

# Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy



# Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego

(w świetle wymagań Eurokodu 7)

Pod redakcją naukową

Edyty Majer, Marty Sokołowskiej, Zbigniewa Frankowskiego



Warszawa 2018

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

**Redakcja naukowa:** Edyta MAJER, Marta SOKOŁOWSKA, Zbigniew FRANKOWSKI

**Zespół autorski:** Edyta MAJER<sup>1</sup>, Marta SOKOŁOWSKA<sup>1</sup>, Zbigniew FRANKOWSKI<sup>1</sup>, Marek BARAŃSKI<sup>1</sup>, Zbigniew BESTYŃSKI<sup>2</sup>, Szymon OSTROWSKI<sup>1</sup>, Anna PASIECZNA<sup>1</sup>, Paweł PIETRZYKOWSKI<sup>1</sup>, Maria PRZYŁUCKA<sup>1</sup>, Oktawia BŁACHNIO<sup>1</sup>, Marta CHADA<sup>1</sup>, Paweł CZARNIAK<sup>1</sup>, Eliza DZIEKAN-KAMIŃSKA<sup>1</sup>, Michał JAROS<sup>1</sup>, Malwina JUDKOWIAK<sup>1</sup>, Aleksandra ŁUKAWSKA<sup>1</sup>, Krzysztof MAJER<sup>1</sup>, Grzegorz PACANOWSKI<sup>1</sup>, Arkadiusz PIECHOTA<sup>1</sup>, Adam ROGUSKI<sup>1</sup>, Grzegorz RYŻYŃSKI<sup>1</sup>, Izabela SAMEL<sup>1</sup>, Jakub SOKOŁOWSKI<sup>1</sup>, Monika SZABŁOWSKA<sup>1</sup>, Marta SZLASA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

<sup>2</sup> Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Ośrodek Technicznej Kontroli Zapór w Katowicach, ul. Kossutha 6, 40-844 Katowice

**Recenzenci:** Maciej K. KUMOR, Paweł DOBAK

**Konsultacja w zakresie oceny masywu skalnego:** Joanna PINIŃSKA

**Redakcja, projekt i opracowanie typograficzne:** Agnieszka BYLINIAK, Ewelina LEŚNIAK

**Opracowanie graficzne:** Łukasz BORKOWSKI

**Projekt graficzny okładki:** Monika CYRKLEWICZ

Fotografie na okładce ze zbiorów Thinkstock: I strona – Metal bridge construction; IV strona – Skyscrapers in Warsaw

Akceptował do druku dnia 27.03.2018 r.

Dyrektor Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego  
dr Tomasz NOWACKI

Copyright © by Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy  
Warszawa 2018

**ISBN 978-83-7863-774-5**

Adres redakcji:  
Dział Wydawnictw  
Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa  
tel. 22 459 2480

Nakład: 500 egz.

Druk i oprawa: Drukarnia Braci Grodzickich Sp. J., ul. Geodetów 47a, 05-500 Piaseczno

## SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie</b>	<b>7</b>
<b>2. Podstawy dokumentowania</b>	<b>10</b>
2.1. Podstawy formalnoprawne dokumentowania	11
2.1.1. Stopień skomplikowania warunków gruntowych i kategoria geotechniczna	13
2.1.2. Rodzaje dokumentów	14
2.2. Eurokody – normy dotyczące projektowania konstrukcji	17
2.2.1. Eurokod 7 – projektowanie geotechniczne	17
2.2.2. Etapy badań podłoża gruntowego wg Eurokodu 7	19
2.3. Fazy dokumentowania geologiczno-inżynierskiego	21
<b>3. Zbieranie dostępnych informacji o terenie</b>	<b>26</b>
3.1. Regiony geologiczno-inżynierskie w Polsce	26
3.2. Zebranie danych archiwalnych	34
3.3. Wizja terenowa i lokalny wywiad środowiskowy	35
<b>4. Projektowanie badań podłoża</b>	<b>37</b>
4.1. Określenie celu projektowanych badań podłoża	38
4.2. Ustalanie rodzaju, zakresu i metodyki badań	40
4.3. Projektowanie badań na potrzeby planowania przestrzennego	41
4.4. Projektowanie badań na potrzeby budownictwa	42
4.5. Projektowanie badań na potrzeby pozyskania ciepła ziemi	43
4.6. Projektowanie badań na obszarach morskich	45
4.7. Projektowanie badań na terenach zagrożeń geologicznych	46
4.7.1. Projektowanie badań na terenach osuwiskowych i klifowych	46
4.7.2. Projektowanie badań na terenach krasowych	49
4.7.3. Projektowanie badań dla obszarów deformacji glacitektonicznych	49
4.7.4. Projektowanie badań dla obszarów górskich i obszarów deformacji tektonicznych	53
4.8. Projektowanie badań na obszarach występowania gruntów problematycznych	61
4.8.1. Projektowanie badań na obszarach gruntów organicznych i dolin rzecznych	61
4.8.2. Projektowanie badań na obszarach występowania lessów i gruntów lessopodobnych	62
4.8.3. Projektowanie badań na obszarach iłó	64
4.8.4. Projektowanie badań zwietrzelin	65
4.9. Projektowanie badań na terenach degradacji antropogenicznej	68
4.10. Projektowanie badań na terenach współczesnej i historycznej działalności górniczej	68
<b>5. Wykonywanie, interpretacja i ocena wyników badań terenowych</b>	<b>71</b>
5.1. Kartowanie geologiczno-inżynierskie	71
5.2. Pomiar geodezyjne	72
5.3. Metody teledetekcyjne	73
5.4. Badania geofizyczne	75
5.4.1. Badania geofizyczne powierzchniowe	77
5.4.2. Badania geofizyczne otworowe	80

5.5. Pobieranie próbek gruntów i skał oraz wód gruntowych . . . . .	81
5.5.1. Techniki wiertnicze . . . . .	81
5.5.2. Pobór próbek gruntów i skał, klasy jakości próbek, techniki pobierania, sposób postępowania, transport i magazynowanie . . . . .	82
5.5.3. Pobór próbek wody . . . . .	85
5.5.4. Badania w celu klasyfikacji, oznaczenia i opisu gruntu i skał . . . . .	85
5.6. Sondowania . . . . .	92
5.6.1. Badania statyczną sondą stożkową CPT, CPTU . . . . .	92
5.6.2. Badania presjometryczne PMT . . . . .	92
5.6.3. Badania dylatometryczne FDT, DMT . . . . .	94
5.6.4. Badania sondą cylindryczną SPT . . . . .	94
5.6.5. Badania sondą dynamiczną DP . . . . .	95
5.6.6. Badania sondą wkręcaną WST . . . . .	95
5.6.7. Badania sondą krzyżakową FVT . . . . .	95
5.7. Specjalistyczne badania terenowe . . . . .	96
5.8. Polowe badania hydrogeologiczne . . . . .	96
5.9. Wstępna ocena masywu skalnego na podstawie badań geofizycznych . . . . .	99
5.9.1. Klasyfikacje masywów skalnych . . . . .	99
5.9.2. Zasady oceny masywu skalnego . . . . .	100
5.9.3. Geofizyczne badania masywów skalnych . . . . .	104
5.10. Polowe badania właściwości termicznych gruntów i skał . . . . .	109
5.11. Badania środowiskowe . . . . .	110
<b>6. Wykonywanie, interpretacja i ocena badań laboratoryjnych . . . . .</b>	<b>113</b>
6.1. Przygotowanie próbek gruntów i skał do badań . . . . .	114
6.2. Klasyfikacja gruntów zgodnie z normami PN-EN ISO 14688-2 i PN-B-02480 . . . . .	115
6.3. Klasyfikacja skał wg Eurokodu 7 . . . . .	118
6.4. Badania cech fizycznych gruntów . . . . .	118
6.5. Badania cech wytrzymałościowych gruntów . . . . .	121
6.6. Badania cech odkształceniowych gruntów . . . . .	121
6.7. Badania przepuszczalności gruntów . . . . .	122
6.8. Badania zagęszczalności gruntów . . . . .	122
6.9. Badania właściwości geomechanicznych skał . . . . .	122
6.10. Badania właściwości termicznych gruntów i skał . . . . .	123
6.11. Badania składu chemicznego gruntu, skał i wody gruntowej . . . . .	124
6.11.1. Badania chemiczne gruntu i skał . . . . .	124
6.11.2. Badania chemiczne wody gruntowej . . . . .	125
<b>7. Sporządzanie modelu geologicznego . . . . .</b>	<b>127</b>
7.1. Typy modeli geologicznych . . . . .	127
7.2. Zasady wydzielenia warstw gruntów i skał oraz ich charakterystyka . . . . .	130
7.3. Opis i ocena właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał. Wartości parametrów geotechnicznych . . . . .	131
7.4. Identyfikacja zagrożeń geologicznych . . . . .	133
7.5. Warunki geologiczno-inżynierskie . . . . .	139
7.5.1. Określenie i ocena warunków geomorfologicznych . . . . .	140
7.5.2. Określenie i ocena warunków geologicznych (gruntowych) . . . . .	140
7.5.3. Określenie i ocena warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych . . . . .	141
7.5.4. Określenie i ocena występowania procesów geodynamicznych i innych niekorzystnych procesów geologicznych . . . . .	142
7.5.5. Określenie i ocena występowania procesów i zjawisk antropogenicznych . . . . .	143
7.5.6. Ocena warunków geologiczno-inżynierskich . . . . .	144
7.6. Ocena ryzyka geologicznego i prognoza zmian warunków geologiczno-inżynierskich . . . . .	145

<b>8. Sporządzanie dokumentacji</b> .....	<b>148</b>
8.1. Ogólne zasady przetwarzania, interpretowania i analizowania wyników badań oraz danych z prac i robót geologicznych .....	148
8.2. Ogólne zasady oceny wyników badań oraz prac i robót geologicznych .....	150
8.3. Ogólne zasady przedstawiania wyników badań oraz prac i robót geologicznych .....	151
8.3.1. Treść i sposób opracowania części tekstowej .....	151
8.3.2. Treść i forma części graficznej i tabelarycznej .....	153
8.3.3. Zalecenia do opracowania dokumentacji w formie elektronicznej .....	154
8.4. Ogólne zasady gromadzenia wyników badań oraz prac i robót geologicznych .....	155
8.5. Ogólne zasady archiwizowania wyników badań oraz prac i robót geologicznych .....	156
<b>9. Wykorzystanie technologii GIS, BIM i CIM w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim</b> .....	<b>157</b>
9.1. GIS – narzędzie w dokumentowaniu .....	157
9.2. BIM – nieszablonowe narzędzie projektowe w procesie budowlanym .....	161
9.3. CIM – projektowe narzędzie w zarządzaniu obszarami zurbanizowanymi .....	163
<b>Literatura</b> .....	<b>165</b>
<b>Akty prawne</b> .....	<b>169</b>
Dyrektywy .....	169
Ustawy .....	169
Uchwały i zarządzenia .....	169
Rozporządzenia .....	170
<b>Normy</b> .....	<b>170</b>
<b>Strony internetowe</b> .....	<b>171</b>



## 1. WPROWADZENIE

Prezentowany poradnik stanowi aktualizację i uzupełnienie publikacji wydanej w 1999 r. pt. „Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich” (Bażyński i in., 1999) i w założeniu ma uzupełniać poradnik ITB „Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7” (Wysokiński i in., 2011), w którym szczegółowo opisano wymagania normy PN-EN 1997-1 i 2.

Jest kolejną pozycją z cyklu wydawniczego „Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich” wzbogacającą zbiór publikacji książkowych w zakresie dokumentowania, rozpoznania i badań podłoża gruntowego ([http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas\\_y\\_gi/publikacje](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje)). Pozycja ta jest adresowana do szerokiego grona odbiorców, przede wszystkim do geologów inżynierskich, geotechników, inżynierów budownictwa, projektantów, inwestorów oraz przedstawicieli administracji geologicznej.

Poradnik jest podsumowaniem kilkudziesięciu lat pracy geologów przy dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim i badaniach podłoża gruntowego. Wskazuje nowe kierunki i wymagania dotyczące dokumentowania w zakresie jakości i optymalizacji badań oraz bezpieczeństwa obiektów budowlanych, takich jak: autostrady, drogi ekspresowe, linie kolejowe, wały przeciwpowodziowe, elektrownie, składowiska odpadów, obiekty podziemne i inne.

Został on opracowany w celu wdrożenia do procesu dokumentowania geologiczno-inżynierskiego dobrych praktyk oraz zasad i reguł wynikających z Eurokodu 7 (zbiór norm PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2), ponieważ podstawą projektowania obiektów budowlanych zgodnie z Eurokodem 7 jest rozpoznanie i badania podłoża gruntowego, w tym badania geologiczno-inżynierskie.

Eurokod 7 to zharmonizowana norma polska, w której wymaga się indywidualnego podejścia do każdego problemu inżynierskiego, jak również wiedzy z zakresu mechaniki gruntów, geomechaniki, geologii oraz doświadczenia w wykonywaniu zintegrowanych badań podłoża (Mayne, 2006).

Zintegrowane badania podłoża polegają na wykonaniu wierceń, sondowań, badań geofizycznych, pomiarów teledetekcyjnych i analiz laboratoryjnych. Są podstawą do wykonania charakterystyki i oceny właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał występujących w podłożu, a w efekcie prowadzą do opracowania modelu geologicznego.

Model geologiczny jest elementem dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (DGI) i dokumentacji badań podłoża (GIR – *Ground Investigation Report*) oraz stanowi podstawę do opracowania modelu geotechnicznego w projekcie geo-

technicznym (GDR – *Geotechnical Design Report*). W dwóch ostatnich opracowaniach przyjęto skróty anglojęzyczne, zgodnie z Eurokodem 7.

Poradnik podzielono na dziewięć głównych rozdziałów. Pierwsze dwa rozdziały odnoszą się do zagadnień formalnoprawnych oraz podstawowych założeń procesu dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. Rozdział trzeci dotyczy gromadzenia i analizy materiałów archiwalnych oraz przedstawia ogólny podział Polski na regiony geologiczno-inżynierskie. Rozdział czwarty porusza zagadnienia projektowania badań podłoża gruntowego z uwzględnieniem celu jakiego mają służyć (badania na potrzeby planowania przestrzennego, posadawiania obiektów budowlanych itd.) oraz specyfiki dokumentowanego terenu (np. obszary: krasowe, osuwiskowe, morskie itd.). Rozdziały piąty i szósty dotyczą odpowiednio metod badań polowych i laboratoryjnych. W zakresie badań terenowych omówiono nowoczesne metody wierceń, sondowań dynamicznych i statycznych oraz sposoby pobierania odpowiedniej jakości próbek gruntów i skał. Omówiono też nowe metody badań nieinwazyjnych (jak geofizyka inżynierska czy teledetekcja) oraz wykonywania pomiarów geodezyjnych. W rozdziale szóstym szczegółowo przedstawiono metody badań laboratoryjnych gruntów i skał, obejmujące badania właściwości fizycznych, mechanicznych, filtracyjnych i termicznych. Omówiono także nową klasyfikację gruntów i skał zgodną z Eurokodem 7. W następnym rozdziale (siódmym) zaprezentowano zagadnienia związane z tworzeniem modelu geologicznego i jego uszczegóławianiem wraz z postępowaniem procesu inwestycyjnego. Rozdział ósmy stanowi natomiast zbiór zaleceń do sporządzania opracowań tekstowych wraz z załącznikami (projekty robót, dokumentacje, raporty i in.). W rozdziale dziewiątym wprowadzono nowe, coraz częściej pojawiające się w geologii inżynierskiej, zagadnienia z zakresu GIS (*Geographical Information Systems* – systemów informacji przestrzennej) i BIM (*Building Information Modelling* – modelowania informacji o budynku).

W zamierzeniu poradnik „Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego” ma służyć jako podręczna i praktyczna baza wiedzy oraz stanowić punkt wyjścia do korzystania z bardziej szczegółowych i specjalistycznych publikacji z zakresu geologii inżynierskiej.

Opracowanie to wykonano w celu zebrania zasad i reguł w zakresie rozpoznania i badania podłoża gruntowego podanych w Eurokodzie 7, innych normach oraz w literaturze branżowej, a także wynikających z przepisów prawa,



doświadczenia i dobrych praktyk, na potrzeby poprawy jakości i dostosowania procesu dokumentowania geologiczno-inżynierskiego do wymagań Eurokodu 7 w warunkach krajowych.

Według Eurokodu 7 wymaga się właściwego zaprojektowania, wykonania, interpretacji oraz oceny wyników badań polowych i laboratoryjnych. Praktyka krajowa wskazuje, że rozpoznanie i badania podłoża są ograniczane do minimum, a dokumentatorzy opierają się głównie na danych archiwalnych i korelacjach podanych w wycofanych normach.

Krajowe podstawy prawne dokumentowania geologiczno-inżynierskiego oraz inne przepisy dotyczące badań podłoża nie nakładają obowiązku prowadzenia badań geologiczno-inżynierskich czy też geotechnicznych. Prawo budowlane wskazuje tylko na potrzebę ich wykonywania. Wyjątek stanowią akty prawne dotyczące obiektów energetyki jądrowej, które zawierają obowiązek wykonywania badań geologiczno-inżynierskich.

Z uwagi na brak obowiązku wykonywania badań podłoża często są one marginalizowane, a środki finansowe przeznaczone na ich realizację niskie. Mały budżet przeznaczony na badania bardzo często prowadzi do zaniżania ich zakresu oraz ma wpływ na jakość dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Ten sam problem dotyczy badań geotechnicznych, które są wykonywane na podstawie Prawa budowlanego.

W warunkach krajowych dokumentacja geologiczno-inżynierska jest zazwyczaj tworzona na etapie projektu budowlanego. Natomiast największą ilość danych o terenie inwestycji i o obszarach sąsiadujących, w tym przede wszystkim danych geologiczno-inżynierskich, powinno się zebrać na etapie badań wstępnych – faza początkowa – studium wykonalności i koncepcja programowa.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że na każdym etapie realizacji inwestycji są potrzebne dane geologiczne, a im więcej wiemy o warunkach geologicznych na początku procesu, tym bezpieczniej i ekonomiczniej może być zaprojektowana i zrealizowana inwestycja.

Opracowanie zasad dokumentowania i dobrych praktyk w omawianym zakresie w perspektywie czasu wpłynie na poprawę jakości badań oraz na ich dostosowanie do rozwiązywania problemów geologicznych i optymalizacji rozwiązań inżynierskich.

W dobie ciągle zamieniających się przepisów, harmonizacji norm polskich z europejskimi i stosowania nowoczesnych technik badawczych należy wymagać od dokumentatorów podnoszenia kwalifikacji oraz uzupełniania ogólnogeologicznej i specjalistycznej wiedzy z zakresu mechaniki gruntów i geomechaniki. Aby uniknąć nieumiejętnej interpretacji modelu geologicznego należy zadbać o stałe przekazywanie doświadczenia i wiedzy geologicznej kolejnym pokoleniom geologów.

Istotne w procesie dokumentowania jest stosowanie aktualnych norm, co ułatwia pracę dokumentatora oraz umożliwia weryfikację i porównywalność wyników. Co ważne, nie wszystkie obszary badań zostały znormalizowane, jak np.: podziemne składowanie i magazynowanie, geotermia, zaawansowane metody badań laboratoryjnych i polowych (zwłaszcza z zastosowaniem geofizyki) oraz metody eksperymentalne.

Z poruszonymi zagadnieniami wiąże się problem etyki i odpowiedzialności zawodowej. Z doświadczenia wynika, że główne nieprawidłowości obserwowane w dokumentowaniu to:

- ograniczanie zakresu badań geologiczno-inżynierskich oraz badań podłoża gruntowego;
- wykonywanie dokumentacji geologiczno-inżynierskich wyłącznie na podstawie danych archiwalnych z dokumentacji badań podłoża;
- niska jakość wierceń;
- nieprzestrzeganie zasad dotyczących pomiarów hydrogeologicznych oraz lokalizacji punktów dokumentacyjnych;
- ograniczanie zakresu badań laboratoryjnych do cech fizycznych;
- niewłaściwe dobieranie metod badań do warunków gruntowych;
- wyznaczanie parametrów fizyczno-mechanicznych na podstawie normy PN-B-03020;
- obniżenie poziomu wiedzy geologicznej, doświadczenia i umiejętności geologów – dokumentatorów;
- powszechne powielanie treści, co wpływa na obniżanie jakości dokumentacji oraz rozwiązań interpretacyjnych;
- brak wpływu dokumentatora na zakres i metodykę wykonywania badań geologiczno-inżynierskich.

Wymieniona lista nie wyczerpuje wszystkich problemów w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim. Nieprawidłowości te często prowadzą do zaniedbań i rutynowego podejścia do omawianego dokumentowania i wykonywania badań podłoża, zwłaszcza na etapie wstępnym i do celów projektowych, czego efektem jest coraz więcej problemów podczas budowy i eksploatacji obiektów budowlanych oraz w planowaniu przestrzennym.

W poradniku „Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego” w kolejnych rozdziałach podjęto próbę odpowiedzi na wyzwania stawiane dokumentatorom w procesie dokumentowania badań geologiczno-inżynierskich w warunkach krajowych, a także próbę wdrożenia do praktyki dokumentowania najważniejszych zasad i reguł wynikających z Eurokodu 7, tak żeby wykonywane dokumentacje spełniały podstawowe wymagania i odznaczały się coraz wyższą jakością.

Publikacja stanowi zbiór zasad rozumianych jako sposób postępowania przy dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim, który został ustalony na podstawie przepisów prawa, norm i doświadczeń. Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie zostało zdefiniowane jako proces złożony z ośmiu faz prac dokumentacyjnych:

1. zebranie i analiza informacji archiwalnych o terenie;
2. projektowanie badań terenowych i laboratoryjnych;
3. wykonywanie badań terenowych i laboratoryjnych;
4. gromadzenie wyników badań;
5. przetwarzanie, interpretowanie i analizowanie wyników badań;
6. ocena wyników badań;
7. przedstawienie wyników badań;
8. archiwizacja wyników badań.

Są one elementem każdego etapu badań i procesu inwestycyjnego. Zasady prezentowane w niniejszej publikacji są przedstawione w nawiązaniu do prawa krajowego i norm – przede wszystkim Eurokodu 7.

W publikacji podkreślono, że dokumentator powinien posiadać odpowiednią wiedzę, doświadczenie i kwalifikacje. Zaakcentowano co jest zasadne w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim na każdym etapie i w każdej fazie dokumentowania.

Cały proces dokumentowania opisano w sposób umożliwiający opracowanie dokumentacji zawierających informacje

o terenie, budowie geologicznej, otaczającym środowisku oraz o zmianach, które mogą nastąpić podczas realizacji i eksploatacji obiektu budowlanego.

„Zasady...” stanowią kompendium podstawowej wiedzy dotyczącej dokumentowania na podstawie wymagań Eurokodu 7, w szczególności w zakresie normy PN-EN 1997-2. W książce nie poruszono natomiast szczegółowych aspektów dokumentowania geologiczno-inżynierskiego oraz nie zamieszczono przepisu zawierającego rozwiązania problemów z nim związanych.

## 2. PODSTAWY DOKUMENTOWANIA

Geologia inżynierska to dziedzina geologii, która zajmuje się zarówno badaniami, studiami oraz rozwiązywaniem inżynierskich i środowiskowych problemów, powstających jako rezultat wzajemnego oddziaływania podłoża gruntowego i obiektu budowlanego (w szerszym ujęciu sposobu zagospodarowania terenu), jak również przewidywaniem odpowiednich środków i sposobów zapobiegania zagrożeniom geologicznym, w tym na obszarach działalności górniczej ([www.iaeg.info](http://www.iaeg.info) zmodyfikowana).

Geotechnika jest nauką o pracy i badaniach ośrodka gruntowego wykorzystywaną do celów projektowania i wykonawstwa budowli ziemnych i podziemnych oraz fundamentów budynków i nawierzchni drogowych. Jest jednocześnie nauką i sztuką, gdyż z jednej strony ocenia podłoże gruntowe pod względem nośności i odkształcalności z uwzględnieniem mechaniki gruntów, a z drugiej strony wybiera z wielu możliwych sposobów posadowienia, najbardziej ekonomiczne i bezpieczne rozwiązanie (Wiłun, 2003).

Geologia inżynierska i geotechnika pozwalają na ocenę podłoża budowlanego, przede wszystkim z punktu widzenia przyrodniczego i technicznego (Plewa, 1999). W ramach geologii dostarcza się danych geologiczno-inżynierskich do projektowania, wykonawstwa, monitoringu oraz eksploatacji obiektów inżynierskich. Podaje się także zalecenia geologiczne do realizacji konkretnych rozwiązań technicznych w udokumentowanych warunkach gruntowych, prognozuje się również zmiany właściwości i parametrów, jakie w środowisku naturalnym mogą wystąpić pod wpływem budowli.

Zagadnieniami środowiska geologicznego i geologiczno-inżynierskiego zajmował się Kowalski (1988), którego pogląd dostosowano do obecnego stanu wiedzy i doświadczenia.

Obiektem badań geologii jest środowisko geologiczne. Pod tym pojęciem rozumie się skorupę ziemską wraz z wpływającymi na nią czynnikami atmo-, hydro-, i biosfery oraz czynnikami wewnątrz- i podskorupowymi (Kowalski, 1988). Geologia inżynierska zajmuje się środowiskiem geologiczno-inżynierskim, rozumianym jako część środowiska geologicznego, która może się zmienić lub zmienia się pod wpływem obiektu budowlanego lub w szerszym ujęciu sposobu zagospodarowania terenu, i jednocześnie wpłynie na obiekt budowlany lub sposób zagospodarowania terenu.

Środowisko geologiczno-inżynierskie jest wyznaczane przez dwie strefy:

- stwierdzonego lub przewidywanego wpływu działalności człowieka na środowisko geologiczne – jest to strefa oddziaływań inżynierskich;

- stwierdzonego lub przewidywanego wpływu środowiska geologicznego na obiekty i procesy wywołane działalnością człowieka – jest to strefa oddziaływań geologicznych.

Wyznaczenie pierwszej strefy oddziaływań wymaga znajomości sposobu zagospodarowania terenu, rodzaju i sposobu posadowienia obiektu budowlanego oraz głębokości zmian w środowisku geologicznym powstających na skutek posadowienia i eksploatacji obiektu budowlanego lub zagospodarowania terenu. Druga strefa oddziaływań wymaga rozpoznania środowiska geologicznego na większych obszarach tak, żeby stwierdzić, czy zachodzące w sąsiedztwie procesy i zjawiska geologiczne będą miały wpływ na obiekt budowlany lub zagospodarowanie terenu. Strefy oddziaływań mogą się pokrywać, jednak często, zwłaszcza w warunkach skomplikowanej budowy geologicznej przy wymagających obiektach budowlanych, wzajemne położenie tych stref może być różne, np. rozwijające się pustki krasowe, obszary ruchów masowych, trzęsienia ziemi, działalność górnicza.

Zasięg strefy oddziaływań inżynierskich zależy od głębokości, do której jest prowadzona działalność człowieka (rys. 1). Strefa ta mieści się w granicach od powierzchni terenu do ponad 2500 m, a w przypadku wiertnictwa – do głęb. ponad 12 000 m. Fundamenty obiektów mieszkalnych sięgają kilku metrów w przypadku posadowień bezpośrednich lub kilkudziesięciu metrów w przypadku posadowień pośrednich, tunele 50–200 m, zaś magazyny i składowiska podziemne od 300 do ponad 2500 m. Obiekty te mogą być budowane w tym samym miejscu, ale na różnych głębokościach, co może prowadzić do nakładania się stref oddziaływań od wielu obiektów budowlanych lub sposobów zagospodarowania terenu.

Rozpoznanie środowiska geologiczno-inżynierskiego następuje na podstawie badań podłoża gruntowego w wyniku prac dokumentacyjnych

Dokumentowanie można definiować wieloznacznie (Kowalski, 1988):

- jako zespół czynności, polegający na gromadzeniu, opracowywaniu i rozpowszechnianiu dokumentacji zgodnie z określonymi potrzebami;
- jako zbiór lub spis dokumentów;
- jako wiedza o teoretycznych podstawach i metodach gromadzenia dokumentacji.

Na potrzeby niniejszej publikacji dokumentowanie zostało zdefiniowane, jako prowadzony w określonym celu sposób postępowania, ustalony na podstawie przepisów prawa, norm i doświadczeń polegający na:

- zebraniu dostępnych informacji o terenie i jego podłożu gruntowym;
- projektowaniu i wykonywaniu badań terenowych i laboratoryjnych;
- przetwarzaniu, interpretowaniu, analizie i ocenie wyników badań;
- przedstawianiu wyników badań w określonej formie;
- gromadzeniu i archiwizowaniu wyników badań.

Jeżeli dokumentowanie dotyczy środowiska geologiczno-inżynierskiego i rozpoznania strefy istniejących i potencjalnych oddziaływań inżynierskich i geologicznych to mówi się o dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim.

Gdy zaś dokumentowanie dotyczy środowiska geologiczno-inżynierskiego i rozpoznania strefy oddziaływań tylko inżynierskich to mówi się o dokumentowaniu geotechnicznym.

Badania podłoża gruntowego to zespół czynności terenowych, laboratoryjnych i kameralnych wykonywanych w określonym celu na podstawie programu/projektu badań na różnych etapach procesu inwestycyjnego. Badania podłoża gruntowego powinny obejmować badania polowe, badania laboratoryjne,

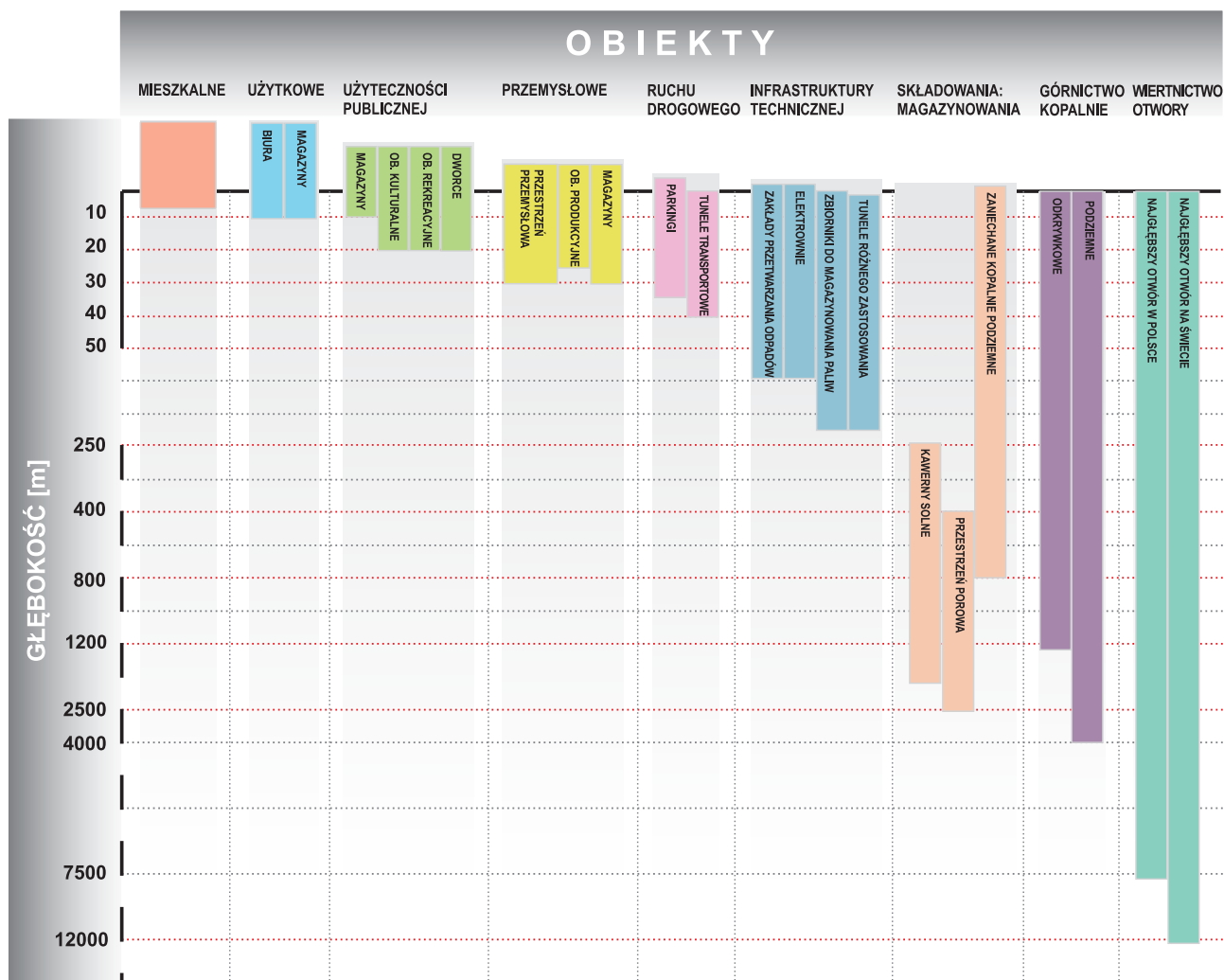
dodatkowe prace kameralne oraz kontrolę i monitoring tam, gdzie jest potrzebne (PN-EN 1997-2).

Podłoże gruntowe (budowlane) to strefa gruntów i skał współpracująca z obiektem budowlanym. W strefie tej właściwości gruntów i skał mają wpływ na projektowane, wykonywane lub eksploatowane obiekty budowlane (Glazer, Malinowski, 1991 zmodyfikowane).

## 2.1. PODSTAWY FORMALNOPRAWNE DOKUMENTOWANIA

W warunkach krajowych zagadnienia dotyczące dokumentowania regulują obecnie ustawy (rys. 2):

- Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2017 poz. 2126);
- Prawo budowlane (Dz.U. 2017 poz. 1332) i związane z nimi rozporządzenia:
  - Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033);



Rys. 1. Sposoby wykorzystania górotworu przez człowieka w zależności od głębokości (Kowalski, 1988; Evans i in., 2009, zmodyfikowane przez Przybycina i in., 2011)



Rys. 2. Podstawy formalnoprawne dokumentowania

- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463);
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. Nr 288 poz. 1696);
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. 2015 poz. 964).

Wybór trybu postępowania prawnego zależy od celu badań, etapu realizacji inwestycji, stopnia skomplikowania warunków gruntowych oraz kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego.

Zgodnie z informacją podaną w rozdz. 1, dokumentowanie geologiczno-inżynierskie prowadzi się zgodnie z zapisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2017 poz. 2126), natomiast dokumentowanie geotechniczne zgodnie z ustawą Prawo budowlane (Dz.U. 2017 poz. 1332) (rys. 3).

Praktyka dokumentowania wskazuje, że badania podłoża gruntowego coraz częściej wykonuje się również na podstawie Prawa ochrony środowiska (Dz.U. 2017 poz. 519) na potrzeby opracowań ekofizjograficznych (Dz.U. 2002 poz. 155) lub do celów opracowania raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko (Dz.U. 2016 poz. 353) (rys. 2).

Zgodnie z art. 156 i art. 161 ustawy Prawo geologiczne i górnicze w celu sporządzenia dokumentacji geologiczno-inżynierskiej konieczne jest przygotowanie i zatwierdzenie projektu robót geologicznych przez odpowiedni organ administracji geologicznej (Dz.U. 2017 poz. 2126).

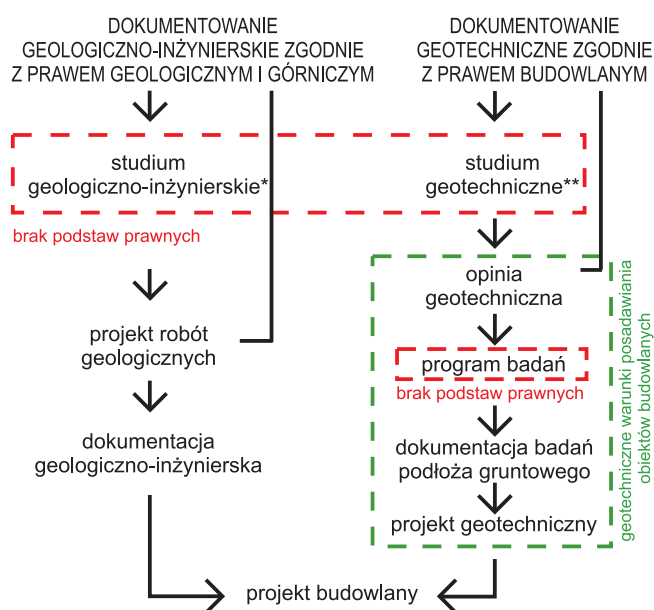
Właściwy organ administracji geologicznej odmawia zatwierdzenia projektu robót geologicznych (art. 80 ust. 7) jeżeli:

- projektowane roboty naruszyłyby wymagania ochrony środowiska;
- projekt robót geologicznych nie odpowiada wymaganiom prawa;

Przed przystąpieniem do opracowania projektu robót geologicznych, w dostosowaniu do wielkości terenu objętego projektowaną inwestycją, konieczne jest:

- zebranie i przeanalizowanie dostępnych danych i opracowań geologicznych o rozpatrywanym terenie;
- analiza map: geomorfologicznych, geologicznych, hydrogeologicznych, geośrodowiskowych, numerycznego modelu terenu i in.;
- wizja terenu i wywiad z mieszkańcami w celu zebrania lub uszczegółowienia danych o możliwości lokalizacji punktów badawczych, lokalizacji naziemnej i podziemnej infrastruktury technicznej, występowaniu zagrożeń od wód powierzchniowych i podziemnych i innych.

W projekcie, w dostosowaniu do terenu zamierzonych robót geologicznych, zgodnie z zaleceniami rozporządzenia



\* wymagane przez GDDKiA  
\*\* wymagane przez PKP

Rys. 3. Formy prezentacji wyników badań podłoża gruntowego

(Dz.U. 2011 Nr 288 poz. 1696, Dz.U. 2015 poz. 964) w szczególności należy podać:

- przewidywane profile geologiczne projektowanych otworów wiertniczych, przewidywaną konstrukcję projektowanych otworów wiertniczych lub wyrobisk, opis opróbowania otworów wiertniczych lub wyrobisk, w tym sposób pobierania próbek geologicznych, zakres, ilość i wielkość przewidywanych do pobrania próbek geologicznych oraz opis i uzasadnienie zakresu badań laboratoryjnych (paragraf 1 ust. 2, pkt. 3 i 4 – Dz.U. 2015 poz. 964);
- do części graficznej dołączyć – „przewidywane profile geologiczne i techniczne (konstrukcja otworu) projektowanych otworów wiertniczych lub wyrobisk, wraz ze wskazaniem przewidywanej lokalizacji miejsc opróbowania” (paragraf 1 ust. 3 pkt. 3 – Dz.U. 2015 poz. 964).

Dokumentację geologiczno-inżynierską sporządza się w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich, a jej zawartość podaje rozporządzenie o dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033).

Zgodnie z Prawem budowlanym (Dz.U. 2017 poz. 1332) badania podłoża gruntowego są nieobowiązkowe. Ustawa Prawo budowlane w art. 34 ust. 3. pkt. 4 wskazuje tylko, że projekt budowlany może zawierać, w zależności od potrzeb, wyniki badań geologiczno-inżynierskich oraz geotechniczne warunki posadowienia obiektów budowlanych.

Ustawa Prawo budowlane (Dz.U. 2017 poz. 1332) przywołuje rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie geotechnicznych warunków posadowiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463). Na podstawie zapisów tego rozporządzenia geotechniczne warunki posadowiania przedstawia się w formie:

- opinii geotechnicznej;
- dokumentacji badań podłoża gruntowego;
- projektu geotechnicznego.

Krajowe przepisy prawne dotyczące dokumentowania są niespójne w zakresie jednoznacznego określenia różnicy między dokumentacją geologiczno-inżynierską, a dokumentacją badań podłoża gruntowego. W praktyce, zakres wykonanych opracowań, jest bardzo zbliżony.

### 2.1.1. Stopień skomplikowania warunków gruntowych i kategoria geotechniczna

Określenie kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego podane w normie PN-EN 1997-1 jest prawnie ujęte w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463).

Kategorię geotechniczną określa się w zależności od stopnia skomplikowania warunków gruntowych oraz konstrukcji obiektu budowlanego.

Stopień skomplikowania warunków gruntowych uzależniony jest od trzech czynników: ułożenia i wykształcenia warstw gruntów w podłożu, położenia zwierciadła wody gruntowej oraz możliwości wystąpienia niekorzystnych procesów i zjawisk geologicznych (tab. 1). Warunki gruntowe dzieli się na:

- proste;
- złożone;
- skomplikowane.

Kategoria geotechniczna obiektu budowlanego to „...kategoria zagrożenia bezpieczeństwa obiektu wynikająca ze stopnia skomplikowania projektowanej konstrukcji, jej fundamentów i oddziaływań oraz warunków geotechnicznych,

Tabela 1

Ocena stopnia skomplikowania warunków gruntowych (Dz.U. 2012 poz. 463)

Warunki / Stopień skomplikowania	Gruntowe	Wodne	Niekorzystne procesy i zjawiska geologiczne
Proste	<ul style="list-style-type: none"> <li>– jednorodne</li> <li>– w warstwach zalegających poziomo</li> <li>– wszystkie poza gruntami mineralnymi słabonośnymi, gruntami organicznymi oraz nasypami niekontrolowanymi</li> </ul>	poniżej projektowanego posadowienia	brak
Złożone	<ul style="list-style-type: none"> <li>– niejednorodne</li> <li>– w warstwach nieciągłych, zmiennych litologicznie i genetycznie</li> <li>– grunty mineralne słabonośne, grunty organiczne i nasypy niekontrolowane</li> </ul>	w poziomie lub ponad poziomem projektowania	brak
Skomplikowane	<ul style="list-style-type: none"> <li>– grunty ekspansywne (np. ropy)</li> <li>– grunty zapadowe (np. pyły)</li> <li>– grunty obszarów dolinnych i deltowych</li> <li>– grunty na obszarach morskich</li> <li>– nieciągłe deformacje górotworu</li> </ul>	ponad poziomem projektowania	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kras</li> <li>– osuwiska</li> <li>– sufozja</li> <li>– glacytektonika</li> <li>– procesy kurzawkowe</li> <li>– obszary szkód górniczych</li> </ul>

mająca wpływ na zaprogramowanie rodzaju i zakresu badań geotechnicznych, obliczeń projektowych i kontroli konstrukcji (wg. PN-B-02479:1988)”.  
 Kategorie geotechniczne wprowadza się w celu ustalenia wymagań wobec dokumentacji i projektów geotechnicznych na potrzeby oceny stopnia złożoności zadania projektowego. Wyróżnia się 3 kategorie geotechniczne:

- I kategoria geotechniczna – dotyczy małych obiektów budowlanych o względnie prostych konstrukcjach, które są posadowione w warunkach gruntowych o prostym stopniu skomplikowania, w tym gdy dno wykopu znajduje się powyżej zwierciadła wody gruntowej, lub gdy jego wykonanie poniżej zwierciadła wody nie będzie trudne. Obiekty budowlane tej kategorii charakteryzują się statycznie wyznaczalnym schematem obliczeniowym, a ryzyko, związane z ogólną statecznością i przemieszczeniami podłoża, jest pomijalnie małe. Określając I kategorię, należy zagwarantować, że podstawowe wymagania będą spełnione na podstawie doświadczenia i jakościowych badań geotechnicznych. Przykłady:
  - 1 lub 2-kondygnacyjne budynki mieszkalne;
  - ściany oporowe i rozparcia wykopów, jeżeli różnica poziomów nie przekracza 2,0 m;
  - wykopy do głęb. 1,2 m i nasypy budowlane do wys. 3,0 m wykonywane w szczególności przy budowie dróg i kolei, pracach drenażowych oraz układaniu rurociągów.
- II kategoria geotechniczna – dotyczy obiektów budowlanych o typowych konstrukcjach i fundamentach, które nie stwarzają szczególnego ryzyka, ale wymagają ilościowej i jakościowej oceny danych geotechnicznych i ich analizy. Obiekty tej kategorii geotechnicznej to m.in.:
  - fundamenty bezpośrednie lub głębokie (np. palowe);
  - ściany oporowe lub inne konstrukcje oporowe utrzymujące grunt lub wodę, jeżeli różnica poziomów nie przekracza 2,0 m;
  - wykopy, nasypy budowlane do wys. 3,0 m wykonywane w szczególności przy budowie dróg, pracach drenażowych czy układaniu rurociągów oraz inne budowle ziemne;
  - przyczółki i filary mostowe oraz nabrzeża;
  - kotwy gruntowe i inne systemy kotwiące.
- III kategoria geotechniczna – obejmuje bardzo duże obiekty budowlane lub o nietypowej konstrukcji, posadawiane w skomplikowanych warunkach gruntowych oraz niezależnie od stopnia skomplikowania warunków, jeśli ich wykonanie lub użytkowanie może stwarzać poważne zagrożenie dla użytkowników, m.in.: obiekty energetyki, rafinerie, zakłady chemiczne, zapory wodne i inne budowle hydrotechniczne o wysokości piętrzenia powyżej 5,0 m, budowle stoczniowe, sztuczne wyspy morskie i platformy wiertnicze oraz inne skomplikowane budowle morskie, lub których projekty budowlane zawierają rozwiązania techniczne niesprawdzone w krajowej praktyce oraz niemające podstaw w przepisach prawa. Ponadto, do tej kategorii geotechnicznej zalicza się:
  - obiekty budowlane mogące zawsze znacząco oddziaływać na środowisko, określone w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 25 czerwca 2013 r. zmieniające rozpo-

ządzenie w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz.U. 2013 poz. 817);

- budynki wysokościowe projektowane w istniejącej zabudowie miejskiej;
- obiekty wysokie, których głębokość posadawiania bezpośrednio przekracza 5,0 m lub które zawierają więcej niż jedną kondygnację zagłębioną w gruncie;
- tunele w twardych i niespękanych skałach, w warunkach niewymagających specjalnej szczelności;
- obiekty infrastruktury krytycznej;
- obiekty zabytkowe i monumentalne.

Zaleca się, żeby trzecia kategoria geotechniczna obejmowała dodatkowe ustalenia i zasady alternatywne do zawartych w normie PN-EN 1997-1.

Kategoria geotechniczna może ulegać zmianie na różnych etapach badań (rozdz. 2.2) oraz podczas realizacji inwestycji np.: z uwagi na zmianę oceny stopnia skomplikowania. Kategoria geotechniczna warunkuje wybór zakresu oraz metodykę badań podłoża gruntowego w celu określenia geotechnicznych warunków posadawienia. Rozporządzenie w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463) określa rodzaje badań terenowych zalecanych w zależności od kategorii geotechnicznej. Przykłady wyboru metod badań podłoża gruntowego zawiera załącznik „B.2” do normy PN-EN 1997-2. Nie jest konieczne kwalifikowanie całego obiektu budowlanego do najwyższej kategorii geotechnicznej, jeśli niektóre z jego części można przyporządkować do niższej kategorii. Rysunek 4 przedstawia schemat ustalania kategorii geotechnicznej w trakcie różnych etapów procesu inwestycyjnego. W nawiasach znajdują się odnośniki do numerów rozdziałów normy PN-EN 1997-1.

Kategoria geotechniczna całego obiektu budowlanego lub jego części jest określana przez projektanta obiektu budowlanego, który ustala zakres badań podłoża gruntowego z wykonawcą specjalistycznych robót geotechnicznych. W praktyce, zapis nie jest stosowany, ponieważ wykonawca specjalistycznych robót geotechnicznych zazwyczaj wchodzi do procesu inwestycyjnego dopiero na etapie budowy.

### 2.1.2. Rodzaje dokumentów

W zależności od etapu realizacji inwestycji, kategorii geotechnicznej i stopnia skomplikowania warunków gruntowych (rozdz. 2.1.1) oraz wymagań branżowych wyniki badań podłoża gruntowego przedstawia się w różnych formach opisanych poniżej (rys. 3, 5, rozdz. 8).

Wstępnym dokumentem dla obiektów budowlanych wszystkich kategorii geotechnicznych jest opinia geotechniczna. W przypadku obiektów 2 i 3 kategorii powstaje dodatkowo dokumentacja badań podłoża gruntowego, natomiast dla budowli kategorii 3 oraz kategorii 2, jeśli występują warunki złożone, wykonuje się dodatkowo dokumentację geologiczno-inżynierską zgodnie z prawem geologiczno-górnictwem. W konsekwencji na potrzeby projektu budowlanego opracowuje się zarówno dokumentację geologiczno-inżynierską jak i dokumentację badań podłoża (rys. 5).

