

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 (*fot. Jerzy Pepol*)

Redakcja techniczna, skład, łamanie: mgr Barbara DĄBROWSKA

Druk „Remigraf”sp. z o.o. Zlec. 89/2000.Dodruk 500 egz .

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. Próbné 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 wskaźnika odbojności sprężystej	65
6.2.3. Badanie wskaźnika pełzania i relaksacji	66
6.2.4. Badanie wskaźnika 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 Dragowski</i>	88
4. Procesy i zjawiska antropogeniczne — <i>Andrzej Dragowski</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 gruboziamistych i kamienistych	112
2.9. Badania polowe zwietrzelin	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 górniczych — <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 górniczym 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. Zygmuntowi 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 normy (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.

Objekt 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.

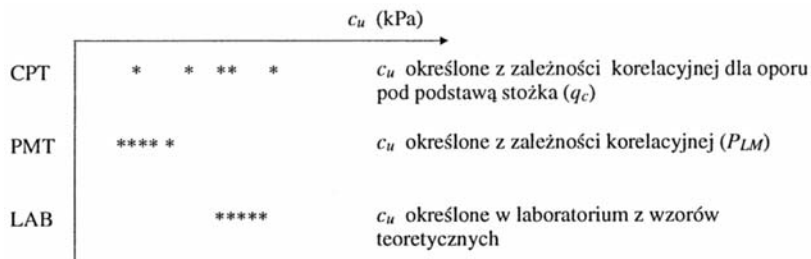
Należy jeszcze zwrócić uwagę na następujące terminy w EN-1997-1 i EN-1997-3, które dotychczas w naszych normach nie były stosowane, a są istotne z punktu widzenia metod geologiczno-inżynierskich. Są to:

— **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 określeniu 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 odplywu:



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 obiekty, w szczególności:

- kultu religijnego, jak: kapliczki, krzyże przydrożne, figury,
- posągi, wodotryski i inne obiekty 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, obiekty 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, wywoływany 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 głębinia w ograniczających ściankach prowadzących, przy utrzymywaniu ścian wykopu zawieszoną betonową często 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. pałościankę 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 iniektki (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 odszpajanie 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 jednomediowe, dwumediowe i trójmediowe (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 (OOŚ), 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 pochyłe, 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 stałe 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-luskowa, 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 odsłoneń 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

Odsłonięcie 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 facjalnej, 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 glacictektonicznych,
- 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, dozorowane 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 górnictwem. 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 ujednoczenie 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 POŁOWE

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 spoiwości gruntów,
- określenie rodzaju gruntów spoiwistych,
- określenie rodzaju gruntów niespoiwistych.

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 spoiwistych 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 spoiwego określa się metodą wałeczkwania i formowania kulki: stan zwarty (nie można uformować kulki) i półzwarty (można uformować kulkę, ale wałeczek 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 wałeczkowań. Innym sposobem jest badanie penetrometrem PP.

Orientacyjny **stopień zagęszczenia** gruntu sypkiego w odślonięciach 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 ścisaniu 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 spoiwistych 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 węglanu 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 ryłcem,
- miękkich, które łatwo można zarysować ryłcem,
- 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 spoiwych 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, prowadnicy, 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 otrzymany 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 wyznaczane z zależności empirycznych. Powinny być potwierdzane oznaczeniami laboratoryjnymi. Doświadczenia krajowe w stosowaniu dylatometru są małe.

5.5. Próbne obciążenia płytą

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

Próbne obciążenie płytą pozwala na określenie modułu podatności gruntu oraz wytrzymałości gruntu i skały *in situ* poprzez rejestrowanie obciążenia i odpowiadającego mu osiadania w czasie. Próbne 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 zawodnienia 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 glacictektonicznych,
- wydzielania 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,
- wyznaczania głębokości nieprzepuszczalnego podłoża,
- stwierdzenia występowania wód w strefach spękań masywu skalnego,
- okonturowania form erozyjnych i glacictektonicznych.

Metoda geotermiczna jest stosowana do wykrywania anomalii cieplnych w podłożu. Pozwala ona na zebranie wielu informacji o warunkach hydrogeologicznych i lokalizowanie strefy wypływu 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-rurowy zakończony ostrzem tnącym jest wprowadzany w podłoże przez wciskanie, dynamiczne uderzenie 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 próbek 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 zwietrzienia 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.

Przejście 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 nic 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. Głazer, 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	20–60
			średnie	6–20
drobne	2–6			
		piaski	grube	0,6–2
			średnie	0,2–0,6
			drobne	0,06–0,2
Proces sedimentacji	drobne	pyły	grube	0,02–0,06
			średnie	0,006–0,02
drobne	0,002–0,006			
		iłły		<0,002

Tabela 6

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

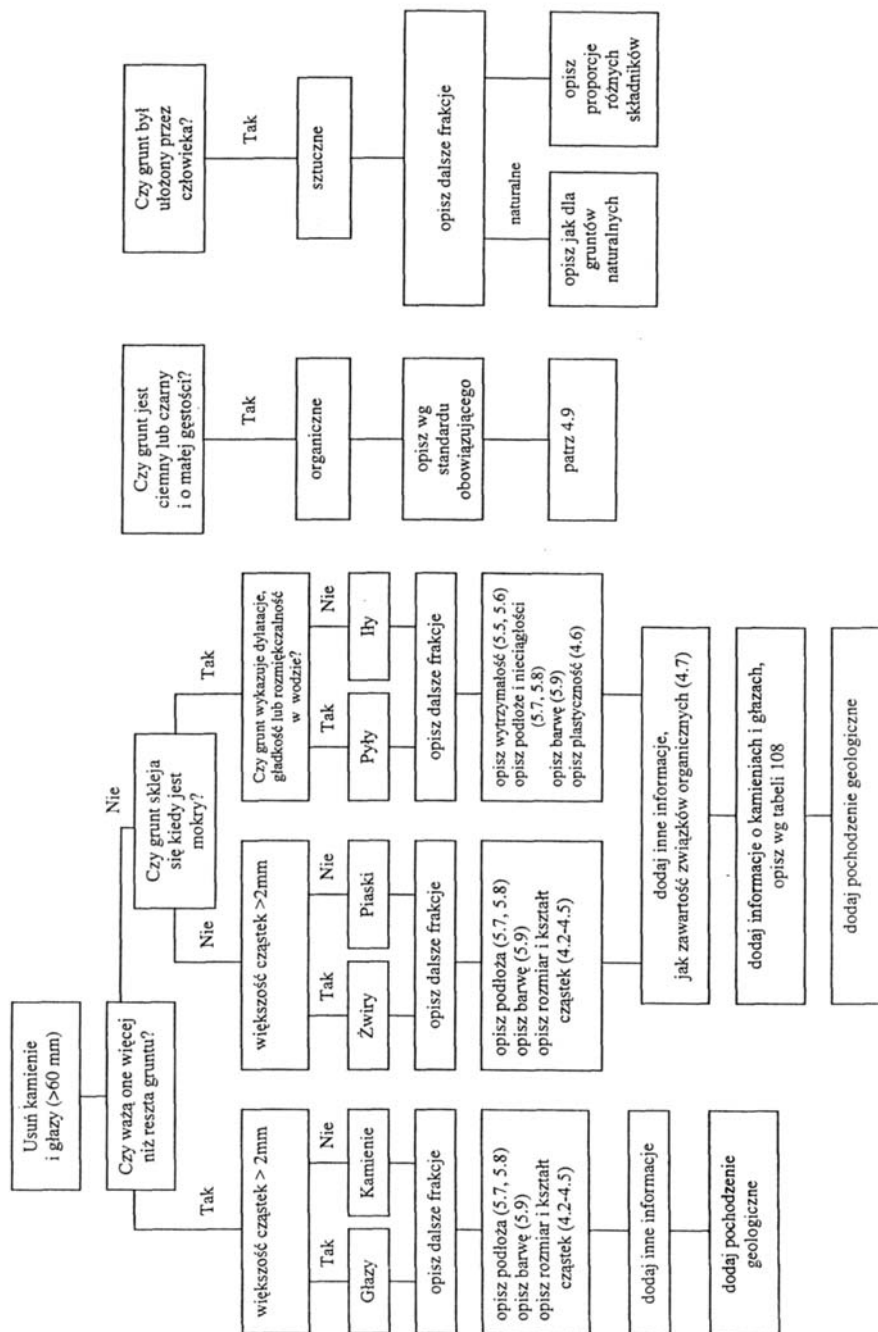
Określenie domieszek	Przybliżona zawartość domieszek (%)	Główne typy osadów
Drobne ility lub pyły i/lub piaski lub żwiry (w niewielkich ilościach)	5	piaski
ility lub pyły i/lub piaski lub żwiry*	5–20	lub
ility lub pyły i/lub piaski lub żwiry (w dużych ilościach)*	20–40	żwiry
Piaszczyste lub żwirowe (w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

* 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
Grнты 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	
Grнты 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	grнты sztuczne		jak dla gruntów naturalnych
Klucz symboli typów gruntów: głazy kamienie żwiry piaski pyły ility Grнты organiczne Grнты 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

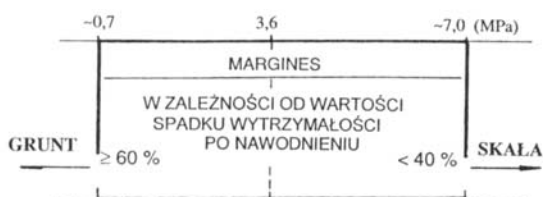


Rys. 1. Ogólna identyfikacja i opis gruntów według ISO/DIS 14688 (1994)

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)

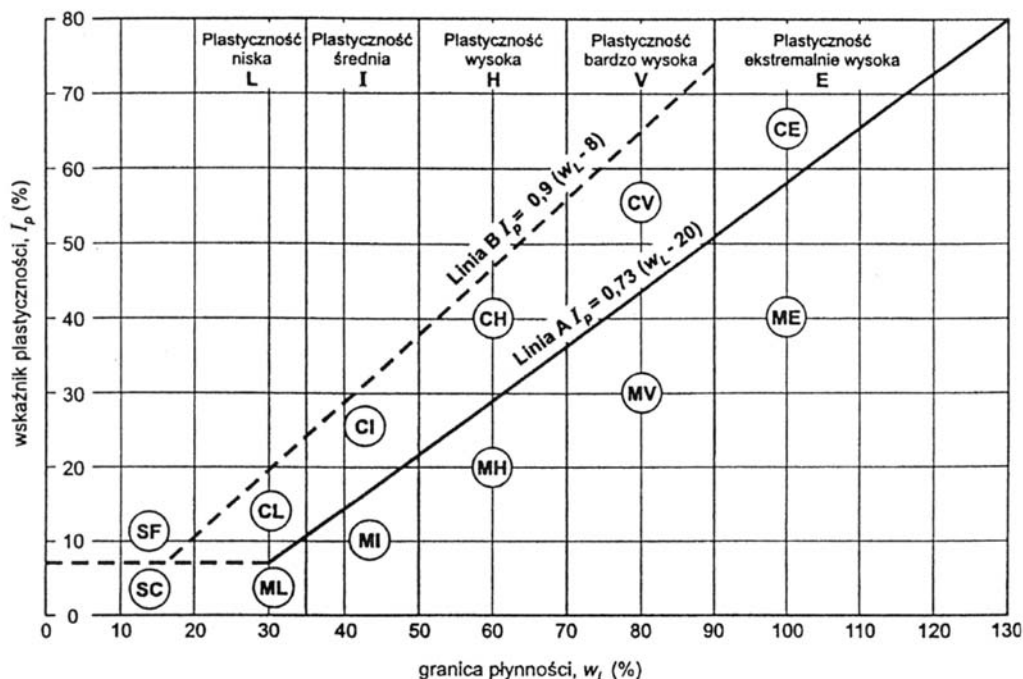


Według trójkąta klasyfikacyjnego Fereta (rys. 4 normy PN-86/B-02480) określa się rodzaje gruntów drobnopziarnistych. Gruntami spoistymi nazywa się takie grunty, które wykazują wskaźnik plastyczności $I_p > 1\%$ lub stałość kształtu bryłek przy naprężeniach $> 0,01$ MPa w stanie powietrzno-suchym, przy 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'a (1992)

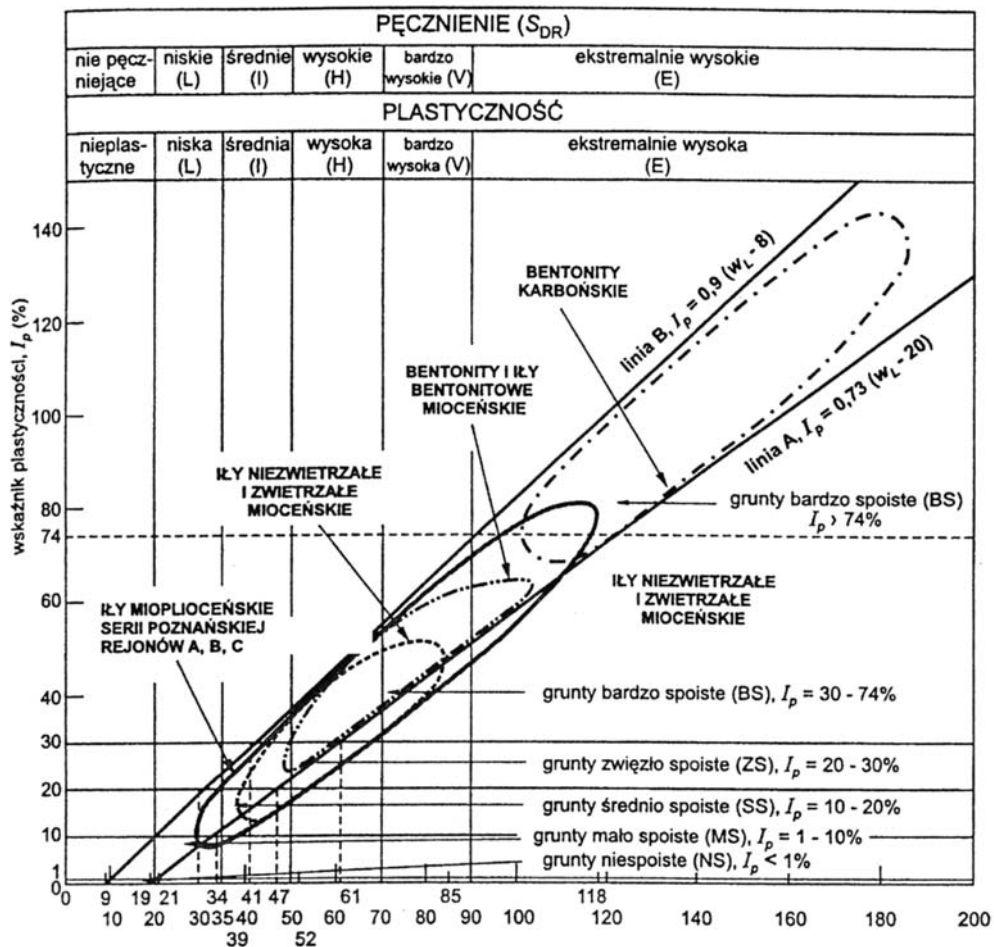
6.1.2. Badania podstawowych właściwości fizycznych gruntów

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 spoiistość 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 (prostokątów)	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
		10 g (ziarna < 4 mm)		
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	S 25 kg	NS 10 kg	*	
	80 kg	50 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 colgenu 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 muflowym. 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 wyznaczanie 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 ścisłości 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 edome-trach 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:

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

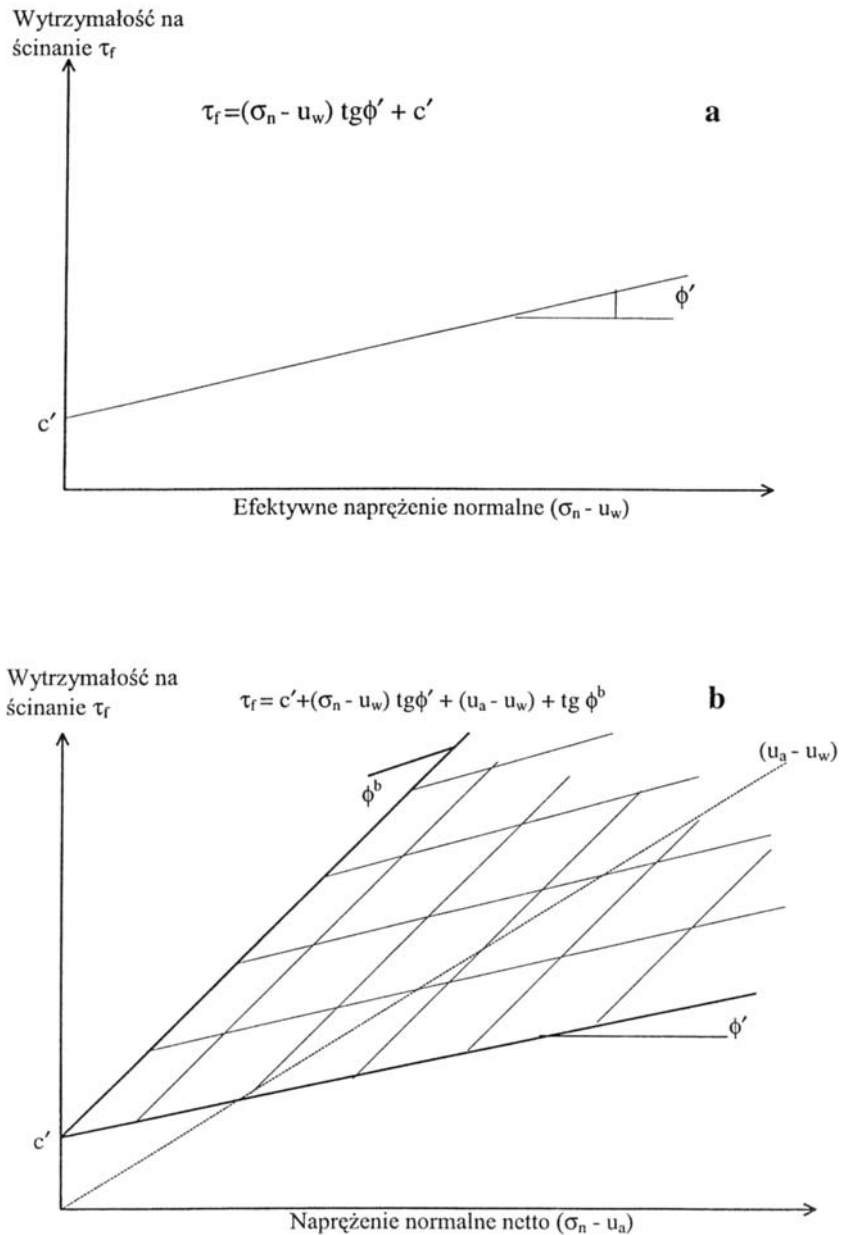
gdzie:

- 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 ścięcia 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 ścięcia. Z zależności naprężenie ścinające—naprężenie normalne obliczyć można kątem 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 (reszkowej) 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 , badania w aparacie skrzynkowym wielokrotnego ścinania lub pierścieniowym.

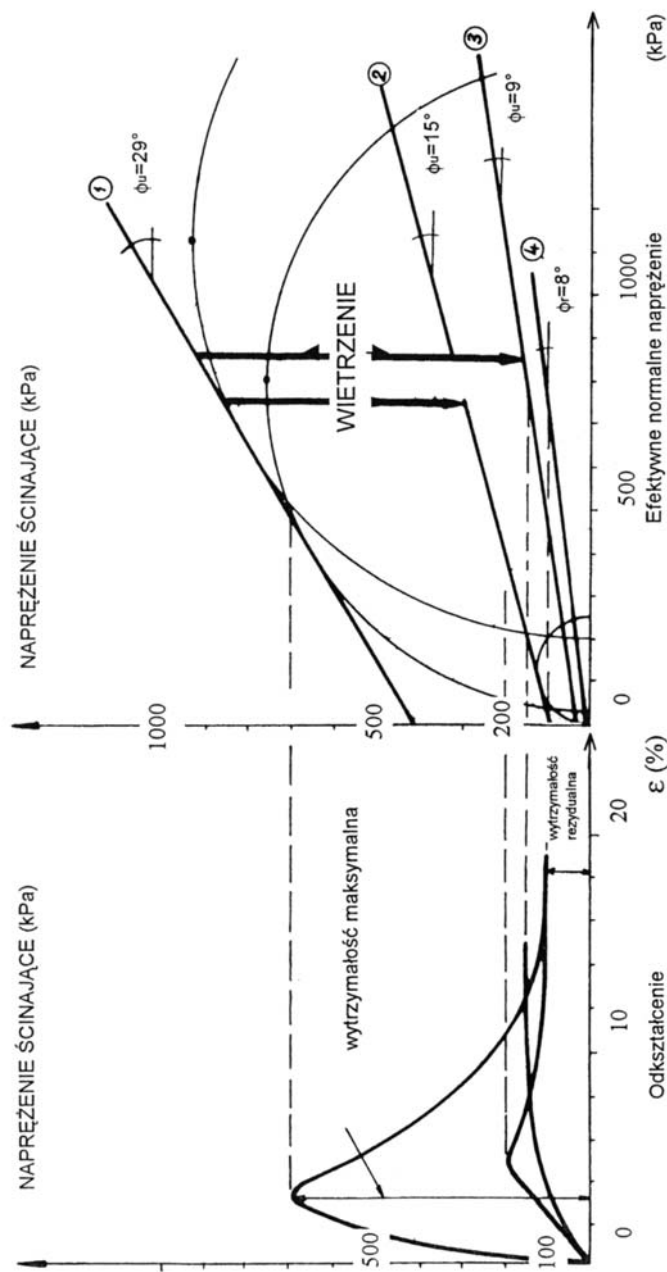
W gruntach spoistych o małej przepuszczalności ścinanie gruntu przy badaniu bez konsolidacji i bez odpływu przeprowadza się z prędkością osiowego odkształcenia powyżej 2%/h, w badaniach z konsolidacją bez odpływu z prędkością 0,05–2%/h, a w badaniach z konsolidacją i odpływem ścinanie trwa kilka do kilkunastu dni. Wyznaczone w tym rodzaju badań wartości efektywne ϕ_{CU}' i C_{CU}' 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 C_{CU}' . 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).

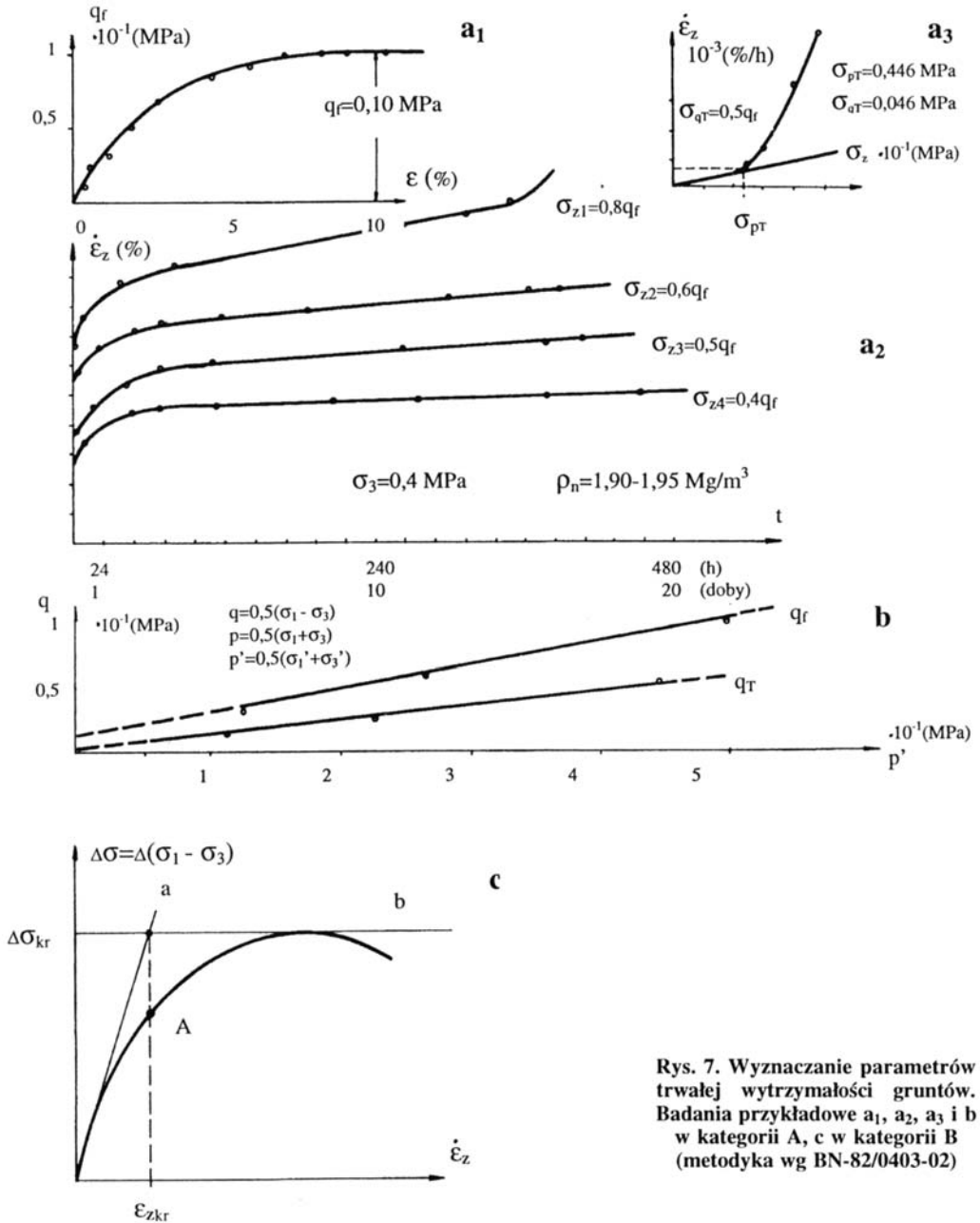
Norma ISO/DIS 14688 rozróżnia na podstawie wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu (CU) grunty o wytrzymałości:

- 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



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 napięcia krytycznego odpowiadającego 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 mioceńskich 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 spójne gruboziarniste piaszkowce, 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 pyłaste, gliniaste, pyły; piaszkowce, 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; itołupki, skały masywne niespękane	$< 10^{-8}$	$< 0,001$

Tabela 16

Przepuszczalność i metody badań głównych typów gruntów
(kolumny 1-5 wg K. H. Head, 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} 10^{-2}
	średnia	piaski	standardowa komora CH		dobre	10^{-3} 10^{-4}
					średnie	10^{-5}
Słaby	niska	iły spę- kane i zwię- rzałe	piaski bardzo drobne i pyłaste	komory FH	słabe	10^{-6}
	bardzo niska				grunty pół- przepuszczalne	10^{-7} 10^{-8}
Praktycznie nieprzepusz- czalny	praktycznie nieprzepusz- czalna	iły niespękane	endometr FH	z teorii konsoli- dacji	grunty praktycznie nieprzepusz- czalne	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).

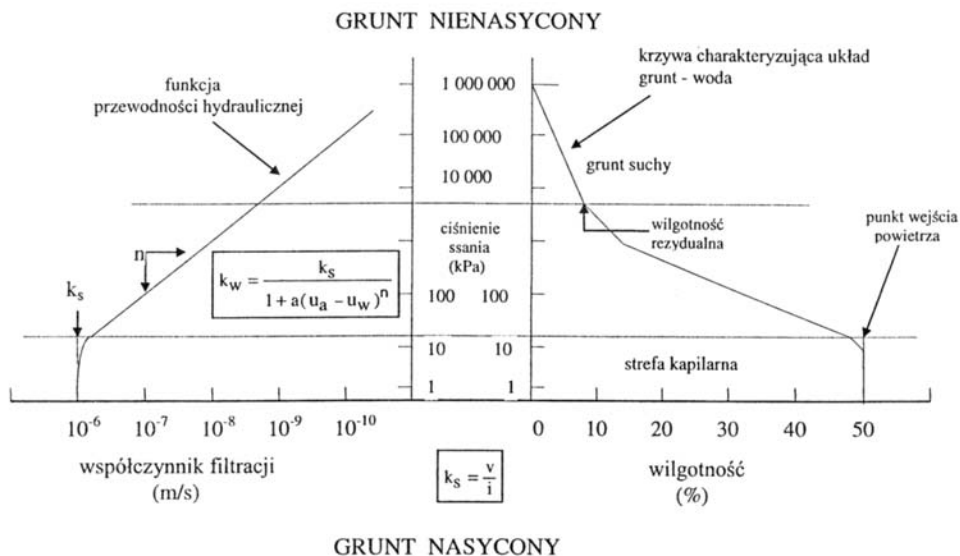
W tabelach 13 i 14 podano wartości współczynnika lepkości dynamicznej wody η od temperatury i współczynnika liczbowego m według B. Kozerskiego (Wytyczne..., 1977).

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 spójnym (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. Żako-wicz, 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 Gór-rotworu 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 złoży do głębokości równej 1,5 m miąższości złoży, 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 prostopadłościennej (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 (m^2),
- α — kąt między płaszczyzną ścinania a kierunkiem siły ściskającej F ($^\circ$).

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 uderzenia 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 uderzenia w granicach 0,70–39,0 J. W Polsce najbardziej rozpowszechnione są młotki typu N. Badania Głównego Instytutu Górniczego (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 ($\Delta\varepsilon$) 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 $N = \Delta\varepsilon/\Delta t$ 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 ($\varepsilon = \text{const}$), 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 podatłość 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. Drągowskiego (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 tępiań 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. Rymśa, 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 spoiстых) 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	<p>1. Rozdrobnione grunty skaliste twarde oraz grunty kamieniste, zwietrzelinowe, rumosze i otoczaki</p> <p>2. Żwiry i pospółki, również gliniaste</p> <p>3. Piaski grube, średnie i drobne, naturalne i łamane</p> <p>4. Piaski gliniaste z domieszką frakcji żwirowo-kamienistej (morenowe) o wskaźniku różnoziarnistości $U \geq 15$</p> <p>5. Piaski wielkopieczowe i inne metalurgiczne ze starych zwalów (powyżej 5 lat)</p> <p>6. Łupki przywęglowe przepalone</p> <p>7. Wysiewki kamienne o zawartości frakcji ilowej poniżej 2%</p>	1. Rozdrobnione grunty skaliste miękkie	gdy pory w gruncie będą wypełnione gruntem lub materiałem drobnoziarnistym
		2. Zwietrzeliny i rumosze gliniaste	gdy będą wbudowane w miejsca suche lub zabezpieczone od wód gruntowych i powierzchniowych
		3. Piaski pylaste, piaski gliniaste, pyły piaszczyste i pyły	
		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. Łołupki 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	<p>1. Żwiry i pospółki</p> <p>2. Piaski grube i średnie</p> <p>3. Łołupki przywęglowe przepalone zawierające mniej niż 15% ziarn mniejszych od 0,075 mm</p> <p>4. Wysiewki kamienne o uziarnieniu odpowiadającym pospółkom i żwirom</p>	1. Żwiry i pospółki gliniaste	pod warunkiem ulepszenia tych gruntów spoiwami (cementem, wapnem, aktywnymi popiołami itp.)
		2. Piaski pylaste i gliniaste	
		3. Pyły piaszczyste i pyły	
		4. Gliny o granicy płynności $w_L < 35\%$	drobnoziarniste i nie rozpadowe: straty masy do 1%
		5. Mieszaniny popiołowo-żuźłowe z węgla kamiennego	
		6. Wysiewki kamienne gliniaste o zawartości frakcji ilowej $> 2\%$	
		7. Żuźle wielkopieczowe i inne metalurgiczne	o wskaźniku nośności $w_{nos} \geq 10$
		8. Piaski drobne	
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 pyłasty zwietrzelina gliniasta rumosz gliniasty żwir gliniasty pospółka gliniasta	mało wysadzinowe: głina piaszczysta zwięzła glinazwięzła głina pyłasta zwięzła bardzo wysadzinowe: piasek gliniasty pył, pył piaszczysty głina piaszczysta, gлина głina pyłasta 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 I 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. Witeczaka 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 szczególnie 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, pie-

zometrów, 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 opisanie 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, ropy). 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, Kamieńskiego, 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 określeniem 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 zatwierdzaniu 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 przestawić 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 szczeliny-wych 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 zapatrzenia 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 glacictektonicznych, 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 rozpoznаныmi 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.

C. BADANIA NA OBSZARACH DZIAŁANIA PROCESÓW GEODYNAMICZNYCH

Z procesów geodynamicznych stwarzających zagrożenie dla projektowanych obiektów należy wymienić procesy osuwiskowe i krasowe oraz sufozję, erozję i abrazję.

Największy ujemny wpływ na obiekty budowlane mają procesy osuwiskowe i krasowe, a na terenach intensywnej eksploatacji podziemnej sztucznie wywołane deformacje górnicze.

Obszary o czynnych procesach geodynamicznych należy wydzielić w trakcie wstępnej i szczegółowej analizy zdjęć lotniczych, przeglądu terenu oraz podczas zdjęcia geologiczno-inżynierskiego. Czynności te wykonuje się przede wszystkim w pierwszych etapach dokumentowania.

Na etapie badań szczegółowych należy natomiast przeprowadzić terenowe badania, których celem jest:

- określenie genezy procesu geodynamicznego i dalszego jego przebiegu, a na tym tle szerszej prognozy rozwoju przy uwzględnieniu wpływu projektowanych inwestycji,
- określenie intensywności procesu,
- określenie warunków, które muszą być spełnione dla bezpiecznej realizacji inwestycji.

1. PROCESY OSUWISKOWE

Na podstawie kartoteki osuwisk Państwowego Instytutu Geologicznego i komputerowej rejestracji osuwisk na drogach krajowych, znajdującej się w Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych, należy wstępnie sprawdzić, czy na obszarze projektowanych badań geologiczno-inżynierskich występują formy osuwiskowe.

Klasyfikację powierzchniowych form ruchów mas ziemnych należy przeprowadzić według tabeli 21.

Na mapie występowania gruntów osuwiskotwórczych należy wydzielić:

- Osuwiska obecnie czynne.
- Osuwiska nieczynne (zamarłe) lub ślady dawnych osuwisk (zdenudowane nisze i jęzory).

Klasyfikacja form ruchów mas ziemnych

Typ formy	Charakter procesu	Podtypy
A ₁ Zmywy	Splukiwanie, wymywanie i osadzanie materiału w dolnej części zbocza	
A ₂ Spływy, spelzwywania	Płynięcie gruntu w dół zbocza, grzęźnięcie bloków	
A ₃ Osypy	Osypywanie się, zsypywanie, toczenie w dół zbocza	
B Zsuwy (B ₁ , B ₂ , B ₃) i osuwiska (B ₄ , B ₅)	Przemieszczanie gruntów i skał wzdłuż powierzchni ścięcia	Zsuwy po powierzchni uwarunkowanej budową geologiczną: B ₁ — wzdłuż powierzchni warstwowania B ₂ — wzdłuż spękań, szczelin B ₃ — wzdłuż granicy zwietrzelina-skała Osuwiska po powierzchni rotacyjnej: B ₄ — ze ścięcia w materiale jednorodnym B ₅ — ze ścięcia w materiale niejednorodnym
C Obrywy	Obrywanie, odpadanie, zawałanie	

- Złaziska pokrywy zwietrzelinowej lub gruntów ilastych, spływy gleby na większą skalę:
 - a) aktywne,
 - b) mało aktywne.

— Potencjalne obszary osuwiskowe, czyli obszary, na których nie stwierdza się ruchów osuwiskowych, ale budowa geologiczna, sytuacja morfologiczna i hydrogeologiczna jest analogiczna jak na obszarach czynnych i w związku z tym istnieje duże prawdopodobieństwo rozwinięcia ruchów w sprzyjających warunkach.

- Uszkodzenia i zagrożone obiekty (budynki, odcinki linii komunikacyjnych itp.).

— Przejawy wysięków, zawilgocone fragmenty zboczy, obniżenia i nisze na zboczach, w których gromadzą się wody powierzchniowe i gruntowe.

1.1. Czynniki niekorzystne

Niekorzystnym czynnikiem jest skłonność do powstawania zmian poziomych i pionowych w obrębie przypowierzchniowych mas skalnych. Warunkiem powstawania ruchów osuwiskowych jest współwystąpienie utworów osuwiskotwórczych odpowiednio zawodnionych oraz określonego nachylenia powierzchni. Utwory osuwiskotwórcze występujące w Polsce to przede wszystkim iły warwowe, pstre iły plicieńskie, iły krakowieckie i iły septariowe. Utwory fliszowe w Karpatach są podatne na tworzenie się osuwisk wszelkich typów ze względu na przewarstwienia ilaste, jak też ze względu na nachylenie stoków.

1.2. Rejony występowania

Poza Karpatami, gdzie osuwiska są liczne, występują one w rozproszonych skupiskach na obszarze całego kraju. Takich skupisk można wymienić na Niziu Polskim kilkadziesiąt. Do największych i najbardziej niebezpiecznych należą zbocza doliny Wisły między Tarnobrzegiem a Sandomierzem, Warszawą a Włocławkiem i między Bydgoszczą a Tczewem, dolina Sanu, Narwi, Noteci i Kamiennej oraz obszar lessowy na południe od Lublina.

W Karpatach szczególnie dużo osuwisk występuje na terenie Beskidów w obrębie płaszczowiny magurskiej oraz godulskiej.

1.3. Charakterystyka

Z ogólnej liczby znanych w Polsce osuwisk około 90% to typowe zsuwy i obrywy, a tylko 10% to sływy, przede wszystkim na lessach. W Karpatach występuje około 9000 osuwisk, a wśród nich przeszło 600 powstało w wyniku działalności człowieka. Poza Karpatami występuje w Polsce około 2500 osuwisk, z czego około 400 powstało z winy człowieka.

Ogólna powierzchnia osuwisk w Polsce wynosi ponad 700 km, a powierzchnia obszarów wykazujących tendencję osuwiskową około 2000 km. Powierzchnię użytków rolnych zniszczonych przez osuwiska ocenia się na około 550 km, a lasów przeszło 120 km.

Poza Karpatami około 500 osuwisk zagraża bezpośrednio obiektom budowlanym (budynki, drogi i linie kolejowe), a w Karpatach jest takich osuwisk około 3000.

Obszary osuwiskowe powinny być wyłączone z planowanej zabudowy. W przypadkach koniecznych, np. w trakcie projektowania zapór wodnych, dróg i linii kolejowych, należy przewidzieć specjalne badania geologiczno-inżynierskie. Są to badania kosztowne, a ze względu na konieczność obserwacji ruchu długotrwałe.

1.4. Szczegółowe badania obszarów osuwiskowych

Badania te obejmują:

- założenie reperów obserwacyjnych powierzchniowych i ewentualnie głębokich w celu pomiarów ruchów zboczy metodami geodezyjnymi lub teledetekcyjnymi (GPS — *global positioning system*),

- wykonanie otworów wiertniczych w przekrojach prostopadłych do osuwiska w liczbie co najmniej trzech u podnóża, na zboczu i w koronie osuwiska,

- pobranie w otworach wiertniczych próbek o naturalnej wilgotności (NW) co 20 lub 50 cm w celu określenia wilgotności, a co 100 cm próbek o nienaruszonej strukturze (NNS) w celu określenia innych wiodących parametrów fizyczno-mechanicznych,

- wykonanie badań geofizycznych, aby wyjaśnić takie problemy, jak np. zasięg osuwisk, podział na zespoły litologiczne, stopień zwietrzenia i miąższość zwietrzliny oraz porowatość całkowitą.

1.5. Kategorie geotechniczne stateczności zboczy

Przed przystąpieniem do określenia stateczności zboczy należy zaliczyć je do jednej z trzech kategorii geotechnicznych (pr ENV 1994).

Kategoria I obejmuje:

- 1) skarpy wykopów do 1,5 m nie nawodnione,
- 2) skarpy nasypów do 3,0 m,
- 3) zbocza z gruntów sypkich lub spoistych, bez śladów osuwisk, do 6,0 m, nie zabudowane.

Kategoria II obejmuje:

- 1) skarpy wykopów do 4,5 m, nie nawodnione,
- 2) skarpy wykopów do 2,5 m przy obecności wód gruntowych,
- 3) skarpy nasypów do 8,0 m,
- 4) zbocza z gruntów sypkich i spoistych do kilkunastu metrów, bez śladów osuwisk, nie zabudowane,
- 5) zbocza skalne i zwietrzelinowe niezależnie od wysokości o nachyleniu do 15N, bez śladów osuwisk, przeznaczone do zagospodarowania (w Karpatach zdarzają się zbocza osuwiskowe o mniejszych kątach nachylenia niż 15N).

Kategoria III obejmuje:

- 1) głębokie wykopy,
- 2) nasypy powyżej 8,0 m,
- 3) zbocza do zagospodarowania obiektami budowlanymi o nachyleniu większym niż 15N.

W przypadkach nie objętych tym zestawieniem lub w przypadkach uzasadnionych sytuacjach należy dokonać wyboru kategorii na podobnych zasadach.

Do kategorii I wystarczy stosować metody tabelaryczne i nomograficzne określenia nachylenia stoku.

Do kategorii II wystarczy stosować metody nomograficzne określania wskaźnika stanu równowagi. W celu ustalania wartości parametrów geotechnicznych można stosować wartości tabelaryczne.

