Bernadeta Rajchel
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa
im. Stanisława Pigonia w Krośnie

ANALIZA WYBRANYCH METOD ROZPOZNANIA I BADANIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO POD BUDOWĘ OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY LĄDOWEJ NA TERENACH POGÓRZA DYNOWSKIEGO

Streszczenie

Posadawianie obiektów infrastruktury lądowej odbywa się nie tylko w prostych warunkach geologiczno-inżynierskich. Często ma to miejsce w złożonych czy skomplikowanych warunkach gruntowych, m.in. na terenach osuwiskowych, gruntach słabonośnych. Istnieje więc potrzeba najpierw prawidłowego rozpoznania podłoża gruntowego, a następnie zbadania parametrów fizyko-mechanicznych gruntu przed zaprojektowaniem i wykonaniem obiektu budowlanego, stosując odpowiednie metody wzmocnienia podłoża w celu zabezpieczenia budowli. W artykule omówiono problematykę wstępnego rozpoznania gruntu przy użyciu metod geofizycznych, typu georadar, urządzenie elektrooporowe. Przedstawiono również zakres geotechnicznych badań polowych z charakterystyką specjalistycznego sprzętu stosowanego w badaniach gruntu, typu sonda dynamiczna czy dylatometr. Scharakteryzowano także ważny etap badań gruntu, jakim jest laboratoryjne badanie wytrzymałościowe gruntu za pomocą aparatu bezpośredniego ścinania czy aparatu trójosiowego ściskania. Mimo że badania geotechniczne gruntu wiążą się z dodatkowymi kosztami, jednak czasem warto ponieść koszty wykonania tych badań, które mogą być znacznie mniejsze niż koszty naprawy zniszczonych obiektów przez błędne określenie podłoża gruntowego.

Słowa kluczowe: georadar, dylatometr, aparat trójosiowego ściskania, geotechnika

AN ANALYSIS OF THE SELECTED TECHNIQUES FOR IDENTIFICATION AND INVESTIGATION OF FOUNDATION SOIL FOR LAND INFRASTRUCTURE BUILDINGS WITHIN THE AREA OF POGÓRZE DYNOWSKIE

Summary

Foundation of land infrastructure buildings is not always performed in simple geological and engineering conditions, but frequently takes place in complex or complicated ground conditions, i.a. landslide areas or low-bearing soils. There is therefore a need for a correct identification of foundation soil, followed by an investigation of physical and mechanical soil parameters, before designing and erecting a building, using appropriate basal reinforcement techniques in order to strengthen the construction. The paper discusses the issues regarding the initial identification of soil using geophysical techniques such as GPR, an electrical resistivity device. The range of geo-

technical site characterization with the characteristics of specialist equipment, such as a dynamic penetrometer or dilatometer, used in soil investigation is also presented. Furthermore, an important stage of soil investigation, i.e. laboratory tests measuring soil strength properties using direct shear apparatus or triaxial compression apparatus, are described. Although geotechnical soil investigation involves additional expenses, it is worth considering in some instances as the cost of such research may be considerably lower compared to the costs associated with the repair of buildings damaged due to an incorrect identification of the foundation soil.

Keywords: GPR, dilatometer, triaxial compression apparatus, geotechnics

1. Wprowadzenie

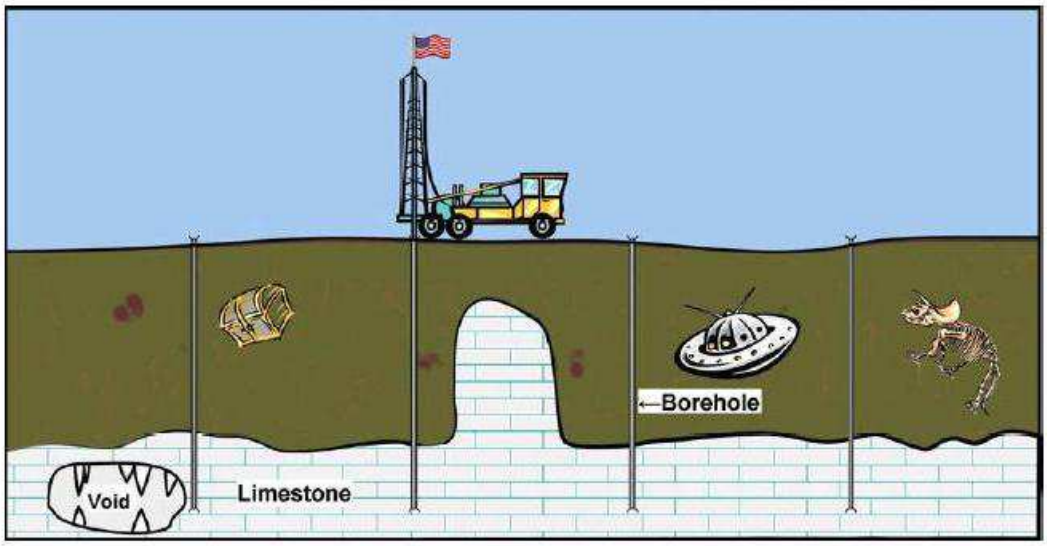
Idealnym rozwiązaniem podczas wznoszenia obiektów infrastruktury lądowej byłoby posadowienie ich w prostych warunkach geologiczno-inżynierskich. Niestety, często ma to miejsce w złożonych czy skomplikowanych warunkach gruntowych, m.in. na terenach osuwiskowych, gruntach słabonośnych, dolinach rzecznych. Terenów osuwiskowych na Pogórzu Dynowskim na mapach Państwowego Instytutu Geologicznego dotychczas nie odnotowano, choć wiadomo, że lokalnie występują. W „Instrukcji (...)" (2008) do opracowania „Mapy Osuwisk i Terenów Zagrożonych" na terenie Związku Gmin Turystycznych Pogórza Dynowskiego znalazły się gminy Związku: Dydnia, Nozdrzec, gmina Dynów, miasto Dynów, Dubiecko i Krzywcza. Na terenie Pogórza Dynowskiego osuwiska grupują się w pasie wzdłuż doliny Sanu (od Nienadowej, poprzez Śliwnicę aż do Drohobyczki), a także w rejonie Huciska Jawornickiego oraz w okolicy miejscowości Jodłówka i Świebodna. Na tym obszarze stwierdzono liczne czynne osuwiska. Zajmują one łącznie 1667,41 ha. Obliczony wskaźnik osuwiskowości wynosi około 18%, co świadczy, że teren jest zagrożony przez osuwiska. W sumie zarejestrowano 248 osuwisk[1]. Istnieje więc potrzeba najpierw prawidłowego rozpoznania podłoża gruntowego, a następnie zbadania parametrów fizyko-mechanicznych gruntu przed zaprojektowaniem i wykonaniem obiektu budowlanego, stosując odpowiednie metody wzmocnienia podłoża w celu zabezpieczenia budowli.