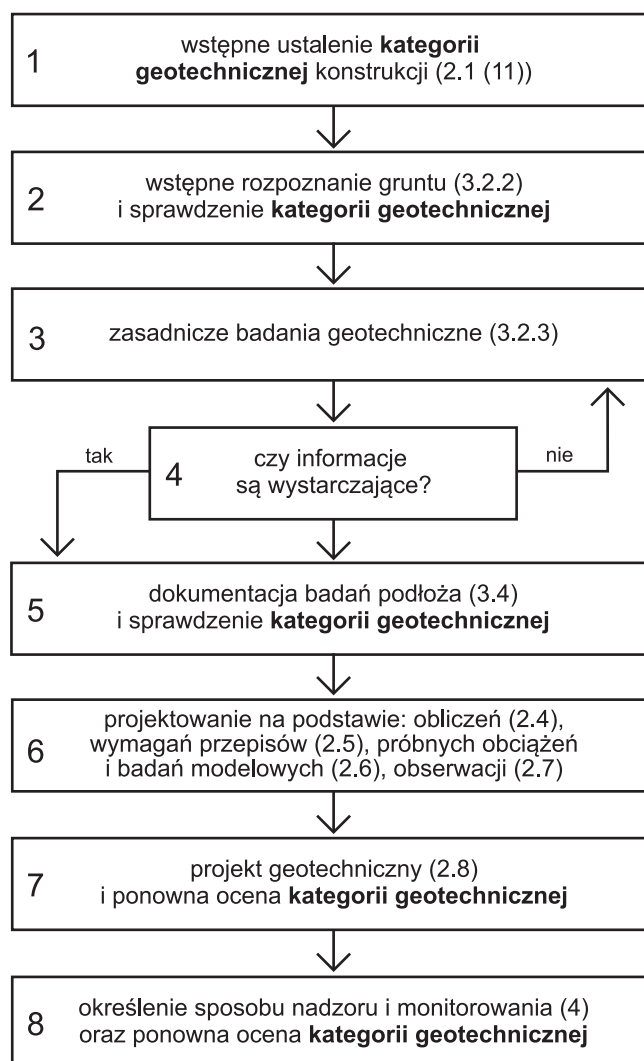
**Studium geologiczno-inżynierskie (SGI) lub/i studium geotechniczne (SG)** nie mają podstaw formalnoprawnych. W praktyce są opracowaniami, które wykonuje się na wstępnym etapie badań (rozdz. 2.3). Głównym celem studium jest dostarczenie podstawowych i uogólnionych informacji na temat podłoża gruntowego przy wykorzystaniu materiałów archiwalnych oraz danych uzyskanych w wyniku wizji terenowej, uzupełnionych badaniami polowymi, w szczególności geofizycznymi (Instrukcja PKP, 2016). Zaleca się, żeby studium zawierało wstępne rozpoznanie warunków geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych oraz geotechnicznych, a także wskazywało zagrożenia geologiczne, które mogą znacząco wpływać na realizację inwestycji. Zebrane informacje na temat podłoża gruntowego stanowią podstawę do wyboru najkorzystniejszego wariantu lokalizacji inwestycji, oszacowania kosztów realizacji inwestycji oraz oceny jej wpływu na środowisko.

Studium jest wymagane przy większych inwestycjach, np. drogowych i kolejowych lub poprzedza sporządzenie atlasów geologiczno-inżynierskich aglomeracji miejskich (<http://atlas-y.pgi.gov.pl>). Krajowi inwestorzy wymagają opracowania studium geologiczno-inżynierskiego (Zarządzenie..., 2015) lub studium geotechnicznego (Instrukcja PKP, 2016). Przy realizacji małych inwestycji budowlanych o prostych konstrukcjach etap studium nie jest wymagany. Studium nie podlega procedurze administracyjnej w zakresie zatwierdzania przez odpowiedni organ administracji samorządowej lub państwowej oraz archiwizacji.

**Opinia geotechniczna (OG)**, zgodnie z art. 8 rozporządzenia (Dz.U. 2012 poz. 463) jest opracowaniem, które ustala przydatność gruntów na potrzeby budownictwa oraz wskazuje kategorię geotechniczną obiektu budowlanego. Celem opinii geotechnicznej jest określenie warunków podłoża w nawiązaniu do stopnia dotychczasowego rozpoznania (Instrukcja PKP, 2016). Jeżeli rozpoznanie jest wystarczające, opinia może stanowić podstawę do projektowania w pierwszej kategorii geotechnicznej. W przypadku, gdy rozpoznanie jest niewystarczające, opinia geotechniczna wskazuje zakres badań podłoża gruntowego dostosowany do stopnia skomplikowania warunków gruntowych oraz do kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego. Opinia geotechniczna nie podlega procedurze administracyjnej w zakresie zatwierdzania przez odpowiedni organ administracji samorządowej lub państwowej oraz archiwizacji.

**Projekt robót geologicznych (PRG)** to dokument, który stanowi podstawę wykonania prac i robót geologicznych. Zawiera cel zamierzonych robót geologicznych, sposób jego osiągnięcia, rodzaj dokumentacji geologicznej, która powstanie w efekcie wykonania robót, harmonogram robót, przestrzeń objętą robotami oraz przedsięwzięcia konieczne z uwagi na ochronę środowiska. Szczegółową zawartość projektu robót geologicznych określa rozporządzenie Ministra Środowiska (Dz.U. 2011 Nr 288 poz. 1696; Dz.U. 2015 poz. 964). Projekt robót podlega zatwierdzeniu przez odpowiedni organ administracji geologicznej oraz archiwizacji przez archiwa powiatowe lub wojewódzkie.

**Dokumentacja geologiczno-inżynierska (DGI)** to dokument, który ma charakter syntezy do konkretnego celu budow-

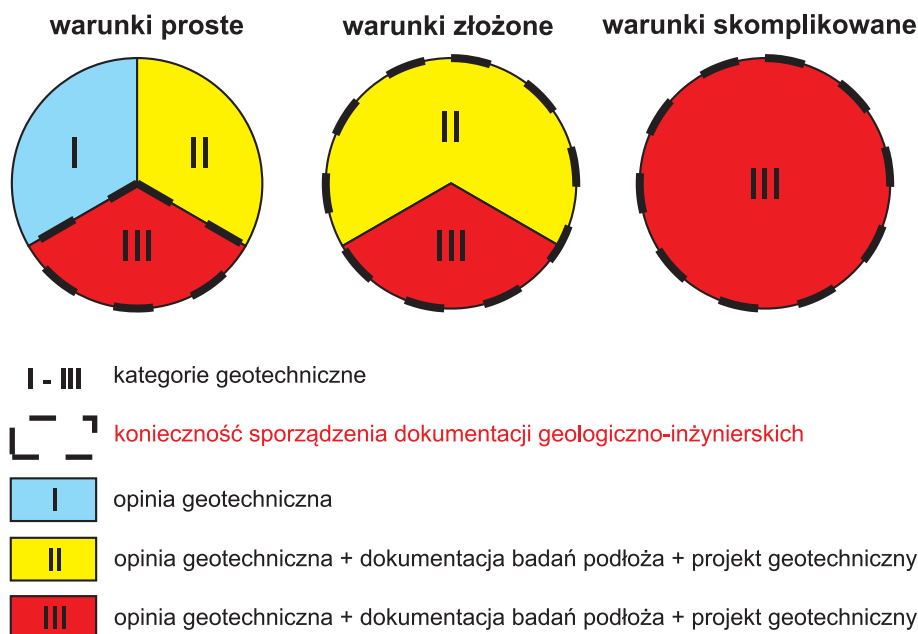


Rys. 4. Schemat ustalania kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego wg Frank i in., 2004

lanego obejmującej wszystkie zebrane, przetworzone, zinterpretowane, przeanalizowane i ocenione wyniki badań oraz zebrane i przeanalizowane informacje o terenie inwestycji i terenach sąsiadujących. Zgodnie z ustawą Prawo geologiczne i górnicze dokumentacja geologiczno-inżynierska zawiera szczegółową charakterystykę budowy geologicznej, warunki geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne podłoża gruntowego oraz przydatność badanego obszaru do realizacji zamierzonej inwestycji. W przypadku, jeżeli dla inwestycji nie ma obowiązku sporządzenia raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko, dokumentacja zawiera także informacje o zagrożeniach zmian w środowisku, jakie mogą powstać na skutek realizacji, funkcjonowania i likwidacji inwestycji. Dokumentację geologiczno-inżynierską sporządza się w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby:

- zagospodarowania przestrzennego;
- posadawiania obiektów budowlanych;
- posadawiania obiektów budownictwa wodnego;
- posadawiania obiektów budowlanych inwestycji liniowych;





Rys. 5. Wymagane formy opracowań badań podłoża gruntowego w zależności od stopnia skomplikowania warunków gruntowych oraz kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego

- podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji lub podziemnego składowania odpadów;
- podziemnego składowania dwutlenku węgla;
- składowania odpadów na powierzchni.

Szczegółowe wymagania dotyczące zawartości każdego typu dokumentacji geologiczno-inżynierskiej zostały określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033). Dokumentacja geologiczno-inżynierska podlega zatwierdzeniu przez odpowiedni organ administracji geologicznej oraz archiwizacji przez archiwa powiatowe lub wojewódzkie oraz przez Narodowe Archiwum Geologiczne (NAG). Dokumentacja geologiczno-inżynierska powinna być poprzedzona wykonaniem projektu robót geologicznych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. 2011 Nr 288 poz. 1696; Dz.U. 2015 poz. 964).

**Program badań laboratoryjnych (PBL)/Program badań polowych (PBP)** to dokument, który stanowi podstawę wykonania badań laboratoryjnych i polowych na potrzeby opracowania dokumentacji badań podłoża. Program badań polowych zawiera plan z lokalizacją punktów badawczych, rodzaje badań, głębokość badań, rodzaje próbek do pobrania, rodzaj stosowanego sprzętu, stosowane normy oraz sposób wykonania pomiarów wody podziemnej. Program badań laboratoryjnych określa rodzaj i liczbę badań laboratoryjnych w każdej wydzielonej warstwie. Szczegółową zawartość programów badań określa norma PN-EN 1997-2. Programy badań nie podlegają procedurze administracyjnej w zakresie zatwierdzania przez odpowiedni organ administracji samorządowej lub państwowej oraz archiwizacji.

**Dokumentacja badań podłoża (Ground Investigation Report – GIR, wg PN-EN 1997-2)** to dokument, który zawiera wyniki badań polowych i laboratoryjnych, założenia poczynione w czasie interpretacji wyników badań, zestawienie mierzonych i wyprowadzonych wartości parametrów geotechnicznych, szczegółowy opis wydzielonych warstw, model geologiczny, geotechniczną ocenę danych, oraz zalecenia dotyczące dalszych prac terenowych i laboratoryjnych, jeśli są potrzebne. Do sporządzenia dokumentacji wykorzystuje się sprawozdania z poszczególnych badań polowych i laboratoryjnych. W ocenie danych geotechnicznych analizuje się wyniki badań i identyfikuje braki w rozpoznaniu oraz wyniki odbiegające od standardowych. Szczegółowe wymagania dotyczące zawartości dokumentacji badań podłoża określa norma PN-EN 1997-2. Dokumentacja badań podłoża powinna być poprzedzona programem badań, pomimo braku podstaw prawnych określono w normie PN-EN 1997-2. Dokumentacja badań podłoża nie podlega procedurze administracyjnej w zakresie zatwierdzania przez odpowiedni organ administracji samorządowej lub państwowej oraz archiwizacji.

**Projekt geotechniczny (Geotechnical Design Report – GDR, wg PN-EN 1997-2)** to dokument, który zawiera przyjęte założenia, dane, metody obliczeń oraz wyniki analizy stanów granicznych (bezpieczeństwa) i użyteczności opracowane na podstawie dokumentacji badań podłoża gruntowego (GIR). Oprócz powyższych, projekt geotechniczny określa wartości charakterystyczne i obliczeniowe parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw gruntów i skał, przydatność terenu do lokalizacji proponowanego obiektu i poziom dopuszczalnego ryzyka, zawiera geotechniczne obliczenia projektowe i rysunki oraz zalecenia dotyczące projektowania fundamentów. W razie potrzeb projekt geotechniczny określa program nadzoru i monitorowania”ze wskazaniem elementów”

konstrukcji wymagającej sprawdzania w czasie budowy albo eksploatacji. W zależności od rodzaju obiektu, poziom szczegółowości projektu geotechnicznego może się znacznie różnić. Projektu geotechnicznego nie należy traktować, jako obliczanie i projektowanie fundamentów, lecz jako ocenę współpracy konstrukcji z podłożem. Wymagania dotyczące projektu geotechnicznego zawiera rozporządzenie w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463) oraz norma PN-EN 1997-1. Projekt geotechniczny nie podlega procedurze administracyjnej w zakresie zatwierdzania przez odpowiedni organ administracji samorządowej lub państwowej oraz archiwizacji.

## 2.2. EUROKODY – NORMY DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI

Eurokody stanowią zestaw norm europejskich, które dotyczą projektowania obiektów i konstrukcji budowlanych. Opracowano dziesięć Eurokodów, które ponumerowano od EN 1990 do EN 1999, dzielących się na części i składających się ze specjalistycznych norm i specyfikacji technicznych.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz. 1422), Eurokody mogą być stosowane do projektowania konstrukcji, jeżeli obejmują wszystkie niezbędne aspekty związane z zaprojektowaniem konstrukcji (stanowią kompletny zestaw norm umożliwiający projektowanie). Projektowanie każdego rodzaju konstrukcji zawsze wymaga stosowania PN-EN 1990 i PN-EN 1991. Siódmy Eurokod to tzw. Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne (rys. 6).

### 2.2.1. Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne

Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne to Polska Norma przeznaczona do stosowania na potrzeby zagadnień geo-

technicznych dotyczących projektowania obiektów budowlanych. Eurokod 7 składa się z dwóch części – dwóch norm:

- PN-EN 1997-1 – Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2 – Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.

Część 1 normy PN-EN 1997-1 jest podstawą projektowania geotechnicznego budynków i budowli inżynierskich. Część 2 normy PN-EN 1997-2 jest stosowana łącznie z częścią 1 i zawiera wymagania uzupełniające do części pierwszej, które dotyczą:

- planowania badań;
- opracowywania dokumentacji badań podłoża gruntowego (GIR);
- wymagań do badań laboratoryjnych i polowych;
- interpretacji i oceny wyników badań;
- wyprowadzenia wartości parametrów i współczynników geotechnicznych.

Dodatkowo normę PN-EN 1997-2 stosuje się łącznie z zawartymi w niej odwołaniami do norm uzupełniających oraz specyfikacji technicznych (rys. 7).

Merytoryczna poprawność i jakość realizacji zaleceń Eurokodu 7 wymaga spełnienia następujących założeń:

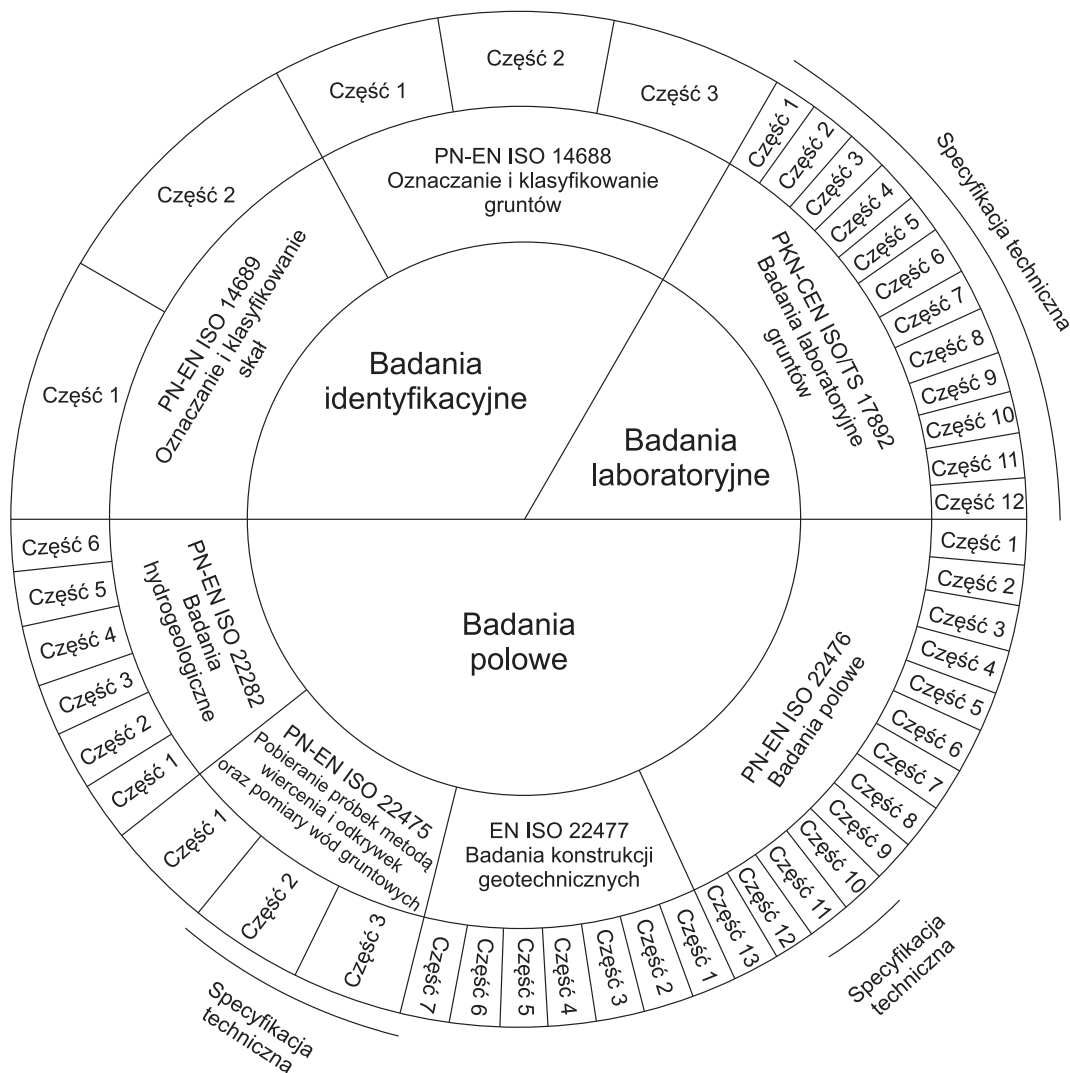
- dane wymagane do projektowania są gromadzone, rejestrowane i interpretowane przez osoby z odpowiednimi kwalifikacjami;
- obiekty budowlane są projektowane przez osoby z odpowiednimi kwalifikacjami i doświadczeniem;
- istnieje stała współpraca między osobami odpowiedzialnymi za zbieranie danych, projektowanie i wykonawstwo.

W procesie projektowania geotechnicznego istotna jest współpraca dwóch grup zawodowych: geologów inżynierskich i inżynierów budownictwa. Model współpracy geologa inżynierskiego i inżyniera budownictwa przedstawia rysunek 8 (Hencher, 2012).

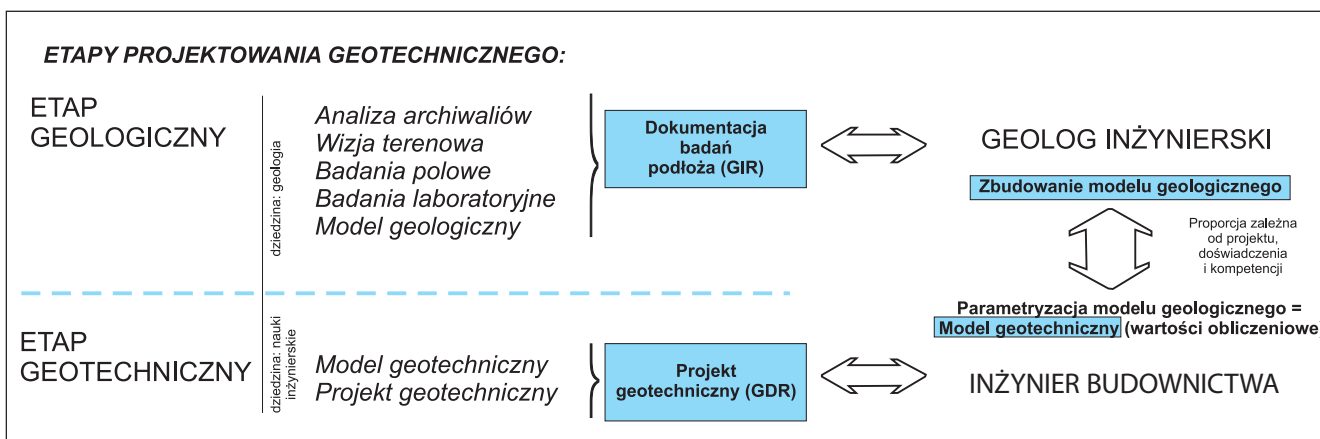
Hencher (2012) wyróżnił dwa etapy projektowania geotechnicznego: etap geologiczny i etap geotechniczny. W etapie geologicznym dokumentator – geolog inżynierski odpowiada za zbudowanie modelu geologicznego. Model



Rys. 6. Układ Eurokodów



Rys. 7. Normy uzupełniające oraz specyfikacje techniczne do PN-EN 1997-2 (Bond, Harris, 2008)



Rys. 8. Model współpracy geologów inżynierskich z inżynierami budownictwa w procesie projektowania geotechnicznego (Hencher, 2012)

geologiczny jest opracowaniem autorskim, który jest sporządzany na podstawie analizy materiałów archiwalnych, wizji i badań terenowych i laboratoryjnych oraz wiedzy profesjonalisty. Efektem pracy geologa inżynierskiego jest dokumentacja badań podłoża GIR. W etapie geotechnicznym inżynier budownictwa odpowiada za zbudowanie modelu geotechnicznego, obliczeniową parametryzację warstw podłoża, określenie racjonalnego sposobu posadowienia, obliczenia nośności, stateczności oraz projekt posadowienia fundamentów i projekt monitoringu. Efektem pracy inżyniera budownictwa jest kompletny projekt geotechniczny GDR wraz z oceną ryzyka. Podejście przedstawione przez Henchera (Hencher, 2012) (rys. 8) jest zgodne z założeniami Eurokodu 7 (rys. 9) i podziałem procesu projektowania geotechnicznego na etap geologiczny i etap geotechniczny, w których w efekcie powstaje odpowiednio dokumentacja badań podłoża (GIR) i projekt geotechniczny (GDR). Model ten jest wdrażany w warunkach polskich (Majer i in., 2013).

Hencher (2012) podkreśla rolę geologa inżynierskiego w procesie inwestycyjnym, który wg. niego, odpowiada za:

- wydzielanie warstw litologiczno-genetycznych dla danej lokalizacji i ich charakterystykę pod kątem historii naprężeń, parametrów fizycznych, odkształceniowych i wytrzymałościowych;
- prognozę zmian i wpływów czynników geologicznych i antropogenicznych, które mogą się wydarzyć w okresie funkcjonowania konstrukcji (okresie trwałości) ok. 50–100 lat z uwzględnieniem czynników powodujących pogorszenie warunków gruntowych (pęcznienie, skurcz, osiadanie itp.), wystąpienia zagrożeń naturalnych (osuwiska, powódzie, podtopienia, wstrząsy parasejsmiczne itp.);
- identyfikację gruntów problematycznych (ściśliwych, o znacznej zmienności, podatnych na deformacje filtracyjne itp.);
- identyfikację mechanizmów wietrzenia i określenie stref zwietrzenia masywu skalnego;
- przygotowanie zakresu badań *in situ* i laboratoryjnych w celu określenia zjawisk typowych dla terenu projektowanej inwestycji;
- przygotowanie modeli geologicznych;
- oszacowanie ryzyka geologicznego (rozdział 7.6) po przeprowadzeniu badań w celu oceny potencjalnych problemów wynikających z naturalnej zmienności ośrodka gruntowego;
- określenie przydatności gruntów jako materiału konstrukcyjnego do wykorzystania przy realizacji inwestycji oraz ocena dostępności kruszyw;
- prognozę trudności związanych z realizacją inwestycji, w sytuacji kiedy na budowie wystąpią nieprzewidziane trudne warunki gruntowo-wodne.

Udział geologa inżynierskiego i inżyniera budownictwa w projektowaniu geotechnicznym zależy od: znaczenia i rangi projektu budowlanego (kategorii geotechnicznej), ich doświadczenia i wiedzy oraz zakresu kompetencji profesjonalistów. W procesie inwestycyjnym, inżynier budownictwa wraz z geologiem inżynierskim powinni współpracować na bieżąco w każdym etapie realizacji inwestycji. Od etapu studium po eksploatację i monitoring obiektu. Podobne podejście do modelu współpracy geologa inżynierskiego i inżyniera

budownictwa jest znane z innych krajów, prezentują je m.in.: Anonimous (1999); High, Leroueil (2003); Knill (2003); Sullivan (2010) i in.

### 2.2.2. Etapy badań podłoża gruntowego wg Eurokodu 7

Eurokod 7 podaje zasady i reguły stosowane w rozpoznaniu i badaniu podłoża gruntowego oraz wskazuje, że badania podłoża powinny obejmować badania polowe, badania laboratoryjne, dodatkowe prace kameralne oraz kontrolę i monitoring tam, gdzie to jest konieczne. Wskazuje, że rozpoznanie podłoża gruntowego powinno być wykonywane etapowo, zależnie od problemów powstających podczas planowania, projektowania, wykonawstwa oraz eksploatacji obiektów budowlanych (rys. 9). W związku z tym wyróżniono trzy etapy badań podłoża gruntowego:

- badania wstępne mające na celu wybór lokalizacji i koncepcji budowy;
- badania do celów projektowych;
- kontrolę i monitoring.

Zasady i reguły dotyczące rozpoznania i badania podłoża gruntowego podane w Eurokodzie 7 odnoszą się tylko do obiektu budowlanego. Eurokod 7 nie zawiera zaleceń dotyczących dokumentowania badań podłoża gruntowego na potrzeby zagospodarowania przestrzennego oraz zagadnień górniczych, badań środowiskowych oraz pozyskiwania ciepła ziemi.

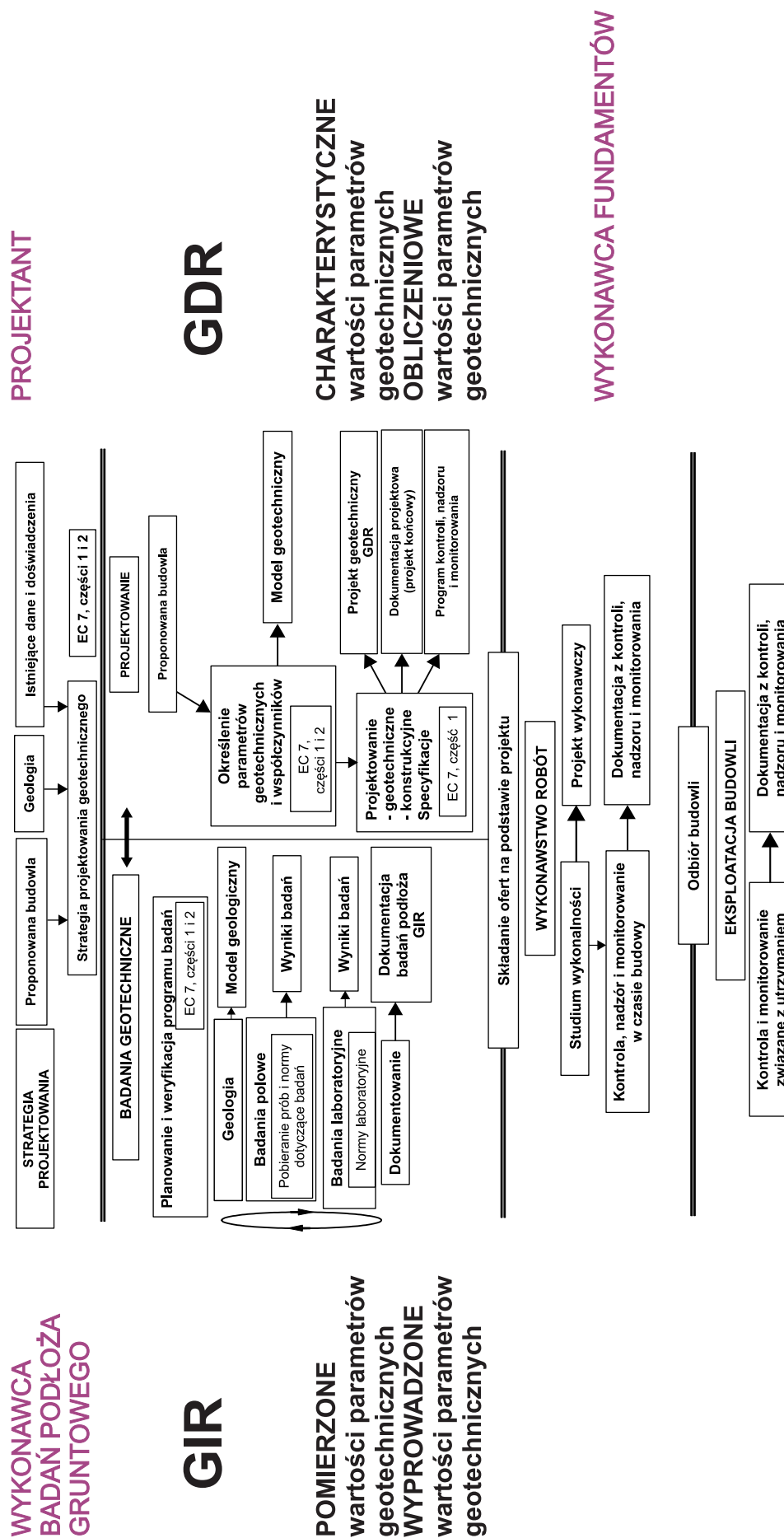
Projektując badania podłoża gruntowego, należy uwzględnić wyniki analizy materiałów archiwalnych i wizji terenowych oraz wywiadu środowiskowego. Na każdym etapie prac, rodzaj i zakres badań terenowych i laboratoryjnych oraz lokalizację badań terenowych należy dostosować do budowy geologicznej (stopnia skomplikowania warunków gruntowych), rodzaju obiektu budowlanego, sposobu i głębokości posadowienia oraz metody i głębokości wzmocnienia.

**Badania wstępne mające na celu wybór lokalizacji i koncepcji budowy** w procesie inwestycyjnym są wykonywane podczas wizji, studium wykonalności i koncepcji programowej (rys. 10). W warunkach krajowych efektem badań jest zazwyczaj studium geologiczno-inżynierskie, studium geotechniczne, dokumentacja geologiczno-inżynierska wykonywana na potrzeby zagospodarowania przestrzennego lub inny sformalizowany dokument (rys. 3, tab. 3).

Na etapie badań wstępnych należy pozyskać jak najwięcej informacji o terenie oraz zebrać możliwie wszystkie dostępne wyniki badań archiwalnych. Zgromadzone dane powinny zostać posegregowane pod względem ważności i aktualności, następnie przeanalizowane i ocenione pod względem ich przydatności do realizacji konkretnej inwestycji.

W etapie badań wstępnych należy określić:

- litologię, stratygrafię oraz genezę gruntów i skał występujących w podłożu inwestycji;
- położenie, rodzaj zwierciadła i kierunki przepływu wód gruntowych oraz występowania agresywnych wód gruntowych lub skażeń;
- podstawowe właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe gruntów i skał.



Rys. 9. Etapy badań podłoża podczas projektowania geotechnicznego, wykonawstwa i eksploatacji obiektów budowlanych [PN-EN 1997-2 uzupełnione]

Na podstawie wyników badań wstępnych należy przeprowadzić analizę czy zebrane dane są wystarczające m.in. do:

- oceny przydatności danego terenu pod inwestycję;
- oszacowania dostępności złóż kruszyw do budowy;
- oddziaływania inwestycji na środowisko;
- zaprojektowania badań do celów projektowych i kontrolnych.

Dodatkowo na podstawie wyników badań wstępnych należy:

- ocenić ogólną przydatność terenu;
- wskazać alternatywne tereny do lokalizacji obiektu budowlanego;
- ocenić zmiany, które mogą być spowodowane prowadzonymi robotami budowlanymi;
- zaprogramować badania do celów projektowych;
- wyznaczyć zasięg strefy podłoża, które może mieć istotny wpływ na zachowanie się obiektu budowlanego.

W etapie badania wstępnego należy zgromadzić jak największą liczbę archiwalnych i wskaźnikowych danych o terenie, aby zoptymalizować zakres prac na etapie badań do celów projektowych lub oceny stanu środowiska.

**Badania do celów projektowych** w procesie inwestycyjnym są przeprowadzane podczas wykonywania projektu budowlanego (rys. 10). W warunkach krajowych efektem badań jest projekt robót geologicznych, dokumentacja geologiczno-inżynierska, program badań lub/i dokumentacja badań podłoża (rys. 3, tab. 3).

Na etapie badań do celów projektowych należy przeprowadzić:

- badania polowe na podstawie programu badań polowych;
- badania laboratoryjne na podstawie programu badań laboratoryjnych;

oraz uwzględnić historię zagospodarowania terenu i jego historię.

Zaprojektowanie obiektu budowlanego jest możliwe na podstawie wyników badań wstępnych jeśli ocenia się, że ich zakres jest wystarczający.

Na podstawie wyników badań do celów projektowych należy:

- dostarczyć danych wymaganych do właściwego zaprojektowania robót budowlanych;
- dostarczyć informacji potrzebnych do zaplanowania technologii budowy;
- określić trudności, jakie mogą wyniknąć podczas budowy;
- ocenić dane geotechniczne.

Badania do celów projektowych powinny umożliwić skonstruowanie modelu geologicznego (przestrzenny układ warstw i ich właściwości) oraz wyznaczenie wartości wyprowadzonych parametrów geotechnicznych, które mają wpływ na stateczność i warunki użytkowania obiektu budowlanego. Informacje te są konieczne do opracowania projektu geotechnicznego.

**Kontrola i monitoring** ma na celu sprawdzenie, czy warunki występujące w podłożu gruntowym są zgodne z wynikami badań zawartymi w dokumentacjach sporządzonych do celów projektowych. W procesie inwestycyjnym są wykonywane podczas budowy, odbioru i eksploatacji (rys. 10). W warunkach krajowych zazwyczaj efektem badań prowadzonych w trakcie realizacji obiektu i jego odbioru jest raport

z badań, raport z monitoringu lub inny sformalizowany dokument (tab. 3).

Badania kontrolne i dodatkowe prowadzi się w miarę potrzeb, żeby sprawdzić, czy podłoże gruntowe odpowiada założeniom przyjętym w projekcie budowlanym lub nie nastąpiło pogorszenie właściwości mechanicznych podłoża w trakcie realizacji obiektu.

Na tym etapie prowadzi się następujące czynności:

- sprawdza się odpowiednie profile geologiczne przed i podczas wykonywania wykopów lub tuneli;
- ocenia dno wykopu i warstwę podłoża poniżej jego dna;
- mierzy poziom wód gruntowych i ich kierunek przepływu po odwodnieniach miejscowych;
- monitoring zachowania się obiektów sąsiednich;
- monitoring realizowanego obiektu.

Wyniki gromadzone z pomiarów i obserwacji na tym etapie należy na bieżąco porównywać z danymi w projekcie budowlanym, geotechnicznym lub wykonawczym. W przypadku stwierdzenia znacznych różnic należy przekazać odpowiedni raport uczestnikom procesu inwestycyjnego i, jeśli to możliwe, ocenić ryzyko prowadzenia dalszych prac budowlanych lub możliwej awarii obiektu budowlanego.

### 2.3. FAZY DOKUMENTOWANIA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIEGO

Dokumentowanie to sposób postępowania ustalony na podstawie przepisów prawa, norm i doświadczenia prowadzony w określonym celu i polegający na:

- zbieraniu dostępnych informacji o terenie (faza 1);
- projektowaniu (faza 2) i wykonywaniu (faza 3) badań terenowych i laboratoryjnych;
- przetwarzaniu, interpretowaniu, analizie (faza 4) i ocenie (faza 5) wyników badań;
- przedstawianiu wyników badań w określonej formie (faza 6);
- gromadzeniu (faza 7) i archiwizowaniu (faza 8) wyników badań;

Prezentowany zakres prac dokumentacyjnych jest uniwersalny i zaleca się stosować go zarówno w przypadku dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, jak i geotechnicznego (rozdz. 1).

Proces dokumentowania składa się z 8 faz, które wstępnie scharakteryzowano poniżej w odniesieniu do przepisów prawa geologicznego i zaleceń Eurokodu 7.

**FAZA 1 – Zbieranie dostępnych informacji o terenie (rozdz. 3).** Zebranie i analiza informacji o terenie i jego podłożu gruntowym, zwłaszcza archiwalnych, jest podstawą całego procesu dokumentowania. Od ilości danych archiwalnych zależy liczba badań koniecznych do zaprojektowania i wykonania w kolejnych fazach dokumentowania. W Eurokodzie 7 przedstawiono, na jakie elementy powinno się zwrócić uwagę, zbierając i analizując dane archiwalne, jednocześnie podkreślając znaczenie wizji terenowej i wywiadu środowiskowego.

**FAZA 2 – Projektowanie badań (rozdz. 4).** Projektowanie robót geologicznych jest ujęte w przepisach ustawy Prawo geo-

logiczne i górnicze oraz w odpowiednich aktach wykonawczych, zaś programowanie badań podłoża gruntowego ujęto w Eurokod 7. Szczegółowe wytyczne dotyczące zawartości projektów robót zawiera rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych (Dz.U. 2015 poz. 964), zaś co do zawartości programów badań – Eurokod 7. Właściwe udokumentowanie rejonu inwestycji na potrzeby posadowienia obiektów budowlanych wynika z dobrze określonego celu badań. Celem dokumentowania geologiczno-inżynierskiego jest ustalenie warunków geologiczno-inżynierskich oraz w kontekście oceny przydatności badanego obszaru do realizacji zamierzonej inwestycji. Celem dokumentowania badań podłoża jest opracowanie geotechnicznych warunków posadowienia obiektu budowlanego. Eurokod 7 podaje ogólne zasady projektowania badań w zależności od etapu badań podłoża oraz od rodzaju obiektu budowlanego, spodziewanej kategorii geotechnicznej i sposobu posadowienia m.in. odnośnie do rozstawu i głębokości oraz metod rozpoznania podłoża gruntowego.

**FAZA 3 – Wykonywanie badań (rozdz. 5 i 6).** Wykonywanie robót geologicznych jest ujęte w przepisach ustawy Prawo geologiczne i górnicze oraz w powiązanych aktach wykonawczych. Roboty geologiczne wykonuje się tylko na podstawie zatwierdzonego prawomocną decyzją przez odpowiedni organ administracji geologicznej projektu robót geologicznych oraz po uprzednim poinformowaniu odpowiedniego organu administracji geologicznej o rozpoczęciu robót i uzyskaniu zgody właścicieli na ich wykonanie. Z kolei badania podłoża gruntowego wykonuje się na podstawie programu badań lub opinii geotechnicznej i nie wymaga się uzyskania administracyjnych decyzji i pozwoleń. Eurokod 7 podaje ogólne wymagania i szczegółowe informacje dotyczące wykonywania badań podłoża, w tym: pobierania próbek gruntów, skał i wód podziemnych, wykonywania pomiarów wód gruntowych, badań polowych oraz badań laboratoryjnych lub innych specjalistycznych prac. Szczegółowe informacje dotyczące badań znajdują się w normach i specyfikacjach technicznych odnoszących się do tych badań (rys. 7). Część z tych dokumentów została przetłumaczona na język polski, jednak część nadal pozostaje w wersji anglojęzycznej, co może powodować problemy natury translacyjnej i semantycznej.

**FAZA 4 – Przetwarzanie, interpretowanie, analizowanie wyników badań (rozdz. 8.1).** W zakresie przetwarzania, interpretowania, analizowania wyników badań, Eurokod 7 odnosi się do tych zagadnień, głównie w zakresie uzyskanych wyników badań polowych i laboratoryjnych w celu określenia pomierzonych i wyprowadzonych wartości parametrów geotechnicznych oraz podaje bardzo ogólne zalecenia dotyczące np. tworzenia modelu geologicznego, a także wyznaczania warstw gruntów i skał. Eurokod 7 zaleca, żeby dokumentacja badań podłoża zawierała pomierzone i wyprowadzone wartości parametrów geotechnicznych, natomiast wartości charakterystyczne i obliczeniowe są podawane w projekcie geotechnicznym (rys. 9).

**FAZA 5 – Ocena wyników badań (rozdz. 8.2).** Ocena wyników badań jest jedną z najważniejszych faz w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim, ponieważ ma bezpośredni wpływ na bezpieczne zaprojektowanie, wykonanie i eksploatację obiektu budowlanego. Eurokod 7 podaje szczegółowe za-

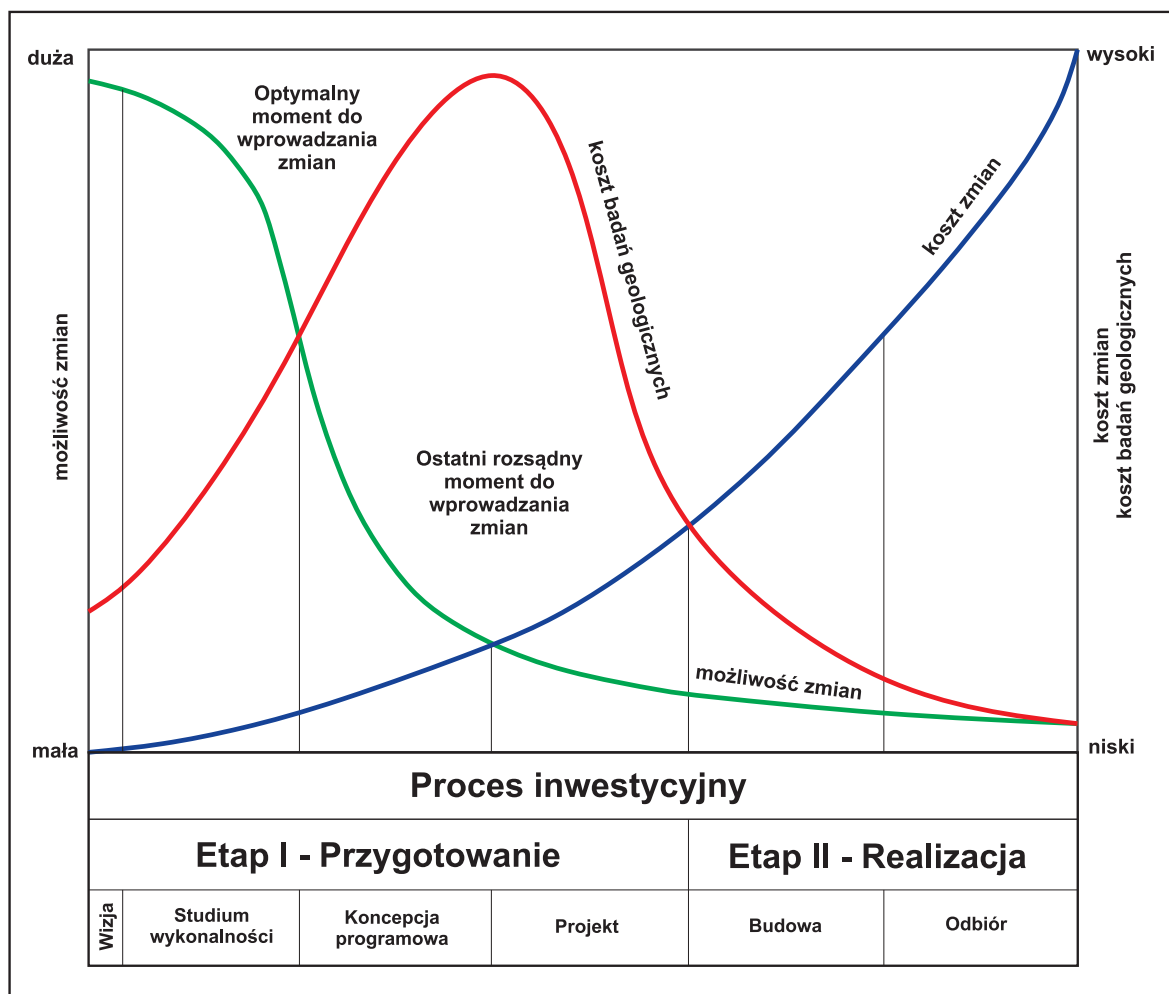
lecenia i reguły w zakresie oceny wyników badań polowych i laboratoryjnych.

**FAZA 6 – Przedstawianie wyników badań (rozdz. 8.3).** Wyniki prac i robót geologicznych oraz wyniki badań podłoża gruntowego przedstawia się odpowiednio w formie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej zgodnie z Prawem geologicznym i górniczym i/lub dokumentacji badań podłoża gruntowego, jako elementu geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych zgodnie z Prawem budowlanym. Szczegółowe wytyczne dotyczące zawartości dokumentacji geologiczno-inżynierskiej zawiera Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033). Zawartość dokumentacji badań podłoża została określona w Eurokod 7. Obie formy dokumentacji składają się z części tekstowej oraz części graficznej. Zgodnie z Eurokod 7 podstawową zasadą w prezentowaniu wyników badań jest konieczność udokumentowania wyników badań polowych i laboratoryjnych wraz z opisem metod i procedur ich wykonania. Eurokod 7 zaleca, żeby wyniki badań polowych i i prac kameralnych przedstawić i opracować zgodnie z wymaganiami określonymi w normach EN i/lub ISO, które odnoszą się do tych badań.

**FAZA 7 – Gromadzenie wyników badań (rozdz. 8.4).** Zgodnie z zapisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze projekty robót geologicznych oraz dokumentacje geologiczno-inżynierskie są gromadzone przez organy administracji geologicznej. Ponadto dokumentacje geologiczno-inżynierskie są gromadzone i przechowywane przez NAG. Prawo budowlane i Eurokod 7 nie określa sposobu gromadzenia wyników badań podłoża. Zaleca się, żeby gromadzić wyniki badań w formie dokumentu papierowego oraz w ich cyfrowych kopiach w bazach danych, na nośnikach elektronicznych. Gromadzenie wyników badań zapewnienia dostęp do wszystkich zebranych informacji o środowisku na terenie i w sąsiedztwie obiektu budowlanego w czasie całego procesu inwestycyjnego. Przykładem sposobu gromadzenia informacji o obiekcie budowlanym jest BIM (rozdz. 9).

**FAZA 8 – Archiwizowanie wyników badań (rozdz. 8.5).** Zgodnie z zapisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze, zarówno projekty robót geologicznych, jak i dokumentacje geologiczno-inżynierskie są archiwizowane i udostępniane przez organy administracji geologicznej. W przypadku dokumentacji geologiczno-inżynierskich także przez NAG. Prawo budowlane i Eurokod 7 nie określa sposobu archiwizowania i udostępniania wyników badań podłoża. Obowiązkiem dokumentatora oraz instytucji zamawiających badania podłoża gruntowego jest staranne zabezpieczenie i przechowywanie przez określony czas programów badań, projektów robót geologicznych, wyników badań, dokumentacji i innych form prezentacji wyników badań.

**Ogólne zasady dokumentowania.** Na każdym etapie realizacji inwestycji są potrzebne udokumentowane dane geologiczne. Im więcej wiadomo o środowisku geologicznym i geologiczno-inżynierskim na początku procesu inwestycyjnego, tym inwestycja jest bezpieczniejsza i ekonomiczniej przygotowana i realizowana (rys. 10).



