

MINISTERSTWO ŚRODOWISKA

Józef BAŻYŃSKI, Andrzej DRĄGOWSKI,
Zbigniew FRANKOWSKI, Ryszard KACZYŃSKI,
Stanisław RYBICKI, Lech WYSOKIŃSKI

**ZASADY
SPORZĄDZANIA
DOKUMENTACJI
GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH**

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
WARSZAWA 1999

Praca finansowana przez Ministerstwo Środowiska

Redaktor wydawnictwa: mgr Elżbieta PIĄTKOWSKA

Akceptował do druku dnia 18.11.1999 r.
Dyrektor Naczelny Państwowego Instytutu Geologicznego
prof. dr hab. Stanisław SPECZIK

©Copyright by Ministerstwo Środowiska i PIG, Warszawa 1999

ISBN 83-86986-42-5

Projekt graficzny okładki: mgr Elżbieta NAUWALD
Zdjęcie na okładce: Osuwisko na drodze Olsztyn–Ostrołęka (*fol. Jerzy Pepol*)

Redakcja techniczna, skład, łamanie: mgr Barbara DĄBROWSKA

Druk „Remigraf”sp. z o.o. Zlec. 89/2000.

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie — <i>Józef Bażyński</i>	7
A. Zasady projektowania prac geologiczno-inżynierskich	
1. Przepisy prawne, normy, instrukcje — <i>Lech Wysokiński</i>	8
1.1. Przepisy prawne	8
1.2. Normy	9
1.3. Wytyczne, instrukcje, materiały archiwalne	12
2. Definicje — <i>Lech Wysokiński</i>	13
2.1. Obiekt budowlany	13
2.2. Fundamenty.	13
3. Projektowanie prac — <i>Józef Bażyński</i>	15
4. Cel prac geologicznych — <i>Zbigniew Frankowski</i>	15
5. Stopień złożoności warunków geologiczno-inżynierskich — <i>Józef Bażyński</i>	17
6. Część tekstowa — <i>Zbigniew Frankowski</i>	18
7. Uwagi organizacyjne — <i>Zbigniew Frankowski</i>	19
B. Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich	
1. Prace pomiarowe geodezyjne i fotogrametryczne — <i>Józef Bażyński</i>	20
2. Prace geologiczne — <i>Andrzej Dragowski</i>	21
2.1. Odsłonięcia naturalne, odkrywki, szybiki i wykopy	21
2.2. Wiercenia badawcze	23
2.3. Sondy penetracyjne i rdzeniowe	23
2.4. Doły próbne.	23
2.5. Nadzór	24
3. Analiza zdjęć lotniczych i satelitarnych — <i>Józef Bażyński</i>	24
3.1. Zdjęcia lotnicze	24
3.2. Zdjęcia satelitarne	25
3.3. Fotointerpretacja wstępna	25
3.4. Fotointerpretacja szczegółowa	26
4. Kartografia geologiczno-inżynierska — <i>Andrzej Dragowski</i>	26
4.1. Mapy	26

4.2. Przekroje	27
5. Badania polowe — <i>Zbigniew Frankowski</i>	27
5.1. Badania makroskopowe gruntów i skał	27
5.2. Sondowania	29
5.2.1. Sondowania dynamiczne	30
5.2.2. Sondowania statyczne	31
5.2.3. Sondowania sondą cylindryczną (SPT)	32
5.2.4. Sondowania sondą wkręcaną (ST)	32
5.2.5. Sondowania sondą obrotową (VT)	32
5.3. Badania presjometryczne.	33
5.4. Badania dylatometryczne gruntów i skał	33
5.5. Próbne obciążenia płytą	33
5.6. Metody badań geofizycznych.	34
5.7. Pobieranie próbek gruntu i skał.	35
5.7.1. Pobieranie próbek gruntu	35
5.7.2. Klasy jakości próbek gruntu	36
5.7.3. Techniki pobierania próbek gruntu	36
5.7.4. Pobieranie próbek skał	37
5.7.5. Techniki pobierania próbek skał	38
6. Badania laboratoryjne — <i>Ryszard Kaczyński</i>	38
6.1. Badania próbek gruntu podłoża.	40
6.1.1. Badania składu granulometrycznego i klasyfikacja gruntów	40
6.1.2. Badania podstawowych właściwości fizycznych gruntów	44
6.1.3. Badania odkształcalności i wytrzymałości gruntów.	49
6.1.4. Badania współczynnika filtracji i przewodności hydraulicznej	59
6.2. Badania próbek skał podłoża	62
6.2.1. Badanie parametrów sprężystych skał	65
6.2.2. Badanie wskanżika odbojności sprężystej	65
6.2.3. Badanie wskanżika pełzania i relaksacji	66
6.2.4. Badanie wskanżika rozmakalności	66
6.2.5. Badanie ścieralności	66
6.2.6. Badania pęcznienia skał	67
6.3. Badania podłoża i próbek wody	68
6.4. Badania laboratoryjne materiałów budowlanych	69
7. Badania hydrogeologiczne — <i>Andrzej Dragowski</i>	72
7.1. Pomiary wód podziemnych i metodyka ich opróbowania.	72
7.2. Badania współczynnika filtracji	75
8. Prace geologiczno-inżynierskie w celu oceny oddziaływania na środowisko — <i>Andrzej Dragowski</i>	76
9. Prace dokumentacyjno-zestawcze — <i>Zbigniew Frankowski</i>	80

C. Badania na obszarach działania procesów geodynamicznych

1. Procesy osuwiskowe — <i>Józef Bażyński, Zbigniew Frankowski</i>	83
1.1. Czynniki niekorzystne	84
1.2. Rejony występowania	85
1.3. Charakterystyka	85
1.4. Szczegółowe badania obszarów osuwiskowych	85
1.5. Kategorie geotechniczne stateczności zboczy	86
2. Procesy krasowe — <i>Józef Bażyński</i>	87
2.1. Czynniki niekorzystne	87
2.2. Charakterystyka	87
2.3. Badania na obszarach krasowych	88

3. Przeobrażenia antropogeniczne — <i>Andrzej Drągowski</i>	88
4. Procesy i zjawiska antropogeniczne — <i>Andrzej Drągowski</i>	90
4.1. Charakterystyka i klasyfikacja gruntów antropogenicznych dla celów geologiczno-inżynierskich	90
4.1.1. Grunty antropogeniczne w pracach kartograficznych	91
4.1.2. Badanie właściwości gruntów antropogenicznych w celu składowania	91
4.1.3. Badanie geologiczno-inżynierskie na potrzeby wykorzystania gruntów antropogenicznych jako podłoża budowlanego	92
4.1.4. Badanie geologiczno-inżynierskie gruntów antropogenicznych jako materiału konstrukcyjnego	93
4.1.5. Zakres i kierunki badań	93
4.2. Antropogeniczne przekształcenia środowiska	96
4.2.1. Odsztalcenia na skutek eksploatacji podziemnej	96
4.2.2. Wyciskanie podłoża wokół składowisk kopalnianych	97
4.2.3. Osiadanie powierzchni terenu na skutek odwodnień	97
4.2.4. Zmiany powierzchni na skutek makroniwelacji	97
4.2.5. Deformacje powierzchni powstające w wyniku eksploatacji otworowej siarki	98
4.2.6. Zmiany powierzchni terenu na skutek składowania odpadów i gruntów nadkładu w kopalniach odkrywkowych	98
4.2.7. Zmiany powierzchni terenu w wyniku eksploatacji odkrywkowej	98
4.2.8. Powstawanie i składowanie gruntów antropogenicznych	98
4.2.9. Obszary zdewastowane	99
4.2.10. Skały i grunty o szczególnej podatności na działanie czynników antropogenicznych	99

D. Badania dla różnych rodzajów budownictwa

1. Budownictwo powszechne — <i>Lech Wysokiński</i>	101
1.1. Dane ogólne	101
1.2. Analiza założeń projektowych inwestycji	102
1.3. Projekt badań	103
1.4. Badania terenowe	104
1.5. Badania laboratoryjne	105
1.6. Dokumentacja z badań	105
1.7. Awaria lub katastrofa	106
2. Budownictwo wodne — <i>Józef Bażyński, Zbigniew Frankowski</i>	107
2.1. Dane ogólne	107
2.2. Kartowanie geologiczno-inżynierskie	108
2.3. Badania geofizyczne masywów skalnych	108
2.4. Badania geofizyczne na Niżu Polskim	110
2.5. Roboty geologiczne	111
2.6. Badania polowe skał	111
2.7. Badania polowe gruntów słabych	112
2.8. Badania polowe gruntów gruboziarnistych i kamienistych	112
2.9. Badania polowe zwierzelin	113
2.10. Badania hydrogeologiczne	113
2.11. Oznaczenie współczynnika filtracji	113
2.12. Zależność badań od etapu projektowania obiektów hydrotechnicznych	114
2.12.1. Zakres badań na etapie rozpoznawczym	116
2.12.2. Zakres badań na etapie szczegółowym	117
2.12.3. Zakres badań na etapie uzupełniającym	121
2.12.4. Zakres badań na etapie budowy	121
2.12.5. Zakres badań na etapie eksploatacji	121

2.13. Rozpoznanie lokalnych złóż materiałów budowlanych	122
2.14. Prognoza wpływu stopnia wodnego na tereny przyległe	123
2.15. Wały przeciwpowodziowe — <i>Lech Wysokiński</i>	125
2.15.1. Wstęp	125
2.15.2. Programowanie badań	126
2.15.3. Wymagania zagęszczenia gruntu w wale przeciwpowodziowym	130
3. Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich na potrzeby wykonywania wzrostu górnictwa — <i>Ryszard Kaczyński, Stanisław Rybicki</i>	131
3.1. Górnictwo odkrywkowe — <i>Ryszard Kaczyński</i>	134
3.1.1. Zależność badań od etapu projektowania	134
3.2. Górnictwo podziemne — <i>Stanisław Rybicki</i>	145
3.2.1. Etap badań wstępnych	145
3.2.2. Etap badań podstawowych	148
3.2.3. Dokumentacja geologiczno-inżynierska na etapie badań szczegółowych (uzupełniających)	151
3.3. Górnictwo otworowe — <i>Stanisław Rybicki</i>	153
4. Geologiczno-inżynierska ocena masywu gruntowego (skalnego) — <i>Ryszard Kaczyński, Stanisław Rybicki</i>	153
5. Budownictwo liniowe — <i>Józef Bażyński</i>	156
5.1. Informacje ogólne	156
5.2. Interpretacja zdjęć lotniczych	156
5.3. Badania geofizyczne	158
5.4. Zależność badań od etapu projektowania	159
5.4.1. Zakres badań na etapie rozpoznawczym	163
5.4.2. Zakres badań na etapie szczegółowym	163
5.4.3. Zakres badań na etapie uzupełniającym	167
6. Składowiska — <i>Andrzej Dragowski</i>	167
6.1. Wybór lokalizacji i badania podłoża składowisk	167
6.2. Badania geologiczno-inżynierskie w celu oceny oddziaływania istniejących składowisk na środowisko	169
6.3. Etapy projektowania składowisk	170
6.4. Projektowanie badań	170
6.5. Bariera geologiczna	171
6.6. Obiekty likwidujące zagrożenia środowiska	172
7. Zagospodarowanie przestrzenne — <i>Andrzej Dragowski</i>	173
7.1. Mapy geologiczno-gospodarcze	174
7.2. Atlasy geologiczno-inżynierskie miast	175
7.3. Mapy geologiczno-inżynierskie dla celów planowania przestrzennego w gminach	176
Literatura	179

WPROWADZENIE

W poradniku omówiono zasady wykonywania robót geologicznych, przeprowadzania badań oraz sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej w nawiązaniu do rozwiązań określonych w prawie geologicznym i górnictwym i odpowiednich rozporządzeniach.

Celem poradnika jest ujednoczenie zasad dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, a w szczególności:

1. Omówienie zasad projektowania badań geologiczno-inżynierskich.
2. Określenie sposobów wykonania robót geologicznych i badań geologiczno-inżynierskich, w tym terenowych, laboratoryjnych, kameralnych i specjalistycznych z uwzględnieniem poszczególnych typów budownictwa.
3. Określenie formy opracowania części tekstowej, tabelarycznej i graficznej dokumentacji.

Poradnik metodyczny jest przeznaczony do stosowania przez:

- geologów-dokumentatorów, prowadzących prace i badania geologiczno-inżynierskie, jako wytyczne do sporządzania projektów i dokumentacji geologiczno-inżynierskich,
- pracowników administracji państwowej i samorządowej różnych szczebli w celu właściwego precyzowania zakresów prac geologicznych i kontroli realizacji,
- pracowników uczelni wyższych i innych instytucji prowadzących prace, badania i szkolenie w zakresie geologii inżynierskiej.

Poradnik metodyczny składa się z 4. części:

- A. Zasady projektowania prac geologiczno-inżynierskich.
- B. Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.
- C. Badania na obszarach działania procesów geodynamicznych.
- D. Badania specyficzne dla różnych rodzajów budownictwa.

Zespół autorski serdecznie dziękuje prof. dr. hab. inż. Zygmunтови Glazerowi za konsultacje i życzliwe dyskusje podczas opracowywania tekstu.

A. ZASADY PROJEKTOWANIA PRAC GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

1. PRZEPISY PRAWNE, NORMY, INSTRUKCJE

1.1. Przepisy prawne

Obowiązujące przepisy dotyczące dokumentowania i projektowania prac geologicznych wynikają z Prawa geologicznego i górniczego (Dz. U. nr 27 poz. 96) z 4 lutego 1994 r. wraz z późniejszymi zmianami oraz:

— Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 18 sierpnia 1994 r. w sprawie projektu prac geologicznych (Dz. U. nr 91 poz. 426).

— Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 23 sierpnia 1994 r. w sprawie szczegółowych wymagań jakim powinna odpowiadać dokumentacja hydrogeologiczna i geologiczno-inżynierska (Dz. U. nr 93 poz. 444).

— Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 23 sierpnia 1994 r. w sprawie przypadków, w których niezbędne jest sporządzenie dokumentacji innej niż dokumentacja złoża kopaliny, hydrogeologiczna i geologiczno-inżynierska (Dz. U. nr 93 poz. 443).

— Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 18 sierpnia 1994 r. w sprawie gromadzenia informacji i próbek uzyskanych w wyniku prowadzenia prac geologicznych i postępowania z próbkami i dokumentacjami geologicznymi (Dz. U. nr 91 poz. 425).

— Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 26 sierpnia 1994 r. w sprawie kwalifikacji do wykonywania, dozoru i kierowania pracami geologicznymi (Dz. U. nr 93 poz. 445).

Zestawienie przepisów wraz z komentarzami zawiera numer 12 Przeglądu Geologicznego z 1994 r. (numer specjalny). Nowelizacje przepisów są przewidywane.

1.2. Normy

Zmiana zasad normalizacji od 1994 r. spowodowała, że norm nakazanych obligatoryjnie przez właściwego ministra jest mało i powinny dotyczyć bezpieczeństwa życia ludzkiego, mienia oraz ochrony środowiska.

Geologii inżynierskiej dotyczy w Polsce obecnie tylko kilka norm, które obligatoryjnie są wskazane do stosowania przez Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji (dawniej Budownictwa). Są to:

— PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienia bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowe.

— PN-83/B-03010. Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.

— PN-83/B-02482. Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.

Nawet norma klasyfikacji gruntów nie jest już obowiązkowa od 1.01.1998 r., co umożliwia stosowanie w Polsce innych opisów gruntów niż normowy (PN-86/B-02480), oczywiście przy powołaniu się na źródło.

Dalsze trudności sprawia przejście z naszego dotychczasowego systemu na przyszły system norm europejskich, który według założeń ma się składać z części wspólnej norm obowiązujących w całej EWG oraz części norm krajowych, które każdy kraj (czytaj Land), a więc nawet region, może opracować według własnych potrzeb. Ta część oczywiście musi być skorelowana z przepisami państwowymi i EWG.

Przyszłe normy europejskie (EN) dla geotechniki mają numer 1997. Cały system tej normy (obecnie ponad 500 stron maszynopisu) składa się z następujących części:

EN-1997-1. Projektowanie geotechniczne. Reguły ogólne.

EN-1997-2. Projektowanie geotechniczne. Badania laboratoryjne.

EN-1997-3. Projektowanie geotechniczne z zastosowaniem badań polowych.

EN-1997-4. Projektowanie geotechniczne. Reguły dla konstrukcji specjalnych i ich elementów.

Dodatkowo dochodzą normy z innych działów:

EN-1991-2-6. Parcie gruntu i wody (w normie obciążeń).

EN-1992-4. Fundamenty z betonu.

EN-1993-5. Grodzie, pale, ścianki szczelne.

Normy europejskie nie podjęły zupełnie problemu klasyfikacji gruntów, które to normy dla gruntów i skał ma przygotować komisja ISO (International Standard Organization). Wyraźną zmianę w stosunku do dotychczas obowiązującej praktyki jest wprowadzenie w Polsce kategorii geotechnicznych. Kategorię geotechniczną obiektu budowlanego ustala się w zależności od typu warunków gruntowych oraz czynników konstrukcyjnych, ekonomicznych i środowiskowych.

Kategorię geotechniczną obiektu określa **projektant obiektu w uzgodnieniu z osobą upoważnioną na podstawie odrębnych przepisów do ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektu budowlanego**. Różne części projektu mogą wymagać opracowania ich w różnych kategoriach geotechnicznych.

Kategorie geotechniczne wprowadzono do polskiego systemu prawnego i normalizacyjnego Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. (Dz. U. nr 126 poz. 839). Kategorie jeszcze nie weszły do codziennej praktyki geotechnicznej (norma PN/B 02479).

Kategorie geotechniczne

Kategoria I. Obejmuje ona proste konstrukcje w niewielkich obiektach budowlanych i prostych warunkach gruntowych, w których wystarcza jakościowe określenie właściwości gruntów. Badania w kategorii I można stosować jedynie przy wstępnie rozpoznanych warunkach gruntowych, niewielkich obiektach i gdy zagrożenie życia i mienia jest małe. Stosowanie kategorii I jest możliwe tylko w przypadkach zwykłych konstrukcji, gdy występują proste warunki gruntowe, przy czym należy uwzględniać doświadczenia uzyskane z obserwacji sąsiednich budowli.

Przykłady konstrukcji, które mogą być zaliczone do kategorii I:

— jedno- lub dwukondygnacyjne budynki o prostej konstrukcji i budynki rolnicze przy maksymalnym obciążeniu obliczeniowym na słup równym 250 kN, a na ściany 100 kN/m na fundamentach bezpośrednich, palowych lub na studniach;

- ściany oporowe i zabezpieczenia wykopów, gdy różnica poziomów nie przekracza 2 m;
- płytkie wykopy powyżej zwierciadła wody i niewielkie nasypy do wysokości 3 m.

Kategoria II. Obejmuje ona konstrukcje i fundamenty nie podlegające szczególnemu zagrożeniu, w prostych lub złożonych warunkach gruntowych, przy mało skomplikowanych przypadkach obciążenia. Konstrukcje te są przeważnie projektowane i wykonywane z zastosowaniem powszechnie stosowanych metod.

Przykłady konstrukcji, które mogą być zaliczone do kategorii II:

— powszechnie spotykane konstrukcje posadowione bezpośrednio, a także na fundamentach płytowych lub palowych,

— ściany oporowe wyższe niż w kategorii I lub inne konstrukcje oporowe utrzymujące grunt lub wodę,

- przyczółki i filary mostowe oraz nabrzeża,
- nasypy i budowle ziemne poza kategorią I,
- nawierzchnie lotnisk o sztywnej i podatnej konstrukcji,
- kotwy gruntowe i inne konstrukcje kotwiące,
- tunele w twardych, niespękanych skałach, nie wymagające pełnej szczelności lub spełnienia innych specjalnych warunków.

Kategoria III. Do tej kategorii należy zaliczyć obiekty bardzo duże lub rzadkie, wrażliwe na osiadania, konstrukcje w skomplikowanych warunkach gruntowych lub konstrukcje obciążone nadzwyczajnym ryzykiem nawet w prostych lub złożonych warunkach, obiekty na obszarach działania czynnych procesów geologicznych, czynnych szkód górniczych, konstrukcje zagrażające środowisku.

Konstrukcje, które mogą być zaliczone do kategorii III nawet w przypadku prostych warunków gruntowych:

- budowle o szczególnie dużych obciążeniach, budynki wysokie,
- budynki z wielokondygnacyjnymi podziemiami,
- zapory i inne konstrukcje działające w warunkach dużych różnic ciśnienia wody,
- przejścia komunikacyjne pod drogami o dużym natężeniu ruchu,
- duże mosty, wiadukty, estakady,
- fundamenty maszyn o znacznym obciążeniu dynamicznym,
- skomplikowane konstrukcje nabrzeżne,
- obiekty zakładów stosujących niebezpieczne substancje chemiczne,
- głębokie wykopy wykonywane w pobliżu budowli,
- konstrukcje osłonowe reaktorów jądrowych itp.,

— tunele w skałach miękkich i spękanych obciążone wodami naporowymi lub wymagające szczelności.

Obiekt budowlany należy projektować zgodnie z zasadami zapewniającymi:

- 1) bezpieczeństwo ludzi i mienia,
- 2) ochronę środowiska,
- 3) ochronę zdrowia i życia ludzi przed skutkami stosowanych procesów technologicznych w obiektach,
- 4) ochronę dóbr kultury,
- 5) warunki zdrowotne oraz niezbędne warunki do korzystania z obiektów użyteczności publicznej i mieszkaniowego budownictwa wielorodzinnego przez osoby niepełnosprawne, w szczególności poruszające się na wózkach inwalidzkich,
- 6) racjonalne wykorzystanie energii,
- 7) warunki użytkowe zgodne z przeznaczeniem obiektu, a w szczególności w zakresie oświetlenia, zaopatrzenia w wodę, ogrzewania, wentylacji, łączności, ochrony przeciwpożarowej oraz usuwania ścieków i odpadów,
- 8) ochronę ludności zgodnie z wymaganiami obrony cywilnej, określonymi odrębnymi przepisami,
- 9) ochronę uzasadnionych interesów osób trzecich.

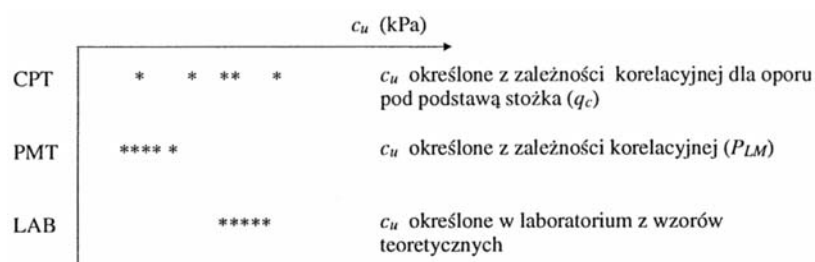
Należy jeszcze zwrócić uwagę na następujące terminy w EN-1997-1 i EN-1997-3, które dotychczas w naszych normach nie były stosowane, a są istotne z punktu widzenia metod geologiczno-inżynierskich. Są to:

— **doświadczenie porównywalne** — udokumentowane lub w inny sposób jednoznacznie określone informacje dotyczące podłoża gruntowego, którego zachowanie i właściwości były wykorzystywane w projektowaniu podobnych konstrukcji,

— **wartości wyprowadzone**.

Wszystkie parametry geotechniczne otrzymane w wyniku korelacji nazywać będziemy wartościami wyprowadzonymi parametrów geotechnicznych. Pojęcie wartości wyprowadzonych wprowadzono do EN-1997-1, aby służyły określaniu wartości charakterystycznych.

Przyjęto następującą koncepcję wartości wyprowadzonych. Przykładowo założmy, że mamy jednorodną warstwę gruntu. Stosujemy dwa rodzaje badań polowych, np. pięć pomiarów sondą CPT i pięć pomiarów presjometrem (PMT). Przyjmijmy, że wykonano pięć badań laboratoryjnych (LAB) w celu określenia np. wytrzymałości na ścinanie przy szybkim ścinaniu. Na podstawie 5. wartości q_c z sondowania sondą CPT i pięciu wartości P_{LM} z badania presjometrycznego uzyskano zbiory wartości, które można skorelować z wytrzymałością na ścinanie (c_u) bez odpływu:



Określone z tych trzech zbiorów wartości służą do wyznaczenia wartości charakterystycznych przyjmowanych w projektowaniu, w tym przypadku c_u . Przyjęta wartość c_u nie musi być zgodna z dokładnym wynikiem któregoś z badań. Terminy: doświadczenia porównywalne i wartości wyprowadzone (inaczej nazywane) stosowaliśmy i stosujemy, bo czym jest metoda B z normy PN-81/B-03020 oparta na uogólnieniu wartości wyników badań z dużych zbiorów z terenu Polski. Wartości wyprowadzone to nic innego jak korelacje między danymi określonymi w terenie (np. liczba uderzeń sondy na 10 cm zagłębienia — N_{10}) a stopniem zagęszczenia (I_D) czy innymi cechami, oraz wynikami badań laboratoryjnych. W Polsce wykonuje się zazwyczaj zbyt mało badań, często nie wykonuje się wcale badań laboratoryjnych. Nie ma natomiast potrzeby ani obowiązku podawać jako parametru dokładnie tych wartości, które uzyskano z badań (jak to często dzieje się u nas).

1.3. Wytyczne, instrukcje, materiały archiwalne

Materiałami archiwalnymi i publikacjami są:

- a) karty otworów wiertniczych (geologiczne, geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne, surowcowe i inne),
- b) dokumentacje geologiczne (geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne, surowcowe),
- c) techniczne badania podłoża gruntowego, dokumentacje geotechniczne, opinie, ekspertyzy dotyczące przedmiotu badań,
- d) mapy geologiczne (geologiczne, hydrogeologiczne, geologiczno-inżynierskie, surowcowe, geomorfologiczne, sozologiczne),
- e) publikacje naukowe,
- f) mapy topograficzne.

Na podstawie analizy materiałów archiwalnych należy:

- ustalić główne problemy geologiczno-inżynierskie decydujące o warunkach budowlanych,
- określić stopień złożoności budowy geologicznej i zakres zmienności cech fizyczno-mechanicznych oraz ich zgodność z przeciętnymi wartościami podanymi w normach budowlanych lub w publikacjach,
- wyznaczyć obszary działania procesów geodynamicznych,
- ustalić problemy mogące mieć istotne znaczenie przy budowie rozpatrywanej inwestycji,
- wstępnie ustalić z projektantem obiektu kategorię geotechniczną inwestycji lub jej części,
- określić ewentualny ujemny wpływ projektowanych badań i robót na środowisko.

W przypadku tworzenia bazy danych materiały archiwalne należy włączyć w przyjętym układzie kartograficznym (preferuje się układ współrzędnych prostokątnych płaskich 1942):

a. Dane dotyczące wierceń obejmują: współrzędne x, y, z , numer otworu, miejscowość, przeznaczenie otworu, głębokość otworu, głębokość wody nawierconą i ustaloną, następstwo warstw, genezę i uproszczoną stratyografię, strefę zafiltrowania, nazwę surowca, miejsce przechowywania dokumentacji i rok wykonania (analogicznie należy włączyć do bazy także otwory znajdujące się w dokumentacjach geologicznych i w publikacjach, dla których można określić współrzędne).

b. Dane dotyczące dokumentacji geologicznych i geotechnicznych obejmują: nazwę dokumentacji, wykonawcę i autora, rok wykonania, ewentualne uwagi o liczbie i głębokości otworów i przeprowadzonych badaniach, miejsce przechowywania i numer.

c. Dane dotyczące publikacji, które należy ująć zgodnie z zasadami bibliografii.

2. DEFINICJE

2.1. Obiekt budowlany

Przez obiekt budowlany należy rozumieć: budynek wraz z instalacjami i urządzeniami technicznymi; budowlę stanowiącą całość techniczno-użytkową wraz z instalacjami i urządzeniami; obiekt małej architektury.

1. Budynek to taki obiekt budowlany, który jest trwale związany z gruntem, wydzielony z przestrzeni przegrodami budowlanymi oraz mający fundamenty i dach.

2. Budowla to każdy obiekt budowlany nie będący budynkiem lub obiektem małej architektury, jak: lotniska, drogi, linie kolejowe, mosty, estakady, tunele, sieci techniczne, wolno stojące maszty antenowe, wolno stojące trwale związane z gruntem urządzenia reklamowe, budowle ziemne, obronne (fortyfikacje), ochronne, hydrotechniczne, zbiorniki, wolno stojące instalacje przemysłowe lub urządzenia techniczne, oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów, stacje uzdatniania wody, konstrukcje oporowe, nadziemne i podziemne przejścia dla pieszych, sieci uzbrojenia terenu, budowle sportowe, cmentarze, pomniki, a także części budowlane urządzeń technicznych (kotłów, pieców przemysłowych i innych urządzeń) oraz fundamenty pod maszyny i urządzenia, jako odrębne pod względem technicznym części przedmiotów składających się na całość użytkową.

3. Obiekt małej architektury to niewielkie objekty, w szczególności:

- kultu religijnego, jak: kapliczki, krzyże przydrożne, figury,
- posągi, wodotryski i inne objekty architektury ogrodowej,
- użytkowe służące rekreacji codziennej i utrzymaniu porządku, jak: piaskownice, huśtawki, drabinki, śmietniki,

4. Tymczasowy obiekt budowlany to obiekt przeznaczony do czasowego użytkowania w okresie krótszym od jego trwałości technicznej, przewidziany do przeniesienia w inne miejsce lub rozbiórki, a także obiekt budowlany nie połączony trwale z gruntem, jak: strzelnice, kioski uliczne, pawilony sprzedaży ulicznej i wystawowe, przykrycia namiotowe i powłoki pneumatyczne, urządzenia rozrywkowe, barakowozy, objekty kontenerowe.

5. Teren budowy to przestrzeń, w której są prowadzone roboty budowlane wraz z przestrzenią zajmowaną przez urządzenia zaplecza budowy.