2. Wstępne rozpoznanie podłoża gruntowego

Wstępne rozpoznanie podłoża gruntowego metodami geofizycznymi, choć często pomijane, jest istotnym elementem badania gruntu przed jego właściwą analizą geotechniczną. Przeprowadzenie pomiarów metodą georadarową czy elektrooporową pozwala w nieskomplikowany sposób rozpoznać warstwy przypowierzchniowe bez ingerencji w podłoże. Dzięki tym pomiarom możliwe jest również zmniejszenie liczby wykonanych w następnym etapie profili geotechnicznych, co wiąże się z oszczędnościami finansowymi. Poglądowy rysunek przedstawiający różnicę pomiędzy pomiarami geofizycznymi a wierceniami geotechnicznymi w badaniach podłoża gruntowego przedstawiono na ryc. 1.

[1] M. Kamiński, *Analiza GIS osuwisk dla wybranego obszaru Pogórza Dynowskiego*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 16, 2006, s. 279–287.

Ryc. 1. Pomiary geofizyczne a wiercenia geotechniczne



Źródło: N. Anderson i N. Croxton, 2008.

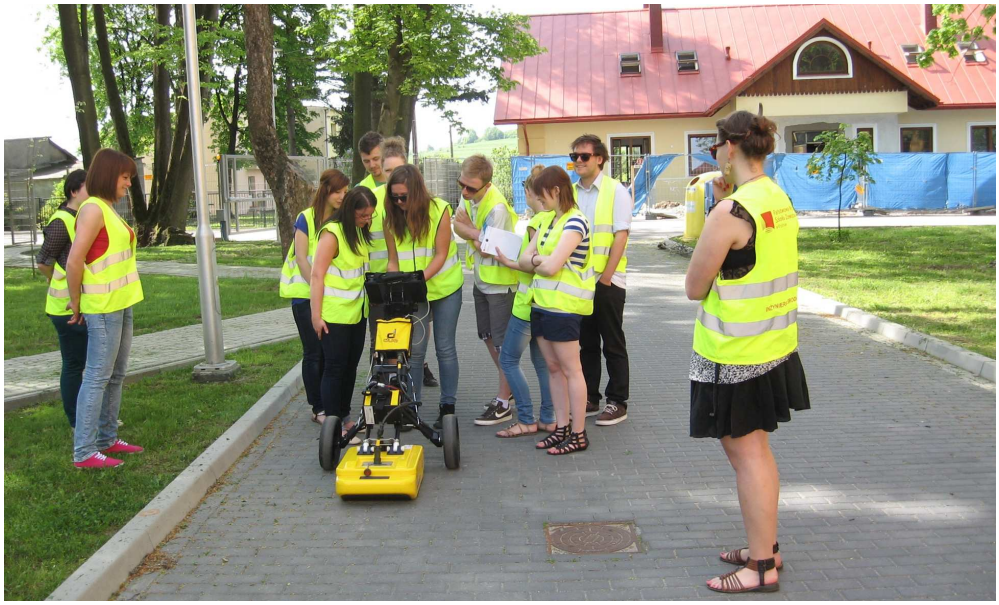
2.1. Metoda georadarowa

W metodzie georadarowej istotnym jest odbicie fali elektromagnetycznej na granicy dwóch ośrodków, które mają inne właściwości elektryczne[2]. Pomiary wykonuje się za pomocą georadaru (fot. 1). Składa się on z jednostki centralnej i dwóch anten – nadawczej i odbiorczej. Pierwsza z tych anten emituje w głąb badanego ośrodka sygnał elektromagnetyczny. Sygnał ten ulega odbiciu, załamaniu i tłumieniu. Antena odbiorcza rejestruje falę odbitą. W wyniku pomiaru otrzymuje się echogram (obraz falowy). Odzwierciedla on wewnętrzną budowę badanego ośrodka.

Zastosowanie metody georadarowej jest bardzo szerokie w różnych dziedzinach nauki i gałęziach gospodarki, począwszy od archeologii, poprzez geologię i geotechnikę, po kryminologię, górnictwo i budownictwo. Dzięki zastosowaniu metody georadarowej można, m.in. zlokalizować poziom występowania warstwy wodonośnej, a także zarejestrować zmiany litologiczne w profilu geologicznym. Metoda ta jest przydatna przy identyfikacji głębokościowej warunków strukturalno-geologicznych, występowania wód podziemnych i warunków geotechnicznych badanego terenu[3].

[2] J. Karczewski, *Zarys metody georadarowej*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2007, s. 1–246.

[3] B. Rajchel, *Możliwość zastosowania metody georadarowej w badaniach archeologicznych i hydrogeologicznych*, [w:] J.R. Rak (red.), *Środowisko przyrodnicze i walory turystyczne południowo-wschodniej Polski i zachodniej Ukrainy*, Wydawnictwo Muzeum Regionalnego w Brzozowie, Brzozów 2011, s. 179–200.