Rys. 10. Schemat ideowy procesu inwestycyjnego

Tabela 2

Zależność między fazami dokumentowania a etapami procesu inwestycyjnego, rodzajem dokumentowania i etapami badań podłoża gruntowego

Fazy dokumentowania (rozdział 2.3)	Etapy procesu inwestycyjnego (rys. 10)					
	wizja przedsięwzięcia	studium wykonalności	koncepcja programowa	projekt	budowa	eksploatacja
	Rodzaj dokumentowania (rozdział 2.2.2)					
	geologiczno-inżynierskie		geologiczno-inżynierskie i geotechniczne		geotechniczne	
	etapy badań podłoża gruntowego wg Eurokodu 7 (rozdział 2.2.2)					
wstępne			do celów projektowych	kontrola i monitoring		
Zebraenie dostępnych informacji o terenie	zalecana	wymagana	wymagana	zalecana	niewymagane	niewymagane
Projektowanie badań	niewymagane	zalecana	wymagana	wymagana	zalecana	zalecana
Wykonywanie badań	niewymagane	zalecana	wymagana	wymagana	zalecana	zalecana
Przetwarzanie, interpretacja i analiza wyników badań	niewymagane	zalecana	wymagana	wymagana	zalecana	zalecana
Ocena wyników badań	niewymagane	zalecana	wymagana	wymagana	zalecana	zalecana
Przedstawienie wyników badań	wymagana	wymagana	wymagana	wymagana	wymagana	wymagana
Gromadzenie wyników badań	wymagana	wymagana	wymagana	wymagana	wymagana	wymagana
Archiwizowanie wyników badań	zalecana	zalecana	wymagana	wymagana	zalecana	zalecana



Tabela 3

## Zasady dokumentowania na poszczególnych etapach procesu inwestycyjnego (wg Malinowskiego i in., 1999)

Etap procesu inwestycyjnego	Cel badań podłoża gruntowego	Zakres prac	Materiały archiwalne	Zakres badań	Forma przedstawiania wyników badań
Wizja przedsięwzięcia	wytypowanie obszarów w celu wybrania najkorzystniejszej lokalizacji inwestycji	ogólna charakterystyka obszarów pod względem geomorfologii, geologii, hydrogeologii, geodynamiki i warunków geologiczno-inżynierskich	mapa geologiczno-inżynierska w skali 1:300 000; materiały archiwalne, literatura dotycząca problematyki geologicznej, hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej; wizja terenowa	Nie planuje się badań	Opinia geologiczna
Studium wykonalności	ustalenie warunków geologiczno-inżynierskich dla każdego wariantu lokalizacji inwestycji oraz wskazanie najkorzystniejszego wariantu lokalizacji inwestycji	rozpoznanie każdego wariantu pod względem warunków geomorfologicznych, geologicznych, hydrogeologicznych, geodynamicznych i geologiczno-inżynierskich	mapa geologiczno-inżynierska w skali 1:50 000 i większej; materiały archiwalne, literatura dotycząca problematyki geologicznej, hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej badanego terenu; wizja terenowa	kartowanie geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne i sozologiczne w skali od 1:50 000 do 1:10 000; wierceń; badania geofizyczne; laboratoryjne badania klasyfikacyjne gruntów i skal	projekt robót geologicznych; program badań; studium geologiczno-inżynierskie; studium geotechniczne; dokumentacja geologiczno-inżynierska
Koncepcja programowa	szczegółowe ustalenie warunków geologiczno-inżynierskich dla najkorzystniejszego wariantu lokalizacji inwestycji oraz optymalne usytuowanie obiektów budowlanych względem warunków geologiczno-inżynierskich; wstępne założenia rozwiązań projektowych	szczegółowe rozpoznanie wybranego wariantu pod względem warunków geomorfologicznych, geologicznych z uwzględnieniem genezy i tektoniki, hydrogeologicznych z uwzględnieniem wszystkich poziomów wodonosnych, geodynamicznych oraz warunków geologiczno-inżynierskich wraz z prognozą zmian środowiska geologicznego podczas budowy i eksploatacji obiektów budowlanych	mapa geologiczno-inżynierska w skali 1:25 000 i większej; materiały archiwalne, literatura dotycząca problematyki geologicznej, hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej badanego terenu; wizja terenowa	kartowanie geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne, geologiczne w skali od 1:5 000 do 1:2 000; wierceń; sondowania; badania geofizyczne; laboratoryjne badania fizyczne i mechaniczne właściwości gruntów i skal	projekt robót geologicznych; dokumentacja geologiczno-inżynierska
Projekt	szczegółowe ustalenie nośności oraz warunków geologiczno-inżynierskich i warunków gruntowych pod każdy obiekt budowlany	szczegółowe rozpoznanie nośności podłoża budowlanego pod każdym obiektem budowlanym; określenie czynników, które mają wpływ na zmianę warunków geologiczno-inżynierskich podłoża budowlanego, szczególnie na rozwój niekorzystnych zjawisk i procesów geologicznych, w tym geodynamicznych podczas budowy i eksploatacji obiektów budowlanych; ogólne wymagania do zakresu rozpoznania podłoża gruntowego w zależności od kategorii geotechnicznej podaje załącznik krajowy do normy PN-EN 1997-1	mapa geologiczno-inżynierska w skali 1:10 000 i większej; wszystkie materiały archiwalne zebrane na wcześniejszych etapach, literatura dotycząca problematyki geologicznej, hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej badanego terenu; wizja terenowa	kartowanie geologiczno-inżynierskie w skali od 1:500 do 1:200; wierceń; sondowania; badania geofizyczne; laboratoryjne badania fizyczne i mechaniczne właściwości gruntów i skal	projekt robót geologicznych; dokumentacja geologiczno-inżynierska; opinia geotechniczna; program badań; dokumentacja badań podłoża
Budowa	sprawdzenie zgodności warunków geologiczno-inżynierskich i warunków gruntowych z badaniami i obserwacjami podczas budowy z ustalonymi w projekcie	szczegółowe sprawdzanie zgodności modelu geologicznego ustalonego na etapie projektu z wynikami badań na etapie budowy; sprawdzenie nośności podłoża budowlanego pod każdym obiektem budowlanym; prowadzenie obserwacji i monitoringu w celu przeciwdziałania rozwojowi niekorzystnych zjawisk i procesów geologicznych.	wszystkie materiały archiwalne zebrane na wcześniejszych etapach	obserwacje terenowe przedstawiane w skali od 1:200 i większej; wierceń; sondowania; laboratoryjne badania fizyczne i mechaniczne właściwości gruntów i skal	raport z badań; raport z monitoringu
Eksploatacja	kontrolowanie danych z monitoringu (analizy i prognozy); działania interwencyjne w przypadku zagrożenia	prowadzenie pomiarów monitoringowych zgodnie z projektem monitoringu; w przypadkach interwencji prace uzależnione od stopnia zagrożenia	wszystkie materiały archiwalne zebrane na wcześniejszych etapach	zgodny z projektem monitoringu; w przypadku interwencji uzależniony od stopnia zagrożenia	raport z badań; raport z monitoringu

Z uwagi na potrzebę zwiększania wiedzy o środowisku geologiczno-inżynierskim zaleca się dokumentowanie na każdym etapie procesu inwestycyjnego, opierając się na zasadach podanych w niniejszym poradniku. Z etapami procesu inwestycyjnego należy wiązać różne zakresy i rodzaj dokumentowania wynikający z przepisów prawa i praktyki krajowej oraz etapy badań podłoża gruntowego wynikające z Eurokodu 7 (tab. 2).

Na etapie wizji, studium wykonalności oraz koncepcji programowej należy prowadzić dokumentowanie geologiczno-inżynierskie jak dla etapu badań wstępnych w nawiązaniu do Eurokodu 7. Na etapie projektu należy prowadzić dokumentowanie geologiczno-inżynierskie i geotechniczne jak dla etapu badań do celów projektowych w nawiązaniu do Eurokodu 7. Na etapie budowy i eksploatacji należy prowadzić dokumentowanie geotechniczne jak dla etapu badań kontrolnych i monitoringu w nawiązaniu do wymagań Eurokodu 7 (tab. 2).

Na podstawie doświadczenia z praktyki dokumentowania w tabeli 2 podano wagę poszczególnych faz dokumentowania w procesie dokumentowania geologiczno-inżynierskiego stopniując je na: wymagane, zalecane lub niewymagane.

Zakres prac wykonywanych w każdej fazie dokumentowania powinien być dostosowany do etapu procesu inwestycyjnego. Ogólne zasady dokumentowania na poszczególnych etapach procesu inwestycyjnego podano w tabeli 3.

Opis procesu dokumentowania jest adresowany do wszystkich uczestników procesu budowlanego i zawiera syntetyczną informację o terenie i jego budowie geologicznej, a także o otaczającym środowisku i zmianach, które mogą w nim nastąpić na skutek wykonania obiektu budowlanego lub zagospodarowania terenu.

Podane zasady dokumentowania dotyczą faz dokumentowania, etapów badań podłoża budowlanego oraz procesu inwestycyjnego i są przeznaczone dla osób dokumentujących, które posiadają odpowiednią wiedzę, doświadczenie i kwalifikacje.

### 3. ZBIERANIE DOSTĘPNYCH INFORMACJI O TERENIE

Zgodnie z założeniami normy PN-EN 1997-2 przed zaprojektowaniem badań należy zebrać i przeanalizować dostępne materiały archiwalne. Rodzaj i zakres pozyskiwanych danych zależy od celu dokumentowania oraz budowy geologicznej terenu. Materiały archiwalne powinny dostarczyć informacji dotyczących:

- topografii i morfologii terenu, hydrografii;
- budowy geologicznej, warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych;
- występujących procesów geodynamicznych i innych zagrożeń geologicznych;
- zagospodarowania terenu i historii zabudowy;
- prowadzonych i planowanych inwestycji budowlanych;
- wykonanych dotychczas badań terenowych i laboratoryjnych oraz stopnia udokumentowania terenu.

Analiza materiałów archiwalnych powinna być przeprowadzana etapowo. Przed wizją terenową należy zapoznać się z zebranymi materiałami i na ich podstawie prowadzić szczegółowe analizy dostosowane do potrzeb opracowania.

Wyniki analizy zebranych materiałów należy uwzględnić podczas projektowania lokalizacji punktów dokumentacyjnych oraz wyboru zakresu i metod badań.

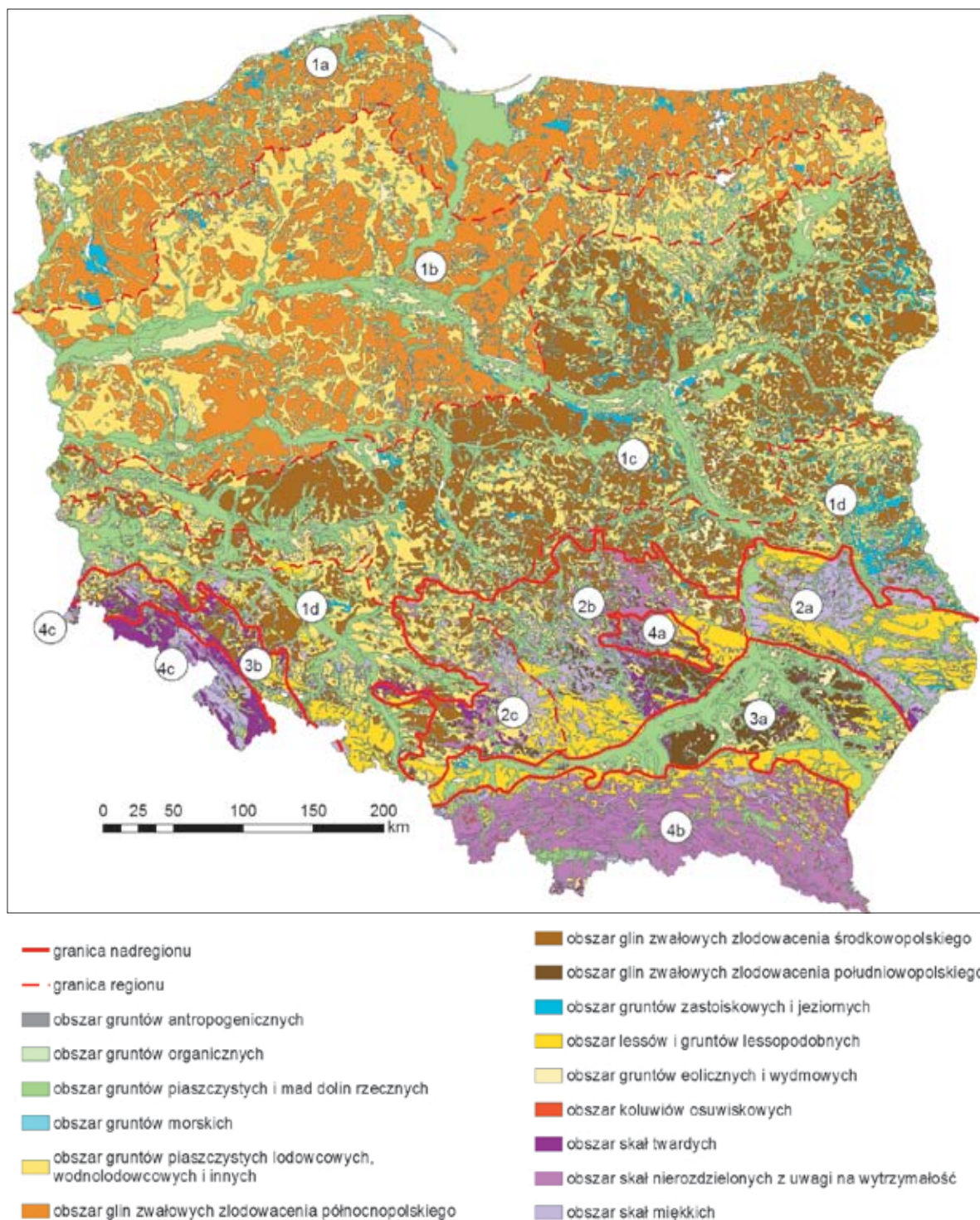
#### 3.1. REGIONY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE W POLSCE

Ustalenie i ocena warunków geologiczno-inżynierskich dla obszaru o dowolnej powierzchni wraz z przedstawieniem jego modelu geologicznego wymaga odniesienia do regionalnych jednostek geologiczno-inżynierskich. Są to jednorodne części środowiska geologicznego wydzielone na podstawie określonego kryterium, czyli cech środowiska geologicznego. Regionalizacja geologiczno-inżynierska polega na identyfikacji tych jednostek, posiadających określone granice, rozprzestrzenienie i charakterystykę. Zasady regionalizacji geologiczno-inżynierskiej wynikają z zasad regionalizacji geologicznej. Jednostki geologiczno-inżynierskie wyróżniają się na podstawie wiodącej cechy lub ich zbioru, które mogą zmieniać się w przyjętych granicach. Następnie wyznacza się jednorodność jednostek geologiczno-inżynierskich. Jednostki te mogą być różnego rzędu, w zależności od przyjętego kryterium podziału. Im wyższego rzędu jednostki, tym większe jest zróżnicowanie profilów geologicznych w poszczególnych jego częściach, a więc tym mniejsza jednorodność geologiczna, a co za tym idzie mniej dokładne i niejednoznaczne mogą być oceny panujących w nich warunków geologiczno-

-inżynierskich i prognozy ich zmian (Kowalski, 1988). Podstawową jednostką geologiczno-inżynierską są rejony geologiczno-inżynierskie, które wydziela się na podstawie reprezentatywnych profili geologicznych. Jednostką wyższego rzędu są regiony geologiczno-inżynierskie, które charakteryzują się podobnym stylem budowy geologicznej, zaś jeszcze wyższą – nadregiony zlokalizowane w obrębie takich samych jednostek strukturalnych. Na podstawie tak zdefiniowanego kryterium oraz w zgodzie z propozycją Glazera i Malinowskiego (Malinowski, 1960; Glazer, Malinowski, 1991; Plewa, 1999) wyróżniono 12 regionów geologiczno-inżynierskich (rys. 11):

1. Nadregion Niżu
  - 1a. Region zlodowceń północnopolskich fazy pomorskiej
  - 1b. Region zlodowceń północnopolskich zlodowacenia wisły
  - 1c. Region zlodowceń środkowopolskich zlodowacenia warty
  - 1d. Region zlodowceń środkowopolskich zlodowacenia odry
2. Nadregion Wyżyn
  - 2a. Region Wyżyny Lubelskiej
  - 2b. Region Wyżyny Małopolskiej
  - 2c. Region Wyżyny Śląsko-Krakowskiej
3. Nadregion Przedgórzy
  - 3a. Region Przedgórza Karpackiego
  - 3b. Region Przedgórza Sudeckiego
4. Nadregion Gór
  - 4a. Region Gór Świętokrzyskich
  - 4b. Region Karpat
  - 4c. Region Sudetów.

**1. Nadregion Niżu** obejmuje obszar, na którym na powierzchni występują grunty pochodzenia glacialnego o dużych miąższościach, nawet do 200 m. Podłoże starsze, z racji dużych głębokości występowania, nie ma znaczenia w problematyce geologiczno-inżynierskiej. Wyjątkiem są porwaki skał starszych, np.: kra jurajska koło Łukowa oraz wychodnie jury w okolicy Szczecina (Malinowski, 1960). W wielu miejscach na powierzchni występują utwory paleogenu i neogenu. Są to miocenijskie formacje węgla brunatnego, miejscami pyły, piaski i iły plioceńskie (iły poznańskie lub pstre). Występowanie miocenu na powierzchni wiąże się z wychodniami starszego podłoża, zaburzeniami glacitektonicznymi lub procesami erozji rzecznej. Pod naciskiem lodowca utwory czwartorzędowe ulegały deformacjom, co skutkowało licznymi obszarami zaburzeń glacitektonicznych (Ber, 2006).



Rys. 11. Regiony geologiczno-inżynierskie (na podstawie danych przestrzennych z bazy CBDG – Centralna Baza Danych Geologicznych)

**1a. Region zlodowaceń północnopolskich fazy pomorskiej** – granice zostały wyznaczone na podstawie zasięgu fazy pomorskiej zlodowacenia północnopolskiego. Region obejmuje obszar wybrzeża oraz pas pobrzeży i fragment pojezierzy (Kondracki, 2009). Jest to obszar o najbardziej urozmaiconej rzeźbie młodoglacjalnej. W tej fazie lądolód osiągał miąższość 200–300 m w strefie brzeżnej i charakteryzował się dużą dynamiką i podziałem na liczne loby, jezory i stru-

mienie lodowe (Malinowski, 1960). W strefie marginalnej, gdzie powstawały spiętrzone moreny czołowe akumulacyjne, możemy mieć do czynienia z licznymi zaburzeniami glaciotektonicznymi. Pasma wzgórz morenowych porozcinane są dolinami wód roztopowych i zagłębieniami wytopiskowymi.

W strefie nadmorskiej możemy wyróżnić trzy typy wybrzeży: mierzeje, klify i wybrzeża niskie. Klify zajmujące ok. 95 km brzegu polskiego powstają w wyniku erozyjnego działania

fal. W rozwoju klifów biorą udział różne procesy niszczące, które należy rozpatrywać jako zachodzące nie tylko na brzegu, ale również na nadbrzeżu i przybrzeżu. Brzegi klifowe występują na 12 odcinkach i obejmują ok. 22% polskiego wybrzeża, jeśli nie uwzględnieni się Półwyspu Helskiego. Obszary klifów są zróżnicowane pod względem budowy geologicznej oraz zachodzących procesów dynamicznych. Dzielimy je na klify aktywne, martwe i odmłodzone (Frankowski i in. 2015).

Charakterystyczną częścią rejonu jest delta Wisły i Żuławy Wiślane. Utwory deltowe są reprezentowane przez piaski i piaski z zawartością części organicznych oraz namuły. Na dużych obszarach Żuław występują namuły o sedymentacji zalewowej i powodziowej. Często na utworach deltowych występują piaski eoliczne w wydmach. Obszar ten powstał w wyniku akumulacji rzecznej. Jest to obszar równinny, o małych deniwelacjach. Obszary, gdzie depresje zajmują ok. 1/3 powierzchni tego terenu. Pod niżej leżącymi osadami zlodowacenia wisły występują ropy, mułki i piaski morskie interglacjału eemskiego.

Pobrzeża Południowobałtyckie mają charakter typowo nadmorski, są zbudowane z wysoczyzn morenowych położonych poniżej 100 m n.p.m. poprzecinanych siecią dolin. Charakterystyczne dla tego rejonu jest występowanie wydm, obszarów jezioro-bagiennych oraz licznych ujść rzek.

Pobrzeża Wschodniobałtyckie to niewielki rejon o zróżnicowanym ukształtowaniu terenu. Nie ma tu jezior, za to jest dobrze rozwinięty system dolin rzecznych. W północnej części występują wzniesienia moren czołowych, a na południu sandrowe osady piaszczyste. W podłożu lokalnie występują czerwone ropy powstałe z krótkotrwałych jezior przed czołem lodowca.

Na powierzchni terenu występują grunty wodnolodowcowe i lodowcowe nieskonsolidowane zlodowacenia północno-polskiego fazy pomorskiej, grunty piaszczysto-żwirowe genezy rzecznej oraz grunty zastoiskowe. W morfologii terenu charakterystyczny jest młodoglacjalny typ rzeźby z licznymi wzniesieniami morenowymi i kemowymi.

Problemy geologiczno-inżynierskie z jakimi można się spotkać w tym regionie, to m.in. zjawiska geodynamiczne w obrębie klifów i strefy brzegowej, osuwiska w rejonie dolin rzecznych, występowanie gruntów słabych na obszarach bezodpływowych.

**1b. Region zlodowaceń północnopolskich zlodowacenia wisły** – został wyznaczony na podstawie zasięgu zlodowacenia wisły. Na południe od granicy z regionem 1a, którą wyznaczają pasma moren czołowych, występują rozległe równiny sandrowe. Na granicy z regionem 1a, w strefie moren czołowych w podłożu, mogą występować liczne zaburzenia glacictoniczne związane z dynamiką łądolodu. Zasięg maksymalny łądolodu wyznaczają ciągi form marginalnych, zaburzone glacictonicznie oraz pola sandrowe i formy martwego lodu. W części zachodniej i wschodniej granicę zlodowacenia wisły wyznaczają spiętrzone wzgórza moren czołowych. Natomiast na wschód od doliny Wisły granica ta nie jest już tak wyraźna, moreny zostały rozmyte przez wody roztopowe i dominują tam rozległe równiny sandrowe (Marks i in., 2006).

Na obszarze objętym zlodowaceniem wisły są widoczne liczne formy świadczące o stadiach recesyjno-oscylacyjnych łądolodu. Na ich przedpolu występują rozległe równiny sandrowe porożcinane subglacjalnymi rynnami lodowcowymi i zagłębieniami wytopiskowymi.

Na powierzchni wysoczyzn lodowcowych występują rynny polodowcowe, zagłębienia wytopiskowe, doliny rzeczne i misy jeziorne. Wysoczyzny są porożcinane pradoliną toruńsko-eber-swaldzką.

Pojezierza Południowobałtyckie wyróżniają się budową młodoglacjalną z dużą liczbą jezior polodowcowych i zagłębień bezodpływowych, wysoczyznami morenowymi i równinami sandrowymi. Zróżnicowanie morfogenetyczne wynika z rozczłonkowania wysoczyzn przez doliny rzeczne i pradoliny piaszczyste związane z odpływem wód lodowcowych. W zagłębieniach, poza jeziorami, występują torfowiska (Kondracki, 2009).

Dla Pojezierza Wschodniobałtyckiego charakterystyczne są wzniesienia morenowe oraz liczne jeziora – głębokie, rynnowe i szerokie, wytopiskowe. Wzniesienia przekraczają 300 m n.p.m. Do regionu należy Pojezierze Mazurskie z polodowcowymi jeziorami wytopiskowymi.

W regionie tym dominują grunty pochodzenia lodowcowego wykształcone w postaci nieskonsolidowanych gruntów piaszczysto-żwirowych genezy rzecznej oraz gruntów zastoiskowych. Problemy geologiczno-inżynierskie, z jakimi można się spotkać w tym regionie, to m.in. osuwiska w strefach krawędziowych dolin rzecznych, występowanie gruntów słabych na obszarach bezodpływowych.

Miękkość osadów pozostałych po zlodowaceniu wisły wynosi średnio 20–30 m. Zlodowacenie przebiegało w 3 fazach. Są to najczęściej pakiety 2–3 warstw glin rozdzielonych gruntami wodnolodowcowymi i zastoiskowymi, a rzadziej interstadialnymi osadami jeziornymi. W rejonie Doliny Dolnej Wisły i na Warmii i Mazurach stwierdzono 5 warstw glin.

Najmłodsze osady regionu powstały po ustąpieniu zlodowacenia i są to osady rzeczne tarasów zalewowych i nadzalewowych oraz osady jeziorne. Na powierzchniach piasków sandrowych i tarasów nadzalewowych miejscami występują wydmy.

**1c. Region zlodowaceń środkowopolskich zlodowacenia warty** – obejmuje obszar objęty zlodowaceniem warty. Jest to obszar o morfologii płaskiej i monotonnej. Wyróżnić tu można łagodne formy pagórkowate, związane z dawnymi morenami czołowymi. Rejon charakteryzuje się staroglacjalną erozyjno-denudacyjną rzeźbą terenu porożcinaną dużymi pradolinami. W morfologii zaznaczają się wysoczyzny morenowe zlodowacenia środkowopolskiego, a lokalnie, gdzie procesy erozyjne były silniejsze, również osady starszych zlodowaceń. Niziny Środkowopolskie to bezjeziorny, równinny obszar wysoczyzny charakterystyczny dla starszych zlodowaceń, porożcinany dolinami rzek i kotlinami. W morfologii odznacza się równoleżnikowo fragment doliny Odry położony w pradolinie i, na południe od niego, pasmo wzniesień ze strefą zaburzeń glacictonicznych. Formy lodowcowe są tu silnie przekształcone peryglacjalnie.

Wśród osadów glacialnych największe rozprzestrzenienie mają gliny lodowcowe. Ich miąższość dochodzi do kilkudziesięciu metrów i maleje w kierunku południowym. Piaski i żwiry wodnolodowcowe wyznaczają kierunki spływu wód roztopowych. Największe miąższości mają w pradolinie warszawsko-berlińskiej.

Fazy postępu lodowca wyznaczają moreny czołowe, które nadbudowują starsze wały zdeformowane glacitektonicznie.

W zbiornikach przed czołem lodowca były akumulowane ropy, mułki i piaski zastoiskowe. Najbardziej rozległe powierzchnie ropy występują w Kotlinie Warszawskiej oraz w okolicy Bielska Podlaskiego i Płońska (Marks i in., 2006).

Na wysoczyznach występują osady jeziorne interglacjału eemskiego oraz mazowieckiego. W dolinach rzecznych występują osady tarasów nadzalewowych (powstałe pod koniec zlodowacenia wisły) oraz holocenijskich tarasów zalewowych.

Pod względem geologiczno-inżynierskim rejon ten jest zbudowany głównie z gruntów lodowcowych zlodowacenia środkowopolskiego, gruntów piaszczysto-żwirowych genezy rzecznej oraz gruntów zastoiskowych. Na rzeźbę terenu miały wpływ procesy zachodzące przed czołem lodowca w okresie zlodowaceń północnopolskich. Problemy geologiczno-inżynierskie, z jakimi można się spotkać w tym rejonie, to m.in. obszary gruntów zastoiskowych oraz gruntów organicznych w dolinach rzecznych lub na obszarach bezodpływowych.

**1d. Region zlodowaceń środkowopolskich zlodowacenia odry** – region nizinny objęty zasięgiem zlodowacenia odry. Obejmuje Polesie, Nizinę Śląską i Nizinę Śląsko-Lużycką. Obszar charakteryzuje się rozbudowaną siecią rzeczną. Na granicy zasięgu zlodowacenia warty mogą występować zaburzenia glacitektoniczne.

Nizina Śląska jest równiną, na której występują ozy, kemy i wzgórza morenowe. W jej południowo-zachodniej części występują pokrywy utworów lessopodobnych. Ma ona charakter wysoczyznowy, z wzniesieniami morenowymi i dolinami rzeczными. Na Dolnym Śląsku występują też pokrywy lessowe, które powstały podczas zlodowacenia wisły. Polesie to obszar równiny o małym nachyleniu terenu i słabym odpływie wód powierzchniowych. Występują tam liczne obszary bagienne. W południowej części występują skały kredy i paleogenu z rozwiniętymi zjawiskami krasowymi. Występujące jeziora są płytkie, jedynie w części skrasowiałej – głębokie (Kondracki, 2009).

Występują tu liczne wychodnie lądowych osadów mioceanu wykształcone jako ropy, mułki i piaski.

**2a. Region Wyżyny Lubelskiej** – jest zbudowany ze skał kredowych: opok, margli i geż, występujących na powierzchni lub pod osadami młodszymi. Na Roztoczu występują paleogeneńskie wapienie, piaskowce, piaski i ropy.

Osady czwartorzędowe tworzą utwory lodowcowe zlodowaceń południowopolskich oraz osadów rzecznych i eolicznych (lessy i wydmy).

Skały kredowe są pocięte uskoki i spękane. Na powierzchni tworzą formy garbów ciągnących się na dużych odległościach. Morfologia terenu jest związana z występowaniem lessów silnie przekształconych przez działalność erozyjną.

Powstały charakterystyczne dla regionu parowy i jary (Malinowski, 1960).

Sieć rzeczna jest raczej słabo rozwinięta.

Wyżyna Lubelska, na której występują lessy i grunty lessopodobne o miąższości do 30 m, jest obszarem z punktu widzenia geologii-inżynierskiej charakteryzującym się problemami posadowienia obiektów budowlanych ze względu na podatność tych utworów na działanie wody, w tym osiadanie zapadowe. Ważnym problemem jest silne spękanie skał kredowych oraz podatność margli na działanie wody. W północnej części wyżyny występują liczne zabagnienia i podmokłości, które nie sprzyjają zabudowie. Duże znaczenie z punktu widzenia geologii inżynierskiej ma również prowadzenie eksploatacji węgla kamiennego w tym regionie.

**2b. Region Wyżyny Małopolskiej** – składa się z kredowej Niecki Nidziańskiej i paleozoicznej pofałdowanej Wyżyny Kieleckiej, przykrytych morskimi osadami mioceanu górnego i lessami. W budowie geologicznej występują skały mezozoiku, głównie kredy górnej, które wypełniają płaską nieckę. Rzędne terenu nie przekraczają 300 m n.p.m. Osady czwartorzędowe wypełniają zagłębienia w starszym podłożu. W północnej części regionu, która została objęta zasięgiem zlodowacenia odry, na powierzchni występują piaski i gliny lodowcowe oraz pola piasków sandrowych, natomiast poniżej granicy zlodowacenia występują wzgórza lessowe porożcinane siecią dolin rzecznych oraz skały starszego podłoża i niewielkie płyty glin lodowcowych zlodowacenia południowopolskiego (Malinowski, 1960).

**2c. Region Wyżyny Śląsko-Krakowskiej** – charakterystyczne dla regionu jest występowanie form pagórkowatych zbudowanych ze skał starszych oraz nieregularnych pasów wydmy i pagórków morenowych. Doliny rzeczne są wąskie i głęboko wcięte, o stromych krawędziach. W rejonie Krakowa i Częstochowy występują ostańce krasowe, w południowej części – formy erozyjne związane z tektoniką (zręby i rowy tektoniczne).

Najstarszymi skałami budującymi podłoże geologiczne są dewońskie dolomity, wapienie i margle. Na nich znajdują się karbońskie wapienie, szarogłazy, zlepieńce i łupki, zawierające węgiel kamienny. Powyżej są skały permu – piaskowce arkozowe i zlepieńce oraz skały wylewne (porfiry, melafiry, tufy i diabazy). Na skałach permskich występują triasowe wapienie, dolomity i ropy margliste oraz ropy rudonośne i wapienie, w których rozwinęły się zjawiska krasowe. Paleogen i neogen jest wykształcony w postaci piasków, żwirów, ropy i gipsów. Najmłodsze to osady zlodowacenia środkowopolskiego – gliny lodowcowe, piaski i żwiry fluwioglacjalne i rzeczne, ropy zastoiskowe oraz utwory lessowe i piaski wydmy. Skały starszego podłoża, w szczególności karbońskie, są pofałdowane oraz zuskokowane.

Dla Wyżyny Śląsko-Krakowskiej charakterystyczne jest występowanie w podłożu niecki węglonośnych skał karbońskich, przykrytych na południu płaszczowinami karpackimi, a na północy – utworami triasu i jury. Region obejmuje Górnośląskie Zagłębienie Węglowe, z czym wiąże się problematyka intensywnej eksploatacji górniczej. Liczne szkody górnicze mają wpływ na infrastrukturę naziemną. Występujące w regio-

nie zjawiska krasowe obejmują wapienie płytowe i skaliste jury górnej. W wyniku długotrwałych procesów powstały liczne formy krasowe, które częściowo odzwierciedlają się w morfologii terenu. Liczne jaskinie, korytarze, leje krasowe mogą stanowić istotny problem dla zagospodarowania terenu. Kolejnym problemem, w rozumieniu geologiczno-inżynierskim, są ruchy masowe i pojawiające się w związku z tym wody gruntowe, związane z występowaniem w zboczach paleogeńskich gruntów ilastych o zmiennych właściwościach.

**3a. Region Przedgórze Karpackiego** – to obniżenie tektoniczne na północ od nasunięcia karpackiego.

Podłoże geologiczne stanowią skały miocenne, pokryte utworami lodowcowymi, rzecznyymi, deluwialnymi, stożków napływowych, koluwiami oraz lessami i gruntami lessopodobnymi.

Na powierzchni występują gliny lodowcowe, piaski i żwir rzeczno-lodowcowe, miejscami w formie moren czołowych, pokrywy lessowe i wydmy. Przedgórze jest płaską równiną porożcinaną szerokimi dolinami rzecznyymi. Spadki terenu dochodzą do 3%.

Istotne jest podkreślenie, że na obszarach wysokich zboczy w dolinach rzek mogą występować procesy osuwiskowe (Malinowski 1960).

**3b. Region Przedgórze Sudeckiego** – to region położony na północ od uskoku sudeckiego i na południe od pradoliny Odry. Jest to obszar podzielony uskokami na wzniesienia: masyw granitowy Strzelina, masyw granitowo-gabrowy Sobótki, masyw sjenitowy Niemczy, oraz kopuły bazaltowe – wynik paleogeńskiej działalności wulkanicznej. Pomiędzy wzniesieniami występują zapadliska wypełnione paleogeńskimi ilami i formacjami węgla brunatnego oraz osadami czwartorzędu o miąższości do 60 m. Czwartorzęd jest wykształcony w postaci gruntów budujących moreny czołowe i moreny denne, osadów eolicznych (lessów) i osadów piaszczysto-żwirowych stożków napływowych.

Problemy geologiczno-inżynierskie tego regionu są związane z niejednorodnością osadów czwartorzędowych, płytkim występowaniem wód podziemnych, występowaniem przewarstwień gruntów pylastych. Na obszarach lessów i glin lodowcowych, występujących na łożach paleogeńskich, możemy mieć do czynienia z osuwiskami.

**4. Nadregion Gór** – to odrębna jednostka tektoniczna o bogatej historii geologicznej. Powstawała w wyniku różnych procesów endo- i egzogenicznych charakteryzuje się odmienną budową geologiczną i stylem tektonicznym.

**4a. Region Gór Świętokrzyskich** – znajdują się w pasie wyżyn tworzących antyklinorium, są zbudowane ze skał paleozoiku, uformowane głównie podczas orogenezy waryscyjskiej. Obejmują obszary kielecki i łysogórski, rozdzielone dyslokacją świętokrzyską. Struktury te różnią się historią i budową geologiczną, co świadczy, że powstały w różnych basenach sedymentacyjnych. Po ruchach tektonicznych w orogenezie alpejskiej na powierzchni odsłonił się paleozoiczny trzon Gór Świętokrzyskich otoczony obrzeżeniem permomezozoicznym.

Najstarsze skały występują w obszarze kieleckim i są to utwory kambry dolnego (iłowce, mułowce, piaskowce i zlepieńce). Brak utworów środkowo- i górnokambryjskich jest

związany z ruchami tektonicznymi. Na nich leżą krzemionkowe i węglanowe skały ordowiku, a powyżej iłowce i szarogłazy syluru. Następnie mamy lukę sedymentacyjną na skutek ruchów kaledońskich. Na zdenudowanych strukturach kaledońskich występują skały klastyczne i węglanowe. Pod koniec dewonu zamiast sedymentacji węglanowej przeważa sedymentacja iłowców i skał krzemionkowych. Powyżej dolnokarbońskich iłowców, mułowców i szarogłazów, występuje luka stratygraficzna (obejmująca karbon górny i część permu), związana z orogenezą waryscyjską (Malinowski, 1960).

W rejonie łysogórskim kambr stanowią skały klastyczne, powyżej leżą iłowcowo-węglanowe skały ordowiku. W sylurze powstawały szarogłazy oraz skały klastyczno-węglanowe. Luka stratygraficzna, na skutek ruchów kaledońskich, przypada nieco później niż na obszarze kieleckim. W dewonie powstawały skały klastyczne i wapienie rafowe, które wieńczą profil paleozoiczny. W wyniku aktywności kaledońskiej i waryscyjskiej skały starsze od permu tworzą łuski, fałdy nasunięcia, zdyslokowane i pocięte systemami ciosu.

Trzon paleozoiczny stanowią wychodnie skał paleozoicznych obu obszarów. Najstarszymi skałami obrzeżenia są zlepieńce, wapienie i ewaporaty cechsztyńskie. Powyżej leżą rzeczne, eoliczne i jeziorne skały triasu dolnego (pstry piaskowiec), wapienie i ewaporaty triasu środkowego oraz zlepieńce, piaskowce i mułowce triasu górnego. Jura dolna i środkowa wykształciła się inaczej w północnej i w południowej części obrzeżenia. W jurze górnej występują utwory wapienne. W trakcie ruchów laramijskich całe obrzeżenie podlegało dyslokacjom, sfałdowaniom oraz dźwignięciu, a podczas paleogenu – denudacji.

Podczas transgresji miocennej, w południowej części Gór Świętokrzyskich, powstały utwory i struktury litoralne i chemiczne (Malinowski 1960). Do środkowego plejstocenu, w centralnej i środkowej części, dominowały procesy krasowe, stokowe i wietrzeniowe. W środkowym plejstocenie Góry Świętokrzyskie objęte zostały procesami glacialnymi, w wyniku których obniżenia zostały wypełnione osadami lodowcowymi. Podczas zlodowacenia odry najwyższa część Gór Świętokrzyskich pozostawała odsłonięta. Łądolody młodsze od zlodowacenia odry nie dotarły do Gór Świętokrzyskich, stąd na obszarze mamy do czynienia tylko z osadami powstającymi na przedpolu lodowca, tj. pokrywy lessowe i piaszczyste, wydmy, pola piasków przewianych oraz namuły, piaski i żwiry tarasów rzecznych.

W Górach Świętokrzyskich charakterystyczne są niewielkie wzniesienia, które mają kształt izolowanych wydłużonych grzbietów. Sieć rzeczna jest dobrze rozwinięta.

Problemy geologiczno-inżynierskie pojawiają się w związku ze złożoną budową geologiczną i dużą zmiennością litologiczną regionu, w szczególności, występującymi naprzemiennie skałami o dużych różnicach właściwości fizyczno-mechanicznych oraz dużym rozprzestrzenieniu gruntów ilastych paleogeńskich i starszych. Istotnym zagadnieniem są również procesy krasowe występujące w wapieniach dewonu, jury oraz w gipsach paleogeńskich. Zjawiskami charakterystycznymi dla Gór Świętokrzyskich są sploty zboczowe rozwijające się w starszych ska-

łach paleozoicznych. Najczęściej osuwiska powstają w centralnej części regionu. W południowej części występuje gruba pokrywa lessowa z silnie rozwiniętą erozją.

**4b. Region Karpat** – to łańcuch młodych gór fałdowych powstały w orogenezie alpejskiej. Ruchy fałdowe spowodowały powstanie regularnych fałdów, nasunięć i złuskowań. W związku z tym powstały płaszczowina śląska, podśląska, magurska, fałdy dukielskie, Tatry i Pieniny. Generalny kierunek fałdów ma przebieg z zachodu na wschód. Deformacje nieciągłe w Karpatach są związane z intensywnymi nasunięciami i fałdowaniem.

Morfologicznie można wyróżnić wysokie szczyty o stromych zboczach Tatr i Pienin rozdzielone wąskimi dolinami oraz niższe wydłużone grzbiety o spadku zboczy przekraczającym 25% w części fliszowej.

Północną granicę Karpat stanowi linia nasunięcia karpaciego. Najstarszymi skałami w Karpatach są tatrzańskie granity ze zmetamorfizowaną okrywą gnejsów i łupków krystalicznych. Natomiast najstarszymi skałami osadowymi występującymi w Tatrach są triasowe piaskowce, wapień, iły i miejscami zlepieńce oraz leżące na nich górnourajskie wapień, piaskowce i piaski. Formacje kredy występują w postaci łupków, piaskowców, margli i zlepieńców w Tatrach i Pieninach. Osady paleogenu mają w Karpatach największe rozprzestrzenienie i są wykształcone jako zlepieńce, piaskowce, łupki, iły i rogowce (Malinowski, 1960).

Paleogen w Karpatach charakteryzuje się dużą zmiennością sedymentacyjną i litologiczną. Liczne przewarstwienia łupków i piaskowców o zmiennych miąższościach tworzą formę charakterystyczną dla Karpat nazywaną fliszem. W Karpatach występują również skały krystaliczne pochodzenia wulkanicznego – andezyty i cieszynity.

Czwartorzęd w Karpatach występuje w dolinach rzecznych lub w formie pokryw wysokiego zasypania, a także jako zwietrzliny lub osady typu jeziornego w kotlinach górskich. Osady lodowcowe powstały w Tatrach w wyniku lokalnych zlodowaceń tatrzańskich.

Główna problematyka regionu jest związana z częstymi ruchami masowymi ziemi, w szczególności na fliszu oraz w warstwach zwietrziałych o dużych miąższościach. Występuje tu największa liczba osuwisk i obszarów podatnych na osuwiska. Problem osuwisk jest związany z naturalnie występującymi stromymi zboczami oraz z podcinaniem zboczy w celach budowlanych. Osuwiska uruchamiają się głównie w okresie zwiększonych opadów atmosferycznych. Osuwiska w Tatrach są rzadkim zjawiskiem i powstają w związku z przemieszczaniem się mas zwietrziałych po stromych skalistych zboczach. Drugim problemem regionu jest duże zróżnicowanie i zmienność warstw fliszu, w tym zmienność właściwości fizyczno-mechanicznych. Istotną jest też złożoność budowy geologicznej obszarów dolin rzecznych i kotlin śródgórskich, która wiąże się z dużą zmiennością sedymentacyjną, skomplikowaną tektoniką powodującą wykształcenie się różnych pod względem strukturalnym zboczy oraz płytkim zwierciadłem wód podziemnych na tych obszarach.

**4c. Region Sudetów** – to masyw górski o budowie blokowej, wypiętrzony podczas orogenezy alpejskiej. Znajdują

się w południowo-zachodniej części Polski. Do Polski należy północno-wschodnia część Sudetów. Granicę Gór i Przedgórze Sudeckiego stanowi uskoki brzeżny. Zbudowane są ze skał magmowych i wulkaniczno-osadowych, zmetamorfizowanych, pokrytych lokalnie osadami paleozoicznymi i mezozoicznymi. Masyw sudecki jest porożcinany licznymi uskokiemi o kierunku z północnego zachodu na południowy wschód. W prekambryjskim masywie krystalicznym występują paleozoiczne intruzje granitowe. Najważniejsze z nich to granit Karkonoszy i Kudowy, sjenit kłodzko-złotostocki, gabra noworudzkie, wylewy melafiru, bazaltu i tufów oraz liczne żyły m.in. porfiru i lampofiru. Gnejsy tworzące masyw Gór Sowich i Śnieżnika stanowią zmetamorfizowane skały krystaliczne.

Najstarszymi utworami są zmetamorfizowane prekambryjskie łupki łyszczycowate. Powyżej w profilu występują kambryjskie wapień, łupki i krwarcyty, kwarcyty ordowickie oraz łupkowy kompleks osadów sylurskich. Utwory dewońskie, wykształcone jako wapień i margle, występują na niewielkiej powierzchni. Karbon dolny jest w postaci szarogłazów i zlepieńców, natomiast karbon górny składa się z piaskowców i łupków z pokładami węgla kamiennego, eksploatowanego w Zagłębiu Dolnośląskim. Dużą powierzchnię zajmują permskie zlepieńce, piaskowce i łupki czerwonego spągowca oraz cechsztyńskie zlepieńce i wapień margliste. Wraz z utworami karbonu perm tworzy nieckę śródsudecką. Mezozoiczne osady na terenie Sudetów to triasowe wapień i piaskowce, pokryte kredowymi zlepieńcami, piaskowcami i marglami z wkładkami łupków i wapieni. Utwory paleogenu i neogenu występują w części zachodniej jako miocenska formacja węgla brunatnych i w części wschodniej jako żwiry i iły o niewielkiej miąższości. Skały czwartorzędowe występują w postaci nagromadzeń osadów lodowcowych w zagłębieniach kotlin śródgórskich i dolin rzecznych oraz zwietrzelin.

W Sudetach zachowały się elementy tektoniki fałdowej, jednak na główny typ budowy miały wpływ różnokierunkowe deformacje nieciągłe, które doprowadziły do podziału Sudetów na bloki. Struktury fałdowe można zaobserwować w utworach syluru i karbonu (Góry Bardzkie występujące na przedłużeniu Gór Sowich).

W morfologii Sudetów można zaobserwować wzniesienia dochodzące do 700 m n.p.m., lub rzadziej wyższe w przypadku Masywu Śnieżnika, Gór Sowich i Śnieżki. Zbocza wzniesień są łagodne. Masyw sudecki jest poprzecinany szerokimi dolinami rzecznyymi. W regionie sudeckim występują obniżenia (m.in. Kotlina Kłodzka, Kotlina Jeleniogórska, niecka żytawska) wypełnione osadami czwartorzędowymi, lodowcowymi lub rzecznyymi o miąższościach do 50 m oraz eolicznymi i zwietrzelinowymi. W niecce żytawskiej występują formacje węgla brunatnego.

Warunki geologiczno-inżynierskie tego rejonu są z założenia mniej skomplikowane. W porównaniu z regionem Karpat, zjawiska geodynamiczne są tu mniej intensywne. W związku z dojrzałością form rzeźby terenu występuje tu znacznie mniej osuwisk, które są związane przeważnie ze strefą zwietrziałą. Problematyka geologiczno-inżynierska dotyczy głównie stref kontaktów tektonicznych, gdzie skały



są spękanie, a ich parametry mechaniczne uległy pogorszeniu. Gęsta sieć spękań ma wpływ na przyspieszenie procesów wietrzeniowych oraz zwiększoną możliwość migracji wód podziemnych. W obniżeniach, wypełnionych osadami czwartorzędowymi, na pogorszenie warunków geologiczno-inżynierskich mają wpływ przewarstwienia pylaste oraz duża niejednorodność litologiczna. W Sudetach występują również pokrywy lessowe o miąższości do 8 m wykazujące skłonność do osiadania zapadowego. Dodatkowym zagrożeniem są występujące wody mineralne, które mogą przyspieszać procesy wietrzeniowe skał wapienistych oraz wykazywać agresywność w stosunku do betonu. W Zagłębiu Dolnośląskim jest prowadzona podziemna eksploatacja złóż, dlatego należy zwrócić uwagę na występowanie szkód górniczych szczególnie w rejonie występowania płytkiej eksploatacji oraz na terenach głębokiej.

W obrębie wydzielonych regionów geologiczno-inżynierskich wyróżnia się ze względu na litogenezę obszary:

- gruntów antropogenicznych;
- gruntów organicznych;
- gruntów piaszczystych i mał dolin rzecznych;
- gruntów morskich;
- gruntów piaszczystych lodowcowych, wodnolodowcowych i innych;
- glin zwałowych zlodowacenia północnopolskiego;
- glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego;
- glin zwałowych zlodowacenia południowopolskiego;
- gruntów zastoiskowych i jeziornych;
- lessów i gruntów lessopodobnych;
- gruntów eolicznych i wydmowych;
- koluwiów osuwiskowych;
- skał miękkich;
- skał twardych;
- skał nierozdzielonych z uwagi na wytrzymałość.

Podział regionów geologiczno-inżynierskich na obszary występowania różnych genetycznie gruntów i skał zaproponowany przez Malinowskiego i Glazera (1991) został zmodyfikowany i dostosowany do obecnego stanu wiedzy i doświadczenia (tab. 4).

Obszary gruntów organicznych obejmują torfy, gytie, kredy jeziorne, namuły piaszczyste i gliniaste, przeważnie czwartorzędowe, które powstały w dolinach rzecznych i obniżeniach bezodpływowych. Zwykle występuje w nich płytko woda gruntowa. Warunki geologiczno-inżynierskie na tych obszarach są niekorzystne.

Obszary gruntów piaszczystych to piaski, pospółki, żwir, otoczaki czwartorzędowe lub piaski starsze od czwartorzędu. Znajdują się głównie na wysoczyznach morenowych oraz w dolinach rzecznych. Na równinach sandrowych pojawiają się żwir i pospółki wodnolodowcowe, piaski drobne i pylaste rzeczne, jeziorne i zastoiskowe – w dolinach i na równinach akumulacji wodnej. W paleogenie, neogenie i kredzie dolnej często są spotykane piaski drobne glaukonitowe. Woda gruntowa na tych obszarach jest na różnej głębokości: płytko – w dolinach i na równinach akumulacji rzecznej (0–5 m) i głęboko – na wysoczyznach morenowych, równinach sandrowych (5–10 m). Warunki geologiczno-inżynierskie można określić

jako dobre, a w miejscu występowania piasków drobnych i pylastych oraz płytkiego zwierciadła wód gruntowych i dużych spadków terenu – jako mało korzystne.

Obszary gruntów spoistych można podzielić na czwartorzędowe i starsze. Na wysoczyznach morenowych są to głównie gliny piaszczyste i piaski gliniaste lodowcowe. Pyły, gliny pylaste, czasem ily zastoiskowe akumulowane w środowisku wodnym tworzą płaskie obszary równinne. Warunki geologiczno-inżynierskie na tych obszarach są dobre lub głównie średnie. Pogorszeniu ulegają w miejscach przejścia gruntu w stan plastyczny, w strefach przykrawędziowych oraz zaburzeń glacitektonicznych.

Obszary gruntów lessowych obejmują pyły, pyły piaszczyste, gliny pylaste pochodzenia eolicznego. Są to grunty czwartorzędowe tworzące pokrywy lessowe. Woda występuje w podłożu. Mogą wykazywać charakter zapadowy i sufozyny. Warunki geologiczno-inżynierskie są zmienne.

Obszary skał miękkich obejmują zlepieńce i piaskowce o słabym spoiwie, łożyska, łożyska, margle, opoki, kredę piaszczącą, wapienie, węgiel kamienny, gipsy i sole starsze od czwartorzędu (paleogen, kreda, jura, trias, perm i karbon). Skały lite są mało ściśliwe, o wytrzymałości od dość mocnych do miękkich. Margle, łożyska i niektóre piaskowce są podatne na wietrzenie i spękanie, co zmniejsza ich wytrzymałość. Gipsy, sole i skały węglanowe pod wpływem wody ulegają procesom krasowym. W skałach tych woda występuje o charakterze szczelinowym i porowym, na głębokości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Zwierciadło może być swobodne lub napięte. Warunki geologiczno-inżynierskie są dobre. Mogą ulec pogorszeniu z uwagi na kras i procesy wietrzeniowe.

Obszary skał twardych obejmują skały magmowe, metamorficzne i osadowe starsze od czwartorzędu (mezozoiczne, paleozoiczne i prekambryjskie). Skały magmowe: granity, sjenity, dioryty, bazalty, diabazy, gabra, porfiry, keratofiry i tufy. Skały metamorficzne: gnejsy, amfibolity, kwarcyty, fylity oraz łupki wapienie, i dolomity krystaliczne. Skały osadowe: zlepieńce, piaskowce o twardym spoiwie, wapienie i dolomity. Skały lite są bardzo mocne, nierozpuszczalne w wodzie, często tektonicznie spękanie, w strefie przypowierzchniowej zwietrzałe, co obniża ich wytrzymałość. Wody szczelinowe występują na głębokości od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Przy dużych spadkach terenu, szczególnie skał uwarstwionych, zwiększa się możliwość powstania osuwisk. W skałach węglanowych mogą rozwijać się zjawiska krasowe. Warunki geologiczno-inżynierskie są bardzo dobre. Poza strefami dyslokacji i zwietrzelin. W przypadku dużych nachyleń zboczy i krasu niekorzystne.