Do kategorii III obowiązuje ustalanie parametrów na podstawie badań polowych i laboratoryjnych gruntów. Należy przy tym maksymalnie wykorzystać dotychczasowe doświadczenia, stosując parametry ustalone z innych osuwisk w rejonie metodami *back analysis*, tj. metodami o tak zwanej odwrotnej analizie stateczności zboczy.

Badaniami terenowymi należy (w otworach wiertniczych) wyznaczyć zmienność wilgotności naturalnej w czasie i ustalić, w jakich warunkach zewnętrznych nastąpi przekroczenie wartości granicznej warunkującej przekroczenie wskaźnika stateczności 1.

Metody obliczeniowe wskaźnika stateczności należy dobierać w zależności od schematu warunków geotechnicznych i rodzaju parametrów uzyskanych z badań. Obliczenia można wykonać zgodnie z instrukcją Instytutu Techniki Budowlanej (Posadowienie..., 1991).

2. PROCESY KRASOWE

2.1. Czynniki niekorzystne

Podstawowym niekorzystnym czynnikiem są procesy krasowe, a wtórnym procesy sufozyjne. Od natężenia działania tych dwu czynników zależy stopień skomplikowania budowy geologicznej, ważny z punktu widzenia ochrony środowiska i określenia przydatności budowlanej obszaru.

2.2. Charakterystyka

Procesy krasowe działają w przewadze w wapieniach, marglach i gipsach znacznej miąższości.

Stopień nasilenia procesów krasowych jest bardzo zróżnicowany. Na pewnych obszarach procesy krasowe nie zachodziły. Należy się jednak spodziewać, że na większości obszarów, na których występują w podłożu budowlanym wapienie i gipsy, procesy krasowe działały i działają bardzo intensywnie.

Formy krasowe powstają najczęściej w kilku cyklach. Największe rozmiary pustek, a więc największe niebezpieczeństwo, przedstawiają formy krasu wewnętrznego powstałe w jurze, kredzie i wczesnym trzeciorzędzie. Długość niektórych korytarzy tego cyklu krasowego przekracza setki metrów, większe osiągają kilkadziesiąt metrów długości i do 30 m wysokości.

Młodsze formy krasowe powstałe w późnym trzeciorzędzie i w plejstocenie rozwinęły się w silnie spękanych wapieniach i gipsach i dlatego występują licznie, ale mają na ogół mniejsze rozmiary.

Poza formami krasu wewnętrznego występują często formy krasu powierzchniowego (typu krasu wieżowego). Amplituda wahań stropu wapienia w miejscach występowania krasu wieżowego jest bardzo silnie zróżnicowana i wynosi 10–20 m (na odcinkach 1–10 m), a skrajnie dochodzi do 40 m (na odcinku 0,5–2 m). Formy krasowe typu wieżowego są przykryte glinami zwietrzelinowymi, glinami zwałowymi i piaskami pokrywowymi, tak że na współczesnej powierzchni terenu nie zaznaczają się. Tym większe jest niebezpieczeństwo związane z ich występowaniem.

Na powierzchni terenu działalność procesów krasowych zaznacza się głównie w formie pojedynczych i grupowych lejków krasowych.

Niekorzystne dla środowiska wpływy form krasowych sprowadzają się przede wszystkim do:

- bardzo szybkiego i łatwego skażenia wód krasowych z powierzchni terenu,
- dużych różnic osiadań budowli posadowionych w rejonie krasu wieżowego (organów krasowych),
- łatwego powstania sufozji gruntów leżących na skrasowiałym podłożu w przypadku awarii sztucznych zbiorników wodnych,
- trudności z uszczelnianiem podłoża w budownictwie hydrotechnicznym.

Lokalizacja osiedli, przemysłu i zbiorników wodnych na obszarach krasowych musi być poprzedzona wszechstronnymi i bardzo obszernymi badaniami geologiczno-inżynierskimi.

2.3. Badania na obszarach krasowych

Na obszarach działania procesów krasowych dla dużych inwestycji budowlanych należy wykonać:

— Kartowanie geologiczno-inżynierskie w skali 1:25 000 powierzchniowych form krasowych na większym obszarze, tak aby możliwe było określenie związku form krasowych z kopalną i aktualną siecią hydrograficzną. Do kartowania należy wykorzystać zdjęcia lotnicze.

— Badania geofizyczne metodami elektrooporowymi (profilowanie, sondowanie) lub sejsmiczną (refrakcyjną). Celem wykonania badań geofizycznych jest stwierdzenie występowania zjawisk krasowych, płytkich i dużych form krasowych wewnątrz wapienia i głębokości występowania krasowiejącej skały oraz charakteru wypełnienia form krasowych.

— Interpretację szczegółową zdjęć lotniczych, a szczególnie zdjęć radarowych i satelitarnych pod kątem zbieżności elementów głębszej tektoniki nieciągłej z kierunkami rozwoju procesu i form krasowych.

— Kontrolne wiercenia w miejscach anomalii geofizycznych i w węzłowych punktach, wyznaczonych z interpretacji materiałów teledetekcyjnych.

— Badania wodochłonności, a także cementochłonności w celu określenia stopnia krasowienia.

3. PRZEOBRAŻENIA ANTROPOGENICZNE

Antropogeniczne przeobrażenia i degradacje litosfery przede wszystkim dotyczą:

- przekształceń powierzchni ziemi,
- zmian fizyczno-chemicznych właściwości skał,
- zmian rozkładu pól naprężeń w utworach skalnych,
- zmian hydrogeologicznych,
- tworzenia gruntów antropogenicznych (inżynierskie mieszanki gruntowe, odpady),
- ograniczenia i rozdrobnienia powierzchni czynnej biologicznie z jednoczesnym pogorszeniem jej jakości oraz zakłóceniem równowagi dynamicznej i procesów odnowy.

Ze względu na stały i powszechny charakter antropogenicznych oddziaływań na litosferę, spektrum efektów degradacji jest bardzo duże i zróżnicowane.

Ogólnie niekorzystne skutki nadmiernego eksploatowania powierzchni litosfery ujawniają się szczególnie wyraziście poprzez intensyfikację:

- antropogenicznych procesów geomorfologicznych,
- degradacji gleb,
- procesów zanieczyszczenia litosfery,
- zmian kierunków użytkowania powierzchni ziemi,
- wyczerpywania się zasobów surowcowych.

Wpływ człowieka na procesy kształtowania rzeźby terenu może mieć charakter bezpośredni poprzez tworzenie deformacji naturalnej powierzchni terenu, lub też może mieć charakter pośredni poprzez uruchamianie lub zmianę intensywności naturalnych procesów geomorfologicznych.

Największe i najrozleglejsze deformacje powierzchni terenu powstają przy intensywnej eksploatacji górniczej. Tworzą się wtedy różnej wielkości wklęsłe i wypukłe formy powierzchni ziemi o zróżnicowanym nachyleniu stoków.

Z wielkoskalowymi wyrobiskami i wytopiskami podziemnymi są związane rozległe deformacje ciągłe, powstające na skutek ubytku mas w podłożu. Zmiany stanu naprężeń i struktury górotworu nieuchronnie prowadzą do powstania niecek osiadania. Obniżenia powierzchni terenu sięgają tam od kilku do kilkunastu metrów, dochodzą nawet do kilkudziesięciu metrów.

Powszechnie odpady dzieli się na dwie kategorie: odpady przemysłowe i komunalne (bytowo-gospodarcze). Odpady komunalne składają się głównie z resztek artykułów spożywczych, papieru i tektury, szkła, metali i tworzyw sztucznych, zużytych ubrań i sprzętów. Ilość tych odpadów jest z reguły proporcjonalna do standardu życia i stopnia urbanizacji. W bogatych społeczeństwach większy udział w strukturze odpadów komunalnych stanowią różnego rodzaju opakowania (szklane, metalowe, z tworzyw, tektury), a w społeczeństwach ubogich przeważają odpadki żywnościowe. Od struktury jakościowej odpadów zależą ich właściwości paliwowe (wartość opałowa, ilość części palnych, zawilgocenie) oraz nawozowe (zawartość węgla organicznego i substancji organicznych). Właściwości te warunkują możliwość utylizacji odpadów komunalnych (spalanie, kompostowanie, składowanie).

Uciążliwość odpadów komunalnych dla litosfery wynika głównie z ich ogromnych ilości, a więc i z konieczności przeznaczania pod wysypiska znacznych powierzchni wartościowego gruntu.

Odpady komunalne stanowią również czynnik degradujący litosferę na skutek wnikania rozmaitych substancji w głąb gruntu pod wysypiskami i w ich pobliżu. Dotyczy to zwłaszcza wysypisk „dzikich” lub usankcjonowanych prawnie, ale źle zabezpieczonych. Degradacja ta ma nie tylko charakter chemiczny, ale i biologiczny na skutek wnikania do gleby i warstw wodonośnych procesów samorzutnych i niekontrolowanych procesów zachodzących w odpadach spożywczych, które dodatkowo są bazą do rozwoju mikroorganizmów, robaków, gryzoni.

Największe zagrożenie skażeń litosfery powodują odpady niebezpieczne ze względu na swoje właściwości i oddziaływanie: wybuchowe i łatwopalne, utleniające, korozyjne, toksyczne i ekotoksyczne, rakotwórcze, zakaźne, drażniące lub szkodliwe w inny sposób dla ludzi i biocenoz. W różnych wykazach odpadów niebezpiecznych najczęściej znajdują się te, które zawierają w swoim składzie:

- metale ciężkie i ich związki (w tym zwłaszcza ołów, kadm, rtęć, chrom, tal, miedź, cynk, beryl),
- oleje mineralne, emulsje olejowo-wodne i inne ropopochodne oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA),
- rozpuszczalniki organiczne, kwasy, zasady i ich roztwory,
- cyjanki, fenole, etery, związki fosforu i fluoru,
- biocydy, furany, dioksyny, azbest,
- polichlorowane dwu- i czterofenyle (PCB i PCT), polibromowane dwufenyle (PBB), superpolichlorek i polichlorek winylu (PCW),
- preparaty do konserwacji drewna, żywice, plastyfikatory, kleje i spoiwa,
- leki, farmaceutyki, odpady ze szpitali i ośrodków weterynarii oraz odpady z rzeźni i garbarni,
- farby, lakiery, pokosty, barwniki, tusze i pigmenty,

- substancje radioaktywne i wybuchowe,
- inne związki toksyczne.

W skali globalnej, a także i w skali Polski, najpowszechniej zagrożenia litosfery i hydrosfery występują w związku z wydobywaniem i przeróbką ropy naftowej oraz obrotem i stosowaniem substancji ropopochodnych. Szczególnie niebezpieczne są awarie zbiorników, rurociągów lub cystern i statków, kiedy dochodzi do rozległych, długotrwałych degradacji gleb i głębszych warstw litosfery. Niebezpieczeństwo skażeń litosfery w skali lokalnej stwarza w Polsce kilkadziesiąt tysięcy punktów obrotu paliwami i produktami naftowymi.

4. PROCESY I ZJAWISKA ANTROPOGENICZNE

4.1. Charakterystyka i klasyfikacja gruntów antropogenicznych dla celów geologiczno-inżynierskich

Termin grunty antropogeniczne wszedł do literatury fachowej na stałe i pod tą nazwą rozumie się odpady stałe związane z działalnością przemysłową i bytową człowieka oraz grunty naturalne urobione, przemieszczone i ponownie zdeponowane w środowisku przyrodniczym. W normie PN-86/B-02480 (od 01.01.1998 r. już nie obowiązującej) grunty antropogeniczne są wyróżnione ale nie podzielone, mimo dużego zróżnicowania ich właściwości fizyczno-mechanicznych i chemicznych, a grunty nasypowe w sposób nie uzasadniony zaliczono do gruntów naturalnych rodzimych.

Dla odpadów stałych wchodzących w skład gruntów antropogenicznych istnieje wiele podziałów, wśród których należy wymienić: Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 24.12.1997 r. (Dz. U. nr 162 poz. 1135) w sprawie klasyfikacji odpadów, katalog odpadów Unii Europejskiej, podział odpadów GUS, klasyfikację odpadów zgodnie z Rozporządzeniem R. M. z dnia 19.10.1995 r., klasyfikację mineralnych surowców odpadowych górnictwa i energetyki opracowaną przez Instytut Gospodarki Odpadami w 1996 r. oraz projekt PN.

Grunty nasypowe dzieli się ogólnie na nasypy niebudowlane i budowlane.

Grunty antropogeniczne dla celów geologiczno-inżynierskich należy podzielić na trzy główne grupy:

I. Grunty powstałe w wyniku niszczenia pierwotnej struktury skał (gruntów), ich przemieszczenia, powtórnego zdeponowania bez istotnej zmiany wyjściowego składu mineralnego, a przypadku gruntów sypkich — uziarnienia. Do tej grupy należą m. in. grunty zwałowisk zewnętrznych i wewnętrznych kopalń odkrywkowych, hałd górniczych, nasypów.

II. Grunty powstałe jako odpady stałe technologiczne w produkcji przemysłowej. Grupa tych gruntów jest bardzo zróżnicowana pod względem właściwości i oddziaływania na środowisko. W grupie tej znajdują się odpady masowe, takie jak popioły z elektrowni wielkich mocy, osady poflotacyjne, ale i specyficzne, występujące w niewielkich ilościach, bardzo często toksyczne, w tym szczególnie niebezpieczne (I i II kategorii według Rozporządzenia R. M. z 19.10.1995 r.).

III. Grunty stanowiące odpady bytowe, rolnicze, budowlane. Do tej grupy należy zaliczyć materiał wysypisk komunalnych, w przewodzie organiczny, osady z oczyszczalni ścieków, grunty zwałowisk budowlanych.

Ze względu na warunki składowania w obrębie tych trzech grup wyróżnia się:

— zwały, grunty powstałe w wyniku mechanicznego lub pneumatycznego transportu i składowania (składowiska–zwałowiska, hałdy, nasypy),

— osady, grunty powstałe w wyniku transportu hydraulicznego lub mieszanego (mechanicznego i hydraulicznego), deponowane w środowisku wodnym (składowiska mokre, stawy osadowe).

Poza tym dalsze podziały dokonuje się ze względu na oddziaływanie odpadów na środowisko, biorąc pod uwagę skład biochemiczny, chemiczny (toksyczność), radioaktywność, wybuchowość, samozapalność i inne, zależnie od specyficznych właściwości gruntu.

Przy wyróżnianiu tych trzech głównych grup, dodatkowo w badaniach geologiczno-inżynierskich należy uwzględnić obszary występowania *in situ* gruntów naturalnych rodzimych, ale całkowicie lub strefowo zanieczyszczonych substancjami chemicznymi lub radioaktywnymi.

Z analizy przestrzennego i ilościowego występowania gruntów antropogenicznych wynika, że człowiek stał się istotnym elementem kształtującym powierzchnię ziemi na bardzo dużych obszarach. Grunty antropogeniczne stanowią warstwy przypowierzchniowe, często dochodzące do kilku, a nawet do kilkunastu metrów p.p.t. w obrębie większych miast oraz terenów przemysłowych. Wskazuje na to chociażby analiza atlasów geologiczno-inżynierskich sporządzonych dla ponad 20 miast w Polsce.

O dynamice przyrostu tych gruntów w obrębie miast mogą świadczyć mapy geologiczne wykonywane dla Warszawy w odstępach kilkudziesięcioletnich.

Osobnym zagadnieniem jest powstawanie składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Na składowiskach jest deponowany materiał o zróżnicowanym składzie chemicznym, biochemicznym i fizycznym.

4.1.1. Grunty antropogeniczne w pracach kartograficznych

W pracach kartograficznych geologiczno-inżynierskich istotne jest określenie zasięgu i formy występowania gruntów antropogenicznych, miąższości oraz ogólne określenie ich cech litologicznych i genezy (pochodzenia). Szczegółowość rozpoznania zależy od skali mapy. W przypadku gruntów antropogenicznych, które mogą oddziaływać szkodliwie na środowisko, należy dążyć do określenia ich składu chemicznego i ustalenia stopnia zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi oraz środowiska przyrodniczego.

Na obszarach występowania gruntów antropogenicznych, ze względu na trudną do przewidzenia zmienność ich cech, jest wymagane zwiększenie zakresu badań. Tereny, na których występują grunty antropogeniczne, powinny być zakwalifikowane o jeden stopień wyżej w ocenie złożoności budowy geologicznej terenu, niż to by wynikało z wzięcia pod uwagę tylko naturalnie ukształtowanej budowy geologicznej terenu.

Grunty antropogeniczne powinny być również odwzorowywane na mapach geologicznych w skali 1:50 000 i większych oraz na mapach geologiczno-gospodarczych.

4.1.2. Badanie właściwości gruntów antropogenicznych w celu składowania

Poza cechami identyfikacyjnymi istotne jest określenie cech fizyczno-chemicznych, pozwalających na ocenę właściwości konstrukcyjnych i ocenę oddziaływania składowanego materiału na środowisko przyrodnicze, ze szczególnym uwzględnieniem środowiska geologicznego.

W badaniach tych należy uwzględnić, czy materiał będzie składowany jako zwał, czy też będzie składowany na mokro.

W pierwszym przypadku istotne będą:

- zagęszczalność materiału,
- odkształcalność,
- parametry określające stateczność zboczy,
- zmienność cech fizycznych i wytrzymałościowych pod wpływem przyrastających warstw składowanych gruntów,
- podatność na erozję,
- rozwój procesów biochemicznych, np. powstawanie biogazu.

W drugim przypadku określić należy:

- warunki rozfrakcjonowania materiału w procesie namywania i sedymentacji, jako istotnego procesu w kształtowaniu właściwości materiału namywanego,
- właściwości filtracyjne (współczynnik filtracji, współczynnik odsączalności),
- deformacje filtracyjne gruntów, ze szczególnym uwzględnieniem sufozji i przebiecia hydraulicznego,
- podatność na erozję (rozmywalność),
- możliwość wykorzystania materiału do nadbudowy obwałowań i jako podłoża.

W wyniku tych badań dla obydwu typów składowisk powinny być określone: geometria składowiska, technologia zwałowania lub namywania, systemy zabezpieczające eksploatację, kierunki rekultywacji i zagospodarowania.

4.1.3. Badanie geologiczno-inżynierskie na potrzeby wykorzystania gruntów antropogenicznych jako podłoża budowlanego

Jako podłoże mogą być rozważane tylko grunty antropogeniczne grupy I i II oraz gruz budowlany z grupy III, występujące w formie składowisk pogórnich, poenergetycznych, obszarów zrekultywowanych wyrobisk i terenów po makroniwelacji.

Grunty te ze względu na swoje właściwości związane ze świeżością struktur i słabą konsolidacją mogą być oceniane jako podłoże budowli po przeprowadzeniu badań, których zakres umożliwi zgodnie z normą PN-81/B-03020 obliczanie nośności i osiadania według II stanu granicznego. W koncepcji zabudowy na tych gruntach należy brać pod uwagę przede wszystkim obiekty lekkie o odpowiednio zaprojektowanych fundamentach (ławy o wzmocnionym uzbrojeniu, ruszt, płyty fundamentowe).

Przy ocenie tych gruntów jako podłoża należy również uwzględnić:

- nachylenie ich powierzchni,
- czynne procesy geodynamiczne,
- deformacje filtracyjne.

Budownictwo tego typu jest wykonywane na obszarach składowisk pogórnich i na terenach zrekultywowanych wyrobisk poeksploatacyjnych (np. w rejonie Warszawy).

Wyjątkowego znaczenia w badaniach geologiczno-inżynierskich gruntów antropogenicznych i obszarów zdewastowanych, gdzie mogą wystąpić grunty *in situ* ale zanieczyszczone chemicznie, nabierają badania geochemiczne.

W wyniku tych badań na obszarach skażonych należy wydzielić strefy skażeń z uwzględnieniem ich stężeń i w nawiązaniu do tego określić możliwości zabudowy i ewentualnie kierunki utylizacji, umożliwiające lub polepszające warunki zabudowy.

4.1.4. Badanie geologiczno-inżynierskie gruntów antropogenicznych jako materiału konstrukcyjnego

Grunty antropogeniczne I i II grupy znajdują coraz większe zastosowanie jako materiał konstrukcyjny obiektów inżynierskich, jak:

- nasypy kolejowe i drogowe,
- zapory o niewielkim piętrzeniu,
- obwałowania składowisk mokrych i wały przeciwpowodziowe.

Poza tym grunty te w bardzo dużym zakresie są stosowane do rekultywacji technicznej (między innymi wypełnianie niecek osiadań powęglowych i posiarkowych oraz wyrobisk podziemnych), jako warstwy izolacyjne i jako składnik formowanych mineralnych warstw izolacyjnych, a także jako składnik mieszanek gruntowych polepszających i uzdatniających grunty na określone potrzeby.

Z uwagi na duży zakres zastosowań gruntów antropogenicznych, cele badawcze i zakres badań jest bardzo zróżnicowany (H. Glinko, T. Bizoń, 1994; S. Traczyk i in., 1996; G. Burkhard i in., 1997). W przypadku obiektów inżynierskich, podobnie jak dla gruntów naturalnych rodzimych, istotne jest badanie parametrów zagęszczalności, dobór sprzętu zagęszczającego i technologii zagęszczania, ale także uwzględnienie ewentualnych przemian geochemicznych gruntów wbudowanych oraz ich stopień agresywności w stosunku do konstrukcji betonowych i stalowych. Istotne też będzie, w przypadku wykonywania nasypów, określenie ewentualnego wpływu odcieków na grunty i wody podziemne.

Przy rekultywacji, szczególnie wyrobisk w obrębie aglomeracji miejskich i na obszarach przemysłowych, należy dążyć do uzyskania takiego zagęszczenia wbudowanych gruntów antropogenicznych, aby po rekultywacji teren mógł być zagospodarowany do budowy obiektów kubaturowych, magazynowych i placów składowych, szczególnie przydatnych w takich strefach osiedleńczych.

Badania nad wykorzystaniem gruntów antropogenicznych jako mineralnych warstw izolacyjnych wymaga zastosowania bardzo złożonych i specjalistycznych badań, dotyczących przede wszystkim zagadnień procentowego udziału we frakcji ilastej poszczególnych grup minerałów ilastych, właściwości sorpcyjnych i desorpcyjnych, przemieszczania się zanieczyszczeń drogą filtracji i dyfuzji, a także urabialności, zagęszczalności itp.

4.1.5. Zakres i kierunki badań

Ze względu na zróżnicowane właściwości gruntów antropogenicznych, jak i duży zakres celów badawczych, uwarunkowanych ich składowaniem i bardzo różnorodnym wykorzystaniem, problematyka badawcza jest daleka od tradycyjnie pojmowanej i dotyczyć musi różnych aspektów funkcjonowania tych gruntów w środowisku. W tabeli 22 zestawiono możliwie pełny zakres i kierunki badań gruntów antropogenicznych w nawiązaniu do ich roli i funkcji w środowisku geologicznym (A. Drągowski, 1998).

Podstawowe problemy i kierunki badań gruntów antropogenicznych

Problemy badawcze	Cel badań	Główne kierunki badań
Prace kartograficzne na obszarach występowania gruntów antropogenicznych	Sporządzenie map: geologicznych (1:50 000 i większych) geologiczno-inżynierskich geologiczno-gospodarczych	Rodzaj gruntu antropogenicznego, zasięg występowania, miąższość Rodzaj gruntu antropogenicznego, forma i zasięg występowania, miąższość, właściwości fizyczno-mechaniczne, toksyczność Rodzaj gruntu antropogenicznego, zasięg i forma występowania, miąższość, możliwość gospodarczego wykorzystania
Właściwości gruntów antropogenicznych przewidzianych do składowania	Określenie geotechnicznych warunków składowania Wybór technologii składowania (zwałowisko, składowisko mokre) Wybór geometrii składowiska ze względu na stateczność zboczy i czynne procesy geodynamiczne	Zróżnicowane w zależności od rodzaju składowiska: dla zwałowiska należy przede wszystkim określić: stateczność zboczy zagęszczalność podatność na erozję dla składowiska mokrego należy przede wszystkim określić: stateczność zboczy warunki sedymentacji i rozfrakcjonowania deformacje filtracyjne upłynianie wodoprzepuszczalność podatność na erozję
Wybór lokalizacji składowiska, badania podłoża oraz strefy ich przewidywanego oddziaływania	Wybór lokalizacji składowiska Określenie warunków geologiczno-inżynierskich podłoża i strefy przewidywanego oddziaływania dla wybranej lokalizacji składowiska	Wyznaczenie potencjalnych rejonów lokalizacji z uwagi na budowę geologiczną i inne elementy środowiska Zagospodarowanie terenu w nawiązaniu do właściwości fizyczno-chemicznych gruntu antropogenicznego i technologii składowania Wybór z kilku wariantów lokalizacji konkretnego miejsca na składowisko, wstępne badania dla wybranej lokalizacji Prognoza oddziaływania na środowisko, przygotowywanie danych do oceny oddziaływania na środowisko (OOS) Ustalenie budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych Określenie warstw izolacyjnych i filtracyjnych podłoża Określenie właściwości podłoża ze względu na nośność, odkształcalność (wypieranie) Zmiany właściwości podłoża w zależności od dynamiki przyrostu składowanego materiału Ustalenie danych odnośnie do rozwiązań systemów izolacyjnych składowiska Polepszanie właściwości podłoża

<p>Badania geologiczno-inżynierskie w celu oceny oddziaływania na środowisko</p>	<p>Wpływ składowiska na środowisko geologiczne w fazie budowy, eksploatacji i rekultywacji</p> <p>Ocena stanu środowiska geologicznego przed lub w trakcie eksploatacji</p> <p>Prognoza zmian</p> <p>Kierunki eliminowania skutków negatywnego oddziaływania składowiska na środowisko</p>	<p>Określenie właściwości chemicznych, biochemicznych i fizyczno-mechanicznych gruntów antropogenicznych</p> <p>Ustalenie warunków geologicznych, hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich podłoża</p> <p>Czynne procesy geodynamiczne, zachodzące w materiale składowanym i podłożu</p> <p>Monitoring hydrogeologiczny i geologiczno-inżynierski</p> <p>Prognoza oddziaływania składowiska na środowisko przy określonych systemach izolacji i drenażu oraz technologii składowania</p>
<p>Wykorzystanie gruntów antropogenicznych jako podłoża budowli</p>	<p>Ustalenie nośności i odkształcalności gruntów dla obiektów kubaturowych o lekkiej konstrukcji, liniowych, specjalnych (płace składowe) z uwzględnieniem morfologii terenu i czynnych procesów geodynamicznych</p> <p>Polepszanie właściwości gruntów antropogenicznych</p>	<p>Badania jak dla gruntów mineralnych, rodzimych o poszerzonym zakresie i odpowiednim doborze metod badawczych w zależności od właściwości gruntów antropogenicznych</p> <p>Określenie toksyczności</p> <p>Dobór metody polepszania właściwości gruntów antropogenicznych w zależności od ich specyficznych właściwości, rozprzestrzenienia i miąższości</p>
<p>Zastosowanie gruntów antropogenicznych jako materiału konstrukcyjnego</p>	<p>Możliwość wykorzystania gruntów antropogenicznych do: budowy obiektów inżynierskich (nasypy kolejowe i drogowe) rekultywacji wykonania mieszankę gruntowych wykonywania warstw izolacyjnych</p>	<p>Zagęszczalność</p> <p>Podatność na deformacje filtracyjne</p> <p>Podatność na erozję</p> <p>Inne, zależnie od przeznaczenia gruntu</p>

Poza metodami powszechnie i standardowo stosowanymi dla gruntów antropogenicznych należy odpowiednio do potrzeb wprowadzić dodatkowo problematykę badań:

- chemicznych,
- geochemicznych,
- hydrochemicznych,
- mineralogicznych,
- radiologicznych.

W badaniach należy uwzględnić przemienność cech fizyczno-mechanicznych, chemicznych i mineralogicznych gruntów antropogenicznych i możliwość polepszenia ich właściwości w wyniku ukierunkowanego stymulowania rozwoju procesów w celu uzyskania nowych jakościowo właściwości lub unieszkodliwiania ujemnych oddziaływań tych gruntów na środowisko.

Rozwiązanie tych problemów wymaga stosowania wielu metod badań terenowych *in situ* i laboratoryjnych, w tym modelowych. Konieczne jest monitoringowanie zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym pod wpływem oddziaływania tych gruntów.

4.2. Antropogeniczne przekształcenia środowiska

Człowiek poprzez działalność gospodarczą oraz bytowanie w dużych skupiskach aglomeracji miejskich i przemysłowych stał się istotnym czynnikiem kształtującym przypowierzchniowe partie litosfery poprzez zamierzone działania inwestycyjne oraz działalność nie kontrolowaną, której skutki były trudne do przewidzenia. Ogólnie można powiedzieć, że od czasów rewolucji przemysłowej w Anglii człowiek staje się coraz bardziej aktywnym czynnikiem zmieniającym środowisko. Rozwój techniki powoduje, że wielkie inwestycje i skupienie małych, powoduje wyjątkowo aktywny rozwój procesów antropogenicznych w środowisku geologicznym.

Antropogeniczne przekształcenie środowiska geologicznego prowadzić może do:

- przemienności właściwości skał i gruntów,
- inicjowania i stymulowania procesów geodynamicznych,
- kształtowania powierzchni terenu i naruszenia układu warstw,
- powstawania gruntów antropogenicznych i składowania odpadów,
- dewastacji i degradacji terenu w wyniku eksploatacji odkrywkowej i otworowej kopalin.

Podane czynniki i zjawiska z uwagi na ich różnorodność, specyfikę oddziaływań i zasięg muszą być badane indywidualnie, przy zastosowaniu odpowiednich metod, uzależnionych dodatkowo od charakteru inwestycji i sposobu zagospodarowania terenu.

4.2.1. Odkształcenia na skutek eksploatacji podziemnej

Największe znaczenie mają przekształcenia powierzchni terenu związane z eksploatacją podziemną kopalin. Są to deformacje ciągłe — niecki osiadań lub trudne do przewidzenia deformacje nieciągłe. Deformacje ciągłe są wywołane głęboką eksploatacją górnictwem kopalin. Przybierają one formę tzw. niecki, której wymiary i inne parametry można dość precyzyjnie prognozować na podstawie budowy geologicznej złoża i danych planowanej eksploatacji i jej zasięgu. Jak wynika z obserwacji i pomiarów na obszarze eksploatacji węgla kamiennego w Polsce, obniżenie terenu może przekroczyć nawet 20 m. Głębokość obniżeń powoduje, że w strefie niecki następuje naruszenie struktury i tekstury mas skalnych i w konsekwencji zmiana

właściwości fizycznych oraz mechanicznych. Jednocześnie powstaje nowy układ hydrodynamiczny wód podziemnych i powierzchniowych. Mogą uruchamiać się procesy sufozyjne i osuwiskowe.

Zagrożenia dla zabudowy w strefie niecki są zróżnicowane. Najmniejsze w strefie środkowej, największe w strefie brzeżnej wewnętrznej, gdzie powstaje najwięcej szkód budowlanych, i w strefie brzeżnej zewnętrznej, gdzie działają siły rozciągające powodujące dużo szkód budowlanych, zwłaszcza w obiektach liniowych.

Przydatność terenu niecki do zabudowy zależy od wyznaczonej kategorii deformacji górniczych. Wyróżnia się V kategorii, z których:

I i II — umożliwia budowę przy niewielkim lub umiarkowanym wzmocnieniu konstrukcji,

III i IV — na obszarach tych kategorii są wykonywane obiekty wymagające specjalnych, kosztownych zabezpieczeń i możliwości budowy są ograniczone,

V — tereny tej kategorii przeważnie nie nadają się do zabudowy.

Deformacje nieciągłe występują głównie w przypadku płytkiej eksploatacji górniczej i w strefach zaangażowanych tektonicznie, a szczególnie w strefach uskoków geologicznych. Mają one formy zapadłisk o stosunkowo niewielkich wymiarach. Na powierzchni zaznaczają się jako rowy i leje. Powstawanie tych form jest trudne do prognozowania.

4.2.2. Wyciskanie podłoża wokół składowisk kopalnianych

Proces ten ma charakter lokalny, wpływa jednak na zagospodarowanie terenu w strefach bezpośrednio związanych ze składowiskami odpadów kopalnianych lub zwałowisk.

4.2.3. Osiadanie powierzchni terenu na skutek odwodnień

Zmiany reżimu wód podziemnych są jedną z najczęściej występujących przyczyn odkształceń powierzchni terenu. Zmiany te mogą być spowodowane:

— intensywną, nadmierną i długotrwałą eksploatacją wód podziemnych dla celów pitnych lub przemysłowych,

— odwadnianiem utworów nadkładu i serii złożowych w celu umożliwienia eksploatacji górniczej odkrywkowej lub podziemnej,

— drenażem płytkich wód gruntowych na obszarach sedymentacji organicznej.

Mechanizm odkształceń powierzchni terenu we wszystkich przypadkach jest podobny i wiąże się z konsolidacją warstw gruntów w wyniku odprowadzania wody znajdującej się w porach gruntu.

4.2.4. Zmiany powierzchni na skutek makroniwelacji

W związku z ogromnymi możliwościami technicznymi wiele dużych inwestycji budowlanych wykonuje się po uprzednim ukształtowaniu powierzchni terenu, obejmującym niekiedy dziesiątki, a nawet setki hektarów. Makroniwelację na dużą skalę prowadzi się przy budowie autostrad (w skrajnych przypadkach na 1 km autostrady przemieszczane są grunty objętości do 40 tys. m) oraz przy pracach rekultywacyjnych składowisk i wyrobisk. Makroniwelację prowadzi się w rejonach znacznych obszarów niecek osiadań i składowisk (hałdy powęglowe).

4.2.5. Deformacje powierzchni powstające w wyniku eksploatacji otworowej siarki

W miarę postępu eksploatacji na poszczególnych polach, obniżanie powierzchni terenu podlega dynamicznym przemianom. Stabilizacja następuje po kilkuletnim okresie od zakończenia eksploatacji. Rekultywacja i zagospodarowanie takich obszarów, gdzie obniżenia mogą dochodzić do kilku metrów, są bardzo trudne.

4.2.6. Zmiany powierzchni terenu na skutek składowania odpadów i gruntów nadkładu w kopalniach odkrywkowych

Szczególnie znaczącą rolę w środowisku odgrywiają zwałowiska nadkładu kopalń węgla brunatnego i siarki. Są one trudne do zagospodarowania, rozwijają się na ich zboczach erozja i procesy osuwiskowe. Na przedpolach składowisk niekiedy powstają deformacje na skutek wypierania gruntów.

4.2.7. Zmiany powierzchni terenu w wyniku eksploatacji odkrywkowej

Poważnym zagrożeniem dla środowiska powodującym jego dewastację są pozostawione nie rekultywowane wyrobiska poeksploatacyjne. Na obszarach tych rozwijają się na dużą skalę procesy geodynamiczne, kształtujące nowe zarysy wyrobisk. Następuje zmiana stosunków wodnych, stwarza się możliwość łatwego zanieczyszczenia wód podziemnych i tworzenia „dzikich” składowisk odpadów.

4.2.8. Powstawanie i składowanie gruntów antropogenicznych

Grunty antropogeniczne powstają w wyniku przemieszczania i składowania gruntów naturalnych, zwałowania nadkładu i jako odpad przemysłowy oraz jako odpad związany z bytowaniem człowieka. Szczególnie odpady przemysłowe mają często charakter odpadów masowych i wykazują przy tym duże zróżnicowanie właściwości chemicznych, fizycznych i mechanicznych. Odpady bytowe to przede wszystkim odpadki z gospodarstw domowych, odpady gospodarcze z zakładów przemysłowych, osady z oczyszczalni ścieków, gruz budowlany.

Pomimo ogólnej, zdecydowanej tendencji do wykorzystania gospodarczego odpadów, a także minimalizacji ich powstawania, przede wszystkim metodami technologicznymi, duże ilości gruntów antropogenicznych podlegają składowaniu.

Składowanie odpadów zgodnie z Ustawą o odpadach z dnia 27.06.1997 r. jest formą ich unieszkodliwiania. Może się ono odbywać na składowiskach podziemnych, nadziemnych i mieszanych, przy czym składowanie nadziemne, mimo że jest prostsze technologicznie, a przez to bardziej preferowane przez inwestorów, wpływa niekorzystnie na warunki krajobrazu.

Istotny wpływ na środowisko geologiczne ma sposób składowania, przy czym wyróżnia się tu:

— składowanie „na sucho” poprzez mechaniczne zwałowanie materiału (zwałowiska nadkładu z kopalni odkrywkowych),

— składowanie „na mokro” w odpowiednio przygotowanych stawach osadowych, gdzie materiał jest transportowany wodą i sedymentowany w składowisku, a wody określane jako nado-

sadowe są odprowadzane poza składowisko i najczęściej użyte po uzdatnieniu do ponownego transportu w obiegu zamkniętym.

Procesy składowania, utrzymania składowiska i jego rekultywacji oraz zagospodarowania w sposób istotny wpływają na środowisko przyrodnicze, a szczególnie na środowisko geologiczne. Przeciwdziałać temu mają systemy izolacyjno-drenażowe dna, zboczy i czaszy przykrywającej składowisko. Wymaga to jednak odpowiedniego do warunków geologicznych doboru rodzaju uszczelnień (mineralne warstwy uszczelniające, geomembrany, bentomaty i inne uszczelnienia sztuczne).

Należy stwierdzić, że większość starych składowisk w Polsce nie posiada odpowiedniej izolacji i w przewadze w sposób niekorzystny oddziałuje na środowisko. Wyjątkowo groźne są oddziaływania dużych składowisk, znajdujących się na obszarach braku naturalnych warstw izolacyjnych, a zwierciadło wody występuje dość blisko powierzchni terenu (np. obszary dolin rzecznych).

4.2.9. Obszary zdewastowane

Do obszarów zdewastowanych należy zaliczyć:

- nie zrehabilitowane i nie zagospodarowane obszary eksploatacji odkrywkowej,
- obszary nie zrehabilitowanych i nie zagospodarowanych składowisk przy szczególnie intensywnym niszczeniu środowiska wokół składowiska,
- opuszczone poligony wojskowe, co jest sytuacją specyficzną, związaną ze stacjonowaniem obcych wojsk na terenie naszego kraju; na jednym tylko poligonie zarejestrowano ponad 100 miejsc składowania różnych odpadów i skażeń gleb i gruntów,
- obszary skażone chemicznie, bakteriologicznie i radiologicznie; z doświadczeń dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich wynika, że szczególnie w strefach uprzemysłowionych mogą występować obszary skażone, na których zabudowa mieszkaniowa ze względu na przekroczone normatywy jest niemożliwa,
- zamknięte zakłady produkcyjne, w których produkowane były substancje toksyczne lub na których terenie były składowane różne, często toksyczne odpady.

4.2.10. Skały i grunty o szczególnej podatności na działanie czynników antropogenicznych

Do gruntów i skał o szczególnej podatności na działanie czynników antropogenicznych należą:

Zwietrzliny skał. Usunięcie ich lub częściowe naruszenie profilu prowadzi do uruchomienia procesów wietrzeniowych, a w naszych warunkach klimatycznych przede wszystkim do wietrzenia fizycznego, związanego z deformacjami wilgotnościowymi i zamarzaniem.

Lessy. Zaliczone ze względu na łatwe niszczenie ich struktury przez wodę (deformacje o charakterze zapadowym, erozja, upłynnienie). Nawet nieszczelna rynna czy uszkodzona sieć wodna lub kanalizacyjna może być przyczyną niszczenia struktury tych gruntów i prowadzić do uszkodzeń i katastrof budowlanych. Przy formowaniu sztucznych zboczy w tych gruntach należy brać pod uwagę ich zdolność do kształtowania pionowych ścian. Ocena właściwości tych gruntów powinna być dokonywana po uprzednim dokładnym rozpoznaniu ich struktury.

Skąły i grunty podlegające deformacjom na skutek zmian wilgotności (pęczniejące). Ich właściwości będą uzależnione od stanu nasycenia wodą i jej chemizmu.

Grunty tiksotropowe. Są to grunty pylaste, podlegające upłynnieniu na skutek obciążeń dynamicznych. Szczególnie są podatne na drgania od przejeżdżających pojazdów i pracujących maszyn i urządzeń.

W dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich tę wyjątkową podatność gruntów na działanie czynników antropogenicznych należy uwzględnić przeprowadzając odpowiednie badania.

Ponadto należy jeszcze wskazać na dużą rolę budownictwa lądowego (mieszaniowe, przemysłowe) i budownictwa wodnego w oddziaływaniu na środowisko przyrodnicze, w tym szczególnie na środowisko geologiczne.

Zabudowa i urbanizacja terenu wpływa na ograniczenie powierzchni ekologicznie czynnych, ograniczając tym samym infiltrację, co może doprowadzić do obniżania zwierciadła wody gruntowej. Doprowadzenie do budynków mediów (kanalizacja, wodociągi, ciepło, energia elektryczna, sieć telefoniczna i inne) i wykonanie odpowiednich wykopów wpływa na zmiany właściwości gruntów wokół budynków. Budowa głęboko posadowionych kolektorów może wpływać drenująco na wody podziemne.

Budowa sztucznych zbiorników wodnych powoduje największe zmiany w środowisku. Wpływ ten zależy od: pojemności, powierzchni lustra wody, wysokości piętrzenia, morfologii doliny, warunków geologicznych, hydrogeologicznych, istniejącego zagospodarowania terenu i warunków klimatycznych.

Realizacja tego typu obiektów, zależnie od podanych uwarunkowań, powoduje lub może powodować zmiany:

- hydrogeologiczne,
- hydrauliczne cieków,
- hydrogeologiczne (zmiany dynamiki i chemizmu wód podziemnych),
- klimatyczne,
- fitozoogeniczne,
- zagospodarowania terenu,
- krajobrazu.

