

TYTUŁ: Rozpoznanie historycznych warstw antropogenicznych metodami geofizycznymi uzupełnione analizami geochemicznymi

AUTOR: mgr inż. Mikołaj Łyskowski

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie, Katedra Geofizyki

PROMOTOR: dr hab. inż. Sławomir Porzucek

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie, Katedra Geofizyki

PROMOTOR POMOCNICZY: dr inż. Marta Wardas-Lasoń

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie, Katedra Ochrony Środowiska

SŁOWA KLUCZOWE:

georadar, tomografia elektrooporowa, podatność magnetyczna, stężenie metali, warstwa historyczna, geoarcheologia

STRESZCZENIE PRACY:

Metody geofizyczne pozwalają na kompleksowe badania stref przypowierzchniowych m.in. przy geologiczno-inżynierskim rozpoznawaniu podłoża, monitoringu środowiska, czy detekcji obiektów antropogenicznych. Najszybszymi, łatwymi do implementacji, nieobciążonymi dużymi wymaganiami dotyczącymi powierzchni terenu pomiarowego i często stosowanymi są: metoda georadarowa (*GPR*) i tomografia elektrooporowa (*ERT*). Odgrywają one istotną rolę w ukierunkowywaniu prac archeologicznych poprzez lokalizację i identyfikację podpowierzchniowych pozostałości obiektów, a szczególnie architektonicznych, archeologicznych i geologicznych. Metody te charakteryzują się wysoką dokładnością odwzorowania badanego ośrodka, możliwością interpretacji w geometrii 2D i 3D. W prezentowanej pracy poddano badaniom dwa obszary na terenie południowej Polski, zabytkowy rejon Starego Miasta w Krakowie oraz dwór w Nowym Siole. Kraków, jako licząca się metropolia centralnej Europy, leżąca na szlakach komunikacyjnych, intensywnie rozwijała się, czego głównym wyznacznikiem był handel i rzemiosło. Wiązało się z tym znaczne zapotrzebowanie na wodę. Z tych względów, miasto wykorzystywało i rozwijało skomplikowaną sieć cieków wodnych, młynów i kolektorów ściekowych, których przebieg do dziś nie został dostatecznie rozpoznany. Obecność w podłożu historycznych kolektorów wodno-ściekowych zarówno naturalnych, jak i stworzonych przez człowieka nie tylko zagraża istniejącym budynkom zabytkowym, ale również z ich udziałem ma miejsce migracja zanieczyszczeń. Dwór w Nowym Siole stanowi innego rodzaju przykład antropopresji i związanej z nią przekształceniem powierzchni terenu. Mimo założeń, w których miał stanowić obiekt mieszkalny, wielokrotnie jego funkcja ulegała zmianom. Był szpitalem, gospodarstwem rolnym i szkołą, a mimo to założenie cechuje bastionowy charakter z charakterystyczną dla takich budowli fosą obronną. Ten fakt sprawił, że pomiary w tym rejonie potraktowano jako poligon porównawczy do fos silnie zurbanizowanego Krakowa. W ten sposób weryfikowano możliwości wykorzystania metod geofizycznych

i geochemicznych do wykrywania pozostałości cieków wodnych, w warunkach słabszej antropopresji zarówno historycznej, jak i współczesnej. Jako uzupełnienie pomiarów geofizycznych wykorzystano nieinwazyjne, powierzchniowe metody obrazowania litologii podłoża, małośrednicowe otwory wiertnicze oraz geochemiczne analizy fizykochemicznych właściwości gruntów, w tym badaniami stężeń metali. Można na ich podstawie zidentyfikować obecność osadów związanych z funkcjonowaniem historycznych fos i młynówek.