W obrębie wszystkich regionów można wyróżnić doliny rzek. W zależności od odcinka rzeki wyróżnia się różne procesy przekształcające podłoże geologiczne. W górnym odcinku rzeki dominują procesy erozyjne – w tym głównie erozja denną. Dla rejonu charakterystyczne są strome zbocza i stosunkowo mała ilość powstałych utworów rzecznych, głównie piaszczysto-żwirowych. W środkowym odcinku zmienia się to na korzyść erozji bocznej, tworzą się meandry, wzrasta akumulacja niesionego przez rzekę materiału, powstają tara-

Tabela 4

Podział Polski na regiony geologiczno-inżynierskie oraz obszary gruntów i skal (Glazer, Malinowski, 1991, zmodyfikowane)

Regiony geologiczno-inżynierskie	1a – region zlodowaceń północnopolskich fazy pomorskiej	1b – region zlodowaceń północnopolskich zlodowacenia wisły	1c – region zlodowaceń środkowopolskich warty	1d – region zlodowaceń środkowopolskich zlodowacenia odry	2a – region Wyzyny Lubelskiej	2b – region Wyzyny Małopolskiej	2c – region Wyzyny Śląsko-Krakowskiej	3a – region Przedgórza Karpackiego	3b – region Przedgórza Sudeckiego	4a – region Gór Świętokrzyskich	4b – region Karpat	4c – region Sudetów
Obszary gruntów i skal												
Procesy geologiczne i antropogeniczne												
Obszar skał twardych							+			+		+
Obszar skał nierozdzielonych z uwagi na wytrzymałość											+	
Obszar skał miękkich					+	+	+			+	+	
Obszar gruntów morskich	+											
Obszar gruntów piaszczystych i mąd dolin rzecznych	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar gruntów piaszczystych lodowcowych, wodnolodowcowych i innych	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar glin zwałowych zlodowacenia południowopolskiego					+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar glin zwałowych zlodowacenia północnopolskiego	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar lessów i gruntów lessopodobnych					+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar gruntów zastoiaskowych i ilów	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar gruntów eolicznych i wydmy	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar gruntów organicznych	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar koluwiów osuwiskowych	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Obszar gruntów antropogenicznych	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pokrywy zwietrzelinowe					+	+	+	+	+	+	+	+
Kras				+		+	+	+	+	+	+	+
Zapadanie lessów					+					+		
Szkody górnicze					+		+			+		+
Osuwiska	+	+	+	+					+		+	



Rys. 12. Rodzaje map geologiczno-inżynierskich

sy zalewowe zbudowane z gruntów niespoistych i spoistych (mady, zastoiskowe) i nadzalewowe z przewagą gruntów piaszczystych. W związku z powstawaniem meandrów i starorzeczy możemy mieć do czynienia z dużym zróżnicowaniem parametrów gruntów. W dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim należy uwzględnić wzmożone procesy zbieżne. Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463), w dolinach rzecznych występują skomplikowane warunki gruntowe.

### 3.2. ZEBRANIE DANYCH ARCHIWALNYCH

W pierwszej kolejności należy ustalić jakie dane potrzebne będą do geologiczno-inżynierskich prac dokumentacyjnych i zapoznać się z danymi dostępnymi on-line na portalach internetowych, np. na stronie [www.pgi.gov.pl](http://www.pgi.gov.pl) oraz z danymi udostępnianymi przez inne instytucje (Generalną Dyрекcję Ochrony Środowiska, Lasy Państwowe, Geoportal itp.). Następnie należy pozyskać niezbędne materiały z analogowych archiwów państwowych i prywatnych.

Informacje archiwalne można uzyskać z następujących opracowań:

- dokumentacji geologicznych oraz innych opracowań geologicznych;
- opinii geotechnicznych oraz innych opracowań geotechnicznych;
- dokumentacji hydrogeologicznych oraz innych opracowań hydrogeologicznych;
- map o tematyce geologicznej (mapy geologiczne, mapy geologiczno-gospodarcze i geośrodowiskowe, mapy geologiczno-inżynierskie, mapy geofizyczne, mapy hydrogeologiczne, mapy glebowe, mapy tektoniczne, mapy i szkice geomorfologiczne);
- map topograficznych, zdjęć satelitarnych i ortofotomap, numerycznego modelu terenu;

- profili otworów wiertniczych (geologiczno-inżynierskich, geotechnicznych, poszukiwawczych, złożowych, stratygraficznych, piezometrów);
- opracowań dotyczących działalności górniczej;
- zapisów sejsmologicznych i danych o trzęsieniach ziemi;
- artykułów i prac naukowych o tematyce geologicznej;
- lokalnych planów zagospodarowania oraz opracowań środowiskowych.

Opracowania i dane archiwalne są dostępne m.in. w następujących archiwach i zbiorach:

- NAG, lokalnych archiwach administracji państwowej i samorządowej;
- bazach danych PIG-PIB (Centralna Baza Danych Geologicznych – CBDG, Centralny Bank Danych Hydrogeologicznych – Bank HYDRO, baza danych „Pobory”, Rejestr Obszarów Górniczych oraz system Gospodarki i Ochrony Bogactw Mineralnych Polski MIDAS, baza danych GIS Głównych Zbiorników Wód Podziemnych, Baza Danych Geologiczno-inżynierskich – BDGI, baza danych o osuwiskach – SOPO);
- dane z katastru wodnego zgromadzone w Regionalnych Zarządach Gospodarki Wodnej;
- archiwach przedsiębiorstw i firm geologicznych;
- publikacjach i opracowaniach naukowych ogólnodostępnych i w miarę możliwości autorskich materiałach niepublikowanych;
- bibliotekach np.: Biblioteka Narodowa, Biblioteka PIG-PIB;
- uczelniach wyższych i jednostkach badawczych;
- na stronach internetowych np.: <http://baza.pgi.gov.pl>, <http://atlasy.pgi.gov.pl>, [http://geoportal.pgi.gov.pl/atlasy\\_gi](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlasy_gi), <http://pgi.gov.pl/psh/sluzba-hydrogeologiczna>.

Wykorzystanie zebranych danych może wiązać się z uzyskaniem stosownych zgód wymaganych przez ustawę Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2017 poz. 2126), ustawę o dostępie do informacji publicznej (Dz.U. 2011 Nr 204 poz. 1195), a także inne przepisy szczegółowe.

Wiele materiałów niezbędnych w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim znajduje się w NAG. Jest ono prowadzone w ramach centralnego archiwum geologicznego przez PIG-PIB, co reguluje ustawa Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2017 poz. 2126).

Obecnie wszystkie informacje o archiwach PIG-PIB są gromadzone w CBDG, która jest największym w Polsce zbiorem cyfrowych danych geologicznych (<http://baza.pgi.gov.pl>). Baza ta zawiera między innymi szczegółowe informacje o otworach wiertniczych, archiwalnych dokumentacjach geologicznych, geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych, geologiczno-środowiskowych i różnego typu badaniach geofizycznych. Wśród danych udostępnianych przez PIG-PIB są również: złoża surowców mineralnych, obszary i tereny górnicze, obszary koncesyjne, regiony fizyczno-geograficzne Polski (Kondracki, 2009), wyniki badań sejsmicznych 2D i 3D, wyniki sondowań geoelektrycznych, informacje o osuwiskach i terenach zagrożonych ruchami masowymi, obszary zagrożone podtopieniami, geostanowiska, mapy geologiczno-turystyczne, obiekty hydrogeologiczne (BankHYDRO), punkty monitoringowe z Monitoringu Wód Podziemnych (MWP), arkusze map (Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000, Główne Zbiorniki Wód Podziemnych, Jednolite Części Wód Podziemnych, Geologiczne warunki budowy nowo projektowanych odcinków dróg i linii kolejowych, Mapa hydrogeologiczna Polski). PIG udostępnia dane także w postaci serwisów WMS i WFS oraz w postaci wektorowych klas obiektów ([http://geoportal.pgi.gov.pl/uslugi\\_gis](http://geoportal.pgi.gov.pl/uslugi_gis)).

Formularze i przeglądarka geograficzna (GIS) znajdujące się na witrynie CBDG pozwalają szybko i bezpłatnie uzyskać dostęp do dokumentacji, otworów wiertniczych oraz map.

Największym zbiorem geologiczno-inżynierskich danych jest baza BDGI (<http://atlasy.pgi.gov.pl>, [http://geoportal.pgi.gov.pl/atlasy\\_gi](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlasy_gi)). Jest ona rozbudowywana i uzupełniana o nowe informacje. Zgromadzone dane pochodzą z dokumentacji geologiczno-inżynierskich, geotechnicznych, hydrogeologicznych oraz profili otworów wiertniczych. Na stronach internetowych PIG-PIB są udostępnione karty otworów wiertniczych i, opracowane na ich podstawie, mapy tematyczne.

Do analizowanych materiałów archiwalnych należy włączyć mapy sozologiczne w skali 1: 50 000 (Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, CODGIK), na których znajdują się informacje dotyczące stanu środowiska, degradacji i rekultywacji oraz sposobów jego ochrony. W analizie materiałów należy również uwzględnić informacje o zarejestrowanych i zinventaryzowanych naturalnych zagrożeniach geologicznych na terenie całego kraju ze szczególnym uwzględnieniem osuwisk oraz innych zjawisk geodynamicznych (<http://geozagrozenia.pgi.gov.pl>).

Analiza archiwalnych map geologicznych (Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1: 50 000, Mapa litogenetyczna Polski w skali 1: 50 000 oraz lokalne mapy budowy geologicznej), geośrodowiskowych (Mapa Geośrodowiskowa Polski) oraz map i szkiców geomorfologicznych pozwoli zapoznać się z modelem budowy geologicznej na danym obszarze oraz zaplanować wstępnie badania terenowe. Oczywiście

należy mieć na uwadze skalę, w jakiej były opracowane powyższe mapy i zweryfikować dane w terenie.

Analizę archiwalnych materiałów hydrogeologicznych należy przeprowadzić na podstawie mapy hydrogeologicznej (Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1: 50 000, Jednolite Części Wód Podziemnych w podziale obowiązującym do 2015 r. (161) i na lata 2016–2021 (172), mapy obszarów zagrożonych podtopieniami, Monitoring Wód Podziemnych). Mapy te będą pomocne w określeniu warunków gruntowo-wodnych występujących na dokumentowanym obszarze oraz w zaprojektowaniu badań i pomiarów występujących wód podziemnych. W bazach danych PIG-PIB są dostępne otwory hydrogeologiczne. Korzystając z nich, należy pamiętać, że specyfika opisu gruntów i skał różni się od opisów geologiczno-inżynierskich.

Pomocne w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim są również mapy geotermalne, złożowe oraz mapy badań geofizycznych, dostępne na stronach internetowych PIG-PIB.

Wskazana jest analiza wymienionych map geologiczno-inżynierskich (rys. 12):

- Mapa geologiczno-inżynierska Polski w skali 1: 500 000 (pokrycie dla całego kraju);
- Mapa geologiczno-inżynierska w skali 1: 300 000 (pokrycie dla całego kraju);
- Szczegółowa mapa geologiczno-inżynierska w skali 1: 50 000 (pokrycie dla 6 arkuszy);
- Atlasy geologiczno-inżynierskie wykonywane do 1998 r. w skalach od 1: 10 000 do 1: 50 000;
- Atlasy geologiczno-inżynierskie wykonywane po 1998 r. w skali 1: 10 000.

### 3.3. WIZJA TERENOWA I LOKALNY WYWIAD ŚRODOWISKOWY

Wizja terenowa powinna być poprzedzona analizą materiałów archiwalnych. Jest niezbędna w celu wykonania badań terenowych. Jeżeli jest to możliwe, przed dokonaniem wizji terenowej, warto opracować wstępną koncepcję lokalizacji otworów badawczych. Umożliwi to weryfikację na miejscu lokalizacji otworów badawczych pod kątem ich dostępności oraz braku kolizji z infrastrukturą podziemną i napowietrzną.

Eurokod 7 informuje jedynie o potrzebie wykonania wizji terenowej, bez podania wytycznych dla tej czynności oraz wskazania dokumentu, według którego należy ją przeprowadzić.

Celem wizji terenowej w zależności od potrzeb jest:

- weryfikacja analizowanych danych archiwalnych i materiałów kartograficznych, w tym danych dotyczących lokalizacji infrastruktury podziemnej;
- analiza morfologii terenu i sprawdzenie jej zgodności z posiadanymi mapami topograficznymi i zasadniczymi;
- określenie występowania wód powierzchniowych wraz z ustaleniem maksymalnego zasięgu wód powodziowych oraz prawdopodobieństwa ich wystąpienia;
- określenie warunków hydrogeologicznych, maksymalnego stanu wód podziemnych, w tym terenów zagrożonych podtopieniami oraz lokalizacja występowania wód gruntowych (źródła, podmokłości, wysięki itp.);

- lokalizacja miejsc występowania procesów geodynamicznych i niekorzystnych zjawisk geologicznych (wietrzenie, sufozja, erozja, upłynnienie gruntów itp.) oraz wstępne określenie ich intensywności i zasięgu;
- ocena aktualnego stopnia zagospodarowania terenu, w tym identyfikacja stanu i charakteru istniejących budowli, obiektów inżynierskich oraz czynników utrudniających lub uniemożliwiających wykonania dalszych badań, rejestracja naturalnych i sztucznych odsłoneń, odkrywek, sprawdzenie, czy teren badań podlega ochronie w związku z ustawą o ochronie przyrody lub ochronie dóbr kultury, opis zmian związanych z antropopresją środowiska naturalnego, w tym charakterystyka deformacji powierzchni terenu powstałych w wyniku szkód górnictwa, wyrobisk powierzchniowych czy niekontrolowanego składowania odpadów komunalnych, budowlanych, itp;
- weryfikacja lokalizacji planowanych punktów badawczych pod kątem dostępności terenu oraz braku kolizji z infrastrukturą podziemną i napowietrzną.

Istnieje wiele czynników, trudnych lub niemożliwych do określenia podczas oględzin przeszłego terenu badań, które nie zostały w żaden sposób udokumentowane, a które można zdiagnozować po przeprowadzeniu wywiadu środowiskowego. Są to najczęściej:

- nieudokumentowane formy zagospodarowania terenu, próby jego niwelacji lub inne formy uporządkowania, w tym obecność wykopów wypełnionych wtórnie gruntem nieznanego rodzaju i pochodzenia (w tym nasypy niekontrolowane);
- nieudokumentowane formy rekultywacji terenu, w tym

zasypane nieewidencjonowane składowiska odpadów komunalnych, gruzu i innych materiałów niekorzystnych dla procesu dokumentowania i realizacji inwestycji;

- obecność zasypanych fragmentów fundamentów nieistniejących budowli lub utwardzonych nawierzchni;
- niekontrolowane i nieewidencjonowane nasypy mające na celu zmianę parametrów działki, w tym podniesienie działki w celu obniżenia zwierciadła wody gruntowej lub powiększenie działki poprzez tworzenie nasypów w obrębie przyległego zbrocza;
- nieewidencjonowane systemy drenażowe i infrastruktura podziemna;
- historia, nasilenie, cykliczność, występowania niekorzystnych zjawisk geodynamicznych, geologicznych i przyrodniczych;
- obecność przejawów zanieczyszczenia lub skażenia środowiska naturalnego, w tym gruntu i wód gruntowych (tereny historycznie zanieczyszczone lub zdegradowane).

Obecność powyższych czynników można określić na podstawie rozmów z właścicielami nieruchomości lub ich przedstawicielami, z okolicznymi mieszkańcami lub z przedstawicielami lokalnych jednostek samorządu terytorialnego, Ochotniczej Straży Pożarnej, Policji.

Ponadto w trakcie wizji lokalnej można rozpocząć proces negocjacji z właścicielami gruntów lub ich przedstawicielami w celu udostępnienia prawa do nieruchomości, na której mają być wykonane badania.

Wizję terenową należy wykonać z taką dokładnością, żeby było możliwe zaprojektowanie marszrut i punktów dokumentacyjnych wykonywanych w ramach kartowania geologiczno-inżynierskiego.

#### 4. PROJEKTOWANIE BADAŃ PODŁOŻA

Projektowanie badań jest jedną z najważniejszych faz w procesie dokumentowania. Dobrze zaprojektowane badania podłoża umożliwiają osiągnięcie celu prac, stworzenie wiarygodnego modelu geologicznego oraz scharakteryzowanie właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał, w nawiązaniu do uwarunkowań genetycznych podłoża. Badania należy projektować w taki sposób, żeby ich wyniki były przydatne do wyboru optymalnej lokalizacji terenu inwestycji, bezpiecznego zaprojektowania obiektu budowlanego oraz ustalenia sposobu zagospodarowania terenu. Podczas projektowania badań podłoża należy korzystać z wiedzy i doświadczenia dokumentatora/ów, literatury oraz doświadczenia porównywalnego.

Zaleca się odchodzić od sztywnych schematów projektowania prac i badań (często narzuconych przez przepisy lub wymagania specjalne), w celu uniknięcia nadmiaru niepotrzebnych i kosztownych badań, a w efekcie opracowywania bezużytecznych dokumentacji, zwłaszcza na etapie budowy (Sokołowska i in., 2017).

Projektowanie badań należy przeprowadzać w następujących krokach (tab. 5):

- ustalić:
  - etap procesu inwestycyjnego (rys. 10);
  - rodzaj dokumentowania;
  - etap badań podłoża (rozdz. 2.2.2);
  - skalę inwestycji;

Tabela 5

Ogólne zalecenia do projektowania badań na poszczególnych etapach procesu inwestycyjnego (Malinowski, 1960, zmodyfikowane)

Projektowanie badań	Etap procesu inwestycyjnego (rys. 10)					
	wizja inwestycji	studium wykonalności	koncepcja programowa	projekt	budowa	eksploatacja
	Rodzaj dokumentowania (rozdz. 2)					
	geologiczno-inżynierskie		geologiczno-inżynierskie i geotechniczne		geotechniczne	
	Etap badań podłoża gruntowego wg Eurokodu 7 (rozdz. 2.2.2)					
	wstępne		do celów projektowych		kontrola i monitoring	
Cel badań podłoża gruntowego	wytypowanie obszarów w celu wybrania najkorzystniejszej lokalizacji inwestycji	ustalenie warunków geologiczno-inżynierskich dla każdego wariantu lokalizacji inwestycji oraz wskazanie najkorzystniejszego wariantu lokalizacji inwestycji	szczegółowe ustalenie warunków geologiczno-inżynierskich dla najkorzystniejszego wariantu lokalizacji inwestycji oraz optymalne usytuowanie obiektów budowlanych względem warunków geologiczno-inżynierskich; wstępne założenia rozwiązań projektowych	szczegółowe ustalenie nośności oraz warunków geologiczno-inżynierskich i warunków gruntowych pod każdy obiekt budowlany	sprawdzenie zgodności warunków geologiczno-inżynierskich i warunków gruntowych z badaniami i obserwacjami podczas budowy z ustalonymi w projekcie	kontrolowanie danych z monitoringu (analizy i prognozy); działania interwencyjne w przypadku zagrożenia
Zakres badań	nie planuje się badań	kartowanie geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne i sozologiczne w skali od 1:50 000 do 1:10 000; wierceń; badania geofizyczne; laboratoryjne badania klasyfikacyjne gruntów i skał	kartowanie geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne, geologiczne i sozologiczne w skali od 1:5 000 do 1:2 000; wierceń; sondowania; badania geofizyczne; laboratoryjne badania fizyczne i mechaniczne właściwości gruntów i skał	kartowanie geologiczno-inżynierskie w skali od 1:500 do 1:200; wierceń; sondowania; badania geofizyczne; laboratoryjne badania fizyczne i mechaniczne właściwości gruntów i skał	obserwacje terenowe przedstawiane w skali od 1:200 i większej; wierceń; sondowania; laboratoryjne badania fizyczne i mechaniczne właściwości gruntów i skał	zgodny z projektem monitoringu, w przypadkach interwencji uzależniony od stopnia zagrożenia
Forma przedstawienia projektowanych badań	–	projekt robót geologicznych; program badań	projekt robót geologicznych	projekt robót geologicznych; program badań laboratoryjnych; program badań polowych	program badań kontrolnych; projekt monitoringu	projekt monitoringu

- stopień skomplikowania warunków gruntowych na podstawie danych archiwalnych (rozdz. 2.1.1);
- charakterystykę geotechniczną obiektu budowlanego (rozdz. 2.1.1), jeśli możliwe, to określić podstawowe dane techniczne o konstrukcji lub sposób zagospodarowania terenu;
  - określić cel badań;
  - ocenić przydatność danych archiwalnych do projektowania (rozdz. 3.2);
  - przeprowadzić wizję terenową i wywiad środowiskowy (rozdz. 3.3);
  - dobrać rodzaj, zakres i metodykę badań;
  - uzgodnić zaprojektowane badania z odbiorcą dokumentacji (inwestorem, projektantem, wykonawcą);
  - przedstawić zaprojektowane badania w odpowiedniej formie (rozdz. 2.1.2; tab. 5).

Dodatkowo podczas doboru rodzaju, zakresu i metodyki badań konieczne jest, żeby:

- wiedzieć jakie są potrzeby inwestora, projektanta i wykonawcy względem obiektu budowlanego;
- znać wymagania obiektu budowlanego względem podłoża budowlanego;
- rozpoznać budowę geologiczną;
- określić warunki geologiczno-inżynierskie;
- wykonać prognozę zmian warunków geologiczno-inżynierskich na skutek realizacji inwestycji;
- wydzielić i scharakteryzować warstwy gruntów i skał;
- ustalić właściwości fizyczno-mechaniczne warstw gruntów i skał.

Zastosowanie się do wymienionych punktów pozwoli opracować wiarygodny model geologiczny terenu inwestycji i terenów sąsiadujących. Takie podejście daje gwarancję, że dokumentacja zostanie właściwie wykonana i będzie użyteczna nie tylko dla inwestora, lecz także dla projektanta i wykonawcy obiektu budowlanego.

Ogólne zalecenia do projektowania badań na poszczególnych etapach procesu inwestycyjnego zestawiono w tabeli 5.

Szczegółowe informacje dotyczące projektowania badań znajdują się w wielu pozycjach literatury. W tabeli 6 zestawiono publikacje, które zaleca się stosować podczas projektowania badań podłoża. Zawierają one szczegółowe zakresy, wytyczne i zalecenia odnośnie do dokumentowania geologiczno-inżynierskiego i geotechnicznego. Są ogólnodostępne, można z nich korzystać bezpłatnie, znajdują się m.in. na stronach internetowych Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB ([http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas\\_y\\_gi/publikacje](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje)), Ministerstwa Środowiska, PKP PLK oraz GDDKiA.

#### 4.1. OKREŚLENIE CELU PROJEKTOWANYCH BADAŃ PODŁOŻA

Celem badań jest określenie uwarunkowań geologiczno-inżynierskich niezbędnych dla realizacji inwestycji zgodnie z wymaganiami bezpieczeństwa i zasadami optymalizacji rozwiązań technicznych ze szczególnym uwzględnieniem wzajemnych oddziaływań między obiektem a podłożem gruntowym (rozdz. 4.2). Określając cel badań należy wskazać

problemy i zagadnienia, które w efekcie ich wykonania zostaną scharakteryzowane, ocenione i przedstawione w dokumentacji. Określenie celu projektowanych badań jest jedną z najważniejszych czynności dokumentowania, ponieważ wpływa na większość prac dokumentacyjnych. Z uwagi na ważność celów dzielimy je na podstawowe i szczegółowe. Cele podstawowe są określone prawnie lub formalnie i zazwyczaj wynikają wprost z przepisu, normy lub sformalizowanego dokumentu. Cele szczegółowe wspomagają osiągnięcie celu podstawowego i są określane w zależności od potrzeb.

Zgodnie z normą PN-EN 1997-2 celem podstawowym badań geotechnicznych *jest ustalenie warunków geotechnicznych (gruntów, skał i wody gruntowej), aby określić właściwości gruntów i skał, i aby zebrać dodatkową istotną wiedzę o danym terenie*. Podczas ustalania celu badań należy wziąć pod uwagę:

- etap badań (rozdz. 2.2.2);
- rodzaj budowli;
- rodzaj podłoża i jego stratygrafię;
- parametry geotechniczne potrzebne do obliczeń projektowych;
- porównywalne doświadczenie;
- wyniki obserwacji polowych na sąsiednich budowach.

Natomiast zgodnie z wymaganiami ustawy Prawo geologiczne i górnicze projekt robót geologicznych określa w szczególności cel zamierzonych robót oraz sposób jego osiągnięcia. W przypadku wykonywania dokumentacji geologiczno-inżynierskich podstawowym celem projektowanych prac i robót geologicznych jest określenie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby:

- zagospodarowania przestrzennego;
- posadawiania obiektów budowlanych;
- podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji lub podziemnego składowania odpadów;
- składowania odpadów na powierzchni;
- podziemnego składowania dwutlenku węgla.

W przypadku ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych cele to:

- zaliczenie obiektu budowlanego do odpowiedniej kategorii geotechnicznej;
- zaprojektowanie odwodnień budowlanych;
- przygotowanie oceny przydatności gruntów stosowanych w budowach ziemnych;
- zaprojektowanie barier lub ekranów uszczelniających;
- określenie nośności, przemieszczeń i ogólnej stateczności podłoża gruntowego;
- ustalenie wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego i podłoża gruntowego w różnych fazach budowy i eksploatacji, a także wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego z obiektami sąsiadującymi;
- ocena stateczności zboczy, skarp wykopów i nasypów;
- wybór metody wzmocnienia podłoża gruntowego i stabilizacji zboczy, skarp wykopów i nasypów;
- ocena wzajemnego oddziaływania wód gruntowych i obiektu budowlanego;
- ocena stopnia zanieczyszczenia podłoża gruntowego i dobór metody oczyszczania gruntów.

Cele szczegółowe powinny uwzględniać wymagania norm, ustaw regulujących zagadnienia budowlane i ustawy Prawo geologiczne i górnicze w zakresie zawartości dokumentacji, wymagania innych dokumentów branżowych, wymagania niestandardowe, doświadczenie dokumentatora i odbiorcy dokumentacji oraz dobre praktyki. Badania podłoża powinny umożliwić:

- określenie form geomorfologicznych;
- określenie form antropogenicznych;
- określenie położenia granic warstw geologicznych – model geologiczny;
- określenie litologii (rodzaju gruntu i skały);
- wyznaczenie przestrzenne gruntów problematycznych;
- określenie profilu wietrzeniowego skał;
- pobór próbek gruntów i skał;

- ocena właściwości fizyczno-mechanicznych wydzielonych warstw gruntów i skał;
- ocena gruntów z wykopów pod kątem możliwości wbudowania w nasyp;
- ocena wody gruntowej pod kątem agresywności względem betonu i stali;
- ocena masywu skalnego;
- ocena stopnia spękania i charakterystyka spękań;
- ocena stopnia zaburzenia tektonicznego i identyfikacja uskoku;
- wykrycie pustek, pustek górniczych i form krasowych;
- ocena parametrów masywu skalnego;
- identyfikacja i ocena zagrożeń geologicznych i geotechnicznych oraz analiza ryzyka;
- ocena i prognoza zmian warunków geologiczno-inżynierskich w wyniku realizacji inwestycji;

Tabela 6

**Zestawienie dostępnych publikacji przydatnych do projektowania badań**  
([http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas\\_y\\_gi/publikacje](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje))

Lp.	Tytuł opracowania	Zakres tematyczny	Rozdz. w tym poradniku
1.	Instrukcja sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach	instrukcja dotyczy metodyki i procedur cyfrowego sporządzania map geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 na potrzeby planowania przestrzennego w gminach	4.3
2.	Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich	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	4.3–4.10
3.	Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji kopalń	zasady mają charakter poradnika metodycznego i przeznaczone są jako materiał metodyczny do oceny geologiczno-inżynierskich uwarunkowań prac likwidacyjnych i zagospodarowania terenów likwidowanych i zlikwidowanych zakładów górniczych	4.9–4.10
4.	Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskich warunków posadowienia obiektów budownictwa morskiego i zabezpieczeń brzegu morskiego	opracowanie ma charakter poradnika w zakresie zagadnień związanych z badaniami geologiczno-inżynierskimi w granicach polskich obszarów morskich i w pasie nadbrzeżnym; w całości poświęcone jest badaniom geologiczno-inżynierskim w odniesieniu do szeroko rozumianego budownictwa morskiego i ochrony brzegu	4.6
5.	Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych	opracowanie ma charakter poradnika metodycznego w zakresie zagadnień związanych z badaniami geologiczno-inżynierskimi na potrzeby rekultywacji terenów zdegradowanych; poradnik zawiera informację na temat zasad dokumentowania geologiczno-inżynierskiego m.in. dla osuwisk i terenów podtapianych	4.7–4.10
6.	Zarządzenie nr 58 GDDKiA z 23 listopada 2015 r. w sprawie dokumentacji do realizacji inwestycji. Tekst zarządzenia, załącznik 1, załącznik 2, załącznik 3, załącznik 4, załącznik 5, załącznik 6, załącznik 7, załącznik 8	zeszyt 7 zawiera wymagania dla dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby projektowania infrastruktury drogowej	4.4
7.	Zasady sporządzania dokumentacji określających warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem dróg krajowych i autostrad	poradnik metodyczny, który szczegółowo omawia w jaki sposób opracować dokumentację hydrogeologiczną na potrzeby projektowania i budowy infrastruktury drogowej	4.4
8.	Wytyczne badań podłoża gruntowego dla potrzeb budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej	wytyczne zawierają wymagania, dotyczące rozpoznania i badań podłoża gruntowego pod obiekty infrastruktury kolejowej oraz informacje dotyczące metod badań, interpretacji oraz prezentacji ich wyników; określają i ujednoczają zasady projektowania prac, badań i robót geologicznych oraz programowania badań geotechnicznych i geologiczno-inżynierskich, służących do ustalania przydatności podłoża gruntowego i oceny warunków posadowienia obiektów liniowych i inżynierskich	4.4
9.	Zalecenia techniczne Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczące oceny warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych dla lokalizacji obiektów jądrowych	w zaleceniach prezes Państwowej Agencji Atomistyki wskazał rozwiązania, które są konieczne do najlepszego rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich oraz hydrogeologicznych pod kątem lokalizacji obiektu jądrowego, uwzględniając wpływ działalności człowieka	4.4
10.	Energia geotermalna	folder informacyjny o energii geotermalnej i pompach ciepła opracowany przez pracowników państwowej służby geologicznej i państwowej służby hydrogeologicznej zawiera podstawowe informacje dotyczące definicji, pozyskiwania danych geologicznych, przydatności działki do instalowania pomp ciepła	4.5



- ocena warunków hydrogeologicznych;
- ocena wahań poziomu wód gruntowych;
- ocena zanieczyszczeń chemicznych gruntów i wód podziemnych.

Właściwie określony cel badań stanowi podstawę do ustalenia i oceny warunków geologiczno-inżynierskich występujących w podłożu budowlanym inwestycji i w jej sąsiedztwie, a także do: zbudowania modelu geologicznego, wydzielenia i scharakteryzowania warstw gruntów i skał, zidentyfikowania zagrożeń, przeprowadzenia zarówno oceny geologicznego ryzyka realizacji inwestycji, jak i prognozy zmian warunków na obszarach sąsiadujących na skutek wykonania obiektu budowlanego.

W związku z tym cel badań podłoża powinien być właściwie określony, tak żeby odpowiadał potrzebom związanym z dokumentowaniem, był adekwatny do wymagań stawianych przez inwestorów, projektantów i wykonawców, był przydatny do projektowania, dostosowany do etapu procesu inwestycyjnego, rodzaju dokumentowania, etapu badań, stopnia skomplikowania warunków gruntowych, rodzaju projektowanego obiektu oraz sposobu posadowienia.

#### 4.2. USTALANIE RODZAJU, ZAKRESU I METODYKI BADAŃ

Ustalenie rodzaju, zakresu i metodyki badań jest podstawowym elementem projektowania badań. Czynności te powinny wykonywać osoby doświadczone, posiadające odpowiednie kwalifikacje i wymagane uprawnienia zawodowe, a w przypadku nietypowych obiektów budowlanych i skomplikowanych warunków gruntowych zespoły specjalistów i ekspertów. Zaleca się, żeby do każdego przypadku podchodzić indywidualnie, korzystając z publikacji branżowych, podręczników, norm oraz doświadczenia porównywalnego.

Projektując badania należy określić ich rodzaj, zakres i metodykę, które dobiera się w odniesieniu do:

- etapu procesu inwestycyjnego (rys. 10);
- rodzaju dokumentowania;
- etapu badań podłoża (rozdz. 2.2.2);
- skali inwestycji;
- stopnia skomplikowania warunków gruntowych (rozdz. 2.1.1);
- kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego (rozdz. 2.1.1) lub sposobu zagospodarowania terenu;
- celu badań;
- przydatności danych archiwalnych do projektowania (rozdz. 3.2);
- informacji pozyskanych z wizji terenowej i wywiadu środowiskowego (rozdz. 3.3).

##### Rodzaj badań terenowych i laboratoryjnych.

W ramach **badania terenowych** należy zaprojektować:

- kartowanie geologiczno-inżynierskie;
- wiercenia; wykopy w celu pobrania próbek gruntów i skał do badań laboratoryjnych;
- pomiary hydrogeologiczne;
- sondowania;
- badania geofizyczne;

- inne, np. badania: specjalistyczne, środowiskowe.

Kartowanie geologiczno-inżynierskie należy dostosować do skali map, które będą przedstawiać wyniki prowadzonych prac.

Sposoby wiercenia i pobierania próbek gruntów/skał wcześniej określała norma PN-B-04452, która została wycofana i zastąpiona przez normę PN-EN 1997-2. W normie PN-EN 1997-2 wskazano, że sprzęt wiertniczy należy dobrać zgodnie z:

- wymaganymi kategoriami próbek;
- głębokością, którą należy osiągnąć oraz wymaganą średnicą próbek;
- funkcjami wymaganymi przez urządzenia wiertnicze, np. rejestrowanie parametrów wiercenia, automatyczna lub manualna regulacja – szczegółowo przedstawione w normie PN-EN ISO 22475-1 (norma w wersji angielskiej).

Pomiary hydrogeologiczne należy prowadzić we wszystkich miejscach, gdzie taki pomiar jest możliwy: w otworach wiertniczych, studniach, ujęciach wód podziemnych i in.

Sondowania stanowią uzupełnienie wierceń i mają na celu uszczegółowienie przebiegu warstw w podłożu oraz charakterystykę właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał.

Badania geofizyczne stanowią podstawę do projektowania wierceń i sondowań. Zaleca się je jako badania wstępne oraz jako badania uzupełniające, wykonywane w miejscach wymagających bardziej szczegółowego rozpoznania, np. w miejscach stwierdzonych anomalii.

Badania specjalistyczne i środowiskowe należy projektować w zależności od konieczności.

Na potrzeby **badania laboratoryjnych** zaleca się planować rutynowe badania klasyfikacyjne oraz badania w celu wyznaczenia parametrów geotechnicznych.

Badania klasyfikacyjne są prowadzone na wszystkich etapach badań. Obejmują one:

- opis geologiczny i klasyfikację gruntu;
- oznaczenia:
  - wilgotności;
  - gęstości objętościowej;
  - porowatości;
  - granic konsystencji;
  - składu granulometrycznego;
  - wytrzymałości gruntu na ścinanie bez odpływu;
  - przepuszczalności;
  - wrażliwości.

W celu wyznaczenia wartości liczbowych parametrów geotechnicznych wykonuje się:

- oznaczenia gęstości objętościowej;
- oznaczenia wytrzymałości gruntu na ścinanie bez odpływu (tzw. proste ścinanie);
- badania edometryczne;
- badania przepuszczalności przy zmiennym spadku hydraulicznym;
- badania przepuszczalności przy stałym spadku hydraulicznym;
- badania w pierścieniowym aparacie bezpośredniego ścinania;
- badania w skrzynkowym aparacie bezpośredniego ścinania;

- oznaczenia składu granulometrycznego;
- badania trójosiowe;
- badania przepuszczalności w komorze trójosiowej;
- moduł sprężystości Younga i współczynnik Poissona;
- badania geomechaniczne skał;
- klasyfikację i opis rdzenia skalnego;
- badania skał.

**Zakres badań terenowych**, w tym rozmieszczenie i głębokość punktów dokumentacyjnych (wiercenia, sondowania, odkrywki itp.), projektuje się na podstawie wyników badań archiwalnych, uwzględniając stopień skomplikowania warunków gruntowych, rodzaj obiektu budowlanego, konsultacje z odbiorcami dokumentacji oraz występowanie możliwych potencjalnych zagrożeń. Zakres ten dobiera się w zależności od informacji, których brakuje i które należy uzupełnić w celu zaprojektowania konkretnego obiektu budowlanego, a nie pozyskano ich na wcześniejszych etapach procesu inwestycyjnego. Próbkę gruntów i skał uzyskuje się z każdej odmiennej warstwy występującej w podłożu gruntowym, która ma wpływ na zachowanie się budowli, w ustalonych odstępach, zazwyczaj nie większych niż 3 m. W gruntach o zróżnicowanej litologii stosuje się ciągłe rdzeniowanie otworu lub pobór próbek w małych odstępach. Próbkę pobiera się w sposób zapewniający wymagania szczegółowe oraz tak, żeby wyniki badań były równomiernie rozłożone w całej wydzielonej warstwie, zarówno w pionie, jak i w poziomie.

**Zakres badań laboratoryjnych** ustala się biorąc pod uwagę rodzaj i charakter oraz zagrożenia obiektu budowlanego, budowę geologiczną (stratygrafię, rodzaj gruntów i skał), lokalne procesy geologiczne i ich zasięg oraz wartości parametrów geotechnicznych konieczne do zaprojektowania lub budowy obiektu budowlanego. Badania laboratoryjne należy wykonywać na próbkach charakterystycznych dla każdej warstwy, szczególnie mało wytrzymałej lub silnie odkształcalnej, która ma wpływ na posadowienie i zachowanie się budowli.

**Metody badań terenowych i laboratoryjnych.** Badania projektuje się zgodnie z normami lub procedurami badawczymi. Zaleca się stosować normę PN-EN 1997-2 łącznie z powołanymi w niej normami i specyfikacjami uzupełniającymi (rys. 7). Możliwe jest także stosowanie wycofanych norm polskich w dokumentowaniu podłoża. Katalog Polskich Norm jest podany na stronie Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. W praktyce dokumentowania geologiczno-inżynierskiego i geotechnicznego obserwuje się stosowanie norm wycofanych z katalogu, jak również norm aktualnych. Taki stan wynika z dobrowolności ich stosowania, co reguluje ustawa o normalizacji (Dz.U. 2002 Nr 169 poz. 1386, z późn. zm.). Pomimo że stosowanie norm jest dobrowolne, w projekcie robót geologicznych i w programie badań, należy zawsze podać z jakich norm korzystano. Informacja ta jest niezwykle istotna przy weryfikowaniu i porównywaniu wyników badań zarówno laboratoryjnych, jak i polowych.

#### **Forma przedstawiania zaprojektowanych prac i badań.**

Zaprojektowane badania należy przedstawić w odpowiedniej formie, która zależy od etapu realizacji inwestycji oraz rodzaju dokumentowania (rozdz. 2.1.2; tab. 5). Na etapie

studium wykonalności zaleca się opracować program badań lub projekt robót geologicznych, na etapie koncepcji programowej – projekt robót geologicznych, na etapie projektu wykonać projekt robót geologicznych i program badań polowych i laboratoryjnych, na etapie budowy – program badań kontrolnych i projekt monitoringu, a na etapie eksploatacji – projekt monitoringu.

Ogólne zalecenia do projektowania badań na potrzeby zagospodarowania przestrzennego, budownictwa, ciepła ziemi, na obszarach morskich, na terenach zagrożeń geologicznych, obszarach występowania gruntów problematycznych oraz terenach zdegradowanych podano w rozdziałach 4.3–4.10.

### 4.3. PROJEKTOWANIE BADAŃ NA POTRZEBY PLANOWANIA PRZESTRZENNEGO

Rozpoznanie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby planowania przestrzennego jest zalecane dla prawidłowego i racjonalnego zagospodarowania terenów o różnej funkcjonalności. Syntetyczne, kompleksowe opracowania kartograficzne w odpowiedniej skali są najlepszą formą przedstawienia warunków i problemów geologiczno-inżynierskich, których znajomość jest wymagana do planowania przestrzennego (Jakubicz, Łodzińska, 1989). W praktyce krajowej nie ma obowiązku wykonywania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej sporządzanej w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby zagospodarowania przestrzennego (Dz.U. 2016 poz. 2033).

Zaleca się, żeby projektowanie badań na potrzeby planowania przestrzennego odpowiadało etapowi badań wstępnych zgodnie z normą PN-EN 1997-2 (rozdz. 2.2.2). Nadzrędnym celem dokumentowania jest określenie ogólnej przydatności terenu do celów budowlanych w nawiązaniu do istniejącej i planowanej infrastruktury z uwzględnieniem ogólnej stateczności, oszacowania skutków oddziaływania budowli na otoczenie, oceny bazy surowcowej (złóż kruszyw) i oceny konieczności wzmocnienia podłoża itp.

Badania na potrzeby zagospodarowania przestrzennego należy tak zaplanować, żeby była możliwa wiarygodna ocena przydatności terenu dla planowanego sposobu jego zagospodarowania. Ocena ta polega na ustaleniu i określeniu warunków geologiczno-inżynierskich (rozdz. 7.5), w tym:

- warunków geomorfologicznych;
- warunków geologicznych;
- warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych;
- występowania procesów geodynamicznych i innych niekorzystnych zjawisk geologicznych;
- występowania procesów i zjawisk antropogenicznych.

Zakres prac powinien być uzależniony od stopnia udokumentowania terenu (materiały archiwalne) oraz od jego przeznaczenia (planowany rodzaj zabudowy lub funkcja).

Zasadniczą różnicą w projektowaniu prac na potrzeby zagospodarowania przestrzennego w stosunku do dokumentowania dla innych celów jest prowadzenie badań w tzw. siatce o określonej gęstości. Na potrzeby planowania przestrzennego gęstość punktów dokumentacyjnych, w zależności

od skali mapy i stopnia złożoności budowy geologicznej terenu, zaleca się przyjmować zgodnie z tabelą 7.

Liczby te można modyfikować w zależności od przeznaczenia terenu, ograniczając np. liczbę punktów dokumentacyjnych na obszarach chronionych, a zwiększając na terenach inwestycyjnych lub przeznaczonych pod zabudowę w opracowaniach planistycznych. Podobnie w przypadku okonturowania np. gruntów problematycznych lub osuwisk liczbę badań zaleca się zwiększać, tak żeby osiągnąć zamierzony cel.

Głębokość punktów dokumentacyjnych na potrzeby planowania przestrzennego nie powinna przekraczać 6 m, z wyjątkiem przypadków, gdzie przewiercenie np. gruntów ściśliwych jest konieczne. Dotyczy to głównie gruntów organicznych, antropogenicznych i innych problematycznych oraz obszarów występowania zagrożeń geologicznych.

W wyjątkowych przypadkach w opracowaniach wielkoskalowych (np. w skali działki) jest dopuszczalne projektowanie głębszego rozpoznania w zagęszczonej siatce – gdy warunki w podłożu są skomplikowane i od badań zależy rozmieszczenie poszczególnych obiektów w obrębie działki.

W przypadku dokumentowania podłoża na potrzeby planowania przestrzennego szczegółowa charakterystyka właściwości fizyczno-mechanicznych warstw w podłożu ma mniejsze znaczenie. Istotniejszy jest przestrzenny układ warstw, ich wzajemne relacje, warunki wodne oraz możliwość wystąpienia niekorzystnych zjawisk geologicznych. Badania wytrzymałościowe i odkształceniowe na próbkach w laboratorium można ograniczyć do minimum lub opierać się na wynikach badań polowych (sondowań).

Szczegółowe informacje dotyczące projektowania badań na potrzeby planowania przestrzennego zawierają publikacje: Malinowski, 1960; Zarządzenie..., 1960; Kowalski, 1988; Jakubicz, Łódzińska, 1989; Glazer, Malinowski, 1991; Dobak, 2005; [http://geoportalski.gov.pl/atlas\\_y\\_gi/publikacje](http://geoportalski.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje), które zaleca się stosować w praktyce.

#### 4.4. PROJEKTOWANIE BADAŃ NA POTRZEBY BUDOWNICTWA

Podstawą badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa jest dobór takiego zakresu i metodyki badań, żeby uzyskać wymagane przez projektanta dane do zaprojektowania i wykonania obiektu budowlanego, w tym do posadowienia, odwodnienia, robót ziemnych itp. Takie projektowanie badań obejmuje bardzo szeroki obszar wiedzy, dotyczący różnych typów budownictwa, m.in.: lądowego (mieszkanio-owego, przemysłowego), wodnego, podziemnego, liniowego i morskiego.

Dokładność rozpoznania podłoża gruntowego w tym przypadku zależy od typu budownictwa, etapu procesu inwestycyjnego, stopnia skomplikowania warunków gruntowych i kategorii geotechnicznej obiektu. Ogólne wymagania do zakresu rozpoznania podłoża podaje załącznik krajowy do normy PN-EN 1997-1. Dla obiektów pierwszej kategorii geotechnicznej w prostych warunkach gruntowych wymaga się zaprojektowania badań terenowych w celu jakościowej oceny właściwości podłoża. Dla obiektów zaliczanych do drugiej kategorii geotechnicznej w prostych i złożonych warunkach gruntowych wymaga się zaprojektowania badań polowych i laboratoryjnych w celu określenia wartości parametrów geotechnicznych, a dla obiektów trzeciej kategorii geotechnicznej w prostych, złożonych i skomplikowanych warunkach gruntowych wymaga się – badań polowych, laboratoryjnych i specjalistycznych, w tym samym celu co powyżej.

Zakres projektowanych prac powinien zawsze uwzględniać wynik analizy materiałów archiwalnych i zebrane informacje z wizji lokalnej oraz z wywiadu środowiskowego zarówno o terenie inwestycji, jak i jej bezpośrednim sąsiedztwie.

W normie PN-EN 1997-2 określono następujące rozstawy punktów dokumentacyjnych rozpoznania podłoża:

- dla budowli wysokich i przemysłowych – w formie siatki z punktami w odległości od 15 do 40 m;

**Tabela 7**

**Wymagana gęstość punktów dokumentacyjnych w zależności od skali mapy i stopnia złożoności budowy geologicznej terenu (Kłosiński i in., 1998; Instrukcja, 1999)**

Skala mapy	Stopień złożoności podłoża	Liczba punktów na 1 km <sup>2</sup>	Liczba ha przypadająca na 1 punkt dokumentacyjny	Odległość między punktami w terenie [m]
1 : 25 000	proste	6÷10	17,00–10,00	400 dla 6 pkt/km <sup>2</sup> 200 dla 20 pkt/km <sup>2</sup>
	złożone	10÷15	10,00–6,60	
	skomplikowane	15÷20	6,60–5,00	
1 : 10 000	proste	20÷40	5,00–2,50	200 dla 20 pkt/km <sup>2</sup> 100 dla 80 pkt/km <sup>2</sup>
	złożone	40÷60	2,50–1,60	
	skomplikowane	60÷80	1,60–1,25	
1 : 5 000	proste	50÷100	2,00–1,00	150 dla 50 pkt/km <sup>2</sup> 50 dla 200 pkt/km <sup>2</sup>
	złożone	100÷150	1,00–0,66	
	skomplikowane	150÷200	0,66–0,50	

- dla budowli o dużej powierzchni – w kształcie siatki z punktami w odległościach nie większych niż 60 m;
- dla budowli liniowych (np. mosty drogi kolejowe, kanały, rurociągi, wały, tunele, ściany oporowe) rozstaw od 20 do 200 m;
- dla budowli specjalnych (np. mosty, kominy, fundamenty pod maszyny) – od 2 do 6 punktów badawczych na fundament;
- dla zapór i jazów – odległość od 25 do 75 m wzdłuż odpowiednich przekrojów.

Projektowana głębokość rozpoznania na rozważanym obszarze powinna obejmować przyszłą strefę oddziaływania budowli na środowisko geologiczno-inżynierskie, która najczęściej wynosi 2–30 m. O głębokości tej decyduje rodzaj projektowanego obiektu, jego wymiary, założenia technologiczne i konstrukcyjno-budowlane, przewidywane obciążenia, głębokość i sposób posadowienia, kategoria geotechniczna, stopień skomplikowania warunków gruntowych oraz dane z analizy dostępnych materiałów archiwalnych. Rozmieszczenie punktów dokumentacyjnych powinno umożliwić uzyskanie przestrzennego obrazu budowy geologicznej. Szczegółowe wymagania zawiera załącznik „B” do normy PN-EN 1997-2.

