



Załącznik 1T

Opis metodyki przeprowadzonych prac badawczych w terenie

1	WIERCENIA BADAWCZE	111
1.1	WIERCENIA RĘCZNE	112
1.2	WIERCENIA MECHANICZNE RDZENIOWANE	112
1.3	WIERCENIA MECHANICZNE RUROWANE I NIERUROWANE.....	113
1.4	SONDOWANIA STATYCZNE CPTU.....	114
1.5	SONDOWANIE STATYCZNE DMT	116
1.6	ŚCINANIA SONDĄ OBROTOWĄ VANE (FVT).....	117
1.7	SONDOWANIA DYNAMICZNE DPL/DPH I DPSH	117
1.8	SONDOWANIE SONDĄ BAT	118
1.9	SONDOWANIA SPT	118
2	HYDROGEOLOGIA	119
2.1	PIEZOMETR –	119
2.2	WĘŻEŁ HYDROGEOLOGICZNY	120
2.3	TYMCZASOWA STUDNIA POMPOWA	120
3	BADANIA GEOFIZYCZNE	120
3.1	TOMOGRAFIA ELEKTROOPOROWA ERT	121
3.2	BIBLIOGRAFIA.....	124



Opis poniższych prac badawczych wraz z interpretacją dotyczy prac wykonywanych w terenie na etapie planowania przyszłej inwestycji.

1 Wiercenia badawcze

Wiercenia badawcze wykonywać można dostępnym sprzętem wiertniczym umożliwiającym wykonanie prac w każdych warunkach terenowych – od lekkiego sprzętu ręcznego, przez zestawy półzmechanizowane, do w pełni zmechanizowanych zestawów umieszczonych na samochodach ciężarowych i podwoziach gąsienicowych. W szczególnych przypadkach – budowa mostów, wiaduktów, nabrzeży itp. – odpowiednia technologia wykonania odwiertu musi umożliwić wykonanie wierceń do głębokości poniżej 25m poniżej poziomu terenu i więcej.

Prowadzone wiercenia mają na celu m.in.:

- ustalenie układu warstw podłoża (profilu litologicznego);
- ustalenie położenia warstw wodonośnych i poziomów piezometrycznych;
- pobór próbek gruntów do badań makroskopowych i laboratoryjnych;
- badania gruntu w dnie otworu.

Bezpośrednio po każdym wydobyciu świdra z otworu powinno być wykonywane badanie makroskopowe, którego celem jest sklasyfikowanie gruntu pod względem rodzaju, stanu i wilgotności. Wstępnie określone są także podstawowe właściwości fizyczne takie jak np.: stopień plastyczności. W miarę możliwości określana jest również geneza gruntu i jego wiek geologiczny.

W ramach wierceń badawczych prowadzone są również pomiary poziomów wody podziemnej oraz obserwacje poziomów piezometrycznych.

Z charakterystycznych warstw geologicznych pobierane są także próbki do dalszych szczegółowych badań laboratoryjnych. W zależności od ich przeznaczenia pobiera się różne rodzaje próbek:

o nienaruszonej strukturze NNS, o naturalnej wilgotności NW lub o naturalnym uziarnieniu NU (nowa klasyfikacja: A, B, C, 1, 2, 3, 4, 5).



1.1 Wiercenia ręczne

Wiercenie ręczne to najprostsza i najbardziej powszechna forma rozpoznawania płytkiego podłoża gruntowego, szczególnie w miejscach niedostępnych dla ciężkiego sprzętu polegająca na poborze prób gruntów z każdym obrotem świdra. Do wierceń ręcznych mogą być wykorzystywane różnego rodzaju zestawy świdrów (okienkowe, spiralne, rurkowe, uniwersalne) wraz ze sprzętem dodatkowym do przedłużania świdra, rury osłonowe itp. Średnica takich wierceń zawiera się w przedziale od 65÷90mm i jest dopasowana do ewentualnego rurowania otworu w przypadku napotkania zwierciadła wód podziemnych. Odwierty geotechniczne metodą ręczną wykonuje się standardowo do głębokości 5m – w dobrych warunkach gruntowych możliwe jest wykonanie otworu do głębokości 8÷10m. Innym urządzeniem do badań „ręcznych” jest małośrednicowy próbnik rdzeniowy tzw. RKS. Badanie to polega na pogrążaniu próbnika za pomocą młota wibracyjnego. Rdzenie pobierane są w sposób ciągły a ich długość (skok poboru próby) zależna jest od rodzaju próbnika i rodzaju gruntu.