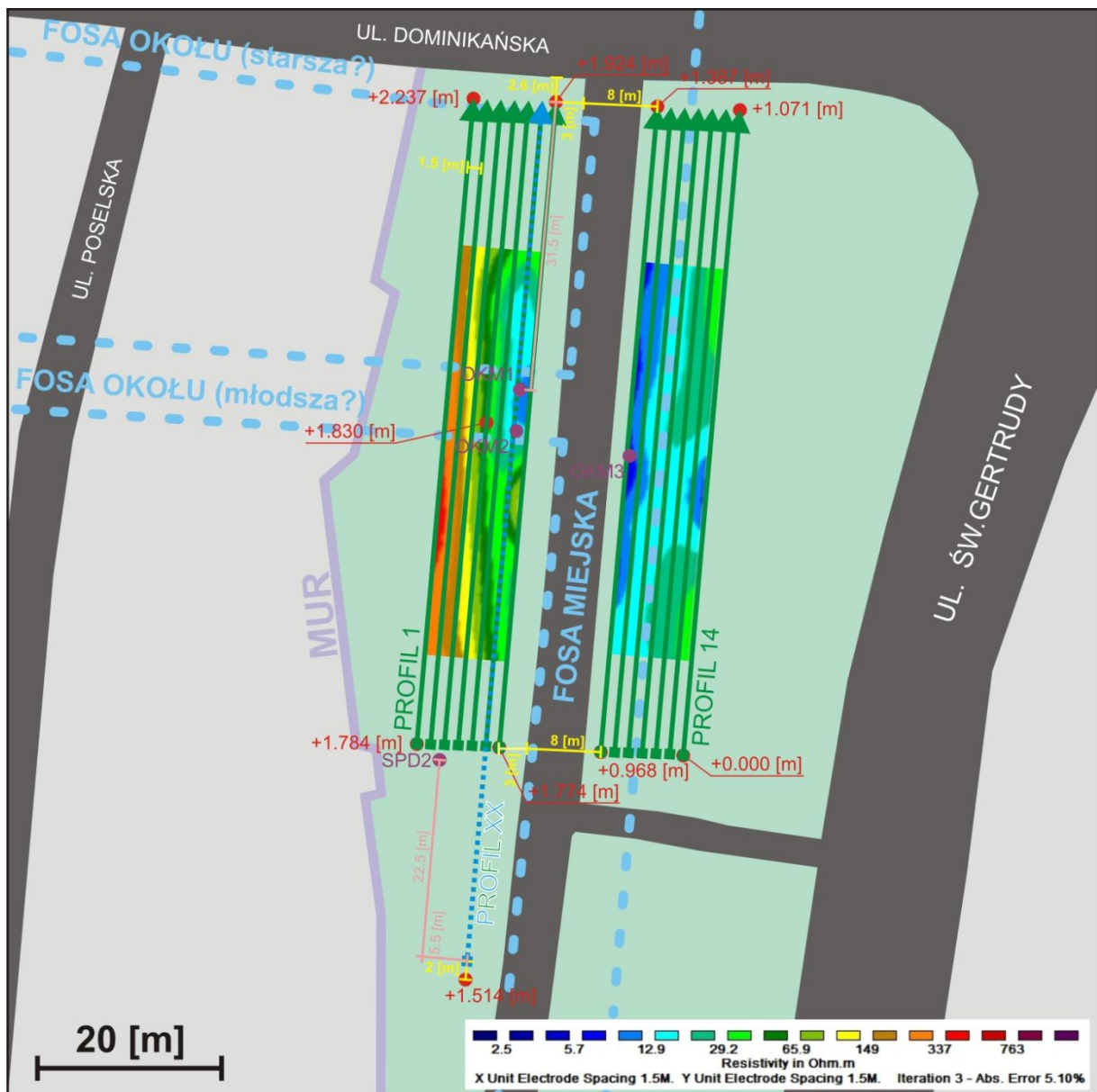
Wykonywane na terenie Plant Krakowskich w latach 2010-2011 rekonesansowe pomiary metodą georadarową wykazały duże tłumienie fali w ośrodku wysokoprzewodzącym, jakim są nasypy i osady fos, co spowodowało słabszy zasięg głębokościowy i większe zaszumienie obrazu. Prawdopodobnie było to spowodowane uzbrojeniem terenu i obecnością w gruntach podłoża licznych i nieregularnych przewarstwień w postaci namulów, będących pozostałością historycznych powodzi i podtopień. Z powyższych względów w rejonie Krakowa do badania podłoża włączono pomiary metodą tomografii elektrooporowej, mimo że jest ona obciążona wymaganiami dotyczącymi odpowiednio dużej powierzchni implementacji. Po spełnieniu tych warunków możliwe jest wykrywanie stref zawodnionych lub rozluźnień, rozpoznawanie budowy geologicznej ośrodka, czy wykrywanie zasypanych cieków wodnych (Zał. 1). Na terenie Nowego Sioła wykorzystano pomiary jedynie metodą GPR, które przyniosły bardzo dobre wyniki. W obydwu przypadkach możliwe było wyznaczanie przebiegu dawnych cieków wodnych, co stanowiło główny cel niniejszej pracy. Dzięki zastosowaniu małośrednicowych otworów wiertniczych i analizom geochemicznym próbek gruntów uzyskano niezbędne dane, uzupełniające pomiary powierzchniowe. W ten sposób udało się zweryfikować wyniki pomiarów geofizycznych i wyznaczyć lokalizację oraz przebieg fragmentów