2.2. Fundamenty

Ławy pod ściany konstrukcyjne. Typowym fundamentem w budynkach jest ława — gruba płyta wspornikowa, biegnąca nieprzerwanie wzdłuż muru. W zależności od obciążenia i jakości gruntu ławy mogą być wykonane jako betonowe lub żelbetowe.

Ławy betonowe i żelbetowe pod murami konstrukcyjnymi są niekiedy zbrojone również czterema prętami podłużnymi średnicy 10–20 mm w celu zabezpieczenia przed poprzecznym pękaniem, wywołowanym nierównomiernym osiadaniem, nadmierną podatnością gruntu lub innymi przyczynami. Wysokość ławy nie powinna być mniejsza niż 30 cm.

Stopy pojedyncze pod słupy. Pojedyncze stopy stosuje się głównie w miejscu skupionego obciążenia, a więc pod słupami, ponadto w tych przypadkach, gdy zastosowanie ław zarówno

z uwagi na głębokość posadowienia, jak i wymaganą powierzchnię staje się nieekonomiczne lub niemożliwe.

Fundamenty rusztowe. W zależności od układu konstrukcyjnego podpór, ławy można umieszczać podłużnie lub poprzecznie. Układ zbrojonych ław krzyżujących się tworzy ruszt fundamentowy.

Fundamenty płytowe. Konstrukcja ta ma tę zaletę, że obciążenie rozkłada się na znaczną powierzchnię, a ponadto przy gruntach o niejednakowej podatności fundament płytowy zmniejsza ujemne skutki nierównomiernego osiadania. Fundamenty płytowe stosuje się zwykle na bardzo słabych i niejednorodnych gruntach i wykonuje się z żelbetu. W zależności od konstrukcji podpór i warunków miejscowych fundament płytowy może być wykonany jako płyta o stałej wysokości, jako płyta żebrowa.

Fundamenty skrzyniowe. Konstrukcję żelbetowego fundamentu skrzyniowego stanowią dwie płyty poziome — podstawa i przykrycie, związane ze sobą monolitycznie ścianami podłużnymi i poprzecznymi, usytuowanymi zgodnie z siatką podpór konstrukcji górnej. W ten sposób przecięcia pionowych ścian stanowią podpory dla słupów. Fundamenty skrzyniowe znalazły zastosowanie głównie w budynkach wysokich, przekazujących bardzo duże i nierównomierne obciążenie na grunt.

Rozwój techniki fundamentowania w ostatnim 20-leciu doprowadził do wytworzenia nowych metod wykonywania fundamentów głębokich. Są to:

Pale wiercone. Mają one średnicę 0,3–3 m i długość do kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu metrów, o różnych kształtach konstrukcji z nich wytworzonych: pojedynczych kołowych i zespołowych prostokątnych, owalnych (baret), krzyżowych o polu przekroju do 10 m (te ostatnie to zespoły otworów połączone w odpowiednią konstrukcję). Pale są wiercone z rurowaniem lub pod osłoną zawieszony, a tzw. pale C.F.A. są też formowane świdrem ciągłym (spiralnym).

Ściany szczelinowe. Są to ściany formowane w gruncie, grubości 30–120 cm, długości kilkunastu do kilkudziesięciu (np. 50) metrów. Ściany formuje się różnym sprzętem do głębinowania w ograniczających ściankach prowadzących, przy utrzymywaniu ścian wykopu zawieszoną betonową częścią z dodatkiem polimerów lub dodatków twardniejących. Ściany szczelinowe służą tylko do utrzymywania ścian wykopów lub są jednocześnie ścianami fundamentowymi. W trakcie wykonywania wykopów i odsłaniania ścian szczelinowych należy zapewnić im właściwe rozparcie. Uzyskuje się to stosując rozpory lub kotwie gruntowe.

Kotwie gruntowe. W wiercone poziomo lub pod kątem otwory wkłada się ciężną stalowe zakończone buławą, wypełnioną pod ciśnieniem betonem. Po stężeniu betonu kotwie naciąga się i napina zapierając o ścianę szczelinową lub inną konstrukcję, np. palościankę czy ściankę szczelną. Kotwie mają nośność od kilkunastu do kilkudziesięciu ton. Oprócz kotwi gruntowych używa się także innych konstrukcji, jak kotwie wkręcane, pale wyciągane, gwoździe gruntowe, zakotwienia mechaniczne, kotwy rozprężające.

Pale przemieszczeniowe (nowy termin). Są wykonywane w gruncie bez wiercenia i wydobywania gruntu. Są to pale prefabrykowane lub formowane w gruncie, zagłębiane w grunt przez wbijanie, wwibrowywanie, wciskanie, wkręcanie lub kombinację tych metod. Materiały pali to stal, żeliwo, beton, drewno, różne iniekty (zastrzyki) zagęszczające, rozrywające, nie przemieszczające ośrodka filtracyjnego, wypełniające szczeliny. Materiały do zastrzyków to roztwory i zaprawy, cement, spoiwa hydrauliczne, materiały ilowe, piasek, wypełniacze, chemikalia.

Iniekcja strumieniowa (ang. *jet grouting*). Jest to działanie obejmujące odspajanie gruntu lub słabej skały oraz jego mieszanie i częściową wymianę na czynnik wiążący. Elementy

konstrukcyjne, które można wykonywać tą metodą to: pale, ściany, przegrody, płyty sklepienia, masywne bloki. Są systemy jednomediove, dwumediove i trójmediove (powietrzny i wodny). Metodę stosuje się do wzmocnienia gruntu, wykonywania przesłon przeciwfiltracyjnych i innych.

Ścianki szczelne. Jest to znana od dawna technologia wykonywania ścianek stalowych, żelbetowych, drewnianych, łączonych na zamki lub nie, zezwalająca na odcięcie dopływu wód gruntowych do wykopu.

Oprócz wymienionych stosowane są ciągle znane od dawna techniki fundamentowania głębokiego: pale, studnie, kesony.

Fundamenty głębokie. Fundamenty głębokie stosuje się w przypadku, gdy:

- a) nośny grunt znajduje się w głębszych warstwach podłoża,
- b) zachodzi potrzeba posadowienia budowli głębiej ze względu na kondygnacje podziemne,
- c) wykonanie fundamentów w płytkich wykopach otwartych jest niemożliwe lub utrudnione ze względu na wysoki poziom wody gruntowej.

Przy posadowieniu głębokim wybór rodzaju fundamentu zależy od warunków geologicznych i możliwości techniczno-ekonomicznych. W przypadku a) i c) zwykle stosuje się posadowienie sztuczne za pomocą różnego systemu pali lub studni.

Posadowienie na palach jest znane od czasów najdawniejszych. Pod względem pracy statycznej można wyodrębnić tu dwa przypadki:

a. Pale przechodzą przez słabe warstwy i opierają się na nośnym gruncie. W tym przypadku pracują one podobnie jak słupy, przy czym nacisk jest tu przenoszony nie tylko przez podstawę, lecz również przez boczny opór powierzchni trzonu pala.

b. Pale nie mają oparcia w warstwie o wystarczającej nośności, ale przechodząc przez warstwy słabe zagęszczają je i pracują z podłożem jako zespolona całość. Tego rodzaju pale nazywają się zawieszonymi, a ich długość musi być większa lub co najmniej równa szerokości podstawy fundamentu.

3. PROJEKTOWANIE PRAC

Projektowanie prac geologiczno-inżynierskich obejmuje:

- określenie celu prac,
- dokonanie analizy materiałów archiwalnych i literatury,
- dokonanie wstępnej interpretacji zdjęć lotniczych i satelitarnych w sposób i w przypadkach wymienionych w rozdziale B.3,
- dokonanie przeglądu terenu,
- opracowanie projektu prac geologicznych.

4. CEL PRAC GEOLOGICZNYCH

Cel prac geologicznych i wynikający zakres badań dla określonej inwestycji zależy od:

- wymagań techniczno-budowlanych,
- obecnego stopnia rozpoznania geologicznego podłoża budowlanego,

Tabela 1

Schemat prac geologicznych przy sporządzaniu dokumentacji geologiczno-inżynierskich

Projektowanie		
I. Prace projektowe i przygotowawcze	a. Projektowanie	1. Określenie celu badań 2. Analiza materiałów archiwalnych i literatury 3. Analiza zdjęć lotniczych i satelitarnych 4. Przegląd terenu 5. Projekt prac geologicznych 6. Określenie zakresu badań w celu oceny oddziaływania na środowisko (OOS)
	b. Przygotowanie sprzętu do badań terenowych	
Dokumentowanie		
II. Prace terenowe	a. Pomiarowe	1. Geodezyjne i fotogrametryczne
	b. Geologiczne	1. Kartowanie geologiczno-inżynierskie 2. Profilowanie wyrobisk 3. Nadzór, dozór
III. Roboty geologiczne	a. Górnicze	1. Powierzchniowe { szurfy szybiki 2. Podziemne { szyby sztolnie
	b. Wiertnicze	1. Ręczne i mechaniczne 2. Sondy rdzeniowe
IV. Badania polowe	a. Geofizyczne	1. Sejsmiczne 2. Geoelektryczne 3. Inne metody geofizyczne
	b. Hydrogeologiczne	1. Badanie współczynnika filtracji 2. Obserwacje wahań zwierciadła wody 3. Pobieranie próbek wody i powietrza glebowego
	c. Geologiczno-inżynierskie	1. Badania makroskopowe 2. Pobieranie próbek 3. Sondowania dynamiczne i statyczne 4. Ścinanie obrotowe 5. Badania presjometyczne 6. Próbne obciążenia płytą 7. Badania dylatometryczne
V. Badania laboratoryjne	a. Badania podłoża	1. Gruntów 2. Skał 3. Wody
	b. Badania materiałów budowlanych	
VI. Prace dokumentacyjne	a. Tekst b. Przekroje c. Mapy d. Tabele, zestawienia e. Obliczenia	

- stopnia złożoności podłoża,
- kategorii geotechnicznej,
- spodziewanego zagrożenia inwestycji dla otoczenia.

Wymagania techniczno-budowlane powinny zawierać:

- lokalizację inwestycji, położenie administracyjne,
- dane o właścicielu i użytkowniku terenu,
- posiadane informacje o podłożu lub znane zlecającemu,
- przewidywaną charakterystykę obiektów, a w szczególności rodzaje fundamentów, głębokość posadowienia itp.,
- dane o wrażliwości konstrukcji na nierównomierne osiadanie,
- dane o istniejącym uzbrojeniu i o projektowanych obiektach podziemnych,
- wymagania projektanta dotyczące rozpoznania podłoża i terenu budowlanego,
- zapotrzebowanie inwestycji na lokalne materiały budowlane.

Projekt prac geologicznych określa cel zamierzonych prac, rodzaje i zakresy robót oraz badań niezbędnych do rozwiązania zadania, rodzaj dokumentacji, harmonogram prac oraz przedsięwzięcia konieczne ze względu na ochronę środowiska.

Dokumentacja geologiczno-inżynierska jest zbiorem informacji o:

- a) budowie geologicznej,
- b) warunkach hydrogeologicznych,
- c) zjawiskach i procesach geodynamicznych,
- d) właściwościach fizyczno-mechanicznych gruntu, niezbędnych do planowania, projektowania, budowy i monitoringu inwestycji budowlanych,
- e) wpływie inwestycji na środowisko.

Schemat (tab. 1) przedstawia większość prac i badań stosowanych przy projektowaniu i dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim.

5. STOPIEŃ ZŁOŻONOŚCI WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

Określenie stopnia złożoności warunków geologiczno-inżynierskich służy do orientacyjnego ustalenia zakresu badań geologicznych, w szczególności: a) liczby punktów dokumentacyjnych przypadających na 1 km powierzchni zdjęcia geologicznego lub b) liczby punktów dokumentacyjnych przypadających pod konkretny obiekt. Kartowanie geologiczne wykonuje się przede wszystkim w celu wstępnego określenia wzajemnego wpływu obiekt–środowisko. Kartowanie geologiczno-inżynierskie ma dostarczyć w dużym stopniu informacji do opracowania oceny oddziaływania na środowisko (OOS), natomiast rozpoznanie pod konkretne obiekty ma dostarczyć dane do projektowania tych obiektów. Z tego powodu ocena stopnia złożoności różni się dla obu celów. Oceny stopnia złożoności należy dokonać posługując się tabelą 2.

Ocena stopnia złożoności podłoża (Instrukcja ..., 1998a)

Stopień złożoności podłoża	Na potrzeby kartowania geologiczno-inżynierskiego	Na potrzeby programowania badań podłoża budowli drogowych i ustalania kategorii geotechnicznych
Proste	Tereny płaskie lub pofałdowane; warstwy gruntu poziome lub nieznacznie pochylone, wyraźne, stałe i znane poziomy litostratygraficzne; jeden poziom wody podziemnej o ustabilizowanym składzie; brak objawów procesów geodynamicznych lub procesy o małej intensywności	Poziome warstwy gruntów jednorodnych, dobrze poznanych w podłożu obiektu, gdy z dostępnych badań wynika, że grunty niespoiste są co najmniej średnio zagęszczone, a spoiste co najmniej plastyczne. Brak warstw o małej nośności lub zaburzeń geodynamicznych (glacitektonika, zsuwy, kras itp.), woda gruntowa jest poniżej poziomu posadowienia (dna wykopów) lub można ją łatwo obniżyć
Złożone	Tereny pagórkowate, formy erozyjne, warstwy pochyle, sfałdowane, słabo poznana stratygrafia z niewyraźnymi poziomami przewodnimi, zmienna facja; jeden do trzech poziomów wodonośnych o zróżnicowanym składzie chemicznym, wyraźne formy po ustabilizowanych procesach geodynamicznych	Poniżej poziomu posadowienia obiektów występują grunty mineralne zróżnicowane co do rodzaju, miąższości i stanu; woda gruntowa występuje okresowo lub stale powyżej poziomu posadowienia, a odwodnienie jest trudne, przypowierzchniowe warstwy gruntów o małej nośności (organiczne lub spoiste miękkoplastyczne), brak czynnych procesów geodynamicznych
Skomplikowane	Tereny podgórskie i górskie, doliny rzek, złożona budowa geologiczna fałdowo-łuskowa, zdyslokowana; na pozostałych terenach: duża zmienność litologiczna, kilka poziomów wodonośnych o zróżnicowanym składzie chemicznym (wody krasowe, tereny kopalniane), intensywne procesy geodynamiczne, w tym zaburzenia glacitektoniczne	Duża zmienność rodzajów, miąższości i stanu gruntów; występowanie gruntów organicznych, pęczniących lub spoistych miękkoplastycznych zmiennej miąższości, w kilku warstwach, obiekt znajduje się na terenie lub w bezpośrednim sąsiedztwie zagrożeń geodynamicznych, szczególnie glacitektonicznych i osuwiskowych albo na terenach szkód górniczych

6. CZĘŚĆ TEKSTOWA

Projekt prac geologiczno-inżynierskich powinien zawierać:

- a. Określenie celu projektowanych prac geologicznych z wykorzystaniem wymagań techniczno-budowlanych zgodnie z rozdziałem A.4.
- b. Lokalizację terenu badań na mapie lub planie w ogólnie stosowanym układzie współrzędnych, najlepiej 1942.
- c. Analizę dotychczas wykonanych badań zlokalizowanych na mapie dokumentacyjnej.
- d. Wyniki wstępnej analizy zdjęć lotniczych i satelitarnych zgodnie z rozdziałami B.3.1 i B.3.2.
- e. Wyniki i wnioski z przeprowadzonego przeglądu terenu.
- f. Charakterystykę morfologiczną terenu badań.

g. Opis budowy geologicznej (geometria warstw, litogeneza, warunki hydrogeologiczne) i określenie stopnia złożoności podłoża oraz kategorii geotechnicznej zgodnie z rozdziałem A.1.2.

h. Opis działających procesów geodynamicznych.

i. Opis projektowanych robót, prac i badań zgodnie z tabelą 1, z podaniem możliwych wariantów i określeniem:

— liczby, rodzaju i lokalizacji robót geologicznych wraz z uzasadnieniem,

— schematycznej konstrukcji otworów wiertniczych wraz z podaniem sposobów ich likwidacji,

— wskazówek dotyczących zamykania poziomów wodonośnych,

— wyszczególnienia i uzasadnienia zakresu i metod badań terenowych, polowych i laboratoryjnych zgodnie z tabelą 1,

— sposobu pobierania próbek gruntów, skał i wody,

— harmonogramu prac (terminy rozpoczęcia, czas trwania i terminy zakończenia robót geologicznych, prac terenowych, badań laboratoryjnych i specjalnych z opracowaniem dokumentacji włącznie). Harmonogram badań geologiczno-inżynierskich dla dużych inwestycji budowlanych (np. stopnie wodne) powinien być opracowany metodą decydujących ciągów.

j. Określenie formy dokumentacji (dokumentacja geologiczno-inżynierska pełna lub uproszczona).

7. UWAGI ORGANIZACYJNE

Projekt prac geologicznych podpisuje osoba z odpowiednimi uprawnieniami i odpowiedzialna za całość projektowanych prac.

W projekcie prac geologicznych należy przewidzieć badania i obserwacje potrzebne do opracowania oceny oddziaływania na środowisko (OOS) oraz przewidzieć środki niezbędne do wyeliminowania zagrożeń środowiska, np. dobór odpowiednich metod badawczych, właściwej pory roku do przeprowadzania badań itp.

W przypadku projektowania wykonawstwa robót geologicznych w kilku etapach należy szczegółowo określić rodzaje, zakresy i lokalizację dla pierwszego etapu oraz orientacyjnie dla etapów następnych. Dla kolejnych etapów należy sporządzić aneksy do projektu i uzyskać ich zatwierdzenie. W uzasadnionych przypadkach celowe jest wnioskowanie w projekcie o wydanie przez organ zatwierdzający zezwolenia na korektę zakresu robót.

Projekt prac geologicznych przedstawia w 3. egzemplarzach do zatwierdzenia podmiot finansujący badania geologiczno-inżynierskie. Projekty i dokumentacje wykonywane na obszarze danego województwa zatwierdza wojewoda lub starosta, a wykonywane na terenie więcej niż jednego województwa Minister Środowiska.

Roboty geologiczne na obszarach górniczych i przy głębokości wierceń przekraczającej 30 m podlegają nadzorowi i kontroli organów państwowego nadzoru górniczego. W tym przypadku wymagany jest tzw. plan ruchu.

Wykonawca prac geologicznych jest zobowiązany do zgłoszenia na piśmie wojewodzie lub staroście i zarządowi gminy zamiaru przystąpienia do prac co najmniej na dwa tygodnie przed ich rozpoczęciem. W zgłoszeniu należy podać terminy rozpoczęcia i zakończenia robót, ich rodzaj i podstawowe dane oraz osoby sprawujące dozór i kierownictwo robót.

B. ZASADY SPORZĄDZANIA DOKUMENTACJI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie obejmuje następujące czynności:

- prace terenowe,
- prace geologiczne i górnicze,
- analizę zdjęć lotniczych i satelitarnych,
- kartowanie geologiczno-inżynierskie,
- badania polowe,
- badania laboratoryjne,
- badania hydrogeologiczne,
- badania w celu oceny oddziaływania na środowisko,
- prace dokumentacyjno-zestawcze.

1. PRACE POMIAROWE GEODEZYJNE I FOTOGRAMETRYCZNE

Podstawowe punkty dokumentacyjne, np. wiercenia, piezometry, sondowania, miejsca próbnych obciążeń, lokalizuje się na podkładach topograficznych (mapa topograficzna, cyfrowa ortofotomapa itp.) metodami geodezyjnymi tradycyjnymi lub GPS (ang. *Global Positioning System*).

Punkty obserwacyjne podczas kartowania należy lokalizować w stosunku do punktów nawiązań (skrzyżowanie dróg, mosty, budynki, większe drzewa itp.) wyraźnie zaznaczonych na mapie topograficznej lub zdjęciach lotniczych.

Przy lokalizowaniu na mapach topograficznych należy stosować ciągi azymutalno-taśmowe lub w przypadku dopuszczalnej mniejszej dokładności — ciągi krokówkowe. Ciągi krokówkowe i azymutalno-taśmowe należy wyrównywać.

Najlepszym podkładem topograficznym przy kartowaniu geologicznym są zdjęcia lotnicze i naziemne, ze względu na aktualność przedstawionej sytuacji topograficznej i dużą liczbę możliwych punktów nawiązań. Ze zdjęć lotniczych wykorzystuje się przede wszystkim stereogramy lub ortofotomapy.

Stereogramy naziemne wykonuje się w celu udokumentowania lokalizacji obiektów geologicznych, np. odkrywek i osuwisk. Zmiany zachodzące w osuwisku dokumentuje się przy zastosowaniu zdjęć naziemnych z paralaksą czasową. Obecnie dostępne są stereoskopowe skanerowe zdjęcia lotnicze i satelitarne, zezwalające na uzyskanie numerycznego modelu terenowego wspomagającego automatyczny proces projektowania i monitorowania obiektów budowlanych.

2. PRACE GEOLOGICZNE

Profilowania w trakcie prac terenowych należy prowadzić dla wszystkich odsłonięć naturalnych i wyrobisk. Wyrobiska wykonuje się zależnie od celów badawczych i warunków geologicznych, jako:

- odkrywki,
- szybiki,
- wykopy,
- wiercenia,
- doły próbne,
- sondy penetracyjne,
- sondy rdzeniowe.

Wyrobiska badawcze i inne miejsca badań należy wytyczać w terenie metodami geodezyjnymi, zgodnie z ich lokalizacją określoną w projekcie prac geologicznych, a w przypadku braku na tym terenie osnowy geodezyjnej na podstawie obiektów terenowych uwidocznionych na planie. Do określenia współrzędnych wyrobisk można wykorzystać urządzenia lokalizacji satelitarnej (GPS). Wyrobiska należy wytyczać z dokładnością do 1,0 m, sporządzając odpowiedni szkic terenowy. Niwelacją należy objąć wszystkie punkty terenu wskazane w projekcie prac geologicznych lub charakterystyczne punkty terenowe. Niwelację należy wiązać do co najmniej dwóch reperów o znanej wysokości. W przypadku braku reperów państwowych w odległości do 2 km, niwelację można nawiązać do punktu stałego w terenie przyjętego jako reper zastępczy, lokalizując go na podkładzie.

Podstawową metodą profilowania wyrobisk są badania makroskopowe skał i gruntów. Wykonuje się je:

- w warunkach polowych, gdzie na ich podstawie wydziela się warstwy i określa profil wyrobiska,
- w laboratorium, jako ponowne badanie wszystkich dostarczonych próbek w celu wytypowania próbek do szczegółowych badań.

Dodatkową, godną polecenia dokumentację warunków geologiczno-inżynierskich podłoża mogą stanowić zdjęcia fotograficzne ścian wyrobisk lub próbek i rdzeni pobranych z otworów wiertniczych.

2.1. Odsłonięcia naturalne, odkrywki, szybiki i wykopy

Odsłonięcia naturalne, odkrywki, szybiki i wykopy, w tym wykopy przy fundamentach istniejących budynków, wykorzystuje się do przeprowadzenia bezpośrednich obserwacji i pomia-

rów geologicznych, poboru próbek oraz przeprowadzenia badań specjalistycznych, np. próbnych obciążeń gruntu. Szczególnie przydatne są w przypadku:

- płytkiego występowania skał litych,
- rozpoznania profilu wietrzeniowego,
- kąta upadu i biegu warstw skalnych,
- stopnia zwietrzenia i spękania materiału skalnego,
- do rozpoznania niektórych gruntów antropogenicznych.

Profilowaniu podlegają odpowiednio przygotowane i oczyszczone ściany wyrobisk. Profilować należy nie jedną ścianę, ale kilka i dno wyrobiska, tak aby uzyskać obraz przestrzennej zmienności utworów. Najczęściej stosuje się profilowanie trzech ścian (czołowej i dwóch prostopadłych do niej) oraz dna. Profilowane ściany należy orientować w stosunku do północy i ewentualnie do obiektu budowlanego. Profil takiego wyrobiska powinien stanowić przestrzenne rozwinięcie profilów i rysunków poszczególnych ścian i dna. Profile wyrobisk, jako dokładne rysunki ścian, należy wykonywać w skali 1:50, 1:20, a nawet 1:10 zależnie od potrzeb, a w przypadku odsłoneń ścian naturalnych w skali 1:200 i mniejszej.

Z doświadczeń wynika, że projektując prace geologiczne w terenie często nie wykorzystuje się możliwości uzyskania bogatych danych otrzymanych z profilowania ścian odsłoneń naturalnych i wykopów budowlanych. Wykorzystanie istniejących odsłoneń, oczywiście po oczyszczeniu ścian, często daje większe możliwości poznawcze przy dość małych kosztach w stosunku do innych wyrobisk badawczych.

Wykonując szybiki w obudowie należy tak ją wykonać, aby było możliwe swobodne profilowanie ich ścian.

Odkrywki fundamentów są inną formą wykopów. Są wykonywane w celu ustalenia głębokości i sposobu posadowienia istniejących budynków oraz wykształcenia podłoża bezpośrednio pod fundamentem. Odkrywki fundamentów wykonuje się najczęściej w celu dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich:

- budynków plomb,
- budynków dobudowywanych lub nadbudowywanych,
- terenów, na których istnieje możliwość występowania starych fundamentów.

Fundamenty można odsłaniać od strony zewnętrznej budynku, jak również od strony piwnic. Celem wykonywania wyrobisk, co należy odwzorować w trakcie profilowania, jest:

- stwierdzenie szczegółów budowy geologicznej, a przede wszystkim litologii i zmienności faćjalnej, biegu i upadu warstw skalnych,
- określenie zaangażowania tektonicznego skał,
- jakościowe i ilościowe określenie szczelinowatości skał,
- określenie profilu wietrzeniowego skał,
- ustalenie przebiegu stref poślizgu na obszarach osuwiskowych i glacitektonicznych,
- określenie w wyniku badań *in situ* właściwości fizycznych i mechanicznych skał i gruntów,
- ustalenie przejawów wód gruntowych,
- pobranie próbek skał i gruntów do badań laboratoryjnych i zaznaczenie na rysunkach ścian miejsc ich poboru.

2.2. Wiercenia badawcze

Wiercenia umożliwiają:

- pobieranie próbek gruntów, na podstawie których odtwarza się profil geologiczny i ustala cechy fizyczno-mechaniczne gruntów,
- przeprowadzenie obserwacji hydrogeologicznych oraz pobranie próbek wód,
- przeprowadzenie innych badań, np. geofizycznych, próbnych obciążeń.

W trakcie wierceń należy co 1 m i po każdej zmianie warstw przeprowadzać pełne badanie makroskopowe urobku według PN-88/B-04481. Wyniki badań makroskopowych jako podstawowe oraz inne badania i obserwacje służą do określenia profilu otworu wiertniczego przedstawionego w formie metryki lub karty dokumentacyjnej, gdzie przede wszystkim, poza profilem geologicznym słupkowym, przelotem warstw, opisem litologicznym, informacjami dotyczącymi genezy i stratygrafii, podaje się dane odnośnie do warunków hydrogeologicznych, cech fizyczno-mechanicznych gruntów, charakteru i głębokości pobrania próbek, przebiegu wiercenia.

Wiercenia są wykonywane różnym sprzętem. Ważny jest taki dobór sprzętu, aby nie wystąpiły niekorzystne zmiany w środowisku w wyniku wykonania otworów. Wiercenia głębsze od 30 m lub zlokalizowane na terenach górniczych należy wykonywać zgodnie z przepisami prawa górniczego.

2.3. Sondy penetracyjne i rdzeniowe

Sondy penetracyjne — płytkie otwory małośrednicowe wykonywane zwykle do głębokości 4–6 m, wiercone ręcznie lub mechanicznie jako rurowane i nieorurwane, pozwalają podobnie jak w otworach wiertniczych na:

- rozpoznanie gruntów i ich właściwości w profilu geologicznym,
- pobranie próbek o naturalnym uziarnieniu i wilgotności.

Tak jak w przypadku wierceń dla sond penetracyjnych sporządza się karty dokumentacyjne.

Geologiczna sonda rdzeniowa umożliwia pobór próbek w sposób ciągły lub punktowo z wybranych głębokości. Przy opróbowaniu ciągłym istnieje możliwość opracowania profilu geologicznego oraz, zależnie od potrzeb, charakterystyki geochemicznej, fizycznej i wytrzymałościowej gruntów. Zapis tych danych należy przedstawić w formie metryki lub karty dokumentacyjnej.

2.4. Doły próbne

Doły próbne służą najczęściej do pobierania dużych próbek gruntów. Ściany ich powinny być sprofilowane i przedstawione w formie rysunku lub kolorowego zdjęcia fotograficznego ze skalą.

2.5. Nadzór

Prace geologiczne mogą być wykonywane, dozоровane i kierowane tylko przez osoby mające odpowiednie kwalifikacje Prawa geologicznego i górniczego (art. 31 p. 1, Dz. U. nr 27 poz. 96 z 1994 r.), przy czym zgodnie z przepisami sprawowanie dozoru geologicznego dotyczy wykonywania robót geologicznych, z wyjątkiem geofizycznych, lub kierowania w terenie wierceniami do głębokości 30 m poza obszarem górnicznym. Wykonywanie badań geologicznych i ich kierowanie stanowią więc podstawowe zadania nadzoru geologicznego.

Na etapie prac przygotowawczych do nadzoru należy:

- uzgodnienie i opiniowanie projektów prac geologicznych w celu wykonania badań geologiczno-inżynierskich przed skierowaniem ich do organu zatwierdzającego,
- przegląd terenu badań,
- określenie użytkowania terenu ze względu na występowanie ewentualnych przeszkód przy lokalizacji wyrobisk badawczych oraz powstanie szkód w wyniku prowadzenia prac geologicznych,
- ocena stanu zachowania istniejących budynków,
- zgłoszenie zamiaru przystąpienia do wykonywania prac geologicznych właściwym jednostkom administracji państwowej lub samorządowej, a w ściśle określonych przypadkach organowi państwowego nadzoru górniczego.