1.2 Wiercenia mechaniczne rdzeniowane

Wiercenie rdzeniowe metodą wrzutową polega na wycinaniu prób rdzeniowych przy pomocy rdzeniówki o średnicy wiercenia np. 146mm i średnicy rdzenia 102mm. Zwiercanie górotworu odbywa się przy użyciu różnego rodzaju koronek widiowych oraz diamentowych stanowiących narzędzie urabiające rdzeniówki. Rdzeniówka wraz z zainstalowaną koronką wiertniczą, obracająca się na dnie otworu powodując zwiercanie pierścieniowej powierzchni gruntu / skały o polu powierzchni 85cm², pozostała część górotworu w postaci rdzenia w kształcie walca wsuwana jest do rury rdzeniowej wraz z postępowaniem wiercenia.

Poszczególne fazy procesu poboru prób z otworu wiertniczego:

1. Faza wycinania próby – rdzenia z calizny górotworu,
2. Faza magazynowania rdzenia na dnie otworu – w rurze rdzeniowej,
3. Faza urywania rdzenia – odspojenia go od calizny górotworu.



4. Faza transportu próbki z dna otworu na powierzchnię
5. Faza opróżniania rury rdzeniowej – próbnika.

Proces wiercenia rdzeniowego metodą wrzutową rozpoczyna się od doboru narzędzia wierzącego na podstawie wcześniejszych analiz i przewidywań budowy geologicznej utworów przewiercanych:

1. Dobór odpowiedniej koronki wiertniczej;
2. Przygotowanie odpowiedniej płuczki wiertniczej jako stabilizacji otworu wiertniczego oraz nośnik zwiercin z dna otworu na powierzchnię oraz chłodziwo dla narzędzia urabiającego;
3. Przygotowanie aparatu rdzeniowego, regulacja pompy płuczkowej, regulacja prędkości obrotu rdzeniówki;
4. Proces wiercenia;
5. Podciąganie rdzeniówki celem urwania / odspojenia zmagazynowanego w rurze rdzeniowej rdzenia od górotworu;
6. Transport rury wewnętrznej rdzeniówki wrzutowej
7. Przygotowanie rdzenia wiertniczego do poboru prób laboratoryjnych.

1.3 Wiercenia mechaniczne rurowane i nierurowane

Otwory badawcze wykonuje się wiertnicą mechaniczną metodą udarowo-obrotową za pomocą narzędzi wiertniczych jak świdry, szapa i szlamówka. Badania przeprowadza się w gwintowanych, stalowych rurach osłonowych o średnicy 6"/8". Rury osłonowe składające się z odcinków łączonych w kolumnę. Dla zapewnienia szczelności połączeń poszczególnych łączonych odcinków rur osłonowych, gwinty pokrywane są smarem silikonowym.

W rejonach gdzie w otworze rozpoznawczym nie nawiercono wody gruntowej kolejne „suche” otwory w tych rejonach wykonywać można bez konieczności orurowania. Dla płytkiego rozpoznania możliwe jest zastosowanie otwory mogą być wykonywane ręcznie



świdrami ręcznymi 3,5" oraz systemem RKS (krótkie rdzeniowanie), jednak w tym przypadku niemożliwe jest pobranie prób kat A.