historycznych cieków wodnych. Tym samym można było stwierdzić, że mimo pewnej niedokładności i niejednoznaczności obrazów geofizycznych, z ich pomocą trafnie wskazano miejsca perspektywiczne do przeprowadzenia badań geoarcheologicznych. Makroskopowe rozpoznanie poszczególnych historycznych warstw umożliwiło określenie rodzaju i litologii gruntów je budujących. Z kolei pomiar podstawowych wskaźników fizykochemicznych (*pH*, *potencjału Eh*, *przewodności PEW*) oraz oznaczenie koncentracji metali pozwoliło na ocenę stopnia przekształcenia środowiska, z punktu widzenia dzisiaj obowiązujących normatywów. W analizie geochemicznej próbek gruntu przeprowadzono także, nietypowe w tym zastosowaniu, badanie podatności magnetycznej. Pomiar ten należy do puli metod badawczych geofizyki inżynierskiej i stosowany jest często do badania zanieczyszczenia środowiska na terenach zurbanizowanych. Poza metalami związanymi z produkcją powszechnie wykorzystywanych w historycznych miastach takich jak Kraków w okresie średniowiecza przedmiotów codziennego użytku (*Cu*, *Pb* oraz *Fe*) dla obszaru w Nowym Siole do mierzonych pierwiastków włączono także *Zn*. Celem tego było sprawdzenia, czy ma miejsce migracja do podłoża zanieczyszczeń antropogenicznych współcześnie wytwarzanych. W zestawie pomiarowym znalazł się także *Ni*, który obok *Fe* może wpływać na wartość podatności magnetycznej.