Do projektowania zakresu i głębokości rozpoznania podłoża można wykorzystać także zalecenia podane w normie PN-B-02479. Dla obiektów zaliczonych do pierwszej kategorii geotechnicznej liczbę punktów dokumentacyjnych określono w zależności od powierzchni zabudowy. Minimalna liczba tych punktów dla powierzchni zabudowy mniejszej niż 600 m<sup>2</sup> wynosi od 3 do 5. W praktyce najczęściej planuje się badania w każdym narożu budynku (4 badania), w odległości 2–3 m poza obrysem fundamentu. Projektowana głębokość rozpoznania najczęściej wynosi 3 m poniżej poziomu posadowienia. Dla obiektów o zwartym obrysie w planie, zaliczonych do drugiej kategorii geotechnicznej, projektowana odległość między punktami badawczymi nie powinna być większa niż 20 m. Według normy PN-B-02479 projektowana minimalna głębokość wierceń i sondowań wynosi:

- dla stóp i ław fundamentowych – od 1 do 3 szerokości fundamentu poniżej przewidywanego poziomu posadowienia, nie mniej niż 5 m;
- dla fundamentów płytowych – szerokość płyty poniżej przewidywanego poziomu posadowienia;
- dla fundamentów palowych – zazwyczaj 5-krotna średnica pala i nie mniej niż 3 m poniżej jego podstawy oraz każdorazowo głębokość zapewniającą bezpieczeństwo posadowienia;
- w obszarach występowania gruntów antropogenicznych – głębokość zależy od ich miąższości, ściśliwości i przyjmowanej strefy oddziaływania obiektu budowlanego;
- dla sprawdzenia stateczności podłoża – 5 m poniżej najgłębszych prawdopodobnych powierzchni poślizgu;
- dla głębokiego posadowienia obiektu – co najmniej 5 m poniżej przewidywanego zagłębienia podstaw pali, studni opuszczonych, ścianek szczelnych, ścian szczelinowych i in.;
- dla innych obiektów głębokość rozpoznania można określić podobnie jak dla drugiej kategorii geotechnicznej.

Ważne jest, żeby zaprojektować badania hydrogeologiczne, które umożliwią wskazanie położenia pierwszego poziomu wód podziemnych, amplitudy wahań poziomu wody i jej agresywności.

Zalecenia odnośnie do projektowania badań na potrzeby budownictwa zawierają następujące publikacje: Kowalski, 1988; Glazer, Malinowski, 1991; Wiłun, 2003; [http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas\\_y\\_gi/publikacje](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje), które zaleca się stosować w praktyce.

#### 4.5. PROJEKTOWANIE BADAŃ NA POTRZEBY POZYSKANIA CIEPŁA ZIEMI

Gruntowa pompa ciepła może wykorzystywać podłoże budowlane jako źródło ciepła i chłodu na różne sposoby. Najczęściej stosowane w Polsce rozwiązania to instalacje zamknięte (czynnik roboczy krąży w U-rurkach, przez które następuje wymiana ciepła z otaczającym masywem skalnym). W zakresie instalacji zamkniętych wyróżniamy wymienniki poziome (ZH), instalacje spiralne w otworach o niewielkiej głębokości (ZK), instalacje w palach fundamentowych i elementach posadowienia budowli (ZF) oraz instalacje w otworach wiertniczych (ZO), zwane również otworowymi wymiennikami ciepła (OWC). Stosowany w literaturze przedmiotu termin gruntowe wymienniki ciepła (GWC) jest używany w odniesieniu do każdego z dolnych źródeł systemów zamkniętych, niezależnie od ich rodzaju (Kapuściński, Rodzoch, 2010).

Instalacje w otworach wiertniczych (ZO), znane również jako otworowe wymienniki ciepła (OWC) lub pionowe sondy geotermalne, to najpopularniejsze rozwiązanie, które polega na umieszczeniu w otworze wiertniczym jednej lub dwóch rur z tworzywa sztucznego, wygiętych w kształcie litery U. Pierścieniowa przestrzeń otworu wiertniczego dookoła U-rurki jest wypełniana masą cementowo-bentonitową, w celu zamknięcia poziomów wodonośnych i zabezpieczenia przed zanieczyszczeniem. Tak wykonane otworowe wymienniki ciepła mają zazwyczaj średnicę ok. 132–165 mm, a średnia głębokość odwiertów, w których są montowane, mieści się w przedziale 50–100 m. Minimalne odległości między sąsiednimi wymiennikami są zależne od głębokości ich instalacji, wynoszą w przybliżeniu 10% głębokości odwiertu. Otworowe wymienniki ciepła charakteryzują się wysoką efektywnością w porównaniu do systemów horyzontalnych czy spiralnych. W zależności od rodzaju gruntów ich jednostkowa wydajność cieplna wynosi od 20 do nawet 70 W/m.b. W przypadku większych obiektów wykonuje się zespoły otworowych wymienników ciepła, zwane polami geotermalnymi, liczące od kilkunastu do nawet kilkuset odwiertów.

Instalacje poziome (ZH), zwane też poziomymi kolektorami ciepła, są to horyzontalnie rozmieszczone wymienniki ciepła, zwykle wykonane z tworzywa sztucznego i ułożone w gruncie poziomo, co najmniej 20 cm poniżej głębokości przemarzania, z reguły na głębokości 1,2–1,5 m. Rury są układane równolegle, w odstępach 0,5–0,8 m. Na metr kwadratowy powierzchni grzewczej przypada w przybliżeniu ok. 1,3–3,0 m.b. przewodu. Nośnikiem ciepła jest solanka, która

pochłania ciepło z gruntu i przekazuje je do pompy ciepła (Kozdrój, Kłonowski, 2014). Wydajność instalacji poziomych wynosi średnio 20–60 W/m<sup>2</sup>, w zależności od warunków geologicznych i stopnia zawodnienia.

Instalacje spiralne montowane w wykopach o niewielkiej głębokości (ZK), zwane także koszowymi gruntowymi wymiennikami ciepła (GWC). Wykorzystywane są rury z polietylenu sieciowanego PE-X, który umożliwia spiralne ich skręcenie przy małym promieniu gięcia. Instalacje tego typu układa się w wykopach o głębokości nieprzekraczającej 5,0 m, bez konieczności stosowania wyspecjalizowanego sprzętu wiertniczego. Zaletą jest możliwość ich stosowania w trudnych warunkach geologicznych oraz tam, gdzie ze względu na kształt działki zabudowa innego typu wymienników ciepła jest niemożliwa. W zależności od warunków geologicznych i stopnia zawodnienia wydajność wymienników koszowych szacunkowo wynosi 240–560 W na wymiennik (Port PC, 2013).

Instalacje pionowe w elementach posadowienia (ZF), tzw. termicznie aktywne elementy budowlane, są to przeważnie elementy posadowienia obiektów wielkokubaturowych (np. budynki wysokościowe, stacje i tunele metra, terminale lotniskowe), obejmujące pale fundamentowe, ściany szczelinowe, płyty fundamentowe czy elementy okładzinowe tuneli, wyposażone w wymienniki ciepła w postaci rur z tworzyw sztucznych przytwierdzonych do koszu zbrojeniowych. Beton posiada wysokie współczynniki przewodzenia ciepła, więc termicznie aktywne elementy budowlane stają się idealnym wymiennikiem ciepła oraz mogą służyć, wraz z otaczającym je gruntem, jako magazyn energii cieplnej. Ten typ instalacji jest intensywnie rozwijany w niektórych krajach Europy, np. Szwajcarii i Austrii. W Polsce rozwiązanie to jeszcze nie jest stosowane. Główną zaletą tych systemów jest czynnik ekonomiczny – elementy posadowienia są konieczne dla każdego obiektu, zatem przy niewielkich dodatkowych kosztach inwestycyjnych można je wyposażyć w wymienniki ciepła i uzyskać efektywny system geotermalny. Głębokość zabudowy termicznie aktywnych elementów budowlanych może przekraczać nawet 30 m, np. dla budynków wysokościowych.

Uwarunkowania formalnoprawne są różne dla poszczególnych typów systemów dolnego źródła ciepła. Wykonywanie instalacji poziomych (ZH), instalacji spiralnych w otworach o niewielkiej głębokości (ZK) oraz instalacji w palach fundamentowych (ZF) nie jest regulowane ustawą Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2017 poz. 2126) – zgodnie z art. 3, ust. 2 przepisów nie stosuje się do wykopów oraz otworów wiertniczych o głębokości do 30 m wykonywanych w celu wykorzystania ciepła ziemi, poza obszarami górniczymi. Spośród powszechnie stosowanych dolnych źródeł ciepła w systemach zamkniętych, jedynie wykonywanie otworowych wymienników ciepła o głębokości większej niż 30 m jest robotą geologiczną i podlega przepisom Prawa geologicznego i górniczego. W przedziale głębokościowym 30–100 m sporządza się projekt robót geologicznych, który jest zgłaszany odpowiednim miejscowo organom administracji geologicznej. Dla głębokości przekraczających 100 m konieczne jest dodatkowo wykonanie planu ruchu zakładu górniczego,

który należy zatwierdzić w odpowiednim miejscowo Okręgowym Urzędzie Górniczym. W sytuacji gdy planowane wiercenia pod otworowe wymienniki ciepła będą zlokalizowane na terenie górniczym, to projekt robót geologicznych i plan ruchu zakładu górniczego należy sporządzać w każdym przypadku (niezależnie od głębokości). Informacje na temat liczby i głębokości otworów wiertniczych można znaleźć w literaturze przedmiotu (Rubik, 2011).

W przypadku projektowania i dokumentowania otworowych wymienników ciepła prace powinny obejmować:

- analizę materiałów archiwalnych, obejmującą dostępne geologiczne mapy seryjne, archiwalne profile otworów badawczych, dane o właściwościach fizyczno-mechaniczno-termicznych gruntów i skał, informacje o występujących w miejscu projektowanych wierceń zagrożeniach geologicznych (np. warunki artezyjskie, strefy ochronne wód podziemnych, występowanie pęczniejących warstw anhydrytu i in.);
- przegląd map geotermalnych, które wspomagają proces wstępnego planowania instalacji – nie mogą jednak zastąpić indywidualnego procesu tworzenia poprawnego projektu robót/dokumentacji oraz wykonania obliczeń parametrów cieplnych skał (w tabeli 8 przedstawiono trzy przykładowe źródła danych zawierające mapy potencjału płytkiej energii geotermalnej);
- opis profilu rzeczywistego, obejmujący możliwe najdokładniejszą charakterystykę makroskopową przewiercanych warstw – wiercenia pod otworowe wymienniki ciepła nie są rdzeniowane, opis profilu rzeczywistego jest sporządzany na podstawie pozostałości na sitach przewiercanych skał i gruntów;
- pomiar naturalnej temperatury gruntu, po wykonaniu otworowego wymiennika ciepła należy opracować profil naturalnej temperatury gruntu za pomocą termometru zapuszczanego do wnętrza rurki wymiennika, pomiar należy przeprowadzić co najmniej po 7 dniach od zakończenia wiercenia, kiedy naturalna temperatura gruntu zaburzona procesem wiercenia i ciepłem reakcji wiązania zaczynu cementowego wypełniającego przestrzeń pierścieniową wróci do stanu początkowego; zalecany interwał pomiarowy przy wykonywaniu profili temperaturowych to 2 m do głębokości 20 m oraz 5 m przy głębokościach poniżej 20 m p.p.t. (badanie to pozwala również na kontrolę głębokości wykonanego otworowego wymiennika ciepła);
- test reakcji termicznej (TRT), który zawsze powinien być wykonywany dla dużych instalacji, o łącznej mocy cieplnej gruntowej pompy ciepła powyżej 100 kW, badanie TRT należy przeprowadzić w odwiercie pilotażowym lub w pierwszym z serii przewidzianych do wywiercenia w planowanej inwestycji geotermalnej;
- badanie dyssypacji termicznej, będące uzupełnieniem testu TRT, zaleca się wykonywać dla minimum trzech profili temperaturowych, pomiar należy przeprowadzić bezpośrednio po zakończeniu ogrzewania gruntu testem TRT, a następnie w godzinnych interwałach; badanie pozwala na określenie dobowych i sezonowych zmian temperatury, oszacowanie tempa oddawania temperatury

Tabela 8

**Zestawienie przykładowych źródeł informacji geologicznej  
do projektowania otworowych wymienników ciepła (Rzyński, Majer, 2015)**

Lp.	Źródło danych	Skala	Adres internetowy	Treść	Instytucja	Przydatność do projektowania dolnych źródeł ciepła w systemach geotermii niskotemperaturowej
1.	Serwis mapowy Miasta Stołecznego Warszawa	różna	www.mapa.um.warszawa.pl	kompozycja „Mapa OZE” zawiera m.in. mapę geotermii niskotemperaturowej dla obszaru Miasta St. Warszawy oraz kalkulator energetyczny OZE	Urząd Miasta Stołecznego Warszawa	mapa sporządzona dla głęb. 80 m i 2400 godzin pracy pompy ciepła rocznie
2.	TransGeoTherm	siatka modelu 3D 25×25 m	www.transgeotherm.eu	energia geotermalna dla transgranicznego rozwoju regionu Nysy; projekt pilotażowy PL-DE w rejonie Zgorzelca i Görlitz; mapy i model geologiczny 3D; broszura informacyjna na temat stosowania płytkiej geotermii	PIG-PIB; Saksońska służba geologiczna (LfULG)	mapy geotermalne współczynnika mocy cieplnej [W/m] oraz wartości przewodności cieplnej skał podłoża [W/m·K]
3.	Thermo Map	1 : 250 000 (obszary szczegółowe w skali od 1 : 5 000 do 1 : 50 000)	www.thermomap-project.eu	poglądowa mapa potencjału niskotemperaturowej energii geotermalnej do głębokości 10 m; obejmuje obszar całej Europy	projekt międzynarodowy (Francja, Islandia, Węgry, Rumunia, Wielka Brytania, Belgia, Niemcy, Austria, Grecja)	dane tylko do głęb. 10 m; przydatne do projektowania systemów ZH i ZK; zawiera informację o obszarach z ograniczeniami w wykorzystaniu energii geotermalnej

przez grunt oraz na wyłonienie stref anomalii temperatury (np. dobrze przepuszczalnych warstw gruntów lub niepoprawnie wykonaną iniekcję w odwiercie).

W przypadku dużych instalacji, o mocy pompy ciepła >100 kW (np. wielorodzinne budynki mieszkaniowe, hotele, obiekty przemysłowe, hale produkcyjne i in.), projektowanie systemu gruntowych pomp ciepła powinno rozpoczynać się już na etapie prac studialnych. Bardzo ważna jest współpraca geologa dokumentującego warunki geologiczno-inżynierskie z projektantem instalacji pomp ciepła, polegająca na wykonaniu w ramach opracowania badań podstawowych właściwości termicznych. Jako podstawowy parametr termiczny do projektowania otworowych wymienników ciepła uznaje się współczynnik przewodzenia ciepła ( $\lambda$  [W/m·K]). Poprawne oznaczenia właściwości termicznych gruntów ma kluczowe znaczenie dla zaprojektowania wydajnej instalacji geotermalnej, która będzie w stanie pokryć zapotrzebowanie na ciepło i chłodzenie planowanego obiektu. W celu zwymiarowania pól geotermalnych dla dużych instalacji stosuje się obliczenia w programach numerycznych (np. *Earth Energy Designer* lub *FEFLOW*), w których są wykorzystywane dane z badań laboratoryjnych (m.in. badanie igłą termiczną) oraz terenowych (test TRT).

Rekomendowanym dokumentem w języku polskim, w którym podano zasady projektowania otworowych wymienników ciepła, instalacji geotermii niskotemperaturowej opartych na gruntowych pompach ciepła są Wytyczne Portu PC (Port PC, 2013). Polecanymi monografiemi w zakresie systemów geotermii niskotemperaturowej są pozycje *German Geological Society* (DGGV) i *German Geotechnical Society* (DGGT) z 2016 r. Zalecenia dotyczące projektowania badań geotermalnych w zakresie określenia przewodności cieplnej

skał i gruntów z zastosowaniem wymiennika ciepła w otworze wiertniczym zawiera norma PN-EN ISO 17628:2015-09, dostępna wyłącznie w języku angielskim.

#### 4.6. PROJEKTOWANIE BADAŃ NA OBSZARACH MORSKICH

Polskie obszary morskie, zgodnie z definicją podaną w ustawie o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej (Dz.U. 2016 poz. 2145), to:

- morskie wody wewnętrzne,
- morze terytorialne,
- strefa przyległa,
- wyłączna strefa ekonomiczna.

Teren bezpośrednio sąsiadujący z obszaramiorskimi to pas nadbrzeżny, który jest opisany jako obszar lądowy przyległy do linii brzegu morskiego (Dz.U. 2016 poz. 2145). W skład pasa nadbrzeżnego wchodzi: pas techniczny stanowiący strefę wzajemnego bezpośredniego oddziaływania morza i lądu, pas ochronny obejmujący obszar, w którym działalność człowieka wywiera bezpośredni wpływ na stan pasa technicznego.

Obszary morskie i pas nadbrzeżny podlegają degradacji zarówno naturalnej (erozja, akumulacja), jak i antropogenicznej (zabudowa, refulacja).

Zagadnienia dotyczące wykonywania badań na obszarach morskich i w pasie technicznym nie są objęte zaleceniami Eurokodu 7. Jedynie w normie PN-EN 1997-1 znajduje się zapis, że należy sprawdzić stateczność ogólną, z uwzględnieniem fundamentów lub bez fundamentów, szczególnie w następujących sytuacjach: w pobliżu rzeki, kanału, jeziora, zbiornika lub brzegu morza.

Problematyka dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla posadowienia budowli morskich, różniących się zasadniczo od warunków na lądzie, kompleksowo została przedstawiona w publikacji „Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskich warunków posadowienia obiektów budownictwa morskiego i zabezpieczeń brzegu morskiego” (dostęp: [http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas\\_y\\_gi/publikacje](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje)). Zaleca się stosować jej wytyczne w zakresie metodyki dokumentowania i projektowania badań podłoża na potrzeby posadowienia morskich obiektów inżynierskich w odniesieniu do rodzaju budowli. W projektowaniu takich badań powinno się wykorzystywać informacje dotyczące charakterystyki geologicznej osadów dna południowego Bałtyku oraz zagadnień hydro- i litodynamiki strefy brzegowej.

Podczas projektowania badań podłoża na obszarach morskich i w pasie technicznym należy uwzględnić:

- specjalne zasady rozstawu punktów dokumentacyjnych, określania głębokości i doboru metodyki badań terenowych w warunkach morskich;
- pomiary batymetryczne i obserwacje czystości dna przy wykorzystaniu sonaru i magnetometru w celu rozpoznania powierzchni dna morskiego;
- profilowania sejsmoakustyczne do rozpoznania budowy geologicznej podłoża;
- pobór próbek gruntu do badań laboratoryjnych za pomocą wierceń pełnordzeniowych, wibrosond i penetrometru statycznego;
- badania polowe w warunkach morskich m.in. z dna otworu wiertniczego w systemie zaburtowym lub otworowym;
- laboratoryjne badania parametrów fizyczno-mechanicznych, zwłaszcza w zakresie podanym w normach międzynarodowych stosowanych w badaniach morskich powiązanych z Eurokodem 7;
- doświadczenie porównywalne.

Przed przystąpieniem do projektowania tych badań zaleca się zapoznać z przykładami zrealizowanych już badań dla wybranych obiektów, w tym platform wiertniczych, rurociągów podmorskich, boi cumowniczo-przelewowych, głębokowodnych terminali kontenerowych oraz zabezpieczeń zboczy klifowych.

#### 4.7. PROJEKTOWANIE BADAŃ NA TERENACH ZAGROŻEŃ GEOLOGICZNYCH

Tereny, na których występują zagrożenia geologiczne zalicza się do obszarów o skomplikowanych warunkach gruntowych zgodnie z zapisami Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463), zaś obiekty budowlane posadawiane na takich obszarach będą zawsze zaliczane do trzeciej kategorii geotechnicznej. W konsekwencji, zgodnie z obowiązującymi w 2017 r. przepisami, na potrzeby projektu budowlanego wykonuje się projekt robót geologicznych, dokumentację geologiczno-inżynierską i dokumentację badań podłoża.

##### 4.7.1. Projektowanie badań na terenach osuwiskowych i klifowych

Na terenie kraju wyróżnia się osiem rejonów osuwiskowych (Kaczyński, 2017):

- wybrzeże Bałtyku;
- obszar pojezierzy;
- dolina Wisły i wybranych rzek;
- pokrywy lessowe Lubelszczyzny i okolic Sandomierza;
- obszar świętokrzyski;
- zapadlisko przedkarpackie;
- obszar sudecki;
- obszar karpacki – dominujący.

Rejony występowania osuwisk i terenów narażonych na ruchy masowe ziemi na terenie kraju przedstawiono na rysunku 13.

Powszechnie stosowanymi klasyfikacjami ruchów masowych ziemi, na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, są klasyfikacja Kleczkowskiego (1955) zmieniona w 1998 r. (Kłosiński i in.) i 1999 r. (Bażyński i in.) oraz klasyfikacja osuwisk zaproponowana przez Varnesa (1978) (rys. 14).

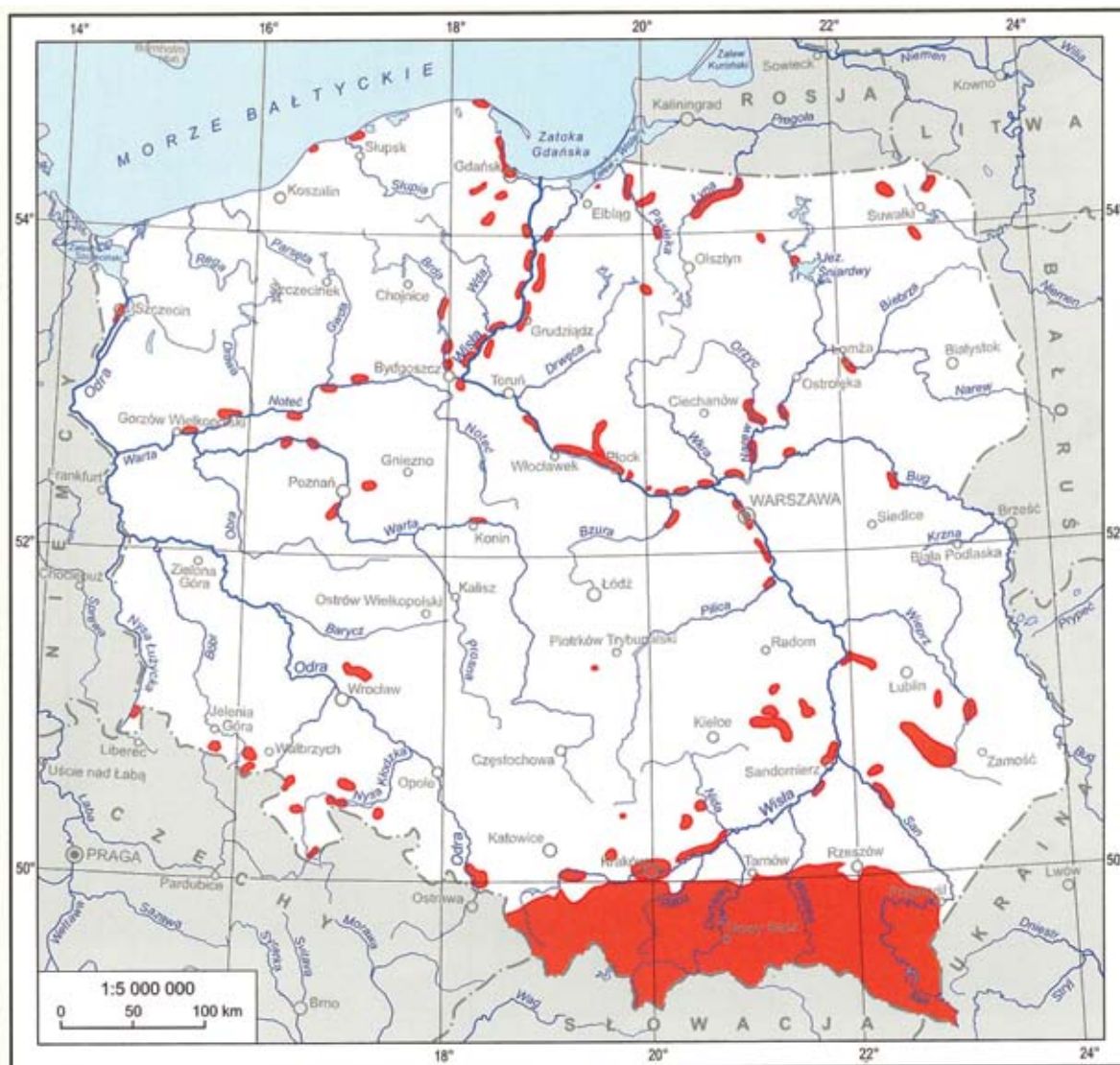
Badania na terenach osuwiskowych należy tak zaprojektować, żeby możliwa była ocena:

- sposobu użytkowania i stanu zagospodarowania terenu z uwzględnieniem obciążeń dodatkowych (nasypy, zwały, budowle), podcięć skarp i zboczy i in.;
- uszkodzeń i zniszczeń obiektów budowlanych;
- formy osuwiskowej;
- aktywności procesów osuwiskowych na obszarze ich wystąpienia i na terenach przyległych z charakterystyką faz rozwoju osuwiska;
- stateczności zboczy i kryteriów doboru metod obliczeniowych;
- możliwości zabezpieczenia zboczy wraz ze wskazaniem kierunków doraźnego i docelowego zabezpieczenia obszaru objętego procesami osuwiskowymi;
- propozycji zagospodarowania terenu przekształconego procesami osuwiskowymi przy uwzględnieniu wysokości i kąta nachylenia zbocza;
- rodzaju zagrożeń geologicznych na etapie wykonywania prac zabezpieczających oraz w przypadku awarii;
- ryzyka geologicznego wystąpienia dalszych procesów osuwiskowych na dokumentowanym terenie;
- założeń do monitoringu.

Norma PN-EN 1997-2 tylko w pkt. 2.4.1.3 podaje informacje dotyczące rozmieszczenia punktów dokumentacyjnych w rejonie skarp w celu oszacowania jej stateczności.

Podczas projektowania badań podłoża na terenach osuwiskowych należy uwzględnić:

- analizę materiałów archiwalnych, zaleca się skorzystać z rejestrów osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi prowadzonych przez starostów, danych z projektu SOPO (System Osłony Przeciw Osuwiskowej – [osuwiska.pgi.gov.pl](http://osuwiska.pgi.gov.pl)), mapy obszarów podatnych na osuwiska w skali 1:50 000 ([osuwiska.pgi.gov.pl](http://osuwiska.pgi.gov.pl)), atlasów geologiczno-inżynierskich ([atlas.pgi.gov.pl](http://atlas.pgi.gov.pl));



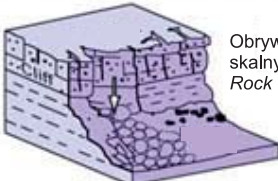
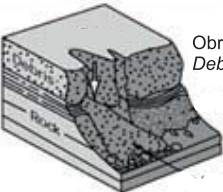

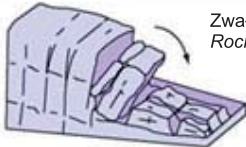

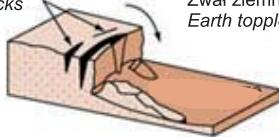

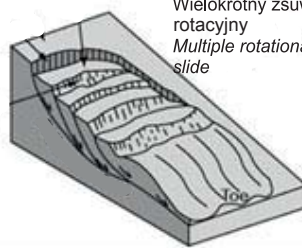
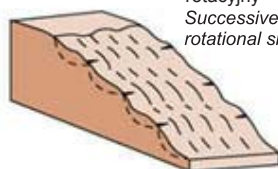
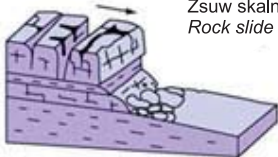

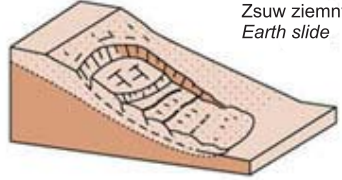
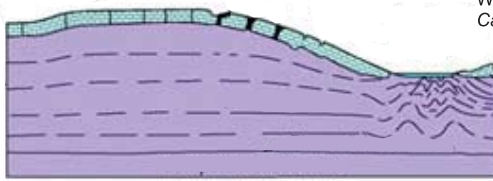

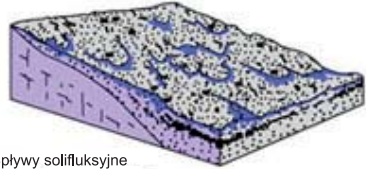
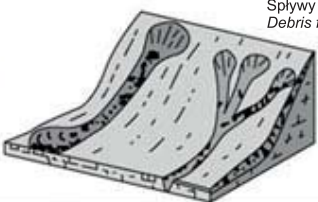
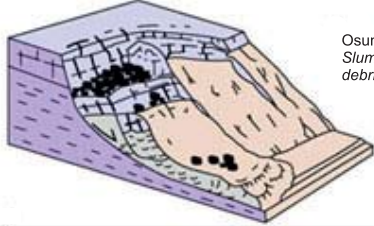
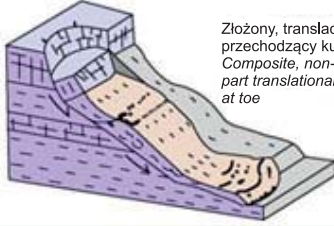
Rys. 13. Występowanie osuwisk i terenów podatnych na osuwiska w Polsce (Nawrocki, Becker, 2017)

- dane teledetekcyjne umożliwiające opracowanie cyfrowego modelu terenu oraz określenie granic osuwiska;
- kartowanie geologiczno-inżynierskie, w tym zaprojektować prace umożliwiające: określenie zasięgu osuwiska lub terenu podatnego do jego wystąpienia, wykonanie pomiarów nachylenia warstw (biegu i upadu), sprofilowanie odsłoneń, inwentaryzację elementów tektoniki (uskoki, nasunięcia itp.), wskazanie miejsc przejawów wód gruntowych (wysięki, podmokłości), inwentaryzację uszkodzeń infrastruktury oraz okolicznych zabudowań;
- badania geofizyczne, projektowane na potrzeby odpowiedniego rozmieszczenia i głębokości punktów dokumentacyjnych oraz w celu identyfikacji powierzchni poślizgu, osłabień;
- wiercenia i sondowania projektowane na podstawie wstępnych badań geofizycznych;
- badania laboratoryjne do określenia wartości wyprowadzonych właściwości próbek gruntów i skał.

W celu poprawnego zaprojektowania i udokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na omawianych terenach zaleca się stosowanie poradnika „Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych” (Frankowski i in., 2012) oraz Instrukcji PKP (2016). W wymienionym poradniku podano dokładny zakres badań dla obszarów zdegradowanych przez osuwiska i zawarto w nim szczegółowe dane dotyczące m.in.:

- zasad lokalizowania i liczby otworów wiertniczych;
- liczby próbek koniecznych do wykonania badań laboratoryjnych;
- liczby sondowań parametrycznych;
- dodatkowych badań geofizycznych wykonywanych w miejscach niedostępnych dla maszyn wierzących i sondujących;
- zalecanych technologii wierceń oraz rodzajów sondowań parametrycznych;



Material Material		SKAŁA ROCK	ZWIETRZELINA DEBRIS	GRUNT EARTH
Rodzaj przemieszczenia Movement type				
OBRYWY FALLS		 Obryw skalny Rock fall	 Obryw gruzowy Debris fall	 Obryw ziemny Earth fall
	ZAWAŁY TOPPLES	 Zwał skalny Rock topple	 Zwał gruzowy Debris topple	 Szeliny Cracks Zwał ziemny Earth topple
ZSUWY SLIDES	ROTACYJNE ZE ŚCINANIA ROTATIONAL	 Pojedynczy zsuw rotacyjny Single rotational slide	 Wielokrotny zsuw rotacyjny Multiple rotational slide	 Postępujący zsuw rotacyjny Successive rotational slide
	PŁASKIE STRUKTURALNE PLANAR	 Zsuw skalny Rock slide	 Zsuw gruzowy Debris slide	 Zsuw ziemny Earth slide
ZEŚLIZGI SPREADS		 Wybrzuszenie Cambering and valley bulging		 Rozsuw ziemny Earth spread
SPLYWY FLOWS		 Splywy soliflukcyjne Solifluction flows	 Splywy gruzowe Debris flow	Splyw ziemny (błotny) Earth flow (mud flow)
PROCESY ZŁOŻONE COMPLEX		 Osunięcie ziemno-gruzowe Slump-earthflow with rockfall debris	 Złożony, translacyjno-rotacyjny zsuw przechodzący ku dołowi w splyw ziemny Composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

Rys. 14. Klasyfikacja powierzchniowych ruchów masowych (Varnes, 1978)

– rodzajów badań laboratoryjnych, które wykonuje się na potrzeby wyznaczenia wartości wyprowadzonych parametrów geotechnicznych.

W Instrukcji PKP (2016) zakres wytycznych poszerzono o tereny narażone na wystąpienia osuwisk.

#### 4.7.2. Projektowanie badań na terenach krasowych

W Polsce tereny krasowe należy wiązać z obszarami występowania skał węglanowych i gipsów. Kras węglanowy udokumentowano na obszarach Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, Wyżyny Lubelskiej, w Tatrach, w Górach Świętokrzyskich (Starachowice, Busko-Zdrój). Kras solny występuje m.in. w rejonach Wieliczki, Inowrocławia i Ciechocinka (rozdz. 7.4).

Badania na terenach krasowych należy tak zaprojektować, żeby możliwe było określenie:

- zasięgu występowania form krasowych;
- charakteru wypełnienia i pustek;
- stropu i spągu skał podatnych na występowanie zjawisk krasowych;
- kierunków rozwoju form krasowych;
- wodochłonności górotworu (istotne w przypadku budownictwa hydrotechnicznego).

Zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1997-1 w przypadku budowli posadowionych na skale lub w jej pobliżu w projektowaniu geotechnicznym należy uwzględnić możliwość wystąpienia zjawisk krasowych (kawern, szczelin lub czynnych procesów krasowych). Norma nie podaje jednak zaleceń, w jaki sposób dokumentować takie tereny.

Podczas projektowania badań podłoża na terenach krasowych należy uwzględnić:

- analizę materiałów archiwalnych;

- kartowanie geologiczno-inżynierskie polegające na obserwacji powierzchniowych form krasowych, ucieczek wód, wywierzyisk itp.;
- dane teledetekcyjne, w celu ustalenia powierzchniowych deformacji, które mogą wskazywać na istnienie form krasowych;
- badania geofizyczne, w szczególności tomografię elektrooporową, mikrograwimetrię oraz georadar, w celu zinventaryzowania wielkości form i sieci połączeń;
- wiercenia kontrolne w miejscach stwierdzonych anomalii geofizycznych oraz w celu pobrania próbek do badań wytrzymałościowych.

Zalecany zakres prac dokumentacyjnych dla terenów krasowych przedstawiono w tabeli 9.

Aby poprawnie zaprojektować badania i udokumentować warunki geologiczno-inżynierskie na terenach krasowych zaleca się stosowanie poradnika „Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych” (Frankowski i in., 2012), gdzie podano szczegółowy zakres badań dla obszarów krasowych.

#### 4.7.3. Projektowanie badań dla obszarów deformacji glacictektonicznych

Glacictektonika to mechaniczne oddziaływanie lodowca na jego podłoże, prowadzące do przemieszczania jego fragmentów. Deformacje glacictektoniczne powstają w wyniku statycznego (obciążenie) lub dynamicznego (ruch) oddziaływania lodowca na jego podłoże w czasie rozwoju i zaniku zlodowacenia (Lindner, 1992) (rys. 15).

Obciążenie lodem oraz powstawanie w podłożu glacystycznych naprężeń pionowych i bocznych prowadzi do utworzenia różnorodnych deformacji glacictektonicznych typu: czołowe i boczne moreny wyciśnięcia, glacictektoniczne

Tabela 9

Zalecany zakres prac dokumentacyjnych dla terenów krasowych przeznaczonych na potrzeby budownictwa (Frankowski i in., 2012)

Czynność	Minimalny zakres prac	Uwagi
Badania geofizyczne	siatka profili o wymiarach: 200/200 m – etap wstępny, 100/100 m – etap podstawowy, 25/25 m – etap szczegółowy	liczba i rodzaj badań geofizycznych zależy od powierzchni terenu oraz budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych
Odległość pomiędzy otworami badawczymi	200–300 m – etap wstępny, 50–100 m – etap podstawowy, 5–25 m – etap szczegółowy	odległość między otworami zależy od skali mapy oraz kierunku rekultywacji i sposobu zagospodarowania, wybór odległości między otworami należy uzasadnić
Głębokość otworów badawczych	do stropu skały lub 2–5 m poniżej stropu skały, np. w przypadku płytko występujących jaskiń	głębokość rozpoznania zależy od: morfologii stropu skał, płytko występujących jaskiń, kierunku rekultywacji i sposobu zagospodarowania
Sondowania	ustalany indywidualnie	w uzasadnionych przypadkach
Pobór próbek gruntów i skał do oznaczeń makroskopowych	co 1 m lub co zmianę litologii	–
Pobór próbek gruntów i skał do badań fizycznych	5 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	–
Pobór próbek gruntów i skał do badań mechanicznych	w zależności od rodzaju zaprojektowanych badań mechanicznych oraz sposobu zagospodarowania terenu	–

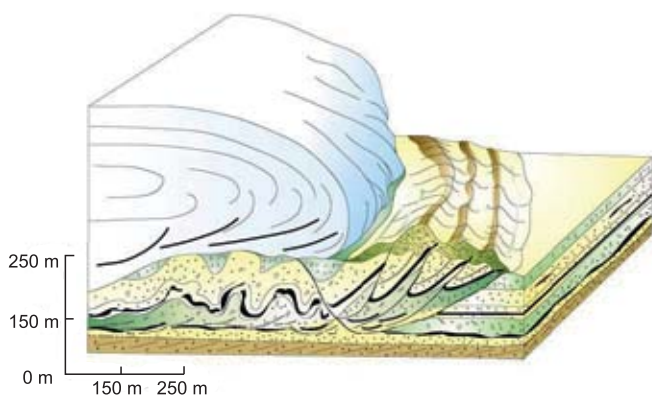
depresje źródłowe, wypiętrzenia diapirowate, niektóre odmiany moreny żłobkowej lub zbrekcionowanie. Wskutek obciążenia lub topnienia lodu zachodzi zjawisko subsydencji (obniżania) bądź wypiętrzania podłoża zwane glaciostazją (Lindner, 1992). Ruch lodowca powoduje wytworzenie w podłożu glacydynamicznych naprężeń bocznych oraz naprężeń ścinających, co prowadzi do rozwoju deformacji glacitektonicznych przejawiających się sfałdowaniem, przelaniem i pocięciem uskokiemi, czasem połączone z oderwaniem od podłoża (kry, porwaki) deformowanego materiału. Podczas ruchu lodowca w strefie jego krawędzi mogą powstawać moreny czołowe i spiętrzone. Strefy krawędziowe podlegają glacitektonice krawędziowej, co ujawnia się w postaci sfałdowania lub zruskowacenia osadów (Lindner, 1992).

Deformacje glacitektoniczne występują na obszarach związanych z naciskiem i ruchem lodowca (strefa zlodowaceń). Z obserwacji wynika, że większa ich intensywność obserwowana jest w strefie przypowierzchniowej, zasięg głębokościowy wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset metrów (średnio 100–150 m), a deformacjom uległy głównie osady czwartorzędu oraz neogenu i paleogenu (Lindner, 1992; Ber i in., 2004). Rejony występowania deformacji glacitektonicznych w Polsce przedstawiono na mapie – rys. 16.

Wynikiem glacitektoniki jest bardzo duży stopień skomplikowania ułożenia warstw osadów lodowcowych oraz zmienność właściwości fizycznych (uziarnienie, porowatość, stopień plastyczności, wodoprzepuszczalność) i mechanicznych (wytrzymałość na ścinanie). W przypadku dokumentowania deformacji glacitektonicznych może dochodzić do znaczących błędów w interpretacji modelu geologicznego (rys. 17) na skutek błędnie zaprojektowanych badań.

Badania na takich terenach należy tak zaprojektować, żeby możliwa była ocena:

- geomorfologii terenu, sieci hydrograficznej;
- wyników badań geofizycznych pod względem występowania deformacji glacitektonicznych;
- rozprzestrzenienia deformacji glacitektonicznych, zarówno w pionie, jak i w poziomie;
- zagrożeń dla obiektu budowlanego wynikających z występowania w podłożu i w jego sąsiedztwie deformacji glacitektonicznych;



Rys. 15. Proces powstawania deformacji glacitektonicznych (Kupetz, 1997)

- ryzyka geologicznego związanego z wpływem deformacji glacitektonicznych na projektowaną inwestycję;
- założeń do prowadzenia monitoringu i w uzasadnionych przypadkach terenów sąsiednich ze wskazaniem lokalizacji urządzeń pomiarowych.

W normie PN-EN 1997-2 tylko w punktach 2.1.1, 2.1.2, 2.3, 2.4.1.3 i 6.2 pośrednio podano informacje dotyczące rozpoznania deformacji glacitektonicznych na obszarze projektowanej inwestycji i w jej sąsiedztwie.

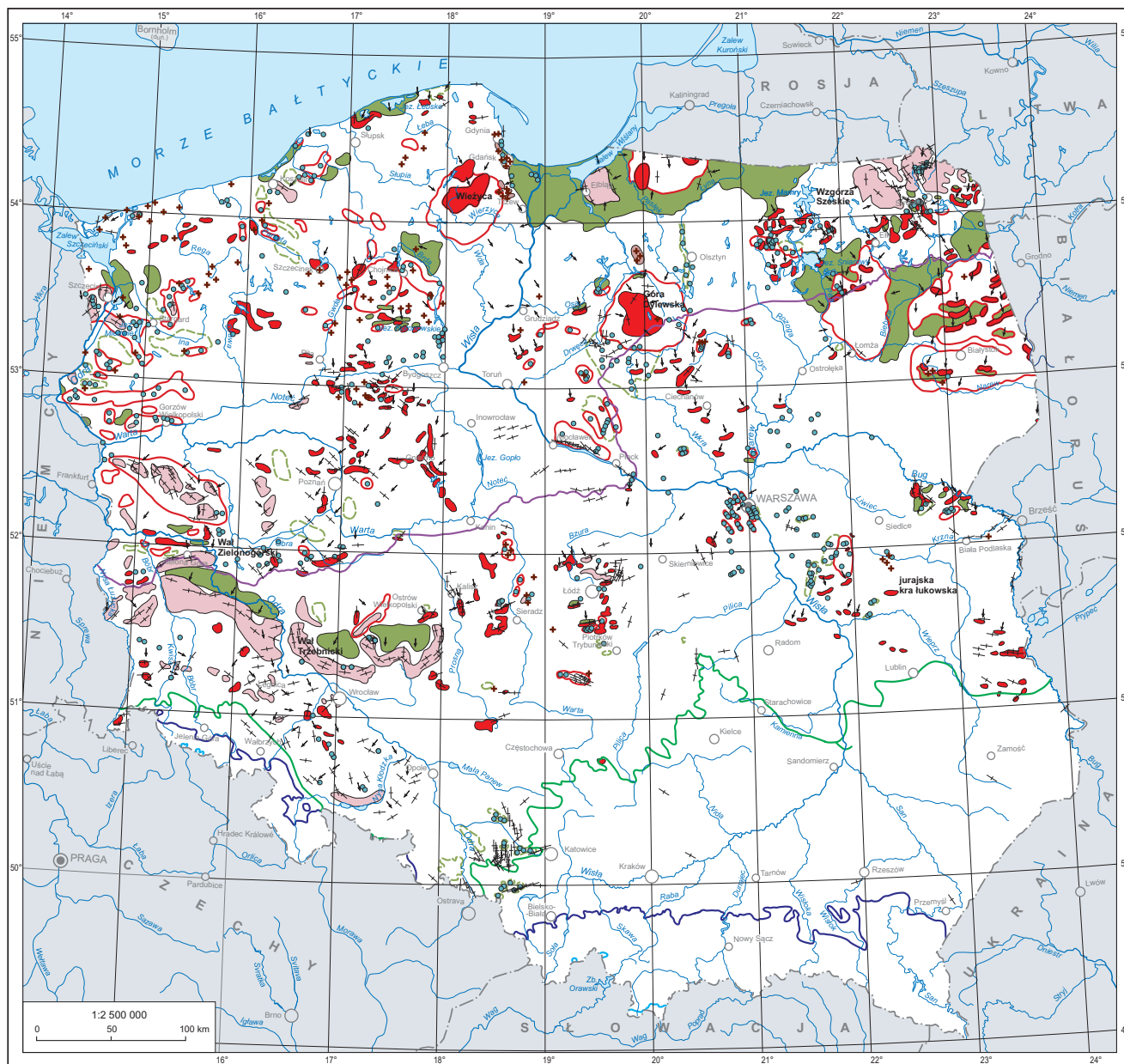
W literaturze trudno znaleźć szczegółowe informacje na temat wytycznych i zaleceń do projektowania badań na obszarach deformacji glacitektonicznych, w celu ich udokumentowania oraz oceny wpływu na projektowany obiekt budowlany.

Podczas projektowania badań podłoża na terenach występowania omawianych deformacji należy uwzględnić:

- analizę materiałów archiwalnych, zaleca się skorzystać z archiwalnych otworów wiertniczych, mapy deformacji glacitektonicznych (Ber, 2006), dostępnych map geomorfologicznych, map geologicznych i objaśnień do tych map dostępnych na stronie internetowej PIG-PIB, szkiców geomorfologicznych, literatury geologicznej związanej z glacitektoniką, map geologiczno-inżynierskich w skali 1:500 000, atlasów geologiczno-inżynierskich (<http://atlas.pgi.gov.pl>);
- przebieg granic zlodowaceń;
- dane teledetekcyjne umożliwiające określenie form geomorfologicznych związanych z możliwym występowaniem glacitektoniki;
- kartowanie geologiczno-inżynierskie, w tym zaprojektować prace umożliwiające: zweryfikowanie i/lub wyznaczenie stref występowania deformacji glacitektonicznych, określenie rodzaju i rozmiaru występujących deformacji glacitektonicznych, wykonanie pomiarów nachylenia warstw (biegu i upadu), sprofilowanie odsłonięć, zinventaryzowanie elementów tektoniki (uskoki, nasunięcia itp.), wskazanie miejsc powierzchniowego występowania wód podziemnych (wysięki, podmokłości), zinventaryzowanie uszkodzeń infrastruktury oraz okolicznych zabudowań;
- badania geofizyczne, projektowane na potrzeby odpowiedniego rozmieszczenia punktów dokumentacyjnych i ich głębokości oraz w celu identyfikacji struktur glacitektonicznych;
- wiercenia i sondowania projektowane na podstawie wstępnych badań geofizycznych, zaleca się stosować wiercenia rdzeniowe (ciągły rdzeń) oraz sondowania FVT, DP, CPTU/CPT, DMT, PMT;
- badania laboratoryjne do określenia wartości wyprowadzonych właściwości gruntów i skał (rozdz. 7.3).