1.4 Sondowania statyczne CPTu

Sondowanie statyczne CPTu polega na wciskaniu w podłoże gruntowe, ze stałą prędkością 20mm/s, specjalnej końcówki pomiarowej wraz z jednoczesnym pomiarem i rejestracją oporów generowanych podczas pogrążania sondy w grunt. Podstawowymi parametrami mierzonymi podczas badania są: q_c – opór na stożku sondy, f_s – opór tarcia na tulei ciernej, u_2 – nadwyżka ciśnienia wody (ponad stan hydrostatyczny) w porach gruntu. Podział na warstwy geotechniczne ustala się na podstawie pomierzonych parametrów sondowania oraz na podstawie nomogramów klasyfikacji gruntów wg. Robertsona 90 i Campanelli uwzględniając ich modyfikację do warunków polskich i regionalnych oraz na podstawie doświadczeń własnych i własnych wzorów interpretacyjnych. Pomiar ciśnienia w porach gruntu u_2 pozwala na uściślenie podziału na warstwy geotechniczne. Wartości parametrów wytrzymałościowych gruntów określono na podstawie danych zawartych w literaturze fachowej dotyczących zależności pomiędzy oporem na stożku q_c a stopniem zagęszczenia I_D , stopniem plastyczności I_L , modułem edometrycznym M_o (E_{od}) wytrzymałością na ścinanie w warunkach bez odpływu c_u .

Podczas interpretacji wyników korzystano z następujących korelacji:

Stopień zagęszczenia gruntów niespoistych określono w zależności od wartości pomierzonego parametru q_c w oparciu o założenia zgodne z formułą zaproponowaną przez Borowczyka.

$$I_D = 0,709 \log(q_c) - 0,165$$

gdzie:

q_c – Opór pod stożkiem pomierzony podczas badania CPTu.

Efektywny kąt tarcia wewnętrzznego dla gruntów niespoistych oszacowano na podstawie formuły DIN4094

$$\phi' = 23 + 13,5 \cdot \log(q_c)$$

Dla gruntów bardzo zagęszczonych wartości ϕ' korygowano zgodnie z nomogramem Schmertmana.[47]



Stopień plastyczności wyznaczono zgodnie z formułą zaproponowaną przez GeoprojektGdańsk.

$$I_L = -0.261 \cdot q_c + 0.706 \quad (\text{dla gruntów plastycznych})$$

$$I_L = -0.014 \cdot (q_c) + 0.237 \quad (\text{dla gruntów twardoplastycznych})$$

Edometryczny moduł ściśliwości określono na podstawie formuły zaproponowanej w Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne. Część 2: „Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego”.

$$E_{oed} = q_c \cdot \alpha \quad [\text{MPa}]$$

Przyjęto współczynnik:

$$\alpha = 2,0 \quad \text{dla gruntów organicznych}$$

Dla torfów **Ia** zaleca się skorygować wartość podaną na wykresie sondowania o 50%

Z uwagi na brak korelacji lokalnych wsp. α dla gruntów spoistych warstwy **II i III** wartości modułu ściśliwości wyznaczone na podstawie badania CPTu należy traktować jako orientacyjne. Uzyskane wyniki modułu E_{oed} dla namulów organicznych i gruntów próchnicznych w znacznym stopniu korelują z parametrami uzyskanymi podczas badań laboratoryjnych.

Dla oszacowania modułu ściśliwości gruntów niespoistych zastosowano formułę opracowaną przez Lunne T., Christoffersen H.P. (1985)

$$E_{oed} = q_c \cdot 4 \quad [\text{MPa}] \quad \text{dla } q_c < 10 \quad [\text{MPa}]$$

$$E_{oed} = q_c \cdot 2 + 20 \quad [\text{MPa}] \quad \text{dla } 50 > q_c > 10 \quad [\text{MPa}]$$

W oparciu o sondowanie CPTu wyznaczono również **wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu** c_u na podstawie formuły wg Lune, T., Kleven A. (1981).