Napełnianie zbiorników wodnych może wywołać wstrząsy tektoniczne, uruchomić czynne procesy geodynamiczne, w tym procesy przeróbki brzegowej. Ważne też jest oddziaływanie zbiorników na obiekty zabytkowe i na warunki eksploatacji złóż. Duży zbiornik wodny może oddziaływać na cały odcinek rzeki położony poniżej zapory.

W tej grupie problemów należy jeszcze wskazać na wpływ działalności człowieka na przemienność właściwości gruntów i zmian krajobrazu w wyniku rekultywacji i zagospodarowania terenu.

D. BADANIA DLA RÓŻNYCH RODZAJÓW BUDOWNICTWA

1. BUDOWNICTWO POWSZECHNE

1.1. Dane ogólne

Budownictwo powszechne to głównie budynki zlokalizowane na obszarach osiedlowych i w miastach, ale także na terenach nie uzbrojonych. Przeznaczenie budynków może być mieszkalne, użyteczności publicznej (szpitale, szkoły), przemysłowe, handlowe i inne.

Istotną sprawą dla poprawnego wykonania badań geologicznych przy dokumentowaniu podłoża pod budynek jest ocena konstrukcji budynku ze względu na możliwość przeniesienia przez nią nierównomiernych odkształceń. Należy brać pod uwagę sztywność konstrukcji i także pamiętać, że około 50% odkształceń zachodzi w trakcie budowy obiektu i że z przyrostem liczby kondygnacji sztywność budynku narasta. Budynek, którego wymiary w rzucie odpowiadają wysokości pracuje zazwyczaj już jako sztywna bryła.

Ważnym elementem, który pozwala sterować odkształceniami budynku są dylatacje. Przykładowe odległości między dylatacjami ze względów konstrukcyjnych wynoszą:

- budynki murowane — 50 m,
- budynki szkieletowo-żelbetowe — 40–60 m,
- budynki stalowe (hale) — 120 m,
- budynki stalowe wielokondygnacyjne — 60 m,
- budynki monolityczne z betonów niezbrojonych — 20 m.

Posadowienie pośrednie (na palach). W przypadku występowania gruntów nienośnych do znacznej głębokości poniżej poziomu posadowienia należy przewidywać, że budynku nie będzie można posadowić bezpośrednio na gruncie, a obciążenie na podłoże będzie przekazywane przez np. pale. Jest wiele rodzajów pali obecnie stosowanych w fundamentowaniu. Dobór pali nie należy do zadań geologa inżynierskiego. Należy natomiast badania wykonywać tak, by rozpoznać całą miąższość gruntów słabych pod obiektem oraz podłoże nośne, które przeniesie obciążenie.

Budownictwo wysokościowe i głębokie. Brak garaży w centrach miast wywołał konieczność budowania kilku kondygnacji garaży. Głębokość posadowienia budynków wysokościowych osiąga 20 m (5–6 kondygnacji garaży). Budynki wysokościowe buduje się obecnie przy zabezpieczeniu ścian wykopów ścianami szczelinowymi. Bardzo często ściany szczelinowe są jednocześnie ścianami fundamentowymi (nośnymi).

Budynki wysokie to te, których wysokość przekracza 8–9 kondygnacji lub 25 m, natomiast budynki wysokościowe mają wysokość powyżej 55 m. Budynki te wywierają znaczne obciążenia na podłoże. Ze względu na parcie wiatru wywołują obciążenia nierównomierne pod rzutem budynku.

Dla wysokich budynków oprócz nośności podłoża należy sprawdzać też stateczność oraz osiadanie. Dokumentacja geologiczna powinna dostarczyć informacji do tych obliczeń projektowych. Przy tych problemach konieczny jest udział w dokumentowaniu projektanta geotechnicznego.

Badania geologiczno-inżynierskie dla budynków wykonuje się głównie w celu określenia warunków zagospodarowania i zabudowy terenu. Prawidłowo wykonane badania wystarczają na ogół bez uzupełnień do studium projektu budowlanego. W przypadku zmiany kategorii geotechnicznej lub zmian warunków budowlanych należy badania uzupełnić, rozwiązując podane przez projektanta problemy. Jest to na ogół faza dokumentowania geotechnicznego rozwiązująca dokładnie problemy projektu.

1.2. Analiza założeń projektowych inwestycji

Analiza założeń projektowych powinna uwzględniać:

- lokalizację i rodzaj projektowanej inwestycji,
- wzajemne zależności technologiczne, komunikacyjne i inne, decydujące o lokalizacji poszczególnych obiektów lub ich zespołów,
- konstrukcje projektowanych obiektów, wartość dopuszczalnych całkowitych osiadań i ich nierównomierność, rodzaje instalacji i przeznaczenie pomieszczeń poniżej poziomu terenu,
- sposób wpływu projektowanej inwestycji na zmianę ukształtowania istniejącego terenu i warunki wodno-gruntowe środowiska.

Analizę należy rozpocząć od szczegółowego zapoznania się z podstawowym planem lub zagospodarowaniem terenu. W wyniku tej analizy należy ustalić:

Dla budownictwa mieszkaniowego:

- liczbę, rodzaj i wielkość projektowanych obiektów i ich przeznaczenie,
- układ komunikacyjny (drogi, ulice),
- lokalizację zieleńców, placów, pawilonów usługowych i zaopatrzenia,
- uzbrojenie energetyczne, ciepłone, telekomunikacyjne i inne.

Dla budownictwa przemysłowego:

- liczbę, rodzaj i wielkość projektowanych obiektów, ich przeznaczenie, powiązania pod względem funkcjonalnym i technologicznym,
- układ dróg komunikacyjnych wewnątrzakładowych placów, składowisk bocznic kolejowych i powiązania ich z istniejącą siecią komunikacyjną,
- sieć gospodarki ściekowej, wodnej, centralnego ogrzewania, elektrycznej, sieci przemysłowe, sanitarne i wód opadowych, urządzenia oczyszczalni ścieków, ujęcia wody pitnej,

przemysłowej, sprężonego powietrza, gazu, łączności, rurociągów produkcyjnych i inne instalacje przemysłowe.

Istotna jest także analiza planu zagospodarowania terenu na tle obecnego ukształtowania terenu, szczególnie pod kątem:

- makroniwelacji terenu i jej wpływu na zmianę dotychczasowych stosunków wodnych (zlewnie, rowy melioracyjne, podniesienie się poziomu wód gruntowych, odwodnienie itp.),
- zmiany warunków klimatycznych i glebowych na skutek np. wycięcia drzew,
- wpływu kolejności wykonania robót na ewentualne zmiany zawilgocenia podłoża gruntowego,
- doboru głębokości wykopów i wysokości projektowanych nasypów z uwagi na nośność gruntów,
- określenie warunków i możliwości posadowienia obiektów na nasypach.

Odrebne zagadnienie stanowi analiza konstrukcji budowli. Dane te są zawarte w części architektoniczno-konstrukcyjnej i w odpowiednich opisach technicznych projektowanych obiektów.

Programujący badania powinien poznać konstrukcję projektowanych obiektów, wielkość obciążeń stałych i zmiennych oraz układ funkcjonalny budynku i ocenić wrażliwość obiektu na nierównomierne osiadania.

1.3. Projekt badań

Przed wykonaniem projektu prac geologicznych należy uzyskać:

1. Aktualny plan geodezyjny w podziałce 1:500 lub 1:1000 z pieczętką dla celów projektowania, z którego odczytuje się:

- położenie działki, jej wielkość, różnice poziomów na działce, położenie w stosunku do ulicy i stron świata,
- usytuowanie przewodów kanalizacyjnych, wodociągowych, centralnego ogrzewania, elektrycznych itp.

2. Wymagania władz budowlanych dotyczące zabudowy, tj. decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu.

3. Wymagania inwestora przetworzone przez architekta w plan zagospodarowania działki lub podane w formie programu użytkowania obiektu.

4. Informacje o rodzaju konstrukcji, która ma być zastosowana, głębokości posadowienia, liczbie kondygnacji podziemnych i naziemnych, wielkości obciążeń, specjalnych wymagań dotyczących izolacji itp.

5. Inne informacje:

- gdzie został zrealizowany podobny obiekt, czy możliwe jest jego obejrzenie,
- jak wygląda otoczenie działki, czy jest opracowana ocena oddziaływania na środowisko obiektu, co z niej wynika dla projektu prac geologicznych,
- jakie są wymagania obiektu w zakresie infrastruktury podziemnej,
- czy są dokumentacje geologiczno-inżynierskie dla sąsiednich terenów, profile otworów i studni,
- dane z literatury dotyczące obszaru, na którym znajduje się obiekt.

Rodzaj i liczbę niezbędnych punktów badawczych oraz ich rozmieszczenie ustala się zależnie od stopnia wstępnego rozpoznania geologicznego terenu, warunków gruntowych i wodnych

**Liczba punktów obserwacyjnych dla budynków (budownictwo powszechne)
w zależności od powierzchni projektowanej zabudowy**

Powierzchnia zabudowy (m)	Liczba punktów
do 600	3–5
600–1500	5–8
1500–5000	8–12
5000–20000	12–20
powyżej 20000	5–8 na każdy następny ha

oraz projektowanej zabudowy (tab. 23). Nowe punkty sytuuje się zwykle 2–3 m poza obrysem budynku, a w przypadku budowli wielonawowych również w osiach słupów wewnętrznych. Dla jednego budynku o powierzchni mniejszej niż 600 m², przy braku otworów w sąsiedztwie, należy wykonać co najmniej trzy otwory wiertnicze lub szurfy w przypadku występowania gruntów litych lub ich zwierzdelin. Dla obiektów o powierzchni większej niż 600 m² liczbę otworów lub szurfów należy zwiększać, przy czym odległość między nimi nie powinna przekraczać 30–50 m.

Głębokość otworów przy rozpoznaniu gruntu pod budynki powinna wynosić co najmniej głębokość posadowienia budynku + 2B w przypadku posadowienia na ławach i stopach, gdzie B — przypuszczalna szerokość ławy lub większego wymiaru stopy, lecz nie mniej niż 3 m. W przypadku posadowienia na płycie — głębokość posadowienia budynku + mniejszy wymiar rzutu budynku. W przypadku stwierdzenia w poziomie poniżej zakładanej głębokości wierceń gruntów organicznych lub spoistych miękkoplastycznych, należy otwory przegłębić do wyjaśnienia głębokości występowania gruntów słabych.

Rozpoznanie pod głębokie posadowienie wymaga siatki wierceń jak dla budynków lub gęściej, gdy należy okonturować obszar występowania gruntów silnie odkształcalnych (organicznych, spoistych, płynnych lub miękkoplastycznych).

Rozpoznanie pod budynki z głębokim posadowieniem (kilka kondygnacji piwnic, budynki na palach) należy wykonywać do głębokości co najmniej:

- a) założenia głębokiego posadowienia (ścian szczelinowych czy konstrukcji osłonowych wykopu) + 5 m,
- b) co najmniej jeden otwór powinien spełniać wymagania dotyczące jak posadowienia na płycie.

Gdy podłoże jest praktycznie nieodkształcalne można stosować jedynie warunek a.

1.4. Badania terenowe

Oprócz wierceń i sondowań oraz innych badań wykonywanych zgodnie z rozdziałem B.5 należy podczas prac terenowych wykonać dodatkowe obserwacje. Są to:

- zbadanie głębokości posadowienia i zachowania się konstrukcji obiektów sąsiednich,

- zebranie materiałów i sprawdzenie w terenie głębokości ułożenia istniejących instalacji podziemnych,
- obserwacje w sąsiednich budynkach podpiwniczonych, czy nie były zalane wodą (w jakich okresach i do jakich poziomów),
- obserwacje maksymalnych poziomów wód w rzekach, strumykach, ciekach wodnych i zbiornikach,
- szczegółowe rozpoznanie ukształtowania terenu oraz możliwości odwodnienia powierzchniowego,
- zbadanie możliwości zastosowania drenażu z grawitacyjnym odprowadzeniem wód gruntowych,
- zbadanie, czy na rozpoznanej działce nie istniała dawniej zabudowa (jeśli tak, to jaka?),
- ustalenie, czy w podłożu istnieją fragmenty starych fundamentów lub instalacji podziemnych.

1.5. Badania laboratoryjne

Z pobranych w trakcie badań terenowych próbek należy wykonać badania laboratoryjne identyfikacyjne (zawsze) oraz wytrzymałości i odkształcalności gruntów w miarę potrzeb dla II i III kategorii geotechnicznej. Liczbę i rodzaj badań laboratoryjnych należy określić w programie badań geologicznych zgodnie z zasadami rozdziału B.6.

1.6. Dokumentacja z badań

Dokumentację z badań należy wykonać zgodnie z rozdziałem B.9.

Dokumentacja musi zawierać w części graficznej:

- plan lokalizacji wierceń,
- przekroje geologiczne uwzględniając genezę, litologię, stan gruntów,
- tabelę właściwości gruntów przy uogólnieniu zbadanych profilów do jednorodnych warstw,
- w miarę potrzeb mapy stropów, miąższości itp. wyróżnionych warstw.

W części tekstowej dokumentacja powinna zawierać wszystkie informacje o terenie, budowie geologicznej, właściwościach gruntów. Dodatkowo przy dokumentacjach budynków należy rozpatrzyć następujące problemy:

- wielkość i kształt budynku w rzucie, przeznaczenie budynku, liczbę kondygnacji, rozmieszczenie dylatacji, lokalizację budynków sąsiednich,
- rodzaj konstrukcji i układ elementów nośnych (konstrukcja szkieletowa, halowa, ściany nośne podłużne lub poprzeczne, tarczownice, łupiny, sklepienia itp.) oraz ich wrażliwość na nierównomierne osiadania,
- stosunek obciążeń stałych do zmiennych, przebieg wzrostu obciążeń zmiennych w czasie,
- wielkość i zróżnicowanie nacisków,
- rzędne poziomu parteru i terenu zaprojektowanego i istniejącego oraz poszczególnych części fundamentów i pomieszczeń podziemnych,

- rozmieszczenie piwnic w planie i pionie,
- rodzaj i charakter dynamicznych obciążeń (jeśli występują),
- graniczne wartości wielkości osiadań w czasie oraz przechyleń obiektów budowlanych,
- przewidywane podniesienie terenu istniejącego (rampy, dojazdy) lub wykopy po wykonaniu stanu zerowego,
- konieczność trwałego lub na czas robót odwodnienia terenu, wykopu fundamentowego lub podpiwniczeń oraz warunki eksploatacji, np. możliwości przemarzania gruntu pod posadzkami chłodni składowych, możliwości przenikania agresywnych ścieków produkcyjnych pod posadzki i fundamenty, wysokie temperatury pod fundamentami pieców i kotłów,
- warunki eksploatacji dróg, placów, składowisk, bocznic kolejowych (ramp) oraz głębokości ułożenia sieci kanalizacyjnych (ścieki, wody opadowe, ścieki przemysłowe), przewodów i kabli.
- rozpoznanie obiektów ochrony środowiska.

1.7. Awaria lub katastrofa

Z punktu widzenia geologiczno-inżynierskiego uszkodzenia i awarie budowli można podzielić na dwie grupy:

- awarie powstałe bez udziału podłoża i fundamentów, np. rysy i pęknięcia wywołane skurczem elementów budowli, pęknięcia i zaważenia się stropów nadmiernie obciążonych, awarie wywołane nieprawidłową kolejnością montażu budowli itp.,

- awarie powstałe na skutek odkształceń podłoża gruntowego i fundamentów oraz braku odpowiedniego przygotowania budowli do przeniesienia odkształceń podłoża.

W przypadku zaistnienia awarii lub katastrofy należy na początku określić, czy zdarzenie może mieć przyczyny związane z podłożem.

Przyczyny, które mogą wywołać odkształcenie podłoża gruntowego i fundamentów, to:

- nierównomierna i duża ściśliwość podłoża gruntowego (np. występowanie pod częścią budynku soczewek gruntów organicznych lub nie zagęszczonych gruntów nasypowych),

- duża różnica obciążeń fundamentów nie zdylatowanych części budowli,

- przekroczenie wytrzymałości gruntu (wypieranie gruntu spod fundamentu, np. przy małej głębokości posadowienia fundamentów względem przyległego naziomu),

- ubytek gruntu pod fundamentami spowodowany np. podmyciem i wypłukiwaniem gruntu,

- odkrycie fundamentów istniejącej budowli na całej długości (ściany szczytowe) i powstanie wypierania gruntu spod fundamentu,

- przemarzanie lub pęcznienie i wysychanie gruntu pod fundamentami budowli (podłoże z gruntów spoistych),

- pęknięcie przewodów wodociągowych lub kanalizacyjnych i uplastycznienie gruntów spoistych albo rozluźnienie gruntów piaszczystych pod fundamentami budowli,

- przedostawanie się wody opadowej z dachów budynków lub z terenu przyległego do budynku (jest to szczególnie niebezpieczne przy występowaniu w podłożu lessów i gruntów ekspansywnych, nie będących w stanie nasycenia $S_r < 0,95$),

- wykonanie nowej budowli w sąsiedztwie istniejącej,

- późniejsze założenie sieci wodociągowo-kanalizacyjnej przy fundamentach istniejącego budynku na głębokości większej od poziomu posadowienia fundamentów,
- późniejsze wykonanie w bliskiej odległości od istniejącego budynku wykopów lub nasypów,
- spowodowanie w bezpośrednim sąsiedztwie istniejącego budynku obniżenia zwierciadła wody gruntowej (rozluźnienie naturalnej struktury gruntów piaszczystych pod fundamentami istniejącego budynku),
- podbijanie istniejących fundamentów,
- wstrząsy wywołane obciążeniami komunikacyjnymi lub innymi drganiami.

Pierwsze oględziny terenu i sąsiedztwa oraz uszkodzonej budowli powinny już wskazać kierunek badań, głównie czy awaria ma przyczyny gruntowe. Wykrycie przyczyn powstania uszkodzeń to podstawowa czynność, od której należy zacząć, by opracować program badań.

W przypadku wykonania nowych obiektów przy istniejących fundamentach badania powinny być przeprowadzone na głębokość około 3–5 m poniżej poziomu posadowienia. Badania polowe i laboratoryjne gruntów powinny dostarczać parametrów, które są potrzebne do obliczeń zabezpieczeń.

Wiercenia i badania powinny obejmować przede wszystkim te miejsca, w których powstały pęknięcia konstrukcji budynku i inne widoczne odkształcenia konstrukcji lub gruntu. W przypadku występowania w podłożu gruntów o dużej ściśliwości (np. namulów, torfów, gruntów spoistych w stanie miękkoplastycznym albo gruntów nasypowych) należy je okonturować w planie i przekroju.

W razie wykonania w bezpośrednim sąsiedztwie uszkodzonego budynku nowych obiektów należy zbadać, czy ich wykonanie nie wpłynie na powstanie uszkodzeń, np. wykonanie głębszych wykopów przy istniejących budynkach może naruszyć stateczność tych obiektów (obrót, wypieranie gruntu spod fundamentu i inne).

Niezależnie od badań podłoża należy:

- a) zbadać rodzaj i stan fundamentów budynku, głębokość posadowienia (wykonać odkrywki fundamentów),
- b) wykonać inwentaryzację fundamentów,
- c) wykonać inwentaryzację powstałych uszkodzeń i zebrać informacje o czasie pojawienia się rys, pęknięć i innych odkształceń konstrukcji budowli.

2. BUDOWNICTWO WODNE

2.1. Dane ogólne

Ze względu na niepowtarzalny, prototypowy charakter każdego stopnia wodnego, określenie szczegółowego zakresu badań nie jest możliwe. Z tego powodu niniejsze wytyczne zawierają ogólne wskazówki w formie wyszczególnienia haseł lub zagadnień, które w trakcie badań, a szczególnie podczas projektowania prac geologicznych, należy rozwiązać. Propozycje dotyczące rodzajów badań i ich zakresu mają charakter orientacyjny i muszą być każdorazowo

dokładnie przystosowane do konkretnych warunków geologicznych i wymagań techniczno-budowlanych przy stałej współpracy z projektantem–hydrotechnikiem.

Projekt prac należy opracować zgodnie z zasadami ogólnymi podanymi w rozdziale A. Ze względu na charakter inwestycji projekt prac geologicznych powinien obejmować odpowiednie badania dla całego obszaru inwestycji (zapora czołowa, boczna, zbiornik, złoża, drogi itp.), wraz z obszarem wpływu realizacji stopnia wodnego na otoczenie z obiektami towarzyszącymi oraz z uwzględnieniem możliwych wariantów lokalizacji szczegółowej obiektów.

Dla większych inwestycji hydrotechnicznych należy rozważyć celowość opracowania szczegółowego harmonogramu, najlepiej metodą decydujących ciągów. Obiekty hydrotechniczne należą do tych inwestycji, dla których wykonuje się prawie wszystkie roboty i badania wymienione w tabeli 1.

2.2. Kartowanie geologiczno-inżynierskie

W celu znacznego uproszczenia i ułatwienia czynności podczas kartowania geologiczno-inżynierskiego zaleca się korzystanie ze stereogramów zdjęć lotniczych i cyfrowej ortofotomapy, szczególnie w przypadku stosowania komputerowego wspomaganie projektowania obiektów z wykorzystaniem cyfrowego modelu terenu. Ogólny schemat i współzależność czynności projektanta, geodety i geologa podano na rysunku 9.

Kartowanie geologiczno-inżynierskie należy wykonać zgodnie z projektem prac, z tym że dokładność (gęstość punktów dokumentacyjnych na 1 km²) należy ściśle uzależnić od stopnia złożoności budowy geologicznej i charakterystyki obiektów hydrotechnicznych (Instrukcja..., 1998a). W skalach 1:5000–1:25 000 kartuje się zwykle czaszę zbiornika zapory, obszary przyległe i obszary wpływu piętrenia. Obszar wpływu zbiornika obejmuje sąsiedztwo do linii, wzdłuż której spodziewane podniesienie wód gruntowych pod wpływem piętrenia będzie wynosić około 10 cm.

Z większą dokładnością odpowiadającą skali 1:5000–1:10 000 należy kartować obszary występowania torfów i namulów oraz występowania zjawisk geodynamicznych. Rejon zapory czołowej, szczególnie w przypadku badań w kilku wariantach przy skomplikowanej budowie geologicznej, powinien osiągnąć dokładność rozpoznania wierceniami odpowiadającą skali 1:500–1:5000. Uwaga powyższa dotyczy również małych obszarów występowania intensywnych zjawisk geodynamicznych na brzegach zbiornika, a szczególnie w przyczółkach zapór.

2.3. Badania geofizyczne masywów skalnych

W celu ogólnego rozpoznania masywów skalnych w rejonie zapór stosuje się dwie główne grupy metod — geoelektryczne i sejsmiczne.

Z metod geoelektrycznych są przydatne:

— metoda elektrooporowa stosowana głównie do wydzielenia zespołów litologicznych w masywie skalnym,

— metoda sondowań kołowych pozwalająca określić dominujące biegi spękań i zmiany w intensywności występowania spękań ze wzrostem głębokości.

Z metod sejsmicznych stosuje się:

- metodę refrakcyjną do określenia zasięgu stref zwietrzenia i odprężenia, granic poszczególnych kompleksów litologicznych (celowe interpretowanie w nawiązaniu do wyników uzyskanych metodą elektrooporową), zmienności wartości modułów sprężystości i liczby Poissona, przebiegu dyslokacji nieciągłych (uskoków),

- metodę prześwietlania sejsmicznego do wykrywania lokalnych niejednorodności masywu, np. kawern, chodników, sztolni,

- metodę akustyczną (stosowane dwie metody: profilowania akustycznego i prześwietlania — międzyotworową) do określania szczelinowatości podłoża skalnego (określa się tzw. współczynniki szczelinowatości istotne z punktu widzenia zdolności przepuszczalności wody i kontroli skuteczności cementacji), strefy naruszenia masywu wokół wyrobisk i badania jakości betonu w budowlu piętrzącej.

W powiązaniu z metodami teledetekcyjnymi, szczególnie z interpretacją zdjęć satelitarnych, mogą być stosowane metody telluryczne i magnetotelluryczne w badaniach regionalnych głębokich struktur geologicznych (szczególnie dyslokacji w podłożu skalnym pod przykryciem gruntami miąższości przeważnie do kilkunastu metrów) i pomiarów terenu pierwotnego.

2.4. Badania geofizyczne na Niziu Polskim

W celu rozpoznania podłoża gruntowego stosuje się:

- metodę elektrooporową (sondowanie i profilowanie), która z wystarczającą dokładnością pozwala w nawiązaniu do reperowych wierceń wyznaczyć występowanie i przebieg głównych warstw,

- metodę polaryzacji wzbudzonej, stosowaną jako uzupełnienie metody elektrooporowej w przypadku występowania mało kontrastowych sekwencji warstw piaszczysto-ilastych,

- metodę sejsmiki refrakcyjnej (inżynierskiej) przydatnej w warunkach płytkiego występowania podłoża skalnego (do określenia stropu podłoża skalnego oraz miąższości strefy zwietrzałej),

- metodę radiofalową (VLP) do lokalizacji płytkiej tektoniki,

- metodę trójelektrodową do pomiaru oporu właściwego gruntu, szczególnie przydatną do przypowierzchniowego rozpoznania warstw gruntów do głębokości 10–15 m; często stosowana w układzie sondy uniwersalnej, gdzie w połączeniu z metodami radiometrycznymi pozwala szczegółowo rozpoznać zmiany właściwości podłoża gruntowego; znajduje również duże zastosowanie w dokładnym określaniu ekranów izolujących.

Do określenia ruchu wód (kierunek, prędkość), współczynnika filtracji, kontaktów hydraulicznych warstw i uprzywilejowanych dróg krążenia stosowane są:

- metoda potencjałów własnych do lokalizacji obszarów, gdzie następuje wpływ lub infiltracja wód przez warstwy przypowierzchniowe,

- metody elektrooporowe, które w sprzyjających warunkach umożliwiają poprzez związki korelacyjne określić średni współczynnik filtracji warstw wodonośnych na podstawie oporności pozornej,

- metody wskaźnikowe, stosowane do wyznaczania prędkości i kierunku ruchu wód, współczynnika filtracji utworów, dróg krążenia i stref ucieczek wód ze zbiorników.

W celu określenia przewodnictwa wody i jej mineralizacji są stosowane metody geoelektryczne, które w wyniku kartowania geofizycznego terenu pozwalają określić kontakty wód o różnym przewodnictwie.

Dobór metod i lokalizację pomiarów należy projektować na podstawie wcześniej wykonanej interpretacji geologicznej zdjęć lotniczych, map geologicznych i materiałów archiwalnych. W poszczególnych przypadkach mogą znaleźć się oprócz wymienionych następujące metody: magnetyczna, geofizyki jądrowej i wiertniczej (profilowanie), geotermiczna, grawimetryczna i georadarowa.

Badania geofizyczne należy wykonać w dwóch lub więcej etapach, przy czym pierwszy etap badań geofizycznych w celu ogólnego rozpoznania budowy geologicznej powinien wyprzedzać wiercenia.

W trakcie opracowywania planu technicznego badań geofizycznych zaleca się wykonanie krótkiego zwiadu terenowego, którego celem jest określenie możliwości stosowania danej metody geofizycznej, kontrastu geofizycznego i optymalnych warunków metodycznych. Należy dążyć do wykorzystania otworów archiwalnych jako otworów reperowych.

2.5. Roboty geologiczne

Roboty geologiczne dostarczają informacji bezpośrednich i najbardziej dokładnych. Są one jednak w stosunku do innych badań bardzo drogie i punktowe w przypadku wierceń i szybików lub liniowe w przypadku rowów i sztolni. Duże koszty zmuszają do bardzo oszczędnego wykonywania tego rodzaju robót geologicznych. W razie konieczności stwierdzenia powierzchni poślizgu osuwisk i pobrania próbek gruntów i skał są one jednak niezbędne.

2.6. Badania polowe skał

Parametry fizyczne i mechaniczne wyznacza się w różnego rodzaju wyrobiskach powierzchniowych i wgłębnych. Lokalizacja stanowisk badawczych powinna być tak zaprojektowana, aby z jednej strony uzyskane wyniki były reprezentatywne dla poszczególnych kompleksów litologicznych, a z drugiej charakteryzowały skały na dużym obszarze. Właściwe jest uzupełnienie terenowych badań wytrzymałościowych skał wynikami badań próbek skalnych w laboratorium.

Badaniami polowymi są określane następujące właściwości skał:

- wytrzymałość na ścinanie, głównie metodą bezpośredniego ścinania,
- moduł sprężystości i moduł odkształcenia, przede wszystkim metodą jednoosiowego obciążenia,
- wodochłonność w otworach wiertniczych.

W prowadzeniu wierceń z ciągłym rdzeniowaniem, wykonywaniu szybików, sztolni itp. należy zbierać następujące informacje:

- opis makroskopowy skał — rodzaj skały, struktura, tekstura, uziarnienie, spękania, pomiary skleroskopem,

— wydzielenie przewarstwień zbudowanych ze skał bardzo miękkich, rozsypujących się, szybko rozmakających, kruchych,

— o technologii wykonywania prac, wierceń.

W dokumentowaniu podłoża obiektów hydrotechnicznych szczególną uwagę należy zwrócić na opracowanie zagadnień szczelinowatości masywu. Szczelinowatość jako podstawowa cecha strukturalna ma decydujące znaczenie przy rozpatrywaniu wytrzymałości, odkształcalności i przepuszczalności masywów skalnych.

Konieczna jest znajomość następujących parametrów szczelinowatości:

- orientacji przestrzennej spękań,
- liniowych wymiarów spękań,
- stopnia spękania masywu skalnego,
- stopnia rozdzielności masywu skalnego,
- porowatości szczelinowej,
- cech fizycznych powierzchni spękań.

Badania szczelinowatości należy wykonywać:

- w odsłonięciach naturalnych i sztucznych,
- w wyrobiskach powierzchniowych i podziemnych,
- na rdzeniach wiertniczych,
- metodami pośrednimi:
 - a) sondowania telewizyjnego i fotograficznego,
 - b) sondowania i profilowania sejsmicznego i elektrooporowego,
 - c) profilowania gęstościowego gamma-gamma,
 - d) aero- i hydrodynamicznymi.

2.7. Badania polowe gruntów słabych

W rozpoznawaniu słabego podłoża podstawowe są badania metodami polowymi. Badania laboratoryjne ze względu na strukturę gruntów słabych powinny być w zasadzie ograniczone do oznaczania cech wskaźnikowych (np. wilgotność, zawartość części organicznych, zawartość węgla wapnia) i badań uzupełniających.

Do okonturowania gruntów słabych z metod polowych przydatne są sondowania sondą wkręcaną i wciskaną. Sondowania umożliwiają w sposób ciągły scharakteryzowanie jakościowej zmienności wytrzymałości gruntów słabych z głębokością.

Dla projektowania decydujące znaczenie ma określenie:

- wytrzymałości na ścinanie sondą obrotową,
- odkształcalności presjometrem i świdrem talerzowym.

2.8. Badania polowe gruntów gruboziarnistych i kamienistych

Badaniami polowymi można wykonać określenie następujących parametrów charakteryzujących grunty gruboziarniste:

- ciężar objętościowy — metodą pomiaru objętości wykopów (szurfów),

- odkształcalność i wytrzymałość gruntów — próbne obciążenie płytą,
- wodoprzepuszczalność — metodą zalewania wykopów (szurfów).

W celu kontroli osiadań nasypów zbudowanych z gruntów gruboziarnistych można stosować repery powierzchniowe i wgłębne.

2.9. Badania polowe zwietrzelin

Badania terenowe zwietrzelin w szczególnych przypadkach powinny obejmować określenie:

- ciężaru objętościowego zwietrzelin metodą wkopu,
- kąta tarcia wewnętrznego i spójności we wkopie,
- modułu odkształcenia pierwotnego i wtórnego płytą sztywną,
- zmienności wytrzymałości z głębokością presjometrem,
- współczynnika filtracji metodą polową.

2.10. Badania hydrogeologiczne

Rozpoznanie warunków hydrogeologicznych w rejonie projektowanej zapory i zbiornika powinno obejmować następujące elementy:

- stany i wielkości przepływów wód w ujęciu czasowym,
- powodzie, zlodzenia,
- stopień zanieczyszczenia wód, ilość materiału zawieszonoego,
- poziomy wodonośne o zwierciadle swobodnym, napiętym, lokalnie napiętym (określić zasięg),
- inne formy występowania wód (np. zawieszono) o znaczeniu praktycznym dla projektu,
- sączenia i podmokłości, szczególnie występujące na zboczach zbiornika,
- głębokość występowania podłoża nieprzepuszczalnego lub spąg warstwy napinającej,
- określenie kierunków przepływu wód gruntowych,
- określenie źródeł zasilania wód gruntowych,
- określenie wahań wód gruntowych,
- ocena mineralizacji wód gruntowych,
- określenie współczynników filtracji.

2.11. Oznaczenie współczynnika filtracji

Współczynniki filtracji określa się:

- próbnymi pompowaniami w hydrowężle,
- metodą napływu wody do studni,
- metodą zalewania krótkiego piezometru (metoda szczególnie przydatna na obszarach zagrożonych podtopieniem),

- metodami pośrednimi na podstawie krzywej uziarnienia,
- metodami laboratoryjnymi.

Wydzielenie starych zagrzebanych dolin rzecznych i obniżeń umożliwiają metody geoelektryczne i metoda zalewania krótkiego piezometru.

Wyniki badań właściwości filtracyjnych podłoża zapory oraz materiałów lokalnych są niezbędne dla:

- obliczenia filtracji przez podłoże i korpus zapory,
- określenia warunków użytkowania stopnia wodnego,
- określenia trwałości i stateczności podłoża i zapory,
- określenie ilości wody przesączającej przez podłoże i przez zaporę,
- dokonania prognozy wpływu budowy zbiornika na otoczenie.

W nawiązaniu do modelu zlewni, a tym samym do typu przyszłego zbiornika wodnego, należy określić:

- warunki drenażu zlewni z wydzieleniem spływu bezpośredniego,
- położenia zwierciadła wody, jego wahania, kierunki spływu, obszary o wzmożonej infiltracji wód.

2.12. Zależność badań od etapu projektowania obiektów hydrotechnicznych

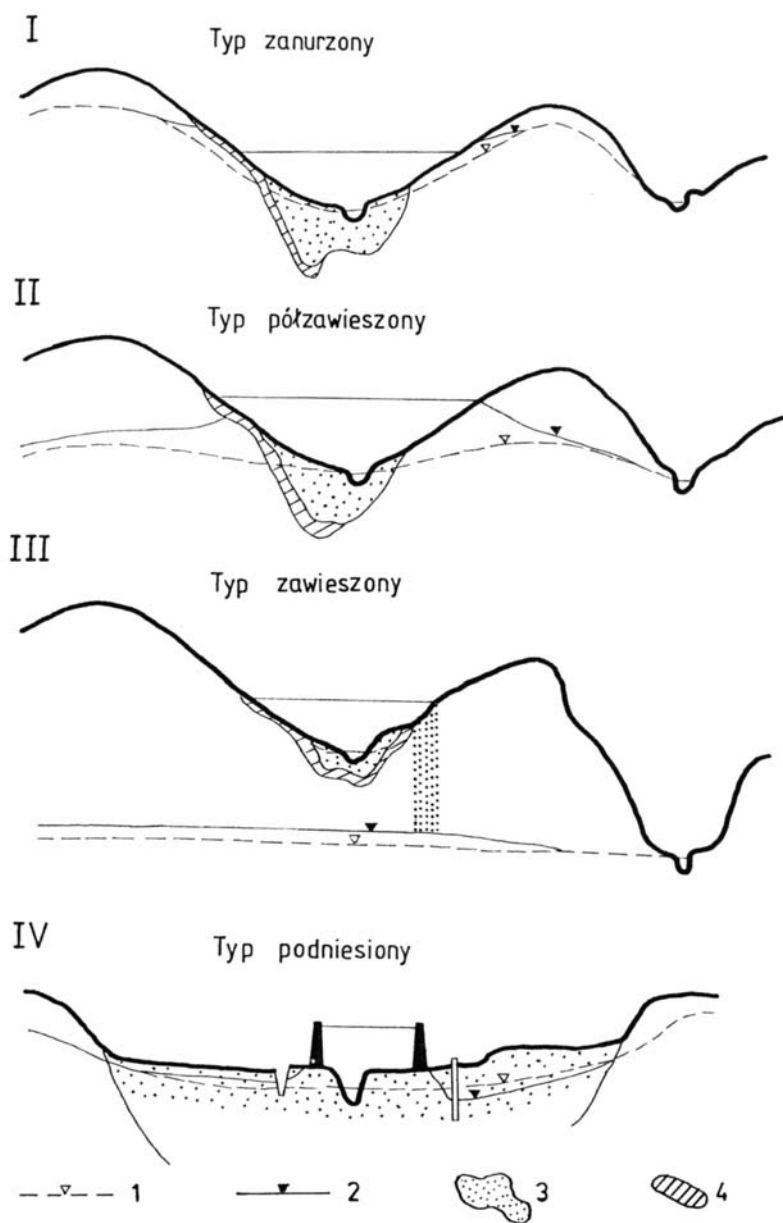
<M%-2>Badania geologiczno-inżynierskie mogą być wykonane w zależności od potrzeb w 5. etapach:

- 1) etap rozpoznawczy (dla studium przedprojektowego),
- 2) etap szczegółowy (dla koncepcji programowo-przestrzennej inwestycji),
- 3) etap uzupełniający (dla projektu technicznego),
- 4) etap budowy (dla okresu budowy stopnia wodnego),
- 5) etap eksploatacji (dla początku eksploatacji stopnia).

Przeprowadzenie wszystkich etapów badań jest celowe dla obiektów dużych, o wielkich nakładach finansowych, wykonywanych w trudnych warunkach geologicznych oraz dla zbiorników „zawieszonych” i „podniesionych” (rys. 10).

Najważniejszymi etapami badań są: rozpoznawczy i szczegółowy. Dobre rozpoznanie podstawowych problemów geologiczno-inżynierskich na etapie rozpoznawczym zezwala na prawidłową ocenę trudności w wykonawstwie, na dobre oszacowanie kosztów i ewentualne wczesne odstąpienie od dalszych, bardziej kosztownych badań i realizacji stopnia wodnego. Na badania na etapie rozpoznawczym przypada około 10% kosztów przewidzianych w cyklu projektowym (pierwsze 3 etapy), a na etap szczegółowy 60–80%. Wynika z tego, że koszty badań etapu uzupełniającego stanowią 10–30% całości (bez uwzględnienia etapów budowy i eksploatacji).

Należy dążyć, aby w miarę możliwości badania podłoża wykonać w dwóch etapach, a w przypadku inwestycji małych, szczególnie stopni wodnych dla celów rolniczych o piętrzeniu nie wyższym niż 5–7 m, w jednym etapie badań. O liczbie etapów decyduje biuro projektów lub inwestor. Przed podjęciem decyzji zaleca się jednak zasięgnięcie opinii jednostki geologicznej wykonującej badania.



Rys. 10. Klasyfikacja zbiorników wodnych (typowe schematy hydrogeologiczne określające zakres badań geologiczno-inżynierskich w czaszy zbiornika)

1 — zwierciadło wody gruntowej przed spiętrzeniem, 2 — zwierciadło wody gruntowej po spiętrzeniu, 3 — aluwia, 4 — warstwa wodoszczelna

2.12.1. Zakres badań na etapie rozpoznawczym

Zadaniem geologicznym na etapie rozpoznawczym jest:

- a) określenie odpowiedniego modelu budowy geologicznej, w tym następstwa warstw, ich geometrii i zmienności, warunków wodnych i właściwości fizycznych i mechanicznych podłoża,
- b) określenie możliwości i celowości realizacji stopnia wodnego ze względu na warunki geologiczne,
- c) ocena możliwości ucieczek wód z projektowanego zbiornika,
- d) porównanie warunków geologicznych w wytypowanych wariantach lokalizacji stopnia wodnego i wybór optymalnego wariantu,
- e) jakościowa ocena nośności i stateczności podłoża obiektów stopnia wodnego, a przede wszystkim brzegów projektowanego zbiornika,
- f) wstępna ocena innych procesów egzogeodynamicznych,
- g) określenie szkodliwości wpływu stopnia wodnego na otoczenie,
- h) rozpoznanie możliwości zaopatrzenia inwestycji w materiały budowlane, szczególnie lokalne,
- i) rozpoczęcie obserwacji w podstawowej sieci punktów hydrogeologicznych w celu prognozy orientacyjnej, która będzie opracowana na etapie badań szczegółowych,
- j) ocena sąsiednich obszarów pod kątem możliwości występowania lepszych warunków geologiczno-inżynierskich do lokalizacji stopnia wodnego,
- k) określenie wstępne zagadnień do rozwiązania w następnym etapie, badań z propozycją zakresu badań,
- l) wstępna ocena oddziaływania stopnia wodnego na środowisko.

Z zestawienia zadań wynika, że na etapie badań rozpoznawczych należy określić wszystkie główne problemy geologiczno-inżynierskie, natomiast ocenę ich wpływu na projektowany stopień wodny należy opracować z takim przybliżeniem, aby możliwe było oszacowanie kosztów budowy z dokładnością określoną przez biuro projektowe.