W trakcie prowadzenia badań do nadzoru należy:

- wyznaczenie wyrobisk i ich niwelacja,
- kontrola prowadzonych terenowych badań podłoża,
- przestrzeganie zgodności prowadzonych badań z projektem prac geologicznych w odniesieniu do napotkanych warunków podłoża,
- przestrzeganie zasad ochrony wód podziemnych i likwidacja otworów,
- przestrzeganie zasad pobierania próbek wody i gruntów,
- wykonywanie lub współudział w badaniach specjalistycznych,
- sporządzanie dokumentacji z badań,
- wnioskowanie zmian w projektach prac geologicznych w miarę wynikających potrzeb, w granicach upoważnień zawartych w decyzji zatwierdzającej projekt prac geologicznych, lub wnioskowanie sporządzenia aneksu; dodatkowo w szczególnych przypadkach w trakcie prowadzenia robót fundamentowych również odbiory wykopów.

3. ANALIZA ZDJĘĆ LOTNICZYCH I SATELITARNYCH

3.1. Zdjęcia lotnicze

Analizę zdjęć lotniczych i satelitarnych wykonuje się w pierwszych etapach rozpoznania geologiczno-inżynierskiego dużych inwestycji. Wykorzystanie zdjęć lotniczych i satelitarnych jest celowe w szczególności przy badaniach geologiczno-inżynierskich dolin rzecznych w rejonach projektowanych stopni wodnych, przy badaniach tektonicznych, projektowaniu elektrowni

atomowych, wyborze tras autostrad i dróg ekspresowych, dla górnictwa odkrywkowego na etapie projektowania i monitoringu przebiegu eksploatacji.

Interpretacja geologiczna zdjęć lotniczych i satelitarnych jest szczególnie wskazana w przypadku stosowania komputerowych systemów numeryczno-graficznych, generujących elementy projektu budowlanego i wykorzystujących cyfrową ortofotomapę, numeryczny model terenu oraz cyfrowe widoki perspektywiczne. Obecne możliwości fotogrametrii pozwalają na uzyskanie dowolnej dokładności zdjęć od skali 1:500 począwszy. Skalę zdjęć lotniczych należy dobrać w zależności od żądanej dokładności.

Zdjęcia lotnicze w formie stereogramów powinny być przygotowane do wizji lokalnej. Wszystkie wyniki badań i prac projektowych należy nanieść na cyfrową ortofotomapę, która stanowi najbardziej dokładny i aktualny podkład topograficzny, a odpowiednie programy aplikacyjne zezwalają na projektowanie inżynierskie na podstawie numerycznego modelu terenu (R. Kaczyński, 1995). Do wykonywania podkładów topograficznych i interpretacji tematycznej są obecnie dostępne zdjęcia lotnicze kolorowe (stereogramy), wykonywane w pierwotnej skali około 1:26 000. Dobra jakość tych zdjęć zezwala na opracowanie map o geodezyjnej dokładności 1:5000.

3.2. Zdjęcia satelitarne

Zdjęcia satelitarne zezwalają na opracowanie map topograficznych i tematycznych w dowolnym układzie współrzędnych, z dokładnością od 1:10 000. Obecnie dostępne zdjęcia satelitarne odznaczają się następującymi zdolnościami rozdzielczymi w terenie:

- Landsat — około 30 m (USA),
- SPOT — 10–20 m (Francja),
- Kosmos KVR-1000 — 2–5 m (Rosja).

Zdjęcia satelitarne umożliwiają szybką analizę obecnego sposobu zagospodarowania terenu na większych obszarach, szybką aktualizację podkładów topograficznych oraz ocenę tektoniki obszaru.

Wyróżnia się wstępną i szczegółową fotointerpretację zdjęć lotniczych i satelitarnych:

— Analiza wstępna zezwala na ocenę odkrycia geologicznego terenu przez wyszukanie i naniesienie na podkład topograficzny naturalnych i sztucznych odsłoneń, a także na ocenę dostępności terenu, przede wszystkim ze względu na roślinność, podmokłości i urozmaiconą morfologię. Na tej podstawie ustala się projekt poruszania po terenie przy użyciu odpowiednich środków transportu i pieszo podczas przeglądu terenu, a następnie podczas kartowania geologiczno-inżynierskiego.

— Analiza wstępna ma ograniczyć zakres i skrócić czas trwania badań terenowych, a przy tej samej liczbie punktów dokumentacyjnych zezwala na wyraźne zwiększenie dokładności.

3.3. Fotointerpretacja wstępna

Podczas wstępnej analizy zdjęć stereoskopowych (stereogramów) należy dokonać sklasyfikowania obszaru badań następująco:

a) obszary, na których elementy budowy geologicznej są nieczytelne lub słabo czytelne i które wymagają pełnego udokumentowania terenowego,

b) obszary, na których tylko niektóre elementy budowy geologicznej są czytelne i które będą wymagać ograniczonego udokumentowania granic geologicznych podczas terenowego kartowania,

c) obszary, na których budowa geologiczna jest łatwo czytelna i kartowanie geologiczne ograniczy się do wykonania kontrolnych punktów dokumentacyjnych.

Na podstawie analizy wstępnej zdjęć lotniczych i przeglądu terenu podejmuje się decyzję o celowości wykonania analizy szczegółowej. Dotyczyć ona może w zasadzie tylko obszarów z punktów b i c.

3.4. Fotointerpretacja szczegółowa

Szczegółowej analizy zdjęć lotniczych dokonuje się według zasad fotogeologii na podstawie elementów rozpoznawczych, jak: fototon (stopnie szarości), rodzaj szaty roślinnej i kondycja, tekstury i struktury zdjęcia oraz morfologii. Szczegółową interpretację zdjęć lotniczych wykonuje się z pewnym wyprzedzeniem zezwalającym na ukierunkowaną lokalizację robót geologicznych w terenie, jak również podczas kartowania geologiczno-inżynierskiego. Wszystkie punkty dokumentacyjne, fakty i zjawiska geologiczne zaobserwowane w terenie nanosi się na stereogramy, a następnie na jedną wspólną ortofotomapę analogiczną z ortofotomapą wykorzystywaną w trakcie projektowania inwestycji. Ten sposób zapewnia uzyskanie wymaganej dokładności i ujednolicenie skali i formy z równoległe powstającym projektem inżynierskim.

4. KARTOGRAFIA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA

4.1. Mapy

Mapy geologiczno-inżynierskie służą do przestrzennego odwzorowania warunków geologiczno-inżynierskich. Mapę zestawia się na podkładzie topograficznym jako tzw. papierową, lub w formie cyfrowej (GIS) na nośnikach magnetycznych. Dokładność map określa się zależnie od liczby punktów badawczych przypadających na 1 km² powierzchni.

Wykonując mapę geologiczno-inżynierską należy jednocześnie gromadzić wszystkie dostępne materiały tworząc bazę danych.

Mapy geologiczno-inżynierskie, zależnie od potrzeb, mogą być opracowywane na różnych głębokościach od powierzchni terenu (np. 1,5 m, 2 m, 3 m itp.). Treść ich może dotyczyć:

- warunków geologiczno-inżynierskich,
- rejonizacji (waloryzacji) warunków geologiczno-inżynierskich,
- problematyki specjalnej, istotnej dla danego terenu (np. spadków terenu, czynnych procesów, dynamiki wód podziemnych, chemizmu gruntów i wód oraz wielu innych zagadnień).

W ujęciu cyfrowym warunki geologiczno-inżynierskie przedstawia się w podziale na moduły informatyczne, zespoły warstw i warstwy tematyczne (Instrukcja..., 1999). Najczęściej

w atlasie map określających warunki geologiczno-inżynierskie, ze względu na ich przeznaczenie, powinny się znaleźć:

- 1) moduł zarządzania,
- 2) moduł infrastruktury,
- 3) moduł geologiczno-inżynierski (a — zespół warstw informacyjnych podłoża budowlanego, b — zespół warstw informacyjnych hydrogeologicznych),
- 4) moduł sozologiczny.

Dane zawarte w systemie powinny umożliwiać tworzenie map:

- dokumentacyjnej,
- gleb,
- geomorfologicznej,
- hydrogeologicznej (hydroizohips, hydroizobat, zagrożenia wód itp.),
- surowcowej,
- warunków geologiczno-inżynierskich na określonych głębokościach,
- waloryzacji geologiczno-inżynierskiej terenu,
- przekrojów geologiczno-inżynierskich.

4.2. Przekroje

Przekrój geologiczno-inżynierski ilustruje budowę geologiczną, warunki hydrogeologiczne i układ wydzielonych zespołów geologiczno-inżynierskich według pewnej pionowej płaszczyzny zorientowanej w kierunku wynikającym z określonych potrzeb.

Przekrój może być sporządzony na podstawie wierceń lub mapy, przy czym ten sporządzony na podstawie wierceń jest bardziej szczegółowy, a jego dokładność wzrasta wraz z liczbą wierceń, przez które jest poprowadzony. Na przekrojach geologiczno-inżynierskich należy tak dobrać oznaczenia, aby możliwe było jednoczesne określenie wieku skał, litogenezy, właściwości, czynnych procesów geologicznych, przekształceń antropogenicznych i innych.

Przekrój geologiczno-inżynierski najlepiej jest wykonywać w skali 1:1, tzn. że skala pionowa powinna odpowiadać skali poziomej. Jest to wyjątkowo korzystne przy przedstawianiu warunków geologiczno-inżynierskich dla celów obliczeń stateczności zboczy. W praktyce jednak stosuje się przewyższenia skali pionowej, aby można było przedstawić wystarczająco czytelnie różne szczegóły dotyczące wykształcenia warstw, tektoniki, właściwości. Przewyższenie nie powinno być jednak większe niż dziesięciokrotne.

5. BADANIA POLOWE

5.1. Badania makroskopowe gruntów i skał

Badania makroskopowe gruntu obejmują określenie:

- rodzaju,
- stanu,
- wilgotności,

- barwy,
- zawartości CaCO_3 .

W badaniach makroskopowych jest wskazane używanie prostych przyrządów, takich jak penetrometr tłoczkowy (PP) i ścinarka obrotowa (TV).

Oznaczanie rodzaju gruntów według PN-88/B-04481 obejmuje:

- ustalanie spoistości gruntów,
- określenie rodzaju gruntów spoistych,
- określenie rodzaju gruntów niespoistych.

Ustalony rodzaj gruntu (nazwa) powinien być uzupełniony opisem przewarstwień, lamin, domieszek i zanieczyszczeń. W badaniach gruntów kamienistych należy w warunkach *in situ* określić zawartość spoiwa ilastego, kształt ziarn i sposób ich ułożenia.

W obrębie gruntów spoistych należy w przybliżeniu określić zawartość części organicznych (grunt próchniczny, namuł, torf, gytia). Przy opisie torfu (wysoki, niski, przejściowy) należy zwrócić uwagę na stopień jego rozłożenia według skali von Posta.

Stan gruntu spoistego określa się metodą waleczkowania i formowania kulki: stan zwarty (nie można uformować kulki) i półzwarty (można uformować kulkę, ale waleczek pęka); stan twar doplastyczny, plastyczny i miękko plastyczny ustala się (na podstawie rys. 7 w PN-74/B-04-452 i p. 3.3 normy PN-88/B-04481) w zależności od liczby waleczkowań. Innym sposobem jest badanie penetrometrem PP.

Orientacyjny **stopień zagęszczenia** gruntu sypkiego w odsłonięciach lub szybkach można określać na podstawie oporu na wciskanie w grunt trzpienia (np. igłą Proctora), w otworach na podstawie oporu świdra, a w wykopach — szpadla.

Wilgotność gruntu określa się jako: mało wilgotny, jeśli ziarna rozsypują się, a grunt nie zawilgaca palców, wilgotny, jeśli zostawia mokry ślad na dłoni lub papierze, mokry, jeśli przy ścisłaniu gruntu odsąca się z niego woda, nawodniony, jeśli woda odsąca się grawitacyjnie.

Oznaczania **barwy** gruntu dokonuje się na świeżym przełamie bryłki gruntu o wilgotności naturalnej. W opisie kilkuczłonowym przyjęto podawać początkowo odcień barwy, a jako ostatni człon barwę dominującą (np. jasnozielonoszara).

Oznaczanie **zawartości węglanu wapnia** dokonuje się kroplami 20-procentowego kwasu solnego, obserwując reakcję gruntu i według danych zawartych w tabeli 4 normy PN-88/B-044-81 ustala się klasę zawartości węglanów.

Badania makroskopowe gruntów spoistych powinny być uzupełnione oznaczeniami, wykonanymi prostymi przyrządami, umożliwiającymi ustalenie w sposób orientacyjny (ale obiektywny) konsystencji i spójności (wytrzymałości na ścinanie) gruntu.

Penetrometr tłoczkowy PP jest zaopatrzony w trzpień cylindryczny, który wciska się na oznaczoną głębokość. Przy wciskaniu trzpienia odczytuje się wartość siły (przeliczonej na powierzchnię trzpienia) na podziałce pomiarowej q_f (kG/cm^2 lub $\cdot 10^2$ kPa).

Ścinarka obrotowa TV pozwala na wyznaczenie wytrzymałości na ścinanie (spójności) gruntu, ma 3 końcówki skrzydełkowe, wymieniane w zależności od oporu spójności gruntu. Badanie polega na wciśnięciu końcówki na głębokość równą wysokości skrzydełek i ścięciu gruntu w wyniku obrotu pokrętła ścinarki z prędkością 1 działki na sekundę. Na tarczy pomiarowej odczytuje się wartość maksymalnego momentu ścinającego M_f ($\text{kG} \cdot \text{cm}$) lub bezpośrednio opór ścinania τ_f (kPa).

W badaniach makroskopowych skał oznacza się:

- rodzaj skały,
- skład mineralny, zawartość CaCO_3 ,

- strukturę i teksturę,
- barwę,
- twardość,
- stopień zwietrzenia i spękania.

Oznaczenia należy prowadzić na powierzchniach niezwiertzałych, stosując zasady badań petrograficznych. Zawartość węgla wapnia należy określać na podstawie intensywności reakcji skały na działanie 20-procentowego HCl.

Makroskopowo skały można zaliczyć do:

- twardych, gdy nie można ich zarysować stalowym rylcem,
- miękkich, które łatwo można zarysować rylcem,
- bardzo miękkich, które można zarysować paznokciem (gips, łożupki).

Stopień spękania można ustalić na podstawie pomiarów długości i szerokości szczelin na ścianach wyrobiska. Stopień zwietrzenia można określić na podstawie analizy profilu wietrzeniowego skał (Instrukcja..., 1998a).

5.2. Sondowania

Sondowania, mimo że należą do grupy metod umożliwiających jedynie w sposób pośredni określić parametry gruntów, są powszechnie stosowane w badaniach podłoża budowlanego. Pozwalają one charakteryzować podłoże na podstawie wskaźników oporu stawianego przez grunt przy wbijaniu, wciskaniu i wkręcaniu różnych końcówek.

Przy prawidłowym wykonywaniu, sondowania zapewniają otrzymanie obiektywnych informacji o podłożu w sposób szybki i prosty. Wiele urządzeń ma automatyczną rejestrację mierzonych wskaźników.

Parametry gruntu przydatne w projektowaniu otrzymuje się z zależności korelacyjnych. W przypadku gdy takich zależności wcześniej nie opracowano, charakterystyki gruntu wyznaczone sondowaniami należy interpretować wyłącznie jakościowo.

W badaniach polowych stosuje się:

- sondowania dynamiczne (SD-10, SD-30, SD-50, SD-63.5),
- sondowania statyczne (CPT, CPTU),
- sondowanie sondą cylindryczną (SPT),
- sondowanie sondą wkręcaną (ST),
- sondowanie sondą obrotową (VT).

Ze względu na możliwości interpretacji wyników sondowania stosuje się do badań:

- gruntów spoistych i organicznych — statyczne sondy stożkowe CPT i CPTU, sondę cylindryczną (SPT), sondę wkręcaną (ST) i sondę obrotową (VT),
- gruntów niespoistych — wszystkie rodzaje sond, z wyjątkiem sondy obrotowej.

Zaletą sondowań, oprócz sondy cylindrycznej (SPT), jest ich wykonywanie bezpośrednio z powierzchni terenu. W przypadku przeszkód lub warstw o bardzo dużym zagęszczeniu można wykonać podwierty i z ich dna wykonać sondowania. Wymagania dotyczące sprzętu, procedur badawczych i opracowania wyników zawiera Eurocode 7 część 3 (pr ENV 1997-3). Interpretacja wyników sondowań została podana w Instrukcji... (1998a).

5.2.1. Sondowania dynamiczne

Norma dotycząca badań polowych PN-74/B-04452 zalecała stosować dwa rodzaje sond dynamicznych:

- sondę lekką (SL),
- sondę ciężką (SC).

W pr ENV 1997-3 omówiono 4 rodzaje sond dynamicznych. Charakterystykę techniczną sond zestawiono w tabeli 3.

Sondy dynamiczne umożliwiają charakteryzowanie w sposób ciągły podłoża gruntowego. Sonda lekka SD-10 (ang. oznaczenie DPL) odpowiada dotychczas stosowanemu oznaczeniu SL. Sonda średnia SD-30 (DPM) jest dotychczas stosowana w kraju w ograniczonym zakresie. Sonda ciężka SD-50 (DPH), stosowana w kraju w ograniczonym zakresie, parametrami odpowiada niemieckiej sondzie ciężkiej według DIN 9094. Sonda bardzo ciężka SD-63.5 (DPSH) parametrami odpowiada sondzie, która dotychczas w kraju była określana jako ciężka (SC). Konstrukcja wymienionych typów sond i metodyka badań są podobne.

Parametrem sondowania dynamicznego jest liczba uderzeń młota sondy potrzebna na wprowadzenie końcówki stożkowej w grunt na głębokość 0,10 m (sondy SD-10, SD-30 i SD-50) lub 0,20 m (sonda SD-63.5). Kształt końcówki stożkowej dla każdej sondy jest taki sam, różnią się tylko wymiarami. Kąt wierzchołkowy stożka wynosi 90°, dotychczas obowiązywał kąt 60°.

Podstawą do interpretacji wyników sondowań jest wykres zmian oporów sondowania, który przed interpretacją ilościową należy uśrednić. Interpretację sondowań dynamicznych można wykonać jedynie w przypadku znajomości profilu litologicznego.

Tabela 3

Parametry sond dynamicznych

Nazwa sondy	Końcówka o kącie wierzchołkowym 90° i średnicy D (mm)	Wysokość stożka końcówki L (mm)	Średnica żerdzi d (mm)	Maksymalna masa 1 m żerdzi (kg)	Masa kowadła, przewodnicy, ogranicznika, wolnospadu (kg)	Masa młota (kg)	Wysokość spadania (m)	Głębokość penetracji (m)
Lekka SD-10	35,7 ± 0,3	17,9 ± 0,1	22,0	3	6	10,0 ± 0,1	0,5 ± 0,01	do 10,0
Średnia SD-30	35,7 ± 0,3	17,9 ± 0,1	32,0	6	18	30,0 ± 0,3	0,5 ± 0,01	20,0
Ciężka SD-50	43,7 ± 0,3	21,9 ± 0,1	32,0	6	18	50,0 ± 0,5	0,5 ± 0,01	30,0
Bardzo ciężka SD-63.5	51,0 ± 0,5	25,3 ± 0,4	32,0	8	30	63,5 ± 0,5	0,75 ± 0,02	30,0
SPT	końcówka cylindryczna średnicy 51 mm		42,0–51,0	4,6–6,2	18	65,0 ± 2,0	0,75 ± 0,02	

Sondowania dynamiczne stosuje się do:

- rozpoznania podstawowych cech gruntów niespoistych w warunkach naturalnych, a szczególnie stopnia zagęszczenia,
- wydzielenia warstw i soczewek gruntów słabych,
- określenie głębokości podłoża nośnego,
- okonturowania warstw o odmiennych cechach w nawiązaniu do profilu litologicznego,
- wyznaczenia miejsc poboru próbek gruntu.

5.2.2. Sondowania statyczne

Badanie właściwości podłoża metodą statycznego sondowania polega na pomiarze w sposób ciągły oporu stożka i tarcia na tulei końcówki zakończonej stożkiem podczas wciskania w grunt ze stałą prędkością. Zastosowanie końcówki z piezostożkiem umożliwia pomiar ciśnienia wody w porach gruntu. Metoda charakteryzuje się dużą dokładnością pomiaru i wrażliwością na zmienne właściwości podłoża.

W pr ENV 1997-3 wyróżnia się statyczną sondę stożkową (CPT) i z pomiarem ciśnienia wody w porach (CPTU).

Ze względu na stosowanie w badaniach elektrycznego lub mechanicznego systemu rejestracji wyników, ważne jest każdorazowe zaznaczenie tych informacji w metryce sondowania. Interpretacja ilościowa wyników uzyskanych przy końcówce mechanicznej różni się od określonych końcówką elektryczną (Instrukcja..., 1998a).

Interpretacja jakościowa sondowań statycznych obejmuje określenie:

- jednorodności budowy podłoża,
- granic między różnymi pod względem litologicznym warstwami, np. między gruntami niespoistymi a organicznymi,
- granicy między gruntami nasypowymi a rodzimymi,
- głębokości pobrania próbek gruntów,
- wstępnej oceny stopnia skonsolidowania gruntów spoistych.

Zakres ilościowej interpretacji obejmuje określenie:

- rodzaju gruntu na podstawie nomogramu,
- stanu gruntów niespoistych i spoistych na podstawie zależności korelacyjnych,
- cech wskaźnikowych gruntu,
- parametrów odkształceniowych i wytrzymałościowych gruntów,
- ustalenie nośności pali.

Należy podkreślić, że metody interpretacji ilościowej opracowano na podstawie regionalnych związków korelacyjnych między parametrami gruntu a różnymi parametrami sondowania statycznego. W literaturze jest podawanych wiele takich zależności. Ważne jest więc opracowywanie zależności między danymi uzyskanymi z sondowań a wynikami badań laboratoryjnych dla gruntów występujących w Polsce. Również procedury harmonizacji polskich norm z eurokodami obejmują między innymi opracowanie zasad interpretacji uwzględniających doświadczenia krajowe.

5.2.3. Sondowania sondą cylindryczną (SPT)

Badanie sondą cylindryczną pozwala na punktową charakterystykę podłoża. Sondowanie wykonuje się w otworze badawczym. Końcówkę cylindryczną sondy wbija się w oczyszczone z urobku dno otworu.

Różne cechy gruntów określa się na podstawie zależności empirycznych, które często mają charakter lokalny. Na podstawie próbki gruntu z cylindra sondy można określić rodzaj gruntu, skład granulometryczny i wstępnie ocenić stan gruntu.

5.2.4. Sondowania sondą wkręcaną (ST)

Sondowania sondą wkręcaną wykonuje się z powierzchni terenu w sposób ciągły. Parametrem otrzymywanym z badania jest liczba półobrotów potrzebna do zagłębienia o 0,20 m końcówki sondy obciążonej masą 100 kg. Stosowane są sondy wkręcane ręcznie lub mechanicznie. Z doświadczeń krajowych wynika, że większe zastosowanie mają sondy mechaniczne.

Wyniki sondowania należy przede wszystkim interpretować jakościowo. Ze względu na szybkość wykonywania badań są przydatne jako uzupełnienie wierceń badawczych. Umożliwiają przestrzenne okonturowanie warstw gruntów słabych oraz wytypowanie miejsc do szczegółowych badań.

Wyniki sondowania można wykorzystać do oszacowania stopnia zagęszczenia piasków. Grunty, w których sonda zagłębia się jedynie pod obciążeniem statycznym, nie nadają się do posadowienia bezpośredniego. Jest to możliwe w gruntach, w które sonda zagłębia się pod obciążeniem 100 kg i liczbie półobrotów powyżej 10.

W gruntach spoistych występujących w kraju, ze względu na tarcie gruntu o żerdzie, zasięg głębokościowy sondy wynosi 6–8 m.

5.2.5. Sondowania sondą obrotową (VT)

Sondą obrotową wykonuje się pomiary oporu ścinania gruntu po powierzchni walcowej, utworzonej przez obracającą się końcówkę w kształcie krzyżaka. W badaniach należy stosować końcówkę krzyżakową znormalizowanych wymiarów. Również konstrukcja sondy musi zapewniać poprawny pomiar wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu. Badania sondą obrotową umożliwiają określenie maksymalnej i minimalnej wytrzymałości na ścinanie oraz wytrzymałości rezydualnej po 10. obrotach końcówki. Na podstawie stosunku wytrzymałości maksymalnej do rezydualnej określa się wrażliwość strukturalną gruntu.

Sondę obrotową stosuje się do:

- określenia wytrzymałości na ścinanie bez odpływu w gruntach spoistych ($\tau_f < 150$ kPa) i gruntach organicznych,
- określenia stref osłabień w gruntach oraz śledzenia przebiegu strefy poślizgu,
- określenia innych cech gruntów na podstawie zależności korelacyjnych.

5.3. Badania presjometryczne

Badania presjometryczne są stosowane w niektórych krajach do projektowania posadowień budowli. W Polsce badania te są wykonywane w bardzo ograniczonym zakresie. Istnieje kilka rozwiązań konstrukcyjnych presjometru. Najbardziej znanym i stosowanym jest presjometr opracowany przez L. Menarda.

Wyniki badań presjometrycznych wykorzystuje się do:

- obliczeń granicznej nośności gruntu,
- analizy osiadań fundamentów bezpośrednich i głębokich,
- określenia osiowej i bocznej nośności pali.

Badania presjometryczne wykonuje się na określonej głębokości lub częściej pomiary prowadzi się w całym profilu w odstępach 1,0–1,5 m.

Należy podkreślić, że badanie presjometryczne jest metodą empiryczną i wymaga przy projektowaniu posadowień budowli korzystania ze specjalistycznych materiałów i wytycznych opracowanych dla tej techniki (F. Baguelin i in., 1984).

5.4. Badania dylatometryczne gruntów i skał

Dylatometr jest przyrządem umożliwiającym rozpoznanie i pomiar parametrów gruntu bezpośrednio w podłożu. Przydatny jest do:

- identyfikacji rodzaju gruntu w profilu pionowym,
- ustalenia historii naprężenia w gruncie,
- oszacowania wartości parametrów, jak: wytrzymałość na ścinanie bez odpływu, naprężenie prekonsolidacji, moduły odkształcenia, współczynnik parcia bocznego w spoczynku K_0 w gruntach niespoistych i spoistych.

Parametry gruntu określane dylatometrem są wyznaczone z zależności empirycznych. Powinny być potwierdzane oznaczeniami laboratoryjnymi. Doświadczenia krajowe w stosowaniu dylatometru są małe.

5.5. Próbné obciążenia płytą

Próbné obciążenia płytą szczegółowo omówiono w normie PN-74/B-04452 i Instrukcji... (1980) oraz pr ENV 1997-3.

Próbné obciążenie płytą pozwala na określenie modułu podatności gruntu oraz wytrzymałości gruntu i skały *in situ* poprzez rejestrowanie obciążenia i odpowiadającego mu osiadania w czasie. Próbné obciążenia płytą najczęściej stosuje się w:

- badaniach zwietrzelin,
- badaniach gruntów nasypowych składających się z różnych materiałów.

Badania wykonuje się na powierzchni terenu lub w wykopach badawczych. Wyniki badań polowych należy opracowywać w taki sposób, aby możliwa była ich kontrola i ocena przez osoby inne niż autor pomiarów.

5.6. Metody badań geofizycznych

Celem badań geofizycznych jest dostarczenie informacji o podłożu, w tym o warunkach posadowienia obiektu, warunkach hydrogeologicznych i właściwościach gruntów i skał. Badania te są również bardzo przydatne do rozwiązywania problemów ochrony środowiska.

Z wielu metod geofizycznych zastosowanie w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim mają metody geoelektryczne, sejsmiczne, geotermiczna, grawimetryczna, geofizyki jądrowej i atmogeochemiczne.

Metody geoelektryczne umożliwiają badanie rozkładu naturalnych i sztucznych pól elektromagnetycznych w podłożu. Z wielu metod najbardziej przydatne są: metoda elektrooporowa i georadarowa.

W metodzie elektrooporowej wykorzystuje się zależność między oporem elektrycznym a wilgotnością gruntu i mineralizacją wód gruntowych. Metoda ta umożliwia rozpoznanie geometrii warstw, ich składu mineralnego, stopnia zanieczyszczenia i zmian chemizmu. Jest przydatna do badania zanieczyszczeń środowiska geologicznego przez związki nieorganiczne, głównie sole. Systematyczne pomiary na tych samych profilach służą do rejestracji zmian w czasie.

Metoda georadarowa (metoda elektromagnetyczna) znajduje coraz większe zastosowanie, gdyż emitowane fale odbijają się od podłoża na granicach warstw o różnej stałej dielektrycznej i przewodnictwie i umożliwiają uzyskanie obrazu ośrodka gruntowego z dużą rozdzielczością. W terminologii angielskiej metoda ta jest określana jako *ground penetrating radar* (GDR). W płytkich badaniach dla celów geologii inżynierskiej, gdzie konieczna jest duża rozdzielczość, zasięg ten wynosi od kilku do kilkudziesięciu metrów.

Metodę georadarową można stosować do:

- określania zmienności litologicznej,
- wykrywania płytko występujących struktur glaciektonicznych,
- wydzielenia niewielkich elementów strukturalnych,
- lokalizacji kabli, rur, kanałów ściekowych,
- wykrywania starych murów,
- określania miąższości asfaltu, betonu,
- wykrywania kawern, pustek, uskoków,
- wykrywania dróg rozchodzenia się zanieczyszczeń.

Metody sejsmiczne polegają na badaniu przebiegu wzbudzonych fal sprężystych w ośrodku gruntowym lub skalnym. Na podstawie prędkości fal oraz cech dynamicznych i kinetycznych określa się granice warstw gruntów i skał, ich właściwości fizyczno-mechaniczne oraz zasięg strefy wietrzenia w podłożu skalnym. Tomografia sejsmiczna przez prześwietlanie między otworami umożliwia bardzo dokładne rozpoznanie podłoża.