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{Nk}$$

Do obliczeń przyjęto wartość parametru

$$Nk = 15 \quad \text{– dla glin plejstocentrycznych}$$

$$Nk = 20 \quad \text{– dla glin holocentrycznych}$$

$$Nk = 25 \quad \text{– dla osadów organicznych}$$

Na podstawie literatury technicznej wartość współczynnika 'Nk' określa się w przedziale 10-19 przy czym dla gruntów organicznych wartości te są nieco większe.

Przedstawione w niniejszym opracowaniu formuły interpretacyjne należy traktować jako propozycję autorów. Zwraca się uwagę, że podstawową wartością pomierzoną jest parametr **q_c** ,



fs i u2. Ostateczna decyzja w zakresie zastosowanie parametrów wyprowadzonych dla potrzeb obliczeniowych należy do projektanta konstruktora sporządzającego projekt geotechniczny przedmiotowej inwestycji.

1.5 Sondowanie statyczne DMT

Sondowanie statyczne dylatometrem płaskim DMT polega na pomiarze ciśnienia gazu działającego na membranę na wybranych głębokościach podczas pogrążania łopatk dylatometrów w podłoże gruntowe. Najczęściej wykonuje się dwa odczyty, tj. A i B. Odczyt A odpowiada wartości ciśnienia gazu otrzymanej w początkowej fazie ruchu membrany (przesunięcie środka membrany o 0,05mm), prowadzącej do kontaktu z otaczającym gruntem. Drugi odczyt (B) wskazuje wartość ciśnienia gazu uzyskaną przy dodatkowym wychyleniu środka membrany w kierunku gruntu o 1,05 mm (łącznie 1,1mm). Po wykonaniu odczytów A i B można przeprowadzić trzeci odczyt C, odpowiadający ciśnieniu gazu po powrocie membrany do jej początkowej pozycji osiąganego przy odczycie parametrów. Wartości odczytów A, B i C podlegają skorygowaniu ze względu na wpływ oporu bezwładności membrany, co pozwala na wyznaczenie odpowiadających im ciśnień p_0 , p_1 , p_2 . Ciśnienia te razem z obliczoną wartością składowej pionowej efektywnego naprężenia (σ'_{vo}) i wartością ciśnienia wody w porach (u_0) oszacowanego w warunkach in situ służą do wyznaczenia następujących wskaźników (Marchetti 1980, Lutenegeger i Kabir 1988):

- Wskaźnik materiałowy (I_D)
$$I_D = f(A, B, u_0) = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$$
- Wskaźnik naprężenia bocznego (K_D)
$$K_D = f(A, u_0, \sigma'_{vo}, B) = (p_0 - u_0) / \sigma'_{vo}$$
- Moduł dylatometryczny (E_D)
$$E_D = f(A, B) = 34,7 (p_1 - p_0)$$
- Wskaźnik ciśnienia wody w porach (U_D)
$$U_D = f(A, C, u_0, B) = (p_2 - u_0) / (p_0 - u_0)$$



Do określenia rodzaju gruntu na podstawie wyników badań dylatometrycznych wykorzystywany jest nomogram opracowany przez Marchettiego i Crappa (1981). Interpretację wyników badań przeprowadza się na podstawie zależności wskaźnika materiałowego (I_D) do modułu dylatometrycznego (E_D) w skali log-log. W przypadku gruntów mineralnych, oprócz podziału gruntu na rodzaje, możliwe jest określenie ich stanu i wybranych parametrów jak C_u , ϕ' .

1.6 Ścinania sondą obrotową VANE (FVT)