Fot. 1. Georadar DETECTOR DUO włoskiej firmy IDS
Źródło: B. Rajchel

2.2. Metoda elektrooporowa

Metoda elektrooporowa (rezystancyjna) polega na pomiarze oporu elektrycznego badanego ośrodka. Skały i grunty w zależności od rodzaju posiadają różne elektryczne opory właściwe[4]. Pomiary elektrooporowe przeprowadza się na powierzchni terenu, ale również w otworach wiertniczych i zamkniętych wyrobiskach górniczych. Pomiar elektrycznego oporu właściwego możliwy jest tylko w podłożu jednorodnym. W rzeczywistości podłoże geologiczne najczęściej ma charakter niejednorodny, dlatego w takim podłożu określa się tzw. opór pozorny, który odzwierciedla właściwości całego kompleksu skalnego znajdującego się w obrębie mierzonego pola elektrycznego[5].

Rozróżnia się dwa rodzaje pomiarów elektrooporowych: profilowanie elektrooporowe i sondowanie elektrooporowe. Przy profilowaniu elektrooporowym pomiar oporu pozornego wykonuje się w różnych punktach na powierzchni, zachowując te same odległości między elektrodami zasilającymi i pomiarowymi (w metodzie galwanicznej). Wynikiem profilowania jest mapa rozkładu zmian oporności do określonej głębokości (ryc. 2). Jeśli wynikiem pomiaru ma być przekrój geoelektryczny (ryc. 3), gdzie od powierzchniowego rozkładu wartości oporu elektrycznego ważniejsza jest głębokość prospekcji, stosuje się wówczas sondowanie elektrooporowe. Pomiar oporu pozornego wykonuje się przy wzrastającej symetrycznie odległości między elektrodami zasilającymi względem środka układu pomiarowego oraz względem elektrod pomiarowych[6].

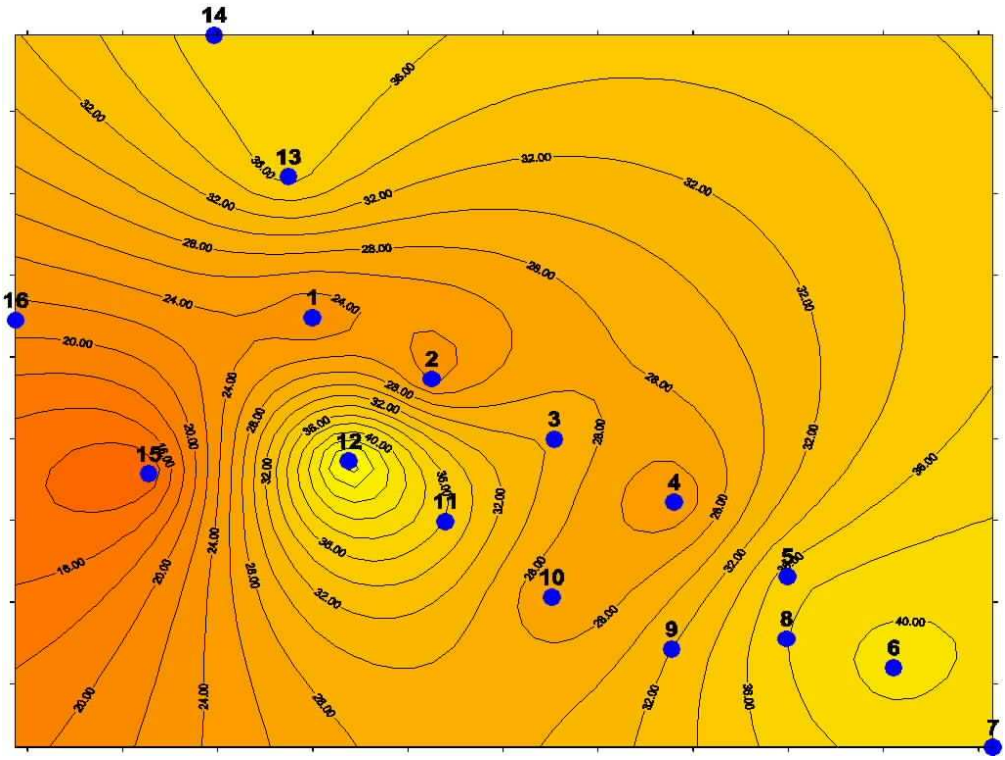
---

4 T. Okrasa, A. Jagodziński, *Wykorzystanie i praktyczne wdrożenie do badań hydrogeologicznych wyników kartowania geofizycznego (geoelektrycznego)*, [w:] *Rozpoznawanie wód podziemnych dla potrzeb gospodarki narodowej*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1978.