Sondowania i profilowania elektrooporowe oraz sejsmiczne pomiary refrakcyjne są przydatne do:

- określenia miąższości zwietrzliny i zasięgu strefy wietrzenia masywu skalnego,
- badania osuwisk,
- wyznaczenia głębokości nieprzepuszczalnego podłoża,
- stwierdzenia występowania wód w strefach spękań masywu skalnego,
- okonturowania form erozyjnych i glaciektonicznych.

Metoda geotermiczna jest stosowana do wykrywania anomalii cieplnych w podłożu. Pozwala ona na zebranie wielu informacji o warunkach hydrogeologicznych i lokalizowanie strefy wpływu zanieczyszczeń, np. ze zbiorników.

Metoda grawimetryczna posługuje się pomiarami siły ciężkości. Do wykrywania pustek podziemnych i kawern, które nawet przy niewielkich rozmiarach charakteryzują się dużym niedoborem masy, jest przydatna metoda mikrogravimetryczna.

Metody geofizyki jądrowej umożliwiają określenie poziomu promieniowania jonizującego, zlokalizowanie miejsc nagromadzenia pierwiastków promieniotwórczych i śledzenie dróg ich przemieszczeń. Wykorzystują także izotopy promieniotwórcze (np. jod 131) do określania kierunku przepływu wód podziemnych lub jako trasery migracji zanieczyszczeń, które są trudne do wykrycia innymi metodami.

Rodzaje zastosowań różnych metod geofizycznych podano w Instrukcji... (1998a) i w pracy R. Białostockiego i Z. Marczewskiego (1979).

W wielu przypadkach celowe jest łączne wykonanie pomiarów geofizycznych z **badaniami atmogeochemicznymi**. Polegają one na określaniu obecności w powietrzu glebowym par metali, chlorowców, węglowodorów, siarkowodoru i innych, w zależności od charakteru ogniska zanieczyszczenia.

5.7. Pobieranie próbek gruntu i skał

5.7.1. Pobieranie próbek gruntu

Celem pobierania próbek gruntu jest otrzymanie próbek do identyfikacji gruntu i badań laboratoryjnych, w których określa się parametry podłoża gruntowego.

Dotychczas zgodnie z normą PN-74/B-04452 pobierano próbki:

- o naturalnym uziarnieniu (NU),
- o naturalnej wilgotności (NW),
- o naturalnej strukturze (NNS).

Norma pr ENV 1997-3 wprowadza trzy kategorie pobierania próbek: A, B i C, różniące się stopniem naruszenia próbki.

Metody pobierania próbek zaliczone do kategorii A umożliwiają uzyskanie próbek, w których nie występują lub tylko zdarzają się niewielkie naruszenia struktury gruntu, powstałe podczas pobierania lub transportu. Inne parametry fizyczne gruntu są takie same jak *in situ*. Brak również zmian w składzie chemicznym.

Metody pobierania próbek zaliczone do kategorii B umożliwiają otrzymanie próbek o naruszonej strukturze. Wilgotność gruntu odpowiada naturalnej. Może być określony ogólny układ warstw gruntów lub składników.

Stosując metody pobierania próbek gruntu zaliczone do kategorii C, otrzymuje się próbki gruntu o całkowicie zmienionej strukturze. Ogólny układ różnych warstw gruntów i ich składników jest tak zmieniony, że nie jest możliwe dokładne określenie położenia warstw *in situ*. Wilgotność próbki może być inna niż gruntu, z którego ją pobrano.

5.7.2. Klasy jakości próbek gruntu

Zgodnie z pr ENV 1997-2 próbki gruntu do badań laboratoryjnych są zaliczane do jednej z 5. klas jakości w zależności od właściwości gruntu. Przyjmuje się, że właściwości gruntu pozostaną niezmienione podczas pobierania i przygotowania do badań. Klasy są opisane w tabeli 4.

Tabela 4

Klasy jakości próbek gruntu do badań laboratoryjnych

Właściwości gruntu	Klasa jakości				
	1	2	3	4	5
Właściwości, które powinny pozostać bez zmian: wielkość cząstek wilgotność gęstość, stopień zagęszczenia, przepuszczalność ściśliwość, wytrzymałość na ścinanie	*	*	*	*	
Właściwości, które mogą być określone: kolejność warstw granice warstw (ogólnie) granice warstw (dokładnie) granice Atterberga, gęstość cząstek, zawartość części organicznych wilgotność gęstość, stopień zagęszczenia, porowatość, przepuszczalność ściśliwość, wytrzymałość na ścinanie	*	*	*	*	*
Kategoria pobierania próbek do badań	A				
				B	
					C

5.7.3. Techniki pobierania próbek gruntu

W pr ENV 1997-3 techniki otrzymywania próbek gruntu podzielono na cztery grupy:

— Pobieranie próbek metodą wciskania/wbijania. Próbnik rurowy, tłokowy lub szczelino-wo-rurowy zakończony ostrzem tnącym jest wprowadzany w podłoże przez wciskanie, dynamiczne uderzanie lub wibracyjnie (kategoria A lub B pobierania próbek).

— Pobieranie próbek obrotowo-rdzeniowe. Próbnik rurowy zakończony ostrzem tnącym poprzez obrót zagłębia się w grunt i umożliwia pobranie rdzenia. Próbniki obrotowo-rdzeniowe mogą mieć pojedynczą, podwójną lub potrójną rdzeniówkę, z lub bez wykładziny. Takie pobieranie próbek jest stosowane w kategorii B, w pewnych przypadkach w kategorii A. Można pobierać wibracyjne próbki gruntu.

— Pobieranie próbek gruntu świdrem ręcznym lub mechanicznym (kategoria C).

— Pobieranie próbek w postaci bloków jest wykonywane ręcznie przez wycinanie próbki z szybika, szybu i sztolni, a z większych głębokości specjalnymi próbnikami. Pobieranie bloków jest najczęściej stosowane w kategorii A.

Próbniki wciskane/wbijane stosowane do pobierania próbek w metodach kategorii A muszą spełnić wymagania określone w pr ENV 1997-3.

Kategorię pobierania próbek należy wybrać w zależności od wymaganej jakości próbki do klasyfikacji gruntu i planowanych badań laboratoryjnych. W kategoriach A i B pobierane próbki powinny być uszczelnione natychmiast po pobraniu, aby zapobiec zmianom wilgotności.

Sprawozdanie z pobierania próbek powinno zawierać: dokładne dane konieczne do określenia profilu gruntu, głębokość pobrania próbek oraz obserwacje, które pozwolą oszacować stan próbek i ich fizyczne właściwości *in situ*.

W kategorii A pobierania próbek należy postępować w taki sposób, aby nie wystąpiły naruszenia próbki po wyjęciu lub podczas transportu i magazynowania. Próbki należy chronić przed gorącem, mrozem, wibracjami i wstrząsami podczas załadunku, transportu i magazynowania. Próbki należy przechowywać podczas przesyłania w kontenerze, a w laboratorium temperatura i wilgotność powinny być stałe i możliwie jak najbardziej zbliżone do warunków *in situ*.

5.7.4. Pobieranie próbek skał

Celem pobierania próbek skał jest uzyskanie odpowiednich próbek do identyfikacji skały i badań laboratoryjnych. Pobrane próbki powinny zawierać wszystkie mineralne składniki warstwy, z której są pobierane. Próbki nie mogą być zanieczyszczone materiałem z innej warstwy lub dodatkowym materiałem używanym podczas pobierania próbek, jeżeli niemożliwe byłoby odróżnienie.

Zgodnie z pr ENV 1997-3 istnieją trzy kategorie pobierania próbek do opisu i badań laboratoryjnych: A, B i C.

W kategorii A pobierania próbek otrzymuje się próbki, w których nie wystąpiło lub wystąpiło jedynie nieznaczne naruszenie struktury skały. Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe, wilgotność, gęstość, porowatość i przepuszczalność oraz skład chemiczny próbek skały odpowiadają wartościom *in situ*.

W kategorii B pobierania próbek otrzymuje się próbki zawierające wszystkie składniki masy skalnego *in situ* w ich oryginalnych proporcjach, a fragmenty skały zachowały swoje właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe, wilgotność, gęstość i porowatość. Próbki umożliwiają rozpoznanie układu warstw i nieciągłości w masywie skalnym.

W kategorii C pobierania próbek struktura masy skalnej i jej nieciągłości zostały całkowicie zmienione, materiał skalny może być pokruszony i mogą wystąpić zmiany w składzie chemicznym. Typ skały i jej podłoże, tekstura i struktura mogą jednak zostać zidentyfikowane.

Uzysk rdzenia należy charakteryzować na podstawie następujących wskaźników:

— wskaźnik nieciągłości ośrodka (RQD): suma długości wszystkich części rdzenia, których długość wynosi 10 cm lub więcej, mierzona wzdłuż środka rdzenia, wyrażona jako procent długości przelotu rdzenia,

— uzysk litego rdzenia (SCR): długość odcinków rdzenia w kształcie cylindrów, wyrażona jako procent długości przelotu rdzenia,

— całkowity uzysk rdzenia (TGR): całkowita długość uzyskanej próbki rdzenia, wyrażona jako procent długości przelotu rdzenia.

5.7.5. Techniki pobierania próbek skał

Najodpowiedniejsze metody otrzymywania próbek skał są związane ze strukturą, stopniem zwietrzenia skały i wymaganą laboratoryjnie klasą jakości:

— Kategoria A lub B: wiercenie obrotowo-rdzeniowe, w którym cylinder z ostrzem tnącym jest wprowadzany przez obrót w skałę i w ten sposób uzyskuje się rdzeń próbki.

— Kategoria A lub B: pobieranie próbek metodą wciskania/wbijania, w którym cylinder lub cylinder szczelinowy z ostrzem tnącym jest wprowadzany w bardzo lub całkowicie zwietrzałą skałę przez statyczny nacisk albo przez dynamiczne uderzanie. Próbniki wciskane/wbijane to próbniki tłokowe lub otwarte próbniki rurowe.

— Kategoria C: pobieranie próbek łyżką wiertniczą lub świdrem, gdzie próbka jest pobierana bezpośrednio z narzędzia wiertniczego.

— Kategoria C: pobieranie próbek przez urabianie, w którym skała, przerobiona i pokruszona, jest przenoszona na powierzchnię za pomocą czerpaka lub za pomocą krążącej płuczki wiertniczej.

— Kategoria A: blokowe pobieranie próbek wykonywane przez ręczne wycinanie z odkrywki sztolni, tuneli lub przy użyciu specjalnych próbników blokowych.

Wybór techniki powinien być dokonany zgodnie z jakością próbki wymaganą do klasyfikacji skały i badań laboratoryjnych. Dla skały całkowicie zwietrzałej lub zmienionej w grunt rezydualny można stosować wszystkie techniki pobierania próbek, jak dla gruntów. Dla skał świeżych i słabo do silnie zwietrzałych można stosować:

- obrotowe wiercenie,
- wycinanie,
- pobieranie próbek w postaci bloków.

W kategorii A i B po poborze rdzeni i ich wizualnej kontroli (wskazane wykonanie kolorowych zdjęć) próbki powinny być natychmiast zabezpieczone, aby utrzymać naturalną wilgotność. W przypadku stosowania osłon rdzenia lub rur do transportu i magazynowania próbek, powinny być one zawinięte w wodoszczelne opakowanie. Próbki powinny być tak oznaczone, aby podstawa próbki i jej górna część były jednoznacznie określone. Próbki i rdzenie skał powinny być transportowane i przechowywane zgodnie z zasadami podanymi dla próbek gruntu.

6. BADANIA LABORATORYJNE

Obecnie w Polsce brak jest obowiązującej normy dotyczącej wykonywania badań laboratoryjnych. Nie obowiązuje również żadna norma europejska w zakresie procedur badań laboratoryjnych. Prace nad taką normą są prowadzone w technicznym Komitecie ISSMGE: ETC-5. Wprowadzane Eurokody (norma pr ENV 1997-2) dotyczą wykonywania i interpretacji stosowanych w praktyce badań laboratoryjnych. W normie nie podaje się szczegółowych opisów wykonywania poszczególnych badań. Głównym celem normy pr ENV 1997-2 jest natomiast zapewnienie odpowiedniej jakości przeprowadzania badań laboratoryjnych w celu określenia miarodajnej do projektowania wartości wyprowadzonej parametru (geotechnicznego). Wartość

wyprowadzona jest ustalana na podstawie wyników badań polowych i laboratoryjnych oraz teorii, korelacji lub doświadczenia, stanowiącego podstawę do określenia wartości charakterystycznej parametru.

Przejęcie z dotychczasowego systemu normowego w Polsce na przyszły system norm europejskich potrwa jeszcze kilka lat. System norm europejskich będzie się składał z części wspólnej norm obowiązujących w całej EWG i części krajowych. W tym przejściowym okresie nie stoi na przeszkodzie, aby stosować zasady już nie obowiązującej polskiej normy PN-88/B-04481 lub innych znanych norm ASTM, DIN i BS, przy czym wskazane byłoby zwrócenie dużej uwagi na spełnienie wielu zaleceń i wymogów, które są podane w pr ENV 1997-2 i będą obowiązywać w przyszłości przy wykonywaniu badań laboratoryjnych.

Do najistotniejszych zaleceń i wymogów należy zaliczyć:

- wprowadzenie 5. klasy jakości pobranych do badań laboratoryjnych próbek gruntu i podanie klasy jakości próbek do oznaczeń poszczególnych właściwości oraz 3 kategorie metod pobierania,

- podanie szczegółowych wymagań dotyczących zasad przeprowadzania kalibracji aparatury, na której są wykonywane badania,

- wprowadzenie 4. kategorii próbek gruntu przeznaczonych do badań laboratoryjnych ze względu na sposób przygotowania,

- sprecyzowanie minimalnych mas próbek gruntu w zależności od badanej właściwości na próbkach nienaruszonych i naruszonych,

- ustalenie wymiarów ziarn w próbkach gruntu w zależności od wymiarów stosowanej aparatury,

- ustalenie minimalnej liczby próbek gruntu do badań jednej warstwy na potrzeby klasyfikacji gruntów.

Ponadto norma pr ENV 1997-2 zwraca niezwykle wiele uwagi na:

- reprezentatywność pobranych do badań próbek gruntu,

- sposób przechowywania próbek,

- orientację próbek,

- charakterystyki pomiarowej aparatury mieszczące się w dopuszczalnym zakresie wartości,

- stosowanie do badań makroskopowych prostych, obiektywnych przyrządów,

- ostrożne i nie jedyne stosowanie metod statystycznych przy ustalaniu parametrów gruntu.

Norma pr ENV 1997-2 zawiera również badania dotyczące składu chemicznego próbek gruntów i wody, dyspersyjności i wrażliwości mrozowej gruntów oraz komplet fizycznych i wytrzymałościowych badań próbek skał.

Ustalenie parametrów obliczeniowych stosowanych w projektowaniu według Eurokodu następuje na podstawie wartości parametrów charakterystycznych, których wartość określa się m.in. badaniami laboratoryjnymi, w sposób podobny do podanego w obowiązującej normie PN-81/B-03020. Eurokod zwraca uwagę na różnice między wartościami określonymi w badaniach na próbkach a parametrami gruntów i skał w masywach i obliguje do uwzględniania:

- obecności spękań,

- efektu czasu,

- kruchości lub plastyczności badanych gruntów i skał.

6.1. Badania próbek gruntu podłoża

Podział gruntów oraz oznaczanie podstawowych parametrów fizyczno-mechanicznych przedstawiono na podstawie norm PN-86/B-02480 i PN-88/B-04481, amerykańskiej ASTM i brytyjskiej BS (F. G. Bell, 1987; Z. Glazer, J. Malinowski, 1991; Instrukcja..., 1998a).

6.1.1. Badania składu granulometrycznego i klasyfikacja gruntów

Grunt jest traktowany jako układ trójfazowy, ziarna i cząstki tworzą szkielet, którego pory są wypełnione wodą lub powietrzem. W celu określenia dokładnego składu granulometrycznego, dla ziarn średnicy zastępczej większej od 0,06 mm wykonuje się analizę sitową, dla cząstek mniejszych przeprowadza się analizę areometryczną lub pipetową. Nazwa gruntu jest uzależniona od rozmiaru ziarn lub cząstek. W nazwie gruntu uwzględniono procentową zawartość poszczególnych frakcji (tab. 1 normy PN-86/B-02480). Skład granulometryczny najczęściej przedstawia się na wykresie uziarnienia (rys. 1 normy PN-86/B-02480). Propozycję nowego wykresu uziarnienia według Eurokodu ISO/DIS 14688 oraz podział na poszczególne frakcje gruntów przedstawia [tabela 5](#). Według międzynarodowego standardu ISO/DIS 14688 na podstawie [tabeli 6](#) można wyróżnić podstawowe typy gruntów metodą makroskopową. [Tabela 7](#) umożliwia rozpoznanie cech wtórnych gruntu, a [rysunek 1](#) zawiera propozycję klasyfikacji gruntów (ISO/DIS 14688, s. 19–23).

Ze względu na genezę grunty dzieli się na:

— naturalne, powstałe w wyniku procesów i zjawisk geologicznych (rodzime) i nasypowe, tj. naturalne zmienione w wyniku technicznej działalności człowieka: nasypy budowlane i nasypy nie odpowiadające wymaganiom budowlanym,

— antropogeniczne — grunty sztuczne, powstałe najczęściej jako odpady przemysłowe, komunalne itp.; wymagają one indywidualnej oceny przydatności budowlanej.

Tabela 5

Określenia poszczególnych frakcji gruntów ze względu na wielkość ziarn (wg ISO/DIS 14688, 1994)

Ocena frakcji		Frakcja	Kwalifikacja	Wielkość ziarn (mm)
Ocena makroskopowa	bardzo grube	głazy		>200
		kamienie		60–200
Przesiew	grube	żwiry	grube średnie drobne	20–60 6–20 2–6
		piaski	grube średnie drobne	0,6–2 0,2–0,6 0,06–0,2
Proces sedymentacji	drobne	pyły	grube średnie drobne	0,02–0,06 0,006–0,02 0,002–0,006
		iłły		<0,002

Tabela 6

Domieszki i grube frakcje (wg ISO/DIS 14688, 1994)

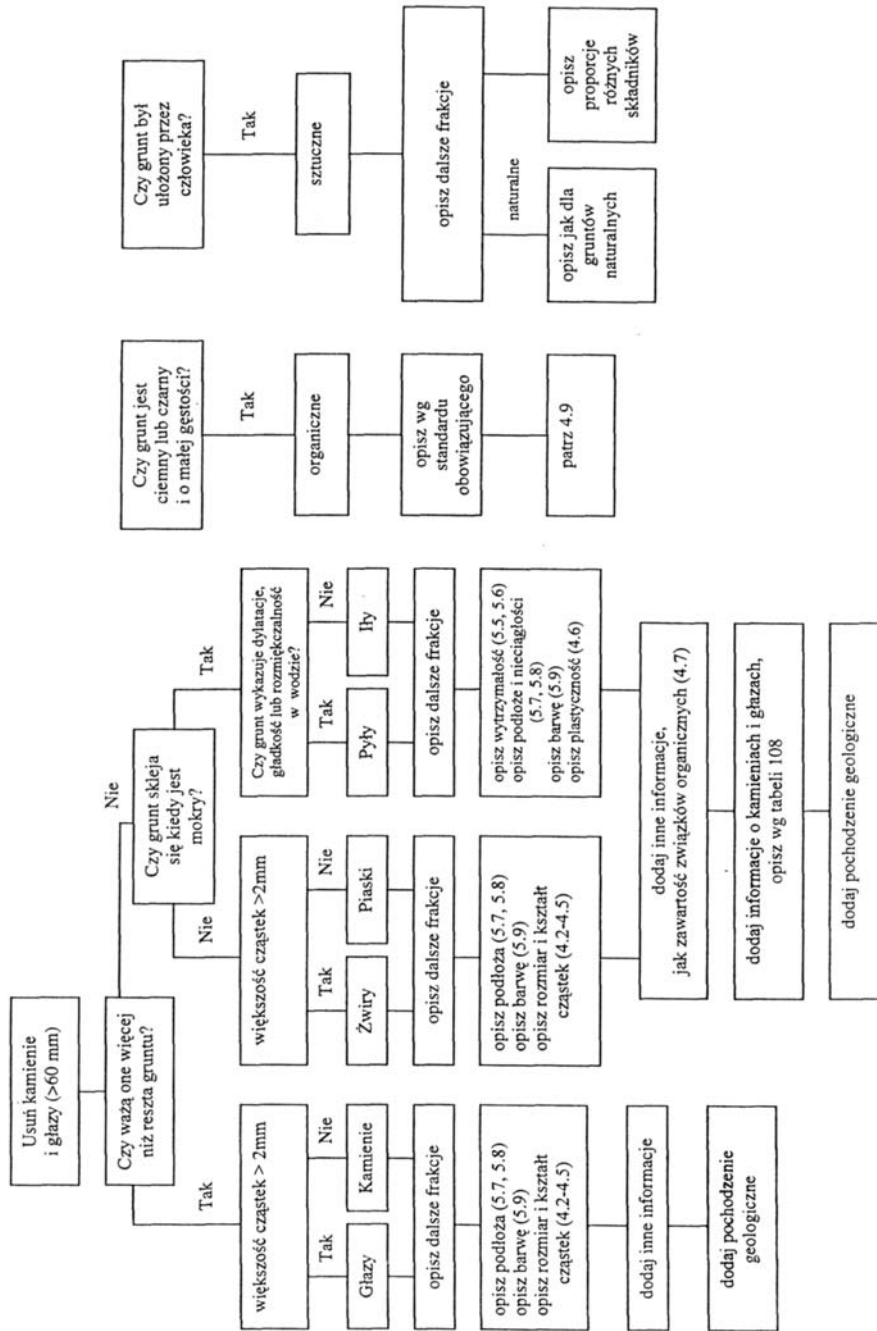
Określenie domieszek	Przybliżona zawartość domieszek (%)	Główne typy osadów
Drobne ily lub pyły i/lub piaski lub żwiry (w niewielkich ilościach)	5	piaski
Iły lub pyły i/lub piaski lub żwiry*	5–20	lub
Iły lub pyły i/lub piaski lub żwiry (w dużych ilościach)*	20–40	żwiry
Piaszczyste lub żwirowe (w dużych ilościach)**	65	pyły
Piaszczyste i/lub żwirowe	35–65	lub
Piaszczyste i/lub żwirowe (w niewielkich ilościach)	35	ily

* Opis jak dla gruntów drobnoziarnistych sklejających się pod wpływem wody, ** opis jak dla gruntów gruboziarnistych sklejających się pod wpływem wody.

Tabela 7

Podstawy klasyfikacji gruntów (wg ISO/DIS 14688, 1994)

Ocena gruntów			Klasyfikacja o podobnym zachowaniu			Dalsze podziały
Grunty suche nie sklejające się	bardzo grube	większość ziarn >200 mm	B	Bx		wymagają specjalnego opracowania
		większość ziarn >60 mm	K	Kb, Bk		
	grube	większość ziarn >2 mm	G	Ks, Kg Gk, Sk Gs, Sg	KsG Gks Gsl, Sgl	wielkość cząstek przenikalność (mineralogia)
		większość ziarn >0,06 mm	S	Gl, Gt; Sl, St Sp	Gst, Sgt	
Grunty suche sklejające się	drobne		L T	Ls Lt, Ti Lp, Tp	Lsg Lst Tsg	plastyczność, wilgotność, czułość, wytrzymałość, sztywność, sprężystość
Ciemny kolor, mała gęstość	organiczne		P	Ps, Pl, Pt		wymagają specjalnego opracowania
Sztuczne	sztuczne	A osad	Ax	grunty sztuczne		jak dla gruntów naturalnych
Klucz symboli typów gruntów: głazy kamienie żwiry piaski pyły ily Grunty organiczne Grunty sztuczne	główne składniki B K G S L T P A	domieszki b k g s l t p x kombinacja składników				przypadki wymagające specjalnego opracowania opisuje się według norm obowiązujących w poszczególnych krajach

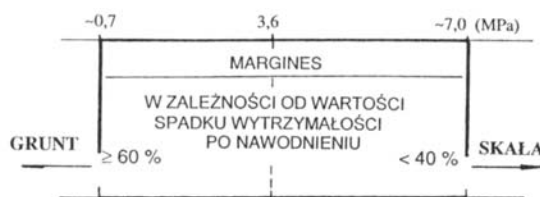


Rys. 1. Ogólna identyfikacja i opis gruntów według ISO/DIS 14688 (1994)

Grunty rodzime dzieli się w zależności od zawartości części organicznych na grunty mineralne ($\leq 2\%$ substancji organicznej) i grunty organiczne ($> 2\%$ substancji organicznej). Grunty mineralne dzieli się na grunty skaliste (o wytrzymałości na ściskanie $R_c > 0,2$ MPa, których próbki nie wykazują zmian objętości pod działaniem wody destylowanej, a najmniejszy wymiar bloku jest nie mniejszy od 10 cm) i nieskaliste.

Rozróżnienie grunt-skała jest zagadnieniem otwartym. W literaturze spotyka się różne wartości graniczne. W interesującej propozycji N. R. Morgenstern i K. D. Eigenbrod (1974) podają wartości graniczne dla gruntu i skały odpowiednio 0,7 i 7,0 MPa. Granica w zakresie tych wartości zmienia się i zależy od spadku wytrzymałości pod wpływem nawodnienia (rys. 2).

Rys. 2. Podział grunt-skała według N. R. Morgensterna i K. D. Eigenbroda (1974)

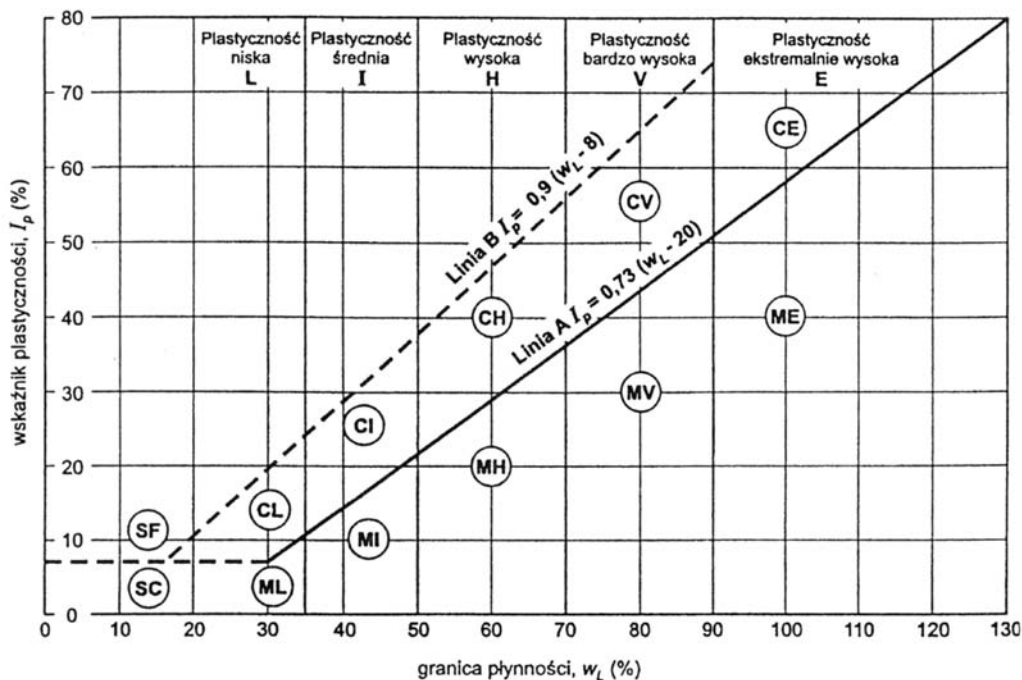


Według trójkąta klasyfikacyjnego Fereta (rys. 4 normy PN-86/B-02480) określa się rodzaje gruntów drobnoziarnistych. Gruntami spoistymi nazywa się takie grunty, które wykazują wskaźnik plastyczności $I_p > 1\%$ lub stałość kształtu bryłek przy naprężeniach $> 0,01$ MPa w stanie powietrzno-suchym, przy czym minimalny wymiar bryłek nie może być mniejszy niż 10-krotna wartość maksymalnej średnicy ziarn. W stanie wilgotnym wykazują plastyczność.

W gruntach organicznych skalistych wyróżnia się węgiel brunatny i węgiel kamienny, natomiast wśród gruntów nieskalistych organicznych wyróżnia się: grunty próchnicze o zawartości substancji organicznej $> 2\%$ (jako wynik vegetacji roślinnej oraz obecności mikroflory i mikrofauny), namuły powstałe na skutek osadzania się substancji mineralnych i organicznych w środowisku wodnym (namuły piaszczyste i gliniaste), gytie, czyli namuły o zawartości węgla wapnia $> 5\%$, torfy powstałe z obumarłych i podlegających stopniowej karbonizacji części roślin (zawartość substancji organicznej $I_{om} > 30\%$).

Podstawą uzupełniającej klasyfikacji gruntów spoistych są: całkowita powierzchnia właściwa S_t (określona metodą sorpcji błękitu metylowego), zawartość frakcji średnicy ziarn $d > 0,25$ mm oraz $d > 0,074$ mm (lub 0,071 mm) wyznaczona metodą na mokro, wskaźnik konsystencji I_c (tab. 13 normy PN-86/B-02480).

W krajach anglosaskich powszechnie stosowany jest nomogram plastyczności Casagrande'a z 1947 r. Od 1952 r. stanowi on podstawę amerykańskiej klasyfikacji gruntów spoistych w tzw. jednolitej klasyfikacji gruntów (USCS). Nomogram ten podlegał różnym modyfikacjom (B. Grabowska-Olszewska, 1996). Na rysunku 3 podano ten nomogram w wersji według normy brytyjskiej. Praktyka potwierdziła jego użyteczność. Klasyfikacja ta jest obecnie wprowadzana w ramach europejskiej unifikacji norm budowlanych i geotechnicznych, a więc w najbliższych latach może również obowiązywać w Polsce.