Zakres badań zależy od:

- dotychczasowego stopnia rozpoznania,
- wielkości inwestycji,
- stopnia skomplikowania budowy geologicznej.

Opracowanie wymienionych problemów opiera się na:

- pełnym wykorzystaniu istniejących materiałów geologicznych, jak dokumentacji geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych, surowcowych, profilów wierceń, opracowań geofizycznych i literatury,
- przeglądzie terenu,
- wstępnej i szczegółowej interpretacji zdjęć lotniczych, a także satelitarnych,
- pracach terenowych.

Prace terenowe obejmują:

- a) zdjęcie geologiczno-inżynierskie w skali od 1:5000 do 1:25 000, szczególnie obszarów zapór, występowania torfów i namulów oraz o czynnych procesach egzogeodynamicznych,
- b) wiercenia i roboty ziemne wzdłuż przekroju zlokalizowanego w osi stopnia wodnego we wszystkich wariantach; wiercenia wykonuje się na tym etapie w odległości 100–500 m jedno od drugiego do głębokości występowania pierwszej warstwy nieprzepuszczalnej (przy jej nawierceniu do 3 m), nie głębiej niż 3 wysokości piętrzenia,

c) badania geofizyczne, przede wszystkim elektrooporowe wzdłuż przekrojów wierceń, które muszą wyprzedzać wiercenia, tak aby było możliwe ich lokalizowanie w punktach węzłowych (anomalnych),

d) badania polowe.

W skład dokumentacji dla etapu rozpoznawczego wchodzi przede wszystkim:

1) mapy: dokumentacyjna, geologiczna, geologiczno-inżynierska, hydrogeologiczna, w skalach od 1:5000 do 1:50 000, a dla złóż materiałów budowlanych w skalach od 1:2000 do 1:10 000,

2) przekroje geologiczne,

3) tabele, zestawienia wyników badań, wykresy,

4) tekst.

2.12.2. Zakres badań na etapie szczegółowym

Zadaniem geologicznym na etapie badań szczegółowych jest przede wszystkim:

a. Dokładne określenie budowy geologicznej podłoża pod poszczególne obiekty stopnia wodnego, a w szczególności geometrii warstw, ich zmienności, cech litologicznych, genezy i wieku.

b. Określenie tektoniki ciągłej i nieciągłej ze szczególnym uwzględnieniem szczelinowości.

c. Dokładne określenie warunków hydrogeologicznych, w tym geometrii i charakteru warstw wodonośnych, granicznych stanów wód gruntowych, ich chemizmu, parametrów filtracyjnych, wodoszczelności, kierunku spływu itp. Należy określić również typ zbiornika oraz możliwość, kierunki i wielkość ucieczek wód z projektowanego zbiornika.

d. Dokładne wydzielenie warstw geotechnicznych, a dla nich określenie uśrednionych wartości parametrów fizyczno-mechanicznych.

e. Jakościowa i ilościowa ocena procesów egzogeodynamicznych (kras, osuwiska, sufozja, abrazja, erozja, akumulacja), szczególnie na przyczółkach zapory. Istotne jest określenie stateczności zboczy zarówno w obecnym stanie, jak i prognozy ich zachowania w zmienionych warunkach (w okresach budowy i eksploatacji).

f. Określenie jakości i ilości materiałów budowlanych na obiekty stopnia wodnego,

g. Określenie prognozy orientacyjnej wpływu stopnia wodnego na obszary przyległe.

Ogólnie prace i badania geologiczne powinny być tak zaprojektowane, aby ich realizacja umożliwiła prawidłowe projektowanie obiektów, obliczenie stateczności i osiadania, jak również filtracji i odporności filtracyjnej.

Rozpoznanie podłoża obiektów budowlanych stopnia wodnego wymaga kompleksowych badań.

Zdjęcia geologiczno-inżynierskie. Prace kartograficzne obejmują szczegółową interpretację zdjęć lotniczych, panchromatycznych i radarowych, jak również prace zdjęciowe w terenie. Zdjęciem należy objąć obiekty stopnia wraz z całym zbiornikiem i jego otoczeniem w zakresie jego wpływu.

Celem prac kartograficznych na tym etapie jest:

- dokładna rejonizacja występowania gruntów i skał, przede wszystkim torfów i namulów,
- lokalizacja warstw nieprzepuszczalnych w płytkim podłożu,
- dokładna lokalizacja form i zjawisk egzogeodynamicznych,

- określenie kierunków spływu i hydroizohips dla stanów ekstremalnych (na podstawie wyniku zdjęcia kompleksowego i obserwacji wód gruntowych),
- określenie obszarów do bardziej szczegółowych badań,
- wstępne określenie warunków geologiczno-inżynierskich w celu przełożenia dróg,
- określenie prawdopodobnego przebiegu elementów tektoniki wgłębnej na podstawie analizy zdjęć radarowych i satelitarnych.

Dokładność kartowania należy zróżnicować. Dla całości obiektów stopnia wodnego i jego otoczenia można opracować mapę geologiczno-inżynierską kompleksową w skalach 1:10 000–1:25 000. W przypadku bogatej treści mapa może składać się z kilku arkuszy, np. arkusz A: rejonizacja gruntów, głębokość występowania warstwy nieprzepuszczalnej i rejonizacja osuwisk; arkusz B: obszary występowania materiałów budowlanych, hydroizohipsy i drogi możliwych ucieczek wody.

Dla rejonu osi stopnia, przyczółków, dla tras dróg i obszarów intensywnych procesów egzogeodynamicznych można dokładność zdjęcia zwiększyć do skali 1:2000–10 000. W porozumieniu z biurem projektów można przyjąć w wyjątkowych przypadkach bardziej dokładną skalę, co wymaga jednak merytorycznego uzasadnienia w projekcie prac geologicznych.

Zakres prac z wykorzystaniem zdjęć lotniczych przy zastosowaniu technik komputerowych przedstawiono na rysunku 9.

Badania geofizyczne. Badania geofizyczne na tym etapie wykonuje się głównie w celu:

- ogólnego rozpoznania budowy geologicznej, w tym zasypanych rynien, pierwszego poziomu nieprzepuszczalnego itp.,
- racjonalnego lokalizowania wierceń,
- określenia miąższości zwietrzaliny i strefy zwietrzałej,
- wyznaczenia elementów tektoniki, szczególnie uskoków, spękań itp.,
- określenia kierunków płynięcia wody gruntowej, ucieczek wód itp.,
- określenie niektórych właściwości fizyczno-mechanicznych podłoża.

Podstawową metodą geofizyczną określania modelu budowy geologicznej jest elektrooporowa, a przy wyznaczeniu właściwości dynamicznych podłoża (dynamiczny moduł sprężystości i wskaźnik Poissona) metoda sejsmoakustyczna.

W trakcie opracowania planu technicznego badań geofizycznych zaleca się wykonanie wizji terenowej, której celem jest określenie możliwości stosowania danej metody geofizycznej, kontrastu geofizycznego i optymalnych warunków metodycznych.

Wiercenia. Celem wykonania wierceń na etapie badań szczegółowych jest:

- określenie miąższości, litologii, zawodnienia i własności gruntów i skał, także pod kątem ich przydatności jako materiałów budowlanych,
- określenie strefy zwietrzałej lub całego profilu wietrzeniowego,
- określenie stopnia i charakteru spękań skał,
- przeprowadzenie badań polowych właściwości filtracyjnych, wodochłonności i cementochłonności podłoża oraz właściwości fizyczno-mechanicznych,
- obserwacji wód gruntowych i określenia ich wahań,
- pobrania odpowiednich próbek w celu określenia właściwości fizyczno-mechanicznych, składu chemicznego i agresywności wód.

Sposób wykonania wierceń mechanicznych powinien zezwalać na pełne, minimum 90-procentowe rdzeniowanie przy użyciu wody jako płuczki. Średnica otworu musi być dostosowana do projektowanych badań w otworze i do pobierania próbek odpowiedniej wielkości.

Tabela 24

Liczba przekrojów i odległość między otworami w rejonie osi zapory

Zakres badań	Zapora ziemna	Zapora betonowa
Liczba przekrojów	2–4	2–4
Odległość między otworami (m)	75–150	30–200
Odległość otworów od siebie	1/2 B	1/2 B

B — szerokość zapory w najniższym punkcie (m).

Głębokość otworów należy ustalać uwzględniając następujące kryteria:

- 1,5–3,0 H (H — wysokość projektowanego piętrzenia),
- wodochłonność przy ciśnieniu równym 1,5 H , wynosząca 0,01–0,03 l/s/m/1,5 H (dla zapór górskich),
- głębokość występowania pierwszej warstwy nieprzepuszczalnej (dla zapór nizinnych),
- miąższość pokrywy zwietrzeliny, gruntów aluwialnych w czaszy zbiornika i na zboczach,
- głębokość strefy poślizgu osuwisk.

Głębokości otworów 1,5 H należy projektować dla zapór bocznych o piętrzeniu do 5 m, natomiast 3,0 H dla osi zapór czołowych, betonowych, w przekroju uszczelniania pionowego. Wartość kryterium Lugeona należy ustalić z biurem projektów.

Orientacyjną liczbę przekrojów i odległość między otworami wiertniczymi w rejonie osi zapory podano w tabeli 24.

Mniejszą liczbę otworów i większe odległości między otworami należy projektować dla zapór niższych (do 10 m), lokalizowanych w prostych i dobrych warunkach geologiczno-inżynierskich. W skomplikowanych warunkach geologicznych, szczególnie dla zapór betonowych — łukowych, wyrobiska należy zagęścić w porozumieniu z biurem projektów.

Poza rzędami otworów w rejonie zapory czołowej można zaprojektować i wykonać przekroje pomocnicze. Orientacyjnie zaleca się wykonanie jednego przekroju w górę od rejonu zapory w odległości 100 m, a 1 lub 2 przekroje w dół w strefie około 300 m. Głębokość otworów w przekrojach pomocniczych może wynosić 1–1,5 H lub do warstwy nieprzepuszczalnej względnie do skalnego podłoża (warstwę nieprzepuszczalną i skalne podłoże uważa się za stwierdzone, jeśli narzędzie wiertnicze zagłębiło się około 2 m poniżej stropu).

Każdy otwór w skalnym podłożu musi być przebadany na wodochłonność. Podczas wykonywania wierceń obowiązuje stały nadzór geologiczny.

W określonych otworach w rejonie zapory czołowej, a szczególnie na przyczółkach oraz w strefach spodziewanej wzmoczonej filtracji, należy wykonać określenie właściwości filtracyjnych metodami polowymi, zgodnymi z aktualnymi instrukcjami i wytycznymi. Dla hydrowęzłów należy w zasadzie stosować obliczenia metodą filtracji nieustalanej (metoda Hantuscha–Theissa).

Szybiki i sztolnie badawcze. Szybiki i sztolnie badawcze wykonuje się w podłożu skalnym w rejonie osi zapory czołowej oraz na przyczółkach. Ich celem jest:

- stwierdzenie szczegółów budowy geologicznej, a szczególnie litologii skał, biegu i upadu warstw itp.,
- określenie stref uskokowych i ich charakteru,

- określenie jakościowe i ilościowe stopnia szczelinowatości,
- przeprowadzenie badań właściwości fizyczno-mechanicznych *in situ*,
- określenie profilu wietrzeniowego, strefy poślizgu na obszarach osuwiskowych,
- określenie właściwości hydrogeologicznych masywu skalnego,
- pobranie próbek do badań laboratoryjnych.

Ze ścian wyrobisk należy sporządzić dokładne rysunki w skali od 1:50 do 1:500, a dla fragmentów 1:20, a nawet 1:10. Zaleca się sporządzanie dokumentacji fotograficznej stereoskopowej, uproszczonej (zwykłym aparatem fotograficznym z 2. stanowisk o rozstawie 1/10 do 1/20 odległości fotografowanej ściany).

Rozpoznanie czaszy zbiornika. Rozpoznanie czaszy zbiornika na etapie badań szczegółowych ma na celu:

- określenie możliwości utrzymania wody w zbiorniku, podanie ewentualnych strat, kierunków zmożonej filtracji itp.,
- określenie stateczności zboczy projektowanego zbiornika wodnego,
- określenie występowania torfów z możliwością wypłynięcia,
- określenie lokalizacji i liczby lokalnych złóż materiałów budowlanych.

Określenie możliwości utrzymania wody w projektowanym zbiorniku. Możliwość utrzymania wody w zbiorniku powinna być stwierdzona na etapie badań rozpoznawczych na podstawie wnikliwej analizy map topograficznych i pomiarów wód gruntowych w studniach i wierceniach. W przypadku stwierdzenia, że projektowany zbiornik ma charakter zbiornika zanurzonego, należy zaniechać badań hydrogeologicznych w czaszy zbiornika na etapie badań szczegółowych, a badania ograniczyć do obszarów występowania procesów egzogeodynamicznych i gruntów wypływających.

Dla zbiorników lub ich części o charakterze zawieszonym lub podwyższonym należy przeprowadzić szczegółowe badania:

- ogólnej budowy geologicznej z uwzględnieniem stref szczelinowatości, uskoków itp.,
- głębokości pierwszej warstwy nieprzepuszczalnej,
- właściwości filtracyjnych,
- stref wzmoczonej filtracji,
- wielkości i kierunków ucieczek wody gruntowej.

Badania takie należy przeprowadzić także na obszarach depresyjnych wzdłuż przekrojów prostopadle do doliny rzeki lub spodziewanych kierunków ucieczek wody z projektowanego zbiornika. Wzdłuż linii przekrojów należy wykonać otwory, w których będą wykonane badania połowe współczynnika filtracji i zainstalowane piezometry do stałej obserwacji. Otwory w strefach wzmoczonej filtracji powinny sięgać w zasadzie do pierwszej warstwy nieprzepuszczalnej (+2 m w niej), a odległość między nimi powinna wynosić 50–1000 m w zależności od stopnia złożoności budowy geologicznej.

Określenie możliwości wypłynięcia torfów. Na obszarze występowania torfów należy wykonać sondy penetracyjne (ewentualnie wiercenia w przypadku miąższości torfów większej od 5 m) i szybiki oraz pobrać próbki, których celem jest:

- uszczegółowienie granic występowania torfów,
- określenie możliwości wypłynięcia,
- określenie ich przydatności dla celów opałowych i rolniczych.

Badanie obszarów z procesami egzogeodynamicznymi. Na obszarach o czynnych procesach egzogeodynamicznych należy zagęścić badania w celu:

- określenia dokładnych granic występowania form osuwiskowych, krasowych itp.,

- określenia ilościowego przebiegu aktualnych procesów i opracowania prognozy zmian po piętrzeniu wód w projektowanym zbiorniku,
- opracowania prognozy abrazji brzegów i akumulacji materiału w projektowanym zbiorniku.

2.12.3. Zakres badań na etapie uzupełniającym

Badania na etapie uzupełniającym wykonuje się tylko dla obszarów, na których nastąpiła zmiana lokalizacji obiektów w wyniku badań szczegółowych lub z innych przyczyn, jak też w celu skontrolowania lub potwierdzenia niedostatecznie poznanych problemów na poprzednich etapach. W tych przypadkach należy wykonać badania uzupełniające wynikające ze specyfiki terenu i podłoża, kierując się ogólnymi zasadami podanymi w niniejszych wytycznych.

Zakres i wybór badań uzupełniających należy uzgodnić z projektantem–hydrotechnikiem. Należy kontynuować obserwacje stanów wód gruntowych w podstawowej sieci monitoringu.

2.12.4. Zakres badań na etapie budowy

Badania podczas budowy stopnia wodnego przeprowadza się:

- pod obiekty, dla których zaistniała konieczność zmiany lokalizacji w czasie wykonywania projektu technicznego,
- w celu wyjaśnienia przyczyn awarii i znacznych niezgodności stanu faktycznego z danymi zawartymi w dokumentacji,
- w celu określenia parametrów gruntów w nawiązaniu do wymagań projektowych (np. zagęszczenie nasypów),
- w podstawowej sieci obserwacji wód gruntowych jako kontrola zgodności prognozy ze stanem faktycznym,
- w celu kontroli poprawności wykonawstwa robót oraz zgodności warunków gruntowych z przyjętymi w projekcie danego obiektu stopnia wodnego.

Kontrolę wykonawstwa robót ziemnych należy prowadzić zgodnie z normą A Pr PN–B–06050.

2.12.5. Zakres badań na etapie eksploatacji

Obliczenia stateczności zapory i brzegów zbiornika oraz filtracji pod i przez zaporę, jak również obliczenia wpływu piętrzenia na otoczenie, oparte na badaniach geologiczno-inżynierskich i modelowych, są tylko przybliżone. Na ich podstawie nie można przewidzieć wszystkich zjawisk, które wystąpią podczas eksploatacji stopnia wodnego, a szczególnie nie można przewidzieć wpływu wszystkich czynników, w tym szczególnie przypadkowych naturalnych, jak spękania, szczeliny, wąskie rynny erozyjne z materiałem dobrze przepuszczalnym, i sztucznych spowodowanych wadliwym wykonawstwem drenażu lub zbyt małym zagęszczeniem. Z tego powodu obserwacji terenowych, szczególnie stanów wód gruntowych, nie wolno przerywać po

zakończeniu badań i budowy, a należy je kontynuować dalej, z tym że podczas próbnego piętrenia wskazane jest zwiększenie częstotliwości dokonywania pomiarów.

Badania geologiczno-inżynierskie na tym etapie mogą być wykonane w celu wyjaśnienia przyczyn ewentualnych awarii i opracowania metod zaradczych.

2.13. Rozpoznanie lokalnych złóż materiałów budowlanych

Lokalne złoża materiałów budowlanych, ich ilość i jakość oraz odległość mają wpływ na wybór lokalizacji i typu zapory. Z tego wynika konieczność określenia możliwości zaopatrzenia inwestycji w lokalne materiały budowlane na etapie badań rozpoznawczych.

Rozpoznanie i określenie przydatności lokalnych złóż materiałów budowlanych opiera się na:

- przeglądzie terenu,
- szczegółowej analizie zdjęć lotniczych i kartowaniu geologiczno-inżynierskim,
- badaniach geofizycznych,
- analizie kart rejestracji złóż i dokumentacji złożowych wykonanych w sąsiedztwie w analogicznych warunkach geologicznych,
- robotach ziemnych i wiertniczych,
- badaniach laboratoryjnych.

Na etapie badań rozpoznawczych ilość materiałów należy określić metodą przybliżoną (szacunkową), a zasoby powinny przekraczać przewidywane zapotrzebowanie co najmniej 2–3-krotnie. Na tym etapie należy też wskazać wszystkie możliwe do eksploatacji złoża w zasięgu do 20 km, a w przypadku ich braku należy omówić możliwości zaopatrzenia inwestycji w surowce z podaniem lokalizacji, odległości i jakości złóż według materiałów archiwalnych i literatury.

Przed przystąpieniem do projektowania badań w celu rozpoznania złóż dla etapu szczegółowego biuro projektów powinno podać dokładne wymagania techniczne (kryteria bilansowości), dotyczące jakości i ilości potrzebnych materiałów w rozbiciu na poszczególne rodzaje złóż.

Badania geofizyczne należy prowadzić w celu uściślenia lokalizacji złoża, w nawiązaniu do wykonanych wcześniej wierceń geologiczno-inżynierskich.

Orientacyjne odległości między wyrobiskami dla poszczególnych surowców mineralnych określa [tabela 25](#).

Tabela 25

Odległość między wyrobiskami w zależności od grupy złoża

Nazwa surowca	Grupa złoża	Odległość między wyrobiskami (m)	
		kat. C ₂	kat. C ₁
Grunty spoiste na uszczelnienia	I	500–300	300–200
	II	300–200	200–100
Skały i kamienie na narzuty i kruszywo łamane	I	3–5 odstępów lub wyrobisk na 1 km ²	600–300
	II	5–8 odstępów lub wyrobisk na 1 km ²	300–150
	III	300–150	150–75
Kruszywo naturalne piaski, pospółki, żwiry	I	350–250	250–150
		250–150	150–75

Rodzaje grup złóż:

I. Złóża lub ich części o prostej budowie geologicznej i miąższości surowca w znacznym stopniu przekraczającej przyjęte granice bilansowości oraz o równomiernej jakości surowca w złożu.

II. Złóża lub ich części o złożonej budowie i miąższości surowca będącej na granicy przyjętej bilansowości oraz nierównomiernej zawartości surowca w złożu.

III. Złóża lub ich części o skomplikowanej budowie geologicznej i bardzo dużej zmienności miąższości i jakości surowca w złożu.

Badania jakości złóż materiałów budowlanych zaleca się wykonać w dwóch etapach (rozpoznawczym i szczegółowym), przy czym suma wyrobisk rozpoznawczych nie powinna być większa od liczby podanej w tabeli 25.

Określone badaniami zasoby materiałów, udokumentowane w kategorii C₁, powinny przewyższać zapotrzebowanie co najmniej o 100%, a zasoby udokumentowane w kategorii C₂ o 200–300%.

2.14. Prognoza wpływu stopnia wodnego na tereny przyległe

Zakres badań dla prognozy zależy od:

- etapu projektowania urządzeń regulujących warunki wodne w otoczeniu zbiornika wodnego,
- skomplikowania warunków hydrogeologicznych i typu zbiornika,
- charakteru urządzeń odwadniających,
- wielkości obszaru.

Prognozy opracowuje się na różnych etapach budowy zbiornika.

Zbiorniki wodne dzielą się, ze względu na różnice wzajemnego powiązania wód w zbiornikach z wodami gruntowymi, na zbiorniki obniżone i podniesione (rys. 10).

Zbiorniki obniżone to takie, w których woda po piętrzeniu leży niżej od otaczającego terenu, i konsekwentnie zbiornikami podniesionymi nazywa się te, w których zwierciadło wody w zbiorniku jest wyższe od otaczającego terenu. Wynika z tego, że granice zbiornika podniesionego stanowią muszą zapory boczne, a sąsiedni teren jest depresyjny.

Wśród zbiorników obniżonych wyróżniamy zanurzone, półzawieszane i zawieszane.

— Zbiornik zanurzony ma czasę „zanurzona” w wodach gruntowych. Jej zwierciadło na dziale wód w sąsiedztwie zbiornika jest wyższe od rzędnej piętrzenia. Ze zbiornika tego nie jest możliwa pionowa i pozioma ucieczka wody. Zbiorniki tego typu występują na obszarach, na których głębokość do zwierciadła pierwszego poziomu wody podziemnej jest duża również po spiętrzeniu wód i nie wymagają badań prognostycznych. Badania te są natomiast niezbędne dla podtypu nizinnego zbiornika zanurzonego, gdy po spiętrzeniu, przy płaskim terenie w sąsiedztwie, wystąpią rozległe obszary z podtopieniami, co w zasadniczy sposób zmienia ich przydatność dla budownictwa i rolnictwa, a także leśnictwa. W otoczeniu zbiorników zanurzonych nizinnych obszar badań obejmuje tarasy zalewowe i nadzalewowe do granicy wysoczyzny i dalej do przecięcia się projektowanej rzędnej piętrzenia wody z hydroizohipsą o tej samej rzędnej.

— Zbiornik półzawieszony, w którym woda komunikuje się w sposób ciągły z wodą gruntową, której rzeźna na sąsiednim działle wód gruntowych jest poniżej piętrzenia (może wystąpić lokalne rozdzielanie między zwierciadłem wody w zbiorniku i gruntowej). Dla tego typu zbiornika możliwy jest pionowy i poziomy przepływ wód ze zbiornika. Występuje on prawie wyłącznie na obszarach o zróżnicowanej morfologii i o szczelinowatym lub skrasowiałym środowisku skalnym w podłożu.

Zakres badań dla prognozy wpływu zbiornika na otoczenie na płaskich obszarach nizinnych jest podobny jak dla obszarów przyległych do zbiornika zanurzonego, z tym że dla tego pierwszego dodatkowo trzeba określić wielkość ucieczek i możliwość piętrzenia. Na obszarach górskich prognoza dotyczyć będzie przede wszystkim prognozy możliwości utrzymania wody w zbiorniku i oszacowania strat przy różnych proponowanych zabiegach uszczelniających.

Dla zbiorników półzawieszonych (podtyp nizinny) obszar do badań prognostycznych jest również bardzo duży i sięga w zasadzie do sąsiednich cieków drenujących. W przypadku występowania wody gruntowej głębiej niż 3–5 m spodziewanej po spiętrzeniu, obszar badań może być ograniczony. W tym przypadku prostopadle do cieków drenujących należy wykonać 2–3 przekroje hydrogeologiczne badawcze, w celu określenia warunków i wielkości ucieczek wody ze zbiornika półzawieszonego.

— Zbiornik zawieszony, w którym zwierciadło wody nie łączy się ze stałym zwierciadłem wody gruntowej występującym kilka do kilkudziesięciu metrów poniżej jego dna. Zbiorniki tego typu występują najczęściej na obszarach o silnie przepuszczalnym podłożu, szczególnie skrasowiałym. Istnieje tu duże prawdopodobieństwo pionowej ucieczki wody oraz trudności w uszczelnieniu podłoża zapory i przyczółków. Badania prognostyczne dotyczą możliwości piętrzenia zbiornika i mają charakter ogólnych badań geologicznych nad skrasowieniem i szczelinowatością w otoczeniu.

— Zbiornik podniesiony, w którym woda występuje powyżej otaczającego terenu. Zbiornik podniesiony jest ograniczony poza zaporą czołową również zaporami bocznymi. W sąsiedztwie powstają rozległe obszary depresyjne. Ze względu na to, że zbiorniki podniesione są budowane najczęściej na nizinnych odcinkach dolin rzecznych, ich zasięg wpływu jest rozległy, a w systemie kaskadowym obszary wpływu zbiorników tego typu często nakładają się nawzajem. Dla tego typu zbiorników niezbędne są obszernie i długotrwałe badania hydrogeologiczne na całym obszarze wpływu zbiornika. Obejmują całą dolinę i pas 1–2 km na wysoczyźnie i 0,5–2 km poniżej zapory czołowej. Dotyczą one przede wszystkim prognozy działania urządzeń odwadniających na obszarach depresyjnych,

— Zbiornik mieszany, to często zbiornik wodny mający na poszczególnych odcinkach odrębny charakter. Z jednej strony zbiornik może być typu zanurzonego, a przeciwległy brzeg jest typu zawieszonego, jak również część zbiornika może stanowić zapora boczna, chroniąca osiedle lub miasto przed zalaniem.

Podczas szczegółowej wizji terenowej na etapie badań rozpoznawczych dla obiektów stopnia wodnego należy dokonać pomiaru zwierciadła wody gruntowej we wszystkich dostępnych punktach (przede wszystkim będą to studnie gospodarskie) w celu stwierdzenia typu projektowanego zbiornika, a poprzez ogólne rozpoznanie głębokości występowania wody gruntowej i morfologii terenu należy wytypować charakterystyczne studnie do stacjonarnych wieloletnich pomiarów w podstawowej sieci pomiarowej. Wyniki pierwszego pomiaru posłużą też do sprecyzowania obszaru przewidywanych badań.

Podczas kartowania kompleksowego należy w pierwszym roku wykonać drugi pomiar we wszystkich punktach. Należy tak zaplanować oba pomiary, aby jeden przypadł na okres w danym roku, w którym występują najniższe stany wód gruntowych, a drugi przy najwyższych stanach wód.

Punkty do stałej obserwacji w podstawowej sieci należy projektować w przekrojach hydrogeologicznych z wierceniami. Pewną liczbę punktów należy zlokalizować między przekrojami na obszarach o charakterystycznej budowie geologicznej, morfologii lub, jeśli to na tym etapie jest już możliwe, w przewidywanych miejscach ważniejszych obiektów odwadniających. Jeden punkt obserwacji w podstawowej sieci dla prognozy orientacyjnej należy planować na 1 do 4 km², w zależności od wielkości zbiornika i skomplikowania warunków wodnych w podłożu.

Pomiary w sieci obserwacyjnej należy wykonać raz w tygodniu. Podczas wezbrań pomiary wody należy wykonywać codziennie. Inna częstotliwość pomiarów jest dopuszczalna po uzgodnieniu z wykonawcą prognozy. Do pomiarów, przynajmniej w kilku punktach węzłowych, zaleca się użycie limnigrafów.

Równoległe z pomiarami wód gruntowych należy wykonać pomiary stanów wód w ciekach na całym obszarze badań. Dla celów prognozy orientacyjnej najczęściej są wystarczające wyniki pomiarów sieci hydrograficznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Dla opracowania prognozy orientacyjnej konieczne są wyniki z okresu co najmniej 2. lat, a dla prognozy podstawowej co najmniej 5. lat.

Opracowanie wynikowe prognozy orientacyjnej składa się z:

- tekstu,
- mapy dokumentacyjnej, mapy hydroizohips dla stanów ekstremalnych przed piętrzeniem i stanu ustalonego po spiętrzeniu wody w zbiorniku, mapy hydroizobat przed i po spiętrzeniu,
- przekrojów hydrogeologicznych z naniesionymi stanami wód: ekstremalnego przed piętrzeniem i ustalonego po piętrzeniu,
- wykresów stanów wód w sieci podstawowej.

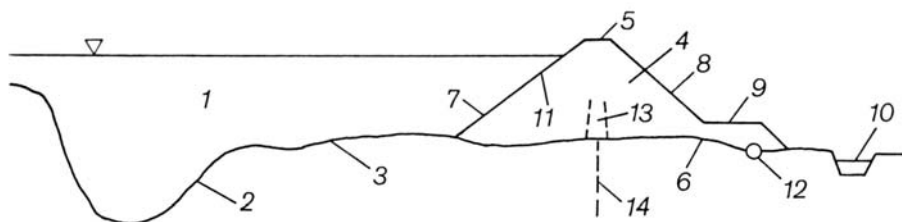
Badania hydrogeologiczne dla prognozy podstawowej i szczegółowej należy projektować zgodnie z wytycznymi zawartymi w *Zasadach...* (1972).

2.15. Wały przeciwpowodziowe

2.15.1. Wstęp

Aktualność problemów powodziowych jest związana z powodziami, które wystąpiły w latach 1997 i 1998. Skala likwidacji skutków tych powodzi jest tak znaczna, że wymaga osobnego potraktowania.

Powódź w lipcu 1997 r. była największym kataklizmem zanotowanym w ciągu ostatnich kilkuset lat w Polsce. Straty materialne powstałe w jej wyniku są ogromne i w skali kraju wynoszą kilka miliardów złotych. Znaczna część tych strat jest związana z zalaniem terenów położonych w dolinach na skutek przerwania wałów przeciwpowodziowych przez spiętrzone na międzywalu wody wezbranych rzek. Wały, które miały chronić tereny przyległe, w wielu miejscach nie spełniły swojej roli. Tylko na terenie województwa wrocławskiego zaobserwowano około 20 miejsc przerwań i rozmyć wałów. Obserwacje wskazują, że część przerwań powstała w wyniku



Rys. 11. Koryto wielkich wód i wał

1 — koryto wielkich wód, międzywale, 2 — koryto rzeki, 3 — teren międzywala, teren zalewany, 4 — korpus wału, 5 — korona wału, 6 — podstawa wału, 7 — skarpa odwodna, 8 — skarpa odpowietrzna, 9 — ława, 10 — rów przywałowy, 11 — umocnienie, 12 — drenaż, 13 — element uszczelniający korpus, 14 — przesłona przeciwnieckiwna w podłożu

rozmycia wału przez przelewającą się wodę ponad jego koronę, jednak większość zniszczeń struktury wału należy wiązać z ich konstrukcją i budową geologiczną (wykształceniem litologicznym) podłoża gruntowego.

Można podać, że obecny system wałów w dolinie Odry pochodzi z początku XX w. Po seriach katastrofalnych powodzi (m.in. w latach 1897 i 1903) zainicjowano wiele ustaw (m.in. Ustawa Odrzańska z 1905 r.), mających na celu stworzenie planów uregulowania Odry. W ramach tych prac wybudowano większość użytkowanych teraz wałów przeciwpowodziowych. To niewątpliwie wielkie z punktu widzenia inżynierii wodnej przedsięwzięcie nie zawsze było poparte należyłą wiedzą z zakresu geotechniki, rozpoznania podłoża gruntowego i procesów filtracji wód pod zaporami. Również po wojnie całkowicie zaniedbano problemy związane z konstrukcją samych wałów, jak np. określenie rodzaju gruntów, z którego są wykonane, ich cech fizycznych i parametrów geotechnicznych oraz przepuszczalności stopy wałów, a także ich podłoża. Analiza map geologicznych obejmujących dolinę Odry w okolicach miejsc przerwań wałów wskazuje, że podłożo wału w tych miejscach było zbudowane z piasków rzecznych przewarstwianych mułkami i ilami tarasów zalewowych niższych (2,0–2,5 m nad poziom rzeki).

Utwory te charakteryzują się dużą zmiennością litologiczną cech fizycznych i parametrów filtracyjnych, czyli zmiennymi właściwościami przewodzenia wody. W miejscach większości przerwań na zawalu obserwowano występowanie świeżo naniesionych osadów rzecznych, głównie frakcji żwirów i pospólek. Obecność utworów o dobrej przepuszczalności na przedpolu wałów w miejscach zniszczenia ich ciągłości została potwierdzona badaniami geofizycznymi.

Typową konstrukcję wału przeciwpowodziowego w dolinie rzeki podano na [rysunku 11](#).

2.15.2. Programowanie badań

Geologiczno-inżynierskie rozpoznanie podłoża wałów powodziowych i samych wałów powinny przedzać badania geofizyczne: elektrooporowe lub radarowe, albo i jedno i drugie.

Do podstawowych badań geologiczno-inżynierskich wałów powodziowych zaliczyć można:

- opis litologiczny profilu (określenie rodzaju gruntu),
- określenie uziarnienia gruntów,
- określenie porowatości i przepuszczalności gruntów w wale i w podłożu,
- określenie stopnia zagęszczenia I_D gruntów sypkich (sondą lekką SL),
- ocenę gęstości w warunkach naturalnych i gęstość objętościową szkieletu,
- określenie wytrzymałości gruntu na ścinanie,
- badanie wilgotności naturalnej,
- badanie granic konsystencji, wskaźnika plastyczności oraz stopnia plastyczności,
- zawartość substancji organicznej.

W analizie wykonywanej w projekcie badań geologicznych, opracowywanej dla renowacji wałów, należy uwzględnić fakt i rozmiary zagrożenia wystąpienia katastrofy.

Projektowanie wałów prowadzi się z uwzględnieniem następujących zasad:

a) nie pozostawiania bez dostatecznego wyjaśnienia jakichkolwiek zagadnień geologicznych mających wpływ na bezpieczeństwo wałów; w szczególności niedopuszczalne jest zaniechanie (z uwagi na czas lub koszty) przeprowadzenia potrzebnych badań,

b) wybierania z rozwiązań różniących się między sobą stopniem bezpieczeństwa oraz kosztami (do kilkunastu procent) rozwiązań bezpieczniejszych choć droższych.

2.15.2.1. Założenia techniczne budowy wałów

Projekty obwałowań powinny uwzględniać:

— obecny i w miarę możliwości planowany stan naturalny (przyrodniczy), gospodarczy i społeczny chronionych dolin i innych obszarów, których stan i warunki wpływać mogą istotnie na rozwiązanie projektu obwałowania,

— obecne i planowane ustalenia wodno-gospodarcze, gdy mogą one wpływać na zakres i rozwiązania techniczne ochrony przed powodzią objętych projektem obszarów,

— wymagania ochrony środowiska (w tym ochrony krajobrazu), zabytków i dóbr kulturalnych,

— zakres i przewidywaną skuteczność kontroli stanu wałów i koryta wielkich wód, robót konserwacyjnych, naprawczych i przystosowawczych oraz akcji przeciwpowodziowej.

Szerokość korony zapory wysokości ponad 2 m, gdy przewiduje się jej wykorzystanie dla komunikacji, nie powinna być mniejsza niż 4,5 m, w innych przypadkach 3,0 m; w zaporach niższych szerokość tę wolno zmniejszyć. Odwodnienie korony nieprzejezdnej można zapewnić przez nadanie jej spadku poprzecznego 2% w kierunku skarpy odwodnej. Nachylenia skarp powinny wynikać z obliczeń stateczności, z tym że ze względu na utrzymanie stateczności (możliwość koszenia mechanicznego) zaleca się stosowanie nachylenia nie większego niż 1:3. Gdy analiza doświadczeń lokalnych wskazuje na możliwość degradacji (spękań, zbryleń, utraty spójności itp.) warstw powierzchniowych wałów z gruntów spoistych, zaleca się zwiększenie szerokości ich korpusu co najmniej o 0,50 m z każdej strony.

2.15.2.2. Podłoże i posadowienie wałów

Przy budowie i renowacji wałów przeciwpowodziowych wykorzystuje się:

a) podłoża nośne złożone z gruntów nośnych, do których zalicza się (z wyjątkiem makroporowatych) grunty sypkie oraz spoiste o stopniu plastyczności $I_L < 0,25$, tj. w stanie twardo plastycznym, półzwałym i zwałym,

b) podłoża słabonośne złożone z gruntów, do których zalicza się: gliny, ropy, muły w stanie plastycznym, miękko plastycznym i płynnym, namuły organiczne, w tym gytie, torfy i grunty torfiaste, oraz grunty makroporowate.

Wały mogą być posadowione na każdych gruntach pod warunkiem zastosowania środków zapewniających stateczność budowli i podłoża oraz ograniczenie osiadań i skutków nadmiernej filtracji.

Ponieważ w przypadku posadowienia wału na podłożach słabonośnych lub złożonych z gruntów bardzo przepuszczalnych i sufozycznych, o urozmaiconej budowie powodującej duże różnice osiadań itp., środki zapewniające bezpieczeństwo i prawidłowe działanie wału są kosztowne i wymagają istotnego przedłużenia okresu budowy, jest wskazane:

— takie prowadzenie trasy, by wał był lokalizowany na gruntach nośnych mało przepuszczalnych,

— unikanie przekroczeń starorzeczy, obszarów podmokłych i starych wyrobisk.

Możliwości przełożenia trasy na obszary o korzystniejszym podłożu są zwykle ograniczone wymaganiami hydraulicznymi, odnoszącymi się do warunków przepływu wielkich wód, zatem dokonanie zmian ze względu na podłoże wymaga analizy techniczno-ekonomicznej.

W projekcie obwałowań należy uwzględnić:

— stateczność korpusu i podłoża w okresie budowy i eksploatacji,

— zabezpieczenie przed wystąpieniem w czasie użytkowania osiadań, które mogą spowodować niedopuszczalne obniżenie korony, spękania korpusu wału lub istotne odkształcenia jego przekroju poprzecznego,

— zabezpieczenie przed powstaniem przebieg hydraulicznych, sufozji i nadmiernej filtracji w podłożu.

Posadowienie wałów bezpośrednio na gruntach nośnych nie wymaga z reguły stosowania specjalnych zabezpieczeń, z wyjątkiem przypadków gdy pod cienkimi powierzchniowymi warstwami o mniejszej przepuszczalności leżą bardzo przepuszczalne warstwy piaskowe lub żwirowe (zagrożenie przez przebite hydrauliczne), lub gdy ze względów gospodarczych występuje potrzeba ograniczenia przesiąków na zawale. Posadowienie na gruntach słabonośnych wymaga przeważnie zwiększenia nośności wałów lub stosowania środków ograniczających osiadanie albo tak je przyspieszających, by prawie w całości wystąpiły w czasie budowy.

Do budowy wałów stosuje się materiały występujące najbliżej. Są to:

— grunty niespoiste (piaszczyste, żwirowe i żwirowo-otoczkowe) na korpusy wałów wszystkich klas, przy czym w niektórych przypadkach może wystąpić konieczność odpowiedniego zabezpieczenia gruntu przed skutkami filtracji,

— grunty spoiste (piaski gliniaste, gliny i gliny ciężkie) o wilgotności umożliwiającej prawidłowe wbudowanie i zagęszczenie na uszczelnienia korpusu wału oraz na korpus wału pod warunkiem zastosowania zabezpieczeń skarp przed degradacją (warstw ochronnych),

— grunty pylaste (piaski i pyły na środkową część korpusu) pod warunkiem przeprowadzenia badań wyjaśniających możliwość ich wbudowania i zagęszczenia.

Tabela 26

Nachylenie skarpy w zależności od rodzaju gruntu

Rodzaj gruntu w korpusie wału	Nachylenie skarpy		
	odwodnej	odpowietrznej	
		z drenażem	bez drenażu
Niespoisty	1:2,5	1:2,0	1:2,25
Spoisty	1:2,0	1:2,0	1:2,0

Wały są konstrukcją specyficzną, pracującą krótki czas. Wymaga się 1-miesięcznej trwałości wału w warunkach maksymalnego obciążenia. Dlatego konieczne jest określenie:

— Orientacyjnego czasu, po którym przesiąki sięgną skarpy odpowietrznej, a gdy jest on krótszy niż czas trwania wezbrania, także czasu ustalenia się warunków filtracji.

— Granicy, do której w czasie trwania wezbrania powodzi sięgną wody przesiąkowe w korpusie i podłożu (poła zawilgocenia). Granice te wyznacza się wówczas, gdy orientacyjny czas dojścia wody do skarpy odpowietrznej i czas ustalenia się warunków filtracji są dłuższe niż czas trwania wezbrania.

— Krzywej depresji w korpusie i ciśnienia w podłożu na zawalu pod górną warstwą słabo przepuszczalną (madową) oraz w miarę potrzeby określenie siatki hydrodynamicznej.

— Przepływu wody na zawalu.

Wały projektuje się zazwyczaj z nachyleniem skarp podanym w tabeli 26.