5 P. Stenzel, J. Szymanko, *Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1973, s. 1–418.

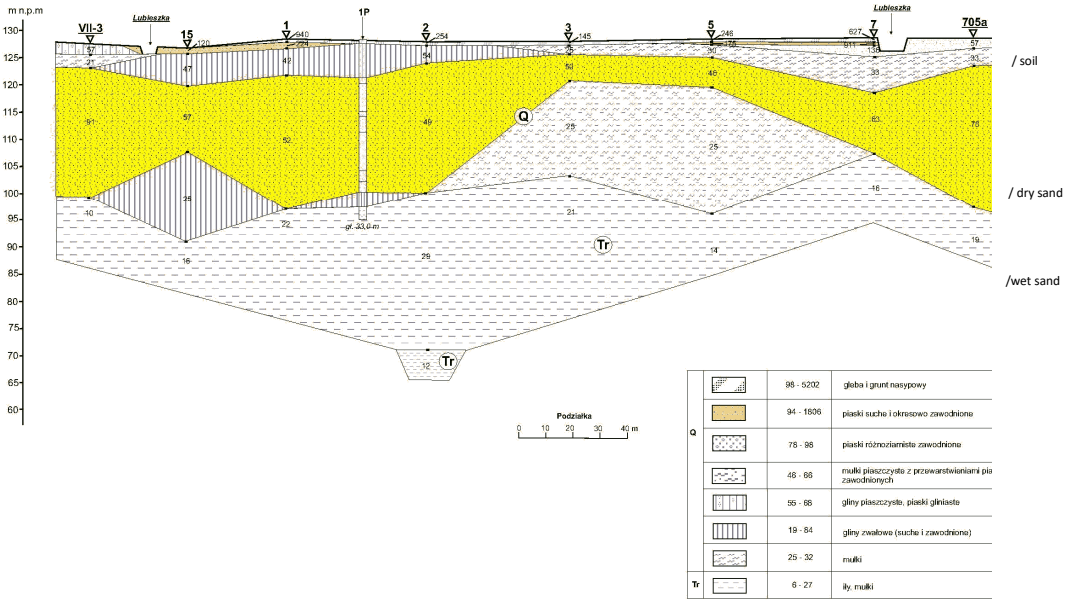
6 *Ibidem*, s. 1–418.

Ryc. 2. Przykładowa mapa profilowania elektrooporowego



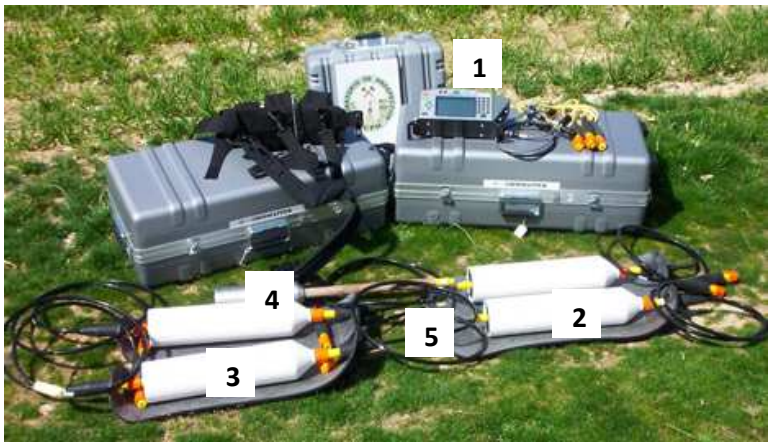
Źródło: www.hydroconsult.pl (dostęp: 29.07.2013)

Ryc. 3. Przykładowy przekrój geoelektryczny sondowania elektrooporowego



Źródło: www.hydroconsult.pl (dostęp: 29.07.2013)

Do pomiaru oporu elektrycznego badanego ośrodka stosuje się OhmMapper TR1 firmy Geometrics (fot. 2). Urządzenie to zbudowane jest z nieuziemionego nadajnika i odbiornika z dipolami (metoda indukcyjna). OhmMapper ciągnie się po ziemi, dzięki czemu uzyskuje się niemalże ciągły profil rezystywności pozornej, co zwiększa zdolność rozdzielczą i wydajność urządzenia w stosunku do przyrządów ze sprzężeniem galwanicznym. Pomiar jest wyświetlany graficznie w czasie rzeczywistym na ekranie konsoli i zapisywany[7].



Fot. 2. Urządzenie elektrooporowe OhmMapper TR1 (www.gprsystem.pl)
1 – konsola OhmMapper, 2 – nadajnik, 3 – odbiornik, 4 – przewód świetlny, 5 – kable dipolowe
Źródło: B. Rajchel

Zaletami metody elektrooporowej jest nieinwazyjny sposób rozpoznania budowy podłoża oraz zasięg głębokościowy, który może wynieść kilkadziesiąt metrów. Natomiast do wad tej metody należy zaliczyć pracochłonność (wymaga ona dużej liczby pomiarów), a także mało precyzyjne wyniki, jeśli występuje duża wilgotność badanego podłoża oraz brak możliwości uzyskania informacji na temat głębiej położonych warstw oraz jeśli płycej zalega warstwa o dużej oporności.

Metodę elektrooporową początkowo wykorzystywano tylko w geologii. Później zaczęto ją również stosować w innych dziedzinach, tj. badania geologiczno-inżynierskie i archeologia.

3. Geotechniczne badania polowe

Badania podłoża gruntowego prowadzone są w celu rozpoznania budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i geotechnicznych danego ośrodka. Prawidłowe określenie podłoża gruntowego odgrywa istotną rolę przy ustaleniu parametrów geotechnicznych gruntu, dlatego niezbędne jest uprzednio przeprowadzenie badań terenowych. Badania te przeważnie obejmują obszar znacznie większy niż sama budowla, ponieważ należy zlokalizować ewentualne zagrożenia, jakie mogłyby uaktywnić się po wykonaniu projektowanego obiektu. W badaniach polowych szerokie zastoso-

[7] Instrukcja obsługi OhmMapper, 2011.

wanie mają sondowania (statyczne, dynamiczne itp.). Do oceny przydatności typowo inżynierskiej, oprócz obciążeń próbnych, badań presjometrycznych, stosuje się również badania dylatometryczne.

3.1. Sondowanie dynamiczne

Sondowania stosuje się do oceny jakościowej zmienności gruntów na różnych głębokościach. Badania te polegają na pogrążeniu w gruncie sond o różnych końcówkach przez wbijanie, wkręcanie lub wciskanie oraz określeniu występujących podczas sondowania oporów gruntów. W zależności od głębokości badawczej i metody prowadzenia ostrza wyróżnia się sondowanie statyczne i dynamiczne (ciężkie i lekkie).