Rys. 3. Nomogram Casagrande'a według K. H. Head (1992)

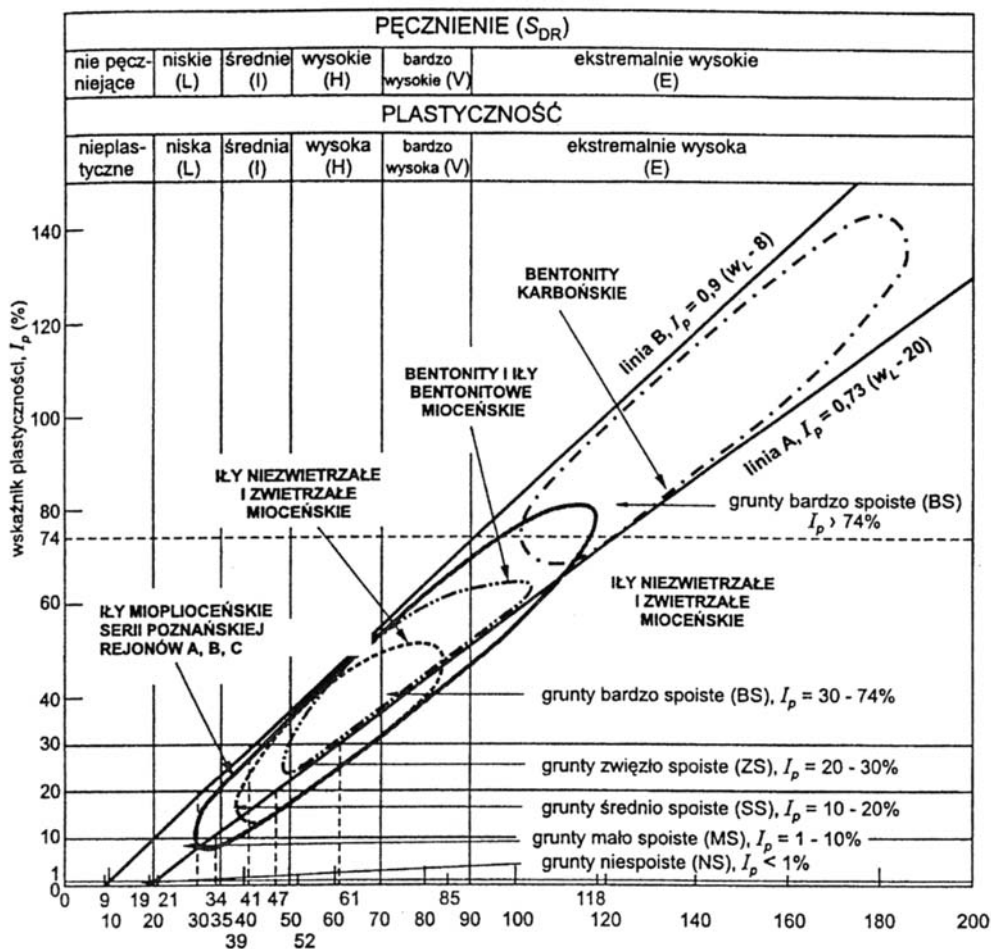
6.1.2. Badania podstawowych właściwości fizycznych gruntów

Badania cech fizycznych gruntów obejmują właściwości: szkieletu gruntowego, przestrzeni porowej oraz wody i niekiedy powietrza znajdujących się w porach. Taki podział uzasadnia występowanie w gruntach trzech faz.

Biorąc pod uwagę wartości niektórych parametrów fizycznych, grunty można podzielić na mniejsze klasy czy grupy. W zależności od **stopnia zagęszczenia** I_D grunty dzieli się na luźne, średnio zagęszczone, zagęszczone i bardzo zagęszczone; **stopień wilgotności** S_r rozróżnia grunty suche, mało wilgotne, wilgotne i mokre; **stopień plastyczności** I_L wyróżnia stan plastyczności gruntów: zwarty, półzwarty, twaroplastyczny, plastyczny, miękoplastyczny i płynny (PN-86/B-02480).

Właściwości fizyczne oznacza się zgodnie z normą PN-88/B-04481. Obejmują one badanie:

- wilgotności gruntu w ,
- gęstości objętościowej gruntu ρ i gęstości właściwej szkieletu gruntowego ρ_s ,
- granic konsystencji (Atterberga) gruntu: skurczalności w_s , plastyczności w_p i płynności w_L .



Rys. 4. Plastyczność i pęcznienie różnowiekowych bentonitów oraz gruntów spoistych trzeciorzędowych (wg nomogramu Casagrande'a zmodyfikowanego przez B. Grabowską-Olszewską, 1996)

Do określania wilgotności gruntu celowe jest stosowanie szybkich metod zalecanych przez normę niemiecką DIN 18 121(1989).

Według ISO/DIS 14688 (1994) podział plastyczności (stanu) gruntów oparty na granicy płynności w_L jest następujący:

- stan nisko plastyczny, $w_L < 35\%$,
- stan średnio plastyczny, $w_L 35\text{--}50\%$,
- stan plastyczny, $w_L 50\text{--}70\%$,
- stan bardzo plastyczny, $w_L 70\text{--}90\%$,
- stan wysoko plastyczny, $w_L > 90\%$,

a stan zagęszczenia na podstawie stopnia zagęszczenia I_D :

- stan bardzo luźny, $I_D < 20\%$,
- stan luźny, $I_D 20\text{--}40\%$,
- stan średnio zagęszczony, $I_D 40\text{--}60\%$,
- stan zagęszczony, $I_D 60\text{--}80\%$,
- stan bardzo zagęszczony, $I_D > 80\%$.

Metody te są przydatne przede wszystkim do seryjnych badań podobnych rodzajów gruntów, np. wykonywanych podczas robót ziemnych.

Badań granicy płynności przy użyciu miseczki Casagrande'a nie należy stosować w przypadku gruntów o właściwościach tiksotropowych; dotyczy to przeważnie pyłów (mułków i lessów).

Zależność pomiędzy wskaźnikiem plastyczności a rodzajem gruntu ze względu na spoistość zawiera tab. 7 normy PN-86/B-02480. Rysunek 4 pokazuje zależność między wskaźnikiem plastyczności a granicą płynności dla typowych gruntów Polski.

Z uwagi na **aktywność koloidalną Skemptona** A (stosunek wskaźnika plastyczności I_P do zawartości frakcji ilowej f_i) grunty dzieli się na:

- nieaktywne, $A < 0,75$,
- normalnie aktywne, $A = 0,75\text{--}1,25$,
- aktywne, $A = 1,25\text{--}2$,
- wysoko aktywne (bentonitowe), $A > 2$.

Tabela 8

**Masy gruntu wymagane do badań próbek nienaruszonych według pr ENV 1997-2
(K. Garbulewski, 1998)**

Rodzaj badania	Wymiary próbek średnica/wysokość (mm)	Wymagana minimalna masa (g)	
Edometr	50/20	90	
	75/20	200	
	100/20	350	
Ściskanie:	— jednoosiowe	35/70	150
		38/76	200
	— bez konsolidacji i odpływu (UU)	50/100	450
		70/140	1 200
	— trójosiowe	100/200	3 500
		150/300	12 000
Bezpośrednie ścinanie (prostokątne)	60/60/20	150	
	100/100/20	450	
	300/300/150	30 000	
Gęstość	$D = 5,6$ mm	125	
	$D = 8$ mm	300	
	$D = 10$ mm	500	
	$D > 10$ mm	$1,4 \cdot \text{MMS}$	

D — największy wymiar ziarna w przeważającej części (10% lub więcej w masie), MMS — minimalna masa do badań uziarnienia metodą przesiewania.

Tabela 9

Wymagane masy gruntu do badań próbek naruszonych według pr ENV 1997-2 (K. Garbulewski, 1998)

Badanie	Wymagana masa początkowa	Minimalna masa próbki przygotowanej do badań		
		Il i pył	Piaski ($D < 2$ mm)	Grunty żwirowe $D = 2-10$ mm MMS; $D > 10$ mm $0,3 \cdot$ MMS
Wigotność	(co najmniej masa do przygotowania dwóch próbek)	30 g	100 g	min. 500 g
Gęstość właściwa	100 g	10 g (ziarna < 4 mm)		
Uziarnienie: sita	$2 \cdot$ MMS	MMS		
Sedymentacja: areometr pipeta	250 g 100 g	Il i Pył		Grunty piaszczyste
		50 g 12 g	100 g 30 g	
Granice Atterberga	500 g	300 g (ziarna $< 0,4$ mm)		
Wskaźnik lub stopień zagęszczenia	8 kg	*		
Dyspersyjność	400 g	*		
Zagęszczenie Proctor CBR	<i>S</i> 25 kg	<i>NS</i> 10 kg 50 kg	*	
	80 kg		*	
CBR	6 kg	*		
Przepuszczalność**: Średnica 100 mm 75 mm 50 mm 38 mm	4 kg			
	3 kg			
	500 g			
	250 g			

* masa próbki zależy od właściwości gruntu w czasie badań, ** próbki o wysokości równej podwójnej średnicy.

D — średnica największego ziarna w przeważającej części (10% lub więcej w suchej masie), MMS — minimalna masa gruntu do badań uziarnienia metodą sitową: $D = 75$ mm, $MMS = 120$ kg; $D = 20$ mm, $MMS = 2$ kg; $D = 10$ mm, $D = 2$ mm lub mniej, $MMS = 100$ g; S — ziarna gruntu podatne na skruszenie podczas zagęszczenia, NS — ziarna gruntu niepodatne na kruszenie.

Podstawą podziału na grunty próchniczne, namuły piaszczyste i gliniaste, gytie, torfy oraz węgle brunatne i kamienne jest zawartość części organicznych I_{om} . Zawartość części organicznych oznacza się przy użyciu 30-procentowego roztworu nadtlenu wodoru (określa się ilość węgla zawartego w substancji organicznej przez utlenienie go do CO_2). Przy zawartości I_{om} powyżej 10% można stosować metodę prażenia (lecz nie należy jej stosować przy rozróżnianiu gruntów organicznych i mineralnych). Właściwe jest stosowanie do badania I_{om} uniwersalnej metody Tiurina.

Przy dużej liczbie badań zawartości części organicznych celowe jest stosowanie metod mniej czasochłonnych, niż podane w normie PN-88/B-04481. Straty prażenia gruntów można określać stosując metodykę opisaną w normie niemieckiej DIN 18 128. Minimalna masa próbki do badań

Tabela 10

Klasyfikacja gruntów pęczniących (wg H. Seeda i in., 1962)

Całkowite pęcznienie TE (%)	Potencjał pęcznienia S (%)	Stopnie ekspansji
0–10	0,0–1,5	niski
10–20	1,5–5	średni
20–35	5–25	wysoki
>35	>25	b. wysoki
Całkowite pęcznienie TE (%)	Potencjał pęcznienia S (%)	Wskaźnik plastyczności I_p (%)
4,5–10,0	0,4–1,5	10
13,5–18,7	2,2–3,8	20
21,4–28	5,7–12,2	30
28–35	11,8–25,0	40
33–40	20,1–42,6	50

TE — całkowite pęcznienie wyrażone jako procent spęcznienia powietrzno-suchej próbki poddanej nasyceniu wodą.
 S — potencjał pęcznienia badany bezpośrednią metodą, wyrażający procent pęcznienia próbki nasyconej wodą (bez możliwości jej odkształceń na boki) poddanej obciążeniu 7 kPa lub oszacowany na podstawie metod pośrednich.

Tabela 11

Podział gruntów pęczniących (Posadowienie..., 1990)

f_i (%)	w_L (%)	I_p (%)	S_t ($m^2 \cdot g^{-1}$)	e_{pmax} (%)	p_{cmax} (MPa)	S_e
50	60	40	200	30	1,0	b. silnie pęczniące
40–50	50–60	30–40	150–200	20–30	0,6–1,0	silnie pęczniące
30–40	40–50	20–30	70–150	10–20	0,2–0,6	średnio pęczniące
<30	<40	<20	<70	<10	<0,2	słabo pęczniące

f_i — zawartość frakcji ilowej oznaczona metodą areometryczną, przy użyciu colgeny jako stabilizatora, w_L — granica płynności, I_p — wskaźnik plastyczności, S_t — całkowita powierzchnia właściwa oznaczona testem sorpcyjnym, e_{pmax} — wskaźnik swobodnego pęcznienia, p_{cmax} — ciśnienie pęcznienia, S_e — stopień ekspansywności.

w zależności od rodzaju gruntu jest następująca: grunty organiczne — 15 g, grunty drobnoziarniste — 15 g, piaski — 30 g, pospółki — 200 g, żwir — 1000 g.

Próbkę gruntu należy wysuszyć w temperaturze 105NC, a następnie po rozruci poddać prażeniu w piecu mufowym. Próbka gruntu jest prażona w temperaturze 550NC aż do uzyskania stałej masy. Wymagane masy gruntu do badań innych właściwości podaje pr ENV 1997-2 (tab. 8, 9).

Metody badań pęcznienia gruntów pęczniących i ich zachowanie opisano w pracach B. Grabowskiej-Olszewskiej i R. Kaczyńskiego (1994) oraz A. Niedzielskiego (1993). Według Z. Wiłuna (1987) grunty, które wykazują wskaźnik pęcznienia $V_p \geq 4\%$, są uważane za pęczniące. Dla celów klasyfikacyjnych gruntów pęczniących można stosować dane z tabel 10 i 11.

6.1.3. Badania odkształcalności i wytrzymałości gruntów

Badania odkształcalności obejmują parametry ściśliwości i konsolidacji gruntów, natomiast wytrzymałość gruntów dotyczy głównie wytrzymałości na ścinanie.

Edometryczne moduły ściśliwości pierwotnej i wtórnej oraz współczynniki ściśliwości i konsolidacji są parametrami niezbędnymi przy obliczaniu całkowitego osiadania i osiadania w czasie.

Ściśliwość jest to zdolność do odkształcania się, a dokładniej do zmniejszania objętości wskutek oddziaływania obciążenia. Miarą ściśliwości gruntu są edometryczne moduły ściśliwości pierwotnej M_o i wtórnej M (kPa). Orientacyjne wartości modułu edometrycznego M_o i modułu odkształcenia ogólnego E_o można określać tzw. metodą B lub C na podstawie danych doświadczalnych (np. z obserwacji osiadań budowli lub korelacji regionalnych) albo według PN-81/B-03020:

- gruntów niespoistych w zależności od rodzaju i stopnia zagęszczenia I_D (rys. 6 normy),
- gruntów spoistych w zależności od ich rodzaju i stopnia skonsolidowania (A, B, C lub D) oraz od stopnia plastyczności I_L (rys. 7 normy).

Moduły ściśliwości metodą A wyznacza się laboratoryjnie w edometrach (lub konsolidometrach). Wyniki badań pozwalają na sporządzenie krzywych ściśliwości. Z gałęzi obciążenia obliczamy wartość modułu ściśliwości pierwotnej (M_o):

$$M_o = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_{zt} - \sigma_{zy}}{\frac{\Delta h_i}{h_{i-1}}} = \sigma_{zd} \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

i współczynnik ściśliwości (a_v):

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta\sigma},$$

a z gałęzi odciążenia edometryczny moduł ściśliwości wtórnej (M , kPa)

$$M = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_{z \min} - \sigma_{zy}}{\frac{\Delta h_i}{h_{i-1}}} = \sigma_{zs} \frac{h_3}{h_3 - h_1},$$

gdzie:

Δe	—	zmiana wskaźnika porowatości w granicach przyrostu obciążenia,
$\Delta\sigma$	—	przyrost naprężenia (kPa),
$\Delta\varepsilon$	—	przyrost odkształcenia,
Δh_i	—	zmniejszenie wysokości próbki po zwiększeniu naprężeń (mm),
σ_{zy}	—	naprężenie pierwotne (kPa),
σ_{zt}	—	naprężenie całkowite = pierwotne + dodatkowe (kPa),
$\sigma_{z \min}$	—	naprężenie minimalne (kPa),
σ_{zd}	—	naprężenie dodatkowe (kPa),
h_1, h_2, h_3	—	wysokość próbki przy kolejnych obciążeniach (mm),
h_{i-1}	—	wysokość próbki przed zwiększeniem naprężenia (mm).

W edometrach badania przeprowadza się najczęściej na próbkach o strukturze nienaruszonej w zakresie spodziewanych obciążeń. Krzywoliniowy charakter zależności obciążenie–odkształcenie uzasadnia wyznaczenie modułów w ściśle określonym przedziale obciążeń, najlepiej odwzorowujących przyszłe spodziewane zachowanie się projektowanego obiektu. W zakresie naprężeń wtórnych wyznacza się moduł ściśliwości wtórnej, natomiast w granicach naprężeń dodatkowych (większych od pierwotnych) — moduł ściśliwości pierwotnej. Grunty nienasycone powinny być badane w sakedometrach (K. Garbulewski i in., 1993).

W edometrach (lub konsolidometrach) przeprowadza się badania przy (K. H. Head, 1986):
— stopniowym wzroście obciążeń IL (podwajane wartości obciążeń; ang. *incremental loading*) — standardowe badanie (PN-88/B-04481),

— ciągłym wzroście obciążeń CL (ang. *continuous loading*).

W metodzie ciągłego zwiększania obciążeń CL wyróżnia się badania z zachowaniem:

— stałej prędkości odkształceń CRS (ang. *constant rate of strain*),

— stałej prędkości obciążeń CRL (ang. *constant rate of loading*).

W edometrach badania są długotrwałe, prowadzi się je do chwili, aż ciśnienie wody w porach ulegnie rozproszeniu. W celu skrócenia czasu badań można przeprowadzić badania ściśliwości i konsolidacji w konsolidometrze (najprostszy aparat to połączenie pierścienia edometrycznego z podstawą aparatu trójosiowego ściskania), w którym istnieje możliwość pomiaru ciśnienia wody w porach na każdym etapie badania. W takich konsolidometrach można przeprowadzić badania o schemacie oznaczonym CRS lub CRL.

Moduł ściśliwości (M_{ok} , kPa) w schemacie CRS określa się według wzoru:

$$M_{ok} = \frac{\sigma'}{\varepsilon_{\infty}} \quad \text{lub} \quad M_{ok} = \frac{\sigma'}{\varepsilon},$$

gdzie:

σ' — naprężenie efektywne = $\sigma - \frac{2}{3}U_H$ (kPa),

σ — naprężenie całkowite (kPa),

U_H — ciśnienie wody w porach w podstawie próbki (kPa),

ε_{∞} — odkształcenie względne po nieskończeniu długim czasie,

ε — odkształcenie względne w wybranym przedziale naprężeń $\Delta\sigma'$.

Wykonywanie badań konsolidometrycznych (Wytyczne..., 1989b) należy przeprowadzić w przypadkach, gdy:

— naprężenie efektywne nie przewyższa 90% naprężeń całkowitych,

— wartość stopnia wilgotności nie jest mniejsza od 0,90 w przypadku oznaczania modułu ściśliwości lub mniejsza od 0,95 w przypadku oznaczeń współczynnika konsolidacji.

Na podstawie pomierzonych odkształceń próbek gruntu obliczoną wartość modułów ściśliwości uznaje się za miarodajną, jeśli:

— odkształcenia własne edometru nie przekraczają 50% odkształceń badanego gruntu, przy czym odkształcenie własne edometru uwzględnia się przy obliczaniu odkształceń próbki gruntu,

— różnica wartości Δh (odkształcenie własne edometru) przed i po badaniu ściśliwości danej próbki nie przekracza 50% wartości średniej.

Gdy M_o lub M jest większe od 20 MPa, należy wykonywać każdorazowo co najmniej 2 badania w edometrze.

Edometryczne badania powinny być uzupełnione kompletem badań właściwości fizycznych: wilgotności naturalnej (przed badaniem), wilgotności końcowej (po badaniu), gęstości objętościowej i właściwej, stanu konsystencji (gruntów spoistych).

Eurokod pr ENV 1994 przewiduje obliczanie osiadań fundamentu według metody odkształceniowej. Wielkość osiadania jest zależna od modułu Younga. Moduł Younga można oznaczyć w badaniach laboratoryjnych, np. w specjalnych urządzeniach pozwalających na wywołanie małych odkształceń.

Prekonsolidacja gruntów. Grunty w swej historii geologicznej (obciążenia i odciążenia) mogły być obciążone znacznie większym nadkładem warstw nadległych lub innych oddziaływań, np. tektonicznych, lodowcowych itp., aniżeli to wynika z dzisiejszego obciążenia, a więc mogły przejść w tzw. stan przekonsolidowania. Krzywa ściśliwości przedstawiona w skali półlogarytmicznej, przy stosowaniu np. metody Casagrande'a, umożliwia wyznaczenie tzw. **obciążenia przekonsolidacji** (σ'_{pmax} , kPa), czyli obciążenia występującego w przeszłości, jakie jeszcze obecnie „pamięta grunt”.

Stopień przekonsolidacji (OCR, ang. *overconsolidation ratio*) jest miarą przekonsolidowania i równa się stosunkowi obciążenia przekonsolidacji (σ'_{pmax} , kPa) do naprężenia obecnie występującego na danej głębokości (σ'_{zy} , kPa), a więc:

$$OCR = \frac{\sigma'_{pmax}}{\sigma'_{zy}}$$

Z uwagi na wartość OCR grunty można podzielić na:

- nieskonsolidowane, gdy $OCR < 1$,
- normalnie skonsolidowane, gdy $OCR = 1$,
- przekonsolidowane, gdy $OCR > 1$.

Wyznaczenie OCR pozwala na precyzyjne zakwalifikowanie badanego gruntu do odpowiedniej grupy A, B, C lub D. Grunty bardzo ściśliwe charakteryzują się często małą wodoprzepuszczalnością, powodującą powolny przebieg procesu ich konsolidacji.

Konsolidacja gruntów jest to odkształcenie w czasie, związane ze zmniejszeniem objętości porów i zawartości wody pod wpływem przyłożonego obciążenia. Proces konsolidacji zależy od współczynnika konsolidacji (C_v). Można go wyznaczyć z badań edometrycznych lub konsolidometrycznych. Przy badaniach edometrycznych przedstawionych jako zależność:

- Δh lub ε w funkcji pierwiastka z czasu według Taylora

$$C_v = \frac{0,848H^2}{t_{90}}$$

- Δh lub ε w funkcji logarytmu z czasu według Casagrande'a

$$C_v = \frac{0,196H^2}{t_{50}}$$

gdzie:

- C_v — współczynnik konsolidacji (cm^2/s),
- H — droga drenażu ($\sim 1/2$ wysokości próbki; cm)
- t — czas (s),
- t_{90} — czas, kiedy konsolidacja osiąga 90% (s),
- t_{50} — czas, kiedy konsolidacja osiąga 50% (s),
- 0,848 i 0,196 — wartości bezwymiarowego czynnika czasu dla 90% i 50% konsolidacji.

Na podstawie badań konsolidometrycznych współczynnik konsolidacji oblicza się według:

$$C_v = \frac{\Delta\sigma'}{\Delta t} \cdot \frac{H^2}{2U_H}$$

gdzie:

- $\Delta\sigma'$ — zakres naprężeń efektywnych, dla których oblicza się C_v ,
- Δt — różnica czasu odpowiadająca przyrostowi naprężeń $\Delta\sigma'$,
- H — wysokość próbki w chwili odpowiadającej połowie przedziału Δt ,
- U_H — ciśnienie wody w porach w chwili odpowiadającej połowie przedziału czasu Δt .

Dla gruntów gruboziarnistych i kamienistych badania ścisłości wykonuje się w edometrach wielkowymiarowych (S. Pisarczyk, 1995), przy czym powinny być spełnione warunki:

$$D \geq 5 d_{max} \quad \text{oraz} \quad h/D \approx 1,$$

gdzie:

- D — średnica próbki,
- h — wysokość próbki,
- d_{max} — maksymalna średnica ziarn.

Wytrzymałość na ścinanie (rys. 5) jest najważniejszym parametrem charakteryzującym stan graniczny, czyli opór stawiany przez grunt powstałym naprężeniom ścinającym. Jest to wielkość składająca się ze spójności (c) i tarcia wewnętrznego (ϕ). Najczęściej stosowanym do gruntów kryterium wytrzymałościowym jest warunek granicznej wartości największego naprężenia stycznego Coulomba $\tau_f(\sigma_n$ — naprężenie normalne do płaszczyzny ścinania w momencie zniszczenia gruntu):

$$\tau_f = \sigma_n \operatorname{tg}\phi + c.$$

W gruncie nasyconym wodą (ośrodku dwufazowym) zasada naprężeń efektywnych (Terzagiego) określa, że maksymalna wytrzymałość gruntu nie jest funkcją całkowitego naprężenia normalnego, lecz naprężenia efektywnego σ_n' , tj. różnicy pomiędzy całkowitym naprężeniem normalnym (σ_n) i ciśnieniem wody w porach (u_w):

$$\tau_f = (\sigma_n - u_w) \operatorname{tg}\phi' + c' = \sigma_n' \operatorname{tg}\phi' + c'.$$

Dla ośrodka trójfazowego (ośrodka nienasyconego) można rozszerzyć równanie Coulomba (D. G. Fredlund i in., 1978) w następujący sposób:

$$\tau_f = (\sigma_n - u_a) \operatorname{tg}\phi' + (u_a - u_w) \operatorname{tg}\phi^b + c',$$

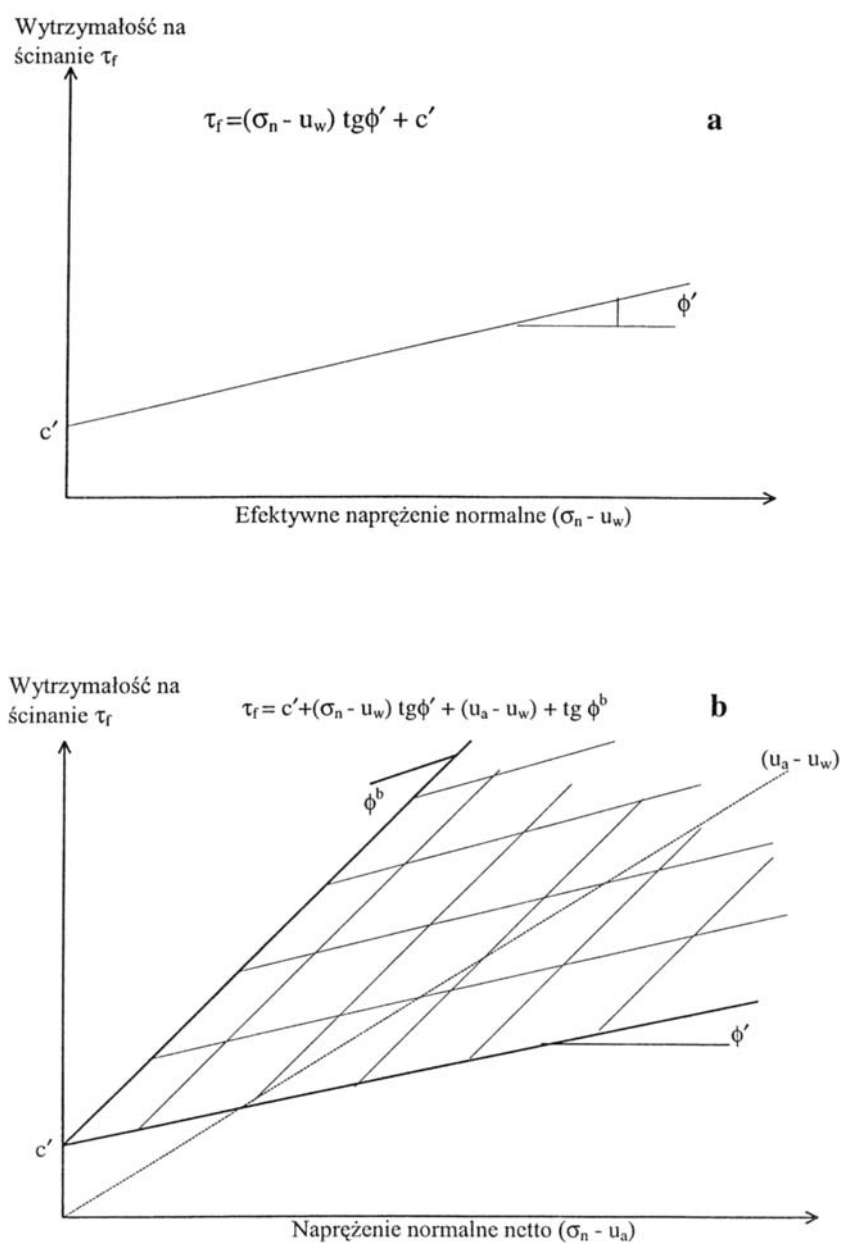
gdzie:

- u_a — ciśnienie powietrza,
- ϕ^b — kąt tarcia określony z zależności $\tau = f(u_a - u_w)$,
- $u_a - u_w$ — ciśnienie ssania.

Orientacyjne wartości parametrów wytrzymałościowych kąta tarcia ϕ_u i spójności c_u można określać tzw. metodą B lub C na podstawie badań doświadczalnych (np. z korelacji regionalnych) albo różnych publikacji, np. Z. Wiłuna (1987) i L. Wysokińskiego (1995).

W normie PN-81/B-03020 można znaleźć wartości kąta tarcia ϕ_u i spójności c_u :

— dla gruntów niespoistych w zależności od ich rodzaju i stopnia zagęszczenia I_D (rys. 3 normy),



Rys. 5. Obwiednie Coulomba–Mohra wytrzymałości na ściskanie: a — gruntów nasyconych, b — gruntów nienasyconych (D. G. Fredlund, H. Rahardjo, 1993)

u_w — ciśnienie wody w porach gruntu, u_a — ciśnienie powietrza w porach gruntu, $(u_a - u_w)$ — ciśnienie ssania w porach gruntu, c' — efektywna spójność, ϕ' — efektywny tarcia wewnętrzny; pozostałe objaśnienia w tekście

— dla gruntów spoistych w zależności od ich rodzaju i stopnia skonsolidowania (A, B, C lub D) oraz od stopnia plastyczności I_L (rys. 4 i 5 normy).

Wyznaczenie parametrów metodą A przeprowadza się najczęściej w aparatach prostego ścinania, trójosiowego ściskania lub pierścieniowym.

