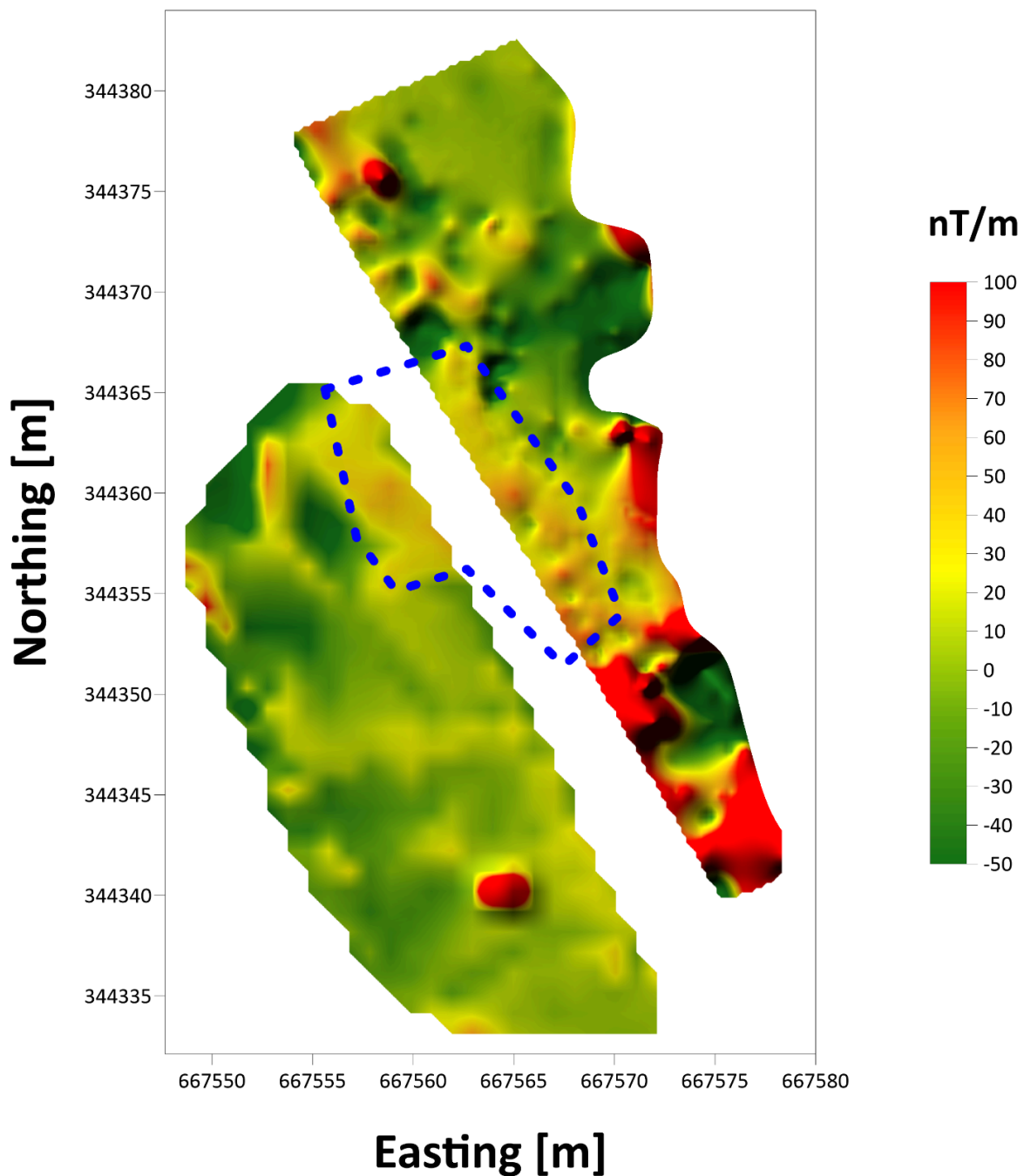
# Vertical Magnetic Gradient



Rys. 18. Rozkład pionowego gradientu pola magnetycznego na badanym obszarze w układzie współrzędnych PL1992.