2.15.2.3. Odbudowa wałów

Wymagania odnoszące się do konstrukcji i materiału odbudowywanego po zniszczeniu wału nie różnią się od wymagań stawianych nowym obwałowaniom. Krótkie terminy w jakich musi być zrealizowana odbudowa powodują, że na ogół brak jest czasu na przeprowadzenie potrzebnych badań, opracowanie pełnej dokumentacji oraz przygotowanie optymalnych technologii i organizacji budowy. W takich przypadkach jest wskazane stosowanie bezpieczniejszych lub znacznie bezpieczniejszych rozwiązań wału odbudowywanego w porównaniu do wałów nowych. Nie należy zwłaszcza stosować nowych, nie sprawdzonych technologii i metod.

Szczegółne warunki realizacji odbudowy wałów wynikają z faktów:

— W okresie odbudowy istnieje przerwa w wale, przez którą w przypadku wystąpienia następnego wezbrania wody dostaną się na obszary chronione. Zabezpieczenie przed tym wymaga budowy tymczasowego wału zamykającego przerwę (połączonego z wałem istniejącym).

— Przerwanie wału stwarza nowe warunki topograficzne i geotechniczne istotnie różniące się od występujących dla wałów nowych. W miejscu budowy mamy najczęściej do czynienia z głębokim i rozległym rozmytym dołem. Mogą także pozostać i resztki starego wału i rozmyty dół.

Należy zawsze rozważyć prawidłowe połączenie z częściami dobudowywanymi (usunięcie zanieczyszczeń, części organicznych, gruntu rozluźnionego lub płynnego).

Trasę wałów odbudowywanych można prowadzić po trasie istniejącej przed zniszczeniem obwałowania lub po nowej omijającej rozmyte wyrwy, jeżeli nie powoduje to zmniejszenia przekroju przepływu wód wezbraniowych. Rozszerzona część międzywała powstała przez poprowadzenie wału trasą omijającą wyrwę powinna być zabudowana biologicznie lub w inny sposób ograniczający zaburzenia przepływu wielkich wód.

2.15.3. Wymagania zagęszczenia gruntu w wale przeciwpowodziowym

Jakość zagęszczonego nasypu określa się w zależności od rodzaju gruntu:

a) w przypadku gruntów spoistych wskaźnikiem zagęszczenia (I_S):

$$I_S = \frac{Q_d}{Q_{ds}},$$

b) w przypadku gruntów niespoistych stopniem zagęszczenia (I_D):

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}},$$

gdzie:

- Q_d — gęstość objętościowa szkieletu gruntowego,
- Q_{ds} — maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego,
- e_{\max} — wskaźnik porowatości przy najluźniejszym ułożeniu ziarn,
- e_{\min} — wskaźnik porowatości przy najgęściejszym ułożeniu ziarn,
- e — wskaźnik porowatości rzeczywistej w nasypie.

Wymagania odnoszące się do tych parametrów są uzależnione od tego, czy wały są nowo budowane czy też przebudowywane, oraz od stosowanej metody wykonawstwa robót. W przypadku budowy nowych wałów metodą suchą stosuje się kryteria podane w tabeli 27.

Przy odbiorze robót 10% wyników kontroli jakości może tych wymagań nie spełniać, jednak wyniki te nie mogą być umiejscowione w jednym przekroju lub na tym samym odcinku badanego wału.

W przypadku budowy nowych obwałowań wykonywanych metodą hydromechaniczną stopień zagęszczenia gruntu w korpusie powinien wynosić:

— dla wałów I i II klasy: $I_{D\ \text{śr}} \geq 0,60$ i $I_{D\ \text{dolne}} \geq 0,45$, przy czym 15% wyników może być mniejszych od $I_{D\ \text{dolne}}$, lecz nie mogą być one umiejscowione w jednym przekroju lub na tym samym odcinku badanego wału,

— dla wałów III i IV klasy: $I_{D\ \text{śr}} \geq 0,50$ i $I_{D\ \text{dolne}} \geq 0,35$, z uwagą jak wyżej w odniesieniu do 15% wyników nie spełniających wymagań.

Przy wymiarowaniu obwałowań, które będą wykonywane metodą hydromechaniczną, należy brać pod uwagę podane wymagania co do parametrów zagęszczenia gruntu i w przypadku trudności ich uzyskania rozbudowywać korpus tych obwałowań.

W przypadku przebudowy i odbudowy obwałowań wymagane parametry zagęszczenia gruntu, ze względu na utrudnienia technologiczne związane z koniecznością dobudowy elementów korpusu do istniejącego, można obniżyć do:

— grunty niespoiste (żwir, pospółka, piaski grube, średnie i drobne) — $I_{D\ \text{śr}} \geq 0,50$, $I_{D\ \text{dolne}} \geq 0,35$ lub $I_{S\ \text{śr}} \geq 0,92$, $I_{S\ \text{dolne}} \geq 0,90$,

— grunty mało spoiste i spoiste — $I_{S\ \text{śr}} \geq 0,92$, $I_{S\ \text{dolne}} \geq 0,85$.

Tabela 27

Klasa wałów w zależności od rodzaju gruntu

Rodzaj gruntu	Zawartość frakcji > 2 mm (%)	Klasa wałów	
		I, II	III, IV
Grunty spoiste	0–10	$I \geq 0,95$	$I \geq 0,92$
	10–50	$I \geq 0,92$	
	> 50	$I \geq 0,90$	$I \geq 0,90$
Grunty niespoiste	piaski drobne i średnie	$I \geq 0,70$	$I \geq 0,55$
	piaski grube i grunty gruboziarniste	$I \geq 0,65$	

Dopuszcza się 15% wyników mniejszych niż $I_{D \text{ dolne}}$ i $I_{S \text{ dolne}}$ pod warunkiem, że nie będą one zgrupowane na tym samym odcinku wału. W projekcie i w obliczeniach uwzględniać należy zmniejszenie zagęszczenia.

Odstąpić od wymaganych wartości można w przypadku, gdy w projekcie założono uzyskanie innych wielkości wskaźnika zagęszczenia I_S lub stopnia zagęszczenia I_D .

3. ZASADY SPORZĄDZANIA DOKUMENTACJI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA POTRZEBY WYKONYWANIA WYROBISK GÓRNICZYCH

Prawo geologiczne i górnicze z 1994 r. wymaga określenia tzw. górniczo-geologicznych warunków eksploatacji złoża. Jednym z elementów są warunki geologiczno-inżynierskie opracowane w formie dokumentacji. W odniesieniu do złóż dokumentacja geologiczno-inżynierska stanowi zazwyczaj część składową tzw. kompleksowej dokumentacji geologicznej złoża, obok części złożowej, hydrogeologicznej, gazowej i geotermicznej.

Sporządzając dokumentację geologiczno-inżynierską na potrzeby wykonywania wyrobisk górniczych należy brać pod uwagę trzy grupy czynników:

- geologiczno-strukturalne,
- geodynamiczne,
- właściwości fizyczno-mechaniczne skał i gruntów.

Czynniki te w dużej mierze są ze sobą powiązane. Rozpoznanie geologiczno-strukturalne górotworu, głównie rodzajów skał, ich ułożenia i następstwa, obecności tektoniki itp. ma podstawowe znaczenie przy planowaniu rozmieszczenia wyrobisk górniczych i ich geometrii. Pośrednio służy też do oceny możliwych zagrożeń geodynamicznych dla wyrobisk i utrudnień eksploatacji (np. ze strony uskoków) oraz wyjaśnienia niektórych prawidłowości zmian charakterystyk fizyczno-mechanicznych skał.

Do grupy czynników geodynamicznych, jako pochodnej warunków naturalnych i techniczno-eksploatacyjnych, należy charakterystyka pól fizycznych w górotworze (pole naprężeń, temperatury, deformacji, pole hydrodynamiczne itp.). Znajomość zasięgu oddziaływania tych pól oraz wartość charakteryzujących je parametrów jest niezbędna przy rozwiązywaniu praktycznych problemów w zakresie zagrożeń dla ruchu kopalni i bezpieczeństwa załogi oraz np.: określenia wymiarów i kształtu wyrobisk, doboru rodzaju ich obudowy, prognozy ciśnienia górniczego i zjawisk tąpnięć, warunków sterowania ciśnieniem, odwodnienia górotworu itp.

Rozpoznanie fizyczno-mechanicznych właściwości skał pozwala głównie na ocenę stateczności wyrobisk i urabialności skał oraz prognozę występowania niektórych zjawisk geodynamicznych (np. wyciskanie spagu wyrobisk, tąpnięć, wyrzutów skał, obwałowań stropu itp.). Zakres i szczegółowość rozpoznania tych trzech grup czynników zależy z jednej strony od rodzaju złoża i skał towarzyszących oraz stopnia złożoności warunków geologicznych, a z drugiej od potrzeb górniczotechnologicznych, głównie sposobu przewidywanej czy prowadzonej eksploatacji złoża (eksploatacja podziemna, odkrywkowa, otworowa), sposobu wykonywania wyrobisk, rodzaju maszyn urabiających itp. W przypadku złóż surowców mineralnych zakres i szczegółowość badań geologiczno-inżynierskich zależy też od kategorii ich rozpoznania i udokumentowania (kat. C₂, C₁, B i A). Problem kategorii rozpoznania złoża nie dotyczy przypadków podziemnych wyrobisk górniczych wykonywanych dla innych celów niż eksploatacja złoża (np. sztolnie badawcze i hydrotechniczne w budownictwie wodnym, tunele komunikacyjne itp.). Jednak i tutaj badania warunków geologiczno-inżynierskich prowadzi się na ogół etapami (badania wstępne głównie na podstawie danych z powierzchniowych otworów wiertniczych, badania szczegółowe w samych wyrobiskach w trakcie ich wykonywania i po wykonaniu), co można przyrównywać do kategorii rozpoznawania i udokumentowania złóż. Etapowość badań geologicznych, a w tym geologiczno-inżynierskich, nie jest obecnie w polskim prawodawstwie jasno określona, lecz można tu wyróżnić jej dwa nurty. W odniesieniu do badań dla złóż surowców mineralnych, gdzie obowiązuje system uzyskiwania koncesji na eksploatację, etapy badań można wiązać z procesem koncesyjnym i obejmują one opracowywanie:

- założeń do projektu zagospodarowania złóż (kat. C₂ lub niższe),
- projektu zagospodarowania złoża (kat. C₁),
- planów ruchu zakładu górniczego (kat. B i A) po uzyskaniu koncesji.

Etapy badań zarówno w odniesieniu do wyrobisk górniczych związanych z eksploatacją złóż, jak i nie związanych z tą eksploatacją, można też wiązać z etapami procesu inwestycyjnego. W procesie tym stosuje się etapy:

- biznes plan,
- założenia techniczno-ekonomiczne (ZTE),
- projekty techniczne (PT).

Nie istnieje prosta odpowiedniość etapowości badań geologicznych związanych z procesem koncesyjnym i inwestycyjnym. W tej sytuacji można ogólnie przyjąć, że w badaniach geologiczno-inżynierskich dla celów sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej wyrobisk górniczych wyróżnia się:

- etap badań wstępnych, który odpowiadałby potrzebom opracowywania założeń do projektu zagospodarowania złoża lub biznes planu,
- etap badań podstawowych, który odpowiadałby potrzebom opracowywania projektu zagospodarowania złoża (PZZ) lub założeń techniczno-ekonomicznych (ZTE),
- etap badań szczegółowych (uzupełniających) na potrzeby opracowywania planów ruchu zakładu górniczego lub projektów technicznych (PT).

W praktyce w naszym kraju wyrobiska górnicze wykonuje się przede wszystkim na potrzeby eksploatacji surowców mineralnych, w tym głównie węgla kamiennego i brunatnego oraz miedzi. Dlatego też zakres i rodzaje badań przy sporządzaniu dokumentacji geologiczno-inżynierskiej dla celów wykonywania takich wyrobisk, można uzależnić w dużej mierze od sposobów eksploatacji złoża (górnictwo odkrywkowe, podziemne, otworowe surowców stałych) i w nawiązaniu do ich potrzeb. Rodzaje, a zwłaszcza zakresy badań nawiązuje się też do rodzajów złóż i kategorii ich rozpoznania oraz stopnia złożoności budowy geologicznej (grup złóż), a także wielkości i głębokości występowania złoża (Wytyczne..., 1992). Według wytycznych wyróżnia się trzy grupy złóż:

Grupa I — złoża lub ich części o prostej, łatwej do interpretacji budowie geologicznej, ciągle lub w niewielkim stopniu zaburzone tektonicznie.

Grupa II — złoża lub ich części o zróżnicowanej trudnej do interpretacji budowie geologicznej, tektonicznie zaburzone, lokalnie nieciągłe.

Grupa III — złoża lub ich części o bardzo trudnej do interpretacji zróżnicowanej budowie geologicznej, silnie tektonicznie zaburzone, zmiennej miąższości.

Wytyczne... (1992) precyzują też, że wyjaśnienie warunków inżyniersko-geologicznych w ramach oceny geologiczno-górnicznych warunków wydobywania kopaliny powinno zawierać:

a. Wydzielenie w profilu warstw o różnych właściwościach fizyczno-mechanicznych (inżyniersko-geologicznych) oraz określenie głębokości ich występowania, miąższości, rozprzestrzenienia i korelacji poszczególnych wydzieleni (litotypów).

b. Ocena osłabienia strukturalnego górotworu, ze wskazaniem miejsc i stref szczególnie osłabionych na podstawie systematycznych obserwacji i pomiarów podzielności warstwowej, spękań bądź innych drobnych zaburzeń tektonicznych.

c. Określenie właściwości fizyczno-mechanicznych wydzielonych litotypów w nawiązaniu do budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych dokumentowanego obszaru, w zakresie niezbędnym dla: oceny warunków stropowych, spągowych i skłonności do tupań w przypadku eksploatacji podziemnej, stateczności skarp przy eksploatacji odkrywkowej, urabialności kopaliny i skał otaczających wraz z podaniem dokładności oznaczania tych właściwości.

d. Wyjaśnienie możliwości występowania zjawisk i utworów utrudniających prowadzenie robót górniczych i skali trudności, jak np. skał o charakterze kurzawkowym, słabych, wtórnie zmienionych, skrasowiałych, zwiertzałych, spękanych, zaburzonych tektonicznie, określenie ich rozprzestrzenienia i zagrożeń z tym związanych.

e. Informacje o występowaniu lub ocenę możliwości występowania zjawisk geodynamicznych na obszarze przewidywanej eksploatacji (osuwick, sufozji itp.).

f. Prognozę zmian właściwości skał w czasie udostępniania i eksploatacji złoża pod wpływem zawodnienia lub osuszenia, po zamrożeniu i odmrożeniu itp.

g. Dane niezbędne przy ocenie zagrożeń naturalnych, związanych z właściwościami inżyniersko-geologicznymi górotworu oraz przy rejonizacji tych zagrożeń.

h. Dane umożliwiające ocenę wpływu eksploatacji na powierzchnię (osiadań, wstrząsów) i związanych z tym zagrożeń dla obiektów podlegających ochronie oraz ocenę możliwości lokalizacji projektowanego zakładu górniczego i obiektów towarzyszących z punktu widzenia warunków geologiczno-górnicznych.

i. Określenie parametrów geotechnicznych umożliwiających obliczenie dopuszczalnych obciążeń podłoża w celu zabezpieczenia warunków budownictwa i pracy sprzętu w kopalniach podziemnych i odkrywkowych.

j. Obliczenie objętości nadkładu w przypadku przewidywanej eksploatacji odkrywkowej oddzielnie dla grup utworów wymagających odrębnego składowania, utylizacji lub rekultywacji.

Wymienione problemy uwzględniają trzy grupy czynników, jakie powinno się uwzględnić przy dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim dla celów wykonawstwa wyrobisk górniczych i powinny stanowić podstawę do bardziej szczegółowego opracowania w dokumentacjach geologiczno-inżynierskich dla poszczególnych rodzajów górnictwa.

3.1. Górnictwo odkrywkowe

Badania geologiczno-inżynierskie stanowią ciągły proces badawczy, zaczynający się już przy wstępnych pracach rozpoznawczych i trwający nawet w okresie rekultywacji.

W działalności geologiczno-inżynierskiej na potrzeby kopalni odkrywkowej muszą być ujawnione problemy, które wystąpią w trakcie budowy kopalni, przedstawione warunki zapewniające bezpieczną eksploatację i określony wpływ eksploatacji na przyległe tereny. Rozwiązywane powinny być one stopniowo, co wiąże się z koniecznością opracowywania kolejnych prognoz na podstawie konstruowanych modeli. Przed rozpoczęciem badań w kategorii C₂ nie dysponuje się materiałami, które pozwoliłyby na stworzenie modelu. Badania złożowe w kategorii C₂ powinny doprowadzić do modelu rekonstruującego środowisko. Wyniki badań dla odkrywki i zwałowiska w kategorii C₁ pozwalają na zbudowanie wstępnego modelu prognozującego, jako podstawy wyboru najbardziej korzystnych rozwiązań projektowych w zakresie lokalizacji wkopu otwierającego i zwałowiska zewnętrznego, obiektów zaplecza technicznego, zaleceń dotyczących technologii i geometrii odkrywki oraz zwałowiska. Uszczegółowienie modelu prognozującego następuje w fazie rozpoznania w kategorii B. Przedstawienie modeli prognozujących dla odkrywki i dla rejonów objętych wpływem odkrywki nie może stanowić zakończenia prac prognostycznych. Obserwacje i dokumentowanie warunków i procesów geologiczno-inżynierskich w trakcie prowadzenia robót górniczych służą jako podstawa do sporządzania uaktualnionych modeli prognozujących. Założony okres istnienia skarp roboczych i stałych, dojazdów, rozpoczęcie i postęp zwałowania wewnętrznego, przy konieczności stosowania minimalnych wartości współczynników bezpieczeństwa, zmusza do stałej korekty modelu prognozującego z kolejnym przybliżeniem do występujących warstw — modelu rzeczywistego (Z. Glazer i in., 1982).

3.1.1. Zależność badań od etapu projektowania

W geologiczno-inżynierskiej problematyce górnictwa odkrywkowego najistotniejszym zagadnieniem jest stateczność skarp oraz warunki hydrogeologiczne. Kąty statecznego nachylenia skarp mają ogromny wpływ na ekonomikę eksploatacji. Kolejne ważne problemy stanowią: stateczność zwałowisk, osiadanie terenu wskutek odwodnienia, posadowienie obiektów towarzyszących, warunki rekultywacji itp. Rozwiązanie zadania geologicznego musi zmierzać do ustalenia odpowiedniego modelu obliczeniowego i dla wydzielonych warstw geologiczno-inżynierskich parametrów niezbędnych do przeprowadzenia odpowiednich analiz warunków stateczności.

Udokumentowany model warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych wymaga wykonania odpowiednich robót geologicznych. Otwory wiertnicze i wyrobiska górnicze, wydzielane jako specjalne geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne, powinny stanowić 10–25% liczby wszystkich otworów wiertniczych i wyrobisk dokumentujących złoże w danej kategorii. Dla bardziej skomplikowanych warunków geologiczno-inżynierskich i dla wyższych kategorii dokumentowania złoże procent podstawowych punktów dokumentacyjnych złoże, stanowiących specjalne, geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne otwory wiertnicze i wyrobiska, powinien być większy.

3.1.1.1. Zakres badań geologiczno-inżynierskich w kategorii C₂

Określenie warunków geologiczno-inżynierskich w tej kategorii ustala się na podstawie:

- wykorzystania dostępnych materiałów archiwalnych (różnego rodzaju dokumentacji, opracowań, literatury),
- interpretacji zdjęć lotniczych i satelitarnych,
- prac terenowych,
- badań laboratoryjnych.

Prace terenowe obejmują przede wszystkim:

- wykonanie wierceń i robót ziemnych,
- profilowanie wszystkich otworów wiertniczych oraz wyrobisk znajdujących się na obszarze złoże,
- pobranie odpowiednich próbek gruntów.

Otwory wiertnicze powinny być zlokalizowane w miejscach umożliwiających rozpoznanie pełnego, typowego profilu dla danego złoże. Opróbowaniem należy objąć około 10% ogólnej liczby otworów. Częstotliwość opróbowania wynika ze zmienności litologicznej i według PN/G-05101-projekt wynosi dla ilów co 1 m, glin i pyłów co 2 m i piasków co 3 m. Próbkę powinny zapewniać naturalny skład granulometryczny i naturalną wilgotność.

W badaniach laboratoryjnych przewiduje się wykonanie podstawowych oznaczeń identyfikacyjnych obejmujących: skład granulometryczny, gęstość objętościową i wilgotność naturalną. Nie przewiduje się wykonania badań wytrzymałościowych i odkształceniowych, natomiast istnieje potrzeba wykonania badań mineralogicznych (metodą TAR) głównych typów gruntów w poszczególnych seriach litologicznych w nadkładzie i w spągu złoże.

Dokumentacja w kategorii C₂ powinna umożliwić ustalenie odpowiedniego modelu budowy geologicznej, warunków wodnych, wstępnie ocenić podstawowe właściwości fizyczne występujących gruntów, określić wystąpienie możliwych procesów geodynamicznych, ocenić z punktu ekonomicznego celowość budowy odkrywki z uwagi na warunki geologiczno-inżynierskie. Badania w kategorii C₂ powinny doprowadzić do stworzenia modelu rekonstruującego środowisko.

W skład dokumentacji w kategorii C₂ wchodzi:

- mapy: dokumentacyjna i geologiczna (szkic geologiczno-inżynierski) w skalach 1:10 000 – 1: 50 000,
- przekroje geologiczne, tabele i wykresy wyników.

3.1.1.2. Zakres badań geologiczno-inżynierskich w kategorii C₁

Największy zakres badań geologiczno-inżynierskich jest związany z dokumentowaniem dla kategorii C₁. Wyniki tych badań w górnictwie odkrywkowym (dla wkopu i zwałowiska) powinny pozwolić na zbudowanie (wstępnego) modelu prognozującego, a więc konieczne jest ustalenie wartości liczbowych, charakteryzujących właściwości fizyczne i wytrzymałościowe wydzielonych serii. Największy nacisk musi być położony na duży zakres badań polowych i laboratoryjnych (typowych i specjalnych), przeprowadzanych w rejonie wkopu otwierającego, ponieważ uzyskane dane przy zachowaniu dopuszczalnego ryzyka geologicznego pozwolą na zaprojektowanie odpowiednich prac górniczych.

Badania geologiczno-inżynierskie w kategorii C₁ muszą uwzględniać uzyskane rezultaty z kategorii C₂. Według PN/G-05101-projekt badania w kategorii C₁ powinny umożliwić ustalenie prognozy (wstępnej) geologiczno-inżynierskich warunków złoża, zawierającej:

- wstępne określenie wysokości pięter górniczych, szerokości półek, poziomów, dopuszczalnego nachylenia skarp i zboczy całego projektowanego wyrobiska,
- ocenę prawidłowości lokalizacji wkopu otwierającego,
- ocenę kierunku eksploatacji,
- ustalenie miejsca pod zwałowisko zewnętrzne i określenie odległości zwałowiska od wyrobiska,
- wstępną ocenę warunków pracy maszyn urabiających i urządzeń transportowych na poziomach eksploatacyjnych, w nawiązaniu do określonych badaniami cech fizycznych i mechanicznych gruntów.

Aby przeprowadzić ocenę geologiczno-inżynierską warunków złoża jest konieczne:

- <M%-1>szczegółowe określenie budowy geologicznej (litologii i tektoniki) nadkładu i spągu złoża,
- ustalenie przebiegu stref tektonicznie zaburzonych (ciągłych i nieciągłych), występowanie spękań typu ciosu i zlustrowań,
- określenie warunków hydrogeologicznych, w szczególności w strefie między stałymi skarpami a występującymi na powierzchni zbiornikami lub ciekami powierzchniowymi,
- wydzielenie warstw geotechnicznych i ustalenie charakterystycznych parametrów fizyczno-mechanicznych,
- określenie w pasie 3-kilometrowym wokół złoża miejsc występowania na powierzchni terenu gruntów słabonośnych (np. torfów, mał, gytii itp.), sposobu i głębokości ich występowania,
- określenie ilościowej oceny procesów geodynamicznych,
- ustalenie wstępnej prognozy wpływu kopalni na środowisko.

W celu rozpoznania podłoża i ustalenia wymienionych warunków przeprowadza się prace terenowe, badania laboratoryjne i kameralne.

W pracach terenowych należy wykonać:

- a) zdjęcie geologiczno-inżynierskie w skali 1:10 000 (lub 1:25 000),
- b) lokalizację form i zjawisk geodynamicznych (mapa),
- c) kompleksową obserwację wód gruntowych,
- d) badania geofizyczne (ewentualnie przewidzieć),
- e) roboty geologiczne.

Wiercenia dla celów geologiczno-inżynierskich powinny umożliwiać pobranie odpowiednich próbek do badania właściwości fizyczno-mechanicznych i składu chemicznego. Głębokości otworów wiertniczych ustala się w zależności od: głębokości występowania spągu złoża, sposo-

bu ułożenia gruntów i rodzaju gruntów występujących poniżej spągu złoża. Według wskazówek Poltegoru głębokość otworów wiertniczych można określić:

— Przy poziomym ułożeniu gruntów głębokość otworów powinna o 10–15% przewyższać głębokość położenia spągu pokładu kopaliny, z wyjątkiem przypadku gdy w spągu leżą grunty (skały) znacznie twardsze od nadkładu. W tym przypadku po nawierceniu skał podłoża i ustaleniu grubości zwietrzliny mierzenie można przerwać.

— Kiedy podłoże skarpy jest piaszczyste, jednorodne, głębokość powinna być większa o około 5% od głębokości występowania spągu kopaliny.

— Przy nachyleniu skał otwory wiertnicze powinny przebijać warstwy spągowe w granicach zasięgu możliwego osuwiska, określonego powierzchniami nieciągłości tektonicznych lub sedymentacyjnych.

Dla celów geologiczno-inżynierskich wiercenia powinny zapewniać uzysk 90% rdzenia, a średnica rdzenia powinna być równa lub większa od 100 mm.

Opróbowania należy dokonać uwzględniając wyniki z rozpoznania kategorii C₂ rozpatrując zmienność w obrębie poszczególnych serii według zasad (PN/G-0501-projekt):

— jeżeli seria litologiczno-stratygraficzna jest zmienna po rozciągłości i po miąższości, to wówczas wystarczy dokładnie opróbować jedno wyrobisko,

— jeżeli seria litologiczno-stratygraficzna jest niezmienna po rozciągłości, a zmienna po miąższości, to wówczas główną uwagę należy zwrócić na opróbowanie wyrobisk w kierunku pionowym,

— jeżeli seria litologiczno-stratygraficzna jest niezmienna po miąższości, a zmienna po rozciągłości, to wówczas główną uwagę należy zwrócić na opróbowanie wyrobisk w kierunku poziomym,

— jeżeli seria litologiczno-stratygraficzna zmienia się tak po rozciągłości, jak i po miąższości, to należy wtedy opróbować dużą liczbę wyrobisk (otworów wiertniczych) według siatki.

W kategorii C₁, jeśli nie ma innych przesłanek, należy dążyć do tego, aby pobierać próbki losowo, prawie równomiernie, tak aby reprezentowały one przeciętny skład poszczególnych serii litologiczno-stratygraficznych. Próbki o nienaruszonej strukturze są pobierane:

— za pomocą cylindrów (najlepiej cienkościennych) lub aparatu Kersta,

— w postaci monolitów (rdzeni wiertniczych).

Do badań pobiera się z każdej serii litologiczno-stratygraficznej 2–3-krotnie więcej próbek w stosunku do liczby wykonywanych oznaczeń. Dostarczone do laboratorium próbki powinny być poddane selekcji. Należy wyeliminować próbki sztucznie uszkodzone, źle zabezpieczone, przeterminowane (powyżej 1. tygodnia), pobrane z warstw o małym rozprzestrzenieniu. Ostateczna liczba próbek poddanych badaniom powinna według PN/G-5101-projekt wynosić 36–50 dla każdej serii litologiczno-stratygraficznej, a w przypadku dużej niejednorodności nawet powyżej 50, ale nie powinna przekraczać 100. W pracach terenowych należy przeprowadzić obserwacje zachowania się istniejących skarp i zboczy, a w szczególności wpływu wody na warunki ich równowagi.

W badaniach polowych opisem makroskopowym i litologicznym należy objąć próbki ze wszystkich otworów geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych i złożowych. Najlepiej dokonać tego według jednolitego schematu.

Warunki geologiczno-inżynierskie złoża eksploatowanego odkrywkowo należy rozpoznać poza granicą zasobów bilansowych w odległości określonej jako funkcja: głębokości odkrywki, kąta nachylenia zbocza i szerokości bryły potencjalnego osuwiska. Ta ostatnia wielkość zmienia się w przedziałach 0,1–0,4 H, w zależności od nachylenia skał w stosunku do nachylenia zbocza.

Badania laboratoryjne pozwalają wyznaczyć parametry gruntów dla celów wymiarowania obiektów górnictwa odkrywkowego w kategorii C₁. W tej kategorii dla odkrywki wykonuje się na pobranych próbkach gruntów badania:

- podstawowych właściwości fizycznych (skład granulometryczny, gęstość objętościową, wilgotność, konsystencję),
- wytrzymałości na ścinanie.

W badaniach wytrzymałościowych należy bardzo wyraźnie zaznaczyć wszelkie obserwowane defekty (pęknięcia, przewarstwienia itp.), najlepiej wykonując odpowiedni rysunek przed i po badaniu. W badaniach wytrzymałościowych dąży się do odwzorowania (symulowania) w laboratorium rzeczywistych warunków pracy gruntu w masywie. Dotyczy to zarówno sposobu, jak i wartości przykładowych obciążeń. W kategorii C₁ przewiduje się wykonywanie badań wytrzymałościowych w aparacie:

- bezpośredniego ścinania (skrzynkowym),
- trójosiowego ściskania, bez konsolidacji i bez odpływu (UU), tzw. badania szybkie.

Dokładniejsza metodyka tych badań jest przedstawiona w normach BN-82/0403-02 i PN-88/B-04481 oraz przez E. Myślińską (1992). W wyniku tych badań otrzymuje się, przy przyjęciu hipotezy wytrzymałościowej Coulomba–Mohra, wartości kąta tarcia wewnętrznego ϕ_u , spójności c_u i wytrzymałości standardowej τ_f^c .

Norma BN-82/0403-02 określa wytrzymałość standardową (τ_f^c) jako wartość oporu na ścinanie, jaki zostaje zrealizowany w elemencie gruntowym w czasie badań laboratoryjnych metodą szybką, wytrzymałość trwałą (τ_T) jako wartość oporu na ścinanie, jaki może być zrealizowany trwale w elemencie gruntowym przy nieograniczonym czasie trwania obciążenia, wytrzymałość natychmiastową (τ_N) jako bezwzględnie największą wartość oporu na ścinanie występującą w elemencie gruntowym przy obciążeniu krótkotrwałym (w czasie bliskim zeru), a wytrzymałość resztkową (ustaloną) (τ_r) jako wartość oporu ścinania, jaki występuje w elemencie gruntowym po wytworzeniu się w nim powierzchni poślizgu.

Norma BN-82/0403-02 na podstawie przeprowadzonych badań w kategorii C₁ pozwala na oszacowanie dla celów projektowych:

- wytrzymałości gruntu spoistego na ścinanie w zwałowisku $\tau_{zw} = 0,55\tau_f^c$,
- wytrzymałości trwałej gruntu spoistego na ścinanie $\tau_T = 0,55\tau_f^c$,
- wytrzymałości gruntu sypkiego na ścinanie w zwałowisku $\tau_{zw} = 0,80\tau_f^c$,
- wytrzymałości trwałej gruntu sypkiego na ścinanie $\tau_T = 0,9\tau_f^c$

oraz na oszacowanie według odpowiednich wzorów oporu na ścinanie na stykach różnych warstw litologicznych.

W badaniach laboratoryjnych próbek gruntu pobranych z rejonu przyszłej lokalizacji zwałowiska zewnętrznego i w przypadku masywu gruntowego, w którym wystąpi znaczne obniżenie zwierciadła wody, należy przeprowadzić oznaczenie parametrów charakteryzujących odkształcalność gruntu. Na tym etapie powinna być wstępnie określona wytrzymałość na ścinanie, moduły ściśliwości i współczynniki konsolidacji dla gruntów wydzielonych serii. Metodyka takich badań zawarta jest w normie PN-88/B-04481, Wytycznych... (1989a, b) i w pracy K. H. Head (1992).

W pracach kameralnych, jako uzupełnienie prac kartograficznych, wykonuje się analizę zdjęć radarowych i satelitarnych. W wyniku takich analiz można ustalić przebieg elementów wgłębnej tektoniki.

3.1.1.3. Wstępna prognoza wpływu kopalni na środowisko

Zgodnie z istniejącym i obowiązującym prawem geologiczno-górnictwem istnieje obowiązek wykonywania ocen oddziaływania na środowisko (OOŚ) planowanej inwestycji. Przy eksploatacji kopalni OOŚ podlegają również takim samym regulacjom prawnym. Górnictwo odkrywkowe oddziałuje na wiele elementów środowiska. Wpływ eksploatacji kopalni jest zależny od rodzaju kopaliny, formy występowania i budowy złoża, wielkości złoża, sposobu urabiania, etapów użytkowania. Podstawowym celem OOŚ jest ustalenie granic wpływu na środowisko eksploatacji kopaliny oraz określenie kierunków przeciwdziałania i minimalizacji szkód wynikających z realizowanej eksploatacji.

Podstawę do opracowania OOŚ stanowią:

- materiały dotyczące kopalni, w szczególności dokumentacje geologiczno-surowcowe, hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie, projekty zagospodarowania złoża itp.,
- materiały dotyczące środowiska, a w szczególności opracowania fizjograficzne, plany zagospodarowania przestrzennego, raporty o stanie środowiska,
- wizja terenowa, wywiady środowiskowe,
- literatura przedmiotu

Charakterystyka zakładu górniczego obejmuje:

- warunki geologiczno-górnictwowe złoża,
- sposób eksploatacji,
- obszar po eksploatacji, rekultywację i zagospodarowanie,
- charakterystykę środowiska w otoczeniu złoża.

W charakterystyce środowiska przedstawionej w OOŚ dla kopalń odkrywkowych należy uwzględnić: budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne, geomorfologię, rzeźbę terenu i hydrografię, klimat i stan powietrza atmosferycznego, gleby, florę, obszary i obiekty chronione, zagospodarowanie przestrzenne, człowieka.

Oddziaływanie odkrywkowej eksploatacji kopalni należy rozpatrywać w 2. strefach: strefie oddziaływania bezpośredniego i strefie oddziaływań pośrednich.

Strefa oddziaływań bezpośrednich i intensywnych zaburzeń funkcjonalnych obejmuje wyrobiska i zwałowiska, tereny pomocnicze i pasy ochronne wokół nich oraz zasięg leja depresji i ewentualnych odkształceń powierzchni terenu związanych z odwadnianiem wyrobiska, skażenia wód, rozrzutu odłamków skalnych, skoncentrowanego zanieczyszczenia powietrza.

Strefa oddziaływań pośrednich obejmuje wpływy pasmowe oraz rozproszone i dotyczy wykorzystania i rozbudowy infrastruktury (dróg, linii zasilających, kanałów i innych), wraz ze spowodowanymi wzdłuż nich zanieczyszczeniami środowiska.

W strefie oddziaływania bezpośredniego główną rolę odgrywają: wielkość złoża, warunki wodne, rodzaj kopaliny i sposób jej urabiania. Granice strefy bezpośredniego oddziaływania wyznacza się za pomocą granicznego oddziaływania na jeden lub dwa elementy środowiska.

Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 14.07.1998 r. wprowadza klasyfikację zagrożenia jako kryterium przekształcenia powierzchni. Kopalnie odkrywkowe o powierzchni ponad 10 ha zakwalifikowano jako inwestycje szczególnie szkodliwe dla środowiska i zdrowia ludzi, natomiast

o powierzchni poniżej 10 ha jako inwestycje mogące pogorszyć stan środowiska. Przekształcenie powierzchni likwiduje gleby i florę, wpływa na faunę.

Dla złóż zawodnionych rozpatruje się trzy przypadki współzależności eksploatacji z warunkami wodnymi, które mogą wpłynąć na powstanie i zasięg strefy bezpośredniego oddziaływania: eksploatację złoża zawodnionego bez odwadniania, eksploatację złoża z grawitacyjnym odwadnianiem i eksploatację z odwadnianiem przez odpompowywanie.

Granice strefy bezpośredniego oddziaływania eksploatacji przy stosowaniu materiałów wybuchowych wyznacza zasięg rozrzutu odłamków skalnych lub zasięg fali sejsmicznej spowodowanej strzelaniem. Brak jest jednoznaczności w stosowaniu tego kryterium.

Proponuje się, aby OOS zawierała:

- rodzaj kopaliny, wielkość obszaru złoża, granicę eksploatacji,
- kryteria przyjęte do określenia granicy strefy oddziaływania bezpośredniego,
- określenie obszaru bezpośredniego oddziaływania (z podaniem powierzchni) jako propozycji terenu górniczego,
- ustalenie strefy oddziaływania pośredniego,
- ocenę przewidywanych działań naprawczych,
- ocenę zakresu prowadzonego monitoringu,
- warunki do spełnienia przez zakład górniczy w zakresie ochrony środowiska w okresie ważności koncesji.

OOS składa się z tekstu oraz załączników tekstowych i graficznych. Załączniki tekstowe dotyczą decyzji zatwierdzających: zasoby geologiczne i przemysłowe, obszar górniczy, zezwolenia na korzystanie ze środowiska, wyniki badań, uzgodnień. Załączniki graficzne obejmują lokalizację terenu badań, przekrój geologiczno-górniczy z uwzględnieniem granic eksploatacji, plan zagospodarowania przestrzennego z uwzględnieniem funkcji terenu otaczającego zakład górniczy, mapę zasięgu wpływów eksploatacji na środowisko.

3.1.1.4. Zakres badań geologiczno-inżynierskich w kategorii B

Badania geologiczno-inżynierskie w kategorii B należy wykonywać w ścisłym nawiązaniu do projektu eksploatacji złoża. Zakres badań w kategorii B powinien umożliwiać ustalenie szczegółowej prognozy geologiczno-inżynierskiej warunków złoża dotyczącej: konkretnej lokalizacji wkopu otwierającego i zwałowiska, szczegółowego określenia wysokości, szerokości i kąta nachylenia poziomów górniczych w odkrywcę i na zwałowisku, oceny warunków pracy urządzeń urabiających i transportowych.

W tym bardziej szczegółowym w stosunku do kategorii C₁ etapie badań główna uwaga powinna być zwrócona na rozpoznanie wkopu udostępniającego i rejonu zwałowiska. Uszczegółowia i uzupełnia się wszystkie punkty geologiczno-inżynierskiej oceny warunków złoża wymienione w kategorii C₁. W tym celu wykonuje się prace terenowe, laboratoryjne i kameralne.

W pracach terenowych należy wykonać:

- a) szczegółowe zdjęcie geologiczno-inżynierskie w skali 1:5000 na obszarze przewidzianym pod zwałowisko zewnętrzne w przypadku występowania gruntów słabonośnych,
- b) uzupełniające obserwacje hydrogeologiczne i czynnych zjawisk geodynamicznych,
- c) roboty geologiczne.

Wiercenia przeprowadza się w zależności od złożoności warunków geologicznych: grupa złoża, rodzaj kopaliny w rozstawie odpowiednim dla kategorii B. Otwory wiertnicze powinny być lokalizowane wzdłuż linii prostopadłych do rozciągłości warstw w przypadku warstw nachylonych albo w kierunku największego nachylenia terenu lub większych powierzchni nieciągłości przy płaskim ułożeniu warstw (PN/G-05101-projekt). Należy przewidzieć również po 2–3 otwory na każdej linii, tak aby mieściły się w zasięgu bryły możliwego osuwiska skarp stałych w projektowanej odkrywce. Siatkę wierceń należy zagęścić w strefie skarp stałych w rejonach, w których stwierdzono występowanie: powierzchni osłabienia, nieciągłości (w szczególności w przypadku konsekwentnie nachylonych z projektowanymi skarpami stałymi), erozyjnych rynien, gruntów słabych (np. ilów warwowych, torfów, gytyi itp.), do odległości wymaganej przy III grupie złóż. Ponadto stosuje się rozstaw wierceń III grupy złóż w przypadku projektowania eksploatacji systemem wachlarzowym w strefie nadkładu, gdzie jest zlokalizowany punkt obrotu. Liczba wierceń pod zwałowisko wynika z ustalonej pracami kartograficznymi zmienności litologicznej. Głębokość wierceń nie powinna przekraczać połowy projektowanej wysokości zwałowiska. W przypadku występowania gruntów słabych należy ustalić ich ilość, miąższość i granice występowania.

Opróbowaniem obejmuje się całe zbocze, w szczególności rejon–strefy o zróżnicowanych warunkach. Częstotliwość pobierania próbek z poszczególnych, wydzielonych w kategorii C₁ warstw geotechnicznych wynika ze stwierdzonych zmienności parametrów fizyczno-mechanicznych. Liczbę pobieranych próbek należy zwiększyć w dolnych warstwach, w szczególności w uwarstwionych gruntach. PN/G-05101-projekt przewiduje dla każdego zespołu warstw geotechnicznych² (pakietu) wykonanie 36–50 badań, a dla bardziej zróżnicowanych około 100.