Badanie w **aparacie prostego ścinania** (skrzynkowym, Instrukcja..., 1998a) jest łatwe i szybkie. Powierzchnia ścicia jest wymuszona przez konstrukcję aparatu, dlatego aparat ten nadaje się również do badania wytrzymałości na ścinanie gruntów zawierających powierzchnie osłabienia (nieciągłości), jak również do wielokrotnego ścinania po wytworzonej już płaszczyźnie ścicia. Z zależności naprężenie ścinające–naprężenie normalne obliczyć można kąta tarcia wewnętrznego ϕ i spójność c . Z uwagi na brak możliwości pomiaru ciśnienia wody w porach w tym aparacie, uzyskiwane parametry są wyrażone w naprężeniach całkowitych. Aparat nadaje się do badania rezydualnej (resztkowej) wytrzymałości na ścinanie gruntów.

W badaniu w **aparacie trójosiowego ściskania** (Instrukcja..., 1998a) można w sposób dość wierny modelować przyszłą pracę gruntu w warunkach naturalnych. W tym aparacie istnieje możliwość dowolnych zmian naprężeń głównych, warunków odpływu i konsolidacji. Wskutek tego zależnie od potrzeb można ustalić różne programy badawcze. Zniszczenie gruntu może nastąpić w badaniu ściskania próbki (kiedy naprężenie pionowe jest większe od poziomego) i w badaniu rozciągania (wydłużania), kiedy naprężenie pionowe jest mniejsze od poziomego. Istnieje możliwość pomiaru ciśnienia wody w porach. Badanie przy ciśnieniu bocznym równym zeru pozwala określić wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie. Wyniki badań naniesione na wykresy zależności między odkształceniem ε oraz:

- naprężeniem dewiatorowym $q = 0,5(\sigma_1 - \sigma_3)$,
- stosunkiem efektywnych naprężeń głównych $\sigma'_1 : \sigma'_3$,
- ciśnieniem wody w porach u ,

ustalają moment zniszczenia próbki gruntu i wskazują na zachowanie się gruntu podczas obciążenia. Z wykresów $q = f(p)$, $p = 0,5(\sigma_1 + \sigma_3)$ i $q = f(p')$, $p' = 0,5(\sigma'_1 + \sigma'_3)$ oblicza się efektywne i całkowite parametry wytrzymałości na ścinanie.

Przy wyborze metody badania w aparacie trójosiowego ściskania powinno się uwzględnić: spodziewane warunki hydrogeologiczne (drenaż) w podłożu budowlanym, tempo prac budowlanych (przyrost i prędkość obciążeń) i przepuszczalność gruntów oraz sposób przyłożenia występujących obciążeń (tab. 12).

Z. Wiłun (1987) zaleca stosować badania bez konsolidacji i bez odpływu (UU) w przypadku budowli o obciążeniu użytkowym wynoszącym 70% całkowitego obciążenia (parametry ϕ_{UU} , C_{UU}). Badania z konsolidacją i bez odpływu (CIU, CAU) przeprowadza się, gdy obciążenie użytkowe wynosi 30–70% całkowitego obciążenia (ϕ_{CU} , C_{CU}). K. H. Head (1986) podaje następujące wskazówki dotyczące wyboru rodzaju badań wytrzymałościowych w zależności od ich zastosowania:

- nośność podłoża i fundamentów na słabych gruntach spoistych (krytyczny moment zakończenia budowy): parametry całkowite — spójność c_u przy $\phi_u = 0$, badania trójosiowe QU lub CU,
- konstrukcje oporowe: zakończenie budowy — parametry całkowite (spójność c_u), badania QU; stan długotrwały — parametry efektywne c' i ϕ' , badania CU lub CD,
- naturalne zbocza, osuwiska w gruncie nienaruszonym: stan długotrwały — parametry efektywne c_D i ϕ_D , badania CD lub CU; osuwiska w gruncie zaburzonym (ze zlustrzeniami): stan

Tabela 12

Podział badań przeprowadzonych w aparacie trójosiowego ściskania

Typy badań ze względu na:			
Przygotowanie próbki	Warunki odpływu	Zmianę naprężeń	Zmianę ciśnienia wody w porach
Badania z konsolidacją: izotropową (CI) anizotropową (CA) bez konsolidacji (U)	Badania bez odpływu	Badania przy ściskaniu osiowym próbki (K): przy rosnącym σ_1 i stałym $\sigma_2 = \sigma_3$ (K_1), przy stałym σ_1 i malejącym $\sigma_2 = \sigma_3$ (K_2), przy stałym średnim naprężeniu głównym $1/3(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \text{const})$, rosnącym σ_1 i malejącym $\sigma_2 = \sigma_3$ (K_3)	Badania przy stałym ciśnieniu $\sigma_2 = \sigma_3$ i mierzonym ciśnieniu w porach ($U \neq \text{const}$)
	Badania z odpływem	Badania przy ściskaniu osiowym próbki E: przy malejącym σ_1 i stałym $\sigma_2 = \sigma_3$ (E_1), przy stałym σ_1 i rosnącym $\sigma_2 = \sigma_3$ (E_2), przy stałym średnim naprężeniu głównym $1/3(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \text{const})$, malejącym σ_1 i rosnącym $\sigma_2 + \sigma_3$ (E_3)	Badania przy stałym ciśnieniu w porach i regulowanym ciśnieniu bocznym ($U = \text{const}$)

długotrwały — wytrzymałość rezydualna c_r i ϕ_r , badania w aparacie skrzynkowym wielokrotnego ścinania lub pierścieniowym,

— skarpy w gruncie nienaruszonym: podczas budowy — parametry całkowite (spójność c_u), badanie QU (ściskanie, rozciąganie); stan długotrwały — parametry efektywne c' i ϕ' , badanie CU; skarpy w gruncie zaburzonym: stan długotrwały — wytrzymałość rezydualna c_r i ϕ_r , badanie w aparacie skrzynkowym wielokrotnego ścinania lub pierścieniowym.

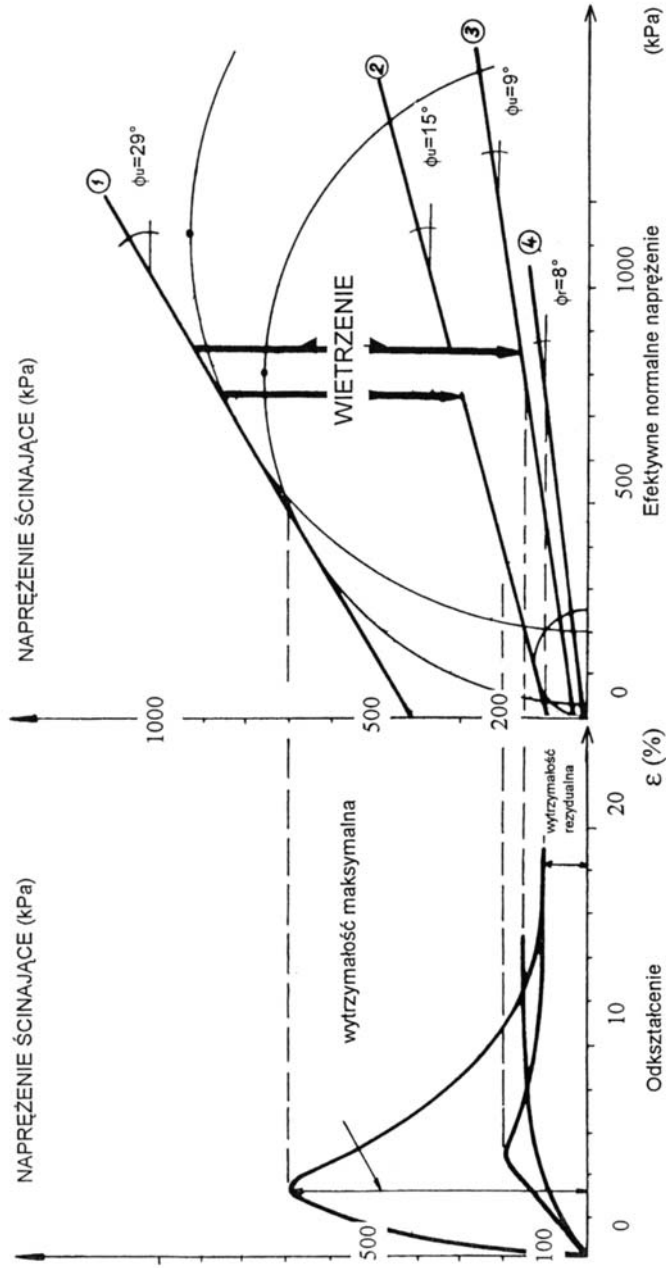
W gruntach spoistych o małej przepuszczalności ścinanie gruntu przy badaniu bez konsolidacji i bez odpływu przeprowadza się z prędkością osiowego odkształcenia powyżej 2%/h, w badaniach z konsolidacją bez odpływu z prędkością 0,05–2%/h, a w badaniach z konsolidacją i odpływem ścinanie trwa kilka do kilkunastu dni. Wyznaczone w tym rodzaju badań wartości efektywne ϕ_{CU}' i CCU' mogą być wykorzystane do analizy stateczności podłoża przy powolnym wznoszeniu budowli. Badanie z konsolidacją i z odpływem (CD) stosuje się wtedy, gdy obciążenie użytkowe wynosi mniej niż 30% całkowitego obciążenia obiektu. Uzyskane w tym badaniu parametry ϕ_D , C_D są zbliżone do wartości ϕ_{CU}' i CCU' . Badanie wytrzymałości na ścinanie powinno się przeprowadzać na próbkach o strukturze nienaruszonej.

Badania wytrzymałości na ścinanie gruntów nienasyconych przeprowadza się w zmodyfikowanych aparatach trójosiowego ściskania (lub skrzynkowych) umożliwiających pomiar ciśnienia ssania (D. G. Fredlund, H. Rahardjo, 1993).

Metodyka badań i interpretacji wyników oraz warunki stosowania poszczególnych sposobów przedstawiono szczegółowo w normie PN-88/B-04481 oraz w publikacjach K. H. Heada (1992), E. Myślińskiej (1992) i Z. Wiłuna (1987).

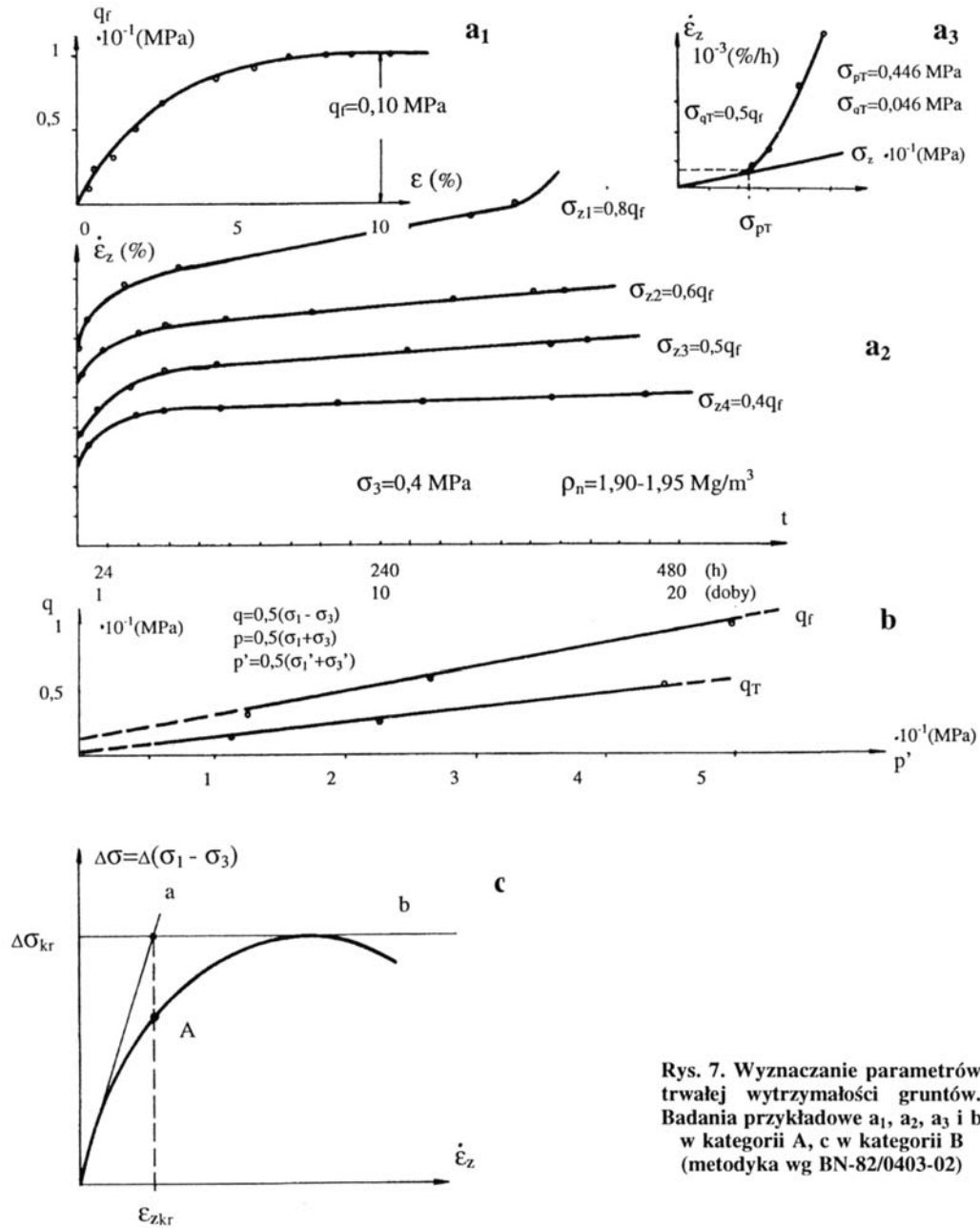
Norma ISO/DIS 14688 rozróżnia na podstawie wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu (CU) grunty o wytrzymałości:

- bardzo niskiej, <20 kPa,
- niskiej, 20–40 kPa,
- średniej, 40–75 kPa,



Rys. 6. Przykładowe linie wytrzymałości na ścinanie gruntów spoiстых

1 — linia wytrzymałości maksymalnej (strefa I), 2 — linia wytrzymałości dla zwietrzelin (strefa II i III), 3 — linia wytrzymałości dla zwietrzelin (strefa IV), 4 — linia wytrzymałości rezydualnej; objaśnienia symboli w tekście



Rys. 7. Wyznaczanie parametrów trwałej wytrzymałości gruntów. Badania przykładowe a₁, a₂, a₃ i b w kategorii A, c w kategorii B (metodyka wg BN-82/0403-02)

a — linia styczna do prostoliniowej części $\Delta\sigma = f(\epsilon_z)$, b — linia pozioma styczna w punkcie maksymalnej wytrzymałości, A — punkt przecięcia prostej a i b zrzucony na krzywą $\Delta\sigma = f(\epsilon_z)$, $\Delta\sigma_{kr}$, ϵ_{zkr} — współrzędne punktu A wyznaczające stan naprężenia krytycznego odpowiadające wytrzymałości trwałej, q_f , q_T — linie wytrzymałości maksymalnej i trwałej, σ_{qT} , σ_{pT} — naprężenia odpowiadające końcowi prostoliniowego odcinka, σ_z — naprężenie pionowe, $\dot{\epsilon}_z$ — prędkość odkształceń

- wysokiej, 75–150 kPa,
- bardzo wysokiej, >150 kPa.

Grunty podczas ścinania ulegają odkształceniom. Opór ścinania wzrasta do momentu powstania powierzchni ścicia (maksimum wytrzymałości), przy dalszym odkształceniu opór zmniejsza się aż do ustalenia się, tzn. osiągnięcia parametrów wytrzymałościowych na powierzchni nieciągłości (wytrzymałości rezydualnej).

Wytrzymałość rezydualna (reszkowa) (τ_r , kPa) jest to opór gruntu na ścinanie, jaki występuje w próbce gruntu po utworzeniu powierzchni poślizgu i ustaleniu się warunków ścinania przy dużych odkształceniach. Badania wytrzymałości rezydualnej można przeprowadzać w aparacie skrzynkowym (przez kilkakrotne powtórzenie ścinania tej samej próbki) lub w aparacie pierścieniowym (rys. 6).

Wytrzymałość na ścinanie w aparacie skrzynkowym osiąga się przez co najmniej trzykrotne ścinanie, za każdym razem w przeciwnym kierunku (obracając próbkę o 180N). Badania... (1996b) zalecają:

- pierwsze ścicie, odkształcenia próbki 20% (~12 mm),
- drugie ścicie w kierunku odwrotnym, odkształcenie 40% (~24 mm),
- trzecie ścicie w kierunku przeciwnym do poprzedniego, odkształcenie 20% (~12 mm).

Do liczbowej oceny zmniejszania wytrzymałości na ścinanie przy przejściu od maksymalnej do reszkowej można wykorzystać wskaźnik Bishopa I_B lub Haefalego λ_r :

$$I_B = \frac{\tau_f - \tau_r}{\tau_r} \cdot 100; \quad \lambda_r = \frac{\tau_r}{\tau_f} = 1 - I_B.$$

Wskaźnik Bishopa ma tę zaletę, że wyraża bezpośrednio maksymalny procent zmniejszenia wytrzymałości, który może powstać wskutek postępującego zniszczenia struktury gruntu. Wartość I_B dla typowych gruntów Polski zmienia się w zakresie 10–90% (R. Kaczyński, 1984) i przykładowo wynosi dla:

- utworów lessopodobnych 10–20%,
- glin zwałowych 30–40%,
- gruntów rzeczno-zastoiskowych 40–50%,
- iłów jurajskich 50–60%,
- iłów plioceńskich 60–70%,
- iłów miocenijskich 60–90%.

W górnictwie odkrywkowym (BN-82/0403-02) wyznacza się dla gruntów zwałowanych przede wszystkim **wytrzymałość trwałą**, którą rozumie się jako opór ścinania realizowany w elemencie gruntowym przy nieograniczonym czasie trwania obciążenia. Badania są wykonywane w aparatach trójosiowego ściskania. Wartości parametrów wytrzymałości trwałej są wyznaczone według zróżnicowanych sposobów, w zależności od kategorii dokumentowania złoża (B i A, rys. 7). Na etapie rozpoznania C_1 natomiast wytrzymałość trwała gruntu $\tau_T = 0,55\tau_f$, gdzie τ_f oznacza wytrzymałość (standardową) na ścinanie ustaloną według określonej metodyki, właściwej dla danego etapu rozpoznania złoża. W górnictwie odkrywkowym spotyka się jeszcze dwa określenia:

- wytrzymałość natychmiastowa, jako opór ścinania jaki może być realizowany w gruncie przy obciążeniu krótkotrwałym (w czasie bliskim zeru),
- wytrzymałość doraźna, jako opór ścinania jaki może być realizowany w gruncie w określonym czasie t trwania obciążenia ($0 < t < \infty$); wartości wytrzymałości doraźnej mieszczą się między wartościami wytrzymałości natychmiastowej i trwałej.

6.1.4. Badania współczynnika filtracji i przewodności hydraulicznej

Stosowane metody badań przepuszczalności gruntów można znaleźć m.in. w pracach: Badania... (1996a), Z. Pazdro i B. Kozerski (1990), Z. Wiłun (1987), K. H. Head (1992). Współczynnik filtracji (K) można również obliczyć z empirycznych zależności wartości k od uziarnienia gruntów, przy czym zaleca się stosowanie wzorów:

— USBSC (amerykańskiego), dotyczącego piasków drobno- i średnioziarnistych, średnicy miarodajnej $0,01 \text{ mm} \leq d_{20} \leq 2,0 \text{ mm}$ i temperatury wody 10NC:

$$k = 0,0036 d_{20}^{2,3} \quad (\text{m/s}),$$

— Slichtera, odnoszącego się do piasków i żwirów, średnicy miarodajnej $0,01 \leq d_{10} \leq 5,0 \text{ mm}$:

$$k = 88,3 d_{10}^2 m/\eta \quad (\text{m/d}),$$

gdzie:

- d_{10}, d_{20} — średnice ziarn, które wraz z mniejszymi stanowią wagowo 10 lub 20% składu gruntu (mm),
- η — współczynnik lepkości dynamicznej (tab. 13),
- m — współczynnik liczbowy zależny od porowatości (tab. 14),

Tabela 13

Zależność współczynnika lepkości dynamicznej wody η od temperatury T

T (°C)	η	T (°C)	η
5	0,0152	11	0,0127
6	0,0147	12	0,0124
7	0,0143	13	0,0120
8	0,0139	14	0,0117
9	0,0135	15	0,0114
10	0,0131	16	0,0111

Tabela 14

Wartość współczynnika obliczeniowego m w zależności od współczynnika porowatości n

n	m	n	m	n	m
0,26	0,01187	0,34	0,02878	0,42	0,05789
0,27	0,01350	0,35	0,03163	0,43	0,06267
0,28	0,01517	0,36	0,03473	0,44	0,06776
0,29	0,01694	0,37	0,03808	0,45	0,07295
0,30	0,01905	0,38	0,04154	0,46	0,07838
0,31	0,02122	0,39	0,04254	0,47	0,08455
0,32	0,02356	0,40	0,04922		
0,33	0,02601	0,41	0,05339		

Tabela 15

Podział gruntów i skał według właściwości filtracyjnych

Przepuszczalność	Współczynnik filtracji (m/s)	Współczynnik przepuszczalności (darcy)
Bardzo dobra: rumosze, żwiry, pospółki, grubo- i równoziarniste piaski; skały masywne z bardzo gęstą siecią drobnych szczelin	$> 10^{-3}$	> 100
Dobra: piaski gruboziarniste nieco zaglinione, piaski różno- i średnioziarniste; kruche, słabo spojone gruboziarniste piaskowce, skały masywne z gęstą siecią szczelin	$10^{-3}-10^{-4}$	100-10
Średnia: piaski drobnoziarniste równomiernie uziarnione, less	$10^{-4}-10^{-5}$	10-1
Słaba: piaski pylaste, gliniaste, pyły; piaskowce, skały masywne z rzadką siecią drobnych spękań	$10^{-5}-10^{-6}$	1-0,1
Grunty i skały półprzepuszczalne: gliny, namuły; mułowce	$10^{-6}-10^{-8}$	0,1-0,001
Grunty i skały nieprzepuszczalne: iły, gliny zwięzłe, margle ilaste; iłolupki, skały masywne niespękane	$< 10^{-8}$	$< 0,001$

Tabela 16

Przepuszczalność i metody badań głównych typów gruntów
(kolumny 1-5 wg K. H. Head'a, 1985, kolumna 6 wg Z. Pazdry, B. Kozerskiego, 1990)

Charakterystyka przepływu	Klasyfikacja przepuszczalności	Główne typy gruntów	Metody badań		Podział właściwości filtracyjnych	Współczynnik filtracji k (m/s)
			bezpośrednie	pośrednie		
1	2	3	4	5	6	
Dobry	wysoka	żwiry	wielkowi- miarowa komora CH	z obliczeń PSD	bardzo dobre	10^{-1}
			standardowa komora CH			dobre
	niska	iły spę- kane i zwięt- rzałe			piaski	
			10^{-4}			
Słaby	bardzo niska	piaski bardzo drobne i pylaste	komory FH	słabe	10^{-5}	
					10^{-6}	
Praktycznie nieprzepusz- czalny	praktycznie nieprzepusz- czalna	iły niespękane	endometr FH	z teorii konsoli- dacji	grunty praktycznie nieprzepusz- czalne	10^{-7}
						10^{-8}
						10^{-9}
						10^{-10}
						10^{-11}
						10^{-12}

CH — badania przy stałym spadku hydraulicznym, FH — badania przy zmiennym spadku hydraulicznym, PSD — obliczenia współczynnika ze składu granulometrycznego.

T — temperatura wody (tab. 13).

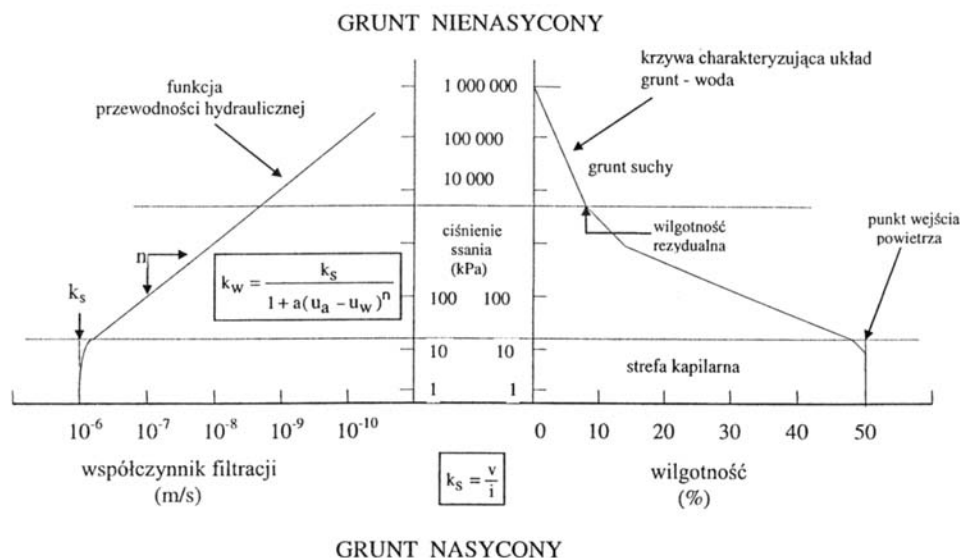
W tabelach 13 i 14 podano wartości współczynnika lepkości dynamicznej wody η od temperatury i współczynnika liczbowego m według B. Kozerskiego (Wytyczne..., 1977).

W praktyce przeważnie wystarczy przybliżone określenie przepuszczalności na podstawie rodzaju i uziarnienia gruntu oraz stanu spękania skały. Wartości takie podają liczne opracowania. W tabeli 15 podano dane o przepuszczalności oraz wartości współczynników filtracji lub współczynników przepuszczalności zaczerpnięte z pracy Z. Pazdry i B. Kozerskiego (1990).

W gruntach o współczynniku filtracji poniżej 10^{-5} m/s stosuje się badania o zmiennym spadku hydraulicznym i wykorzystuje zasady wynikające z teorii konsolidacji (tab. 16). Do tych badań są wykorzystywane różnego rodzaju komory, często aparaty trójosiowego ściskania, edometry, konsolidometry (np. Rowe'a, itp).

W 1998 r. opublikowano dokładną instrukcję badania współczynnika filtracji gruntów półprzepuszczalnych metodą *flow pump* (M. Marciniak i in., 1998). Badanie odbywa się w komorze hydraulicznej stałego ciśnienia, wyposażonej w pompę infuzyjną z wymiennym zestawem iniektorów i odpowiednie czujniki ciśnienia.

Współczynnik filtracji w tych badaniach oblicza się na podstawie liniowego prawa Darcy'ego, jak dla ośrodka dwufazowego, nasyconego (pory są wypełnione wodą). Powyżej zwierciadła wody w strefie areacji, w ośrodku trójfazowym w gruntach nienasyconych, przepływ wody jest nieliniowy. W celu określenia współczynnika filtracji, a właściwie strefy nienasyconej lepiej używać pojęcia współczynnika przewodności hydraulicznej i stosować inne równania. W gruntach



Rys. 8. Graficzne przedstawienie zagadnienia przepływu wody w gruncie spoistym (D. G. Fredlund, 1996, z niewielkim uzupełnieniem)

k_w — współczynnik przewodności hydraulicznej w stanie nienasyconym, k_s — współczynnik filtracji w stanie nasyconym, v — prędkość filtracji, i — spadek hydrauliczny, a , n — stałe, $(u_s - u_w)$ — matrycowe ciśnienie ssania

nienasyconych współczynnik przewodności jest funkcją ciśnienia ssania (rys. 8). Współczynnik przewodności hydraulicznej gruntów wyznacza się, stosując bezpośrednie pomiary w laboratorium lub w warunkach polowych albo oblicza się go z zależności zmian objętości od zawartości wody (metody pośrednie). Do najbardziej znanej metody bezpośredniej (stanu ustalonego) należy metoda A. Klutego (*vide* D. G. Fredlund, H. Rahardjo, 1993). W Polsce ostatnio opublikowano konstrukcje aparatów: sakedometru, trójosiowego ściskania (K. Garbulewski i in., 1993; S. Żakowicz, K. Garbulewski, 1996) oraz wyniki przewodności hydraulicznej dla gruntów spoistych.

6.2. Badania próbek skał podłoża

Badania próbek dostarczają podstawowych danych do analizy cech masywu skalnego, jak również pozwalają na ustalenie charakterystyk materiałowych skały wykorzystywanych dla różnych celów. Do najistotniejszych oznaczeń w celu określenia przydatności skał, przede wszystkim do budownictwa, górnictwa i drogownictwa, należy zaliczyć: klasyfikację geologiczną, gęstość (właściwą, objętościową), porowatość, wytrzymałość (na ściskanie, rozciąganie, zgniatanie, ścinanie), nasiąkliwość, mrozoodporność i ścieralność (A. Kidybiński, 1982).

Badania wytrzymałościowe przeprowadza się przeważnie na próbkach foremnych, dopuszcza się również oznaczenia na próbkach nieforemnych. Międzynarodowe Biuro Mechaniki Górnotworu zaleca badania na próbkach w kształcie walca średnicy 40–45 mm (i smukłości, czyli stosunku wysokości do średnicy 1:1). Polska norma (PN-84/B-04110) wymaga próbek sześciennych lub walcowatych o boku lub średnicy równych 50 mm, jednak dopuszcza badania na próbkach wyciętych z rdzeni wiertniczych średnicy 35–160 mm i smukłości 1:1. Często stosuje się również próbki o smukłości 2:1.