Sondowanie dynamiczne wykonuje się przede wszystkim do oznaczenia stopnia zagęszczenia gruntów sypkich, rzadziej w przypadku gruntów spoistych. Najczęściej stosuje się sondy wbijane o końcówkach: cylindrycznej, stożkowej lub krzyżakowej. Istnieją cztery metody badań (tab. 1) różniące się energią wbijania: DPL (sonda lekka – SL), DPM (sonda średnia – SS), DPH (sonda ciężka – SC), DPSH (sonda bardzo ciężka – SH).

Tab. 1. Wymiary i masy czterech rodzajów sond dynamicznych

Oprzyrządowanie		DPL lekka	DPM średnia	DPH ciężka	DPSH bardzo ciężka
Młot					
masa (*m*)	[kg]	10 ± 0,1	30 ± 0,3	50 ± 0,5	63,5 ± 0,5
wysokość spadania (*h*)	[mm]	500 ± 10	500 ± 10	500 ± 10	750 ± 20
stosunek długości do średnicy (D_h)		≥ 1 < 2	≥ 1 < 2	≥ 1 < 2	≥ 1 < 2
Kowadło:					
średnica (*d*)	[mm]	$100<d<0,5xD_h$	$100<d<0,5xD_h$	$100<d<0,5xD_h$	$100<d<0,5xD_h$
maksymalna masa (łącznie z prowadnicą)	[kg]	6	18	18	30
końcówka o kącie 90°					
nominalna powierzchnia podstawy (*A*)	[cm²]	10	10	15	20
średnica podstawy (*D*),nowa	[mm]	35,7 ± 0,3	35,7 ± 0,3	43,7 ± 0,3	51 ± 0,5
minimalna średnica podstawy po zużyciu	[mm]	34	34	42	49
długość części walcowej	[mm]	35,7 ± 1	35,7 ± 1	43,7 ± 1	51 ± 2
kąt gwintu	[°]	11	11	11	11
wysokość ostrza końcówki	[mm]	17,9 ± 0,1	17,9 ± 0,1	21,9 ± 0,1	25,3 ± 0,4
dopuszczalne zużycie końcówki	[mm]	3	3	4	5
Żerdzie					
masa (*m*)	[kg/m]	3	6	6	6
średnica zewnętrzna (*OD*)	[mm]	22	32	32	32
wygięcie dla żerdzi: najniżej położonych 5 m pozostałych	 [%] [%]	 0,1 0,2	 0,1 0,2	 0,1 0,2	 0,1 0,2
Energia uderzenia młota na jednostkę powierzchni					
(mgh/A)	[kJ/m²]	50	150	167	238

Źródło: Norma PN-B-04452:2002. Geotechnika Badania polowe

Badanie sondą dynamiczną z końcówką stożkową polega na oznaczeniu oporu, jaki stawia grunt przy dynamicznym zagłębianiu końcówki sondy (fot. 3). Do pogrążania końcówki w grunt służy młot o określonej masie, swobodnie spadający z wymaganej wysokości (tab. 1). Liczba uderzeń młota, potrzebna do zagłębienia sondy o pewną stałą głębokość, jest parametrem geotechnicznym. Sondowanie i rejestracja jego wyników

są wykonywane w sposób ciągły, tak by rejestrowana wartość odpowiadała głębokości pomiaru. W metodzie tej nie pobiera się próbek gruntu w czasie sondowania. Orientacyjny stan gruntów sypkich i spoistych, w zależności od warunków sondowania, podano w tabelach 2, 3. Natomiast przykładową kartę sondowania przedstawiono na fot. 4.

Fot. 3. Sondowanie dynamiczne DPL
Źródło: B. Rajchel

Tab. 2. Stopień zagęszczenia gruntów niespoistych w zależności od liczby uderzeń N_{30}

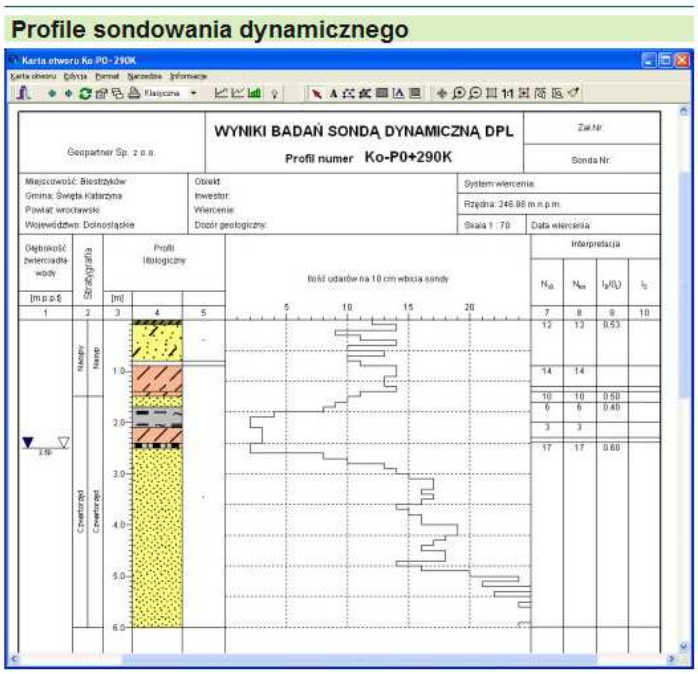
Stan piasku	**Stopień zagęszczenia**	**Liczba uderzeń N_{30}**
Bardzo luźny	$0 < I_D \leq 0{,}15$	1–4
Luźny	$0{,}15 < I_D \leq 0{,}33$	5–10
Średnio zagęszczony	$0{,}33 < I_D \leq 0{,}67$	11–30
Zagęszczony	$0{,}67 < I_D \leq 0{,}85$	31–50
Bardzo zagęszczony	$0{,}85 < I_D \leq 1{,}0$	więcej niż 50

Źródło: G. Sendkowska, W. Trąpczyński, T. Kozłowski, K. Kurpias-Warianek, Ćwiczenia laboratoryjne z mechaniki gruntów i fundamentowania, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2009.