Poza rejonem wkopu udostępniającego pobiera się dodatkowo (dla kat. B) próbki w rejonach: występowania gruntów, które dotychczas nie były objęte opróbowaniem, w strefach tektonicznych wyraźnych osłabień (zmniejszenia wytrzymałości gruntów). Ponadto pobiera się próbki gruntów w przypadku uzyskania (w kat. C₁) zbyt dużych rozrzutów (współczynników zmienności) parametrów fizyczno-mechanicznych dla wydzielonych zespołów warstw geotechnicznych² (pakietów). Dodatkowo pobiera się próbki, jeśli to wynika z potrzeb projektowych.

Pobrane próbki do badań parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych powinny spełniać wymogi klasy I.

W badaniach polowych wszystkie pobrane próbki powinny być objęte szczegółowym opisem makroskopowym, przy zwróceniu głównej uwagi na występowanie różnego rodzaju defektów materiału gruntowego/skalnego. Opis makroskopowy powinien być wzbogacony o oznaczenia przeprowadzone prostymi, kieszonkowymi przyrządami typu ścinarka (*pocket penetrometer*).

Dla rejonu zwałowiska zewnętrznego w przypadku występowania gruntów o niewystarczającej nośności należy przewidzieć i wykonać badania polowe:

- sondą statyczną CPTU,
- sondą obrotową PSO-1.

Badania laboratoryjne gruntów w kategorii B norma BN-82/0403-02 dzieli na dwie grupy:

a) badania dla ogólnego postępu w rozpoznaniu właściwości wytrzymałościowych jednorodnych warstw litologiczno-stratygraficznych,

²Zespół warstw geotechnicznych (pakiet), to część podłoża gruntowego obejmująca kilka warstw, wydzielona w celu ustalenia dla niej uogólnionej (charakterystycznej) cechy (parametru).

b) badania dla szczególnie newralgicznych rejonów projektowanej kopalni.

Badania wytrzymałości na ścinanie gruntów przeprowadza się w kategorii B w aparatach trójosiowego ściskania, bez konsolidacji, z pomiarem ciśnienia wody w porach. W zależności od warunków pracy gruntu w masywie przyjmuje się dwa schematy przykładania obciążeń:

I — pionowe (osiowe) naprężenie σ_z — rosnące, poziome (promieniowe) naprężenie σ_r — stałe,

II — poziome (promieniowe) naprężenie σ_r — malejące, pionowe (osiowe) naprężenie σ_z — stałe.

Prędkość zmian obciążeń σ_z (schemat I) i σ_r (schemat II) nie powinna być większa od 20 kPa w ciągu 15 min. Aparaty trójosiowe powinny być wyposażone w urządzenie do pomiaru ciśnienia wody w porach oraz dla schematu II — w urządzenie zapewniające przekazywanie na próbkę stałego naprężenia pionowego.

W grupie badań a przyjmuje się losowy wybór próbek o nienaruszonej strukturze (NNS) w liczbie 36 wytrzymałościowych (pojedynczych ścięć) oznaczeń dla każdej wydzielonej w kategorii C₁ jednorodnej warstwy. Badania wytrzymałości na ścinanie wykonuje się przy minimum 4 różnych wartościach ciśnienia w komorze aparatu.

Do badań w grupie b reprezentującej grunty występujące w rejonach szczególnego zagrożenia, np. skarp stałych, pochylni itp., przeznacza się wszystkie próbki uzyskane z tych rejonów. Badania dla wydzielonej warstwy litologiczno-stratygraficznej nie powinny zawierać mniej niż 36 oznaczeń wytrzymałości (pojedynczych ścięć) wykonanych przy 6. różnych ciśnieniach w komorze aparatu. Stosowane ciśnienia powinny nawiązywać do obciążeń występujących w masywie gruntowym.

Przeprowadzenie badań grupy a i b pozwala na wyznaczenie:

— parametrów standardowej wytrzymałości na ścinanie wyrażonych w efektywnych i całkowitych naprężeniach (przy stosowaniu hipotezy wytrzymałościowej Coulomba–Mohra),

— parametrów trwałej wytrzymałości (na podstawie parametrów wytrzymałości standardowej) i konstrukcji graficznej podanej w BN-82/0403-02,

— na obliczenie na potrzeby projektowania w kategorii B uzyskanych wyników badań trójosiowych:

— wytrzymałości natychmiastowej,

— oporu ścinania na stykach pierwotnych (nienaruszonych) i naruszonych.

Wszystkie badania wytrzymałości na ścinanie muszą mieć wyznaczone podstawowe parametry fizyczne.

Dalszemu uszczegółowieniu należy poddać badania próbek gruntu pobranych z rejonu projektowanego zwałowiska. W badaniach określa się:

— wytrzymałość na ścinanie (ką tarcia wewnętrznego, spójność),

— moduły ściśliwości (pierwotnej i wtórnej),

— współczynnik konsolidacji.

Liczba badań wynika ze zmienności (niejednorodności) gruntów i powinna pozwolić na ustalenie parametrów charakterystycznych (obliczeniowych) dla każdej wydzielonej warstwy geotechnicznej. Podczas wykonywania badań należy uwzględnić warunki przyszłej pracy gruntu, co dotyczy zarówno warunków odpływu, jak i panujących obciążeń. Przy ocenie nośności podłoża zwałowiska powinny być wykonane badania w:

- aparacie trójosiowego ściskania metodą CIU, CAU lub CID,
- konsolidometrze przystosowanym do wysokich ciśnień.

Aparat trójosiowego ściskania musi mieć również wzmocnione komory, pozwalające na stosowanie ciśnień do 2 MPa, oraz powinien być wyposażony w *back pressure* i układ do bardzo powolnych zmian odkształcenia. Preferowane są badania z konsolidacją i z odpływem (CID). Szczegółowa metodyka takich badań przedstawiona jest w pracy K. H. Heada (1992).

3.1.1.5. Zakres badań geologiczno-inżynierskich w kategorii A

Badania geologiczno-inżynierskie przeprowadzane w trakcie eksploatacji złoża mają za zadanie:

- sprawdzenie, w jakim stopniu przewidywane w dokumentacjach warunki geologiczno-inżynierskie odpowiadają rzeczywistym warunkom udostępnionym w trakcie prowadzenia robót górniczych,
- dokonanie korekty zaprojektowanych wysokości i nachyleń zboczy odkrywki.

Obserwacje i dokumentowanie warunków oraz procesów geologiczno-inżynierskich w trakcie prowadzenia robót górniczych służą jako podstawa do sporządzania unaczęsnionych modeli prognozujących i pozwalają na dokonanie korekty modelu prognozującego z kolejnym przybliżeniem do modelu rzeczywistego.

Podczas prac terenowych wykonywanie robót górniczych stwarza możliwość zebrania obserwacji, w szczególności dotyczących wpływu opadów atmosferycznych na zachowanie się skarp i półek, zwłaszcza roboczych. W górnictwie odkrywkowym wykonaniu całego zakresu badań geologiczno-inżynierskich powinna towarzyszyć pełna analiza zjawisk wywołanych działaniem wody. Najwięcej kłopotów przysparzają wody znajdujące się w górotworze: reszkowe, które nie zostały odprowadzone mimo prac odwadniających, opadowe oraz pochodzące z roztopów. Bardzo ważne jest prowadzenie i notowanie (kartowanie) bieżących kompletnych obserwacji geologiczno-inżynierskich.

W fazie budowy wkopu otwierającego powinny być wykonane następujące prace:

- dokumentacyjne, dotyczące szczegółowego zdjęcia geologicznego skarp wyrobiska i zwałowiska w skali nie mniejszej niż 1:5000,
- dotyczące udokumentowania czynnych procesów geodynamicznych zachodzących na skarpach,
- dokumentacyjne stanu odwodnienia kopalni i jego wpływu na warunki geologiczno-inżynierskie kopalni,
- dotyczące sprawdzających w przypadku uzasadnionych wątpliwości badań właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i porównanie ich z wynikami uzyskanymi w trakcie dokumentowania złoża,
- dalsze uszczegółowienie udokumentowania podłoża zwałowiska zewnętrznego, rozpoznanie właściwości gruntów tworzących zwałowisko, dokumentowanie zjawisk i procesów rozwijających się na skarpach zwałowiska oraz wpływu technologii sypania zwałowiska na jego stateczność.

W szczególnych sytuacjach, wynikających z potrzeb eksploatacyjnych lub w sytuacjach zagrożeń górniczych, pobieranie próbek do dodatkowych badań uzupełniających odbywa się na udostępnionych skarpach w postaci monolitów lub z wierceń. Przede wszystkim w tej fazie prowadzi się rozpoznanie uzupełniające na terenie podłoża zwałowiska. Próbkę pobiera się cienko-

ściennymi cylindrycznymi próbnikami. W pracach terenowych należy przewidzieć rejestrację zachodzących zjawisk (głównie na zwałowisku) za pomocą fotogrametrii. Fotogrametria może być wykorzystana również do obserwacji zwałowiska wewnętrznego. Zdobyte doświadczenia ze zwałowiska zewnętrznego powinny być wykorzystane do projektowania zwałowiska wewnętrznego. Badania geologiczno-inżynierskie w dalszych latach eksploatacji prowadzić należy zawsze, gdy spotyka się warunki geologiczno-inżynierskie odbiegające od spotykanych i już udokumentowanych w poprzednich fazach.

W kategorii A, w fazie eksploatacji prowadzi się badania laboratoryjne w dużym zakresie. Norma BN-82/0403-02 w tej fazie przewiduje badania:

- gruntów zwałowych (zwałowanych),
- wytrzymałości trwałej gruntów o naturalnej strukturze i wilgotności (NNS),
- wytrzymałości styków warstw,
- rozpoznawcze dla dalszych faz eksploatacji.

Grunty zwałowane mają dwustopniową piętrową strukturę i uznaje się je za ośrodek rozdrobniony drugiego rodzaju (S. Dimitruk, 1965). Stopień pierwszy stanowi struktura wewnętrzna poszczególnych otoczków czy brył. Poszczególne otoczki tworzą z kolei stopień drugi. Makrostruktura gruntów zwałowanych z punktu widzenia geologii inżynierskiej jest najbardziej zbliżona do makrostruktury bryłowatej. W badaniach laboratoryjnych należy ustalić:

- a) zależność między gęstością objętościową ρ a naprężeniem pionowym σ ,
- b) zależność między oporem ścinania τ_{zw} a naprężeniem normalnym σ_n .

Badania a należy przeprowadzić w aparacie skrzynkowym i stoliku wibracyjnym na minimum 36 próbkach dla każdego rodzaju (typu) gruntu. Badania b wykonuje się dla wydzielonej warstwy gruntu na co najmniej 36. próbkach, przy co najmniej 6. różnych wartościach obciążenia pionowego stosowanego w aparacie skrzynkowym. Próbki gruntów używane do badań są odpowiednio przygotowane. Grunt NNS jest rozdrobniony do wymiarów grudek 0,2–0,6 cm, zagęszczony przez wibrowanie, a następnie ścinany w aparacie skrzynkowym pozwalającym na badanie próbek o wysokości 5 cm. W wyniku tak przeprowadzonych badań (bardziej szczegółowa metodyka jest podana w BN-82/0403-02) otrzymuje się dwie funkcje: $\rho = f(\sigma)$ i $\tau_{zw} = f(\sigma_n)$.

Badania wytrzymałości trwałej gruntów o strukturze NNS polegają na testach pełzania wykonywanych w aparatach trójosiowego ściskania. Aparat trójosiowy musi być wyposażony w urządzenie do przekazywania stałego obciążenia na próbkę podczas całego badania. Dla każdej wartości ciśnienia w komorze aparatu należy wykonać co najmniej 6 prób pełzania przy różnych wartościach naprężenia pionowego. W celu wyznaczenia parametrów trwałej wytrzymałości dla wydzielonej warstwy geotechnicznej, jest wymagane wykonanie pełzania przy co najmniej 4. różnych wartościach ciśnienia w komorze. Norma zaleca wykonywanie badań pełzania pod naprężeniami równymi: 0,3, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 wytrzymałości standardowej $\tau_f^c(q_f)$. W wyniku takich badań opracowuje się:

- a) wykresy pełzania, odkształcenie w funkcji czasu $\varepsilon_z = f(t)$,
- b) obliczenie prędkości odkształceń $\dot{\varepsilon}_z$, odpowiadającej prostoliniowemu odcinkowi krzywej pełzania,
- c) wykres zależności prędkości odkształceń od obciążenia $\dot{\varepsilon}_z = f(\sigma_z)$.

Następnie z wykresu $\dot{\varepsilon}_z = f(\sigma_z)$ odczytuje się wartość σ_{pT} odpowiadającą końcowi prostoliniowego odcinka tej zależności. Na podstawie wartości σ_{pT} oblicza się współrzędne ścieżki

obciążenia dla danego ciśnienia. Aproksymacja punktów ścieżek obciążenia dla różnych wartości ciśnień w komorze wyznacza:

- trwały kąt tarcia wewnętrznego,
- trwałą spójność.

Badania wytrzymałości na stykach warstw litologicznych przeprowadza się w aparacie trójosiowego ściskania zgodnie z metodyką jak dla kategorii B. Do badań pobiera się próbki z ujawnionych podczas eksploatacji styków w liczbie co najmniej 36. sztuk dla każdego styku. Powierzchnia stykowa powinna być zorientowana w wyciętej próbce, aby pokrywała się z kierunkiem przewidywanej powierzchni ścicia w komorze trójosiowej.

Badania rozpoznawcze dla dalszych faz eksploatacji na rozciętej części złoża prowadzi się zgodnie z metodyką jak w kategorii B.

3.2. Górnictwo podziemne

3.2.1. Etap badań wstępnych

Rozpoznanie złoża i otaczającego górotworu w etapie wstępnym (kat. C₂) jest realizowane głównie za pomocą wiertniczych otworów badawczych (niekiedy też badań geofizycznych) oraz oparte na analogii do eksploatacji w podobnych warunkach. Rozpoznanie to ma przede wszystkim charakter geologiczno-złożowy (granica złoża, forma i budowa złoża, rodzaj i jakość kopalin itp.). Liczba otworów niezbędnych do takiego rozpoznania (ich wzajemne odległości) w zależności od stopnia skomplikowania budowy geologicznej (grupy złóż) i dla rodzajów kopalin podaje załącznik 1 Wytocznych... (1992). Część otworów badawczych (złożowych) w ilości do około 10% winna być przeznaczona specjalnie na potrzeby badań geologiczno-inżynierskich. Otwory takie (otwory geologiczno-inżynierskie) winny być rdzeniowane od samej powierzchni terenu (jeśli wiercenia złożowe wykonuje się w całości lub w części techniką bezrdzeniową) celem rozpoznania budowy i właściwości górotworu oraz występujących w nim procesów (na podstawie badań rdzenia skalnego) w całej strefie ponad złożem, aż do powierzchni terenu, ze szczególnym uwzględnieniem strefy stropowej i spągowej samego złoża. W pozostałych otworach badawczych (złożowych) obserwacjami i wstępnymi badaniami geologiczno-inżynierskimi rdzenia wiertniczego należy objąć tylko strefę przyłożową (strefę w otoczeniu planowanych wyrobisk). Na przykład dla złóż węgla kamiennego jest to strefa grubości 5–10 m nad stropem złoża (zależna od jego miąższości) oraz strefa co najmniej 3 m grubości poniżej spągu złoża (Ramowe wytoczne..., 1982; Instrukcja..., 1985). Dla złóż miedzi np. (wg A. Piestrzyńskiego, 1996) zaleca się dokładniejsze badania górotworu w strefie około 15 m nad stropem planowanych lub wykonywanych wyrobisk, a maksymalnie do $9h$ (h — wysokość furty eksploatacyjnej).

Badania na rdzeniu wiertniczym poza strefą górotworu okalającą złożo (lub planowane wyrobiska górnicze), tj. w nadkładzie aż do powierzchni terenu, winny mieć tylko charakter identyfikacyjny, realizowany głównie w warunkach terenowych i obejmować:

- określenie uzysku rdzenia,
- opis litologiczny rdzenia, a w tym ocenę spękalności, porowatości, kawernistości itp.,
- makroskopową ocenę konsystencji skał ilastych (spoiстых),

— badania wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie (co najmniej na jednej próbce z każdej warstwy litologicznej profilu w każdym otworze) metodą obciążania punktowego w prasce przemieszczalnej lub w laboratorium.

Badania te dają możliwość ogólnej oceny charakteru górotworu i jego zachowania nad obszarem eksploatacji. Charakter badań na rdzeniu wiertniczym zarówno z otworów geologiczno-inżynierskich, jak i z otworów złożowych w strefie przyłożowej może się różnić zależnie od rodzaju złoża, głębokości i systemu podziemnej eksploatacji itp. Dla złóż węgla kamiennego (Ramowe wytyczne..., 1982; Instrukcja..., 1985) badania te obejmują:

— opis litologiczny rdzenia,
 — określenie średniego uzysku rdzenia (u_r),
 — określenie rzeczywistej średnicy rdzenia (d),
 — określenie średniej długości kawałków rdzenia w odcinku badawczym (l_{sr}),
 — oznaczenie krytycznej siły rozłupywania rdzenia (p_r) między współbieżnymi klinami w poprzek osi rdzenia (tylko w obrębie skał stropowych),

— oznaczenie krytycznej siły ściskania (p_c) na kierunku osi rdzenia między współbieżnymi stożkami (tylko w obrębie skał spągowych),

— oznaczenie średniej rozmakalności rdzenia (r_{sr}) (tylko w obrębie skał spągowych).

Na próbkach rdzenia węglowego z samego złoża dokonuje się określenia:

— krytycznej siły ściskania rdzenia na kierunku jego osi między współbieżnymi stożkami (p_c),

— oznaczania średnicy wgniotów wykonanych w węglu i na wzorcowej stalowej beleczce młotkiem Poldiego.

W przypadku złóż miedzi rejonu legnickiego (A. Piestrzyński, 1996) zarówno w strefie przyłożowej, jak i w strefie całego nadkładu wykonuje się w praktyce badania podstawowych parametrów fizyczno-mechanicznych na próbkach z rdzenia wiertniczego. Dla skał luźnych bada się gęstość objętościową i właściwą, wilgotność, granice konsystencji, kąt tarcia i spójność oraz wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, a dla skał zwięzłych — gęstość objętościową i właściwą, porowatość, nasiąkliwość, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie w powietrzno-suchym stanie rdzenia oraz w stanie pełnego nasycenia wodą, moduł odkształcenia ogólnego i moduł sprężystości.

Wyniki wstępnych badań skał stropowych i spągowych złóż węgla kamiennego służą do przybliżonego określania:

— Stopnia spękalności skał na podstawie wartości średniej długości kawałków rdzenia (średniego odstępu pomiędzy szczelinami na rdzeniu):

$l_{sr} > 50$ cm; skały niespękane,

$l_{sr} = 50-20$ cm; skały mało spękane,

$l_{sr} = 20-8$ cm; skały mocno spękane,

$l_{sr} < 8$ cm; skały bardzo mocno spękane.

— Klasyfikacji stropów wyrobisk w utworach karbońskich na podstawie oporów rozwarstwiania skał stropowych (R_{rr}) przy oznaczaniu krytycznej siły rozłupywania rdzenia (p_r), średniej długości kawałków rdzenia (l_{sr}), średniego uzysku rdzenia (u_r) i średniej rzeczywistej średnicy rdzenia (d). Stropy bezpośrednie dzielą się na sześć klas:

I — stropy opadające natychmiast, $R_{rr} = 0-0,5$ MPa,

II — stropy opadające, $R_{rr} = 0,5-1,5$ MPa,

III — stropy częściowo samonośne łatwo przechodzące w stan zawalu,

$R_{rr} = 1,5-3,0$ MPa,

Tabela 28

Klasyfikacja stropów w kopalni miedzi w aspekcie zagrożeń tąpnięciami

Klasa stropu	Wskaźnik stateczności stropu L_t	Charakterystyka zachowania się stropu
I	$L_t \leq 15$	Skąły stropowe o budowie drobnoławicowej i małych parametrach wytrzymałościowych. Bardzo duże zaangażowanie tektoniczne warstw stropowych. Współczynnik tektonicznego zaangażowania w granicach 0,00–0,25. Strop wykazuje skłonność do doszczelniania zrobów na skutek samoczynnego obrywania i odpadania płytów skalnych
II	$18 < L_t \leq 25$	Strop o zróżnicowanej budowie i wytrzymałości oraz zmiennym zaangażowaniu tektonicznym. Współczynnik tektonicznego zaangażowania $0,00 < M < 1,00$. Obserwuje się tendencje do odpadania płytów lub bloków skalnych nad zrobami
III	$25 < L_t \leq 50$	Strop o budowie gruboławicowej. Zaangażowanie tektoniczne stropu małe. Współczynnik tektonicznego zaangażowania $0,75 \leq M < 0,90$. Lokalnie strop sztywny o dużej nośności, zdolny do akumulowania energii sprężystej i gwałtownego jej oddawania podczas okresowych jego załamania
IV	$L_t > 50$	Strop o budowie gruboławicowej. Zaangażowanie warstw stropowych bardzo małe. Współczynnik tektonicznego zaangażowania w granicach $0,90 \leq M < 1,00$. Na całej powierzchni strop sztywny o dużej nośności, zdolny do akumulowania energii sprężystej i gwałtownego jej oddawania podczas okresowych jego załamania

Tabela 29

Klasyfikacja spągów w kopalni miedzi w zależności od średniej wytrzymałości warstwy skalnej do 2 m poniżej spągu wyrobiska

Klasa spągu	1	2	Charakterystyka skał spągu
I	brak	do 30 MPa	W spągu bezpośrednim występują skały o małej wytrzymałości, nie wykazujące skłonności do akumulowania energii sprężystej. Brak w spągu warstwy skał o wytrzymałości powyżej 60 MPa
II	do 1,5 m	30–60 MPa	W spągu bezpośrednim występują skały o średniej wytrzymałości i wykazujące skłonności do akumulowania energii sprężystej. W spągu występują lokalnie warstwy o wytrzymałości powyżej 60 MPa
III	>1,5 m	>60 MPa	W spągu bezpośrednim występują skały o dużej wytrzymałości, wykazujące skłonności do akumulowania energii sprężystej oraz w całym oddziale występuje warstwa skał o wytrzymałości powyżej 60 MPa

1 — miąższość warstwy skalnej w spągu bezpośrednim o wytrzymałości powyżej 60 MPa, 2 — średnia wytrzymałość warstwy skalnej w spągu do 2 m poniżej spągu wyrobiska.

IV — stropy samonośne o korzystnych parametrach stateczności i zawałowoci,
 $R_{rr} = 3,0\text{--}4,5$ MPa,

V — stropy nośne trudno przechodzące w stan zawału, $R_{rr} = 4,5\text{--}6,0$ MPa,

VI — stropy silnie zwięzłe bardzo trudno przechodzące w stan zawału, $R_{rr} > 6,0$ MPa.

— Klasyfikacji nośności (p) skał spagowych w utworach karbońskich na podstawie oznaczenia rozmakalności skał spagowych (r), krytycznej siły ściskania rdzenia (p_c), średniej długości kawałków rdzenia (l_{sr}), średniego uzysku rdzenia (u_r) i średniej rzeczywistej średnicy rdzenia (d). Skały spagowe dzieli się na trzy klasy:

I — spagi o dużej nośności, $p > 26$ MPa,

II — spagi o średniej nośności, $p = 26\text{--}6,5$ MPa,

III — spagi o małej nośności, $p < 6,5$ MPa.

W zależności od klasy spągu dobiera się rodzaje obudowy wyrobisk. Metodyka oznaczeń lub obliczeń odpowiednich parametrów niezbędnych przy klasyfikacji skał karbońskich jest zawarta w odpowiednich instrukcjach i wytycznych (Ramowe wytyczne..., 1982; Instrukcja..., 1985; A. Kidybiński i in., 1974).

Wyniki wstępnych badań skał permsko-triasowych, występujących w nadkładzie i otoczeniu złóż miedzi, służą do przybliżonego określania ich charakterystyki geomechanicznej oraz oceny zachowania się górotworu w otoczeniu wyrobisk (tab. 28, 29). W szczególności na podstawie badań wstępnych dokonuje się geologiczno-inżynierskiej rejonizacji złóż ze względu na rodzaj, miąższość i następstwo warstw geologicznych otaczających złoża oraz jakościowej klasyfikacji stropów i spagów wyrobisk w aspekcie zagrożeń tapaniami na podstawie obliczeń wskaźnika stateczności (L_t):

$$L_t = R_c \cdot S \cdot M,$$

R_c — wytrzymałość skał na ściskanie,

S — średnia grubość ławic skał występujących w stropie,

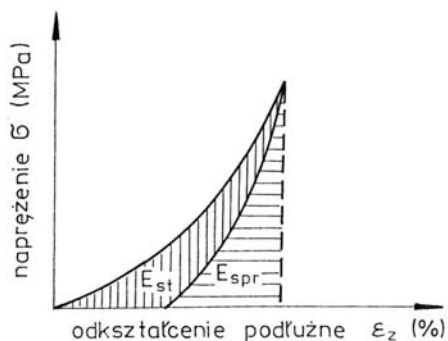
M — współczynnik tektonicznego zaangażowania stropu wyrażający natężenie występowania spekań ciosowych, zmineralizowanych szczelin oraz uskoków ($M = 0\text{--}1$).

3.2.2. Etap badań podstawowych

Badania podstawowe (kat. C₁) są oparte na rozpoznaniu złoża i otaczającego górotworu za pomocą zagęszczonej w stosunku do etapu badań wstępnych siatki wiertniczych otworów badawczych, wykonywanych z powierzchni terenu, a niekiedy badań geofizycznych. Odległości otworów (gęstość siatki otworów) w zależności od stopnia skomplikowania budowy geologicznej (grupy złóż) oraz rodzajów kopalin podają Wytyczne...(1992). Rozpoznanie otworami ma głównie charakter udokładnionych badań geologiczno-złożowych. Badania warunków geologiczno-inżynierskich winny tu mieć charakter bardziej systematyczny i ilościowo większy co do zakresu i rodzajów badań prowadzonych na próbkach rdzenia wiertniczego. Część otworów badawczych (do około 15% ogólnej liczby otworów) rdzeniowanych od powierzchni terenu winna być specjalnie przeznaczona do badań geologiczno-inżynierskich, a ich lokalizacja uwzględniać szczególnie rejony przewidywanych górniczych robót udostępniających i przygotowawczych (szyby, przekopy główne itp.) oraz rejony stwierdzonych badaniami wstępnymi skomplikowanych warunków geologicznych (rozłamy i strefy tektoniczne, zjawiska krasowe, kurzawkowe itp.).

Rys. 12. Wykres naprężenie–odkształcenie osiowe definiujący sposób wyznaczania energetycznego wskaźnika skłonności skał do tępai (w_{ET})

E_{st} — energia stracona, E_{spr} — energia sprężystości



Rodzaje badań na rdzeniach wiertniczych zarówno z otworów geologiczno-inżynierskich dla całego profilu wierceń, jak i otworów złożowych dla strefy przyłożowej (stropowej i spągowej planowanych wyrobisk) są w dużej mierze takie same, jak w etapie badań wstępnych, realizowane jednak w większym zakresie w warunkach laboratoryjnych. Większa liczba próbek z rdzeni wiertniczych pozwala nie tylko na ilościowe zwiększenie, a tym samym udokładnienie badań, lecz i na rozszerzenie badań o dodatkowe cechy skał, charakteryzujące właściwości i zachowanie się masywu skalnego w otoczeniu wyrobisk podziemnych. Dla złóż węgla kamiennego (skał karbońskich) są to głównie:

— Badania wskaźnika skłonności skał i węgla do tępai (W_{ET}), wyrażonego stosunkiem energii straconej w trakcie 1. cyklu obciążenia (E_{spr}) i odciążenia próbki skalnej (E_{str}). Sposób określenia w_{ET} ilustruje rysunek 12. Według wartości $W_{ET} = E_{spr} : E_{str}$ skały dzieli się na trzy klasy:

- I — skała silnie skłonna do tępai, $W_{ET} > 5$,
- II — skała średnio skłonna do tępai, $W_{ET} = 5-2$,
- III — skała słabo skłonna do tępai, $W_{ET} < 2$.

— Określenie wskaźnika faćjalności stropu (W_f) charakteryzującego naturalną skłonność do tępai stropowych i wyrażonego sumą iloczynów grubości poszczególnych warstw stropowych w 30-metrowym pakiecie skał nad stropem wyrobisk (A. Kidybiński, 1982). Według wartości:

$$W_f = \frac{W_1 + W_2 + W_3 \dots + W_n}{n - 2},$$

gdzie:

- W_1, \dots, W_n — iloczyny grubości poszczególnych warstw stropowych oraz odpowiedniej wagi, która dla węgla i ilowców = 1, dla piaskowców = 2,
- n — liczba warstw skalnych w 30-metrowym pakiecie nad stropem,

wydziela się 3 klasy skał:

- I — silnie skłonne do tępai, $W_f = 60-40$,
- II — średnio skłonne do tępai, $W_f = 40-20$,
- III — słabo skłonne do tępai, $W_f = 0-20$.

— Badanie energetycznego wskaźnika urabialności (U), wyrażającego miarę pracy koniecznej do rozdrobnienia skały i odniesionej do jednostki objętości skały. Według tego wskaźnika skały dzieli się na sześć klas:

- I — bardzo łatwo urabialne, $U = 0,3-0,8 \cdot 10^{-1} \text{ MJ/m}^3$,

- II — łatwo urabialne, $U = 0,8-1,35 \cdot 10^{-1} \text{ MJ/m}^3$,
- III — średnio urabialne, $U = 1,35-1,7 \cdot 10^{-1} \text{ MJ/m}^3$,
- IV — trudniej urabialne, $U = 1,7-1,9 \cdot 10^{-1} \text{ MJ/m}^3$,
- V — trudno urabialne, $U = 1,5-2,2 \cdot 10^{-1} \text{ MJ/m}^3$,
- VI — bardzo trudno urabialne, $U > 2,2 \cdot 10^{-1} \text{ MJ/m}^3$.

W zależności od klasy urabialności są dobierane rodzaje maszyn urabiających skały oraz moce tych maszyn, a także planowane sposoby wstępnego osłabienia skał (np. strzelanie zruszające, wtlaczanie wody itp.).

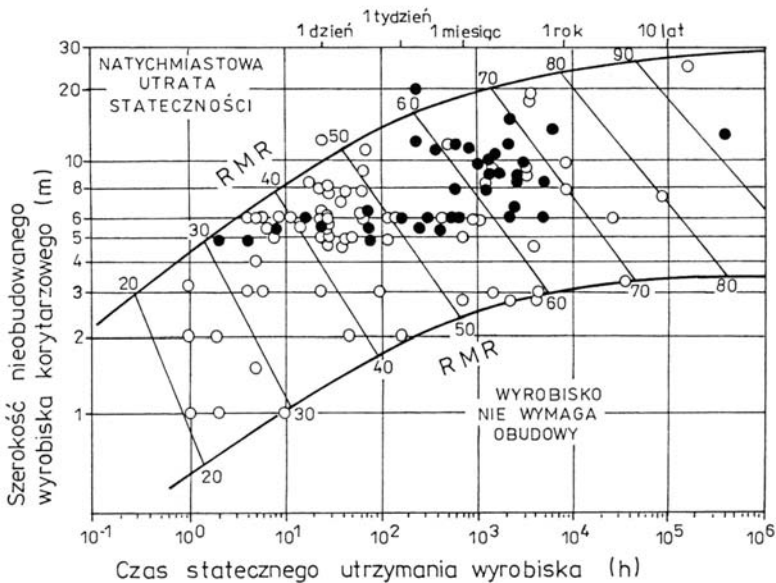
— Określenie wskaźnika zwięzłości (f_z) metodą tłuczenia, charakteryzującego odporność skały na zniszczenie w niej sił spójności i skłonności do wyrzutów skał i gazu.

— Określenie pęcznienia i ciśnienia pęcznienia skał ilastych.

— Określenie przewodności cieplnej, temperatury zamarzania, zmian objętościowych przy zamarzaniu oraz wytrzymałości po zamrożeniu, jeśli przewiduje się mrożenie górotworu (BN-83/0410-03).

Dla skał towarzyszących złożom miedzi (skały permsko-triasowe) na etapie badań podstawowych wykonuje się podobne badania jak w etapie wstępnym, lecz liczniejsze ilościowo i rozszerzone o dokładniejsze opisy i badania cech petrograficzno-strukturalnych oraz inne właściwości skał, jak:

- wytrzymałość skał na rozrywanie (R_r), np. metodą brazylijską,
- wytrzymałość skał na zginanie (R_g),
- wytrzymałość skał na ścinanie (R_t), np. metodą klinów, matrycowego ścinania płytek lub ścinania próbek nieforemnych w okleinie,



Rys. 13. Zależność między czasem statecznego utrzymania wyrobiska a jego szerokością, w nawiązaniu do geomechanicznej klasyfikacji skał wyrażonej wskaźnikiem RMR (wg Z. T. Bieniawskiego)

— dynamiczny wskaźnik zwięzłości (f_d).

Badania te pozwalają na dokładniejszą ocenę zachowania się górotworu wokół wyrobisk i ich zagrożeń ze strony zjawisk geodynamicznych oraz rejonizację górotworu. Zarówno dla podziemnych wyrobisk górniczych związanych z eksploatacją złóż, jak i wykonywanych dla innych celów, winno się w etapie badań podstawowych określać na próbkach z rdzeni wiertniczych wartości wskaźników RQD oraz RMR (rozdział D.4).

Wskaźnik RQD charakteryzuje nie tylko stopień szczelinowatości skał, lecz również pośrednio ich jednorodność, wytrzymałość itp. Wskaźnik RMR (wskaźnik jakości masywu skalnego), określane na podstawie sześciu ocenianych punktowo różnych cech masywu (wytrzymałość skały na ściskanie, podzielność rdzenia wiertniczego, charakter spękań, zawodnienie masywu, orientacja spękań w stosunku do kierunku obciążeń), pozwala (rys. 13) na ocenę stateczności, nośności, urabialności i innych inżynierskich właściwości masywu skalnego (Z. T. Bieniawski, 1989).

Na podstawie całości wykonanych prac w etapie badań podstawowych niezbędne jest ustalenie reprezentatywnych (miarodajnych, obliczeniowych) wartości cech fizyczno-mechanicznych (geotechnicznych) skał, z wykorzystaniem metod statystyki i z uwzględnieniem lokalnej i regionalnej zmienności skał, zwłaszcza w funkcji głębokości. Na tym etapie badań winno się w górotworze wydzielić serie geologiczno-inżynierskie o zbliżonych właściwościach mechanicznych lub, w miarę możliwości, warstwy geotechniczne o większym stopniu jednorodności cech oraz dokonać rejonizacji geologiczno-inżynierskiej złoża i przedstawić ją w postaci map warunków geologiczno-inżynierskich wykorzystując całość obserwacji i badań geologicznych i geologiczno-inżynierskich.

3.2.3. Dokumentacja geologiczno-inżynierska na etapie badań szczegółowych (uzupełniających)

Etap badań szczegółowych jest realizowany w trakcie wykonawstwa robót górniczych. W przypadku złóż są to roboty górnicze udostępniające, przygotowawcze oraz eksploatacyjne. Badania geologiczno-inżynierskie skał w tym etapie prowadzone są zarówno na materiale z wierceń małodymensyjnych prowadzonych z wyrobisk górniczych, jak i na monolitycznych próbkach skał pobieranych z ociosów wyrobisk, przy czym badania cech wytrzymałościowo-deformacyjnych prowadzi się w rozszerzonym zakresie, a badania cech fizycznych tylko kontrolnie w stosunku do etapów wcześniejszych. Badania i pomiary prowadzi się też bezpośrednio w wyrobiskach (*in situ*). Na etapie badań szczegółowych zachodzi konfrontacja wyników badań z etapów wcześniejszych ze stanem rzeczywistym, obserwowanym i badanym w wyrobiskach, między innymi w wyniku kartowania wyrobisk. Dokonuje się też dokumentowania zmian zachodzących w górotworze pod wpływem wykonawstwa wyrobisk. Odślonienie górotworu w wyrobiskach pozwala na jego dokładniejsze opróbowanie w nawiązaniu do obserwowanej bezpośrednio budowy oraz na opróbowanie szczególnych stref w górotworze (słabe wkładki skał, strefy kontaktów warstw geologicznych, powierzchnie tektoniczne, strefy zwietrzenia itp.) i poddanie próbek skał badaniom zarówno standardowym, jak i specjalnym. Do badań specjalnych na próbkach skalnych, prowadzonych w nawiązaniu do potrzeb danego obiektu górniczego, można tu zaliczyć:

— określenie reologicznych właściwości skał, a w tym wytrzymałości długotrwałej,

— określenie wytrzymałościowo-deformacyjnych właściwości skał w tzw. fazie pozniszczeniowej (ważne dla filarów górniczych),

— określenie wytrzymałościowo-deformacyjnych właściwości skał w warunkach obciążeń dynamicznych (cyklicznych i udarowych),

— określenie wytrzymałościowo-deformacyjnych właściwości skał w warunkach obciążeń trójosiowych i dużych ciśnień oraz ewentualnie podwyższonej temperatury.

Badania standardowe, a zwłaszcza specjalne cech fizyczno-mechanicznych, często nawiązuje się do szczegółowych badań cech petrograficzno-strukturalnych wydzielonych rodzajów skał (charakter i wielkość ziarn lub kryształów, rodzaj i struktura spoiwa skalnego, cechy porowatości skały itp.).

Badania i obserwacje prowadzone w wyrobiskach (*in situ*) najczęściej obejmują:

— wielkoskalowe badania wytrzymałości i odkształcalności skał na specjalnie wyciętych i przygotowanych blokach skalnych,

— wielkoskalowe badania wytrzymałości na ścinanie bloków skalnych, zwłaszcza na powierzchniach uwarstwienia i kontaktach różnych warstw geologicznych,

— wielkoskalowe badania odkształcalności górotworu metodą obciążenia spągu płytą sztywną lub metodą radialnego obciążenia ociosów wyrobiska podziemnego,

— badania szczelinowatości górotworu (sondami areometrycznymi, metodami presjometrycznymi, wziernikowymi, próbnikami itp.),

— badania naprężeń panujących w górotworze metodami bezpośrednimi lub pośrednimi,

— obserwacje i pomiary przejawów ciśnienia górotworu (wypór skał spągowych w wyrobisku, rozwarstwianie się skał stropowych i na ociosach),

— geofizyczne pomiary zasięgu stref odprężenia i spękania górotworu,

— dokładne pomiary gęstości i kierunków oraz charakteru powierzchni spękań górotworu (praktycznie niemożliwe do przeprowadzenia na próbkach skalnych rdzenia wiertniczego),

— masowe profilowanie ociosów za pomocą pośrednich metod oceny wytrzymałości i odkształcalności skał (np. młotkiem udarowym Schmidta, penetrometrami itp.),

— obserwacje charakteru stref uskokowych,

— dokładne pomiary i obserwacje charakteru, następstwa i grubości ławic skalnych oraz pakietów skalnych (także na podstawie płytkich kierunkowych otworów wierconych z wyrobisk), praktycznie trudne do oceny przy stromym ułożeniu warstw na podstawie rdzeni z otworów powierzchniowych.

Wymienione badania, a czasami jeszcze inne geologiczno-inżynierskie (geomechaniczne) badania i obserwacje skał i górotworu prowadzone na etapie badań szczegółowych, mogą być bardzo różnorodne. Decyzję o rodzaju i zakresie tych badań musi podejmować geolog dokumentujący złożę (lub masyw skalny przy wykonywaniu wyrobisk podziemnych nie związanych z eksploatacją złóż) w nawiązaniu do konkretnych warunków geologiczno-inżynierskich, rodzajów skał, stopnia złożoności budowy geologicznej, rodzaju kopaliny i głębokości jej występowania (głębokości wyrobisk), rodzaju obiektów inżynierskich, warunków ich pracy (np. obiekty hydrotechniczne, komunikacyjne), dotychczasowych doświadczeń z eksploatacji podobnych złóż lub obiektów itp. Badania i obserwacje geologiczno-inżynierskie prowadzone na wszystkich etapach i przedstawiane w postaci dokumentacji geologiczno-inżynierskich, winny przede wszystkim odpowiadać na pytania dotyczące warunków wykonawstwa wyrobisk podziemnych, a w tym zwłaszcza zagrożeń dla ludzi i sprzętu ze strony naturalnych i wzbudzonych eksploatacją zjawisk geodynamicznych oraz utrudnień wykonawstwa i eksploatacji wyrobisk. W efekcie winny być pomocne w wyborze systemu eksploatacji, doborze rodzajów obudowy wyrobisk, do-

borze maszyn urabiających stosownie do urabialności skał, ocenie wpływu wykonawstwa wyrobisk na powierzchnię terenu i związanym z tym zagrożeniami dla obiektów powierzchniowych itp. Zakres i metodyka badań geologiczno-inżynierskich na terenach górniczych dla celów wykonawstwa obiektów powierzchniowych, także związanych z eksploatacją złoża, stanowi odrębny problem i jest on ujęty w odpowiedniej instrukcji (Instrukcja..., 1970). Badania geologiczno-inżynierskie (geomechaniczne) z etapu badań szczegółowych często są zestawiane w postaci odrębnej dokumentacji i nie muszą stanowić części kompleksowej dokumentacji geologicznej. Formy opracowań tych dokumentacji mają charakter graficzny, tabelaryczny i tekstowy (B. Jakubicz, 1979; T. Goduła, 1988).