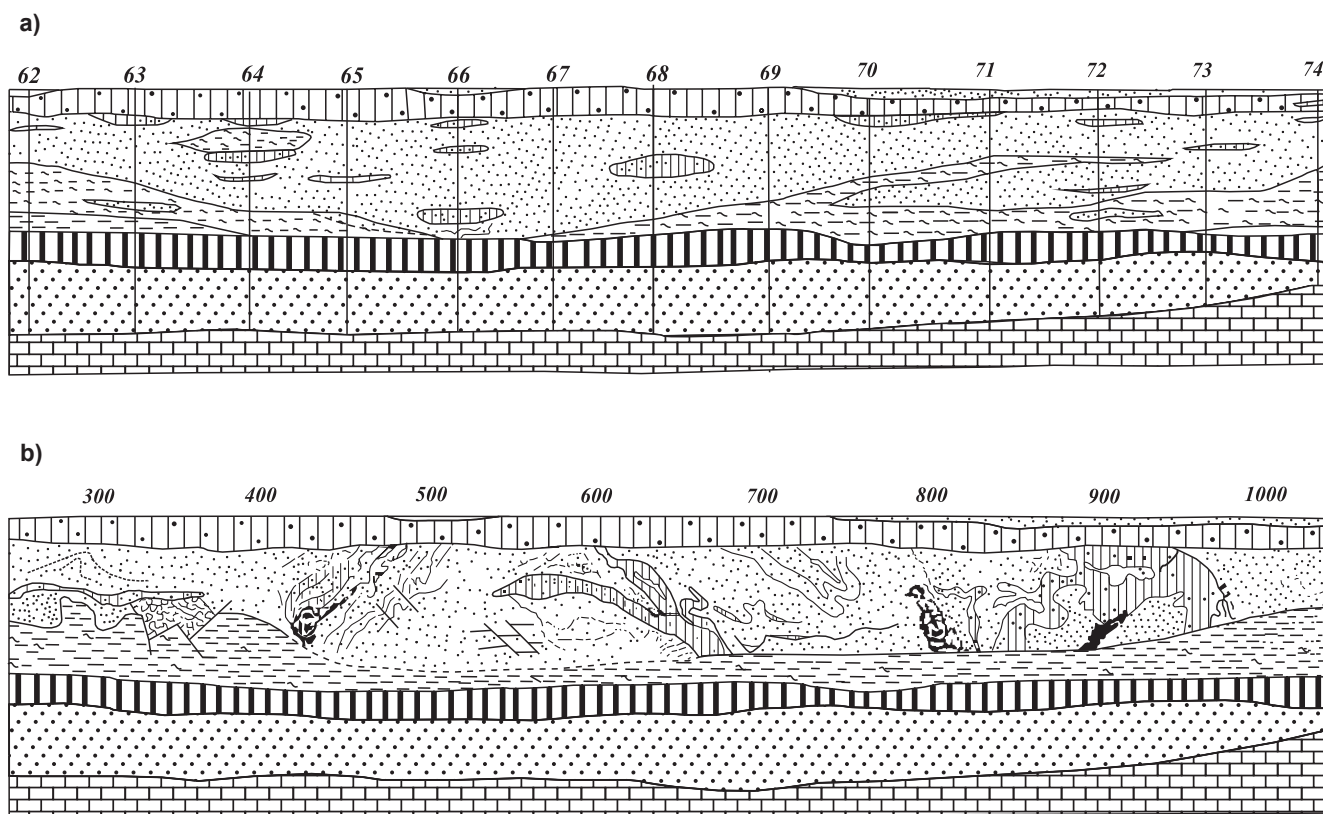
W celu poprawnego zaprojektowania badań podłoża i udokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach objętych deformacjami glacitektonicznymi zaleca się stosować zasady podane w tabeli 10. Przedstawiono w niej szczegółowy zakres badań, niezbędnych do rozpoznania podłoża na obszarach omawianych deformacji, w tym:

- lokalizację i liczbę otworów wiertniczych;
- liczbę próbek koniecznych do wykonania badań laboratoryjnych;



- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #f08080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> elewacje zbudowane z zaburzonych glaciektonicznie osadów przedczwartorzędowych i/lub czwartorzędowych</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> moreny czołowe spiętrzone i moreny wycinięcia, w tym moreny interlobowe</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #808000; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> depresje glaciektoniczne widoczne we współczesnej rzeźbie</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 2px dashed green; margin-right: 5px;"></span> kopalne depresje glaciektoniczne niewidoczne we współczesnej rzeźbie</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; border: 2px solid red; border-radius: 50%; margin-right: 5px;"></span> kopalne osady zaburzone glaciektonicznie, niewidoczne we współczesnej rzeźbie</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #000080; border-radius: 50%; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> otwory wiertnicze, w których udokumentowano zaburzenia glaciektoniczne</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> odślonięcia, w których stwierdzono struktury glaciektoniczne</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> kierunki nacisku lądolodu</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Duże kry osadów podłoża czwartorzędu</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #800000; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> widoczne we współczesnej rzeźbie</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> niewidoczne we współczesnej rzeźbie</li> <li>Maksymalne zasięgi lądolodów</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 2px; background-color: #800080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> kompleksu północnopolskiego</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 2px; background-color: #008000; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> kompleksu środkowopolskiego</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 2px; background-color: #000080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> kompleksu południowopolskiego</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 2px; background-color: #0000ff; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> zlodowaceń górskich</li> </ul> |
|--|--|

Rys. 16. Mapa glaciektoniczna Polski (Nawrocki, Becker, 2017)



Rys. 17. Przykład interpretacji modelu geologicznego na podstawie wierceń i odsłoneń (wg Krajewskiej-Pinińskiej, 1969)

a) przekrój geologiczny wykonany na podstawie danych z wierceń; liczby oznaczają numery otworów; b) przekrój geologiczny wykonany na podstawie odsłoneń; liczby oznaczają metry bieżące profilu odsłoneń

Tabela 10

Zalecany zakres prac i badań dla terenów, na których występują deformacje glacictektoniczne

Czynność	Minimalny zakres prac	Uwagi
Badania geofizyczne	siatka profili o wymiarach min.: 200/200 m – etap wstępny 100/100 m – etap podstawowy (do celów projektowych) 25/25 m – etap kontrolny (etap budowy)	liczba i rodzaj badań geofizycznych zależy od powierzchni terenu oraz budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych
Odległość pomiędzy otworami badawczymi	min. 200–300 m – etap wstępny min. 50–100 m – etap podstawowy (do celów projektowych) min. 5–25 m – etap kontrolny (etap budowy)	odległość między otworami zależy od skali mapy oraz sposobu posadowienia i rodzaju obiektu budowlanego; wybór odległości między otworami należy uzasadnić
Głębokość otworów badawczych i sondowań	min. do stropu warstwy jednorodnej lub min. 2–5 m w warstwie gruntów jednorodnych, lub 2–5 m poniżej strefy odkucia, lub 2–5 m poniżej strefy oddziaływania obiektu	głębokość rozpoznania zależy od geomorfologii, sposobu posadowienia i rodzaju obiektu budowlanego
Sondowania	min. 200–300 m – etap wstępny min. 50–100 m – etap podstawowy (do celów projektowych) min. 5–25 m – etap kontrolny (etap budowy)	odległość zależy od skali mapy oraz sposobu posadowienia i rodzaju obiektu budowlanego; wybór odległości między sondowaniami należy uzasadnić
Pobór próbek gruntów i skał do oznaczeń makroskopowych	min. co 1 m lub co zmianę litologii	–
Pobór próbek gruntów i skał do badań fizycznych	min. 5 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	–
Pobór próbek gruntów i skał do badań mechanicznych	liczba próbek zależy od rodzaju zaprojektowanych badań mechanicznych oraz sposobu zagospodarowania terenu	–

- lokalizację i liczbę sondowań parametrycznych;
- lokalizację i liczbę badań geofizycznych;
- zalecane technologie wierceń oraz rodzaje sondowań parametrycznych;
- rodzaje badań laboratoryjnych, które wykonuje się na potrzeby wyznaczenia parametrów geotechnicznych.

W celu poprawnego udokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach objętych deformacjami glacictektonicznymi zaleca się przede wszystkim wnikliwą analizę materiałów archiwalnych i historii geologicznej na danym terenie. Podczas projektowania badań należy dostosować ich rodzaj i liczbę do głębokości i rozprzestrzenienia deformacji glacictektonicznych oraz ich wpływu na obiekt budowlany lub sposób posadowienia (tab. 10).

#### 4.7.4. Projektowanie badań dla obszarów górskich i obszarów deformacji tektonicznych

**Budowa geologiczna Polski.** Obszar Polski leży w węźle tektonicznym, gdzie graniczą ze sobą trzy wielkie jednostki geologiczne Europy (Mizerski, 2009). Na dwóch przeciwległych krańcach Polski, na północnym wschodzie i południowym zachodzie, występują jednostki geologiczne zbudowane w dużej części ze skał krystalicznych – magmowych lub przeobrażonych. W północno-wschodniej Polsce jest to platforma wschodnioeuropejska z krystalicznym prekambryjskim fundamentem przykrytym skałami osadowymi miąższości od kilkuset do 5000 m. W południowo-zachodniej Polsce, w Sudetach, odsłaniają się struktury zbudowane również w znacznej części ze skał krystalicznych. Są one jednak młodsze od skał krystalicznych platformy wschodnioeuropejskiej, na ich powstanie duży wpływ miała orogeneza waryscyjska. Pomiędzy tymi strukturami geologicznymi rozciąga się, od wybrzeży Bałtyku po Wyżynę Lubelską, obszar, gdzie znajdują się głównie skały osadowe, sięgające głębokości 8000–12 000 m. Na południu Polski leży pasmo fałdowe karpaccie, utworzone z mezozoicznych i kenozoicznych skał osadowych znacznej miąższości. Skały krystaliczne występują jedynie na południu, w masywie tatrzańskim (Stupnicka, 2016).

**Ruchy skorupy ziemskiej.** Skorupa ziemska podlega przemieszczeniom wskutek procesów, które zachodzą w płaszczu Ziemi. Procesy, które powodują ruchy i deformacje skorupy ziemskiej, nazywa się diastrofizmem. W zależności od kierunku przemieszczeń i wywołanych przez nie efektów wyróżnia się następujące ruchy skorupy ziemskiej (Mizerski, 2010):

- pionowe, polegające na wypiętrzaniu lub obniżaniu dużych fragmentów powierzchni Ziemi, nie wywołując większych deformacji tektonicznych, np.: ruchy epejrogeniczne (epejrogeniza) – powolne, długotrwałe i odwracalne ruchy pionowe skorupy ziemskiej, obejmujące rozległe obszary (Jaroszewski i in., 1985), ruchy izostatyczne – pionowe ruchy bloków skorupy ziemskiej lub całej litosfery będące przejawem kompresji izostatycznej (*op. cit.*). Na podstawie wielu badań i analiz na obszarze Polski można wyróżnić regiony o stałej tendencji ruchów pionowych (rys. 18). Zapadanie jest rejestrowane głównie w północno-zachodniej Polsce i na Nizinie Śląskiej.

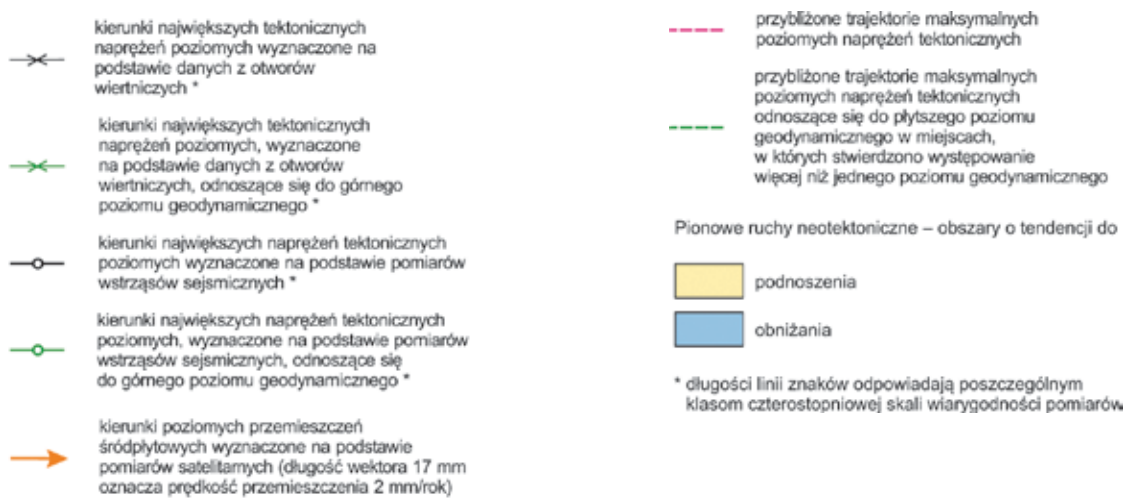
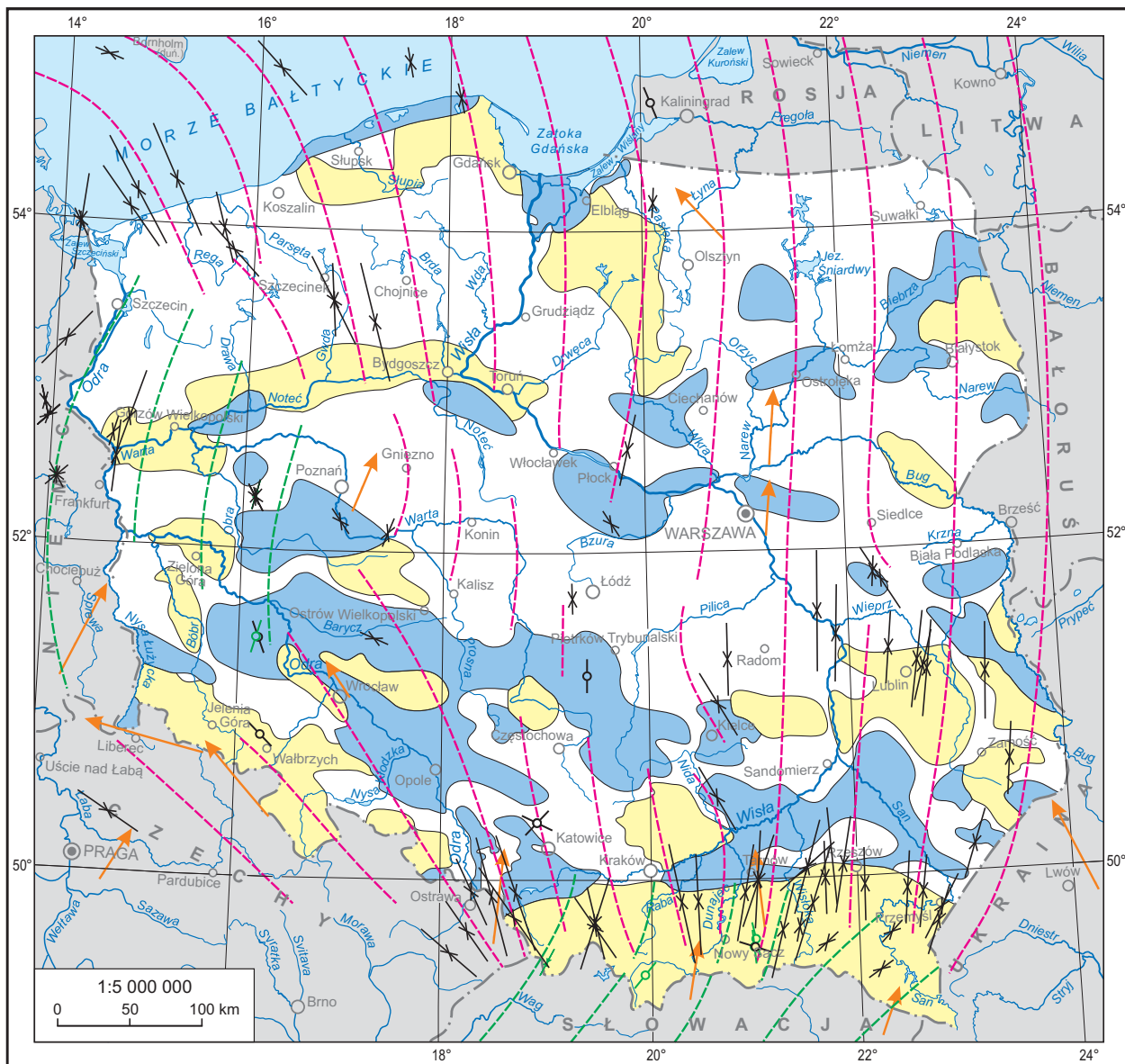
Obszarami wypiętrzanymi są Karpaty i Sudety. Słabiej jest wynoszone Rostocze oraz Wyżyna Krakowsko-Częstochowska;

- poziome, polegające na przemieszczaniu się fragmentów litosfery, obejmujących zarówno przypowierzchniowe jej części, jak i całe bloki. Zgodnie ze współczesnymi koncepcjami, powodują powstawanie łańcuchów górskich, trzęsień ziemi oraz pośrednio procesy wulkaniczne;
- orogeniczne w węższym ujęciu procesy prowadzące do wypiętrzania łańcucha górskiego (orogeneza, ruchy górotwórcze), w szerszym znaczeniu obejmują fałdowanie i wypiętrzanie fragmentu skorupy ziemskiej. W wyniku ruchów orogenicznych powstają orogeny (górotwory, łańcuchy górskie).

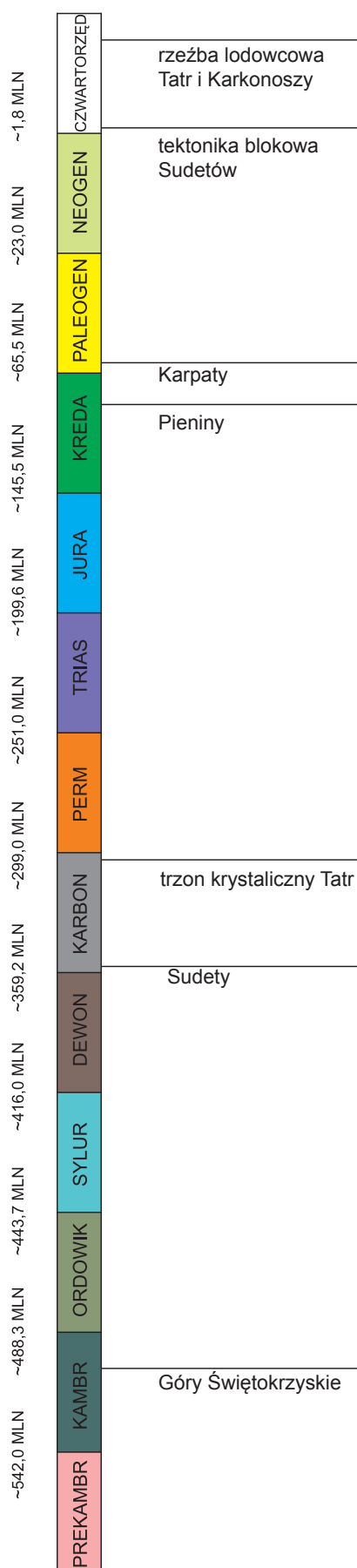
**Orogeny i fazy górotwórcze.** W Polsce najstarsze struktury fałdowe powstały pod koniec proterozoiku w trakcie orogenezy kadomskiej. Utworzone w jej wyniku struktury fałdowe (Kadomity) spotkamy w Sudetach (w Górach Izerskich, w masywie Łądka i Śnieżnika, w Górach Bystrzyckich). W erze paleozoicznej nastąpiły dwie orogenezy: kaledońska w starszym paleozoiku (kaledonidy) i waryscyjska, o większym zasięgu, która działała w młodszym paleozoiku. Waryscyjskie struktury tektoniczne (waryscydy) w Polsce spotykamy na Dolnym Śląsku (Sudety), Górnym Śląsku oraz w Górach Świętokrzyskich. Na erę mezozoiczną i kenozoiczną przypada orogeneza alpejska, której struktury obserwujemy w Karpatach. Łańcuchy górskie, które powstały w orogenezie alpejskiej noszą nazwę alpidów. W każdej orogenezie można wyróżnić okresy względnego spokoju tektonicznego oraz okresy wzmożonej aktywności tektonicznej i magmowej, które zaznaczały się w osadach wielu łańcuchów górskich w postaci niezgodności, dlatego w obrębie każdej orogenezy wyróżniono fazy tektoniczne, np. utwory paleozoiczne Gór Świętokrzyskich były fałdowane w fazie sudeckiej w karbonie (nie wyłącznie), a Tatry były deformowane w czasie fazy subhercyńskiej w późnej kredzie ziemskiej (Mizerski, 2010) (rys. 19).

**Powstawanie i rozwój obszarów górskich.** Rozmieszczenie obszarów górskich nawiązuje bezpośrednio do układu płyt litosfery, a w szczególności do przebiegu granic między poszczególnymi płytami oraz stref rozłamowych w obrębie płyt (ryftów śródkontynentalnych). Obszary górskie z uwagi na charakter i genezę struktur tektonicznych dzieli się na: obszary górskie, których rzeźba nawiązuje do systemów uskoków zrzutowych normalnych (góry zrębowe), np.: Tatry, Sudety podzielone na liczne mniejsze zręby, Góry Świętokrzyskie; obszary górskie, gdzie rzeźba nawiązuje do systemu nasunięć (góry związane z pasami nasunięć), np.: Karpaty Zewnętrzne; obszary górskie, związane z uskokami przesuwczymi. Szczególną kategorią są góry pochodzenia wulkanicznego, które mogą powstawać w znacznym oddaleniu od stref współczesnej czy niedawnej tektoniki, np.: Chełmiec k. Wałbrzycha, Góry Krucze, Ostrzyca, Wilcza Góra, Grodziec (Migoń, 2006). Zróżnicowanie krajobrazów w zależności od genezy, struktury i wieku obszaru górskiego przedstawiono na rysunku 20.

**Ruchy tektoniczne i deformacje tektoniczne.** Skorupa ziemska (litosfera) wraz z górnym płaszczem Ziemi, tworząc tektonosferę, podlega deformacjom tektonicznym i bierze



Rys. 18. Współczesne przemieszczenia tektoniczne i naprężenia (Nawrocki, Becker, 2017)



Rys. 19. Powstawanie gór w Polsce

udział w procesach (ruchach) tektonicznych, które na powierzchni Ziemi przejawiają się powstawaniem łańcuchów górskich, pękaniem i rozsuwaniem się kontynentów oraz ich zderzaniem (Mizerski, 2010). W zależności od rodzaju i przebiegu odkształceń w tektonosferze wyróżnia się dwa typy deformacji tektonicznych (rys. 21): deformacje ciągłe, przy których ciągłość warstw nie ulega przerwaniu (np.: fałdy, łuski, antyklinoria, synklinoria, płaszczowiny) oraz deformacje nieciągłe, przy których doszło do przzerwania ciągłości warstw (np.: nasunięcia, uskoki, zręby i rowy tektoniczne, fleksury, cios, kliważ, budinaż) (Mizerski, 2010). Podczas dokumentowania terenów deformacji tektonicznych i obszarów górskich istotne jest uwzględnienie kierunku działania sił, które powodują deformacje tektoniczne (rys. 22). Rozmieszczenie najmłodszych kenozoicznych struktur tektonicznych na obszarze Polski, które mogą znajdować się w strefie rozpoznania geologiczno-inżynierskiego przedstawiono na mapie – rys. 23.



KRAJOBRAZ GÓR FAŁDOWYCH



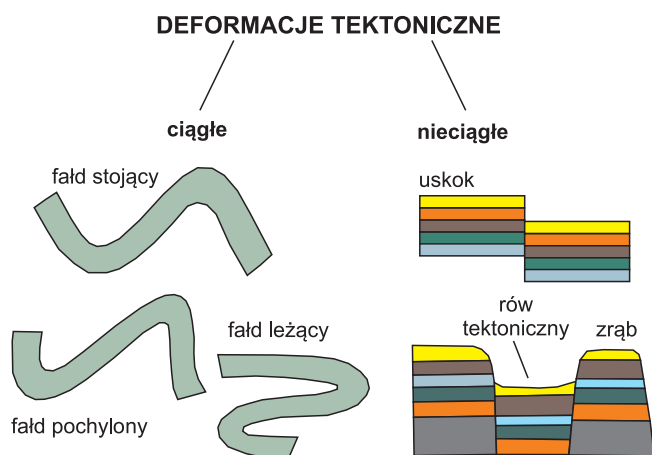
KRAJOBRAZ GÓR ZRĘBOWYCH



KRAJOBRAZ GÓR WULKANICZNYCH

Rys. 20. Krajobrazy wybranych typów obszarów górskich.  
Fot. J. Sokolowski





Rys. 21. Deformacje tektoniczne

**Jednostki tektoniczne.** Produktem deformacji tektonicznych określonego fragmentu skorupy ziemskiej o dowolnej historii geologicznej jest jednostka tektoniczna, czyli struktura lub zespół struktur tektonicznych o swoistych cechach charakterystycznych i rozpoznawalnych granicach, umożliwiających przedstawienie jej na mapie. Główne elementy tektoniczne kraju tworzą 3 jednostki najwyższego rzędu – megajednostki występujące pod pokrywą permsko-mezozoiczną i dewońsko-karbońską (Mizerski, 2010, Żelaźniewicz i in., 2011): platforma wschodnioeuropejska – jednostka prekambryjska, platforma zachodnioeuropejska (dzieli się na: blok górnośląski, blok małopolski, blok dolnośląski oraz pasmo fałdowe Gór Świętokrzyskich i jednostki tektoniczne Polski południowo-wschodniej) – jednostka paleozoiczna, orogen karpacki (dzieli się na: Karpaty zewnętrzne i zapadlisko przedkarpackie, masyw Tatr) – jednostka alpejska. Platformy wschodnioeuropejska i zachodnioeuropejska oddzielone są od siebie strefą Teisseyre’a–Tornquista (strefa T–T) – jedną z ważniejszych struktur tektonicznych Europy (Stupnicka, 2016) rozciągającą się od Koszalina po Tomaszów Lubelski. Dodatkowo w pokrywie platform wschodnioeuropejskiej i zachodnioeuropejskiej występują płytkie struktury tektoniczne pierwszego rzędu – jednostki laramijskie (Mizerski, 2010, Żelaźniewicz i in., 2011). Jednostki tektoniczne Polski pod pokrywą kenozoiczną, które mogą mieć znaczenie w dokumentowaniu, przedstawiono na mapie – rys. 24.

**Struktury solne.** Z deformacjami tektonicznymi jest powiązane występowanie struktur solnych, które powstają przez wyciskanie plastycznych soli ku górze, przebijając (lub nie) leżące wyżej warstwy i jednocześnie deformując się wewnątrz (Mizerski, 2010). W trakcie powstawania struktury solnej deformacjom podlegają warstwy skał, które mają różną podatność na deformacje tektoniczne, dlatego podczas wyciskania soli warstwy złożone ze skał i gruntów będą się zachowywały w różny sposób (Mizerski, 2010). W rejonach występowania struktur solnych, oprócz tektoniki solnej, występują ruchy pionowe powierzchni ziemi, co wymaga wnikliwej analizy i oceny, zwłaszcza przy wyborze lokalizacji pod inwestycję oraz na wszystkich pozostałych etapach reali-

RODZAJE SIŁ I DEFORMACJI	TYPY USKOKÓW

Rys. 22. Rodzaje uskoku (na podstawie geoportal.pgi.gov.pl)

zacji inwestycji. Rejony występowania struktur solnych na terenie Polski pokazano na mapie – rys. 25.

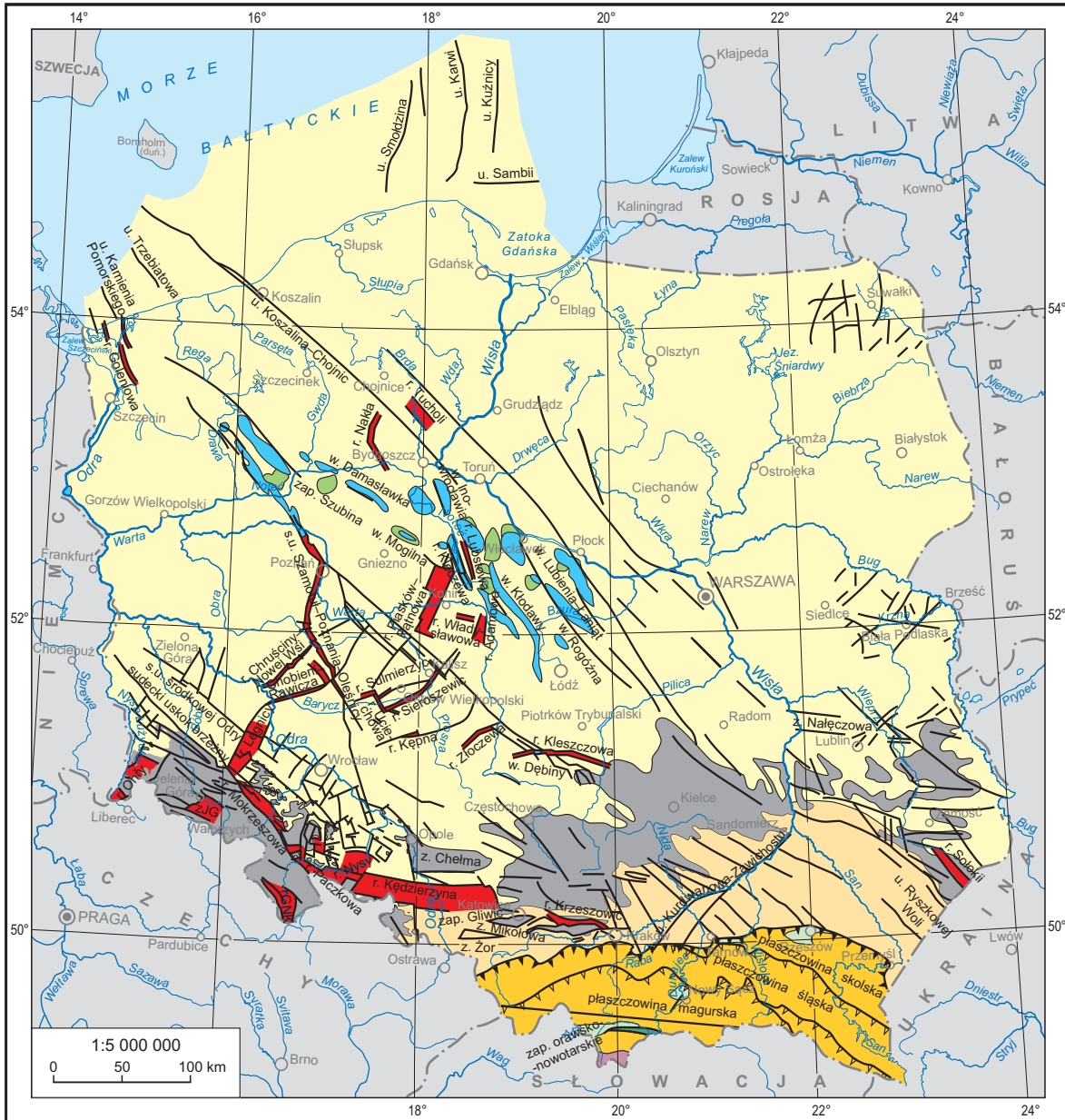
Z deformacjami tektonicznymi i obszarami górkimi należy wiązać bardzo duży stopień skomplikowania warstw skalnych oraz zmienność ich właściwości fizycznych i mechanicznych. W przypadku terenów występowania deformacji tektonicznych i obszarów górskich może dochodzić do znaczących błędów w interpretacji modelu geologicznego.














Badania na takich obszarach należy tak zaprojektować, żeby była możliwa ocena:

- masywu skalnego, dostosowana do budowy geologicznej i wykształcenia litologicznego skał;
- tektoniki terenu w odniesieniu do uwarunkowań regionalnych z naniesieniem na mapę w odpowiedniej skali;
- wyników badań geofizycznych pod względem występowania deformacji tektonicznych i układu warstw skalnych;
- rozprzestrzenienia deformacji tektonicznych zarówno w pionie, jak i w poziomie;
- zagrożeń dla obiektu budowlanego, wynikających z występowania w podłożu i w jego sąsiedztwie deformacji tektonicznych;
- ryzyka geologicznego związanego z wpływem deformacji tektonicznych na projektowaną inwestycję;
- założeń do prowadzenia monitoringu, a w uzasadnionych przypadkach terenów sąsiednich, ze wskazaniem lokalizacji urządzeń pomiarowych.

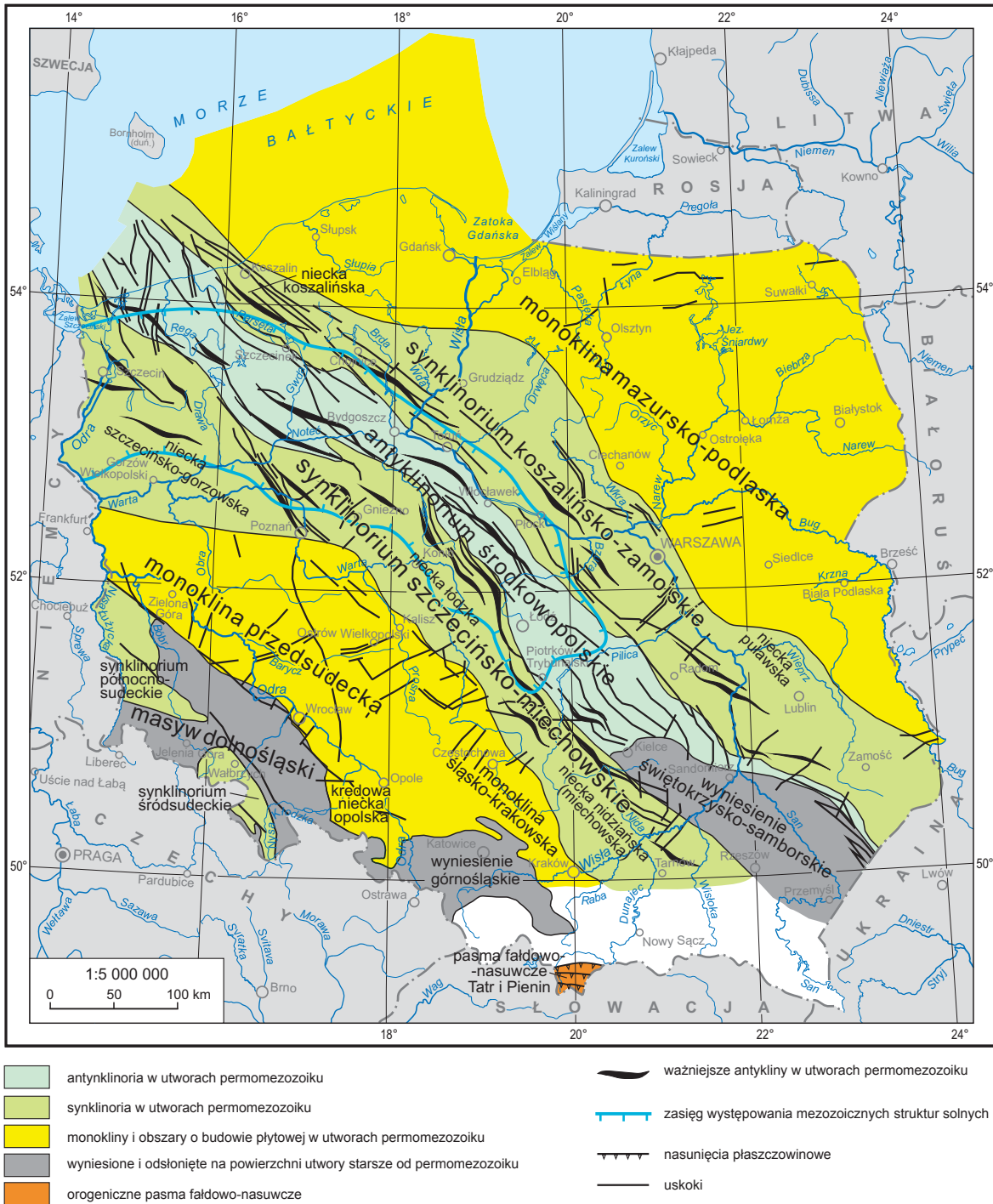
Eurokod 7 (normy PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2) w ocenie masywu skalnego zaleca:

- wiercenia, sondowania, pomiary wody gruntowej, badania geofizyczne oraz badania wielkoskalowe;
- określenie wskaźnika spękań na podstawie rdzenia wiertniczego (RQD, TCR i SCR);



- |   |  |   |                                     |
|---|--|---|-------------------------------------|
|  | obszary o tendencji do obniżania, pokryte osadami kenozoicznymi  |  | frontalne nasunięcie Karpat         |
|  | zapadlisko przedgórskie Karpat wypełnione osadami miocenu  |  | nasunięcia płaszczynowe             |
|  | pasmo fałdowo-nasuwce Karpat zewnętrznych i niecka podhalańska, sfałdowane w miocenie, a następnie wypiętrzone |  | uskoki                              |
|  | podłoże przedkenozoiczne wypiętrzone i odsonięte przed czołem Karpat i Alp                                     |   | Objaśnienia skrótów                 |
|  | masyw Tatr wypiętrzony i nachylony ku północy  |   | r. – rów                            |
|  | przesuwca struktura pienińskiego pasa skałkowego   |   | u. – uskoki                         |
|  | śródgórskie baseny na grzbieczeniach płaszczewin   |   | s.u. – strefa uskokowa              |
|  | dźwigające się wysady solne  |   | w. – wyniesienie nad wysadem solnym |
|  | zapadliska towarzyszące dźwigającym się wysadom solnym   |   | z. – zrąb                           |
|  | rowy tektoniczne   |   | zap. – zapadlisko                   |
|   |  |   | rGNK – rów górnej Nysy Kłodzkiej    |
|   |  |   | zJG – zapadlisko Jeleniej Góry      |

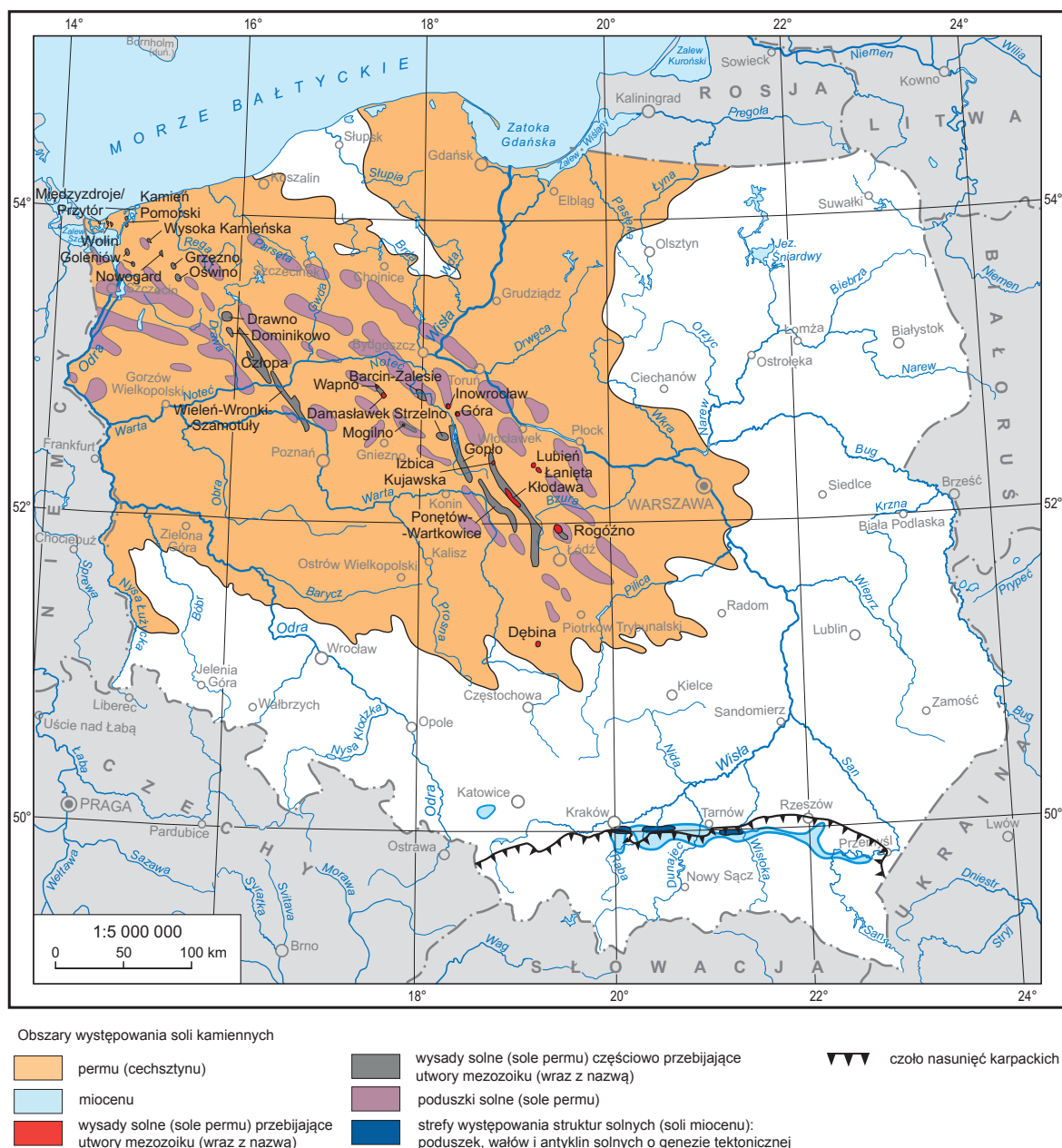
Rys. 23. Kenozoiczne struktury tektoniczne (Nawrocki, Becker, 2017)



Rys. 24. Główne mezozoiczne jednostki tektoniczne (Nawrocki, Becker, 2017)

- laboratoryjne badania klasyfikacyjne (opis petrograficzny i podstawowych cech fizycznych);
- laboratoryjne badania właściwości mechanicznych skał (głównie wytrzymałościowych);
- uwzględnić takie elementy jak: ciśnienie wody, kontakty hydrauliczne, wrażliwość na czynniki klimatyczne lub zmiany naprężeń, a także możliwą degradację chemiczną.

Projektowanie badań na obszarach deformacji tektonicznych oraz górskich wraz z całym procesem dokumentowania geologiczno-inżynierskiego i geotechnicznego nie może wynikać ze standardowych schematów. Projektując zakres i metodykę badań oraz dokumentując warunki geologiczno-inżynierskie, zaleca się, żeby prace te wykonywały osoby z doświadczeniem w kartowaniu obszarów górskich oraz posiadające wiedzę z zakresu tektoniki.



Rys. 25. Obszary występowania soli kamiennej i struktur solnych (Nawrocki, Becker, 2017)

Podczas projektowania badań podłoża na terenach występowania deformacji tektonicznych i na obszarach górskich należy uwzględnić:

- bardzo szczegółową analizę materiałów archiwalnych w skali regionalnej, w tym danych z wierceń i badań geofizycznych oraz rozpoznanie historii budowy geologicznej rejonu badań, map tektonicznych oraz publikacji, w których opisano budowę geologiczną badanego terenu;
- analizę danych teledetekcyjnych;
- szczegółowe kartowanie geologiczno-inżynierskie na terenie badań oraz na obszarach sąsiadujących, uwzględniając rozprzestrzenienie struktur tektonicznych i pomiary konieczne do oceny masywu skalnego;

- badania geofizyczne, w celu zaprojektowania prac i robót geologicznych oraz do oceny masywu skalnego;
- badania terenowe (wiercenia rdzeniowe) wraz z analizą rdzenia wiertniczego do oceny masywu skalnego i strefy zwietrzalej;
- badania laboratoryjne, w celu określenia zmienności wartości wyprowadzonych parametrów klasyfikacyjnych i w celach projektowych.

W ramach kartowania geologiczno-inżynierskiego należy zaprojektować m.in. następujące prace:

- pomiary nachylenia warstw (biegu i upadu) oraz szczelinowatości i punktowej wytrzymałości;
- pomiary charakterystycznych kierunków spękań, ich intensywności i ilości (róża spękań);

- profilowanie odsłoneń;
- inwentaryzację elementów tektoniki (uskoki, nasunięcia itp.);
- obserwacje struktur tektonicznych, w tym uskoków i spękań oraz nieciągłości (ich układ i charakter powierzchni);
- opis wykształcenia litologicznego i mineralogicznego skał;
- opis zwiertzenia masywu skalnego;
- opis miejsc przejawów wód gruntowych (wysięki, podmokłości), w celu określenia stopnia nawodnienia masywu skalnego;
- inwentaryzację w zakresie uszkodzenia infrastruktury oraz okolicznych zabudowań.

W celu poprawnego zaprojektowania badań podłoża, udokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich oraz oceny masywu skalnego na terenach objętych deformacjami

tektonicznymi oraz na obszarach górskich zaleca się stosowanie zasad podanych w tabeli 11. Określono w niej szacunkowy zakres badań obszarów objętych deformacjami tektonicznymi i obszarów górskich, w tym:

- lokalizację i liczbę otworów wiertniczych i sondowań parametrycznych;
- liczbę próbek koniecznych do wykonania badań laboratoryjnych;
- lokalizację i liczbę badań geofizycznych;
- zalecane technologie wierceń i sondowań parametrycznych;
- rodzaje badań laboratoryjnych;
- badania na potrzeby oceny masywu skalnego.

Rozpoznanie struktur tektonicznych, ich rozprzestrzenienia oraz ocena masywu skalnego są niezwykle istotne, zwłaszcza przy określaniu położenia obiektów hydrotechnicznych, budownictwa drogowego, budownictwa podziemnego oraz

Tabela 11

## Zalecany zakres prac dokumentacyjnych i badań dla obszarów górskich i deformacji tektonicznych

Czynności	Minimalny zakres prac	Uwagi
Kartowanie geologiczno-inżynierskie	skartowane wszystkie odsłoneńca, odkrywki, wkopy; skartowana każda strefa uskoku ustalona na podstawie danych archiwalnych	–
Badania na potrzeby wskaźnikowej oceny masywu skalnego	na podstawie wyników badań archiwalnych; w każdym możliwym odsłoneńciu; na wszystkich dostępnych rdzeniach wiertniczych; na podstawie badań geofizycznych	badania dobierać w zależności od przyjętej klasyfikacji; ocenę masywu skalnego przeprowadzić: <ul style="list-style-type: none"> <li>• z rdzenia wiertniczego (w tym opis i klasyfikacja skał, RQD, TCR, SCR),</li> <li>• z pomiarów w odsłoneńciach,</li> <li>• z badań geofizycznych (rozdz. 5.9.3),</li> <li>• na podstawie materiałów archiwalnych;</li> </ul> sklasyfikować masyw skalny, np.: RQD, RSR, RMR, SMR, Q, GSI, KF; klasyfikacja wietrzenia zgodnie z pkt. 4.2.4 i 4.2.3 normy PN-EN ISO 14689-1; opis ilościowy i jakościowy nieciągłości zgodnie z pkt. 4.3.3 normy PN-EN ISO 14689-1
Badania geofizyczne	siatka profili o wymiarach: <ul style="list-style-type: none"> <li>min. 200/200 m – etap wstępny</li> <li>min. 100/100 m – etap podstawowy (do celów projektowych)</li> <li>min. 25/25 m – etap kontrolny (etap budowy)</li> </ul>	liczba i rodzaj badań geofizycznych zależy od powierzchni terenu oraz budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych; zaleca się stosować wszelkiego rodzaju badania sejsmiczne oraz wspomagająco badania elektrooporowe
Odległość pomiędzy otworami badawczymi	min. 200–300 m – etap wstępny min. 50–100 m – etap podstawowy (do celów projektowych) min. 5–25 m – etap kontrolny (etap budowy)	odległość między otworami zależy od skali mapy oraz sposobu posadowienia i rodzaju obiektu budowlanego; wybór odległości między otworami należy uzasadnić
Głębokość otworów badawczych	min. do stropu warstwy jednorodnej lub min. 2–5 m w warstwę skał jednorodnych, lub 2–5 m poniżej strefy odklucia, lub 2–5 m poniżej strefy oddziaływania obiektu	głębokość rozpoznania zależy od struktury tektonicznej, układu warstw skalnych, sposobu posadowienia i rodzaju obiektu budowlanego
Sondowania	min. 200–300 m – etap wstępny min. 50–100 m – etap podstawowy (do celów projektowych) min. 5–25 m – etap kontrolny (etap budowy)	odległość zależy od skali mapy oraz sposobu posadowienia i rodzaju obiektu budowlanego; wybór odległości między sondowaniami należy uzasadnić; zaleca się stosować sondowania dopasowane skał np. dylatometr skalny, presjometr skalny
Pobór próbek skał do oznaczeń makroskopowych	min. co 3 m lub w przypadku zmiany litologii	oznaczenie makroskopowe zgodnie z PN-EN ISO 14689-1
Pobór próbek skał do badań fizycznych	min. 5 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	określenia wartości wyprowadzonych parametrów klasyfikacyjnych
Pobór próbek skał do badań geomechanicznych	liczba próbek zależy od rodzaju zaprojektowanych badań mechanicznych oraz sposobu zagospodarowania terenu	określenia wartości wyprowadzonych parametrów do celów projektowych: ścisnienie jednoosiowe oraz badanie odkształcalności, badanie pod obciążeniem punktowym, badanie bezpośredniego ścisnienia, test brazylijski, badanie trójosiowego ścisnienia

podziemnego składowania i magazynowania. Podczas lokalizacji obiektów budowlanych należy wziąć pod uwagę m.in.: przebieg osi fałdów, kierunek i kąt upadu warstw, szczelino-  
watość, sieć i charakter spękań, litologię skał oraz ich właści-  
wości geomechaniczne.

Projektując badania podłoża należy ich rodzaj i liczbę dostosować do głębokości i obszaru występowania deforma-  
cji tektonicznych oraz ich wpływu na obiekt budowlany lub  
sposób posadowienia.

#### 4.8. PROJEKTOWANIE BADAŃ NA OBSZARACH WYSTĘPOWANIA GRUNTÓW PROBLEMATYCZNYCH

##### 4.8.1. Projektowanie badań na obszarach gruntów organicznych i dolin rzecznych

Projektowanie badań w dolinach rzecznych jest ściśle związane z dokumentowaniem gruntów organicznych, grubo-  
i drobnoziarnistych. Zarówno w gruntach grubo- i drobno-  
ziarnistych (wg PN-EN ISO 14688-1), mogą występować  
domieszki materii organicznej. Za kryterium uznania gruntu  
jako organiczny, niezależnie od miejsca depozycji, przyjmu-  
je się zawartość części organicznych  $\geq 2\%$  suchej masy  
i zgodnie z normami PN-EN-ISO 14688-1 i 2 wyróżnia się  
grunt:

- niskoorganiczny, gdy zawartość części organicznych wy-  
nosi 2–6%;
- organiczny, gdy zawartość części organicznych wynosi  
6–20%;
- wysokoorganiczny, gdy zawartość części organicznych  
jest  $> 20\%$ .

Zawartości części organicznych nie jest wyznacznikiem  
genezy gruntu, np. grunt o dużej zawartości części organicz-  
nych (ok. 50%) nie musi być sklasyfikowany genetycznie jako  
torf, może być np. gytią wysokoorganiczną. Stosowanie  
innego, w stosunku do normowego, podziału klasyfikacyjne-  
go gruntów organicznych wymaga uzasadnienia.

Ze względu na różnorodność gruntów organicznych,  
ich typów i podtypów wynikających z licznych podziałów  
klasyfikacyjnych, oraz ze względu na różnorodność gruntów  
występujących w dolinach rzecznych należy zindywidualizo-  
wać podejście do projektowania badań na tych obszarach.  
Zmienna zawartość poszczególnych składników (części  
organiczne, węglan wapnia oraz części mineralne bezwęgla-  
nowe) determinuje rodzaje badań, ich metodykę oraz inter-  
pretację, a jednocześnie wskazuje na przybliżony charakter  
ocen opartych na korelacjach i nomogramach.