Tab. 3. Stopień plastyczności w zależności od liczby uderzeń N_{30}

Stan gruntu spoistego	Liczba uderzeń N_{30}	Stopień plastyczności
Miękkoplastyczny	< 4	$I_L > 0{,}50$
Plastyczny	4–8	$0{,}25 < I_L \leq 0{,}50$
Twardoplastyczny	8–15	$0 < I_L \leq 0{,}25$
Półzwarty	15–30	$I_L \leq 0$
Zwarty	> 30	Wn ≤ Ws

Źródło: G. Sendkowska, W. Trąpczyński, T. Kozłowski, K. Kurpias-Warianek, Ćwiczenia laboratoryjne z mechaniki gruntów i fundamentowania, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2009.



Fot. 4. Przykład karty dokumentacyjnej sondowania sondą dynamiczną DPL
Źródło: www.softproj.pnet.pl (dostęp: 29.07.2013)

3.2. Badania dylatometryczne

Badanie dylatometryczne polega na pomiarach ciśnienia gazu działającego na membranę na wybranych głębokościach podczas pogrążania łopatki dylatometru w podłoże gruntowe (fot. 5). Na określonej głębokości odczytuje się pomiary:

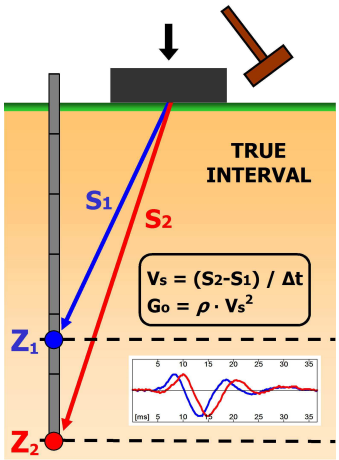
- ciśnienia gazu potrzebnego w początkowej fazie do uzyskania kontaktu membrany z otaczającym gruntem (p_0),
- ciśnienia gazu potrzebnego do odkształcenia środka membrany o ok. 1 mm w stronę gruntu (p_1),
- ciśnienia gazu po kontrolowanym powrocie membrany do pozycji uzyskanej w pomiarze pierwszym (p_2).

Wyniki badań pozwalają na określenie: rodzaju gruntu, jego odkształcalności, historii naprężenia, współczynnika parcia spoczynkowego i wytrzymałości na ścinanie. Wytyczne do metody badań ujęte są w normie PN-B-04452; 2002.

Fot. 5. Dylatometr DMT
Źródło: www.hebo-poznan.pl (dostęp: 29.07.2013)

Badania dylatometryczne DMT stosowane są przy posadowieniach obiektów budowlanych w tym mostów oraz ścian oporowych, obudowy głębokich wykopów. Pozwalają na określenie nośności i osiadań fundamentów oraz nośności pali. Najnowszym osiągnięciem w rozwoju badań dylatometrycznych jest dylatometr sejsmiczny (SDMT) pozwalający na pomiar prędkości fal sejsmicznych wzbudzonych na powierzchni terenu (ryc. 4). Test SDMT pozwala na uzupełnienie charakterystyki ośrodka przeprowadzonej innymi metodami, np. CPTU, DMT[8].

Ryc. 4. Zasada pomiaru prędkości fali sejsmicznej V_s w dylatometrze sejsmicznym SDMT



Źródło: www.geosoft.com.pl (dostęp: 29.07.2013)

[8] www.ban.uz.zgora.pl (dostęp: 29.07.2013).

Dylatometr sejsmiczny SDMT to połączenie standardowego dylatometru DMT i modułu mierzącego prędkość rozchodzenia się fali sejsmicznej V_s. Moduł sejsmiczny ma kształt walca o średnicy równej średnicy żerdzi CPT i posiada dwa rejestratory fal sejsmicznych umieszczone w odległości 0,5 m od siebie. Moduł ten jest położony powyżej ostrza dylatometru. Taki układ czujników pozwala na uniknięcie problemów związanych z niejednoznacznym wyznaczeniem czasu dojścia impulsu sejsmicznego, jaki zdarza się często przy zastosowaniu jednego czujnika. Wyzwolenie impulsu sejsmicznego następuje poprzez poziome uderzenie młotem elipsoidalnego stalowego elementu dociśniętego mocno do podłoża. Podłużna oś tego elementu jest umieszczona równolegle do osi czujników sejsmicznych. Prędkość fali sejsmicznej V_s jest określona jako iloraz różnicy odległości pomiędzy źródłem impulsu sejsmicznego a dwoma odbiornikami i zmierzonym opóźnieniem czasu dojścia fali sejsmicznej do obu odbiorników[9].

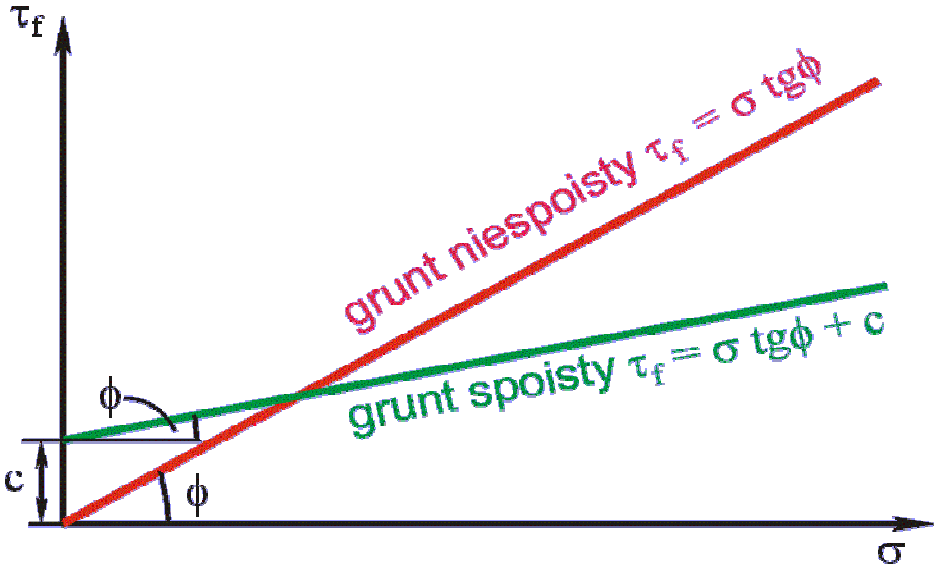
4. Laboratoryjne badania wytrzymałościowe gruntu