Badania wykonuje się zgodnie z normą ISO/DIS 22476-9. Dla uniknięcia błędów pomiaru badania VANE należy przeprowadzić z wykorzystaniem elektronicznego systemu pomiarowego ze stałą prędkością ścinania i automatycznym zapisem pomiaru. Badanie to polega na pogrążaniu buławy ze schowaną końcówką krzyżakową na żądaną głębokości za pomocą np. siłownika hydraulicznego. Po uzyskaniu głębokości pomiarowej końcówka pomiarowa tzw. Krzyżak jest mechanicznie wysuwany z buławy na głębokości ok. 30cm z pomocą żerdzi wewnętrznych (popychaczy). Wykorzystując elektroniczne urządzenie wymuszany jest obrót końcówki pomiarowej ze stałą prędkością. Równolegle rejestrowany jest moment ścinający potrzebny do wykonania obrotu żerdzi i końcówki z zachowaniem stałej prędkości ścinania. System komputerowy rejestruje maksymalny moment ścinający. Po korekcie uwzględniającej opór żerdzi wewnętrznych wyliczana jest wartość wytrzymałości na ścinanie in-situ. Po zakończeniu badania – wykonaniu pełnego obrotu, końcówkę pomiarową podnosi się w taki sposób aby skrzydełka krzyżaka schowały się wewnątrz buławy (osłony krzyżaka). Następnie całą kolumnę wciska się na kolejną głębokość pomiarową.

1.7 Sondowania dynamiczne DPL/DPH i DPSH

Sondowanie dynamiczne służy do oceny stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych. Badanie polega na wbijaniu kolumny żerdzi zakończonych końcówką stożkową o znormalizowanych wymiarach przy użyciu odpowiedniego ciężaru zrzucanego z normowej wysokości. Parametrem sondowania jest liczba uderzeń ubijaka sondy potrzebna do



zagłębienia żerdzi na odcinku 10 cm sondowania (DPL/DPH) i 20cm sondowania DPSH. Na podstawie liczby uderzeń oblicza się, wg wzoru empirycznego, stopień zagęszczenia I_D gruntów niespoistych. Sondowania dynamiczne lekkie DPL wykonano dla trasy głównej i dróg dojazdowych oraz serwisowych, natomiast dla obiektów inżynierskich wykonano sondowania DPH i DPSH.

W celu interpretacji sondowań dynamicznych stosowano następujące formuły:

- Dla sondowań DPL / DPSH – wg PN-B-04452/2002
- Dla sondowań DPH – wg DIN 4094/12-1990

Dopuszcza się stosowanie zamiennych korelacji pomiędzy parametrem pomierzonym N_{10} a stopniem zagęszczenia pod warunkiem spełnienia warunków brzegowych stosowania danej formuły interpretacyjnej.

W interpretacji dla gruntów nawodnionych uwzględniano występowanie zwierciadła wody podziemnej.

1.8 Sondowanie sondą BAT

Sondowanie sonda BAT wykonuje się w celu określenia in situ ciśnienia porowego oraz określenia przepuszczalności hydraulicznej gruntu dla wyznaczenia współczynnika filtracji. Sonda BAT (GeoN) jest urządzeniem pół automatycznym, które po przeprowadzeniu całej procedury badawczej (umieszczenie próbnika (końcówki sondy) w gruncie oraz wykonanie odczytu za pomocą automatu) pozwala na automatyczne określenie współczynnika filtracji k .

1.9 Sondowania SPT

Badanie sondą SPT polega na określeniu oporu gruntu w dnie otworu wiertniczego za pomocą dynamicznie zagłębianego próbnika w postaci dzielonego cylindra i otrzymanie naruszonych prób do badań. Próbnik należy zagłębiać w gruncie przez opuszczanie młota o masie 63,5 kg na kowadło lub podbabnik z wysokości 760 ± 10 mm. Liczba uderzeń $N(30)$ konieczna do osiągnięcia zagłębienia próbnika na głębokość 30 cm (mierzona po jego



wstępnym zagłębieniu na głębokość 15cm) jest oporem zagłębiania. Przy oznaczaniu stopnia zagęszczenia badanych gruntów zastosowano współczynniki odpowiednie dla danej głębokości (zgodnie z EN-ISO 22476-3:2005):

3,0-4,0 m $\lambda=0,75$

4,0-6,0 m $\lambda=0,85$

6,0-10,0 m $\lambda=0,95$

>10,0 m $\lambda=1$

2 Hydrogeologia

2.1 Piezometr –

Piezometr – punkt pomiarowy do monitorowania wahań zwierciadła wody podziemnej oraz do poboru wód podziemnych na cele monitoringu chemicznego (zanieczyszczenie).