Duża wilgotność gruntów organicznych (nawet powyżej  
2000%) oraz towarzysząca im specyficzna struktura o dużej  
porowatości wpływają na takie właściwości mechaniczne jak  
ściśliwość i wytrzymałość na ścinanie, które są podstawowy-  
mi parametrami wykorzystywanymi w projektowaniu. Grun-  
ty organiczne są powszechnie uznawane za grunty ściśliwe,  
dlatego z założenia są kwalifikowane do wymiany lub wzmoc-  
nienia, ewentualnie do bezpośredniego posadowienia przy  
przewidywanych dużych wartościach odkształcenia. Takie

założenia wymagają zaprojektowania precyzyjnych badań,  
często niestandardowych oznaczeń oraz bezpośrednich po-  
miarów, przy których zależności korelacyjne mogą być sto-  
sowane tylko pomocniczo. Dobór cech i parametrów gruntów  
wymaganych do oznaczenia zależy każdorazowo od projek-  
towanego rozwiązania posadowienia. Inny zestaw parame-  
trów jest niezbędny dla posadowienia bezpośredniego, inny  
dla posadowienia na palach przemieszczeniowych, a jeszcze  
inny przy zastosowaniu drenażu pionowego.

Naturalnie występująca zmienność powinna być odpo-  
wiednio rozpoznawana wierceniami, sondowaniami i bada-  
niami geofizycznymi. Gęstość wierceń i sondowań powinna  
być większa i uzupełniona badaniami geofizycznymi.

Na obszarach dolin rzecznych, na których występują grun-  
ty gruboziarniste należy określić ich zagęszczenie za pomocą  
sondowań, uwzględniając płytkie występowanie zwierciadła  
wód gruntowych.

W zakresie badań polowych, obowiązkowo w gruntach  
drobnoziarnistych i/lub organicznych, należy zaprojektować  
badania wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu  
(FVT). W gruntach, w których wytrzymałość na ścinanie osza-  
cowano lub oznaczono innymi metodami na ok. 15 kPa lub  
poniżej nie zaleca się dobierania najmniejszej krzyżakowej  
końcówki ścinającej, tj.  $4 \times 8$  cm, ze względu na zbyt małą  
rozdzielczość pomiaru. Minimalny rozmiar końcówki ścinają-  
cej powinien wynosić  $6 \times 12$  cm. W takich warunkach grunto-  
wych projektowana prędkość ścinania powinna być stała i nie  
powinna przekraczać  $10^\circ/\text{min}$ . Zaleca się równocześnie stoso-  
wanie najmniejszej możliwej prędkości ścinania –  $5 \div 6^\circ/\text{min}$ .

Do oceny wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez  
odpływu na podstawie innych metod polowych konieczne jest  
projektowanie bezpośrednich pomiarów ścinania w celu  
korelacji. Do interpretacji sondowań CPT/CPTU należy  
dobrać współczynnik  $N_k$  lub  $N_{kp}$ , który to należy wyprowadzić  
na podstawie zaprojektowanych na potrzeby korelacji pomia-  
rów z sondowań ścinających FVT. Ocena wytrzymałości na  
ścinanie z innych możliwych do zaprojektowania metod  
polowych, np. FDT, DMT, PMT, WST, powinna być równo-  
legle skorelowana z pomiarami FVT, a wzory interpretacyjne  
dostosowane do lokalnych warunków gruntowo-wodnych lub  
udokumentowane na podstawie branżowej literatury w po-  
dobnych gruntach.

Podczas projektowania laboratoryjnych badań procento-  
wej zawartości substancji organicznej, z uwagi na wpływ  
metodyki na uzyskiwane wyniki, należy przywołać stosowa-  
ne normy i procedury. W praktyce dokumentacyjnej najczę-  
ściej są to:

- metoda utleniania nadtlaniem wodoru;
- metoda utleniania dwuchromianem potasu (znana jako  
metoda chemiczna lub metoda Tiurina);
- metoda oznaczania strat masy przy prażeniu (znana rów-  
nież jako odwrotność popielności).

Dobór metody i ograniczenia każdej z nich należy dosto-  
sować do oznaczeń makroskopowych i/lub przywołanej lite-  
ratury branżowej.

Do oceny ściśliwości gruntów organicznych lub innych  
gruntów w dolinach rzecznych należy zaprojektować bezpo-

średnie pomiary odkształceń. Na potrzeby interpretacji sondowań statycznych CPT/CPTU należy wyprowadzić lokalne zależności korelacyjne, na podstawie których jest interpretowany edometryczny moduł ściśliwości. Ze względu na mnogość modułów (edometryczny, ściśliwości, pierwotny, wtórny, sieczny, styczny, w danym przedziale naprężeń, w danym przedziale odkształceń) za każdym razem należy wyraźnie określić, który z modułów należy oznaczyć. W przypadku gruntów bardzo ściśliwych, w których odkształcenia przekraczają 10%, zaleca się każdorazowo (równoległe do badań polowych) zaplanować oznaczenia w edometrze lub konsolidometrze. W zależności od sposobu posadowienia w badaniach ściśliwości należy uwzględnić pomiary konsolidacji i pełzania gruntu, w celu wyznaczenia odpowiednich parametrów ściśliwości wtórnej.

Z pomiarami prędkości odkształceń (konsolidacji) ściśle są związane parametry filtracji i pełzania badanego gruntu. Dopuszcza się projektowanie oznaczeń parametrów przepuszczalności na podstawie interpretacji parametrów ściśliwości na etapie konsolidacji filtracyjnej. W gruntach organicznych oraz gruntach drobnoziarnistych badania te należy zweryfikować z bezpośrednimi pomiarami przepuszczalności ze stałym lub zmiennym spadkiem hydraulicznym przy odzwierciedleniu warunków pomiaru zbliżonych do stanu naprężeń *in situ*. Badania w zależności od sposobu posadowienia lub wzmocnienia należy zaprojektować zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym.

W zakresie specjalistycznych badań laboratoryjnych zaleca się wykonywać badania parametrów wytrzymałościowych całkowitych i/lub efektywnych (spójności i kąta tarcia wewnętrznego). Typ i metodykę badania, stan naprężeń początkowych należy dostosować do stanu naprężeń *in situ* oraz sposobu posadowienia/wzmocnienia.

Jeśli w wyniku badań granulometrycznych w gruntach gruboziarnistych stwierdza się prawdopodobieństwo występowania zjawiska sufozji, to należy przeprowadzić badania modelowe, które umożliwią zweryfikowanie i ocenę możliwości pojawienia się deformacji filtracyjnych, a także wpływu ciśnienia sphywowego w przypadku zmian reżimu filtracji, np. w trakcie prac ziemnych i/lub odwodnieniowych.

#### 4.8.2. Projektowanie badań na obszarach występowania lessów i gruntów lessopodobnych

Lessy są osadami pochodzenia eolicznego, słabo scementowanymi i porowatymi, podatnymi na procesy erozji wodnej, sufozję i ruchy masowe. Na podstawie regionalnych badań geologicznych i geologiczno-inżynierskich w Polsce wydzielono lessy (Malinowski, 1971):

- wysoczyznowe (typowe, o genezie eolicznej), tworzą rozległe pokrywy na wysoczyznach;
- aluwialne (dolinne);
- soliflukcyjne (zbozowe).

Lessy wysoczyznowe, określane często jako typowe, mają największe rozprzestrzenienie w południowej i południowo-wschodniej Polsce. Występują w postaci pokryw lessowych o miąższości kilku (rzadziej kilkunastu) metrów. Charakterystyczną ich cechą jest podatność na osiadanie zapadowe. Liczne badania wskazują, że lessy o strukturze nietrwałej występują do głębokości 4 m p.p.t., a sporadycznie do głębokości 5 m. Osiadanie zapadowe występuje wyłącznie w lessach typowych wykształconych jako pyły. Zjawisko to jest charakterystyczne dla ściśle określonych poziomów stratygraficznych (Maruszczak, 1976). W lessach typowe wartości oporu na stożku ( $q_c$ ) zmieniają się w zakresie 1–8 MN/m<sup>2</sup>, stopnia wilgotności ( $S_r$ ) w przedziale 0,35–0,90 i wskaźnika porowatości ( $e$ ) w przedziale 0,60–1,02. Porowatość lessów z głębokością stopniowo maleje. Wilgotność badanych lessów występujących na głębokości poniżej 7 m najczęściej wyraźnie wzrasta, a od głębokości 9 m stopień wilgotności ( $S_r$ ) wynosi >0,8, co powoduje zmniejszenie wartości oporu na stożku. Ze wzrostem wilgotności występuje znaczne zmniejszenie parametrów wytrzymałościowych lessów.

Lessy aluwialne są osadem powstałym w środowisku wodnym w dolinach i na obszarach przyległych. Najczęściej osady te są warstwowe lub smugowane i wykształcone jako pyły. Lessy aluwialne wypełniają doliny w postaci tarasów lub występują pod warstwą holocenijskich osadów piaszczysto-madowych.

Lessy aluwialne są osadem powstałym w środowisku wodnym w dolinach i na obszarach przyległych. Najczęściej osady te są warstwowe lub smugowane i wykształcone jako pyły. Lessy aluwialne wypełniają doliny w postaci tarasów lub występują pod warstwą holocenijskich osadów piaszczysto-madowych.

Lessy wysoczyznowe i aluwialne charakteryzują się znaczną jednorodnością w wykształceniu litologicznym poszczególnych warstw.

Lessy soliflukcyjne występują na zboczach dolin. Ich powstawanie jest związane z procesami kriogenicznymi. Charakteryzują się zmiennym składem granulometrycznym wynikającym z dużej dynamiki akumulacyjnej. Wyraźne są różne formy sphywowe – warstwowanie faliste lub sfałdowania.

Istotną cechą lessów jest duża wrażliwość na działanie wody, m.in. podatność na rozmywanie i inne rodzaje filtracyjnych deformacji gruntów, a szczególnie na zdolność do osiadania zapadowego. Wiąże się to ze strukturą szkieletową lessów, która tworzy makroporowaty szkielet zbudowany z ziaren pylastych, głównie kwarcu. Przenikanie wód opadowych w głąb lessu może uruchamiać procesy przemieszczania się drobnych frakcji i rozpuszczania nietrwałej cementacji solnej na stykach ziarn. Te cechy w połączeniu z naturalnymi warunkami (deszcze nawalne) są często przyczyną gwałtownego rozwoju procesów erozyjnych.

Do polowego rozpoznania właściwości fizyczno-mechanicznych lessów zaleca się projektować badania sondą CPT/CPTU, sondą krzyżakową FVT, dylatometrem Marchettiego (DMT), sondą wkręcaną (WST) i presjometrem (PMT). Przeprowadzone badania porównawcze sondami CPT i DPL wykazały, że w celu jakościowej charakterystyki lessów wysoczyznowych o wilgotności naturalnej poniżej 20% można projektować sondowania dynamiczne DPL (Frankowski, Grabowski, 2006; Frankowski i in., 2010).

Badania wytrzymałości na ścinanie w lessach za pomocą sondy krzyżakowej FVT należy wykonywać ze stałą prędkością obrotu końcówki wynoszącej 5°/min. W badaniach należy stosować końcówkę krzyżakową o średnicy 40 mm i wysokości 80 mm oraz o grubości skrzydełek 1,2 mm.

Dla lessów typowych południowej i południowo-wschodniej Polski do interpretacji wyników sondowań są sprawdzo-

ne doświadczalnie zależności korelacyjne. Wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu można obliczyć na podstawie wartości oporu na stożku z sondy CPT zgodnie ze wzorem (PN-B-04452:2002, PN-EN 1997-2:2009):

$$c_u = q_c - \sigma_{v0} / N_k \text{ [MPa]}$$

gdzie:

$c_u$  – wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu [MPa]

$q_c$  – opór na stożku [MPa]

$\sigma_{v0}$  – naprężenie pierwotne pionowe całkowite [MPa]

$N_k$  – współczynnik

Wartość współczynnika  $N_k$  wynosi 30–45, co wyraźnie wyróżnia lessy od innych gruntów spoistych (Frankowski i in., 2010).

W przypadku wykonywania sondowań statycznych z końcówką elektryczną CPTU należy przemnożyć wartości oporu na stożku pomierzone końcówką elektryczną  $q_c(e)$  przez normowy współczynnik dla gruntów spoistych  $\beta = 1,4$  (Bustamante, Gianceselli, 1993; PN-B-04452:2002):

$$q_c(m) = \beta \cdot q_c(e) \text{ [MPa]}$$

gdzie:

$q_c(m)$  – wartość oporu na stożku otrzymana za pomocą końcówki mechanicznej [MPa]

$q_c(e)$  – wartość oporu na stożku otrzymana za pomocą końcówki elektrycznej [MPa]

$\beta$  – współczynnik korelacyjny

Wartości oporu na stożku uzyskane z przeliczenia wartości  $q_c$  z sondy CPTU powyższym wzorem można zastosować do obliczeń wytrzymałości na ścinanie bez odpływu lub wykorzystać inną zależność określoną na podstawie lokalnych doświadczeń.

Istotnym elementem interpretacji parametrów na podstawie sondowań statycznych jest nomogram pozwalający szacować stopień plastyczności  $I_L$  na podstawie oporu na stożku  $q_c$  z Polskiej Normy PN-B-04452:2002. Do oszacowania stopnia plastyczności  $I_L$  od oporu na stożku  $q_c$  w lessach aluwialnych można wykorzystać następującą zależność (Frankowski, Pietrzykowski, 2017):

$$I_L = 0,624 - 0,695 \log q_c \text{ [-]}$$

Zależność (linia czerwona) między stopniem plastyczności a oporem na stożku sondy CPT graficznie przedstawiono na rysunku 26.

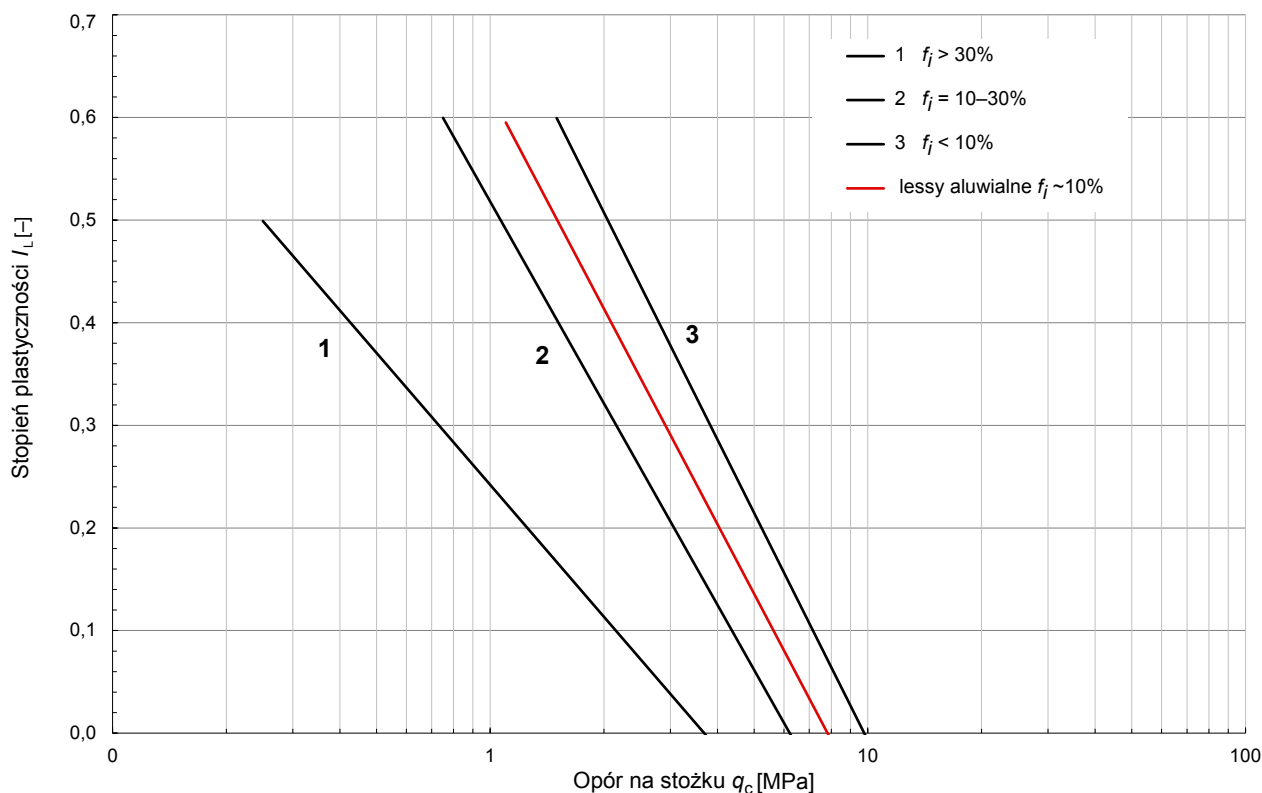
Wartość modułu edometrycznego na podstawie wyników sondowania CPT/CPTU można obliczyć wzorem (PN-EN 1997-2:2009):

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

gdzie:

$E_{\text{aed}}$  – moduł edometryczny [MPa]

$\alpha$  – współczynnik zależny od rodzaju gruntu i wartości oporu na stożku  $q_c$  [-]



Rys. 26. Normowe zależności stopnia plastyczności  $I_L$  od oporu na stożku  $q_c$  dla sondowań statycznych CPT z końcówką mechaniczną Begemanna (PN-B-04452:2002) wraz z korelacją dla lessów aluwialnych o zawartości frakcji ilowej  $f_i \sim 10\%$  (Frankowski, Pietrzykowski, 2017)



Dla lessów typowych wartość współczynnika  $\alpha = 2,5$  (Frankowski, Pietrzykowski, 2017).

Ze względu na specyficzne właściwości fizyczno-mechaniczne lessów, konieczne jest zaprojektowanie badań rozszerzających, które dotyczą m.in. zdolności do osiadania zapadowego i dużej podatności na rozmywanie.

Badania lessów typowych projektuje się w celu określenia wskaźnika osiadania zapadowego ( $i_{mp}$ ) na potrzeby wykonania oceny trwałości ich struktury. Grunty charakteryzujące się strukturą nietrwałą (zapadowe) mają  $i_{mp} > 0,02$  (PN-B-02480).

Osiadanie zapadowe pod wpływem określonego stanu naprężeń przy równoczesnym nasyceniu porów wodą stanowi istotny problem w ocenie lessów wysoczyznowych jako podłoża budowlanego. Dotychczas opracowano wiele kryteriów oceny struktury nietrwałej lessów, w których wykorzystuje się właściwości fizyczne i mechaniczne. Orientacyjne kryteria dla naturalnych gruntów zapadowych określane na podstawie zaprojektowanych badań laboratoryjnych i polowych są podane w literaturze i w wytycznych dokumentowania (norma PN-B-02480:1986; Kłosiński i in., 1998; Frankowski i in., 2012; Instrukcja PKP, 2016).

Ze względu na trudności w pobieraniu próbek lessów typowych o nienaruszonej strukturze, ważne jest projektowanie pobierania próbek do cienkościennych próbników o średnicy powyżej 8 cm. Szczególnie jest to istotne w przypadku badań warstw lessów podatnych na osiadanie zapadowe.

#### 4.8.3. Projektowanie badań na obszarach ilów

Do ilów są zaliczane grunty różnorodnie genetycznie. Grunty te posiadają złożoną historię geologiczną, co skutkuje zróżnicowaną historią naprężenia. Tego typu grunty wykazują dużą zmienność właściwości fizyczno-mechanicznych. Są podatne na wpływ czynników zewnętrznych, jak np. temperatura i zmiany wilgotności.

W Polsce występują: środkowojurajskie iły rudonośne na terenie Jury Krakowsko-Częstochowskiej i południowo-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich, oligoceńskie iły septariowe z okolic Szczecina, mio-plioceńskie iły serii poznańskiej – rejon środkowej i zachodniej Polski, iły mioceńskie zapadliska przedkarpackiego, iły zastoiskowe rejonu Mazowsza, iły glacialimniczne rejonu klifów Bałtyku. Wymienione grunty nie są jednorodnie wykształcone pod względem składu mineralnego i granulometrycznego. Często ich miąższość jest zmienna, chociażby z powodu deformacji glacitektonicznych lub dawnych procesów erozyjnych.

Przed przystąpieniem do projektowania badań na obszarach występowania ilów należy bezwzględnie przeanalizować dostępne materiały archiwalne, żeby ocenić stopień skomplikowania warunków gruntowych.

Na obszarach niezurbanizowanych lub słabo zurbanizowanych należy zaplanować wykorzystanie badań geofizycznych, głównie elektrooporowych, do wstępnego rozpoznania zasięgu, wykształcenia i miąższości warstw gruntów ilastych. Badania geofizyczne na terenie zurbanizowanym przeważnie nie dają pewnych rezultatów w wyniku obecnej w podłożu infrastruktury technicznej oraz pola elektromagnetycznego.

Wiercenia badawcze i sondowania geotechniczne zaleca się projektować w węzłach badawczych w celu wzajemnej weryfikacji otrzymanywanych informacji. Należy określić miejsca pobierania próbek gruntów do cienkościennych stalowych próbników lub pobierać rdzenie wiertnicze za pomocą podwójnej lub potrójnej rdzeniówki.

Liczbę otworów należy zaplanować wg wstępnie opracowanego modelu geologicznego na podstawie danych archiwalnych oraz danych geofizycznych z uwzględnieniem zaleceń w rozdziale 6.5.

Liczbę pobranych próbek gruntu należy określić zgodnie z odpowiednimi zaleceniami i wytycznymi, głównie na podstawie normy PN-EN 1997-2 lub uwzględniając wymagania odbiorcy dokumentacji. Zaplanowaną liczbę próbek gruntu należy traktować jako minimalną. Trzeba również prowadzić bieżącą analizę danych z wierceń i w przypadku innego od oczekiwanego wykształcenia formacji ilastej dokonać weryfikacji liczby próbek gruntu i głębokości ich pobrania.

Do rozpoznania gruntów ilastych najlepiej projektować sondowania statyczne CPTU, SCPTU oraz sondowania dylatometryczne DMT. Do interpretacji danych pomiarowych z sondowań należy stosować sprawdzone w warunkach lokalnych korelacje. W przypadku ich braku należy zaplanować laboratoryjne badania w celu kalibracji tych wyników.

Zakres projektowanych badań parametrów mechanicznych wynika przede wszystkim z ich wykorzystania do obliczeń analitycznych lub modelowania numerycznego. Należy uwzględnić badania określające, czy badane próbki ilów mogą być potencjalnie ekspansywne. Najprostszym i dostatecznie dokładnym badaniem jest test pęcznienia swobodnego wg Holtza-Gibbsa (Grabowska-Olszewska, 1998). Badanie polega na ocenie zmian objętości sproszkowanego gruntu po zalaniu wodą w stosunku do znanej objętości początkowej. Jest ono proste i można go zaprojektować dla wielu próbek iltu. Zaleca się również przeprowadzić badania pęcznienia swobodnego w edometrze i ciśnienia pęcznienia bądź ciśnienia ssania. Uzupełnione badaniami granulometrycznymi, mineralnymi oraz granicami płynności i plastyczności umożliwią dokładną ocenę potencjalnej ekspansywności analizowanych ilów.

Projektowane badania mogą być również przydatne do oceny jakości pobranych próbek ilów, ponieważ podczas wstępnych etapów badania trójosiowego ściskania próbki ilów nie powinny spęcznieć. Także w badaniach edometrycznych lub konsolidometrycznych nie należy dopuścić do pęcznienia próbek – szczególnie przy relatywnie małych obciążeniach.

Bardzo istotne jest to, czy badane iły posiadają powierzchnie nieciągłości (np. spękania). Ze względu na to, że powierzchnie te są najczęściej niewidoczne makroskopowo, w celu ich identyfikacji należy przeprowadzić badania wytrzymałościowe. Często próbki ilów są niejednorodne i mają wkładki pyłów lub piasków drobnoziarnistych. Należy ten fakt uwzględnić podczas planowania liczby reprezentatywnych próbek do badań laboratoryjnych.

W przypadku uproszczonych obliczeń analitycznych zaleca się uwzględnić laboratoryjne badania klasyfikacyjne

oraz badania do celów projektowych: wilgotność, gęstość objętościową, parametry wytrzymałościowe i/lub parametry odkształceniowe. W przypadku, gdy do projektowania obiektu budowlanego są wykorzystywane obliczenia numeryczne, poza klasycznymi parametrami do modelu Coulomba-Mohra, należy uzyskać także parametry stanu i historii naprężenia, takie jak: współczynnik parcia gruntu w spoczynku  $K_0$ , współczynnik prekonsolidacji OCR, początkowe moduły odkształcenia (np.  $E_0$ ,  $G_0$ ) lub wyznaczenie charakterystyk sztywności gruntu (Atkinson, 2000; Clayton, 2011; Instrukcja PKP, 2016). Szczególnie istotna w przypadku oceny sztywności próbek ilów jest wartość średniego naprężenia efektywnego, przy jakim określane są tego typu parametry, co należy uzgodnić z projektantem obiektu budowlanego lub osobami odpowiedzialnymi za przeprowadzenie obliczeń numerycznych.

#### 4.8.4. Projektowanie badań zwietrzelin

Proces wietrzenia definiowany jest na różne sposoby. Wietrzenie to przystosowywanie się skał do warunków środowiskowych panujących na powierzchni ziemi (Migoń, 2006). Wietrzenie na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego może być definiowane jako proces zmian, rozdrobnienia skał i gruntów zachodzący na powierzchni, jak również w strefie przypowierzchniowej, będący efektem chemicznego rozkładu oraz fizycznej dezintegracji (Dearman, 1995; Norbury i in., 1995).

Ze względu na charakter zachodzących procesów wietrzeniowych i ich produktów wyróżnia się (Dearman, 1995; Norbury i in., 1995; Migoń, 2006):

- wietrzenie fizyczne – rozpad mechaniczny prowadzący do spękania, rozluźnienia i rozdrobnienia skał na mniejsze fragmenty bez zmian w ich składzie chemicznym;
- wietrzenie chemiczne – rozkład chemiczny polegający na rozpuszczaniu skał, usuwaniu z nich pewnych składników oraz zastępowaniu ich nowymi związkami chemicznymi, co powoduje zmiany składu mineralogicznego;
- wietrzenie biologiczne – niszczenie skał pod wpływem organizmów żywych związane ze wzrostem i czynnościami życiowymi roślin oraz życiem zwierząt w obrębie ośrodka skalnego.

Przebieg wietrzenia jest w znaczący sposób uzależniony od właściwości skał poddawanych wietrzeniu oraz od warunków mikro- i topoklimatycznych. Obie grupy czynników są znacznie zróżnicowane przestrzennie, dlatego intensywność wietrzenia jest różna (Migoń, 2009). Charakter i tempo procesów wietrzeniowych zależą od (wg Migonia, 2009):

- warunków środowiskowych: klimatu, głównie temperatury i wilgotności, topografii terenu, czasu oddziaływania procesów wietrzenia, warunków wodnych i innych;
- właściwości podłoża skalnego/gruntowego: składu mineralogicznego i chemicznego, tekstury, więzby, spoiwa, porowatości, wytrzymałości, systemu spękań.

Produktem procesów wietrzeniowych są pokrywy zwietrzelinowe (zwietrzliny) określane jako strefa zmian wietrze-

niowych, charakteryzująca się osłabieniem zwięzłości skały, zmianą jej barwy i przeobrażeniami tekstury (Migoń, 2009). Zwietrzliny na obszarze Polski występują w strefie skał wapiennych na Lubelszczyźnie, na obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich i w Jurze Krakowsko-Częstochowskiej, w utworach fliszowych w Karpatach, na wychodniach skał w Sudetach oraz na obszarach ilów krakowieckich zapadliska przedkarpackiego (Drażkowski i in., 1984).

Strefowość budowy pokryw zwietrzelinowych oraz charakter przeobrażeń wietrzeniowych jakim podlegała skała macierzysta obrazują profile wietrzeniowe (Drażkowski i in., 1984; Kłosiński i in., 1998). Profil zwietrzelinowy z podziałem na strefy (warstwy) wraz z ich opisem oraz walidacją przydatności tych stref do celów inżynierskich zestawiono w tabeli 12 (Fookes i in., 1971; Drażkowski, 1981; Matula, 1981, BS 5930; Kłosiński i in., 1998). Poszczególne strefy profilu zwietrzelinowego można opisać za pomocą następujących parametrów (Kłosiński i in., 1998):

- stopień zwietrzenia  $R_w$  – określony jako procentowy udział gruntu rezydualnego do okruchów skały macierzystej;
- współczynnik redukcji wytrzymałości WRW – wyrażony jako stosunek wytrzymałości na ściskanie skały zwietrzalącej do wytrzymałości skały niezwiertzalącej ( $WRW = R_c$  zwietrzliny /  $R_c$  skały).

Poniżej podano makroskopowe kryteria wydzielenia warstw w profilu zwietrzelinowym przydatne w badaniach podłoża gruntowego (Dearman, 1995; PN-EN 14689-1):

- obecność humusu i korzeni – cecha odróżniająca strefę skał bardzo silnie zwietrzalych (V) od strefy gruntu rezydualnego (VI);
- zmiany struktury – cecha odróżniająca strefę skał bardzo silnie zwietrzalych (V) od strefy gruntu rezydualnego (VI); jeżeli struktura uległa zniszczeniu oznacza to, że skałę można przypisać do strefy gruntu rezydualnego;
- podatność na rozmakanie – umożliwia postawienie granicy między strefami IV a V; jeżeli próbka rozmaka pod wpływem wody, to w takim przypadku można zaliczyć materiał do strefy V lub VI, jeżeli natomiast próbka nie rozmaka, to zaliczamy materiał do strefy IV lub stref jeszcze mniej zwietrzalych;
- metoda rozdrobnienia ręcznego – wskazuje granicę między strefami skał umiarkowanie zwietrzalych (III) i silnie zwietrzalych (IV); polega na określeniu, z jaką łatwością zwietrzelina może być oddzielona od podłoża za pomocą szpadła lub młotka geologicznego, jeżeli podłoże nie może być rozkopane za pomocą szpadła, to jest to strefa III lub strefa mniej zwietrzała, jeżeli podłoże da się rozłupać szpadłem to mamy do czynienia ze strefą IV lub strefą mniej zwietrzałą;
- stosunek skała/grunt – jeśli w strefie zwietrzalącej obserwuje się połowę materiału skalnego, która uległa rozłożeniu lub rozpadowi oraz połowę, która nie podlegała zmianom, to oznacza granicę między strefą III a IV;
- kształt i liczba okruchów skały – na podstawie liczby i kształtu okruchów skał można rozróżnić strefy od I (skała niezwiertzała) do IV (skała silnie zwietrzała); wraz

Tabela 12

**Strefy profilu zwietrzelinowego wraz z walidacją przydatności gruntów poszczególnych stref do celów geologiczno-inżynierskich (Fookes i in., 1971; Drągowski, 1981; Matula, 1981; BS 5930; Kłosiński i in., 1998)**

Nazwa strefy / numer strefy Stopień zwietrzenia $R_w$ [%] Współczynnik redukcji wytrzymałości WRW	Opis	Charakterystyka właściwości inżynierskich
Grunt rezydualny / VI $R_w = 100\%$ WRW 0,001–0,005	cała skała uległa zwietrzeniu do gruntu; struktura i tekstura uległa zatarciu; występują duże zmiany w objętości, ale nie ma miejsca przemieszczenie gruntu	– grunty nienadające się do bezpośredniego posadowienia; – ściany skarp i wykopów niestabilne po usunięciu pokrywy roślinnej, podatne na erozję, konieczność zabezpieczenia; – wymagane dodatkowe badanie w przypadku zastosowania w budownictwie (budowa nasypów)
Skały bardzo silnie zwietrzałe / V $R_w > 75\%$ WRW 0,005–0,01	cała skała uległa rozkładowi lub rozkładowi do gruntu; oryginalna struktura jest w dużej mierze niezmienną	– roboty ziemne i wykopy mogą być prowadzone bez użycia środków strzałowych; – grunty nienadające się do posadowienia zapór betonowych lub dużych obiektów (obiektów gabarytowych), nadają się do posadowienia tam ziemnych i jako budulec (nasypy); – niestabilne w ścianach wykopów o dużym nachyleniu; – mogą powstawać nowe szczeliny; – wymagana jest ochrona przed erozją
Skała silnie zwietrzała / IV $R_w = 35\text{--}75\%$ WRW 0,01–0,05	więcej niż połowa skały uległa rozkładowi lub rozkładowi, świeże lub nieodbarwione fragmenty skały macierzystej są obecne w strukturze lub jako porwaki	– podobnie jak w strefie V nieodpowiednie do posadowienia betonowych zapór; – nierównomierne rozłożenie ostańców skał macierzystych sprawia, że jest niepewnym podłożem dla obiektów gabarytowych
Skały umiarkowanie zwietrzałe / III $R_w = 10\text{--}35\%$ WRW 0,05–0,25	mniej niż połowa skały uległa rozkładowi lub rozkładowi do gruntu	– wykonanie wykopów może przysporzyć trudności, ale do urabiania nie wymaga środków strzałowych; – grunty nadają się jako podłoże do małych zwartych kubaturalnie obiektów i wałów ziemnych, mogą być stosowane do wykonywania półprzepuszczalnych wałów; – stabilność ścian wykopów zależy od cech strukturalnych, w szczególności od ułożenia spękań
Skała słabo zwietrzała / II $R_w = 0\text{--}10\%$ WRW 0,25–1,00	odbarwienie wskazujące wietrzenie dotyka skałę oraz powierzchnię nieciągłości; cała skała może być odbarwiona w wyniku wietrzenia	– do urabiania są wymagane środki strzałowe; – odpowiednie do posadowienia betonowych fundamentów i zapór; – charakteryzują się dużą przepuszczalnością, ze względu na obecność szczelin; – bardziej przepuszczalne niż strefy I i III
Skała macierzysta / I $R_w = 0\%$	brak widocznych śladów wietrzenia, możliwe delikatne odbarwienie wzdłuż głównych nieciągłości	– odbarwienie wskazuje na przesączanie się wód wzdłuż szczelin; – poszczególne bloki skalne mogą zostać poluzowane w wyniku robót strzałowych lub/i odprężenia; – możliwe konieczne zabezpieczenia w przypadku tuneli i wykopów

z głębokością w profilu zwietrzelinowym liczba okruchów skały wzrasta, a krawędzie okruchów są bardziej kanciaste, np.: w strefie skał umiarkowanie zwietrzałych (III) występuje 10–35% ostrokrawędzistych okruchów skał, a w strefie skał bardzo silnie zwietrzałych (IV) znajduje się 35–75% słabo obtoczonych okruchów skał;

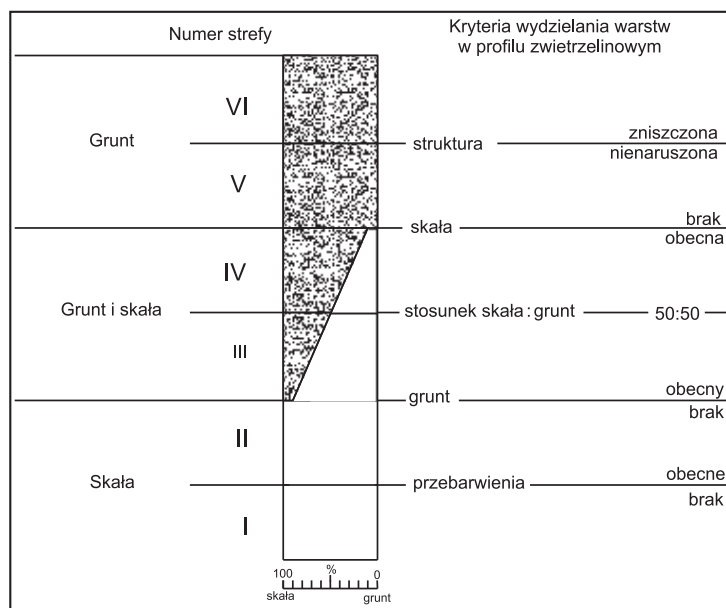
- obecność gruntu – wskazuje na granice między strefą skał słabo zwietrzałych (II) i skał umiarkowanie zwietrzałych (III); jeżeli w profilu występuje tylko skała oznacza strefę II lub I;
- przebarwienia materiału skalnego – świadczą o rozpoczęciu procesów wietrzenia chemicznego; odróżnia strefę II od I.

Zasadnicze problemy geologiczno-inżynierskie zwietrzelin wiążą się z określeniem wykształcenia litologicznego, doбором metod badawczych, charakterystyką cech fizyczno-mechanicznych, określeniem stopnia zwietrzenia (Drągowski i in., 1984).

Na potrzeby dokumentowania badań podłoża zwietrzelin, zgodnie z definicją podaną przez Migonia (2006), zalicza się do wszystkich rodzajów skał i gruntów wg klasyfikacji podanej w normie PN-B-02480, PN-EN ISO 14689-1 oraz PN-EN ISO 14688-2. Wskutek tego w opisie makroskopowym zwietrzelin zaleca się podawać genezę, procentowy udział okruchów skał w stosunku do materiału wypełniającego, nazwę skały, z której zbudowane są okruchy, nazwę i opis materiału wypełniającego stosując metody oznaczania jak dla gruntów.

Do wydzielenia i opisu profilu zwietrzelinowego można stosować normę PN-EN ISO 14689-1, która wyróżnia sześciostopniową skalę zwietrzenia masywu skalnego (rys. 27).

Metody badań laboratoryjnych zwietrzelin muszą być dobrane do poszczególnych stref profilu zwietrzelinowego. Dla próbek zwietrzelin pobieranych ze strefy gruntu rezydualnego stosuje się metody jak dla gruntów, próbki pobierane ze strefy skał słabo zwietrzałych bada się metodami stosowa-



Rys. 27. Makroskopowe kryteria wydzielenia warstw w profilu zwietrzelinowym (PN-EN 14689-1)

nymi dla skał. Granicę stosowania metod badań w zależności od tego, czy zwietrzelina ma właściwości gruntu czy skały, przyjmuje się między strefami skał umiarkowanie zwietrziałych (strefa III) a skał silnie zwietrziałych (strefa IV).

Badania terenowe projektuje się w celu rozpoznania powierzchniowych warstw profilu zwietrzelinowego. Przegląd metod polowych wraz z ich przydatnością i ograniczeniami w badaniach zwietrzelin przedstawiono w tabeli 13.

Rodzaj i zakres badań powinien być ukierunkowany na określenie:

- rozprzestrzenienia zwietrzeliny zarówno w pionie, jak i w poziomie;

- występowania i ukształtowania warstw profilu wietrzelinowego;
- stref nieciągłości: uskoki, spękania i in.

Na terenach występowania zwietrzelin zaleca się projektować następujące badania geofizyczne: grawimetryczne, elektrooporowe, georadarowe, elektromagnetyczne i sejsmiczne. Badania geofizyczne zaleca się prowadzić na etapie rozpoznania wstępnego przed wierceniami i sondowaniami oraz po wykonaniu wierceń i sondowań, w nawiązaniu do projektowanych przekrojów geologiczno-inżynierskich/geotechnicznych, w celu uszczegółowienia modelu geologicznego w miejscach anomalii.

Tabela 13

#### Przydatność badań polowych do oznaczania cech gruntów zwietrzelinowych

Metoda	Wykonywane pomiary	Zastosowanie	Ograniczenia
Badanie dynamiczne sondą SPT	liczba uderzeń $N$ , współczynnik energii $E_r$ , opis gruntu	pobór próbek, lokalizacja stref osłabień	występowanie kamieni, gruzu i dużych otoczków; wymaga podwiertu; metoda ograniczona do strefy VI profilu, w przypadku dużej liczby ostańców możliwość zaklinowania próbника
Badanie statyczne sondą stożkową CPT/ CPTU	opór zagłębienia stożka $q_c$ , miejscowy, jednostkowy opór tarcia na poboczniczy $f_s$ , współczynnik tarcia $R_f$	profil wytrzymałościowy i odkształceniowy podłoża, uwarstwienie, zasięg głębokościowy gruntów słabych, nasypowych, lokalizacja stref osłabień, zasięg kolumium w przypadku osuwisk	bardzo zagęszczone piaski, zwały i pospółki; występowanie w badanej strefie ostańców skał macierzystych; metoda ograniczona do stref V i VI profilu wietrzelinowego
Badanie dylatometrem płaskim DMT	skorygowane ciśnienie $p_0$ , skorygowane ciśnienie $p_1$ przy wychyleniu membrany 1,1 mm, moduł dylatometryczny $E_{DMT}$ , wskaźnik materiałowy IDMT oraz wskaźnik naprężeń poziomych KDMT	–	możliwość uszkodzenia membrany w przypadku występowania kamieni i gruzu; metoda ograniczona do VI strefy profilu wietrzelinowego – grunt rezydualny
Badanie polową sondą krzyżakową FVT	wytrzymałość na ścinanie bez odpływu (bez poprawki) $c_{fv}$ , wytrzymałość na ścinanie bez odpływu gruntu przerobionego $c_{rv}$ , krzywa momentu obrotowego	–	dla gruntów o $c_u < 150$ kPa (VI strefa profilu wietrzelinowego)

#### 4.9. PROJEKTOWANIE BADAŃ NA TERENACH DEGRADACJI ANTROPOGENICZNEJ

Problematyka terenów i gruntów zdegradowanych antropogenicznie dotyczy najczęściej obszarów uprzemysłowionych i silnie zurbanizowanych. Do głównych czynników antropogenicznych powodujących degradację terenu m.in. należą:

- eksploatacja złóż kopalin i budownictwo podziemne;
- budownictwo przemysłowe i składowanie odpadów;
- budownictwo mieszkaniowe, drogowe i kolejowe;
- budownictwo wodne, regulacja rzek i melioracje wodne.

Podczas projektowania badań na terenach degradacji antropogenicznej należy uwzględnić wiele problemów, które powinno się rozwiązać podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. Dokładność rozpoznania podłoża gruntowego na takich terenach zależy od rodzaju degradacji, przestrzeni objętej degradacją oraz stopnia skomplikowania warunków gruntowych.

Zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1997-1 w przypadku budowli posadowionych na obszarach zdegradowanych należy ocenić rodzaj i zasięg zanieczyszczeń podłoża, wskazać możliwości ich dekontaminacji oraz zaplanować odpowiednie badania. Norma nie podaje szczegółowego zakresu badań, które należy wykonać na obszarach degradacji w wyniku działalności człowieka.

Problematyka dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na takich terenach została kompleksowo przedstawiona w publikacji „Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych” (Frankowski i in., 2012; dostęp: [http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas\\_y\\_gi/publikacje](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje)). Zaleca się stosować jej wytyczne w zakresie metodyki dokumentowania i projektowania badań podłoża na potrzeby posadowienia obiektów budowlanych, zagospodarowania oraz rekultywacji i remediacji na terenach degradacji antropogenicznej.

Podczas projektowania badań podłoża na omawianym terenie należy uwzględnić:

- analizę materiałów archiwalnych;
- aktualne i historyczne informacje o terenie;
- specyficzne dla warunków kontaminacji zasady projektowania badań i wykonywania dokumentacji geologiczno-inżynierskich;
- zakres badań geologiczno-inżynierskich w zależności od rodzaju degradacji i typu planowanej rekultywacji;
- różne metodyki badań, z uwzględnieniem badań specjalistycznych przeznaczonych do badań terenów objętych degradacją antropogeniczną;
- ogólną charakterystykę rodzajów rekultywacji pod kątem wymogów środowiskowych;
- szeroki zakres badań środowiskowych, w tym ocenę właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał zmienionych antropogenicznie;
- rodzaj, sposób i zakres monitoringu gruntów i wód gruntowych w zależności od rodzaju degradacji terenu;
- sposoby prezentacji i interpretacji wyników badań.

Zaleca się stosować wymagania podane w tabelach (Frankowski i in., 2012) zawierających wytyczne do projektowania zakresu i rodzaju badań terenowych i laboratoryjnych, które należy wykonać, w celu charakterystyki podłoża na terenach degradacji antropogenicznej.

Przed przystąpieniem do planowania badań podłoża na takich terenach dobrze jest zapoznać się z podobnymi przykładami, zrealizowanymi w celu rekultywacji terenów zdegradowanych, w odniesieniu do rodzajów rekultywacji z podziałem na fazy (przygotowawcza, techniczna i biologiczna) oraz metod (*in situ* i *ex situ*, samooczyszczania i rekultywacji gleb i gruntów zanieczyszczonych metalami ciężkimi).

#### 4.10. PROJEKTOWANIE BADAŃ NA TERENACH WSPÓŁCZESNEJ I HISTORYCZNEJ DZIAŁALNOŚCI GÓRNICZEJ

W Polsce można wyodrębnić kilkanaście regionów uznanych za miejsca o intensywnej, współczesnej lub historycznej działalności górniczej (rys. 28). Intensywność zjawisk związanych z eksploatacją górnictwem zależy od naturalnych warunków górniczych, rodzaju eksploatacji (odkrywkowa, podziemna, otworowa) oraz metod wydobywczych. Najbardziej niekorzystne zjawiska związane z eksploatacją górnictwem to deformacje nieciągłe, które występują w rejonach płytkiej, podziemnej eksploatacji górnictwem (< 80 m). Są one trudne do prognozowania i mogą wystąpić w nieokreślonym od zakończenia eksploatacji czasie (nawet po wielu latach). Deformacje ciągłe o charakterze niecek osiadań są łatwiejsze do prognozowania, a największe oddziaływania obserwuje się w ich skłonach.

Badania na obszarach działalności górniczej należy tak zaprojektować, żeby możliwa była ocena:

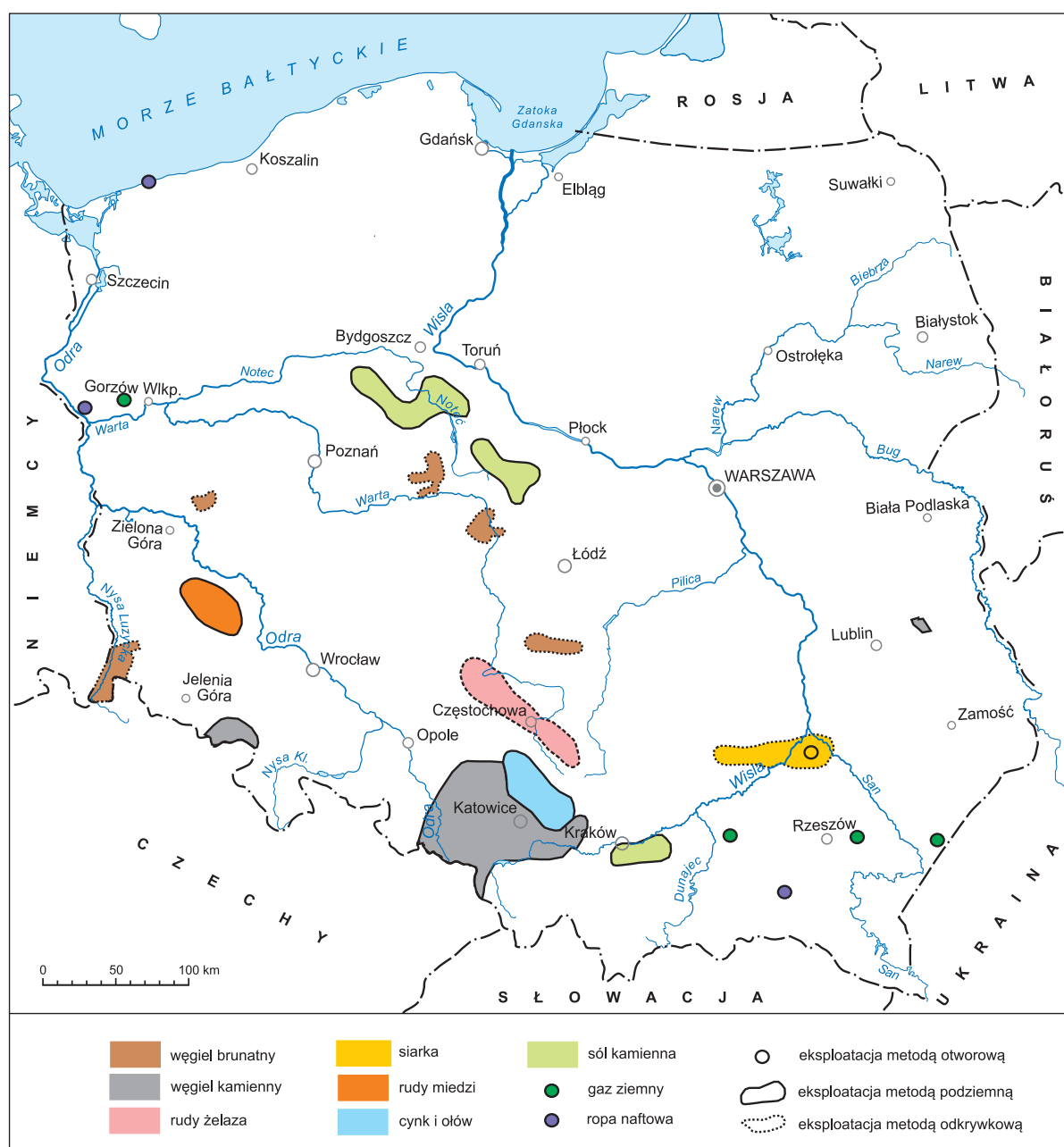
- charakteru zmian struktury gruntu oraz cech fizyczno-mechanicznych;
- zmian warunków wodnych w górotworze i na powierzchni (np. wypełnianie się lejów depresji po zakończeniu odwodnienia, zmiany sieci hydrograficznej, podmokłości);
- procesów geodynamicznych (osuwisk wywołanych eksploatacją górnictwem lub wstrząsami górnictwem, deformacji filtracyjnych itp.);
- zanieczyszczenia gruntów i wód podziemnych mających wpływ na pogorszenie parametrów mechanicznych gruntów lub zwiększenie agresywności względem betonu i stali;
- sejsmiczności terenu pod kątem intensywności wstrząsów parasejsmicznych;
- ryzyka możliwości wystąpienia deformacji pierwotnych (ciągłych lub nieciągłych) oraz wtórnych wywołanych zmianą stosunków wodnych;
- przydatności terenu do zabudowy (prognozy górnicze).