Efekty magnetyczne pochodzące od grobów, lub pogrzebanych ludzkich szczątków są o rzędy wielkości mniejsze od efektów znajdujących się na powierzchni metalowych elementów. Poprawne wyznaczenie obszaru grobowego wydaje się niemożliwe, z uwagi na wspomniane wcześniej obiekty, ale opisana struktura w centralnej części obszaru zaznaczająca się po obu stronach chodnika daje pewne perspektywy, w szczególności, jeśli zestawimy ją z otrzymanymi wynikami z innych metod geofizycznych np. GPR. Poniższy rysunek (Rys. 19) przedstawia rozkład anomalii pionowego gradientu magnetycznego z zaznaczonym na niebiesko najbardziej perspektywicznym obszarem występowania masowego grobu.

## Vertical Magnetic Gradient



Rys. 19. Rozkład pionowego gradientu pola magnetycznego w pobliżu badanego obszaru, potencjalny obszar grobu masowego oznaczono kolorem niebieskim.

Podsumowując, bardzo trudno w tym przypadku wyznaczyć w sposób jednoznaczny granice poszukiwanych obiektów, jednak można z powodzeniem zaznaczyć obszary o dodatnim efekcie magnetycznym, które wprost korelują się z poszukiwanymi obiektami, co potwierdza ich występowanie, jednak uniemożliwia dokładne wykartowanie.

## Interpretacja badań konduktometrycznych

### Opis metody

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 - **H<sub>p</sub>**. 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 również 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 (**H<sub>p</sub>**), a polem rejestrowanym przez cewkę odbiorczą (**H<sub>s</sub>**). 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.

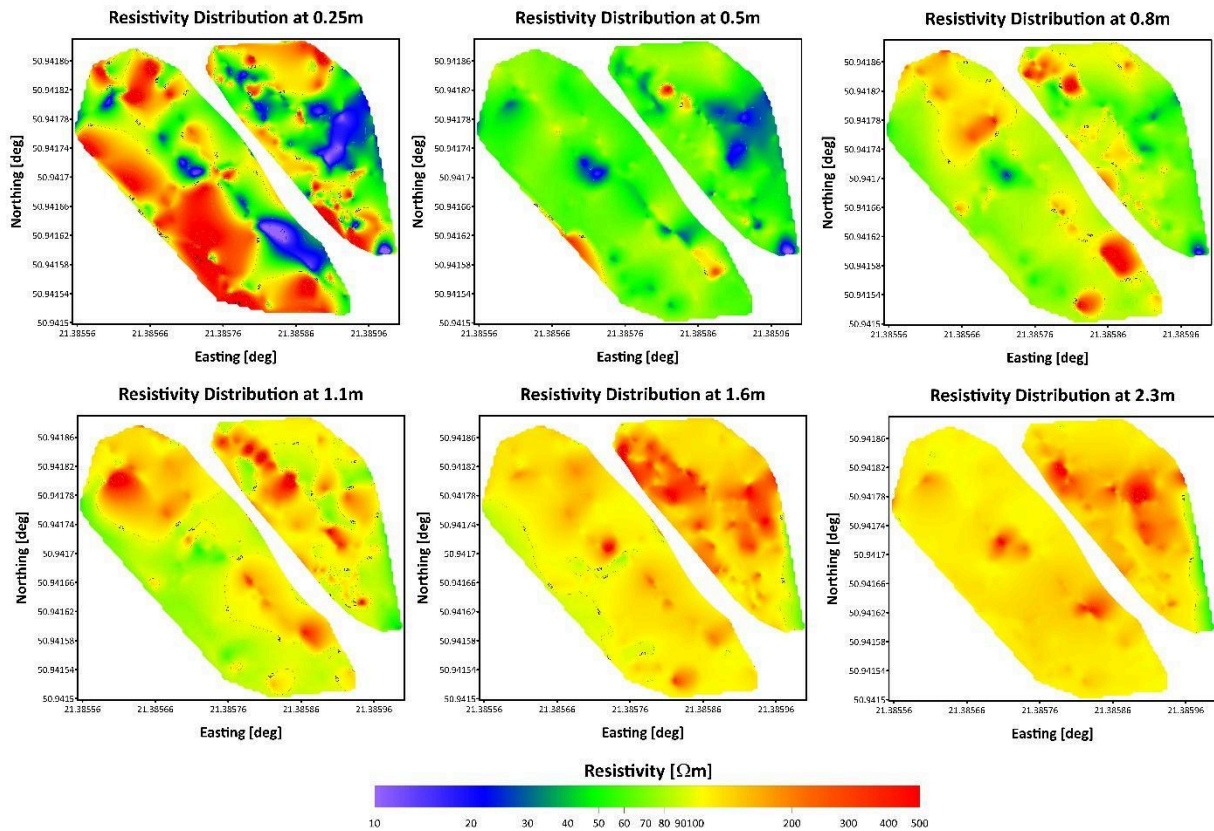
### Przetwarzanie danych

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 przewodności, 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 sondowanie. Dane zostały następnie interpolowane przy użyciu procedury krigingu, przy jednoczesnym wykluczeniu obszarów nieobjętych danymi. Na rysunkach miejsca o wysokich wartościach przewodności zaznaczono kolorem niebieskim, a miejsca o niskich wartościach przewodności kolorem czerwonym.