Wytrzymałością gruntu na ścinanie τ_f nazywa się największy (graniczny) opór odniesiony do jednostki powierzchni, jaki stawia ośrodek gruntowy naprężeniom ścinającym występującym w rozpatrywanym punkcie badanego gruntu. Wytrzymałość na ścinanie jest inna dla gruntów spoistych i dla niespoistych o wartość spójności gruntu (ryc. 5).

Wytrzymałość gruntu na ścinanie określa uzgodniony wzór Coulomba: $\tau_f = \sigma_n * tg\Phi + c$,

gdzie: σ_n – naprężenie normalne do płaszczyzny ścinania, Φ – kąt tarcia wewnętrznego, c – spójność gruntu (kohezja).

Ryc. 5. Wykres wytrzymałości na ścinanie dla gruntów spoistych i niespoistych

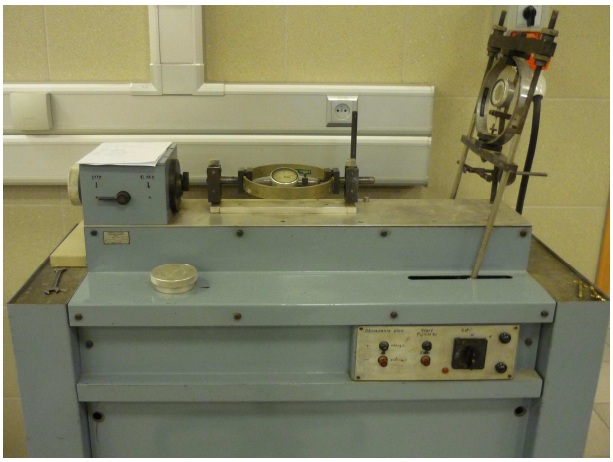


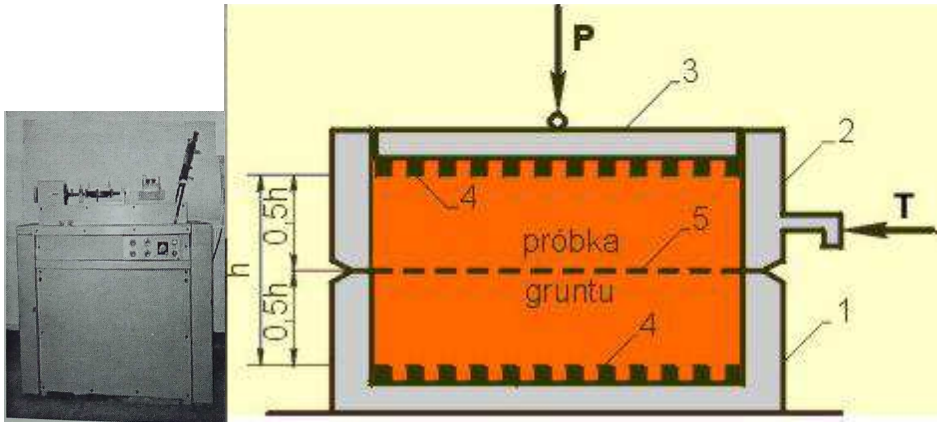
Źródło: www.zasoby.open.agh.edu.pl (dostęp: 29.07.2013)

[9] www.geosoft.com.pl (dostęp: 29.07.2013).

4.1. Aparat bezpośredniego ścinania

Aparat bezpośredniego ścinania (aparat skrzynkowy, fot. 6) jest urządzeniem do określania wytrzymałości próbek gruntu na ściskanie. Umożliwia badanie próbek o przekroju kwadratowym i boku 60 mm lub 120 mm. Kierunek działania siły ściskającej jest prostopadły do przekroju próbki. Zmiany odkształcenia próbki mierzy się z dokładnością do 0,01 mm.





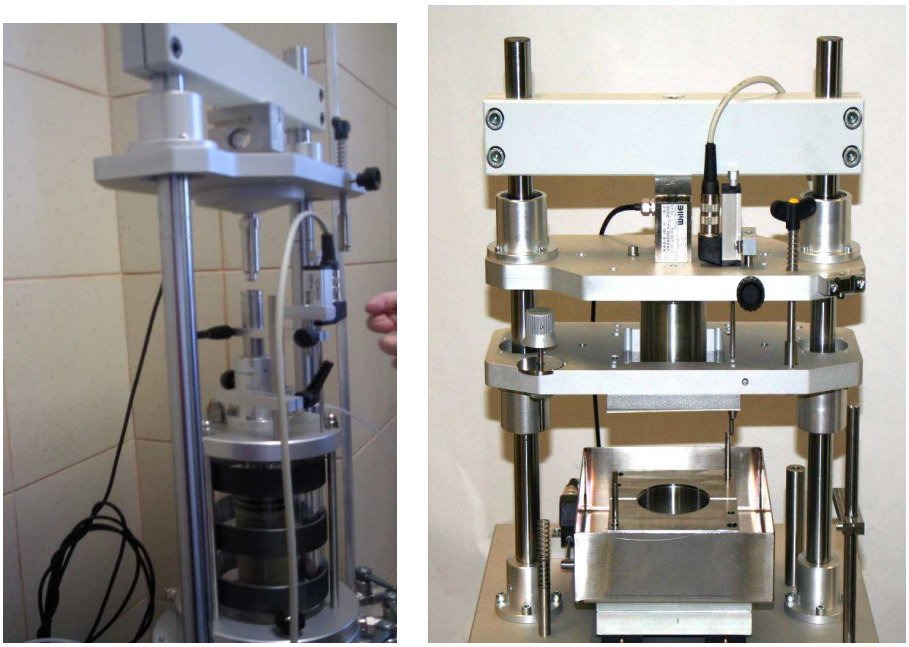
Fot. 6. Aparat bezpośredniego ścinania i schemat skrzynki: 1 – skrzynka dolna, 2 – skrzynka górna, 3 – pokrywa, 4 – filtry o ząbkowanej powierzchni, 5 – wymuszona płaszczyzna ścięcia
Źródło: www.zasoby.open.agh.edu.pl (dostęp: 29.07.2013)