Badania wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe (R_c , MPa) przeprowadza się na 5. (minimum 3) foremnych próbkach i rozumie się jako maksymalny opór próbki, równy sile działającej w momencie zniszczenia F (MN), odniesionej do jednostki powierzchni poprzecznego przekroju próbki A (m²):

$$R_c = \frac{F}{A}.$$

Wytrzymałość skały na ściskanie może być również określona przy użyciu próbek nieforemnych (15–25 próbek, trzy wzajemnie do siebie prostopadłe wymiary nie mogą różnić się więcej niż 1,5 krotnie, a objętość każdej z nich powinna wynosić ok. 100 cm³), Średnią wytrzymałość można obliczyć według wzoru (BN-77/8704-11):

$$R_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n \cdot A} \quad (\text{MPa}),$$

gdzie:

F_i — siła niszcząca i -tej próbki (MN),

A — średnia powierzchnia przekroju próbek $A = (V^2)^{1/3}$ (m²),

V — średnia objętość próbek $V = \frac{M}{n \cdot \rho_o}$ (m³),

M — masa wszystkich próbek (kg),

n — liczba badanych próbek,

ρ_o — gęstość objętościowa użytych odłamków (kg/m^3).

W przypadku wykonania badań wytrzymałości na ściskanie na próbkach foremnych w stanie nasyconym (np. po badaniu nasiąkliwości) lub na próbkach foremnych, które zachowały się po badaniach mrozoodporności, można obliczyć dwa wskaźniki:

współczynnik rozmiękczenia (r):

$$r = \frac{R_{cn}}{R_{cs}},$$

gdzie:

R_{cn} — wytrzymałość na ściskanie próbki nasyconej wodą (MPa),

R_{cs} — wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym (MPa),

i współczynnik odporności na zamrażanie (w):

$$w = \frac{R'_{cn}}{R_{cs}},$$

gdzie:

R'_{cn} — wytrzymałość na ściskanie próbki nasyconej wodą po zakończeniu badania mrozoodporności (MPa).

Badania wytrzymałości na ściskanie dla górnictwa przeprowadza się często **metodą obciążeń punktowych**. Metoda ta wskutek wykorzystania lekkiej przenośnej praski umożliwia wykonywanie badań ściskania próbek w terenie (np. przy otworze wiertniczym). Próbki mogą mieć kształt odcinków rdzenia lub mogą być nieforemne. Najczęściej przeprowadza się badania rdzenia między współbrzeżnymi:

— klinami przy nacisku w poprzek podłużnej osi rdzenia (p_r),

— stożkami przy nacisku w kierunku zgodnym z osią podłużną rdzenia (p_c).

W czasie badania notuje się odległość punktów przyłożenia siły do próbki D oraz krytyczną wartość siły rozłupywania (P_{kr}), powodującą rozpad próbki. Pomierzone wielkości pozwalają obliczyć wskaźnik wytrzymałości punktowej I_s i następnie wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie R_c w funkcji I_s przy współczynniku równania prostej a :

$$I_s = P_{kr} / D^2 \quad \text{i} \quad R_c = a \cdot I_s.$$

Badania te wykonuje się co najmniej w 10. punktach dla 1 m rdzenia od stropu złoża do głębokości równej 1,5 m miąższości złoża, natomiast powyżej stropu w 5. punktach na 1 m rdzenia (Instrukcja..., 1985).

Wytrzymałość na rozciąganie (R_r) metodą poprzecznego ściskania zgodnie z normą BN-75/8704-05 oblicza się z wzorów:

dla próbki o kształcie walca:

$$R_r = 0,637 \frac{F}{d \cdot l} \quad (\text{MPa}),$$

dla próbki o kształcie prostopadłościanu:

$$R_r = 0,734 \frac{F}{b \cdot l} \quad (\text{MPa}),$$

gdzie:

- F — wartość siły niszczącej (MN),
- l — długość próbki (m),
- d — średnica próbki walcowej (m),
- b — długość przekątnej podstawy próbki prostopadłościenną (m).

Wytrzymałość na zginanie (R_g) określa się na próbkach prostopadłościennych o długości 200–250 mm i przekroju kwadratowym lub prostokątnym o bokach 40–50 mm i oblicza według wzoru:

$$R_g = \frac{M_g}{W_g},$$

gdzie:

- M_g — niszczący moment zginający,
- W_g — wskaźnik wytrzymałości przekroju próbki.

Wytrzymałość na ścinanie (R_t) określa się w badaniach na próbkach o różnych kształtach (sześciangu, walca, nieforemne), przy stosowaniu odpowiednich metalowych matryc z klinami. Po zanotowaniu wartości siły w momencie zniszczenia próbki F (MN), oblicza się wartość naprężenia normalnego σ (MPa) oraz stycznego τ (MPa), działających w płaszczyznach ścinania:

$$\sigma = \frac{F}{A} \sin \alpha, \quad \tau = \frac{F}{A} \cos \alpha,$$

gdzie:

- A — powierzchnia ścinania (m²),
- α — kąt między płaszczyzną ścinania a kierunkiem siły ściskającej F (°).

Ponadto, jeśli dysponujemy wytrzymałościami na jednoosiowe ściskanie R_c i rozciąganie R_r , to korzystając z kryterium wytrzymałości na ścinanie Coulomba–Mohra można określić:

$$c = \frac{\sqrt{R_r \cdot R_c}}{2}, \quad \text{tg} \phi = \frac{R_c - R_r}{2\sqrt{R_r \cdot R_c}},$$

gdzie:

- c — spójność, odcinek wyznaczony przez styczną do kół Mohra na osi τ ,
- ϕ — kąt nachylenia stycznej do kół Mohra w stosunku do osi σ_n .

Dysponując wytrzymałością na rozciąganie (R_r) można, stosując kryterium Griffitha, określić wytrzymałość na ścinanie, która jest w tym przypadku funkcją paraboliczną:

$$R_r = \sqrt{4R_r (R_r - \sigma_n)},$$

gdzie:

- σ_n — naprężenie normalne prostopadle do płaszczyzny szczeliny; dla $\sigma_n = 0$, $\tau = 2R_r = c$.

Na próbkach o analogicznych wielkościach można oznaczyć parametry nasiąkliwości wodą według PN-67/B-04102 i mrozoodporności według PN-67/B-04102.

6.2.1. Badanie parametrów sprężystych skał

W badaniach laboratoryjnych parametry te określa się dla skał podczas jednoosiowego ściskania (warunki statycznego obciążenia) lub przy zastosowaniu ultradźwięków (parametry dynamiczne).

W badaniach ściskania prasa wytrzymałościowa musi mieć możliwość rejestracji odkształceń osiowych i obwodowych oraz sił, najlepiej automatycznego wykresu naprężenie–odkształcenie. Z odcinka liniowego zależności naprężenie–odkształcenie wyznacza się moduł sprężystości E i współczynnik Poissona ν . Badania ultradźwiękowe przeprowadza się na próbkach walcowych (jak w badaniach ściskania) przy zastosowaniu odpowiednich głowic nadawczych i odbiorczych o różnej częstotliwości. W tych badaniach wyznacza się (z pomiarów drogi i czasu przejścia) prędkość propagacji fali podłużnej V_p i poprzecznej V_s . Prędkości te są podstawą obliczenia dynamicznego modułu sprężystości E_d i dynamicznej wartości współczynnika Poissona ν_d (przy gęstości skał ρ_s):

$$E_d = \rho_s \cdot V_p^2,$$

$$\nu_d = \frac{0,5 - \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2}{\left(1 - \frac{V_s}{V_p}\right)^2}$$

oraz można obliczyć pozostałe 3 dynamiczne stałe sprężyste:

- moduł odkształcenia postaciowego,
- moduł odkształcenia objętościowego,
- stałą Lamego.

Dla gruntów stałe sprężyste wyznacza się w specjalnych komorach trójosiowego ściskania lub konsolidometrach, wykorzystując właściwości *bender element*.

6.2.2. Badanie wskaźnika odbojności sprężystej

Młotki odbojne często wykorzystuje się przy ciągłym profilowaniu masywu skalnego. Pozwalają one na określenie zmienności cech geologiczno-inżynierskich. Młotki odbojne są przyrządami, które umożliwiają przeprowadzenie udaru o znanej energii na analizowaną powierzchnię skały i wyznaczenie wskaźnika odbojności sprężystej r_{sp} . W praktyce, w zależności od wytrzymałości skał, stosuje się młotki odbojne o różnej energii udaru w granicach 0,70–39,0 J. W Polsce najbardziej rozpowszechnione są młotki typu N. Badania Głównego Instytutu Górnictwa (GIG) wykazały konkretne związki korelacyjne między wskaźnikiem odbojności r_{sp} a wytrzymałością R_c , wskaźnikiem zwięzłości f_z i innymi parametrami, głównie sprężystymi, różnych skał. A. Kidybiński (1982) podaje dla karbońskich skał niewęglanowych następujące zależności:

$$R_c = 0,447 e^{0,045r_{sp} + \rho\sigma} \quad (\text{MPa}),$$

$$f_z = 0,157 e^{0,043r_{sp}},$$

ρ_o — średnia gęstość objętościowa skały (g/cm^3).

6.2.3. Badanie wskaźnika pełzania i relaksacji

Parametry reologiczne ustala się w badaniach pełzania i relaksacji:

— badanie pełzania polega na określeniu zależności odkształcenia ($\Delta\epsilon$) w funkcji czasu (Δt) przy stałym obciążeniu,

— badanie relaksacji to zależność zmiany naprężenia w czasie od czasu przy stałej wartości odkształcenia,

— podstawowymi wskaźnikami reologicznymi, które określa się według wytycznych Międzynarodowego Biura Mechaniki Górnotworu są: godzinowy wskaźnik pełzania i czas relaksacji.

Godzinowy wskaźnik pełzania wyznacza się na próbkach walcowych, jakich używa się w badaniach wytrzymałości na ściskanie. Próbki obciąża się w prasie wytrzymałościowej obciążeniem równym 70%, notując odkształcenie wzdłuż osi. Normowy wskaźnik pełzania $N = \Delta\epsilon/\Delta t$ równy jest stosunkowi przyrostu odkształceń zmierzonych po 65 i 5 min od chwili pełnego obciążenia.

Czas relaksacji wyznacza się z krzywej obciążenia (σ) w funkcji czasu (t) przy stałym odkształceniu ($\epsilon = \text{const}$), jako długości odcinka wyznaczonego na osi czasu przez styczną do podanej funkcji. Badanie relaksacji wykonuje się na analogicznych próbkach jak podczas pełzania w relaksomierzach.

6.2.4. Badanie wskaźnika rozmakalności

W GIG opracowano metodę wyznaczania wskaźnika rozmakalności (r) opartą na teście trzydobowym. Test ten polega na zanurzeniu kilku nieforemnych bryłek skały, objętości około 100–200 cm^3 każda, w wodzie kopalnianej na okres 24 h, po czym wynurzeniu na 24 h (na siatkowej podstawie) i kolejnym zanurzeniu na 24 h. W ten sposób cykl badania próbek trwa trzy doby. Stan próbek po okresie badania oraz odpowiednie wartości wskaźnika r zestawione są w pracy A. Kidybińskiego (1982).

Znając wytrzymałość skały w stanie powietrzno-suchym i chcąc określić w przybliżeniu jej wytrzymałość w warunkach długotrwałego zawilgocenia, mnoży się wytrzymałość powietrzno-suchą przez wskaźnik r . Ma on więc znaczenie wskaźnika osłabienia strukturalnego z powodu działania wody.

6.2.5. Badanie ścieralności

Badanie ścieralności na próbkach przygotowanych w postaci kruszywa przeprowadza się według zasad podanych w normie PN-78/B-06714. Metodę badań ścieralności na tarczy Boehmego określa norma PN-84/B-04111, w bębnie Los Angeles PN-79/B-06714, w dmuchawie piaskowej Mackensena BN-78/8704-14.

6.2.6. Badania pęcznienia skał

Liczbowym kryterium niszczenia skał pęczniejących w wyniku zmian wilgotności jest wskaźnik niszczenia wilgotnościowego (z) określony wzorem:

$$z = \frac{\sigma_{p\perp}}{R_{r\perp w}}$$

gdzie:

- $\sigma_{p\perp}$ — ciśnienie pęcznienia w kierunku równoległym do uławicenia skał,
- $R_{r\perp w}$ — wytrzymałość na rozciąganie w kierunku prostopadłym do uławicenia dla próbek całkowicie nasyconych wodą.

W zależności od wartości z wprowadza się klasyfikację skał ze względu na ich podatność na niszczenie w wyniku powtarzających się zmian wilgotnościowych:

- $0 \leq z < 0,2$ — skała słabo niszczejąca,
- $0,2 \leq z < 0,5$ — skała średnio niszczejąca,
- $0,5 \leq z < 0,8$ — skała szybko niszczejąca,
- $0,8 \leq z < 1$ — skała bardzo szybko niszczejąca,
- $1 \leq z$ — skała wyjątkowo szybko niszczejąca.

Wskaźnik ten jest istotny przy ocenie postępu wietrzenia fizycznego skał pęczniejących, gdyż proces powtarzających się odkształceń pęcznienia i skurczu jest najistotniejszym czynnikiem wietrzenia fizycznego tych skał.

Badania pęcznienia i skurczu skał oraz ich niszczenie w wyniku zmian wilgotnościowych opisano w pracy A. Dragowskiego (1981).

*
* *

Uzyskane wyniki badań pozwolą na ocenę skały ze względu na:

- a. Gęstość pozorną (objętościową), według PN-66/B-04100 (kg/m^3): bardzo lekkie do 1500, lekkie 1500–1800, średnio ciężkie 1800–2200, ciężkie 2200–2600, bardzo ciężkie >2600 .
- b. Nasiąkliwość, według PN-85/B-04101 (%): bardzo mało nasiąkliwe $<0,5$, mało nasiąkliwe 0,5–5, średnio nasiąkliwe 5–20, bardzo nasiąkliwe >20 .
- c. Ścieralność, według PN-84/B-01080.
- d. Mrozoodporność, według PN-67/B-04102 (w cyklach): zła po mniej niż 15, dostateczna po 15, dobra po 21, bardzo dobra po 25.
- e. Wytrzymałość na ściskanie, według PN-84/B-04110 i ISO/DIS 14688 (MPa): bardzo słaba $<1,25$, słaba 1,25–5, umiarkowanie słaba 5–12,5, umiarkowanie mocna 12,5–50, mocna 50–100, bardzo mocna 100–200, nadzwyczaj mocna >200 .

Podziały skał ze względu na możliwość uzyskiwania poleru, na niszczące działanie atmosfery przemysłowej, na wskaźnik emulgacji i na promieniotwórczość naturalną są zamieszczone w normie PN-84/B-01080. W tej samej normie, w załączniku, przedstawiono orientacyjne zastosowanie różnych skał do różnych rodzajów budownictwa (mostowe i wodne) i drogownictwa (krawężniki, znaki i słupy, kostka i brukowiec) oraz jako kruszywo drogowe.

Wskaźnik porowatości szczelinowej K_s , określający stopień szczelinowatości (Niejsztadta), jest zaliczany do klas I–V: I — słaby, $<2\%$, II — średni, 2–5%, III — silny, 5–10%, IV — bardzo silny, 10–20%, V — wyjątkowo silny, $>20\%$.

Podziały skał ze względu na: energetyczny wskaźnik urabialności U , energetyczny wskaźnik skłonności do tępian W_{ET} , opór rozwarstwienia skał stropowych R_{rr} , wskaźnik facjalności stropu w_f ; nośność skał spągowych p , są przedstawione w rozdziale D.3.2.

6.3. Badania podłoża i próbek wody

W wodach podziemnych można spotkać około 50 pierwiastków chemicznych. Składniki chemiczne w naturalnych wodach występują w różnych postaciach, jako:

- gazy rozpuszczone,
- substancje znajdujące się w wodzie w postaci jonowej i tworzące roztwory rzeczywiste różnych soli i kwasów,
- substancje koloidalne.

W badaniach wód oznacza się przede wszystkim: ogólną mineralizację, stężenie jonów wodorowych, potencjał oksydacyjno-redukcyjny, agresywność, różnego rodzaju pierwiastki, stan bakteriologiczny itp. Badania wykonuje się zgodnie z obowiązującymi normami (Z. Pazdro, B. Kozerski, 1990).

Woda podziemna krążąc w środowisku gruntowym staje się złożonym roztworem charakteryzującym się obecnością gazów, jonów, koloidów, związków organicznych i innych składników. Rodzaje i zakres analiz chemicznych wody zależą od celu i przeznaczenia lub potrzeb (np. konsumpcyjnych, gospodarczych, sanitarnych, przemysłowych). Badania fizycznych i organoleptycznych właściwości oraz składu chemicznego wód regulują odpowiednie przepisy i normy. Badania agresywności wody przeprowadza się zgodnie z tabelą 17.

Przy projektowaniu budowli, doborze rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych i ustalaniu sposobów zabezpieczenia ich przed korozją w różnych konkretnych warunkach środowiskowych wewnętrznych i zewnętrznych stosuje się zasady i kryteria podane w normie PN-80/B-01800.

Rozróżnia się 3 stopnie agresywności: słaby l_a (dwa podstopnie l_{a1} i l_{a2}), średni m_a , silny h_a .

Stopień, rodzaj i wskaźnik agresywności wskutek fizyczno-chemicznego oddziaływania ciekłych środowisk w zależności od zawartości agresywnych substancji przedstawia tabela 4

Tabela 17

Badania agresywności wody według norm

Agresywność wody	Parametr	Norma
Ługująca (twardość)	T_w	PN-81/C-04554
Kwasowa	H^+	PN-74/C-04540
Węglanowa	aCO_2	PN-81/C-04554
Magnezowa	Mg^{2+}	PN-75/C-04562
Amonowa	NH_4^+	PN-73/C-04576
Siarczanowa	SO_4^{2-}	PN-71/C-04561

Pobieranie próbek według PN-76/C-04620, ocena agresywności według PN-80/B-01800.

normy PN-80/B-01800; dodatkowo wartości graniczne stopnia agresywności gruntów w stosunku do betonu podaje tabela 5 tej normy.

6.4. Badania laboratoryjne materiałów budowlanych

Najczęściej badania gruntów jako materiałów budowlanych przeprowadza się w aspekcie ich przydatności do/na:

- wbudowywania w nasypy,
- uszczelnienia, na bariery przeciwfiltracyjne,
- filtry.

Zagadnienie wyboru gruntów nadających się do wbudowania i sposoby ich badania dokładnie przedstawiono w Instrukcji... (1998a; tab. 18). W badaniach laboratoryjnych gruntów, zwłaszcza przy dużej zawartości frakcji żwirowej i kamienistej, stosuje się odpowiednie cylindry, często specjalne, wielkowymiarowe aparaty (S. Pisarczyk, B. Rymśza, 1988). Stosunek średnicy próbki (= aparatu) do wymiaru największych ziarn powinien być nie mniejszy od 5, a wysokość próbki nie mniejsza od jej średnicy.

Zagęszczenie gruntów określa norma PN-88/B-04481 jako stopień zagęszczenia i wskaźnik zagęszczenia.

W celu ustalenia stopnia zagęszczenia należy zbadać wskaźniki porowatości przy najgęstszym ułożeniu (maksymalnym zagęszczeniu) i wskaźniku porowatości przy najluźniejszym (minimalnym zagęszczeniu) ułożeniu cząstek-ziarn. Wskaźnik zagęszczenia jako stosunek gęstości objętościowej szkieletu gruntu w nasypie do maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntu zagęszczonego wymaga badań w aparatach Proctora według określonej metodyki. Do badania zagęszczenia gruntów w nasypach lub w naturalnym podłożu stosuje się badania płytą średnicy powyżej 300 mm lub badania radiometryczne (Instrukcja..., 1998a). Przy przybliżonej ocenie zagęszczenia gruntów można wykorzystać korelacje podane w pracy S. Pisarczyka (1997).

Grunty naturalne i sztuczne wbudowywane w nasypy, poza przedstawionymi wymaganiami (tab. 19, 20), muszą być właściwie zagęszczone. Minimalny wskaźnik zagęszczenia przyjmuje się najczęściej nie mniejszy niż 0,95.

Wilgotność gruntów powinna odpowiadać wilgotności optymalnej. W przypadku stosowania gruntów odpadowych, po dokonaniu oceny ich przydatności do wbudowania w nasyp, należy sprawdzić czy nie będą one zagrożeniem dla środowiska. W przypadkach wątpliwych trzeba uzyskać pozwolenie z terenowego organu inspekcji ochrony środowiska. Ocena materiałów budowlanych (gruntów spoistych) jako uszczelnienia wymaga przeprowadzenia wielu badań laboratoryjnych, w szczególności w przypadku uszczelnień niebezpiecznych składowisk. W laboratorium na pobranych próbkach przeprowadza się oznaczenia: składu granulometrycznego, zawartości części organicznych, wilgotności, stanu (granic skurczalności, plastyczności, płynności), pęcznienia, zagęszczalności, współczynnika filtracji¹, ściśliwości i wytrzymałości na ścinanie. Dodatkowo wykonuje się badania składu mineralnego i bada-

¹ Badania współczynnika filtracji przeprowadza się w odpowiednich aparatach przy spadku hydraulicznym $i = 30$.

Tabela 18

Przydatność gruntów do wykonywania budowy ziemnych (wg Instrukcji..., 1998a)

Przeznaczenie	Przydatne	Przydatne z zastrzeżeniami	Treść zastrzeżenia
Na dolne warstwy nasypów poniżej strefy przemarzania	1. Rozdrobnione grunty skaliste twarde oraz grunty kamieniste, zwietrzelinowe, rumosze i otoczaki 2. Żwiry i pospółki, również gliniaste 3. Piaski grube, średnie i drobne, naturalne i łamane 4. Piaski gliniaste z domieszką frakcji żwirowo-kamienistej (morenowe) o wskaźniku różnoziarnistości $U \geq 15$ 5. Piaski wielkopieczowe i inne metalurgiczne ze starych zwalów (powyżej 5 lat) 6. Łupki przywęglowe przepalone 7. Wysiewki kamienne o zawartości frakcji ilowej poniżej 2%	1. Rozdrobnione grunty skaliste miękkie	gdy pory w gruncie będą wypełnione gruntem lub materiałem drobnoziarnistym
		2. Zwietrzeliny i rumosze gliniaste 3. Piaski pylaste, piaski gliniaste, pyły piaszczyste i pyły	gdy będą wbudowane w miejsca suche lub zabezpieczone od wód gruntowych i powierzchniowych
		4. Piaski próchnicze, z wyjątkiem pylastych piasków próchniczych	do nasypów nie wyższych niż 3 m, zabezpieczonych przed zawilgoceniem
		5. Gliny piaszczyste, gliny i gliny pylaste oraz inne o $w_L < 35\%$	w miejscach suchych lub przejściowo zawilgoconych
		6. Gliny piaszczyste zwięzłe, gliny zwięzłe i gliny pylaste zwięzłe oraz inne grunty o granicy płynności $w_L 35 - 60\%$	do nasypów nie wyższych niż 3 m, zabezpieczonych przed zawilgoceniem lub po ulepszeniu spoiwami
		7. Wysiewki kamienne gliniaste o zawartości frakcji ilowej ponad 2%	gdy zwierciadło wody gruntowej znajduje się na głębokości większej od kapilarności biernej gruntu podłoża
		8. Żuźle wielkopieczowe i inne metalurgiczne z nowego studzenia (do 5 lat)	o ograniczonej podatności na rozpad (łączne straty masy do 5%)
		9. Iłolupki przywęglowe nieprzepalone	gdy wolne przestrzenie zostaną wypełnione materiałem drobnoziarnistym
		10. Popioły lotne i mieszaniny popiołowo-żuźłowe	gdy występują w miejscach suchych lub są izolowane od wody
		Na górne warstwy nasypów w strefie przemarzania	1. Żwiry i pospółki 2. Piaski grube i średnie 3. Iłolupki przywęglowe przepalone zawierające mniej niż 15% ziarn mniejszych od 0,075 mm 4. Wysiewki kamienne o uziarnieniu odpowiadającym pospółkom i żwirom
4. Gliny o granicy płynności $w_L < 35\%$ 5. Mieszaniny popiołowo-żuźłowe z węgla kamiennego 6. Wysiewki kamienne gliniaste o zawartości frakcji ilowej $> 2\%$			
7. Żuźle wielkopieczowe i inne metalurgiczne	drobnoziarniste i nie rozpadowe: straty masy do 1%		
		8. Piaski drobne	o wskaźniku nośności $w_{nos} \geq 10$
W wykopach i miejscach zerowych do głębokości przemarzania	Grunty niewysadzinowe	Grunty wątpliwe i wysadzinowe	gdy są ulepszone spoiwami (cementem, wapnem, aktywnymi popiołami itp.)

Tabela 19

Podział gruntów pod względem wysadzinowości (wg Instrukcji..., 1998a)

Wyszczególnienie	Grupy gruntów		
	Niewysadzinowe	Wątpliwe	Wysadzinowe
	rumosz niegliniasty żwir pospółka piasek gruby piasek średni piasek drobny żużel nierozpadowy	piasek pylasty zwietrzelina gliniasta rumosz gliniasty żwir gliniasty pospółka gliniasta	mało wysadzinowe: głina piaszczysta zwięzła glinazwięzła głina pylasta zwięzła bardzo wysadzinowe: piasek gliniasty pył, pył piaszczysty głina piaszczysta , glina głina pylasta ił warwowy
Zawartość cząstek wg PN-88/B-04481 (%) ≤0,075 mm ≤0,02 mm	< 13 < 3	15–30 3–10	> 30 > 10
Kapilarność bierna H_{kb} wg PN-60/B-04493 (m)	< 1,0	≥ 1,0	> 1,0
Wskaźnik piaskowy WP wg BN-64/8931-01	> 35	25–35	< 25

Tabela 20

Właściwości mieszanin popiołowo-żużlowych do budowy nasypów (wg Instrukcji..., 1998a)

Lp.	Wyszczególnienie cech	Wartość
1	Uziarnienie wg PN-88/B-04481: zawartość frakcji piaskowo-żwirowej (%) zawartość ziarn poniżej 0,075 mm (%)	≥ 35 ≤ 75
2	Zawartość niespalonego węgla (%)	≤ 10
3	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu po zagęszczeniu w aparacie Proctora wg metody 1 wg PN-88/B-04481 (g/cm^3)	≥ 1,0
4	Wskaźnik nośności po 4 dobach nasycenia wodą wg BN-70/8931-05 (%)	≥ 10
5	Pęcznienie liniowe materiału wg BN-70/8931-05 (%): bez obciążenia z obciążeniem 0,003 MPa	≤ 2,0 ≤ 0,5
6	Kąt tarcia wewnętrznego wg PN-88/B-04481 (°)	≥ 20
7	Kapilarność bierna wg PN-60/B-04493 (m)	≤ 2,0
8	Zawartość siarczanów (w przeliczeniu na SO_3) (%)	< 3,0

Cechy od 1 do 5 stanowią wymagania podstawowe, natomiast od 6 do 8 uzupełniające.

nia chemiczne. Badania chemiczne wykonuje się często w przypadku oznaczeń składu wody zanieczyszczonej (skażonej), przesączającej się przez próbki gruntu.

Podstawowym kryterium oceny podłoża do wyboru lokalizacji składowiska odpadów jest przepuszczalność gruntów tworzących i ich miąższość oraz położenie zwierciadła wody. Według S. Witczaka i A. Adamczyka (Katalog..., 1994) przyjmuje się warstwę gruntową jako:

- słabo izolującą, gdy współczynnik filtracji wynosi 10^{-8} – 10^{-10} m/s,
- średnio i dobrze izolującą, gdy współczynnik filtracji wynosi 10^{-10} – 10^{-12} m/s,
- bardzo dobrze izolującą, gdy współczynnik filtracji wynosi $<10^{-12}$ m/s.

Często wystarcza, że grunty w podłożu mają odpowiednią miąższość (najlepiej powyżej 3 m) i charakteryzują się współczynnikiem filtracji poniżej 10^{-9} m/s.

Grunty stosowane do uszczelnień mineralnych są badane w podobnym zakresie, jak grunty w naturalnych uszczelnieniach, przy czym szczególna uwaga powinna być zwrócona na badania parametrów zagęszczalności: wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego.

Według instrukcji ITB (Projektowanie..., 1996) grunty na przesłony filtracyjne powinny charakteryzować się parametrami:

- zawartością cząstek ilastych powyżej 20%, a 60% gruntu powinno być drobniejsze od 0,05 mm,
- wskaźnikiem plastyczności $>20\%$,
- granicą płynności $>30\%$,
- zawartością węgla wapnia $<10\%$,
- zawartością substancji organicznej $<2\%$.

7. BADANIA HYDROGEOLOGICZNE

7.1. Pomiary wód podziemnych i metodyka ich opróbowania

Pomiary zwierciadła wody podziemnej należy prowadzić w studniach oraz wszystkich wyrobiskach geologicznych. Po dotarciu do warstwy wodonośnej należy dokładnie określić poziom zwierciadła wody podziemnej, jego głębokość od powierzchni terenu oraz rzędne.

W otworach wiertniczych pomiary zwierciadła wody są najbardziej utrudnione. Po nawierceniu warstwy wodonośnej należy otwory pogłębić o około 0,5–1,0 m i przerwać wiercenie, oczyścić dno otworu, podciągnąć rury osłonowe o około 0,5 m i przeprowadzić pomiary stabilizacyjne (tzw. stójkę) zwierciadła wody podziemnej w otworze. Stabilizację można uznać za zakończoną, gdy kolejne wykonane w odstępach kilkunastominutowych (do 30 min) pomiary różnią się o 2–3 cm. Wykres stabilizacji zwierciadła wody zależnie od przebiegu krzywej daje informacje o współczynniku filtracji i odsączalności gruntów.

W przypadku występowania gruntów z kilkoma poziomami wodonośnymi obserwacje i pomiary zwierciadła wody wykonuje się osobno dla każdej kolejno nawierconej warstwy. Konieczne jest przy tym dobre izolowanie poszczególnych warstw. Gdy zwierciadło wody jest napięte, za poziom nawiercenia zwierciadła przyjmuje się spąg warstwy napinającej, natomiast poziom piezometryczny odpowiada najwyższemu poziomowi zwierciadła ustalonemu w czasie stójki.