Na podstawie uzyskanych pomiarów interdyscyplinarnych i ich analiz można stwierdzić, że do rozpoznania i wyznaczenia miejsca do badań geoarcheologicznych na terenach mniej przekształconych przez człowieka jest wystarczająca metoda georadarowa, a w warunkach silnej antropopresji bardzo dobre rezultaty uzyskuje się dzięki pomiarom metodą elektrooporową. Struktury nieckowatego kształtu na obrazie georadarowym są odwzorowaniem koryta fos, które funkcjonowały na badanych obszarach. W metodzie elektrooporowej lokalizacja cieków wodnych ukazuje się poprzez niskooporowe anomalie „wcinające się” w wyskoooporowe warstwy zasypów. W przypadku, gdy obydwie metody przynoszą na danym obszarze

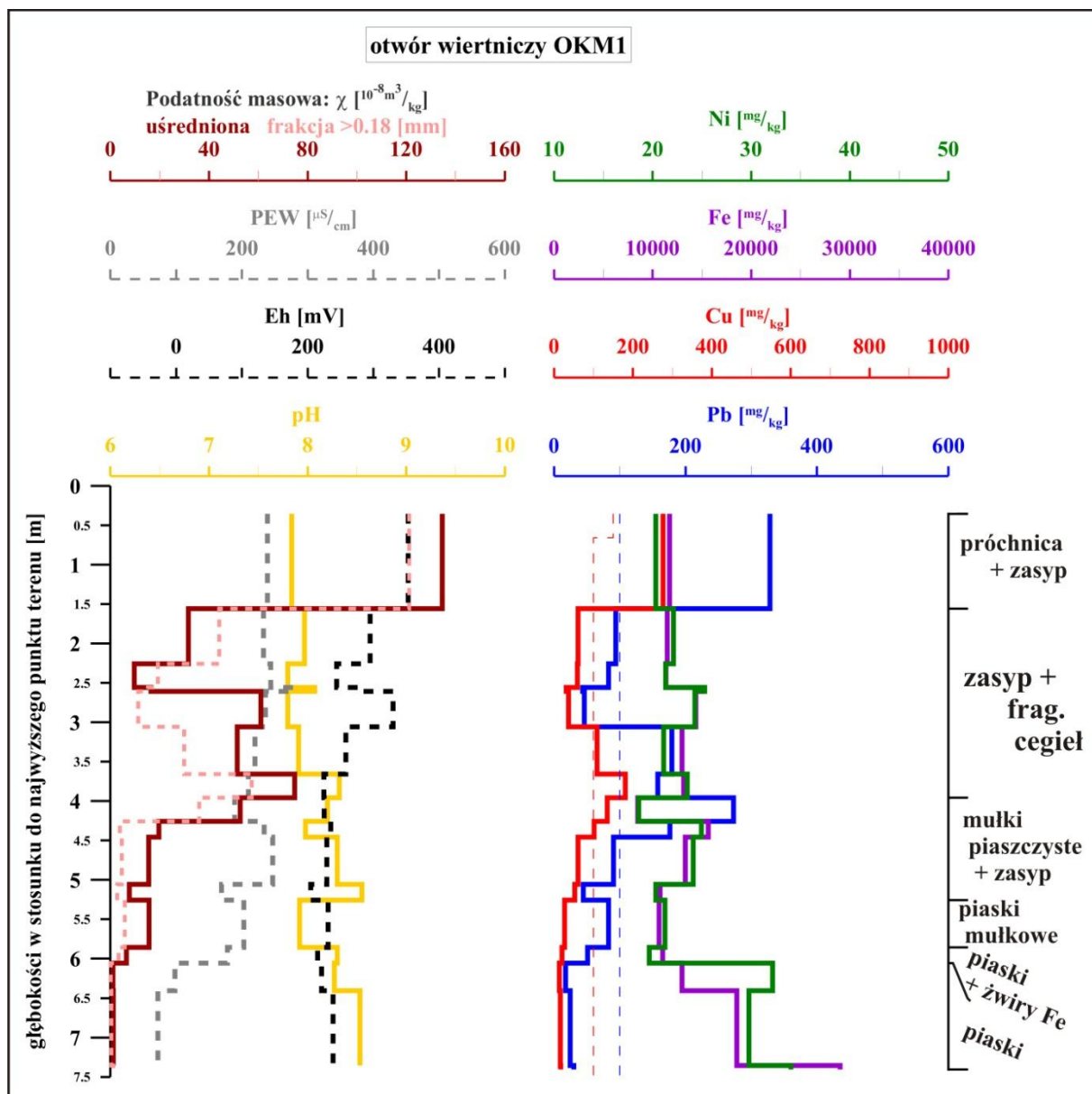
pozytywny wynik, obrazy geofizyczne uzupełniają się dając bardziej jednoznaczny, choć uproszczony obraz litologii ośrodka. W miejscach wskazanych do wykonania wierceń daje się także wykazać istnienie korelacji pomiędzy wartościami podatności magnetycznej, a zawartością metali pochodzenia antropogenicznego w pobranych z otworów próbkach gruntów. Tym samym metoda ta może stanowić wyznacznik dla selekcji próbek do dalszych badań geochemicznych (Zał. 2). Należy podkreślić, że z jej udziałem uzyskiwane wyniki są czytelniejsze, gdy pochodzą z ośrodków w mniejszym stopniu przekształconych antropogenicznie. Widoczne podobieństwa przebiegu zmienności linii wartości podatności magnetycznej i stężenia metali korelują się też dobrze ze zmierzoną wartością przewodności elektrolitycznej właściwej PEW. W Krakowie najczęściej warstwy średniowiecznych gruntów nadcalcowych charakteryzuje podwyższona i rosnąca wraz z głębokością zawartość ołowiu i miedzi antropogenicznego pochodzenia. Wyraźny spadek ich stężeń widać dopiero w gruntach rodzimych, które w Krakowie, w obrębie Plant stanowią piaski calcowe. Nikiel i żelazo, jako pierwiastki związane z procesami geogenicznymi tego typu tendencji nie wykazują. Na terenie Krakowa obserwowany jest spadek zawartości Cu i Pb w gruntach, gdy są one oddalone od głównych kolektorów ściekowych. Widoczne zmiany w ich stężeniach, wsparte zróżnicowaniem wartości wskaźników fizykochemicznych pozwalają na wskazanie granic między gruntami zasypowymi a osadami fos.