Piezometr składa się z rury podfiltrowej (z reguły 0,5m), części filtrowej (filtra studziennego) oraz odcinka rury nadfiltrowej. Dodatkowo piezometr w części nadziemnej obudowuje się odpowiednią obudową do piezometrów PCV lub stalową (zależnie od potrzeb) zamykaną na kłódkę. Piezometr zabudowuje się podczas wiercenia w rurach osłonowych.

Projekt techniczny piezometru oraz metodyka wykonania piezometrów należy określić w projekcie robót geologicznych, który zatwierdza odpowiedni organ administracji geologicznej.

Po zatwierdzeniu projektu robót geologicznych i wykonaniu piezometrów opracowuje się inną dokumentację geologiczną i oddaje do przyjęcia przez ten sam organ administracji geologicznej.

Rodzaj piezometrów zależy od ich przeznaczenia tzn. czy są to punkty tymczasowe (do likwidacji po wykonaniu zadania) czy może są to punkty długookresowe. Dla krótkiego okresu użytkowania dopuszcza się wykonanie piezometrów jako rury PCV z filtrem (rura perforowana) owiniętym siatką studniarską, którą należy po obsadzeniu obsypać odpowiednim materiałem piaszczystym (żwirek). W przypadku długookresowych punktów pomiarowych należy instalować piezometry PCV ze specjalnym gotowym filtrem stałym (okleina żwirowa odcinka perforowanego piezometru lub okładzina żwirowa typu PAC – rolę filtra pełni żwir kwarcowy umieszczony w przestrzeni pierścieniowej pomiędzy dwoma rurami perforowanymi).



2.2 Węzeł hydrogeologiczny

Węzeł hydrogeologiczny jest to system min. 3 sztuk piezometrów wraz ze studnią pompową, monitorujących wahania zwierciadła wody podziemnej podczas próbnego pompowania wód podziemnych ze studni pompowej w celu określenia rzeczywistego współczynnika filtracji warstwy wodonośnej oraz zasięgu leja depresji.

Węzeł wykonuje się w ramach docelowej dokumentacji hydrogeologicznej dla celów odwodnienia wykopu otworami wiertniczymi, najczęściej dla projekcie obudowy wykopu, którego poziom projektowany jest poniżej lub w poziomie zwierciadła wody podziemnej.

Schemat piezometrów oraz studni pompowej, ilość piezometrów w węźle należy określić w projekcie robót geologicznych, który w pierwszej kolejności zatwierdza Inwestor i po akceptacji zatwierdza go odpowiedni organ administracji geologicznej. Z wykonania węzła oraz pomiarów terenowych opracowuje się odpowiednią dokumentację hydrogeologiczną, która podlega tej samej procedurze zatwierdzającej.

2.3 Tymczasowa studnia pompowa

Tymczasową studnię pompową stanowi piezometr z gotowym filtrem stałym tzw. klejona okładzina żwirowa odcinaka perforowanego.

3 Badania geofizyczne

Badania geofizyczne umożliwiają m.in.. określenie ciągłości warstw ośrodka gruntowego w obszarach pomiędzy wierceniami i sondowaniami statycznymi. Cel badań geofizycznych musi zostać określony przed rozpoczęciem badania, aby odpowiednio dostosować metodykę prowadzenia pomiaru.

Badania geofizyczne wykonywane na potrzeby geologii inżynierskiej można podzielić na grupy:

- **Badania geoelektryczne** - analiza rozchodzenia się prądu elektrycznego w badanym ośrodku pozwalająca na m.in. wykrywanie granic geologicznych



i geotechnicznych, określania rezystywności gruntu, określenie zwierciadła wód, poszukiwanie zasięgu zanieczyszczeń oraz wykrywania obiektów podziemnych.