Z analizy pomiarów stabilizacji zwierciadła wody w poszczególnych warstwach wodonośnych i układania się poziomów piezometrycznych, można wnioskować o związkach hydraulicznych między poszczególnymi poziomami wodonośnymi. W przypadkach wątpliwych należy wykonać przekroje geologiczno-inżynierskie, a w sytuacjach bardziej złożonych przeprowadzić dodatkowe pomiary specjalne metodami: kolorymetryczną, elektrolityczną lub potencjału elektrycznego i innymi.

Pomiary we wkopach odkrywek fundamentowych wykonuje się w sposób podobny jak w otworach. W celu ułatwienia pomiaru stabilizacji zwierciadła wody należy dno wkopu pogłębić o 10–20 cm poniżej poziomu napotkanej warstwy wodonośnej. Pomiary zwierciadła wody gruntowej mogą być prowadzone jako doraźne, w związku z prowadzeniem określonych badań geologiczno-inżynierskich, i jako stacjonarne ze względu na specyficzne potrzeby inwestycji.

W celu scharakteryzowania dynamiki wód na badanym obszarze pomiary zwierciadła wody mogą być powtarzane w studniach i piezometrach w równych, odpowiednio dobranych okresach roku hydrologicznego. Dla celów geologiczno-inżynierskich szczególnie istotne są również rejestracje przejawów wód gruntowych.

Pomiary zwierciadła wody i jego wahań powinny być wykonywane niezawodnymi przyrządami. Do pomiarów doraźnych należy stosować tzw. świstawkę, do pomiarów stacjonarnych np. limnimetr lub limnigraf.

Wyniki pomiarów należy zapisywać na formularzach stanowiących dokumentację badań. Formularz powinien zawierać dane dotyczące:

- lokalizacji i charakteru punktu pomiarowego,
- użytkownika w przypadku studni,
- daty i godziny pomiaru,
- stanu pogody,
- głębokości do zwierciadła wody,
- głębokości do dna studni lub wyrobiska,
- miąższości warstwy wody,
- profilu geologicznego studni lub wyrobiska,
- możliwych do uzyskania danych o wahaniami zwierciadła wody, wydajności ujęcia, chemizmie, zanieczyszczeniu,
- innych danych z wywiadu przeprowadzonego z użytkownikiem w przypadku studni.

Od wielu lat bardzo rozpowszechniony jest problem właściwego poboru wód podziemnych do dalszych analiz fizyczno-chemicznych. W ostatnim dziesięcioleciu powstało wiele publikacji, które przybliżają tę problematykę, a także poprzez określone normatywy wskazują, jak właściwie należy postępować podczas prac polowych i laboratoryjnych. Szczegółowe zapoznanie się z wytycznymi polskich norm (PN-87/C-04632/01-02; PN-88/C-04632/03; PN-88/C-04632/04), czy z opisem metod poboru wód podziemnych, ich przechowywania i analiz zgodnie z Katalogiem... (1995), pozwala ustrzec się błędów i właściwie wykonać, niemalże najważniejszą część prac, wstęp do dalszej analizy wód.

Przed przystąpieniem do pobierania próbek należy najpierw wyraźnie określić cel zamierzonych badań, on bowiem decyduje o lokalizacji miejsc i punktów poboru. Wpływa on na technikę pobierania, sposób postępowania z pobranymi próbkami oraz wybór metody analizy. Istotną sprawą jest pobranie próbek reprezentatywnych, odzwierciedlających rzeczywisty skład wód podziemnych w miejscu ich pobrania. Dlatego w fazie wstępnej należy szczegółowo rozpoznać sytuację hydrogeologiczną badanego obszaru poprzez przegląd materiałów archiwalnych. Następnie należy wytypować miejsca poboru z istniejących już studni wierconych, kopanych, piez-

ometrów, otworów badawczych i drenażowych, a w przypadku ich braku zainstalować nowe, pamiętając by zostały właściwie wykonane (z materiałów obojętnych nie wpływających na zmiany chemizmu wód) oraz oczyścić przez przeprowadzenie pompowania oczyszczającego.

Wody podziemne można pobierać również w miejscach ich przejawów na powierzchni terenu: ze źródeł, wypływów i wycieków w wyrobiskach kopalnianych, rowach melioracyjnych.

Duży wpływ na jakość pobieranych wód podziemnych ma stan wymienionych punktów, dlatego należy uprzednio sprawdzić je i przeprowadzić wywiad, z jakich materiałów zostały wykonane, jaką metodą i czy są eksploatowane. Nie można bezpośrednio pobierać wody ze studni, piezometrów i innych otworów rzadko używanych, bądź nie eksploatowanych, ponieważ znajduje się w nich woda o zmienionym składzie, innym niż woda złożowa. Na zmiany chemizmu wody w otworze wpływ mogą mieć: obudowa studni, zmiany parametrów fizyczno-chemicznych, zachodzące procesy chemiczne w stagnującej wodzie, kontaminacja składników z zewnątrz.

W celu właściwego pobrania wody normy zalecają przeprowadzić pompowanie oczyszczające, zapewniające co najmniej dwukrotną wymianę słupa wody w studniach wierconych i piezometrach, a dla studni kopanych jednorazowe wybranie wody. Pompowanie wody z otworów wykonuje się pompami głębinowymi bądź powierzchniowymi, jeżeli są zainstalowane przy studni. W innych przypadkach jest wymagane posiadanie własnych pomp elektrycznych lub ręcznych, których użycie jest zależne od głębokości studni i wysokości podnoszenia słupa wody.

Pobór wód zarówno ze strefy saturacji, jak i strefy aeracji można wykonywać specjalistycznymi sondami, np.: typu BAT, oraz wód przesiąkowych w strefie nienasyconej za pomocą lizymetrów (próbników podciśnieniowych).

W trakcie pompowania wody bezpośrednio na wypływie należy przeprowadzić pomiary wskaźnikowe: pH, *Eh*, przewodnictwa elektrycznego oraz zależnie od potrzeb — pomiary zawartości gazów i innych składników lotnych w naczyniach przepływowych specjalnie do tego celu przystosowanych.

Pobór wód należy przeprowadzić za pomocą obojętnych chemicznie przewodów (polietylenowych lub teflonowych) wprost do butelek, wypełniając je po brzegi i szczelnie zakręcając (tak aby nie pozostały pęcherzyki powietrza). Technika pobierania oraz odpowiedni rodzaj naczyń są uzależnione od dalszych badań. W tym celu, aby właściwie przeprowadzić dane pompowanie i pobrać próbki, należy najpierw uzgodnić z laboratorium co będzie oznaczane i w jaki sposób. Ten etap prac ma ogromne znaczenie z tego względu, że pozwoli pobrać wodę do odpowiednich pojemników zgodnie z zaleceniami normowymi i wymogami laboratoriów. Trzeba pamiętać również, że inaczej zostaną pobrane próbki wód skażonych substancjami ropopochodnymi, inaczej metalami ciężkimi, a jeszcze inaczej, gdy chcemy określać zawartość gazów czy substancji łatwo lotnych. Musi być również uzgodniona kwestia filtrowania próbek wód z tego względu, że poprzez filtrowanie zubażamy wody o substancje w niej nie rozpuszczone i koloidy, a w rzeczywistości wraz ze związkami rozpuszczonymi stanowią one pełną charakterystykę hydrochemiczną wody. Istotną sprawą jest również ustalenie, czy pobrane próbki mają być utrwalane, jakimi substancjami oraz w jakich stężeniach. Poza tym powinny być określone objętości próbek pobieranych do analiz, a jest to uzależnione od metodyki wykonywanych oznaczeń. Czas transportu oraz technika przechowywania próbek musi ściśle odpowiadać zaleceniom normowym laboratoriów, w których będą wykonywane analizy.

Każdy z etapów prac powinien być właściwie przemyślany i dopracowany. Osoba pobierająca musi być zaopatrzona we właściwy sprzęt do poboru wód, ich przechowywania i transportu. W trakcie przeprowadzania pompowań i pobierania wód należy zachować ostrożność i przestrzegać wymogów oraz zaleceń normowych, laboratoriów i producentów sprzętu.

7.2. Badania współczynnika filtracji

W literaturze do opisanía właściwości filtracyjnych skał i gruntów używa się rozmaitych określeń: przepuszczalne, słabo przepuszczalne ze stopniowaniem, półprzepuszczalne, trudno przepuszczalne, praktycznie nieprzepuszczalne i nieprzepuszczalne, dobrze przesączalne, słabo przesączalne i inne.

Problem oceny właściwości filtracyjnych skał i gruntów jest o tyle skomplikowany, że inaczej przedstawiają się zagadnienia przy filtracji poziomej, a inaczej przy filtracji pionowej. Od cech strukturalnych gruntów zależy również wielkość filtracji, a także metodyka badań. Ogólnie według Z. Pazdry i B. Kozerskiego (1990) grunty dzieli się na półprzepuszczalne o wartości współczynnika filtracji $k \neq 10^{-6}$ m/s oraz na grunty od słabo do bardzo dobrze przepuszczalnych.

Badania polowe współczynnika filtracji dla gruntów półprzepuszczalnych są metodycznie bardziej skomplikowane. Stosowane są tu badania w piezometrze, w cylindrze oraz metodą BAT.

Dwie pierwsze metody opracowano w instrukcji (Instrukcja..., 1998b) wydanej w Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu (M. Marciniak, J. Przybyłek, J. Herzig, J. Szczepańska). We wszystkich przypadkach jest wymagana specjalistyczna aparatura, np. na piezometrycznym stanowisku badawczym poza samą konstrukcją piezometru konieczne jest urządzenie do zatłaczania wody, urządzenie do uszczelniania piezometru i zainicjowania ruchu wody, manometr, kompresor, komputer, aparatura do rejestracji ruchu zwierciadła wody, sonda poziomowskazowa, depresjometr, zasilanie.

Obliczanie współczynnika filtracji można przeprowadzić przez zatłaczanie wody w piezometrze, poprzez sprężanie powietrza, jak i swobodnego wzniosu zwierciadła po rozprężeniu powietrza.

Badania w cylindrze służą do oznaczania współczynnika filtracji gruntów przypowierzchniowych (gliny, mułki, ły). Cylinder w tej metodzie stanowi rura stalowa, średnicy ok. 50 mm i długości 1,0 m. Cylinder ten wprowadza się w grunt, wykonując uprzednio wykop do głębokości około 0,50 m. Istotnym elementem w tej metodzie jest urządzenie do zatłaczania wody w cylindrze oraz czujnik do pomiaru poziomu wody.

System BAT może być wykorzystywany ze względów konstrukcyjnych do badań filtracji dla gruntów, których współczynnik filtracji jest mniejszy niż 10^{-5} m/s. Sprzęt wchodzący w skład systemu umożliwia dodatkowo pobór próbek wód podziemnych i pomiaru ciśnienia porowego.

Piezometr typu BAT, zastosowany przez A. B. Torstenssona, może być wciskany lub wwiercany w grunt. Badanie może być prowadzone jako test na podciśnieniu (test *in flow*) lub po wywołaniu wysokiego ciśnienia wody w jednostce testującej (test *out flow*). Unikatową zaletą systemu BAT jest możliwość prowadzenia badań dla gruntów półprzepuszczalnych w warunkach ich naturalnego występowania w podłożu, Szczegółowy opis oraz prezentację wyników badań dla gruntów w Polsce podaje E. Krogulec (1994).

Metody polowe badania współczynnika filtracji gruntów przepuszczalnych należy uznać za najbardziej wiarygodne i, choć kosztowniejsze, dają pewniejsze rozeznanie przepuszczalności.

Za najdokładniejsze metody oceny współczynnika filtracji uznaje się pompowanie hydrowęzłowe, pomiary piezometryczne i presjopermeometryczne, zalewanie otworów i wkopów w utworach przypowierzchniowych.

Oznaczanie współczynnika filtracji metodą pompowania otworów przeprowadza się w odpowiednio wykonanym otworze i dobranym filtrze, zależącym od granulometrii warstwy wo-

donośnej lub jej szczelinowatości. Ustalenie dopuszczalnej przepustowości filtra pozwala na właściwy jego wybór. Sposób prowadzenia pompowania określają odpowiednie instrukcje. Wartość współczynnika filtracji określa się ze wzorów zależnie od charakteru otworu hydrogeologicznego (zupełny, niezupełny), stanu napięcia zwierciadła wody (zwierciadło swobodne, napięte). W skomplikowanych warunkach hydrogeologicznych, o nie ustalonym przepływie wody, stosuje się pompowanie otworów, przy jednoczesnym pomiarze zwierciadła wody w otworze obserwacyjnym. Metoda ta jest oparta na teorii ruchu nieustalonego, opracowanej przez C.V. Theisa.

Oznaczanie współczynnika filtracji metodą zalewania otworów teoretycznie opracowali H. Maag i J. Kozeny. Metoda ta, rozwinięta przez kolejnych badaczy, pozwala na uzyskiwanie dość wiarygodnych wyników.

Oznaczanie współczynnika filtracji metodą zalewania wkopów wykorzystuje zjawisko chłonności gruntów. Wśród nich należy wymienić metodę Porscheta, Bałdyrjewa, Kamińskiego, Niestierowa i Maaga. Metody te są stosowane głównie do oceny infiltracji wody opadowej w strefie aeracji.

Metodę oznaczania współczynnika filtracji przez pomiar wzniosu zwierciadła wody znajdującego się pod ciśnieniem opracował R. Rosłoński i zmodyfikował A. Wiczysty (1982). Polega ona na krótkotrwałym pompowaniu, aż do uzyskania maksymalnej depresji. Po zatrzymaniu pompowania mierzy się wznios zwierciadła wody gruntowej.

8. PRACE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE W CELU OCENY ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO

Potrzeba prowadzenia badań pod kątem oceny stanu środowiska geologicznego i wpływu na to środowisko inwestycji lub istniejących obiektów wynika z:

— Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 r. w sprawie określenia inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska oraz wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko tych inwestycji,

— Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko inwestycji nie zaliczonych do szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska, obiektów oraz robót zmieniających stosunki wodne.

Studia lub badania geologiczno-inżynierskie należy również prowadzić w celu ustalenia prognozy skutków wpływu ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego na środowisko przyrodnicze, w nawiązaniu do Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 9 marca 1995 r., wydanego na podstawie art. 40 ust. 5 p. 2a Ustawy o zagospodarowaniu przestrzennym z dnia 7 lipca 1994 r. W myśl Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 r., oceny oddziaływania na środowisko powinny być wykonywane zgodnie z przyjętym podziałem dla:

- inwestycji i obiektów szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi,
- inwestycji i obiektów mogących pogorszyć stan środowiska i zdrowie ludzi,

— inwestycji i obiektów nie zaliczonych do szczególnie szkodliwych albo mogących pogorszyć stan środowiska, obiektów oraz robót zmieniających stosunki wodne zgodnie z art. 70 ust. 1, 2, 3 Ustawy z 31 stycznia 1980 r. o ochronie i kształtowaniu środowiska z późniejszymi zmianami.

O znaczeniu badań warunków geologiczno-inżynierskich dla obiektów szczególnie szkodliwych dla środowiska przyrodniczego niech świadczy fakt, że zgodnie z rozporządzeniem do tej grupy zaliczono takie inwestycje i obiekty jak:

- rafinerie ropy naftowej,
- instalacje gazyfikacji i upłynniania węgla,
- elektrownie i elektrociepłownie o mocy co najmniej 300 MW,
- huty,
- autostrady i drogi ekspresowe,
- porty lotnicze o długości pasa startowego powyżej 2100 m,
- rurociągi do przesyłu ropy naftowej i produktów ropopochodnych długości powyżej 40 km i średnicy 800 mm,
- zbiorniki wodne o pojemności większej niż 10 mln m³ oraz zapory wodne o wysokości piętrzenia powyżej 8,0 m.

Podobnie inwestycje zaliczane do mogących pogorszyć stan środowiska stwarzają złożone problemy badawcze geologiczno-inżynierskie. Świadczą o tym przykładowo wybrane inwestycje i obiekty tej grupy:

- odkrywkowe zakłady górnicze o powierzchni odkrywki powyżej 25 ha, z wyłączeniem wydobywania piasku i żwiru w ilości mniejszej od 25 tys. m³/rok,
- składowiska,
- zakłady wzbogacania węgla,
- elektrownie wodne o wysokości spadu powyżej 3,0 m, a na terenach chronionych wszystkie elektrownie wodne,
- wały ochronne, nabrzeża, pirsy i inne konstrukcje ochronne zmieniające linię nabrzeża morskiego,
- stacje paliw płynnych z wyłączeniem stacji gazu (propan, butan),
- drogi krajowe i wojewódzkie,
- koksownie i cementownie,
- powierzchnie handlowe o powierzchni powyżej 3 ha i wiele innych.

Badania geologiczno-inżynierskie prowadzone dla wymienionych grup inwestycji i obiektów muszą mieć szczególny charakter tak ze względu na problematykę badawczą i zakres prac, jak i na sposób przedstawiania wyników. Prace geologiczno-inżynierskie, poza określaniem warunków posadowienia obiektów lub jego modernizacji oraz prognozy wpływu na środowisko geologiczne, powinny umożliwiać dokonanie oceny wpływu tego obiektu na środowisko przyrodnicze na etapie budowy, eksploatacji i likwidacji. Powinny więc zawierać niezbędne dane:

- dotyczące stanu środowiska,
- oceny oddziaływania inwestycji lub obiektu na środowisko,
- minimalizacji skutków tego oddziaływania.

Szczególnie istotne w badaniach geologiczno-inżynierskich jest uwzględnianie w szerszym niż dotychczas zakresie oddziaływań inwestycji lub obiektów w trakcie ich eksploatacji lub likwidacji, a także dla sytuacji awaryjnych, co jest wyjątkowo istotne przy obiektach szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi.

Dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich inwestycji, dla których wymagane jest sporządzanie ocen oddziaływania na środowisko może odbywać się:

- rozdzielnie, niezależnie od wykonywanej oceny,
- kompleksowo, łącznie z oceną,
- w szczególnych przypadkach na potrzeby oceny oddziaływania na środowisko (OOŚ).

We wszystkich przypadkach postępowanie przy projektowaniu, dokumentowaniu i zatwierdzeniu określa prawo geologiczne i górnicze i rozporządzenia wykonawcze. Wynika z tego, że w każdym przypadku zgodnie z prawem, w celu przeprowadzenia prac geologicznych związanych z wykonywaniem robót geologicznych, konieczne jest wykonanie i zatwierdzenie projektu prac geologicznych oraz zatwierdzenie wykonanej dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Cele badań geologiczno-inżynierskich dla obiektów wymagających sporządzenia OOŚ są zróżnicowane i zależą nie tylko od warunków geologicznych terenu, ale i od szczególnej roli obiektów w środowisku. Problematykę badawczą należy określać indywidualnie dla każdego obiektu, uwzględniając przyjęte rozwiązania technologiczne, rodzaj i zasięg uciążliwości dla środowiska, usytuowanie w stosunku do obszarów prawnie chronionych.

W niniejszym poradniku, uwzględniając zróżnicowanie obiektów, trudno przedstawić kompleksowo cele i sposoby ich rozwiązywania. Wskazać jednak należy szczególnie istotne zagadnienia przy sporządzaniu OOŚ:

— Zmienność właściwości gruntów podłoża w trakcie budowy, eksploatacji i likwidacji inwestycji, np. zmiany w podłożu związane z odwadnianiem terenu, wzmacnianie podłoża na skutek oddziaływania obiektu.

— Wahania i zmiany dynamiki wód w trakcie budowy, eksploatacji i likwidacji obiektu: długotrwałe i krótkotrwałe, np. krótkotrwałe obniżenie zwierciadła wody związane z wykonywaniem wykopu fundamentowego, obniżanie zwierciadła wody w wyniku działania drenażu opaskowego wokół budynku.

— Oszacowanie przewidywanych oddziaływań budowli na środowisko geologiczne, a przede wszystkim podłoża: bezpośrednie, pośrednie, krótkotrwałe, odwracalne, nieodwracalne, np. osiadanie powierzchni terenu w wyniku długotrwałych odwodnień, wykonywanie ścianek szczelinowych zmieniających nieodwracalnie stosunki wodne.

— Możliwość i sposób korzystania inwestycji ze środowiska geologicznego: zaopatrzenie w wodę, kopaliny i surowce budowlane, odprowadzanie ścieków, zagospodarowanie odpadów, wykorzystanie gruntów antropogenicznych, np. określanie warunków zaopatrzenia inwestycji w wody podziemne, określenie zasobów i chemizmu wód, wykorzystanie gruntów antropogenicznych do budowy obwałowań, lub jako podłoża budowli.

— Składowanie odpadów w zwałach i stawach osadowych.

— Przemiany hydrochemiczne wód podziemnych.

— Zanieczyszczenia chemiczne gleb i gruntów w strefie aeracji, np. ocena wpływu zanieczyszczeń chemicznych terenu na warunki zabudowy.

— Monitoring lokalny środowiska, np. założenie w trakcie badań geologiczno-inżynierskich systemu monitoringu wód i kontynuacji badań dla celów oceny (OOŚ) i w trakcie eksploatacji obiektu.

— Określenie uwarunkowań dla obiektu w trakcie budowy, eksploatacji i likwidacji obiektu ze względu na obszary chronione, np. zlokalizowanie obiektu w strefie ochrony pośredniej zewnętrznej ujęcia wodnego lub budowa osiedla mieszkaniowego w otulinie parku narodowego.

— Zjawiska i procesy geodynamiczne, a w szczególności osuwiska, deformacje filtracyjne i inne naturalne i antropogeniczne, np. podcinanie naturalnych zboczy, zwiększenie spadku hydraulicznego przy podwyższaniu składowisk mokrych.

— Prognoza zmian warunków geologiczno-inżynierskich w wyniku budowy i eksploatacji obiektów budowlanych.

Przedstawione wybrane zagadnienia i podane skrótowo przykłady powinny być tak przedstawione i opracowane, aby mogły stanowić podstawę oceny stanu środowiska geologicznego przed wykonaniem obiektu oraz określić ocenę oddziaływania obiektu na środowisko przyrodnicze i umożliwić określenie kierunków działań w celu minimalizacji oddziaływania obiektu na środowisko.

Prognoza skutków wpływu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego na środowisko ze względu na stawiane wymagania powinna uwzględniać:

— określenie skutków wpływu realizacji projektu miejscowego na elementy środowiska przyrodniczego, w tym geologicznego,

— przedstawienie rozwiązania eliminującego lub ograniczającego negatywne wpływy na środowisko, które mogą wynikać z ustaleń zawartych w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego,

— określenie stanu środowiska przyrodniczego i jego odporności na degradację oraz regenerację,

— ocenę skutków realizacji miejscowego planu na obszarach chronionych,

— ocenę proponowanych w projekcie szczególnych warunków zagospodarowania terenu, wynikających z potrzeb ochrony środowiska, prawidłowego gospodarowania zasobami przyrody oraz ochrony gruntów rolnych i leśnych.

W związku z tym, że środowisko geologiczne w sposób istotny wpływa na warunki przestrzennego zagospodarowania terenu, w prognozie należy uwzględnić wszystkie jego elementy, szczególnie dotyczące uwarunkowanych pod względem geologicznym kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, wyrażających się:

— waloryzacją geologiczno-inżynierską terenu,

— dokumentowaniem i zagospodarowaniem złóż kopalin, w tym złóż materiałów budowlanych,

— występowaniem wód podziemnych i ich ochroną oraz ochroną istniejących i projektowanych ujęć wód podziemnych,

— oceną oddziaływania na środowisko obiektów istniejących i projektowanych inwestycji oraz infrastruktury.

Charakterystyka warunków geologicznych przy prognozowaniu skutków wpływu ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego powinna być oparta głównie na materiałach archiwalnych, opracowaniach studialnych i opracowaniach monograficznych.

Elementy dotyczące środowiska geologicznego, jak i cała prognoza, powinny być opracowywane jednocześnie ze sporządzeniem projektu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego.

Zakres badań, dokładność rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich, jak i samych ocen, jest zależna od celów i etapów procesu inwestycyjnego. W świetle obowiązujących przepisów aspekty ochrony środowiska muszą być uwzględnione przy wydawaniu:

— decyzji o udzieleniu koncesji na eksploatację i dokumentowanie złóż zgodnie z prawem geologicznym i górnictwem,

- decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu,
- pozwolenia na budowę,
- pozwolenia na użytkowanie obiektu budowlanego,
- decyzji o ustaleniach lokalizacyjnych dla autostrad.

9. PRACE DOKUMENTACYJNO-ZESTAWCZE

Liczba etapów dokumentowania zależy od typu budownictwa, potrzeb projektowych, wielkości obiektu, kategorii geotechnicznej obiektów budowlanych oraz stopnia złożoności budowy geologicznej. Etapy projektowania ustala inwestor i biuro projektowe w porozumieniu z wykonawcą badań geologiczno-inżynierskich.

Dla dużych budowli, np. stopnie wodne, elektrownie, autostrady, dokumentacje geologiczno-inżynierskie można wykonać na żądanie inwestora dla:

- a) wyboru lokalizacji — faza badań rozpoznawczych,
- b) planowania inwestycji — studium geologiczno-inżynierskie,
- c) projektowania — dokumentacja geologiczno-inżynierska,
- d) realizacji — dokumentacja uzupełniająca,
- e) eksploatacji — monitoring geologiczno-inżynierski.

W dokumentacji geologiczno-inżynierskiej wyniki badań podłoża i terenu budowlanego zestawia się zgodnie z rozporządzeniem jak w rozdziale A.1.1 w dwóch rodzajach dokumentacji:

- a) dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (pełnej),
- b) dokumentacji geologiczno-inżynierskiej uproszczonej.

Dokładność badań geologiczno-inżynierskich obejmujących roboty geologiczne, badania terenowe i laboratoryjne powinna być w racjonalny sposób dostosowana do postulatów inwestora, a same roboty i badania geologiczno-inżynierskie należy wykonać według obowiązujących norm, wytycznych, zasad zawodowych i naukowych.

Dokumentacja geologiczno-inżynierska składa się z 3. części:

- I — tekstowej,
- II — załączników tabelarycznych,
- III — załączników graficznych.

Tekst zawiera:

- a. Zakres badań przewidzianych w zatwierdzonym projekcie prac geologicznych; nazwę organu zatwierdzającego; datę zatwierdzenia; przewidywany w projekcie harmonogram i współzależność badań.
- b. Charakterystykę inwestycji (z projektu prac geologicznych z ewentualnymi uzupełnieniami lub zmianami).
- c. Opis zachowania się i stanu obiektów budowlanych na terenie budowy i w jego sąsiedztwie.
- d. Analizę prawidłowości wykonanych badań, przyczyny ewentualnego odstępstwa od projektu i zakres badań dodatkowych.

e. Krótką charakterystykę geomorfologiczną, z omówieniem znaczenia dla inwestycji obszarów podmokłości i tarasów zalewowych oraz określeniem granic obszaru zagrożonego okresowymi podtopieniami lub zalaniem.

f. Opis budowy geologicznej obejmujący:

- zespoły litogenetyczne na tle ogólnego podziału stratygraficznego, uwzględniające wydzielenia warstw geotechnicznych,
- zjawiska i procesy tektoniczne, o ile mają związek z oceną budowlaną podłoża,
- procesy i formy geodynamiczne uspokojone, czynne i przewidywane na badanym terenie, z oceną wpływu tych procesów na planowane inwestycje,
- określenie stopnia złożoności budowy geologicznej podłoża.

g. Charakterystykę warunków wodnych obejmującą:

- opis poziomów wód podziemnych,
- określenie stanów maksymalnych i minimalnych, amplitudy wahań i ewentualnie czasów trwania,
- omówienie jakości wód z uwzględnieniem agresywności korozyjnej na beton i stal,
- opis niekorzystnego wpływu wód powierzchniowych i opadowych na projektowany obiekt,
- określenie wpływu projektowanego obiektu na poziomy wód użytkowych, możliwość zaopatrzenia obiektu w wodę i odprowadzenie ścieków i wód opadowych.

h. Charakterystykę geologiczno-inżynierską, która obejmuje:

- opis serii geologiczno-inżynierskich nawiązujący do układu wydzieleni zespołów litogenetycznych, łącznie z ich charakterystyką i parametrami fizyczno-mechanicznymi koniecznymi do projektowania,
- ocenę wielkości zaburzeń tektonicznych, szczególnie form glacictonicznych, jeśli występują na danym terenie,
- ocenę paleo- i współczesnych procesów geodynamicznych mogących stanowić zagrożenie dla inwestycji,
- prognozę wpływu inwestycji na środowisko.

i. Zasoby złóż kopalin (oszacowanie na podstawie danych archiwalnych), jeśli mają być wykorzystane do realizacji inwestycji.

j. Wnioski geologiczno-inżynierskie dla rozpatrywanej inwestycji.

k. Wnioski zawierające:

- stwierdzenie, czy rozpoznanie warunków geologiczno-inżynierskich jest zgodne z projektowaną dokładnością i w przewidzianym zakresie merytorycznym lub określenie rozbieżności w tym zakresie,
- omówienie dominujących problemów geologiczno-inżynierskich wynikających z budowy geologicznej, warunków wodnych, właściwości fizyczno-mechanicznych i procesów geodynamicznych,
- określenie trudności i zagrożeń w odniesieniu do projektowanej inwestycji w związku z rozpoznanymi warunkami geologiczno-inżynierskimi i wskazanie sposobów przeciwdziałania,
- ocenę przydatności podłoża budowlanego dla projektowanej inwestycji, sugestie co do sposobu posadowienia, ewentualne zalecenie dodatkowych badań specjalistycznych,
- wytyczne dla następnego etapu rozpoznania.

Część graficzna i tabelaryczna powinna zawierać:

- mapę z lokalizacją terenu badań w skali co najmniej 1:100 000,
- podkłady sytuacyjno-wysokościowe w skalach od 1:100 do 1:2000 z lokalizacją obiektów,
- mapę geologiczno-inżynierską,
- problemowe mapy geologiczno-inżynierskie (np. strop utworów trzeciorzędowych),
- przekroje geologiczno-inżynierskie,
- profile wyrobisk,
- karty sondowań i innych badań polowych,
- wykresy i zestawienia tabelaryczne wyników badań laboratoryjnych.