Konkludując można stwierdzić, że metody geofizyczne i geochemiczne stanowią przy zastosowanej w pracy metodyce wzajemnie uzupełniające się narzędzia pomiarowe. Zasadne jest zatem interdyscyplinarne podejście do badań geoarcheologicznych, rozbudowane w sposób przedstawiony w pracy. Tylko kompleksowa analiza geofizyczno-geochemiczno-litologiczna pozwala na rozpoznanie historycznych warstw antropogenicznych oraz wskazanie poziomów użytkowych oraz warstw zanieczyszczonych metalami.

ZAŁĄCZNIKI:



Załącznik 1. Mapa profili tomografii elektrooporowej przy ul. Dominikańskiej z nałożonym obrazem geoelektrycznym ośrodka na głębokości 5.06-6.57 m oraz szacunkowym przebiegiem koryt fos. Rozkład niskooporowej anomalii na przekroju głębokościowym pozwolił na precyzyjne wyznaczenie przebiegu, w tym przypadku, fosi Okołu (*młodszej?*) wpadającej do równoległej do profilowania podłoża fosi Miejskiej od strony wschodniej (*ul. Poselskiej*). Niskie wartości oporności do 20 Ωm wskazują na występowanie silnie zawodnionych utworów ilastych (*oporności w przedziale 1-100 Ωm*) lub piasków ze żwirami (30-225 Ωm).



Załącznik 2. Wykres zmian właściwości fizykochemicznych oraz zawartości metali w historycznych warstwach antropogenicznych odwiertu OKM1 przy ul. Dominikańskiej. Cienkie przerywane linie na wykresie oznaczeń metali stanowi standard jakości wg Dz.U.2002.165.1359 dla grupy B gruntów. Wartości stężenia porównanie z tym standardem pozwalają na wniosek, że w warstwach antropogenicznych są one przekroczone. Na wykresie widoczna jest korelacja pomiędzy zmianami wartości podatności magnetycznej oraz wartościami przewodnictwa, które wykazują charakterystyczny wzrost zasolenia wraz z głębokością oraz pojawieniem się zawadzionych osadów. Zmiany te korelują się one również ze zmianami zawartości metali pochodzenia antropogenicznego. Wskaźniki fizykochemiczne, pH i potencjał Eh nie wskazują na jednoznaczną i uwarunkowana określonym czynnikiem tendencję, a tym samym nie można na ich podstawie wyróżnić poszczególnych warstw litologicznych.