- **Badania sejsmiczne** – analiza propagacji sztucznie indukowanych fal sejsmicznych w badanym ośrodku pozwalająca na m.in. wyznaczanie granic geologicznych, nieciągłości, poziomów wód gruntowych, zmian zagęszczenia, zjawisk osiadań i wykrywania obiektów podziemnych. Fale ulegają załamaniu, odbiciu i dyfrakcji. Zmiana parametrów ośrodka gruntowego wpływa na prędkość fali i jej tłumienie.
- **Badania georadarowe** - analiza zakłóceń odbitego sygnału fali elektromagnetycznej w badanym ośrodku pozwalająca na m.in. wyznaczanie granic geologicznych i geotechnicznych, zjawisk osiadań gruntu, pustek, wykrywanie obiektów podziemnych i poszukiwania kabli, rur lub kolektorów.
- **Badania elektromagnetyczne** - analiza zaburzenia indukowanego pola elektromagnetycznego w badanym ośrodku pozwalająca na określenie zasięgu zanieczyszczenia gruntu, lokalizowanie miejsc filtracji oraz wykrywanie obiektów podziemnych.
- **Badania mikrograwimetryczne** - analiza zmian przyciągania ziemskiego pozwalająca na znajdowanie rozluźnień i stref osłabienia podłoża oraz wykrywanie pustek. Najczęściej stosowane na terenach górniczych, ale również do lokalizacji podziemnych pomieszczeń, tuneli, krypt.

Najczęściej wykonywane na potrzeby geologii inżynierskiej są badania elektrooporowe, opisane szerzej poniżej.

3.1 Tomografia elektrooporowa ERT

Tomografia elektrooporowa ERT to metoda płytkiej geofizyki, najczęściej używana do wydzielenia warstw i określenia litologii podłoża gruntowego, określenia stabilności skarp, lokalizowania miejsc składowisk odpadów lub występujących zanieczyszczeń, a także struktur antropogenicznych (Evangelista i in, 2016). Pozwala na uzyskanie ciągłych pomiarów w sposób bezinwazyjny.



Dane dotyczące metodyki badań, geometrii profilu, jego zadanej długości i rozstawu elektrod są zadawane z góry, przed rozpoczęciem pomiaru.

Tomografia elektrooporowa wykorzystuje zróżnicowanie właściwości elektrycznych ośrodka gruntowego. Oporność skał zależy od kilku parametrów, m.in.:

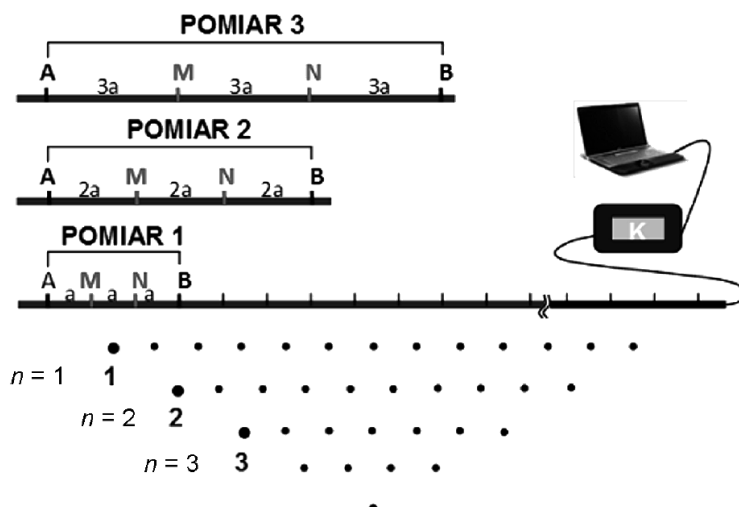
- obecności minerałów i płynów,
- porowatości,
- nasycenia wodą

oraz w przypadku gruntów przede wszystkim:

- wielkości ziaren,
- kohezji,
- wilgotności.

Wartości oporności ośrodków geologicznych zmieniają się w szerokim zakresie – mogą różnić się nawet o 7 rzędów wielkości Ωm , zależąc silnie od obecności wody (Loke, 2014).