3.3. Górnictwo otworowe

Otworowa eksploatacja złóż surowców stałych (górnictwo otworowe) jest w porównaniu do eksploatacji otworowej złóż płynnych dość młodą dziedziną górnictwa. Nie ma ona jeszcze większego zastosowania oraz doświadczeń w zakresie potrzeb dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. W kraju techniką otworową eksploatuje się złoża siarki (podziemny wytop), niektóre złoża soli kamiennej (podziemne wyługowywanie) oraz próbnie złoża piasków szklarskich i węgla brunatnego (podziemne hydrourabianie).

Badania geologiczno-inżynierskie wstępne i podstawowe dla celów górnictwa otworowego winny być w zasadzie takie same jak dla górnictwa podziemnego i obejmować podstawową charakterystykę budowy i właściwości fizyczno-mechanicznych górotworu w strefie ponad złożem i w jego otoczeniu. Wszystkie te badania są prowadzone na rdzeniach wiertniczych. Nie wyróżnia się tu etapu badań szczegółowych, jak w wyrobiskach podziemnych, z powodu praktycznej niedostępności do badań i obserwacji pustek poeksploatacyjnych po otworowej metodzie eksploatacji. W zależności od metody i rodzaju eksploatowanego otworowo złoża, na próbkach rdzeni prowadzi się badania specjalne.

Dla złóż siarki eksploatowanych metodą podziemnego wytopu badania specjalne według S. Rybickiego (1973) obejmują:

- określenie przewodności i pojemności cieplnej skał złożowych i otaczających złożo,
- określenie wytapialności siarki i wskaźnika wytapialności,
- określenie wytrzymałości na ścislenie skał złożowych po wytopie siarki,
- określenie porowatości i współczynnika filtracji wody skał złożowych po wytopie siarki.

Dla złóż soli eksploatowanych metodą podziemnego ługowania do badań specjalnych zalicza się badanie rozmywalności soli.

4. GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA OCENA MASYWU GRUNTOWEGO (SKALNEGO)

Stan nieciągłości masywów gruntowych (skalnych) można określić poprzez parametry szczelinowatości (A. Kidybiński, 1982):

a. Szczelinowatość liniową (S_L):

$$S_L = \frac{n}{L},$$

gdzie:

n — liczba spękań,
 L — długość.

b. Szczelinowatość powierzchniową (S_p):

$$S_p = \frac{\sum m \cdot l}{p},$$

gdzie:

m — liczba śladów spękań,
 l — długość pojedynczego pęknięcia w granicach analizowanej powierzchni,
 p — jednostka powierzchni.

c. Szczelinowatość przestrzenną (objętościową) (S_v):

$$S_v = \frac{\sum r \cdot s}{V},$$

gdzie:

r — liczba spękań/szczelin,
 s — powierzchnia pojedynczego pęknięcia/szczeliny,
 V — objętość analizowanej skały.

d. Wskaźnik RQD (Deere'a):

$$RQD = \frac{L_l}{L_t} \cdot 100\%,$$

gdzie:

L_l — całkowita długość odcinków rdzenia, których długość jest większa od podwójnej średnicy,
 L_t — całkowita długość analizowanego rdzenia,

określa nieciągłość masywu i ustala się go na podstawie pomiarów rdzenia wiertniczego.

e. Wskaźnik spękania (tzw. faktor kiruński) J. Hansagi (C):

$$C = \frac{1}{2S} \left(p \cdot H + \frac{K}{n} \right),$$

gdzie:

p — maksymalna liczba próbek cylindrycznych, którą można uzyskać do badania na R_c ,
 S — długość rdzenia,
 H — wysokość próbki cylindrycznej,
 K — sumaryczna długość odcinków rdzenia długości większej niż średnica,
 n — liczba odcinków rdzenia długości większej niż średnica.

f. Parametry podzielności rdzenia wiertniczego:

- uzysk rdzenia (z dokładnością 0,01) U (%),
- długość średnia odcinków między spękaniami dzielącymi rdzeń na kawałki l_{sr} (cm), pomiar z dokładnością 0,5 cm,
- rzeczywista średnica rdzenia d .

g. Wskaźnik porowatości szczelinowej (K_s) L. I. Niejsztadta (1957):

$$K_s = \frac{\Delta r}{L_r} \cdot 100\%,$$

gdzie:

- r — straty rdzenia (m)
- L_r — długość otworu wiertniczego (m).

Ocena geologiczno-inżynierska, z uwagi na złożoność zachowania masywu skalnego, powinna uwzględniać jak najwięcej różnych czynników (parametrów). Z wielu propozycji, jako najbardziej kompleksowe i kompletne należy wymienić klasyfikacje:

- Z. T. Bieniawskiego (1989) (system punktowy),
- N. Bartona i in. (1974) na podstawie wskaźnika Q .

Klasyfikacja Z. T. Bieniawskiego uwzględnia 6 podstawowych parametrów masywu skalnego:

- 1) wytrzymałość na ściskanie (0–15),
- 2) RQD (3–20),
- 3) odstęp spękań (5–30),
- 4) charakter spękań (0–25),
- 5) zawodnienie (0–10),
- 6) orientację szczelin (spękań) (0–60).

Ogólna ocena jakości masywu skalnego wynika z sumy punktów podanych w nawiasach przy poszczególnych czynnikach (RMR). Wyróżnia się 5 klas:

- I — bardzo mocne masywy, $RMR = 100-81$ pkt.,
- II — mocne masywy, $RMR = 80-61$ pkt.,
- III — średnie masywy, $RMR = 60-41$ pkt.,
- IV — słabe masywy, $RMR = 40-21$ pkt.,
- V — bardzo słabe masywy, $RMR = 20-0$ pkt.

Klasyfikacja według wskaźnika Q również uwzględnia 6 ważnych parametrów masywu:

- 1) RQD — wskaźnik nieciągłości masywu (0–100%),
- 2) I_n — wskaźnik liczby systemów spękań (0,5–20),
- 3) I_r — wskaźnik szorstkości szczelin (0,5–4),
- 4) I_a — wskaźnik zwietrzenia ścianek szczelin (0,75–20),
- 5) I_w — wskaźnik zawodnienia (0,05–1),
- 6) SFR — wskaźnik odprężenia masywu (1–20),

w następującej funkcji:

$$Q = \frac{RQD}{I_n} \cdot \frac{I_r}{I_a} \cdot \frac{I_w}{SFR},$$

Obliczeniowa wartość wskaźnika Q może zmieniać się w granicach 0,001–1000 i uwzględnia około 300 000 kombinacji geologicznych.

Między obydwoma klasyfikacjami istnieje zależność funkcyjna — są porównywalne (A. Kidybiński, 1982).

Przedstawiona ocena stanowi pierwszy etap oszacowania zachowania się masywu skalnego pod działaniem obciążenia. Opiera się ona przede wszystkim na parametrach maksymalnej wytrzymałości na ściskanie (stany przedkrytyczne). W ostatnich latach bardzo intensywnie rozwinięły się badania wytrzymałości skał (sztywne prasy, np. MTS) w stanach tzw. pokrytycznych (badania GIG; J. Pinińska i in., 1994, 1995). Wytrzymałość pokrytyczna znacznie właściwiej (bliżej rzeczywistości) odzwierciedla prace masywu spękanego. Stawianie prognoz powinno odbywać się poprzez analizę wyników badań uwzględniających odkształcenia po przekroczeniu granicy wytrzymałości próbki skalnej.

5. BUDOWNICTWO LINIOWE

5.1. Informacje ogólne

Do obiektów liniowych zalicza się przede wszystkim autostrady, drogi, koleje, rurociągi, kanały, linie energetyczne przesyłowe itp. Z obiektami liniowymi funkcjonalnie są związane obiekty towarzyszące:

- obiekty na trasie — mosty, wiadukty, przepusty,
- obiekty obsługi — stacje kolejowe, stacje benzynowe, motele, budynki obsługi, stacje transformatorowe, budowle hydrotechniczne związane z kanałami, budynki zaplecza itp.
- obiekty eksploatacji materiałów budowlanych — żwirownie, piaskownie, glinianki oraz kamieniołomy.

Projekt prac geologicznych należy opracować zgodnie z zasadami ogólnymi podanymi w części A. Inwestycje liniowe z natury nie wymagają zbyt głębokich i obszernych badań. Najczęściej będą to płytkie wiercenia i sondowania różnego typu. Kartowanie geologiczno-inżynierskie jest ograniczone w zasadzie do obszarów, na których jest rozpatrywany wielowariantowy przebieg trasy lub zachodzi konieczność określenia głębokości i zasięgu gruntów słabych, przede wszystkim torfów. W metodach geologicznych szczególną rangę ma interpretacja zdjęć lotniczych, która przy określaniu warunków geologicznych terenu dla obiektów liniowych, ze względu na stosunkowo płytkie podłoże budowlane, jest bardzo przydatna. Umiejętna fotointerpretacja zdjęć lotniczych, uzupełniona szczegółowym przeglądem terenu, pozwoli na racjonalne ograniczenie wykonywania wyrobisk.

5.2. Interpretacja zdjęć lotniczych

Do interpretacji zdjęć lotniczych płytkiego podłoża budowlanego dla tras obiektów liniowych należy stosować ogólne zasady interpretacji zawarte w podręcznikach.

Obecnie wiele biur projektujących drogi, szczególnie autostrady, stosuje automatyczne wspomaganie komputerowe w procesie projektowania, wykorzystujące cyfrowe podkłady topo-

graficzne w postaci cyfrowej ortofotomapy i numerycznego modelu terenu. Podstawą opracowania wymienionych podkładów topograficznych są stereogramy lotnicze lub satelitarne. Z tego powodu zaleca się wykorzystanie stereogramów do geologicznej interpretacji i do pracy w terenie. W tym przypadku przeniesienie treści geologicznej na cyfrowe podkłady topograficzne będzie bardzo dokładne i łatwe. Ogólny schemat organizacji projektowania inżynierskiego i badań geologiczno-inżynierskich dla autostrad podany jest na [rysunku 14](#).

Z ogólnie stosowanych elementów rozpoznawczych przy interpretacji zdjęć lotniczych w celu rozpoznania płytkiego podłoża budowlanego obiektów liniowych, największą przydatność wykazują: stopień szarości, tekstura zdjęcia lotniczego i element roślinny.

Poszczególne obszary wydziela się na zasadzie zróżnicowania samego stopnia szarości lub też różnej struktury i tekstury wydzielenia w stosunku do otoczenia. Na obszarze Niżu Polskiego jasne fototony odpowiadać będą przede wszystkim piaskom plażowym i wydmom. Szczególnie te ostatnie można łatwo wydzielić z otoczenia. Na południu Polski jasne fototony są często związane z występowaniem wychodni skał, szczególnie wapieni.

Ciemne fototony, co jest ważne przy interpretacji podłoża budowlanego pod drogi, są przede wszystkim związane z występowaniem słabszych gruntów — torfów, namulów i podmokłości. W obrębie tych samych gruntów, płytsze występowanie zwierciadła wody gruntowej jest zaznaczone na zdjęciu lotniczym ciemniejszym odcieniem szarości.

Wskutek efektu hiperstereoskopowego podczas analizy zdjęć lotniczych pod stereoskopem, możliwe jest bardziej dokładne niż w terenie wydzielenie poszczególnych tarasów, form krasowych, osuwiskowych itp. Przy wykorzystaniu istniejących zdjęć lotniczych z różnych lat można dokonać analizy rozwoju form geologicznych w czasie. Na przykład szybkość rozwoju jarów lessowych, osuwisk, zapadlisk krasowych, cofania się klifów i innych krawędzi erozyjnych może mieć wpływ na ocenę warunków geologiczno-inżynierskich przy lokalizacji obiektów liniowych.

Obserwacja zdjęć lotniczych pod stereoskopem zezwala na powiązanie fototonu z formami rzeźby terenu. Szata roślinna jest także bardzo wrażliwa na stopień nasycenia wodą. Wilgotność jest z kolei wiodącą cechą geotechniczną związaną z konsystencją gruntów. Ponieważ podłoże budowlane dla obiektów liniowych jest najczęściej bardzo płytkie, a wpływ budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych na głębię i roślinność obejmuje strefę głębokości 2–4 m, dlatego zastosowanie fotogeologii w budownictwie drogowym jest najbardziej uzasadnione i efektywne.

5.3. Badania geofizyczne

- Dla obiektów liniowych wykonuje się badania geofizyczne najprostszymi metodami w celu:
- rozpoznania określonych elementów budowy geologicznej wzdłuż trasy lub rejonu złoża,
 - określenia zagrożenia korozyjnego,
 - określenia niektórych cech geologiczno-inżynierskich podłoża.

Badania geofizyczne stosuje się przede wszystkim na odcinkach, na których projektowana głębokość robót ziemnych związanych z realizacją obiektu liniowego przekracza 4–5 m oraz gdzie spodziewany kontrast fizyczny rokuje pozytywne wyniki.

Do podstawowych zadań geologicznych przy zastosowaniu metod geofizycznych należą między innymi:

- określenie głębokości występowania stropu skalnego podłoża, warstwy gruntu spoistego itp.,
- określenie strefy zwietrzałej,
- okonturowanie złóż materiałów budowlanych,
- racjonalne lokalizowanie wierceń w miejscach anomalii geofizycznych i w rejonach charakterystycznych.

Wzdłuż tras rurociągów określa się zagrożenie korozyjne metodą jednopoziomowego profilowania elektrooporowego. Stopień zagrożenia korozyjnego oraz potrzebę zastosowania innych metod można odczytać z tabeli 30.

Tabela 30

Parametry do określenia stopnia zagrożenia korozyjnego

Parametry określające właściwości korozyjne gruntu	Stopień zagrożenia korozyjnego		
	wysoki	średni	niski
Opór właściwy gruntu (Ωm)	< 20	20–100	> 100
pH gruntu	< 4,5	4,5–8	> 8
Aktywność korozyjna (g) (metoda Corfielda)*	> 3	1–3	< 1
Analiza chemiczna **, związki organiczne (%)	> 1,5	< 1,5	< 1,0
Azotany (%)	> 0,001	< 0,001	< 0,0001

* Badania aktywności korozyjnej należy wykonać w przypadku, gdy wartość oporu właściwego świadczy o innym stopniu zagrożenia korozyjnego niż wyniki pomiaru pH gruntu.

** Analizę chemiczną należy wykonać w miejscach o dużym zanieczyszczeniu gruntu, np. przez ścieki zakładów przemysłowych.

5.4. Zależność badań od etapu projektowania

Dla dużych inwestycji liniowych badania wykonuje się najczęściej maksymalnie w trzech etapach:

- rozpoznawczym (dla studium przedprojektowego),
- szczegółowym lub podstawowym (w celu uzyskania wskazania lokalizacyjnego i decyzji lokalizacyjnej lub o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu ewentualnie dla projektu budowlanego względnie wykonawczego),
- uzupełniającym (w miarę potrzeb dla projektowania, a szczególnie dla budowy, eksploatacji i modernizacji obiektów).

W przypadku celowości wykonywania badań geologiczno-inżynierskich w trzech etapach proponuje się odpowiednie zakresy badań. Rodzaje badań w zależności od etapów projektowania podano w tabeli 31.

Tabela 31 (cd.)

Obiekty inżynierskie	Badania geologiczno-inżynierskie i geotechniczne														
	Badania polowe														
	Ścinanie obrotowe		Badania presjometryczne			Penetrometr kieszonkowy i młotek Schmidta			Badania filtracji			Próbné obciążenia płytą		Badanie dylatometrem	
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Drogi: autostrady projektowane drogi inne projektowane drogi modernizowane															
	+		+												
Koleje: projektowane rozbudowywane															
	+														
Rurociągi i kanały zakryte															
Linie energetyczne przesyłowe															
Kanały															
Obiekty na trasie: mosty, wiadukty, przepusty															
	+		(+)												
Obiekty obsługi: a) stacje obsługi b) stacje kolejowe c) przepompownie d) budowle hydrotechniczne związane z kanałami e) stacje transformatorowe f) budynki zaplecza															
Złóża surowców budowlanych															

+ — badanie podstawowe, (+) — badanie zalecane dla dużych inwestycji lub w trudnych warunkach; etapy badań: I — rozpoznawczy, II — szczegółów (podstawowy), III — uzupełniający i kontrolny.

5.4.1. Zakres badań na etapie rozpoznawczym

Badania geologiczno-inżynierskie na tym etapie powinny dostarczyć informacji dotyczących:

- ogólnych zarysów budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i własności fizyczno-mechanicznych podłoża obiektów liniowych,

- występowania na obszarze badań, lub w bezpośrednim sąsiedztwie procesów i form geodynamicznych (stopień aktywności procesów, obszar występowania, przebieg w czasie i przewidywane skutki),

- możliwości zaopatrzenia inwestycji w surowce naturalne.

Opracowanie tych zagadnień opiera się przede wszystkim na:

- materiałach archiwalnych (dokumentacje geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne i surowcowe, mapy geologiczne, topograficzne, mapy rejestracji osuwisk, literatura itp.),

- wstępnej i szczegółowej interpretacji zdjęć lotniczych,

- szczegółowym przeglądzie terenu,

- kontrolnych sondowaniach ręcznych do głębokości 3–6 m,

- kartowaniu wybranych obszarów (np. obszary osuwiskowe, torfowiska itp. oraz inne obszary o intensywnym działaniu procesów geodynamicznych),

- badaniach geofizycznych realizowanych w poszczególnych sytuacjach na kartowanych obszarach,

- wierceniach rozpoznawczych, które wykonuje się dla obiektów na trasie lub dla obiektów towarzyszących,

- stacjonarnych obserwacjach wód gruntowych w studniach i piezometrach w celu określenia wpływu kanału na otoczenie.

W skład dokumentacji wchodzi przede wszystkim mapy w skalach 1:5000–1:25 000: dokumentacyjna, występowania gruntów, szkic hydrogeologiczny, szkic występowania materiałów budowlanych, rejonizacja procesów geodynamicznych na mapie występowania gruntów lub odrębnie, przekrój przez całą trasę lub jej części oraz tekst objaśniający.

5.4.2. Zakres badań na etapie szczegółowym

5.4.2.1. Drogi i linie kolejowe

Opracowanie przydatności podłoża dla tras drogowych i kolejowych opiera się na:

- przeglądzie terenu,

- analizie zdjęć lotniczych i kartowaniu geologiczno-inżynierskim,

- badaniach geofizycznych,

- robotach ziemnych i wiertniczych,

- badaniach laboratoryjnych i polowych.

Przeгляд terenu, analizę zdjęć lotniczych i kartowanie wykonuje się na tym etapie jedynie w przypadku nie wykonania tych czynności na etapie badań rozpoznawczych lub w przypadku konieczności uzupełniania na pewnych odcinkach. Badania geofizyczne należy wykonać dla poszczególnych zadań w nawiązaniu do wierceń.

Lokalizując wyrobiska (szybiki, sondy ręczne, otwory wiertnicze) należy kierować się wytycznymi tabeli 32.

Tabela 32

Rozmieszczenie wierceń i ich głębokość w zależności od złożoności budowy podłoża

Warunki geologiczne	Największa odległość między wyrobiskami wzdłuż osi trasy (m)	Liczba otworów w przekroju poprzecznym do osi trasy *	Odległość między wyrobiskami w przekroju poprzecznym do osi trasy (m)	Głębokość otworu od: powierzchni terenu, dna wykopu ** (m)	Głębokość wykopu lub wysokość nasypu (m)
Proste	100–200	3	10–50	3 3 4 5	wykop nasyp do 5 nasyp 5–10 nasyp > 10
Złożone i skomplikowane	50–100	co najmniej 3	10–30	4 4 5 6	wykop nasyp do 5 nasyp 5–10 nasyp > 10

* W przypadku stwierdzenia w wyrobiskach wykonanych w osi trasy lub podczas kartowania (pomiaru biegu i upadu) otworów lub zjawisk wskazujących na możliwość powstawania osuwisk (iły warwowe, krakowieckie itp., zaburzenia gładitektoniczne, zawodnienie itp.) należy dodatkowo wykonać niezależnie od stopnia skomplikowania budowy geologicznej przekroje poprzeczne w celu sprawdzenia stateczności podłoża.

** Na obszarach o występowaniu gruntów słabo nośnych (torfy, namuły, kreda jeziorna itp.) głębokość otworów powinna być 2 m poniżej spągu tych otworów.

Na próbkach pobranych z wyrobisk należy wykonać badania standardowe, ze szczególnym uwzględnieniem wilgotności optymalnej i kalifornijskiego współczynnika nośności podłoża.

Podczas badań terenowych gruntów słabonośnych należy położyć nacisk na wyznaczenie stopnia zagęszczenia gruntów sypkich i konsystencji gruntów spoistych przy zastosowaniu odpowiednich sond.

5.4.2.2. Rurociągi i kanały zakryte oraz odkryte

Opracowanie przydatności podłoża dla rurociągów i kanałów zakrytych oraz odkrytych opiera się na:

- przeglądzie terenu,
- badaniach geofizycznych,
- robotach ziemnych i wyrobiskach,
- badaniach laboratoryjnych i polowych.

Należy dążyć do jednoetapowego rozpoznania warunków geologicznych. Badania geofizyczne ograniczają się często do określenia stopnia agresywności podłoża. Odległość i głębokość wyrobisk podaje tabela 33.

W przypadku układania przewodów w wykopach ziemnych na głębokości większej niż 5,0 m pod powierzchnią terenu należy rozpoznać trasę, wykonując wiercenia po obu stronach trasy. Odległość otworów od osi trasy powinna się równać dwukrotnej przewidywanej głębokości wykopu.

Tabela 33

Odległość i głębokość wyrobisk w zależności od złożoności budowy podłoża

Warunki geologiczne	Odległość między wyrobiskami wzdłuż trasy (m)	Głębokość wyrobiska poniżej poziomu ułożenia przewodu (m)
Proste	100–300	1
Złożone i skomplikowane	50–100 lub pod podpory	3

Odległość między otworami w celu udokumentowania obszarów bagien i torfowisk powinna wynosić 25–50 m.

W przypadku przejścia rurociągu przez wody powierzchniowe (płynące) oraz przez torfowiska, bagna itp., głębokość wyrobisk badawczych powinna wynosić 5 m poniżej dna rzeki lub sągu gruntów organicznych lub sięgać do poziomu uzgodnionego z biurem projektów.

Na obszarach górniczych głębokość wyrobisk powinna być większa od głębokości wykopu o 3 m.

Na odcinkach wymagających obniżenia zwierciadła wody gruntowej część wierceń powinna być głębsza, tak aby uzyskać dane do projektu odwodnienia.

Badania laboratoryjne ograniczają się w zasadzie do określenia cech fizycznych gruntów, z oznaczeniem części organicznych i określeniem agresywności wody gruntowej i gruntów.

Badania polowe sondowaniami należy wykonywać w zasadzie tylko pod podpory rurociągów.

W przypadku projektowania kanałów, w których wody będą kontaktować się z wodami gruntowymi, należy opracować prognozę wpływu kanału na otoczenie. Prognoza powinna obejmować:

- określenie charakterystycznych stanów wód gruntowych przed realizacją inwestycji w pasie przewidywanego wpływu,
- określenie miąższości warstwy przepuszczalnej, jej uziarnienia i parametrów filtracyjnych, a w miarę potrzeb jej rozprzestrzenienia,
- określenie głębokości i konfiguracji warstwy nieprzepuszczalnej,
- określenie wielkości i zasięgu wpływu na otoczenie (prognoza).

Współczynnik filtracji należy określić prostymi metodami polowymi (zalewanie i szczypanie).

5.4.2.3. Linie energetyczne

Badania określające przydatność podłoża wykonuje się tylko dla linii przesyłowych wysokiego napięcia i w zasadzie w jednym etapie.

Określenie przydatności podłoża następuje na podstawie:

- przeglądu terenu,
- analizy przebiegu linii na istniejących mapach geologicznych i topograficznych,
- wyrobisk,
- badań laboratoryjnych i polowych.

Analizę przebiegu linii na istniejących mapach geologicznych i topograficznych wykonuje się dla ewentualnej korekty w celu ominięcia niekorzystnych obszarów (torfowiska, osuwiska itp.).

Określenie przydatności podłoża pod konstrukcje masztowe na obszarach o prostej budowie geologicznej następuje w wyniku przeglądu terenu i sondowań kontrolnych.

W przypadkach wątpliwych i na gruntach słabonośnych należy wykonać szybiki lub wiercenia w celu pobrania próbek oraz sondowania (sondowania dynamiczne i ścinanie obrotowe).

Badania laboratoryjne wykonuje się wyjątkowo w zakresie uzgodnionym z projektantem.

5.4.2.4. Obiekty na trasie

Badania określające przydatność podłoża wykonuje się dla obiektów inżynierskich na trasie w jednym lub dwu etapach. Badania dwuetapowe zalecane są przy:

- występowaniu skomplikowanych warunków geologicznych i terenowych oraz konieczności stosowania fundamentów głębokich,
- projektowaniu mostów i wiaduktów,
- opracowaniu kilku wariantów tras lub braku sprecyzowanej lokalizacji,
- trudności określenia sposobu posadowienia.

Określenie przydatności podłoża następuje na podstawie:

- przeglądu terenu,
- robót ziemnych i wiertniczych,
- badań laboratoryjnych i polowych.

Liczbę wierceń badawczych i ich głębokość pod obiekty mostowe należy ustalić zgodnie z Instrukcją... (1998a).

Z badań laboratoryjnych można zrezygnować, gdy w podłożu występują grunty mineralne rodzime sypkie, a rodzaj i stan gruntów są wystarczająco dokładnie rozpoznane badaniami makroskopowymi i sondowaniami. Dla gruntów spoistych należy szczególnie uwzględnić określenie wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe oraz określenie wilgotności naturalnej.

Badania polowe przeprowadzone sondowaniami oraz próbnymi obciążeniami należy wykonać pod podpory oraz przyczółki mostu lub wiaduktu.

5.4.2.5. Obiekty obsługi

Określenie przydatności podłoża dla obiektów obsługi wykonuje się na podstawie:

- przeglądu terenu,
- badań geofizycznych,
- robót ziemnych i wiertniczych,
- badań laboratoryjnych i polowych.

Oprócz przeglądu terenu w wyjątkowych przypadkach (duże obiekty) można wykonać kartowanie geologiczno-inżynierskie.

Badania geofizyczne należy przeprowadzać również w przypadku dużych obiektów inżynierskich, stosując się do niniejszych wytycznych.

5.4.3. Zakres badań na etapie uzupełniającym

Zakres badań wykonany dla etapu szczegółowego powinien wyczerpywać wszystkie zagadnienia geologiczne potrzebne do projektowania.

Badania w etapie uzupełniającym wykonuje się tylko dla obszarów, na których nastąpiła zmiana trasy w wyniku badań szczegółowych lub z innych przyczyn, jak też w celu skontrolowania lub potwierdzenia niedostatecznie poznanych problemów na poprzednim etapie.

6. SKŁADOWISKA

6.1. Wybór lokalizacji i badania podłoża składowisk

Badania te mają charakter dwufazowy. W pierwszej fazie powinny dotyczyć wyboru terenu lokalizacji składowiska, a w drugiej fazie, po wybraniu wariantu lokalizacji, określenia warunków geologiczno-inżynierskich podłoża do koncepcji i projektu budowlanego (Budowa..., 1993).

Przy wyborze lokalizacji, poza elementami wpływu składowiska na środowisko (biosfera, atmosfera, hydrosfera) oraz istniejącym i planowanym zagospodarowaniem przestrzennym terenu, a także obszarami prawnie chronionymi, w problematyce geologiczno-inżynierskiej należy uwzględnić:

- ukształtowanie powierzchni terenu,
- model budowy geologicznej z uwzględnieniem warstw izolujących i wodonośnych, ich wiek, litogenezę i tektonikę opartą na danych archiwalnych i literaturze,
- hydrochemię i dynamikę wód podziemnych, zaopatrzenie w wodę, istniejące zagrożenia jakości wód podziemnych,
- czynne procesy geologiczne.

Algorytm wyboru lokalizacji składowiska podano na [rysunku 15](#).

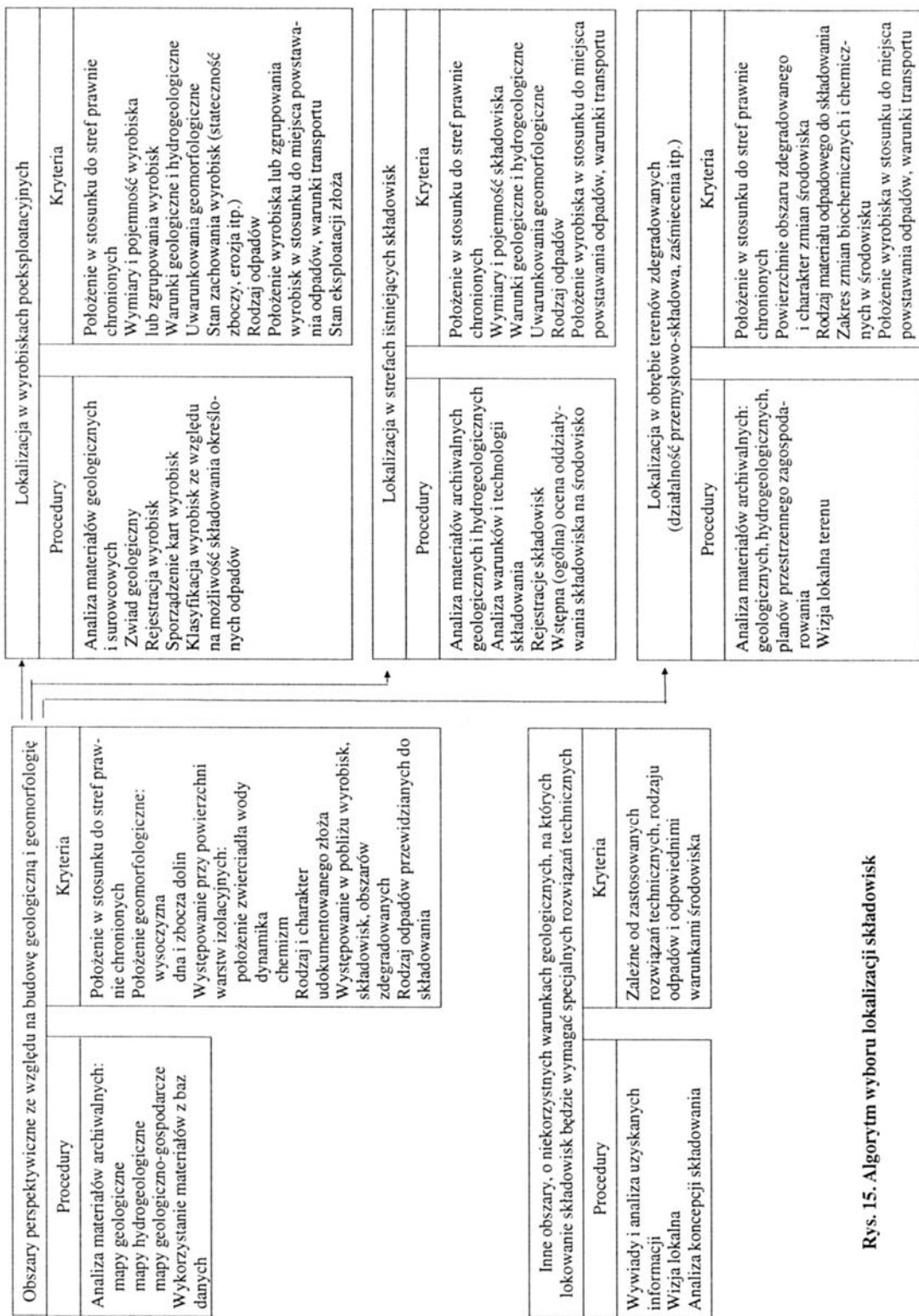
W fazie dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla konkretnie wybranej lokalizacji (koncepcja projektowo-przestrzenna i projekt budowlany), poza uszczegółowieniem opisanych elementów, konieczne będzie dokładne rozpoznanie:

— Warunków hydrogeologicznych ze szczególnym uwzględnieniem właściwości izolacyjnych gruntów podłoża składowiska i występujących w jego otoczeniu.

— Przy ocenie właściwości izolacyjnych, poza filtracyjnym przemieszczaniem się ewentualnych zanieczyszczeń, powinny być uwzględnione sorpcyjne i desorpcyjne właściwości gruntów.

— Właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów podłoża składowiska i jego otoczenia, a przede wszystkim powinny być ocenione: odkształcalność podłoża i jego podatność na wypięranie, ciśnienie wody porowej. W badaniach powinna być również uwzględniona problematyka materiałów do budowy obwałowań, mineralnych warstw izolacyjnych, drenaży itp.

— Warunków do ewentualnego uzdatnienia podłoża lub jego uszczelnienia (E. Dembicki, F. Schlosser, 1997; G. Burkhard i in., 1997).



Rys. 15. Algorytm wyboru lokalizacji składowisk

Przy dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich, ze względu na charakter obiektu, należy wykonać mapę geologiczno-inżynierską podłoża i przedpola składowiska, w przypadku składowisk mokrych szczególnie podłoża obwałowań.

Dokumentacja nie może mieć charakteru dokumentacji uproszczonej. W opracowaniu takim należy podać prognozę wpływu składowiska na środowisko i określić kierunki rekultywacji.

Formowanie składowiska, zastosowane technologie składowania i geometria składowiska powinny być dostosowane do kierunków rekultywacji i zagospodarowania.

W ramach dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich powinny być wykonane piezometry, przeprowadzone badania tła hydrochemicznego istotne przy dalszych ocenach oddziaływania inwestycji na środowisko.

Dla składowisk odpadów niebezpiecznych (klasyfikacja według Rozporządzenia R. M. z dn. 19.10.1995 r.) rozpoznanie warunków geologiczno-inżynierskich powinno być bardziej szczegółowe i mieć większy zasięg. Przyjętą lokalizację należy odnieść do budowy geologicznej jednostki strukturalnej i głównych zbiorników wód podziemnych (A. S. Kleczkowski i in., 1990).

Rozpatrzone problemy dotyczyły zagadnień związanych z procesem inwestycyjnym — projektowaniem i budową.

Jak wskazują doświadczenia, niejednokrotnie zachodzi potrzeba prowadzenia badań geologiczno-inżynierskich lub geotechnicznych również w trakcie eksploatacji składowiska lub dla celów rekultywacji. Wiąże się to na przykład ze zmianą właściwości materiału składowanego, technologii składowania, wystąpienia awarii i koniecznością jej usunięcia, modernizacją składowiska. Zagadnienia te przedstawiono w publikacjach (A. Dragowski, 1997b; J. M. Dłużewski i in., 1997).

6.2. Badania geologiczno-inżynierskie w celu oceny oddziaływania istniejących składowisk na środowisko

Badania geologiczno-inżynierskie mogą być związane z projektowaniem, rejestracją istniejących czynnych lub zrehabilitowanych składowisk oraz badaniami dla składowisk, które zgodnie z zaleceniami odnośnych jednostek organizacyjnych, w tym Wojewódzkich Wydziałów Ochrony Środowiska i Wojewódzkich Inspektorów Ochrony Środowiska, mogą podlegać okresowej lub długotrwałej ocenie oddziaływania na środowisko, opartej głównie na monitoringu wód podziemnych i gruntów w rejonie składowiska.

Przy rejestracji składowisk, jak również przy ocenie oddziaływania na środowisko należy szczególnie uwzględnić:

- warunki geologiczne, hydrogeologiczne, geologiczno-inżynierskie podłoża,
- zastosowane systemy izolacji i drenażu,
- technologię składowania i przyrost materiału w czasie,
- stan zachowania gruntów antropogenicznych na składowisku,
- czynne procesy geodynamiczne zachodzące w materiale składowanym i w podłożu,
- prognozę oddziaływania składowiska na środowisko geologiczne,
- geotechniczne możliwości przeciwdziałania skutkom ujemnego oddziaływania składowisk na środowisko,
- oszacowanie możliwości gospodarczego wykorzystania materiału składowanego.

W badaniach, jak wykazują doświadczenia oraz odnośne przepisy (Rozporządzenie MOŚZNiL z dn. 14.07.1998 r., Dz. U. nr 93 poz. 589), musi być uwzględnione oddziaływanie obiektu na środowisko w fazie budowy, eksploatacji, likwidacji, rekultywacji i zagospodarowania.

Kontrolę oddziaływania składowiska należy zaprojektować już na etapie badań geologiczno-inżynierskich i wykonać badania monitoringowe wód gruntowych w rejonie składowiska. Ważne jest zainstalowanie piezometrów lub innych urządzeń, które umożliwią określenie tzw. tła hydrochemicznego przed rozpoczęciem budowy. Te same punkty należy wykorzystywać do pomiarów w trakcie budowy, a następnie eksploatacji składowiska. Możliwe będzie więc stałe śledzenie ewentualnych zmian zachodzących w czasie w środowisku.

W przypadku występowania na rozpatrywanym terenie więcej niż jednego poziomu wód podziemnych, celowe jest wykonanie odrębnych piezometrów dla każdej warstwy wodonośnej. Jest to szczególnie ważne w przypadku monitorowania składowisk odpadów niebezpiecznych. Założenie piezometrów wielopoziomowych z tzw. pakierami może spowodować zanieczyszczenie głębiej położonych poziomów wodonośnych.

6. 3. Etapy projektowania składowisk

Dla projektowanych składowisk należy zawsze wykonać dokumentację w 3. lub co najmniej 2. etapach. W trakcie badań należy uszczegółowić rozpoznanie i rozwiązać kolejne problemy związane z wykonaniem obiektu. Ze względu na rozległość terenu badań, jakim jest składowisko o powierzchni zawsze kilku hektarów, jako zasadę należy traktować wykonanie w pierwszym etapie map geologicznych w skali 1:2000 lub 1:5000. Mapy wykonuje się zgodnie z zasadami omówionymi w rozdziale B.4.1. Mapy muszą być oparte na kartowaniu powierzchni oraz na wierceniach w liczbie minimum 3 na hektar. Wiercenia powinny być od razu wykonywane do głębokości oddziaływania określonego obiektu, zwykle kilkanaście do kilkudziesięciu metrów. Zawsze na tym etapie należy określić występowanie zwierciadła wód oraz kierunek ich spływu. Ważne jest również określenie kierunków odwodnienia powierzchniowego.

W drugim etapie, gdy jest znana głębokość wykopów, należy dokonać rozpoznania uzupełniającego. Wiercenia należy projektować z uwzględnieniem zmienności podatności podłoża. Należy zakładać siatkę otworów około 50 x 50 m, w skomplikowanych warunkach gęściej, by określić granice geologiczne, zmienne poziomy wód itp.

Trzeci etap rozpoznania to badania szczegółowe dotyczące segregacji materiałów na nasypy itp. Siatka otworów w trzecim etapie może dochodzić do 25 x 25 m.

6.4. Projektowanie badań

Przygotowanie projektu prac geologicznych w celu rozpoznania podłoża pod składowisko powinno uwzględniać następujące problemy:

- rodzaj, właściwości i ilość odpadów,
- fazę dokumentowania (wybór lokalizacji, wstępne rozpoznanie terenu do projektu technicznego, do projektu wykonawczo-budowlanego),
- typ składowiska (nadpoziomowe, podpoziomowe, przyskarpowe),

— ogólne dane o projektowanym składowisku.

Rozpoznanie projektowe składowiska w znacznym stopniu zależy od budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych terenu.

Badania geologiczno-inżynierskie podłoża składowiska powinny obejmować:

— rozpoznanie układu warstw, szczególnie określenie rozprzestrzenienia i miąższości warstw słabo przepuszczalnych (bariera geologiczna),

— warunków hydrogeologicznych, w tym dokładną charakterystykę pierwszego poziomu wód gruntowych,

— określenie rodzajów gruntów i skał oraz ich właściwości,

— wstępną ocenę występujących materiałów pod kątem ich przydatności do budowy składowiska.

Do opracowania koncepcji składowiska mogą być przydatne badania geofizyczne, przede wszystkim pomiary geoelektryczne oraz sejsmiczne (sejsmika inżynierska). Pozwalają one na większym obszarze niż samo składowisko ocenić właściwości izolacyjne terenu.

Otwory badawcze należy projektować z uwzględnieniem zasięgu oddziaływania obiektu w głąb. Głębokość otworu powinna wynosić minimum 6 m poniżej projektowanego dna składowiska. Do opracowania koncepcji należy wykonać co najmniej 1 otwór na 1 ha, a do projektu technicznego 3–4 otwory na 1 ha. Ogólnie można określić, że głębokość otworów powinna umożliwiać rozpoznanie występowania poziomu wód gruntowych. Określenia wymaga kierunek przepływu wód gruntowych, w niektórych przypadkach prędkość przepływu i skład hydrochemiczny wód gruntowych. W rozpoznaniu podłoża oprócz otworów są przydatne sondowania dynamiczne i statyczne oraz wykopy badawcze. Badania geofizyczne należy projektować wspólnie z wykonawcą tych prac. Pozwoli to na wybranie optymalnej metody rozpoznania podłoża konkretnej lokalizacji składowiska.

6.5. Bariera geologiczna

Najnowsze badania wskazują na istotną rolę bariery geologicznej w przypadku składowisk odpadów szczególnie niebezpiecznych.