4.2. Aparat trójosiowego ściskania

Podstawowe urządzenie (fot. 7) składa się z wytrzymałej ramy do obciążeń do 25 kN, pionowego elektromechanicznego napędu (ograniczony do 10 kN), poziomej jednostki napędowej z elektronicznym modułem sterującym, dwóch elektronicznych czujników (jeden pionowy i jeden poziomy w różnych zakresach pomiarowych), które są niezbędne do użytkowania[10]. Urządzenie ścinające jest przeznaczone dla nominal-

[10] Instrukcja obsługi aparatu ASA, materiały udostępnione przez firmę Merazet, 2012.

nego obciążenia do 5 kN i do 5 kN ścinania. Za pomocą dodatkowych komórek niższe wartości obciążenia mogą być dostosowane.



Fot. 7. Aparat ASA – bezpośredniego ścinania i trójosiowego ściskania
Źródło: B. Rajchel

Badania w aparacie trójosiowym (ASA) przeprowadza się trzema różnymi sposobami w zależności od warunków obciążania i odpływu wody z próbki. Są to: badania bez konsolidacji i odwadniania (UU), badania z konsolidacją bez odwadniania (CU) oraz badania z odwadnianiem (CD)[11].

Przy użyciu aparatu ASA można dodatkowo wykonać pomiar wolnego ciśnienia wody porowej. Przetwornik został specjalnie zaprojektowany do dokładnego pomiaru wolnego ciśnienia wody porowej i najmniejszej zmiany objętości porów. Standardowe zakresy pomiarowe od 0,1 do 2 MPa. Czujnik może być zastosowany również dla innych pomiarów (np. ciśnienia komórki, ciśnienia porów powietrza). Aby wyeliminować jakikolwiek wpływ elektryczny na sygnały pomiarowe, został wbudowany wzmacniacz do kalibrowanego sygnału 0–10 V[12].

5. Podsumowanie

W artykule omówiono problematykę wstępnego rozpoznania gruntu przy użyciu metod geofizycznych, typu georadar, urządzenie elektrooporowe. Przedstawiono również zakres geotechnicznych badań polowych z charakterystyką specjalistycznego sprzętu stosowanego w badaniach gruntu, typu sonda dynamiczna czy dylatometr.

[11] Instrukcja obsługi aparatu ASA, materiały udostępnione przez firmę Merazet, 2012.
[12] *Ibidem.*

Scharakteryzowano także ważny etap badań gruntu, jakim jest laboratoryjne badanie wytrzymałościowe gruntu za pomocą aparatu bezpośredniego ścinania czy aparatu trójosiowego ściskania.

Mimo że badania geotechniczne gruntu wiążą się z dodatkowymi kosztami, jednak czasem warto ponieść koszty wykonania tych badań, które mogą być znacznie mniejsze niż koszty naprawy zniszczonych obiektów przez błędne określenie podłoża gruntowego.

Bibliografia

1. Anderson N., Croxton N., *Introduction to Geotechnical Geophysics*, [In:] *Geophysical Methods Commonly Employed Geotechnical Site Characterization*, Washington 2008.
2. Instrukcja opracowania *„Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000"*, na zlecenie MŚ i NFOŚiGW, PIG 2008.
3. *Instrukcja obsługi OhmMapper TR!, Geometrics*, 2011 – GRPsystem Company.
4. *Instrukcja obsługi aparatu ASA*, materiały udostępnione przez firmę Merazet, 2012.
5. Kamiński M., *Analiza GIS osuwisk dla wybranego obszaru Pogórza Dynowskiego*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 16, 2006.
6. Karczewski J., *Zarys metody georadarowej,* Wydawnictwo AGH, Kraków 2007.
7. Okrasa T., Jagodziński A., *Wykorzystanie i praktyczne wdrożenie do badań hydrogeologicznych wyników kartowania geofizycznego (geoelektrycznego)*, [w:] *Rozpoznawanie wód podziemnych dla potrzeb gospodarki narodowej*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1978.
8. Rajchel B., *Możliwość zastosowania metody georadarowej w badaniach archeologicznych i hydrogeologicznych*, [w:] J.R. Rak (red.), *Środowisko przyrodnicze i walory turystyczne południowo-wschodniej Polski i zachodniej Ukrainy,* Wydawnictwo Muzeum Regionalnego, Brzozów 2011.
9. Sendkowska G., Trąpczyński W., Kozłowski T., Kurpias-Warianek K., *Ćwiczenia laboratoryjne z mechaniki gruntów i fundamentowania*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2009.
10. Stenzel P., Szymanko J., *Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1973.

Źródła internetowe

1. www.ban.uz.zgora.pl
2. www.geosoft.com.pl
3. www.gprsystem.pl
4. www.hebo-poznan.pl
5. www.hydroconsult.pl
6. www.zasoby.open.agh.edu.pl