### **Przedstawienie wyników**

Badania przeprowadzono na dwóch bardzo blisko siebie położonych poligonach badawczych w bezpośrednim sąsiedztwie Cmentarza Żydowskiego w Ostrowcu Świętokrzyskim. Badania te zostały przeprowadzone na dwóch odrębnych poligonach badawczych przedzielonych chodnikiem. Zostaną one zaprezentowane wraz z zaznaczoną strukturą, która je rozdziela. Niestety obszar badań stanowi wyzwanie dla tej metody badawczej. Znajduje się on w bliskim sąsiedztwie metalowego ogrodzenia, które graniczy z badanym obszarem od wschodu, oraz w pobliżu metalowej ławki, co wpływa na wyniki pomiarów. Poniższy rysunek (Rys.20.) przedstawia wyniki rozkładu przestrzennego rezystywności elektrycznej na sześciu różnych głębokościach pod powierzchnią gruntu, odpowiednio (25 cm, 50 cm, 80 cm, 110 cm, 160 cm i 230 cm).

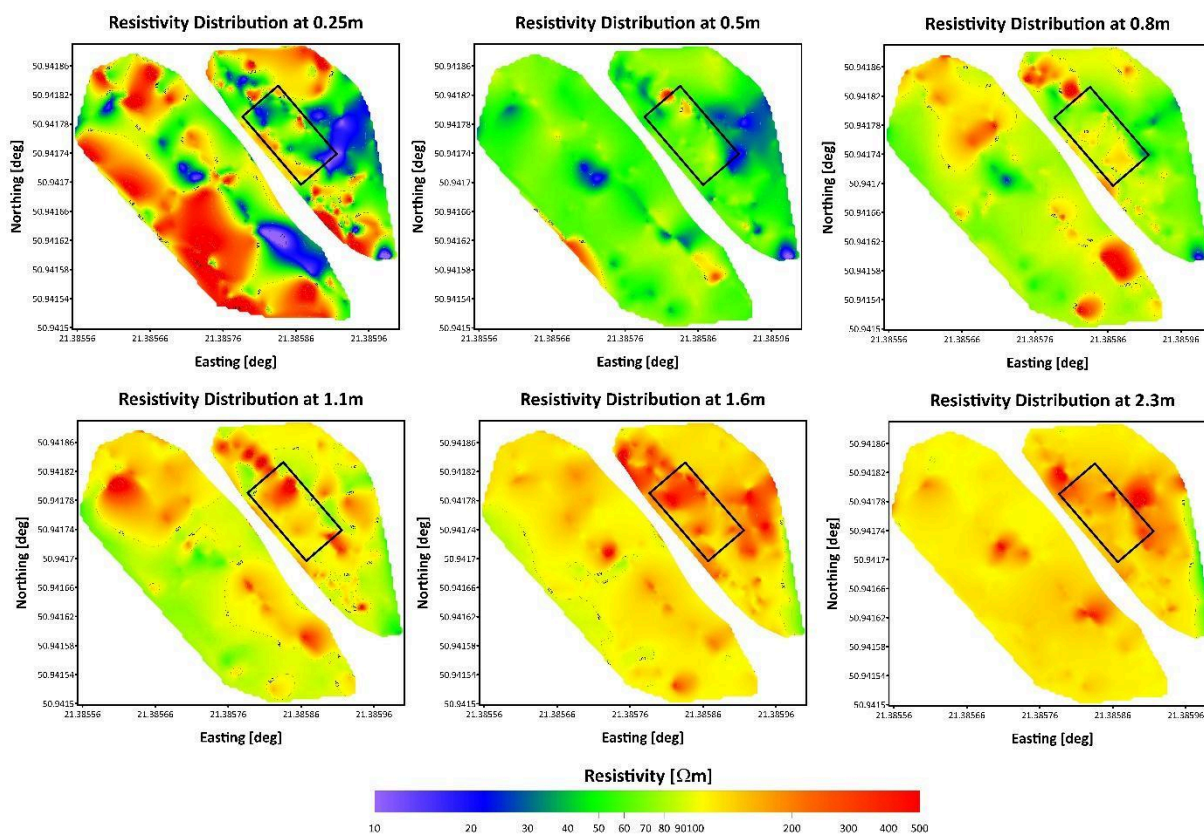


Rys. 20. Podsumowanie rozkładu oporności elektrycznej na sześciu różnych głębokościach pod powierzchnią gruntu.

Na podstawie analizy map rozkładu oporności rezystywności uzyskanych przy użyciu metody konduktometrycznej możliwe jest zidentyfikowanie obszarów charakteryzujących się znacznie wyższą opornością elektryczną niż otoczenie. Metoda ta pozwala na badanie zmian rezystywności podpowierzchniowej, co ma kluczowe znaczenie dla identyfikacji struktur o różnych właściwościach fizycznych. Jednak interpretacja wyników, zwłaszcza dla najpłytszych warstw, takich jak te 25 cm pod powierzchnią, stanowi wyzwanie. Wynika to z faktu, że na rezystywność w tej warstwie mogą wpływać struktury podpowierzchniowe i obiekty obecne na powierzchni, co prowadzi do znacznej zmienności wyników.

Kluczową kwestią w tej analizie jest wpływ metalowego ogrodzenia znajdującego się we wschodniej części badanego obszaru. Jego obecność powoduje zauważalne zmniejszenie oporności, które można zaobserwować na wszystkich mapach, niezależnie od głębokości pomiaru. Efekt ten, widoczny na wszystkich analizowanych głębokościach, jest artefaktem pomiarowym i nie powinien być brany pod uwagę przy interpretacji wyników.