Głównym zadaniem barier inżynierskich jest bieżące utrzymanie bezpieczeństwa. W dłuższej perspektywie funkcje bezpieczeństwa powinna spełniać odpowiednia bariera geologiczna. Dlatego w rozważaniach dotyczących bezpiecznego składowania odpadów niebezpiecznych przyjmuje się, że bariera geologiczna jest jedną z podstawowych w systemie wielu barier (ang. *multi-barrier*) stosowanych w składowisku.

Bariera geologiczna powinna mieć następujące cechy:

— małą przepuszczalnością (poniżej $1 \cdot 10^{-7}$ m/s),

— dużą miąższość i jednorodność,

— znaczne rozprzestrzenienie,

— dużą pojemność sorpcyjną warstw,

— małą chemiczną rozpuszczalność,

— małą podatność na procesy erozyjne.

Takie cechy jak mała przepuszczalność w połączeniu z dużą miąższością i jednorodnością będą zapewniały ograniczenie występowania uprzywilejowanych poziomych dróg przepływu

wód podziemnych, a tym samym transportu zanieczyszczeń. Umożliwia to również pełniejsze wykorzystanie właściwości sorpcyjnych warstwy słabo przepuszczalnej.

Ocenę bariery geologicznej można przeprowadzić po wykonaniu szczegółowych badań określających jej parametry i po przeprowadzeniu analiz, łącznie z modelowaniem matematycznym.

Bariera geologiczna powinna stanowić naturalną barierę chroniącą wody podziemne przed zanieczyszczeniem. Council... (1999) określa miąższość i przepuszczalność warstwy w zależności od rodzaju składowanych odpadów. Są one następujące:

- składowisko odpadów niebezpiecznych, $k \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s, miąższość ≥ 5 m,
- składowiska odpadów bezpiecznych, $k \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s, miąższość ≥ 1 m,
- składowisko odpadów stałych, $k \leq 1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s, miąższość ≥ 1 m.

Przepisy niemieckie dopuszczają przepuszczalność $k \leq 1,0 \cdot 10^{-6}$ m/s i miąższość warstwy kilka metrów. Znaczna miąższość warstwy jest bardzo ważna ze względu na niejednorodność gruntów ją tworzących, co umożliwia powstawanie dróg migracji wody i zanieczyszczeń.

6.6. Obiekty likwidujące zagrożenia środowiska

Do takich obiektów należą składowiska odpadów, oczyszczalnie ścieków, różne obiekty służące ochronie wód podziemnych i powierzchniowych. Każdy projektowany obiekt budowlany musi być tak zaprojektowany i eksploatowany, by co najmniej nie wprowadzał zagrożeń do środowiska, a wiele obiektów powinno służyć poprawie jakości środowiska (cofać niekorzystne wpływy).

Główne zadania to ochrona wód podziemnych i powierzchniowych przed zanieczyszczeniami.

Projektowane obiekty nie powinny zakłócać istniejących związków hydraulicznych między wodami, nie powinny prowadzić do łączenia zwierciadeł różnych poziomów wód itp. Często przy dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim należy uwzględniać te aspekty i wykonywać rozpoznanie na większym terenie niż teren bezpośredniej inwestycji, a także dokonywać rozpoznania głębiej niż to by wynikało jedynie ze stref mechanicznego oddziaływania obiektu na podłoże.

Główne źródła zanieczyszczeń wód stanowią:

- odprowadzenia ścieków komunalnych (z miast i wsi) i przemysłowych (poprodukcyjne),
- odprowadzenia wód pochłodniczych z energetyki i przemysłu,
- odprowadzenia wód kopalnianych,
- spływy powierzchniowe z terenów użytkowanych rolniczo,
- spływy z terenów przemysłowych oraz składowisk odpadów przemysłowych i komunalnych,
- zrzuty niezorganizowane ze źródeł lokalnych (bez kanalizacji), zanieczyszczenia atmosferyczne.

Każde ze źródeł zanieczyszczeń wód ma swoją specyfikę charakteru odprowadzanych substancji, a także wywiera określony wpływ na zagrożenia powstające w poszczególnych częściach hydrosfery. Często, zwłaszcza w miastach, ścieki z różnych źródeł punktowych są podłączone do systemów kanalizacji ogólnospławnych. Rzadziej buduje się systemy kanalizacji rozdzielczej, z odrębnym odprowadzaniem ścieków przemysłowych, komunalnych i opadowych.

7. ZAGOSPODAROWANIE PRZESTRZENNE

W celu prawidłowego i racjonalnego zagospodarowania obszarów inwestycyjnych, związanych z rozbudową miast i ich aglomeracji, jak i z rejonami nowo odkrytych złóż i nowych obszarów przemysłowych, przed opracowaniem planów zagospodarowania przestrzennego powinny być rozpoznane warunki geologiczne i określona prognoza oddziaływania inwestycji na środowisko.

Takie działania powinny określić i zasygnalizować ewentualne niekorzystne skutki, jakie mogłyby spowodować projektowane inwestycje w środowisku. Znajomość problematyki geologiczno-inżynierskiej i odpowiednie informacje są potrzebne przy wydawaniu decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu (Ustawa o zagospodarowaniu przestrzennym, 1994, Dz. U. nr 15 poz. 139) oraz do wydawania decyzji o pozwoleniu na budowę (Ustawa Prawo Budowlane, 1994, Dz. U. nr 89 poz. 414).

Warunki geologiczno-inżynierskie dla celów zagospodarowania przestrzennego przedstawia się przede wszystkim w formie opracowań kartograficznych. Zależnie od potrzeb należy odpowiednio dobrać zakres rozpoznania, jak i dokładność map.

Wykonywanie opracowań geologiczno-inżynierskich na potrzeby zagospodarowania przestrzennego wynika z ustawy o prawie geologicznym i górniczym oraz pośrednio z ustawy o prawie budowlanym i ustawy o zagospodarowaniu przestrzennym.

W ustawie o zagospodarowaniu przestrzennym podaje się, że ustalenie przeznaczenia i zasad zagospodarowania terenu jest dokonywane w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. Wskazuje się również na formę określoną jako: Studium uwarunkowania i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, jak również na opracowanie o charakterze regionalnym: Studium zagospodarowania przestrzennego województwa.

W ustawie tej wielokrotnie wskazuje się na potrzebę uwzględniania w tych planach i studiach wymagań ochrony środowiska, stanu i funkcjonowania środowiska przyrodniczego, uwzględniania obszarów, które mogą być przeznaczone pod zabudowę, ustalenia w zależności od potrzeb szczególnych warunków zagospodarowania terenu, w tym zakazu zabudowy wynikającego z potrzeb ochrony środowiska, przekształceń obszarów zdegradowanych. Do miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego (zgodnie z ustawą) powinny być dołączone prognozy skutków wpływu ustaleń planu na środowisko przyrodnicze.

W ustawie ani w odnośnych rozporządzeniach nie precyzuje się, w jakim zakresie elementy środowiska geologicznego powinny być dokumentowane i uwzględniane przy opracowywaniu planów miejscowych, czy też regionalnych. Istnieje pilna potrzeba, aby wymogi środowiska geologicznego wyrażone w formie waloryzacji geologiczno-inżynierskiej były uwzględniane w zagospodarowaniu terenu i to w sposób ściśle określony w wyniku odrębnych przepisów prawnych.

Wieloletnie doświadczenia wskazują, że brak rozporządzeń w tym zakresie powoduje, że miejscowe plany czy też opracowania regionalne są wykonywane bez, lub przy minimalnym uwzględnianiu warunków geologiczno-inżynierskich środowiska tak w odniesieniu do ocen i waloryzacji podłoża budowlanego, jak i warunków hydrogeologicznych zaopatrzenia w wodę, możliwości zaopatrzenia w surowce budowlane.

Dotychczas warunki geologiczno-inżynierskie dla celów planowania przestrzennego były przedstawiane w formie:

— szkiców warunków geologiczno-inżynierskich jako załączniki do poszczególnych arkuszy szczegółowych map geologicznych Polski w skali 1:50 000,

— atlasów geologiczno-inżynierskich w skali 1:25 000 i większych dla dużych i średnich miast w Polsce,

— innych opracowań kartograficznych, nieseryjnych, geologiczno-inżynierskich lub takich, gdzie treści geologiczno-inżynierskie stanowiły istotny element tych opracowań, a więc takie jak: mapy ekologiczne, fizjograficzne, przekształceń powierzchni terenu, geosozologiczne oraz specjalne wykonywane w różnych skalach i na różne potrzeby.

Od kilku lat zaprzestano wykonywania szkiców geologiczno-inżynierskich. Ze względu na skalę i generalizację przedstawianych treści były one nieprzydatne do planowania i sporządzania miejscowych planów zagospodarowania, w bardzo ograniczonym zakresie mogły być wykorzystane do sporządzania planów regionalnych.

Atlasy geologiczno-inżynierskie dla miast były z różnym natężeniem wykonywane przez wiele lat. Ogółem wykonano ponad 20 atlasów, między innymi dla: Płocka, Radomia, Poznania, Warszawy i Legnicy. Atlasy te wykonywano głównie w skali 1:25 000, przy zastosowaniu tradycyjnych metod dokumentowania i przedstawiania badań, w formie papierowych map i archiwum opartym na systemie kartoteki. Szczególne znaczenie dla ujednoczenia i określenia metodyki sporządzania atlasów miało opracowanie w Katedrze Geologii Inżynierskiej UW i wydanie przez Instytut Geologiczny w 1974 r. Atlasu inżyniersko-geologicznego miasta Słucka (w rzeczywistości Płocka). Zmiana nazwy była podyktowana ówczesnymi wymogami tajemnicy służbowej.

7.1. Mapy geologiczno-gospodarcze

W ostatnich latach rozpoczęto (w ramach opracowywania arkuszy Mapy geologiczno-gospodarczej Polski w skali 1:50 000) przedstawiać warunki podłoża budowlanego i warunki geologiczno-inżynierskie panujące na obszarach przewidzianych do urbanizacji. Są to obszary, dla których są lub będą wykonywane szczegółowe plany zagospodarowania przestrzennego.

W Instrukcji... (1997) opracowanej przez Państwowy Instytut Geologiczny wyróżniono dwie kategorie obszarów:

- obszary o warunkach korzystnych dla budownictwa,
- obszary o warunkach niekorzystnych dla budownictwa.

Według instrukcji warunków geologiczno-inżynierskich nie określa się dla obszarów prawnie chronionych, terenów leśnych, stref ochronnych wód powierzchniowych i podziemnych, występowania złóż kopalin.

Przyjęte kryteria pozwalają jedynie na ogólną charakterystykę terenów przeznaczonych pod budownictwo. Nie mogą stanowić podstawy do sporządzania miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego.

Niezależnie od arkuszy map geologiczno-gospodarczych, wydawanych ze środków budżetowych, zgodnie z dokumentem pt. Założenia polityki resortu w dziedzinie geologii inżynierskiej, przyjętym przez kierownictwo Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w dniu 13.11.1996 r., przewiduje się opracowywanie w dalszym ciągu atlasów geologiczno-inżynierskich oraz map geologiczno-inżynierskich dla celów planowania przestrzennego w gminach.

7.2. Atlasy geologiczno-inżynierskie miast

Opracowywanie atlasów geologiczno-inżynierskich w skali 1:25 000 i większych dla miast oraz ośrodków przemysłowych i górniczych o liczbie mieszkańców powyżej 100 000 jest zgodne z tendencjami światowymi.

Współcześnie atlasy geologiczno-inżynierskie, w odróżnieniu od dotychczasowo wykonanych, powinny być realizowane metodami GIS. System ten umożliwia gromadzenie danych, ich przetwarzanie, drukowanie w skali zależnej od potrzeb oraz ciągłą aktualizację informacji o danym terenie. Instrukcji dotyczącej opracowania atlasów w tym systemie jeszcze nie ma, ale jest przygotowywana na przykładzie realizacji atlasu geologiczno-inżynierskiego Warszawy w skali 1:10 000.

Niezależnie od systemu gromadzenia danych i przedstawiania wyników badań prace nad atlasem powinny doprowadzić do stworzenia przestrzennego modelu warunków geologiczno-inżynierskich. Model taki powinien umożliwić wyciągnięcie wniosków dotyczących ilościowej oceny istotnych dla budownictwa elementów środowiska geologicznego, a przede wszystkim:

- nośności gruntów podłoża,
- występowania poziomów wodonośnych, wahań zwierciadła wody podziemnej, hydrochemii,
- wpływu czynnych procesów geodynamicznych na budowlę,
- wpływu ukształtowania powierzchni,
- przekształceń antropogenicznych środowiska geologicznego,
- prognoz dotyczących wzajemnych oddziaływań budowla–środowisko geologiczne.

Mapa warunków geologiczno-inżynierskich oraz mapy rejonizacji i waloryzacji tych warunków stanowić powinny syntezę poszczególnych elementów środowiska geologicznego, przedstawionych w atlasach w postaci map analitycznych i przekrojów:

- 1) mapy dokumentacyjnej z bazą danych,
- 2) mapy geomorfologicznej,
- 3) mapy hydrogeologicznej,
- 4) mapy gruntów budowlanych na różnych głębokościach zależnie od programowanej zabudowy,
- 5) mapy prognoz zmian środowiska,
- 6) przekrojów geologicznych,
- 7) przekrojów geologiczno-inżynierskich,
- 8) mapy sozologicznej,
- 9) map problemowych, np. dotyczącej stateczności zboczy.

7.3. Mapy geologiczno-inżynierskie dla celów planowania przestrzennego w gminach

Kierunki rozwoju poszczególnych gmin powinny nawiązywać do programów regionalnych, a także uwzględniać własne, naturalne zasoby odnawialne i nieodnawialne. Rozwiązywanie poszczególnych problemów rozwoju gmin musi więc być rozpatrywane na szerszym tle uwarunkowań zewnętrznych, ale do tego konieczne jest posiadanie niezbędnego zasobu informacji. Z doświadczeń krajów zachodnich wynika, że celowe jest przygotowanie i wprowadzenie do praktyki tzw. tematycznego systemu informacji regionalnej (TSIR). System ten składa się z kil-

ku modułów. Na potrzeby gminy należy przyjąć jako najważniejsze moduły zarządzania, infrastruktury, geologiczno-inżynierski, wód powierzchniowych i atmosfery.

Wprowadzenie do gmin TSIR-u, przy wykorzystaniu systemów informacji geograficznej (GIS), pozwoli na szybkie przygotowanie opracowań studialnych, wykonywanie projektów wstępnych i szczegółowych, planów zagospodarowania oraz przeprowadzenie prac inwentaryzacyjnych.

W polityce resortu w dziedzinie geologii inżynierskiej założono, że koszty przy sporządzaniu planów w głównej mierze pokryją gminy. Obecnie na zlecenie Ministerstwa Środowiska została opracowana przez Państwowy Instytut Geologiczny instrukcja sporządzania map warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej na potrzeby planowania przestrzennego w gminach. Instrukcja ta powstała na podstawie pilotowych opracowań map warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby planowania przestrzennego w gminach: Jabłonna k. Warszawy, Kazimierz nad Wisłą i Miłki k. Giżycka.

Zebrane doświadczenia, jak również analiza programu systemu informacyjnego opracowanego dla zachodnich euroregionów, pozwalają na sprecyzowanie zakresu prac dokumentacyjnych i sposobu przedstawiania danych.

Kartografia komputerowa w układzie GIS ma wiele zalet, z których najważniejsze są:

- możliwość wprowadzenia informacji dotychczas zebranych i nowych w formie punktów, linii i powierzchni, pod którymi w banku danych są zakodowane dalsze informacje szczegółowe,
- trwałość, dokładność i pewność przechowywania danych,
- prosty sposób aktualizacji i nowelizacji danych,
- ujednoczenie zapisu i obróbki danych,
- łatwość przechodzenia na inne układy map topograficznych i łatwość włączenia danych ze zdjęć satelitarnych,
- powtarzalne i jednoznaczne odtworzenie danych, jak i dowolne rozszerzenie banku danych,
- łatwość adaptacji istniejących planów, map itp., bez konieczności sporządzania całego planu od początku, co jest konieczne przy stosowaniu dotychczasowych technik,
- szybkość przetwarzania i dostępu do informacji,
- dostępność i łatwość wydruku komputerowo redagowanych map,
- możliwość badań wzajemnej korelacji między poszczególnymi cechami środowiska i dokonywania obliczeń statystycznych, analiz trendów oraz wskazywania obszarów o optymalnych parametrach do wykonywania określonego zadania,
- dowolność skali (dane w bazie mogą być przedstawiane w dowolnej skali) zależnie od potrzeb.

Mapa warunków geologiczno-inżynierskich, według Instrukcji... (1999), zwana dalej MWGL, stanowi zbiór cyfrowych map tematycznych i syntetycznych opracowanych w systemie GIS na potrzeby planowania przestrzennego w gminach. Mapa jest opracowywana w systemie modułowym. Składa się z modułu geologiczno-inżynierskiego i z modułów: zarządzania, infrastruktury, sozologicznego, wód powierzchniowych i atmosfery.

Mapa w systemie komputerowym powstaje w wyniku nakładania tematów informacyjnych. Najczęściej są to mapy monotematyczne, w których na cyfrowy podkład topograficzny użytkownik nakłada żadaną treść, np. występowanie gruntów w podłożu budowlanym, lub hydroizohipsy wód podziemnych.

W myśl założeń Instrukcji... (1999) celem opracowania mapy warunków geologiczno-inżynierskich jest przedstawienie na podkładzie topograficznym istotnych dla obszaru gminy zagadnień:

- określenie przydatności terenu dla budownictwa,

— dostarczenie gminom dla celów decyzyjnych i planowania zagospodarowania powierzchni terenu i kształtowania lub ochrony środowiska człowieka w formie cyfrowych map, przekrojów, zestawień i opisów,

— dokonanie analizy ewentualnych szkód budowlanych na tle budowy geologicznej i opracowanie praktycznych wniosków,

— przedstawienie i opisanie wpływu naturalnych i sztucznych procesów geodynamicznych na warunki budowlane,

— wskazanie i opisanie wszystkich innych czynników geologicznych wpływających lub mogących ujemnie wpłynąć na budowlaną działalność,

— wskazanie głównych problemów budowlanych, które należy rozwiązywać szczegółowymi badaniami geologiczno-inżynierskimi podczas dokumentowania projektowania większych obiektów inwestycyjnych,

— możliwość zaopatrzenia gminy w wodę i lokalne złoża surowców mineralnych.

Mapę warunków geologiczno-inżynierskich należy opracowywać na podstawie istniejących materiałów geologicznych archiwalnych, wyników obserwacji i badań terenowych, a w szczególności:

— archiwalnych wierceń, dokumentacji geologicznych, technicznych badań podłoża i map w różnych skalach,

— zdjęć lotniczych i satelitarnych (opcja),

— przeglądu terenu,

— obserwacji procesów geologicznych (erozja, abrazja, akumulacja, ruchy mas skalnych, sufozja, zapadanie w lessach itp.),

— pomiarów przejawów wodnych powierzchniowych i poziomów wód podziemnych ze specjalnym uwzględnieniem pierwszego poziomu wody gruntowej,

— wywiadów w terenie dotyczących zasięgu wód powodziowych, maksymalnego stanu wód gruntowych, przyczyn uszkodzenia obiektów budowlanych oraz przebiegu naturalnych i sztucznie wywołanych procesów geodynamicznych,

— banku danych HYDRO, banku danych OCHRONA PRZYRODY (dane i informacje znajdują się w archiwach Państwowego Instytutu Geologicznego, urzędów wojewódzkich, gminnych, wojewódzkich inspektoratach ochrony środowiska).

Na podstawie analizy wszystkich dostępnych materiałów archiwalnych i publikacji dotyczących obszaru gminy należy:

— ustalić główne problemy geologiczne decydujące o warunkach budowlanych,

— określić zakres zmienności cech geotechnicznych i ich zgodności z wartościami przeciętnymi,

— wstępnie wyznaczyć obszary działania procesów geodynamicznych,

— ustalić zagadnienia mające istotne znaczenie dla budownictwa, wymagające dodatkowych obserwacji w trakcie uzupełniających prac geologicznych,

— wstępnie ustalić sposób przedstawiania treści poszczególnych modułów i warstw informacyjnych.

Według Instrukcji... (1999) dokładność mapy zależy od gęstości punktów dokumentacyjnych, wyrażonej ich liczbą przypadającą na 1 km² zależnie od stopnia złożoności treści mapy. Ogólnie na potrzeby planowania przestrzennego w gminach na 1 km² należy wykonać 3–30 punktów dokumentacyjnych. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że w treści map szeroko uwzględniono moduł infrastruktury i moduł geosozologiczny, co pozwala na kompleksowe

przedstawienie danych istotnych do sporządzenia planu zagospodarowania przestrzennego gminy.

W celu ułatwienia zbierania i porządkowania danych opracowano: Ramowy projekt bazy danych geologiczno-inżynierskich dla gminy. Instrukcja zakłada, że wszystkie dane topograficzne, urbanistyczno-planistyczne, geologiczne i sozologiczne w różnym czasie i zakresie będą musiały być aktualizowane. Każdy rodzaj danych powinien być aktualizowany przez wyspecjalizowane, odpowiednie firmy lub służby.

Zaprezentowana instrukcja stanowi podstawę i ujednocila metodykę prac sporządzania cyfrowych map warunków geologiczno-inżynierskich dla gmin. Opracowywanie takich map powinno przyczynić się do tworzenia miejscowych planów zagospodarowania, przy wykorzystaniu możliwości środowiska i jego zasobów. Wykonywanie map na większą skalę będzie możliwe po wprowadzeniu w życie odnośnych przepisów prawnych i poprzez unifikację metod sporządzania tego typu map powodującą obniżenie kosztów ich wykonania. Zgodnie z założeniami polityki Ministerstwa Środowiska ciężar wykonania map będzie przede wszystkim spoczywał na gminach. Przyjęty system odwzorowań map, skala i dokładność rozpoznania stanowi gwarancję, że ten typ opracowań geologiczno-inżynierskich dla gmin spełni swoją rolę i będzie rozwiązaniem optymalnym.

Omówione sposoby i metody przedstawiania warunków geologiczno-inżynierskich w postaci:

— map geologiczno-inżynierskich dla gmin,

— atlasów geologiczno-inżynierskich dla miast powyżej 100 tys. mieszkańców,

— warunków podłoża budowlanego w Mapie geologiczno-gospodarczej Polski w skali 1:50 000,

stanowią istotny element rozpoznania środowiska pozwalający na opracowanie z różną dokładnością miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, regionalnych planów zagospodarowania przestrzennego, wszelkiego rodzaju studiów, a także mogą służyć do wydawania decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu oraz do wydawania decyzji o pozwoleniu na budowę.

Należy jednak stworzyć podstawy prawne do wykonywania map warunków geologiczno-inżynierskich i atlasów, a dla wszystkich podstawy prawne warunków ich wykorzystania.

LITERATURA

- BAGUELIN F., JEZEQUEL J. F., SHIELDS D. H., 1984 — Badania presjometryczne a fundamentowanie. Wyd. Geol. Warszawa.
- BARTON N. i in., 1974 — Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics* 6.
- BAŻYŃSKI J., FRANKOWSKI Z., 1998 — Współczesne problemy kartografii geologiczno-inżynierskiej dla potrzeb zagospodarowania przestrzennego. Mat. II Ogólnop. Symp. w Kiekrzu k. Poznania. W: Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. Red. J. Liszkowski. WIND J. Wojewoda. Wrocław.
- BELL F. G. (red.), 1987 — Ground engineers reference book. Butterworths. London.
- BIAŁOSTOCKI R., MARCZEWSKI Z., 1979 — Rozpoznanie warunków wodno-gruntowych. WKiŁ. Warszawa.
- BIENIAWSKI Z. T., 1989 — Engineering rock mass classifications A. Wiley Intersc. Publ. New York.
- BUDOWA bezpiecznych składowisk odpadów, 1993. Mat. Konf. Szkol. Gdańsk.
- BURKHARD G., EGLOFFSTEIN T., MAUBEUGE P., 1997 — Porównanie systemów uszczelnień składowisk odpadów — próba interpretacji pojęcia porównywalność (równoważność). Mat. Konf. Geotechnika w budowie składowisk odpadów. Pułtusk.
- DEMBICKI E., SCHLOSSER F., 1997 — Ulepszanie podłoża gruntowego. Mat. Konf. Geotechnika w budowie składowisk odpadów. Pułtusk.
- DIMITRUK S., 1965 — Zadania mechaniki gruntów w wymiarowaniu zwałowisk. *Zesz. Nauk. PWr. Budownictwo* 25.
- DŁUŻEWSKI J. M., GAJEWSKI T., POPIELSKI P., 1997 — Hydro-Geo — program wspomagający projektowanie i eksploatację składowisk odpadów przemysłowych. Mat. Konf. Geotechnika w budowie składowisk odpadów. Pułtusk.
- DRAĞOWSKI A., 1981 — Inżyniersko-geologiczna charakterystyka niszczenia skał masyf Wyżyny Lubelskiej w wyniku pęcznienia i skurczu. *Biul. Wyd. Geol. UW* 29.
- DRAĞOWSKI A., 1997a — Podstawowe kierunki badań i prac geologiczno-inżynierskich w Polsce — polityka resortu w dziedzinie geologii inżynierskiej. *Prz. Geol.* 3.
- DRAĞOWSKI A., 1997b — Problemy ze składowaniem odpadów komunalnych w świetle dokonywanych ocen oddziaływania na środowisko. Mat. Konf. Geotechnika w budowie składowisk odpadów. Pułtusk.

- DRAĞOWSKI A., 1998 — Grunty antropogeniczne w badaniach geologiczno-inżynierskich. Mat. II Ogólnop. Symp. w Kiekrzu k. Poznania. W: Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. Red. J. Liszkowski. WIND J. Wojewoda. Wrocław.
- FREDLUND D. G., 1996 — The scope of unsaturated soil mechanics: an overview. V. 3. Proc. 1 Conf. On unsaturated soils. Paris.
- FREDLUND D. G., MORGENSTERN N. R., WIDGER R. A., 1978 — The shear strength of unsaturated soils. *Can. Geotechn. J.* **15**, 3.
- FREDLUND D. G., RAHARDJO H., 1993 — Soils mechanics of unsaturated soils. J. Wiley. New York.
- GARBULEWSKI K. 1998 — Badania laboratoryjne pr ENN 1997-2. Porównanie ze stanem aktualnym w Polsce. Mat. Konf. ITB. Pułtusk.
- GARBULEWSKI K. i in., 1993 — Laboratory methods for testing of the swelling soils permeability. Proc. 10th Eur. Conf. SMFE. Copenhagen.
- GLAZER Z., MALINOWSKI J. 1991 — Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa. PWN. Warszawa.
- GLAZER Z. i in., 1982 — Kierunki badań laboratoryjnych dla rozwiązywania problemów inżyniersko-geologicznych w górnictwie odkrywkowym. Mat. Konf. Badania geologiczno-inżynierskie w górnictwie. Kraków.
- GLINKO H., BIZOŃ T., 1994 — Możliwości wykorzystania karbońskiej skały płonej do rekultywacji terenów zdegradowanych działalnością górnictw. Mat. V Konf. Problemy geologii i ekologii w górnictwie podziemnym. Gł. Inst. Górn. PAN Oddz. Katowice. SITG. Szczyrk.
- GODULA T., 1988 — Nowe spojrzenie na sposób dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich złóż węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. *Techn. Poszuk. Geol. Geosynoptyka i Geotermia* S-6/88.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B., 1996 — Zmodyfikowany nomogram Casagrande'a i jego zastosowanie do oceny plastyczności i pęcznienia gruntów spoistych. *Inż. i Bud.* 2.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. (red.), 1994 — Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. PWN. Warszawa.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B., KACZYŃSKI R., 1994 — Metody badań pęcznienia gruntów spoistych. *Gosp. Sur. Miner.* **10**, A.
- HARMONIZACJA polskich norm geotechnicznych z systemem norm europejskich, 1998. Mat. Konf. Nauk.-Techn. ITB. Pułtusk.
- HEAD K. H., 1985 — Manual of soil laboratory testing. 1: Soil classification and compaction tests. Pentech Press. London.
- HEAD K. H., 1986 — Manual of soils laboratory testing. 3: Effective stress tests. Pentech Press. London.
- HEAD K. H., 1992 — Manual of soils laboratory testing. 2: Permeability, shear strength and compressibility tests. Pentech Press. London.
- JAKUBICZ B., 1979 — Problemy geologiczno-inżynierskie przy dokumentowaniu złóż kopaliny stałych. *Kwart. Geol.* **23**, 1.
- KACZYŃSKI R., 1984 — Badania wytrzymałości na ścinanie wybranych gruntów spoistych. Mat. Sesji Mechanika gruntów w zastosowaniach inżynierskich. NOT. Warszawa.
- KACZYŃSKI R., 1995 — Numeryczny model terenu i cyfrowe mapy ortofotograficzne dla projektowania autostrad. Inst. Geod. i Kartogr. Warszawa.
- KIDYBIŃSKI A., 1982 — Podstawy geotechniki kopalnianej. Wyd. Śląsk. Katowice.
- KIDYBIŃSKI A., SMOŁKA J., BAŁAZY I., 1974 — Oznaczanie podstawowych własności mechanicznych skał zwięzłych. *Pr. Gł. Inst. Górn. Komun.* 608. Katowice.
- KLASYFIKACJA mineralnych surowców odpadowych z górnictwa i energetyki, 1996. Inst. Gosp. Odpadami.
- KLECZKOWSKI A. S. i in., 1990 — Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony, skala 1:500 000. Wyd. AGH. Kraków.

- KOWALSKI W. C., 1988 — Geologia inżynierska. Wyd. Geol. Warszawa.
- KROGULEC E., 1994 — Badania własności filtracyjnych ilastych utworów zastoiskowych. *Techn. Poszuk. Geol. Geosynoptyka i Geotermia* 2, 3.
- MAPA ekologiczna województwa warszawskiego, skala 1:100 000, 1996. Red. S. Kozłowski. Wyd. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- MARCINIAK M., PRZYBYŁEK J., HERZIG J., SZCZEPAŃSKA J., 1998 — Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych. Uniw. AM i AGH. Wyd. Sorus. Poznań–Kraków.
- METODY pobierania i przygotowywania próbek wód, ścieków i osadów do analiz fizyczno-chemicznych, 1997. Mat. pokonf. Red. J. Siepak. Wyd. Uniw. AM. Poznań.
- MORGERSTERN N. R., EIGENBROD K. D., 1974 — Classification of argillaceous soils and rock. J. G.E.D., ASCE. **100**, GT 10.
- MYŚLIŃSKA E., 1992 — Laboratoryjne badania gruntów. PWN. Warszawa.
- NAMIEŚNIK J., ŁUKASIAK J., JAMRÓGLEWICZ Z., 1995 — Pobieranie próbek środowiskowych do analizy. Wyd. Nauk. PWN. Warszawa.
- NIEDZIELSKI A., 1993 — Czynniki kształtujące ciśnienie pęcznienia oraz swobodne pęcznienie iłów poznańskich i warwowych. *Rocz. Akad. Roln.* 238.
- NIEJSZTADT L. I., 1957 — Metody geologicznego izuczenia trieszczinowatosti gornych porod pri inżynierno-geologiczeskich issledowanijach. Goseniergoizdat. Moskwa.
- PAZDRO Z, KOZERSKI B., 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol. Warszawa.
- PIECZYRAK J., 1998 — Badania laboratoryjne ENN-1997-2. Mat. Konf. ITB. Pułtusk.
- PIESTRZYŃSKI A. (red.), 1996 — Monografia KGHM. Lubin.
- PINIŃSKA J. i in., 1994, 1995 — Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Cz. I: Skały osadowe rejonu świętokrzyskiego, katalog (1994). Cz. II: Objasnienia i interpretacja (1995). Tinta. Warszawa.
- PISARCZYK S., 1995 — Ścisłość grubookruchowych gruntów nasypowych stosowanych w budowlach hydrotechnicznych i komunikacyjnych. *Pr. Nauk. PW.* 20. Warszawa.
- PISARCZYK S., 1997 — Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych. Wyd. Inst. Dróg i Mostów Politechn. Warsz. Warszawa.
- PISARCZYK S. RYMSZA B., 1988 — Badania laboratoryjne i polowe gruntów. Wyd. Politechn. Warsz. Warszawa.
- RYBICKI S., 1973 — Geologiczno-inżynierskie problemy otworowej eksploatacji siarki. *Zesz. Nauk. AGH Geologia* 20.
- SEED H. i in., 1962 — Prediction of swelling potential for compacted clays. J. SMFE. Div. ASCE, SM 3.
- TRACZYK S. i in., 1996 — Analiza i wybór efektywnych metod utylizacji mineralnych surowców odpadowych z górnictwa i energetyki. Projekt zamawiany PB2-25-03. Warszawa.
- WIECZYSTY A., 1982 — Hydrogeologia inżynierska. PWN. Warszawa.
- WIŁUN Z., 1987 — Zarys geotechniki. WKiŁ. Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., 1995 — Wiarygodność rozpoznania geotechnicznego w świetle naturalnej zmienności utworów geologicznych, doświadczeń i norm. Konf. Nauk. Krynica.
- ZASADY regulowania stosunków wodnych na terenach przyległych do stopni piętrzących, 1972. *Budown. Wodne* 7.
- ŻAKOWICZ S., GARBULEWSKI K., 1996 — Nowa metodyka badań przewodności hydraulicznej nienasyconych gruntów ekspansywnych. Mat. 50-lecia SGGW. Warszawa.

NORMY I INSTRUKCJE

- A Pr PN-B-06050 Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne.
- ASTM – Annual Book of ASTM Standards, vol. 0408 (ASTM – D 4829–88; 427–90; 2435–90; 4546–90; 2487–93; 5298–94).
- BADANIE szczelności izolacji mineralnych składowisk odpadów, 1996a. Instr. ITB 339.
- BADANIA wytrzymałości na ścinanie i właściwości fizycznych ilów trzeciorzędowych osłabionych w wyniku przeobrażeń geomorfologicznych, w tym soliflukcji, 1996b. Geoteko. Warszawa.
- BN-64/8931-01-05. Drogi samochodowe. Oznaczenie modułu odkształcenia nawierzchni podatnych podłoża przez obciążenie płytą.
- BN-72/0505-01, projekt W1-0.1.1. Górnictwo odkrywkowe. Badania geologiczno-inżynierskie złóż węgla brunatnego. Wytyczne projektowania i wykonywania. Poltegor. Wrocław.
- BN-75/8704-05. Skąły zwięzłe. Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie metodą poprzecznego ściskania.
- BN-75/8704-07. Skąły zwięzłe. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie przy użyciu próbek foremnych.
- BN-77/8704-11. Skąły zwięzłe. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie przy użyciu próbek nieforemnych.
- BN-78/8704-14. Skąły zwięzłe. Oznaczenie ścieralności za pomocą aparatu Mackensera.
- BN-82/0403-02. Górnictwo odkrywkowe. Badania laboratoryjne wytrzymałościowych właściwości gruntów dla potrzeb projektowania kopalń odkrywkowych. Wytyczne wykonywania. Wyd. Normaliz. Alfa.
- BN-83/0410-03. Górnictwo. Szyby górnicze. Zasady sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej dla potrzeb głębinia.
- BS 5930, 1981 — British standard code of practise for site investigation.
- BS 1377, 1990 — British standard methods of test for soil for civil engineering purpose. Part 9: In-situ Tests.
- COUNCIL directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.
- DIN 9094, 1990 — Baugrund. Erkundung durch Sondierungen.
- DIN 18 128, 1990 — Baugrund. Versuche und Versuchsgeräte. Bestimmung des Glühverlusts.
- DIN 18 121, 1989 — Teil 2. Baugrund. Versuche und Versuchsgeräte. Wassergehalt. Bestimmung durch Schnellverfahren.
- ENV 1994-1, 1994. Eurocode-7. Geotechnical design. General requirements.
- ICS 93 020, 1998 — Geotechnika w budownictwie. Oznaczenie i opis skał. ISO/DIS 14689. Mat. ITB. Warszawa.
- INSTRUKCJA badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych, 1998a. Cz. 1, 2 (załącznik). Gen. Dyr. Dróg Publ. Warszawa.
- INSTRUKCJA, 1998b. Laboratoryjne i terenowe oznaczenie współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych. Aut.: M. Marciniak, J. Przybyłek, J. Herzig, J. Szczepańska. Uniw. AM. Wyd. Sorus. Poznań.
- INSTRUKCJA opracowania mapy geologiczno-gospodarczej Polski w skali 1:50 000, 1997. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- INSTRUKCJA sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach, 1999. Wyd. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- INSTRUKCJA uproszczonego klasyfikowania skał dla potrzeb górnictwa podziemnego w geologiczno-inżynierskich dokumentacjach złóż węgla kamiennego, 1985. Aut.: A. Kidybiński, I. Bałazy, M. Bednorz. Gł. Inst. Górn. Katowice.
- INSTRUKCJA wykonywania próbnych obciążeń gruntu płytą sztywną i świdrem talerzowym, 1980. Instr. ITB 232.

- INSTRUKCJA zakresu i metodyki badań geologiczno-inżynierskich na terenach górniczych, 1970. Geoprojekt. Warszawa.
- ISO/DIS 14688, 1994 — Geotechnics in civil engineering. Identification and classification of rock (tłumaczenie). Mat. ITB. Warszawa.
- KATALOG wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania, 1995. T. 1. PIOŚ. Bibl. Monitoringu Środ. Warszawa.
- KATALOG wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania, 1994. Aut.: S. Witczak, A. Adamczyk.
- PN/G-05101. Górnictwo odkrywkowe. Inżyniersko-geologiczne warunki złóż węgla kamiennego. Wytyczne projektowania i wykonywania badań (projekt). Wyd. Normaliz. Warszawa.
- PN-60/B-04493. Grunty budowlane. Oznaczanie kapilarności biernej.
- PN-65/B-04497. Grunty budowlane. Wyznaczanie uogólnionych cech gruntów. Wyd. Normaliz. Warszawa.
- PN-66/B-04100. Materiały kamienne. Oznaczanie gęstości objętościowej, gęstości, porowatości i szczelności.
- PN-67/B-04102. Materiały kamienne. Oznaczanie mrozoodporności metodą bezpośrednią.
- PN-74/B-04452. Grunty budowlane. Badania polowe.
- PN-76/G-04620. Woda i ciekły. Pobieranie próbek. Pobieranie próbek wód podziemnych do analizy fizycznej i chemicznej oraz bakteriologicznej.
- PN-78/B-06714 Ark. 40. Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie wytrzymałości na miążdżenie.
- PN-78/B-06714 Ark. 41. Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczenie ścieralności w bębnie Devala.
- PN-79/B-06714 Ark. 42. Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczenie ścieralności w bębnie Los Angeles.
- PN-80/B-01800. Klasyfikacja i określenie środowisk. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie.
- PN-81/B-03020. Grunty budowlane, posadowienie bezpośrednie budowli, obliczenia statyczne i projektowe.
- PN-83/0410-03. Szyby górnicze. Zasady sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej dla potrzeb głębiania. Wyd. Normaliz. Alfa. Warszawa.
- PN-84/B-01080. Kamień dla budownictwa i drogownictwa. Podział i zastosowanie wg własności fizyczno-mechanicznych.
- PN-84/B-04110. Materiały kamienne. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie.
- PN-84/B-04111. Materiały kamienne. Oznaczanie ścieralności na tarczy Boehmego.
- PN-85/B-04101. Materiały kamienne. Oznaczanie nasiąkliwości wodą.
- PN-86/B-02480. Grunty budowlane, określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-87/C-04632/01-02. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i bakteriologicznych. Planowanie i programowanie pobierania próbek.
- PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- PN-88/C-04632/03. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i bakteriologicznych. Technika pobierania próbek.
- PN-88/C-04632/04. Ogólne zasady pobierania próbek do badań fizycznych, chemicznych i bakteriologicznych. Utrwalanie i przechowywanie próbek.
- PN-91/B-06714 Ark. 15. Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie składu ziarnowego.
- POSADOWIENIE obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy, 1991. Instr. ITB 304. Warszawa.
- POSADOWIENIE budowli na gruntach ekspansywnych, 1990. Instr. ITB 296. Warszawa.
- pr ENV 1994. Geotechnical design. Part 1: General requirements.
- pr ENV 1997-2. Geotechnical design. Part 2: Design assisted by laboratory testing.
- pr ENV 1997-3. Geotechnical design. Part 3: Design assisted by field tests.

PROJEKTOWANIE i wykonywanie badań do lokalizacji składowisk odpadów komunalnych, 1996. Instr. ITB 340.

RAMOWE WYTYCZNE określania i dokumentowania cech pokładów i skał towarzyszących w kopalniach węgla kamiennego, 1982. Aut.: R. Drewniak. Gł. Inst. Górn. Katowice.

WYTYCZNE dokumentowania złóż kopalni stałych w kategoriach D do A, 1992. MOŚZNiL. Komis. Zas. Kopalni. Warszawa.

WYTYCZNE określania współczynnika filtracji metodami pośrednimi i laboratoryjnymi, 1977. Aut.: B. Kozerski. Wyd. Geol. Warszawa.

WYTYCZNE oznaczania modułów ścisłości i odprężenia gruntów metodą edometryczną, 1989a. Instr. ITB 289.

WYTYCZNE oznaczania modułów ścisłości i współczynników konsolidacji, 1989b. Instr. ITB 288.

WYTYCZNE oznaczania spójności i kąta tarcia wewnętrznego gruntów budowlanych, 1979. Instr. ITB 225.