Tomografia elektrooporowa ERT umożliwia prowadzenie badań za pomocą kilkudziesięciu elektrod umiejscowionych w równych odstępach wzdłuż wytyczonej linii przekroju. Układ mikroprocesorów wybiera do przeprowadzenia pomiarów cztery spośród wszystkich elektrod, zgodnie z wybraną wcześniej metodą. Dwie z nich służą jako źródło prądu stałego, natomiast pozostała para umożliwia odczytywanie spadków napięcia. Schemat akwizycji danych przedstawiono poniżej (Rys. 1).



Rys. 1 Schemat akwizycji danych w metodzie ERT (Pasierb, 2012)

W trakcie badania możliwe jest określenie pozornej oporności elektrycznej ośrodka gruntowego pomiędzy źródłami napięcia.

Wielkość oporności pozornej zależy od układu elektrod i jest dana zależnością (Dźwinel, 1978):

$$\rho = K \frac{V_p^{MN}}{I} \quad [1]$$

ρ – oporność elektryczna;

K – geometryczny współczynnik układu pomiarowego, określający proporcjonalność między opornością właściwą ośrodka a oporem obwodu pomiarowego;

V_p^{MN} – różnica napięć pomiędzy elektrodami pomiarowymi MN;

I – natężenie prądu.

Tomografia elektrooporowa jest złożeniem profilowania i sondowania geoelektrycznego, w wyniku którego powstają przekroje geoelektryczne. (Pasierb, 2012).



Zasięg głębokościowy jest zależny przede wszystkim od metody pomiarowej (dla zastosowanej metody Schlumbergera wynosi 1/5 długości linii przekroju), ale wpływ mają także zasolenie, wilgotność czy porowatość (Pasierb, 2012).

Na podstawie serii przeprowadzonych przez urządzenie pomiarów, możliwe jest utworzenie trapezowego przekroju 2D. Kształt ten determinowany jest przez fakt zwiększania się odstępów pomiędzy aktywnymi elektrodami wraz z głębokością prowadzonych pomiarów, a w konsekwencji mniejszą ilością pomiarów w głębszych warstwach ośrodka.

Urządzenie badawcze gromadzi dane dotyczące zarejestrowanej oporności w czasie przepływu prądu pomiędzy zadanymi elektrodami. Procedurę processingu i interpretacji danych przeprowadza z wykorzystaniem inwersji 2D, aproksymując rozwiązania metodą iteracyjną do momentu uzyskania zadowalającego dokładności wielomianów odwzorowujących obraz geolektryczny ośrodka (Pasierb, 2012). Błędy pomiarowe rzadko są przypadkowe i zazwyczaj są silnie związane z przeprowadzoną inwersją (Daily i in., 2005).

3.2 Bibliografia

EVANGELISTA L., DE SILVA F., D'ONOFRIO A., DI FIORE V., SILVESTRI F., SCOTTO DI SANTOLO A., CAVUOTO G., PUNZO M. TARALLO D. , 2016, Application of ERT and GPR geophysical testing to the subsoil characterization of cultural heritage sites in Napoli (Italy), Measurement 2016, article in press

LOKE M.H, 2014, *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*, www.geotomosoft.com

DŻWINEL J., 1978, *Geofizyka. Metody geolektryczne, central Nigeria*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa

DAILY W., RAMIREZ A., BINLEY A., LABRECQUE D., 2005, *Electrical Resistance Tomography – Practice and Theory, Soc. Exploration Geophysics: Near Surface Geophysics (Investigations in Geophysics No. 13)*, ed. Dwaine Butler



PASIERB B., 2012, *Metoda tomografii elektrooporowej w rozpoznawaniu geologicznym podłoża i obiektów antropogenicznych*, Czasopismo Techniczne – seria Środowisko nr-2-Ś/2012

PASIERB B., 2012, *Techniki pomiarowe metody elektrooporowej*, Czasopismo Techniczne – seria Środowisko nr-2-Ś/2012