Rys. 21. Podsumowanie rozkładu oporności elektrycznej na sześciu różnych głębokościach pod powierzchnią gruntu z obrysem zaznaczonym czarnym prostokątem.

Z perspektywy obiektu zainteresowania szczególną uwagę należy zwrócić na strefę podwyższonej oporności zlokalizowaną w centralnej części wschodniego obszaru. Na mapach przedstawiających głębokości poniżej 1 metra obszar ten wyróżnia się znacznie wyższą opornością elektryczną, co sugeruje obecność podziemnej struktury lub anomalii geologicznej o różnych właściwościach. Strefa ta została oznaczona czarnym prostokątem na rysunku powyżej (Rys.21.), podkreślając jej znaczenie dla dalszych badań.

Warto zauważyć, że w tym obszarze, ale na mniejszych głębokościach, dominuje spadek oporności. Zjawisko to może wskazywać na obecność wcześniej wykopanego miejsca, które od tego czasu zostało zasypane, potencjalnie zmieniając lokalne właściwości elektryczne gruntu. Interpretacja ta jest dodatkowo wspierana przez fakt, że inne części badanego obszaru nie wykazują znaczących zmian oporności wraz z głębokością. **W związku z tym koncentracja zmian oporności w tej konkretnej strefie jest specyficzna i sugeruje, że może ona skrywać interesujące struktury podpowierzchniowe, które wymagają dalszych, szczegółowych badań. Wskazuje to również na potencjalne znaczenie tej lokalizacji w poszukiwaniu obiektów o znaczeniu historycznym.**

Podsumowując, w tym przypadku trudno jest ostatecznie wyznaczyć granice poszukiwanych obiektów. Można jednak z powodzeniem wyróżnić obszary charakteryzujące się wyraźną zmianą oporności pionowej. Pomiary te potwierdzają ich obecność, ale uniemożliwiają precyzyjne mapowanie.

## **Podsumowanie wyników badań**

Po przeanalizowaniu i porównaniu wyników badań z całego procesu badawczego, zespół badawczy składający się z dr Sebastiana Różyckiego, dr Szymona Oryńskiego i Aleksandra Schwarza wskazał najbardziej prawdopodobną lokalizację grobu masowego na cmentarzu w Ostrowcu Świętokrzyskim, widoczną w danych omówionych powyżej. Wstępne wyniki ich badań z sierpnia 2024 r. zostały poparte wynikami testów konduktometrycznych przeprowadzonych w październiku 2024 r.