Prognoza górnicza powinna zawierać szczegółowe rozpoznanie warunków górniczych, eksploatacji i harmonogramu oraz szczegółowe rozpoznanie wartości wskaźników deformacji i ich zmienności w czasie. W zależności od etapu projektowania prognozy mają charakter przybliżony, podstawowy lub szczegółowy (Kawulok, 2013). Prognozę przybliżoną opracowuje się na potrzeby formułowania założeń techniczno-

-ekonomicznych. Zawiera orientacyjne rozpoznanie warunków górniczych, sposób i terminy eksploatacji poszczególnych pokładów, maksymalne obniżenia terenu, kategorie terenu górniczego lub kategorie deformacji (Dobak i in., 2009). Prognoza podstawowa zawiera przede wszystkim określenie warunków górniczych potrzebnych do projektowania, w tym informacje na temat ekstremalnych wartości wskaźników deformacji – maksymalnych obniżzeń terenu, maksymalnych nachyleń, ekstremalnych odkształceń poziomych oraz krzywizn. Prognoza szczegółowa powinna być sporządzana w celu ochrony istniejących obiektów oraz do projektowania

skomplikowanych lub wrażliwych na oddziaływania górnicze konstrukcji. Prognozy powinny uwzględniać możliwe warianty eksploatacji w celu osiągnięcia kompromisu między wymaganiami obiektu a ekonomią eksploatacji przez optymalną lokalizację filarów ochronnych.

Zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1997-1 możliwość wystąpienia zjawisk wywołanych działalnością górniczą (pustek, deformacji, osiadań itp.) należy zaliczyć do oddziaływań przyjmowanych w obliczeniach stanów granicznych (w szczególności stateczności ogólnej i użyteczności) w przypadku budowli posadowionych na obszarach szkód



Rys. 28. Główne rejony intensywnej współczesnej i historycznej eksploatacji górniczej (Frankowski i in., 2012)

górnictwa. W normie nie podano zaleceń, w jaki sposób projektować badania na terenach objętych działalnością górnictwa.

Podczas projektowania badań podłoża na takich terenach należy uwzględnić:

- analizę materiałów archiwalnych, obejmującą dokumentację złożowe, mierniczo-geologiczne, monitoringowe, prognozy górnicze, dane teledetekcyjne itp.;
- kartowanie geologiczno-inżynierskie, obejmujące bezpośrednią obserwację wszelkich deformacji terenu (ciągłych i nieciągłych), podmokłości, podtopień, zalewisk, ucieczek wód powierzchniowych oraz innych zjawisk towarzyszących spowodowanych działalnością górnictwa, takich jak hałdy, osadniki itp.;
- badania geofizyczne, głównie: grawimetryczne, geoelektryczne, sejsmiczne, radarowe, termiczne, które mają na celu ocenę masywu skalnego, określenie zasięgu stref nieciągłości, lokalizację struktur podziemnych typu: wyrobiska, sztolnie, pustki, stref zwałowych, zmian w ułożeniu warstw, rozluźnień itp.;
- wiercenia, projektowane w celu weryfikacji danych uzyskanych z pomiarów geofizycznych (lokalizacja starych zrobów i zjawisk krasowych oraz kontrola stanu zabezpieczeń w górotworze);

- sondowania, chociaż mają ograniczoną przydatność z uwagi na fakt, że w kraju górnictwo podziemne dotyczy głównie masywów skalnych, przydatność tych metod jest jednak znacząca dla terenów po dawnej eksploatacji rud żelaza z kompleksu osadów ilastych (np. rejon Częstochowy);
- badania wglębne lub introskopowe, jeżeli są możliwe, w tym: bezpośrednie obserwacje chodników, stanu filarów oporowych, stanu rozluźnienia górotworu, stref spękań i charakteru wypełnień nieciągłości oraz innych niekorzystnych zjawisk;
- badania laboratoryjne, w zakresie parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów i skał, chemizmu wód i zanieczyszczeń gruntów.

Zaleca się, żeby częstotliwość i szczegółowość badań zwiększać w miejscach występowania przejawów deformacji oraz w strefach płytkiej eksploatacji górnictwa, a szczególnie na obszarach działalności historycznej.

Szczegółowe informacje dotyczące projektowania badań na terenach działalności górnictwa zawierają publikacje o charakterze poradnika (Bażyński i in., 1999; Dobak, 2009; Frankowski i in., 2012; [http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas\\_y\\_gi/publikacje](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje)), które zaleca się stosować w praktyce dokumentowania.

## 5. WYKONYWANIE, INTERPRETACJA I OCENA WYNIKÓW BADAŃ TERENOWYCH

Badania terenowe stanowią podstawę do scharakteryzowania warunków występujących w podłożu gruntowym inwestycji, a także do zbudowania modelu geologicznego. W efekcie powstaje duży zbiór wyników badań, w tym wartości pomierzonych i wyprowadzonych parametrów geotechnicznych, który jest wykorzystywany w celu wydzielenia i scharakteryzowania warstw gruntów i skał.

Badania terenowe powinny być odpowiednio zaprojektowane, dokładnie wykonane, a ich wyniki zinterpretowane i ocenione odpowiednio do etapu badań podłoża gruntowego i stopnia skomplikowania warunków gruntowych.

Norma PN-EN 1997-2 zaleca wykonywanie badań polowych na każdym etapie badań podłoża. Na etapie wykonywania badań do celów projektowych zaleca opracowanie programu badań polowych.

Do badań terenowych zaliczamy:

- badania, dla których norma PN-EN 1997-2 podaje szczegółowe wymagania i zalecenia metodyczne:
  - kartowanie geologiczno-inżynierskie (wg PN-EN 1997-2 częściowo czynności te wykonuje się w ramach wizji lokalnej);
  - pobieranie próbek gruntów, skał i wód podziemnych (wiercenia);
  - badania hydrogeologiczne (wg normy PN-EN 1997-2 – pomiary wód gruntowych);
  - badania polowe gruntów i skał (sondowania);
- badania, dla których norma PN-EN 1997-2 nie podaje szczegółowych wymagań i zaleceń metodycznych:
  - specjalistyczne badania terenowe;
  - pomiary geodezyjne;
  - pomiary teledetekcyjne;
  - badania geofizyczne;
  - badania środowiskowe.

Zgodnie z ustawą o normalizacji (Dz.U. 2002 Nr 169 poz. 1386 z późn. zm.) stosowanie norm jest dobrowolne. W poradniku przy wykonywaniu badań polowych zaleca się stosowanie norm PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2 wraz z dokumentami powiązanymi. Jednak ostateczny wybór norm i korelacji interpretacyjnych należy zawsze do uczestników procesu budowlanego. Wybór dokumentu odniesienia każdorazowo należy w dokumentacji wskazać i uzasadnić w szczególności w przypadku stosowania norm nie przywołanych w Eurokodzie 7.

Niezależnie od celu badań podłoża oraz od formy przedstawiania efektów dokumentowania należy zaprojektować i wykonać badania terenowe, które stanowią podstawowe źródło infor-

macji o terenie i podłożu gruntowym. Bez nich opracowanie wiarygodnego modelu geologicznego nie jest możliwe (Kowalski, 1988). Podkreśla się, że dokumentator powinien wykazać się wysokim profesjonalizmem w zakresie interpretacji danych geologicznych, opartym na jego wiedzy geologicznej i geotechnicznej oraz doświadczeniu. W przypadkach skomplikowanych warunków gruntowych oraz obiektów trzeciej kategorii geotechnicznej zaleca się powoływanie doradczych grup ekspertów z różnych dziedzin w celu rozwiązywania trudnych problemów geologiczno-inżynierskich lub weryfikacji przyjętych założeń po to, żeby ograniczyć możliwość popełnienia błędów.

Zaleca się, żeby podstawowymi badaniami podłoża gruntowego identyfikującymi model geologiczno-inżynierski były wiercenia. Pozostałe badania umożliwiają fizyczno-mechaniczną charakterystykę wydzielen w obrębie modelu geologiczno-inżynierskiego i należy traktować je jako rozwinięcie i uszczegółowienie modelu geologicznego.

### 5.1. KARTOWANIE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Kartowanie geologiczno-inżynierskie obejmuje takie czynności, jak zbieranie i opracowywanie graficzne wszystkich obserwacji i zjawisk geologicznych, występujących w strefie przypowierzchniowej, które mogą mieć znaczenie z punktu widzenia warunków i potrzeb budowlanych (Malinowski, 1960). Odpowiednie przeprowadzenie kartowania umożliwi wstępną charakterystykę podłoża gruntowego oraz zaplanowanie dalszych badań z uwzględnieniem doboru właściwej metody badawczej oraz dostępności terenu.

Celem kartowania geologiczno-inżynierskiego jest:

- weryfikacja materiałów archiwalnych oraz map topograficznych z warunkami odnotowanymi w terenie;
- wstępna charakterystyka geologiczna strefy przypowierzchniowej, umożliwiająca zaprojektowanie badań oraz dobór odpowiednich metod badawczych;
- identyfikacja i opis występujących zjawisk i procesów geodynamicznych;
- identyfikacja i opis naturalnych i antropogenicznych odsłoneń;
- weryfikacja możliwości wykonania planowanych robót geologicznych pod względem dostępności terenu, lokalizacja utrudnień naturalnych (stroma zbocza, podmokłości, zalesienie) oraz antropogenicznych (gęsta zabudowa i infrastruktura, konieczność uzyskania pozwoleń wejścia w teren od właścicieli gruntów);



- uszczegółowienie wizji terenowej.

Przygotowując się do kartowania geologiczno-inżynierskiego, należy przeanalizować materiały archiwalne oraz spostrzeżenia z wizji terenowej, co pomoże rozplanować prace w terenie i zoptymalizować czas na nie poświęcony. W szczególności należy przeanalizować dostępne produkty teledetekcyjne (ortofotomapę, numeryczny model terenu, dane ze skaningu laserowego – lidarowe itp.). Dane te powinny stanowić pierwszy etap przed rozpoczęciem prac w terenie. Analiza ta w szczególności pozwala określić miejsca wpływające na ocenę podłoża budowlanego (obniżenia, podmokłości, formy wypukłe itp.). Dokładność kartowania należy dopasować do złożoności budowy geologicznej oraz do celów, dla których jest wykonywane (rozdz. 4.3).

Kartowanie geologiczno-inżynierskie należy zaprojektować w taki sposób, żeby objąć obserwacjami cały obszar badań. Mapy topograficzne, na których zostaną zaprojektowane marszruty, powinny być w odpowiednim układzie współrzędnych oraz w skali dobranej do celu geologiczno-inżynierskich prac dokumentacyjnych. Na mapy należy nanieść lokalizację projektowanych punktów dokumentacyjnych w odniesieniu do przeprowadzonej wizji terenowej. Przy ustalaniu trasy w pierwszej kolejności należy wykorzystać elementy rzeźby terenu charakterystyczne dla danego obszaru, które jednocześnie mogą wskazywać na zmienność litologiczną i genetyczną gruntów. Szczególną uwagę należy zwrócić na miejsca, gdzie istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia gruntów słabych, tj. zagłębienia, obniżenia terenu, obszary zagrożone osuwiskami oraz na elementy wyróżniające się w morfologii terenu. W kartowaniu należy uwzględnić istniejące odslonięcia, w których można dokonać pomiaru i obserwacji.

Podczas kartowania geologiczno-inżynierskiego należy uwzględnić następujące elementy:

- lokalizacja, opis i dokumentacja fotograficzna odslonień naturalnych i antropogenicznych, wykopów, hałd i nasypów;
- lokalizacja, opis i dokumentacja fotograficzna miejsc występowania procesów geodynamicznych i niekorzystnych zjawisk geologicznych;
- lokalizacja, opis i dokumentacja fotograficzna zjawisk i form geodynamicznych (kras, osuwiska, osiadanie zapadowe w lessach, sufozja, erozja, abrazja, upłynnienie gruntu itp.);
- lokalizacja występowania wód powierzchniowych, przejawów wód gruntowych, ujęć wód podziemnych;
- wyznaczanie intersekcyjnych granic geologicznych na podstawie pomiarów biegu, upadu i kierunku spękań;
- opis terenu na trasie wyznaczonych marszrut;
- lokalizacja elementów środowiska, procesów i zjawisk, które mogą utrudnić dalsze prace dokumentacyjne;
- lokalizacja, opis i dokumentacja fotograficzna wraz z informacją na temat zorientowania przestrzennego form geomorfologicznych z uwzględnieniem obszarów o spadkach większych niż  $10^\circ$  – należy zwrócić uwagę na ich stateczność;
- obserwacja istniejących obiektów budowlanych i górniczych (odkształcenia obiektów i podłoża gruntowego – pęknięcia, rysy, wypieranie gruntu, osuwiska, podtopienia, odwodnienia);

- lokalizacja obszarów szkód budowlanych i górniczych;
- lokalizacja lokalnych podtopień i granic zasięgu stanów powodziowych, w tym wody 100- i 500-letniej na podstawie map opracowanych w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju);
- objawy przemarzania gruntów.

Jeśli wyżej wymienione pomiary i spostrzeżenia zostały wykonane podczas wizji terenowej i nie potrzebują uszczegółowienia, można je pominąć podczas kartowania.

Informacje zebrane podczas kartowania geologiczno-inżynierskiego należy przedstawić w sposób czytelny, najlepiej w formie tekstowej i graficznej (mapy, zdjęcia karty obserwacji terenowych). W celu umożliwienia ich dalszego wykorzystania i przetwarzania, wskazane jest opracowanie bieżącej warstwy GIS z zasięgiem danej obserwacji (konturem, punktem, granicą itp.). Opisy obserwacji i procesów, napotkanych w trakcie kartowania, powinny obejmować rodzaj zjawiska, lokalizację i jego rozprzestrzenienie, genezę, opis warunków geologicznych i morfologicznych, intensywność rozwoju, parametry fizyczne, przyczyny powstania zjawiska, rodzaje gruntów, aktywność oraz oszacowanie zagrożenia jakie stanowi dane zjawisko.

## 5.2. POMIARY GEODEZYJNE

Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033) każdy punkt dokumentacyjny powinien mieć określoną rzędną wysokościową. Ponadto w karcie informacyjnej należy podać współrzędne płaskie (x, y) oraz rzędną wysokościową (H) dla każdego otworu badawczego oraz sondowania (określenie rzędnej wysokościowej jest wymagane także w normie PN-EN 1997-2 (pkt 4.2.1)).

Dlatego też w trakcie wykonywania robót geologicznych niezbędne są terenowe pomiary geodezyjne dokumentowanych punktów badawczych. Pomiary te pozwolą na pozyskanie współrzędnych geodezyjnych w obowiązującym państwowym układzie, zgodnie z rozporządzeniem w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz.U. 2012 poz. 1247).

Wszystkie pomiary terenowe należy wykonywać na podstawie punktów poziomej i wysokościowej osnowy geodezyjnej zgodnie z rozporządzeniem w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (Dz.U. 2011 Nr 263 poz. 1572). W przypadku niewystarczającej gęstości osnowy w terenie dopuszcza się wykorzystywanie trwałych elementów terenowych o określonych współrzędnych na mapie jako podstawy do pomiarów współrzędnych punktów badawczych.

Terenowe pomiary sytuacyjne (pomiar współrzędnych płaskich) mogą być wykonywane za pomocą:

- metody biegunowej (pomiary tachimetryczne polegające na jednoczesnym pomiarze kąta poziomego oraz odległości do punktu);
- metody ortogonalnej (pomiary polegające na odczytaniu z taśmy „miary bieżącej” oraz prostopadłego do niej „domiaru”);

- metody wcięć kątowych, liniowych oraz kąto-liniowych (pomiar oparte na geometrii trójkąta, w którym wyznaczany punkt jest jednym z wierzchołków);
- metody precyzyjnego pozycjonowania przy pomocy GNSS (pomiar satelitarne punktów z zastosowaniem konstelacji satelitów GPS, Glonass i in., przy pomocy precyzyjnych geodezyjnych anten odbiorczych).

Terenowe pomiary wysokościowe (pomiar rzędnych wysokościowych) mogą być wykonywane za pomocą:

- metody geometrycznej (pomiar za pomocą niwelatora);
- metody trygonometrycznej (pomiar tachymetryczne polegające na jednoczesnym pomiarze kąta pionowego oraz odległości do punktu);
- metody satelitarnej (pomiar satelitarne punktów z zastosowaniem konstelacji satelitów GPS, Glonass i in., przy pomocy precyzyjnych geodezyjnych anten odbiorczych);
- metody skaningu laserowego (pomiar przestrzenny za pomocą skanera emitującego oraz odbierającego impulsy laserowe odbite od obiektu).

Dokładność wyznaczenia współrzędnych płaskich oraz rzędnej wysokościowej powinna być dostosowana do potrzeb rozwiązywanego zagadnienia (ewentualnie wymagań zamawiającego). Sugeruje się wyznaczenia współrzędnych płaskich na z dokładnością  $\pm 0,3$  m, natomiast rzędnej wysokościowej na z dokładnością  $\pm 0,1$  m (jeśli brak jest dodatkowych wytycznych dotyczących precyzji pomiarów geodezyjnych).

Na potrzeby dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, oprócz otworów badawczych, odkrywek oraz sondowań są wykonywane inne badania, m.in. geofizyczne (badania elektrooporowe, sejsmiczne, grawimetryczne i in.). Dokładność pomiarów geodezyjnych jest zależna od metody badań (np. w grawimetrii wysokości punktów badawczych są mierzone z centymetrową dokładnością, natomiast w badaniach sejsmicznych lub elektrooporowych dokładność pomiaru współrzędnych można przyjąć tę samą dokładność co otworów i sondowań).

Aby móc przedstawić lokalizację badań na mapach oraz modelach geologicznych, zaleca się wykonanie pomiarów współrzędnych geodezyjnych wszystkich rodzajów badań (punktów oraz profili).

Prace geodezyjne polegają także na pozyskiwaniu aktualnych podkładów mapowych. Obowiązek ich posiadania wynika z zapisów rozporządzenia dotyczącego projektów robót geologicznych (Dz.U. 2015 poz. 964). Lokalizację obszaru lub miejsc zamierzonych robót geologicznych należy przedstawić na mapie sytuacyjno-wysokościowej (opracowanej w odpowiednio dobranej skali) sporządzonej na podstawie danych i informacji uzyskanych z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego dla obszarów lądowych.

Obowiązek pozyskiwania aktualnych map wynika także z rozporządzenia w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033), gdzie wszystkie mapy wykonane w ramach dokumentacji geologiczno-inżynierskiej sporządza się: dla obszarów lądowych – na podkładzie map topograficznych z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, dla obszarów morskich Rzeczypospolitej Polskiej – na podstawie map morskich

wykonanych przez Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej i urzędy morskie, a w przypadku czynnych zakładów górniczych – na podstawie map wyrobisk górniczych zawartych w dokumentacji mierniczo-geologicznej.

W przypadku wykorzystywania materiałów archiwalnych posiadających współrzędne geodezyjne w nieobowiązujących układach współrzędnych zaleca się transformację tych układów do układów aktualnie obowiązujących. Transformację taką można wykonać za pomocą oprogramowania komputerowego. Jednolita baza danych pod względem przestrzennym umożliwia łatwiejszą analizę danych oraz budowę modelu geologicznego.

Szczegółowa lokalizacja badań wykonanych na potrzeby dokumentacji geologiczno-inżynierskiej pozwala na precyzyjną analizę danych w przestrzeni oraz ewentualną weryfikację danych źródłowych (jest ona konieczna w dobie wykonywania opracowań przy pomocy komputerowego oprogramowania geologicznego).

### 5.3. METODY TELEDETEKCYJNE

Metody teledetekcyjne nie są uwzględnione w Eurokodzie 7. Niemniej jednak znajdują one coraz większe zastosowanie w badaniu środowiska naturalnego, w tym procesów geologicznych. W większości przypadków pozwalają one na uzyskanie ogólnej informacji z dużego terenu i mogą być poddawane zunifikowanym procesom przetwarzania. Zastosowanie takich metod pozwala przede wszystkim, po wstępnej interpretacji, na wyselekcjonowanie obszarów do bardziej szczegółowego rozpoznania. Skutkuje to znacznym ograniczeniem kosztów i koncentracją badań terenowych do obszarów, na których występuje zidentyfikowane zjawisko.

Teledetekcja zajmuje się wykrywaniem i analizowaniem obiektów lub zjawisk na podstawie zdalnego pomiaru energii promieniowania elektromagnetycznego, która jest przez obiekt odbijana lub emitowana. Dzięki temu pozyskanie informacji następuje bezinwazyjnie, unikając oddziaływania na środowisko. Obecnie większość informacji pozyskiwanych metodami teledetekcyjnymi jest dostarczana w postaci cyfrowej. Dane są następnie przetwarzane w specjalistycznym oprogramowaniu i wykorzystywane w procesie interpretacji i analizy szczegółowej. Teledetekcja koncentruje się głównie na określaniu cech jakościowych badanych obiektów czy zjawisk (Prost, 2013). Nauką bezpośrednio powiązaną z teledetekcją jest fotogrametria, zajmująca się pomiarami kształtów, rozmiarów i wzajemnego położenia obiektów.

Promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez obiekty na powierzchni Ziemi jest rejestrowane przez sensory umieszczone w urządzeniach rejestrujących. Ze względu na źródło pochodzenia rejestrowanego promieniowania sensory dzieli się na dwie grupy: pasywne i aktywne. Sensory pasywne rejestrują promieniowanie pochodzące od istniejących w środowisku źródeł energii (np. Słońca). Sensory aktywne emitują własną energię, która wchodzi w interakcję z badanymi obiektami i ponownie wraca do sensora.

Wydzielane są trzy podstawowe grupy metod teledetekcyjnych, związane z wysokością umieszczenia sensora nad

powierzchnią ziemi: satelitarne, lotnicze i naziemne. W każdej z tych grup można dokonywać bardziej szczegółowych podziałów.

Kolejnym kryterium klasyfikacji metod teledetekcyjnych jest ich podział w zależności od stosowanych sensorów, czyli techniki rejestracji. Podział ten wykorzystuje zakresy fal elektromagnetycznych (pasmo widzialne, bliska podczerwień, pasmo termalne, mikrofałe).

**Teledetekcja satelitarna.** Zasadniczym wyróżnikiem tej grupy metod teledetekcyjnych jest umieszczenie urządzenia rejestrującego poza atmosferą ziemską (Frankowski i in., 2012). Satelity wyposażone w skanery rejestrujące energię elektromagnetyczną odbitą lub emitowaną z powierzchni terenu krążą po orbitach okołoziemskich. Odbicie sygnału od fragmentu terenu jest zapisywane cyfrowo i odpowiada wartości jednego piksela wynikowego obrazu. Skanery pozyskują informacje w różnych zakresach pasma fal elektromagnetycznych. Najczęściej są to urządzenia wielospektralne pozwalające zapisywać jednocześnie informacje w kilku zakresach (np. LANDSAT TM – 7 zakresów spektralnych). Pozyskane obrazy mogą mieć bardzo różną rozdzielczość przestrzenną, w zależności od celu wykonywanych obrazowań. Najbardziej popularne satelity pozyskujące obrazy do celów środowiskowych w pasmach światła widzialnego i podczerwieni (LANDSAT, SPOT, IRS, ASTER, SENTINEL-2) charakteryzują się rozdzielczością w przedziale 5–30 m. Rozwój technologiczny i rosnące zapotrzebowanie na obrazy satelitarne spowodowało wysłanie w przestrzeń kosmiczną na początku XXI w. satelitów o wysokiej rozdzielczości, tj. ok. 1 m (IKONOS, QuickBird, WorldView, GeoEye).

Systemy teledetekcyjne, szczególnie satelitarne, zapewniają powtarzalne i spójne obrazowanie powierzchni ziemi, co jest nieocenione w prowadzeniu monitoringu zmian, krótko- i długookresowych. Standardowe czasy rewizyty nad tym samym obszarem wynoszą od kilku do kilkunastu dni.

Oddzielną grupą w teledetekcji są satelity radarowe (TerraSAR-X, CosmoSky-Med, ALOS-2, Radarsat-2, Sentinel-1). Rejestrują one odbicie fali radarowej o długości 0,75–100 cm emitowanej przez sensor umieszczony na pokładzie. Podstawową zaletą pozyskiwanych tym sposobem obrazów jest możliwość rejestracji powierzchni ziemi, niezależnie od pory dnia i nocy oraz, co bardzo istotne, niezależnie od warunków atmosferycznych, które stanowią barierę dla innych rodzajów obserwacji teledetekcyjnych. Sceny radarowe są wykorzystywane w geologii do analiz geomorfologicznych, oraz wyznaczania zmian pokrycia terenu i poziomu wilgotności gleby. Przetworzone w technice interferometrii satelitarnej umożliwiają pozyskanie numerycznego modelu terenu oraz wartości ruchów na powierzchni ziemi (osiadania i podnoszenia terenu). Metoda ta znajduje zastosowanie m.in. na obszarach występowania ruchów masowych, osiadania gruntów oraz innych procesów przyrodniczych, podczas których następuje przemieszczenie powierzchni terenu (Ferretti i in., 2007).

**Teledetekcja lotnicza.** Od początku rozwoju lotnictwa rozwijała się również fotogrametria lotnicza (pierwsze zdjęcie z samolotu zostało wykonane w 1909 r.; Kurczyński, 2014).

Obecnie samoloty wyposaża się w kamery cyfrowe, zapisujące obrazy w zakresie spektrum widzialnego, podczerwieni lub paśmie termalnym. Do szczegółowych analiz środowiskowych (np. identyfikacji minerałów, analizy zanieczyszczenia gleb) wykorzystuje się również kamery hiperspektralne, rejestrujące odbicie w kilkudziesięciu lub kilkuset kanałach spektralnych jednocześnie (np. AISA; Hejmanowska i in., 2006). Zdjęcia cyfrowe umożliwiają wykonanie ortofotomap (obrazu w rzucie ortogonalnym, po rektyfikacji, tj. usunięciu zniekształceń spowodowanych różnicami wysokości terenu i kąta nachylenia) o rozdzielczości dochodzącej do kilkunastu centymetrów. Ortofotomapy są generowane także ze zdjęć satelitarnych, jednak z punktu widzenia możliwości interpretacji wizualnej, ortofotomapy lotnicze stanowią materiał o wyższej dokładności odwzorowania obserwowanych obiektów (Kurczyński, 2014).

Dla niektórych obszarów są dostępne archiwalne zdjęcia lotnicze pochodzące z różnych okresów, na których zostały zarejestrowane informacje dotyczące powierzchni, obiektów oraz sytuacji z danego roku. Serie historycznych zdjęć lotniczych są niezwykle cennym materiałem do monitorowania i analizy zmian w środowisku ze względu na możliwość odtworzenia stanów pośrednich obserwowanych obiektów, powierzchni lub identyfikacji obecnie nieistniejących już obiektów.

Obrazy lotnicze służą także do tworzenia trójwymiarowych numerycznych modeli terenu (NMT) (*Digital Terrain Model – DTM*). W tym celu są wykorzystywane zdjęcia stereoskopowe wykonywane dla tego samego obszaru (o pokryciu nie mniejszym niż 60%) pod różnym kątem. Numeryczny model terenu umożliwia m.in. wyznaczenie współrzędnych X, Y, H punktu, uzyskanie informacji o powierzchni terenu w postaci warstw, przekrojów i kierunków spadków, określenie objętości mas ziemnych, przedstawienie powierzchni geograficznej w postaci modelu 3D, co znajduje zastosowanie w różnych dziedzinach. Obserwacje stereoskopowe (3D) zdjęć ułatwiają interpretację treści zdjęć, identyfikację szukanych obiektów, co przyczynia się do zwiększenia poprawności prowadzonych analiz.

Wysokorozdzielcze trójwymiarowe modele terenu uzyskuje się również z lotniczego skaningu laserowego (*Airborne Laser Scanning – ALS*) (Kurczyński, 2014). W metodzie tej na pokładzie samolotu umieszczony jest lidar (*Light Detection and Ranging*). Urządzenie wysyła impulsy światła o konkretnej długości fali i w określonym kierunku, a następnie rejestruje ich powrót po odbiciu od powierzchni ziemi. Pomiar czasu powrotu fali umożliwia wyznaczenie trzech współrzędnych punktu powierzchni terenu. W ten sposób powstaje gęsta chmura punktów, będąca quasi-ciągłą reprezentacją pokrycia terenu. W wyniku filtrowania danych można uzyskać wyseparowanie obiektów z pokrycia roślinnością co umożliwia otrzymanie bardzo dokładnego modelu terenu, który może służyć do interpretacji cech morfologicznych oraz do wszelkich analiz przestrzennych, w tym zmian, jakie nastąpiły na powierzchni terenu. Skanowanie laserowe to przede wszystkim nieporównywalna z innymi metodami ilość informacji przestrzennych, pozyskana w krótkim czasie przy zachowaniu wysokiej dokładności opracowania.

Nowością wśród technik fotogrametrii lotniczej jest wykorzystanie bezałogowych statków powietrznych (*Unman-*

*ned Aerial Vehicle* – UAV) (Everaerts, 2008). Dzięki dużej odległości od powierzchni ziemi, umieszczenie kamery lub skanera laserowego na powierzchni UAV umożliwia pozyskanie danych z rozdzielczością centymetrową. Obecnie na szeroką skalę są wykorzystywane zdjęcia cyfrowe i ich produkty (ortofotomapa, modele stereoskopowe, modele pokrycia terenu).

**Teledetekcja naziemna.** Metody teledetekcyjne można też stosować bezpośrednio na powierzchni ziemi, w przypadku obserwacji lokalnych obiektów (Frankowski i in., 2012). Naziemny skanowanie laserowe (*Terrestrial Laser Scanning* – TLS) działa na podobnej zasadzie co ALS, wysyłając wiązkę światła i mierząc czas jej powrotu po odbiciu od obiektu na powierzchni (Petrie, Toth, 2009). Wynikiem pomiaru jest chmura punktów w trójwymiarowym układzie współrzędnych. W zależności od odległości skanera od obiektu (od kilku do kilkuset metrów) rozdzielczość chmury punktów może wynosić do kilku punktów na centymetr kwadratowy. Metoda pozwala na stworzenie bardzo szczegółowego trójwymiarowego modelu terenu oraz na przeprowadzenie analiz wystąpienia zmian na powierzchni obiektów (poprzez porównanie modeli uzyskanych w różnym czasie). W geologii jest przydatna głównie do monitoringu osuwisk oraz erozji klifów.

Do metod teledetekcji naziemnej zalicza się również fotogrametrię bliskiego zasięgu, w której wykonuje się zdjęcia cyfrowe, przy zachowaniu odpowiedniej geometrii ich wzajemnego położenia (Kolecka, 2011). Metoda, podobnie jak fotogrametria lotnicza, umożliwia wykonanie fotomapy badanego obiektu, jego trójwymiarowego modelu oraz może służyć jako narzędzie archiwizacji stanu w dniu wykonania zdjęcia.

Metodą monitoringu zmian powierzchni terenu jest również naziemna interferometria radarowa (Casagli i in., 2010). Radar naziemny jest umieszczany zwykle w pobliżu monitorowanego obiektu (np. osuwiska) i poprzez cykliczne wykonywanie pomiarów w pasmie radarowym umożliwia detekcję przemieszczeń z dokładnością milimetrową.

Zestawienie przydatności i stosowalności poszczególnych metod przedstawia tabela 14.

#### 5.4. BADANIA GEOFIZYCZNE

Badania geofizyczne są w normie PN-EN 1997-2 jedynie wspomniane jako jedna z grup metod badawczych badań polowych dla etapu badań do celów projektowych. Norma PN-EN 1997-2 nie definiuje, ani zakresu badań geofizycznych, ani tym bardziej metodyki tych badań. Norma wymienia jedynie cztery przykładowe typy badań geofizycznych w sposób nieusystematyzowany, jako badania, które wśród innych informacji, mogą być potencjalnie wykorzystane do sporządzenia ogólnego programu badań.

Krajowe normy również nie regulują sposobów planowania i wykonywania badań geofizycznych, szczególnie dotyczących badań płytkiego podłoża. Najobszerniejszy zestaw standardów dotyczących prowadzenia badań geofizycznych można znaleźć wśród standardów publikowanych przez organizację ASTM. Dobór metod do poszczególnych zagadnień badawczych i planowanie badań jest opisane w standardzie

ASTM D6431-99(2010), standardy szczegółowe, dotyczące poszczególnych metod przywoływane są poniżej. Zestaw standardów ASTM dotyczących badań geofizycznych jest dalece niepełny i w przypadku badań wieloma z metod należy opierać się o wiedzę podręcznikową oraz zalecenia producentów poszczególnych rodzajów aparatów.

Pomimo marginalnego potraktowania badań geofizycznych w normie PN-EN 1997-2 i w krajowym systemie norm, zastosowanie odpowiednich metod geofizyki inżynierskiej, przy prawidłowym ich zaplanowaniu i wykonaniu może wnieść nieocenione informacje dotyczące rozpoznania podłoża gruntowego. Odpowiednie metody geofizyczne mogą znaleźć zastosowanie na każdym etapie rozpoznania podłoża. Już na etapie badań wstępnych można na podstawie badań geofizycznych wyjściowo określić rodzaj gruntu i skał a także stopień skomplikowania budowy geologicznej (stratyfikację), wstępnie oszacować właściwości wytrzymałościowe podłoża, czy wyznaczyć potencjał i zasięg ewentualnych złóż kruszyw. Na etapie badań do celów projektowych metody geofizyczne przede wszystkim pozwalają na korelację wyników uzyskanych dzięki zastosowaniu innych metod badań polowych, co z kolei pozwala na uzyskanie ciągłego (dwu lub trójwymiarowego) rozkładu parametrów. Może to mieć szczególne znaczenie w celu rozpoznania podłoża gruntowego przy złożonej budowie geologicznej.

Metody geofizyczne, stosowane do rozwiązywania problemów geotechnicznych i inżynierskich, pozwalają na wyznaczenie parametrów fizycznych ośrodka, gruntowego lub skalnego, takich jak fale sejsmiczne i elektromagnetyczne, oporność elektryczna czy gęstość objętościowa. Oczywiście niedogodnością takiego obrazowania jest to, że skład litologiczny, zawodnienie, parametry sprężyste, czy zagęszczenie ośrodka są niejednoznacznie wyznaczane na drodze interpretacji. Jednak w odróżnieniu od metod, w których dochodzi do pobrania próbek lub bezpośredniego kontaktu z ośrodkiem, metody geofizyczne pozwalają na ciągłe obrazowanie dwuwymiarowe lub trójwymiarowe, a parametry są mierzone przeważnie wartościami fizycznym.

W przypadku zastosowań związanych z rozpoznaniem podłoża gruntowego, metody geofizyczne mają zasadnicze zalety:

- zagęszczenie pomiarów jest na tyle wysokie, że można przyjąć, że pomiar jest ciągły; krok pomiarowy standardowo stosowany (5 m lub mniej) jest o rząd wielkości mniejszy niż przeciętne rozmiary obiektów geologicznych i zwykle mniejszy niż przeciętne niejednorodności w podłożu gruntowym/ośrodku skalnym;
- badania geofizyczne nie prowadzą do naruszenia struktury podłoża;
- czas wykonania badań i rozdzielczość rozpoznania jest długi, co podnosi efektywność kosztową badań.

Zestawienie przydatności i stosowalności poszczególnych metod przedstawia tabela 15.

W wyniku prowadzenia badań geofizycznych uzyskuje się przestrzenny obraz zmian jednej ze zmierzonych cech fizycznych podłoża gruntowego. W przypadku badań elektrooporowych jest to oporność elektryczna, w przypadku badań sejsmicznych – prędkość rozchodzenia fali sejsmicznej, a badań mikrograwimetrycznych – zmiana siły ciężkości. Powiązanie

Tabela 14

## Zestawienie przydatności i typowych zastosowań poszczególnych metod teledetekcyjnych

Typowe zastosowanie		Satelitarne zdjęcia multispektralne	Satelitarne zdjęcia w paśmie radarowym	Zdjęcia termalne	Zdjęcia hiperspektralne	Zdjęcia lotnicze	Lotniczy skaning laserowy	Fotogrametria niskiego pułapu – bezzałogowe statki powietrzne	Naziemny skaning laserowy	Naziemne zdjęcia cyfrowe	Naziemny radar interferometryczny
Obrazowanie ogólne	obraz poglądowy	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-
	analiza form morfologicznych	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-
	wyznaczenie fotolineamentów	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-
	możliwość penetracji przez niewielką pokrywą roślinną	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+
Produkty	ortofotomapa	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-
	obraz pokrycia terenu	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-
	numeryczny model terenu	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-
	różnicowy model terenu	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-
	model 3D wybranego obiektu na powierzchni	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-
Pomiary współrzędnych	pomiary sytuacyjno-wysokościowe	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-
	pomiary (monitoring) przemieszczeń	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+
Analizy środowiskowe	analiza zmian pokrycia terenu	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-
	analiza roślinności	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	analiza gleby	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
	analiza zanieczyszczeń	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
	analiza wilgotności	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-
	pomiar temperatury podłoża	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-

+ stosuje się; - nie stosuje się

prawidłowo pomierzonych cech fizycznych podłoża gruntowego (za pomocą badań geofizycznych) z budową geologiczną i określonymi warunkami geologiczno-inżynierskimi (za pomocą wierceń i sondowań) umożliwia interpretowanie cech fizycznych pomiędzy punktami dokumentacyjnymi z większym prawdopodobieństwem i opracowanie wiarygodniejszego modelu geologicznego (Kowalski, 1988).

Metody geofizyczne skorelowane z wynikami z wierceń umożliwiają (Kowalski, 1988):

- wyznaczenie granic warstw gruntów i skał między punktami dokumentacyjnymi;
- lokalizowanie zjawisk geologicznych i form antropogenicznych, niewidocznych na powierzchni terenu np.: formy erozyjne, zaburzenia glacitektoniczne i tektonicz-

ne, formy pochodzenia krasowego, strefy wietrzenia, prawdopodobne powierzchnie poślizgu form osuwiskowych, pustki po eksploatacji górniczej, zasięg zanieczyszczeń i in.;

- zaprojektowanie dodatkowych badań podłoża gruntowego w miejscach stwierdzonych anomalii.

Projektując badania geofizyczne, należy uwzględnić ich ograniczenia podane w tabeli 15 oraz stosować następujące zasady:

- metodę geofizyczną lub metody geofizyczne dobierać do warunków geologiczno-inżynierskich w zależności od jej czułości;
- przy interpretacji wyników badań geofizycznych uwzględniać błędy pomiarowe, które mogą przekraczać dopusz-

Tabela 15

## Zestawienie przydatności i typowych zastosowań badań geofizycznych

Technika badawcza	Podstawowe zastosowanie	Dodatkowe zastosowanie	Uwagi, istotne ograniczenia
Badania elektrooporowe			
Tomografia elektrooporowa	określenie litologii gruntów i skał	określenie położenia granic geologicznych	
Prześwietlania międzyotworowe	określenie przestrzennego rozkładu warstw o zróżnicowanej litologii		stosowane w lokalnej, ograniczonej skali, wyłącznie w skałach
Badania sejsmiczne			
Sejsmiczne profilowania refrakcyjne	określenie położenia granic o znacznym kontraście mechanicznym (położenie stropu skał, powierzchni poślizgu osuwisk)	określenie położenia swobodnego lustra wód gruntowych	technika mało precyzyjna
Sejsmiczna tomografia refrakcyjna	określenie przestrzennego rozkładu parametrów mechanicznych w podłożu	określenie położenia granic geologicznych	
Techniki fal powierzchniowych (MASW, SASW)	określenie przestrzennego rozkładu parametrów mechanicznych w podłożu		stosowane dla warstw przypowierzchniowych (rzędu 10–15 m)
Sejsmika refleksyjna	określenie położenia granic geologicznych		precyzja zbyt mała do zastosowań związanych z płytkim podłożem
Sejsmika międzyotworowa ( <i>crosshole</i> )	określenie rozkładu parametrów mechanicznych w profilu pionowym		
Prześwietlania sejsmiczne (tomograficzne)	określenie przestrzennego rozkładu parametrów mechanicznych w podłożu	określenie położenia granic geologicznych	stosowane w lokalnej, ograniczonej skali, w zadaniach, gdzie jest wymagana duża dokładność
Pionowe sondowania sejsmiczne	określenie rozkładu parametrów mechanicznych w profilu pionowym		technika nie sprawdza się w przypowierzchniowych warstwach gruntu, mała dokładność
Badania georadarowe			
Profilowanie georadarowe	wykrywanie i określenie położenia (zasięgu) instalacji, starych fundamentów itp.	określenie położenia granic geologicznych, pustek	mały zasięg głębokościowy
Badania radarowe otworowe	określanie położenia stref spękań		badania ograniczone do otworów w skałach litych
Badania grawimetryczne			
Mikrograwimetria	wyznaczanie zasięgu pustek naturalnych i sztucznych		
Badania elektromagnetyczne			
Konduktometr	określenie litologii gruntów i skał	określenie położenia granic geologicznych	mały zasięg głębokościowy, rzędu kilku metrów

czalne odchylenia od wyników uzyskanych z wierceń i sondowań;

- dokładność wyznaczania granic między warstwami w modelu geologicznym za pomocą interpretacji wyników badań geofizycznych maleje z głębokością i może wynosić  $\pm 10$  m.

#### 5.4.1. Badania geofizyczne powierzchniowe

##### 5.4.1.1. Elektrooporowe

Ogólne zasady badań elektrooporowych podłoża gruntowego są zawarte w standardzie ASTM D6431-99(2010). W normie opisano ideę pomiarów, aparaturę, procedurę te-

renową i zasady interpretacji wyników metody elektrooporowej, jednak nie przedstawiono poszczególnych technik pomiarowych, w tym tomografii elektrooporowej. Podstawowe procedury pomiarowe są zawsze zamieszczane w instrukcjach obsługi poszczególnych komercyjnych systemów (urządzeń) pomiarowych i do tych instrukcji powinny sięgnąć osoby wykonujące badania.

W metodzie tomografii elektrooporowej (ERT) (por. Loke, 2000) kilkadziesiąt elektrod rozmieszczonych jest równomiernie wzdłuż profilu i połączonych z aparaturą pomiarową. Odległość między elektrodami dobiera się w zależności od wymaganej rozdzielczości. Aparatura pomiarowa automatycznie dokonuje zapisów pomiarów z elektrod wszystkich kombinacji elektrod, które spełniają warunki geometryczne układu pomiarowego. Przetwarzanie wyników

pozwała na utworzenie ciągłego przekroju zmian oporności ośrodka.

Oporność elektryczna ośrodka zależy w głównej mierze od składu litologicznego ośrodka gruntowego oraz jego zawodnienia. Skały i materiały o drobnej frakcji mają ogólnie niższą oporność niż materiały gruboziarniste i skały lite. Zawodnienie ośrodka w oczywisty sposób obniża oporność elektryczną. Metoda ERT jest z powodzeniem stosowana do rozpoznania budowy geologicznej podłoża (Ostrowski i in., 2010), czy np. do określania składu nasypów i budowli ziemnych oraz rozpoznania stref niejednorodności w nich występujących.

#### **Technika pomiarów, zastosowanie i interpretacja.**

W badaniach podłoża gruntowego, zależnie od dokładności rozpoznania i jego spodziewanej głębokości, stosuje się rozstaw pomiarowy z elektrodami rozmieszczonymi nie rzadziej niż co 5 m. Głębokość prospekcji przy metodach elektrooporowych jest związana z długością rozstawu pomiarowego. Można przyjąć, że maksymalna głębokość rozpoznania wynosi 20–25% odległości między skrajnymi elektrodami zasilającymi. Należy też pamiętać, że dokładność rozpoznania ośrodka skalnego/gruntowego spada wraz z głębokością.

Interpretację badań elektrooporowych prowadzi się na bazie przekrojów geoelektrycznych. Opiera się ona o bezpośrednie wyznaczenie stref o różnych parametrach elektrycznych i przyporządkowanie tych stref do obiektów geologicznych lub geotechnicznych.

**Ograniczenia metod elektrooporowych.** Metody badań elektrooporowych są stosunkowo odporne na zakłócenia w stosunku do innych metod geofizycznych. Nie mniej w przypadku niektórych układów pomiarowych może zachodzić interferencja pomiędzy aparaturą pomiarową, a polem elektromagnetycznym pochodzącym z innych źródeł (np. linii energetycznych). Wiele błędów w wynikach metod elektrooporowych wiąże się z występowaniem w gruncie i na powierzchni uziemionych antropogenicznych elementów przewodzących, takich jak metalowe rury, niezisolowane kable i siatki. Szczególnie silny wpływ mają elementy przebiegające wzdłuż profilu, na którym są wykonywane badania.

W badaniach elektrooporowych występują też ograniczenia naturalne, szczególnie związane z ekstremalnymi wartościami oporności przy powierzchni, zarówno wysokich, jak i niskich. W przypadku występowania bardzo wysokich oporności warstwy przypowierzchniowej występują trudności z uzyskaniem wystarczającego uziemienia elektrod, co w szczególnych przypadkach może uniemożliwić wykonanie badań.

#### 5.4.1.2. Sejsmiczne

Metody sejsmiczne pozwalają na określenie prędkości fal sprężystych (fal sejsmicznych) w ośrodku gruntowym. Prędkość fal sejsmicznych koreluje się bezpośrednio z właściwościami mechanicznymi ośrodka gruntowego, między innymi modułem ścinania  $G$ , modułem Younga i współczynnikiem Poissona. Własności sprężyste skał wynikają głównie z litologii podłoża, zagęszczenia i stopnia zniszczenia pierwotnej struktury skał.

W metodach sejsmicznych można dokonywać pomiaru prędkości zarówno fal podłużnych (P), jak i poprzecznych (S). Wykorzystuje się zjawiska źródnicowanego ugięcia fal sejsmicznych w zależności od cech ośrodka gruntowego, odbicia fal od granic o różnych parametrach mechanicznych, pomiary z wykorzystaniem fal bezpośrednich, oraz zjawiska związane z przemieszczaniem się fal powierzchniowych.

Podstawowe założenia i procedury związane z wykonywaniem badań sejsmicznych znajdują się w standardach ASTM. Standard ASTM D5777-00(2011)e1 opisuje technikę sejsmicznego profilowania refrakcyjnego, standardy ASTM D7400-14 i ASTM D4428 / D4428M-14 dotyczą sejsmicznych badań otworowych.

**Sejsmiczne profilowania refrakcyjne (SP)** są metodą najprostszą wykorzystującą zjawisko refrakcji fali (w praktyce fali P) na granicach ośrodka o różnych parametrach mechanicznych. Stosowane są szczególnie do wstępnego określenia powierzchni poślizgu w badaniach osuwisk. Na podstawie pomiarów można wyznaczyć uśrednioną prędkość fali sejsmicznej w warstwach podłoża oraz granice nieciągłości lub zniszczenia pierwotnej struktury (Bestyński, Thiel, 2005).

**Sejsmiczna tomografia refrakcyjna (STR)** (por. Watanabe i in., 1999) jest rozszerzeniem metody sejsmicznych profilowań refrakcyjnych. W metodzie wykorzystuje się fale refrakcyjne z wielu kontrolowanych źródeł. Metoda może być stosowana do wykrywania nieciągłości i anomalnych stref prędkości, których istnienie wskazuje na występowanie stref o mniejszym zagęszczeniu, rozluźnień lub warstw słabononnych, a także do oszacowania rozkładu parametrów mechanicznych w gruncie.

Metody oparte na analizie fal powierzchniowych wykorzystują pomiar zależności prędkości poprzecznych fal powierzchniowych od ich częstotliwości. Metody wykorzystują fale o niskiej częstotliwości, z zakresu od 2 do 30 Hz. Metoda jest szczególnie przydatna do wykrywania gruntów o obniżonych parametrach mechanicznych, stref rozluźnionych i upłynięć gruntu. Ze względu na szybkość wykonywania badań, oraz stosunkowo wysoką odporność na zakłócenia, metody oparte na analizie fal powierzchniowych są szczególnie przydatne do wykonywania badań wstępnych.

Badania bazujące na analizie fal powierzchniowych wykonuje się w trzech głównych wariantach:

**SASW (Spectral Analysis of Surface Waves – analiza spektralna fal powierzchniowych)** – to technika najstarsza, gdzie stosuje się źródło impulsowe, szerokopasmowe, z którego wykorzystuje się wąskie pasma częstotliwości odpowiadające głębokościom kolejnych warstw; **CSWS (Continuous Surface Waves System)** to technika, a właściwie narzędzie przeznaczone do analizy fal powierzchniowych. Stosuje się w niej specjalne źródło wibratorowe generujące sygnał o precyzyjnie określonej częstotliwości zmieniającej się jednostajnie.

**MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – wielokanałowa analiza fal powierzchniowych)** – wykorzystuje źródło impulsowe szerokopasmowe i zestaw licznych odbiorników. Pozwala to na wprowadzenie statystycz-

nego podejścia do otrzymanych wyników dla jednego punktu pomiarowego;

**Sejsmika refleksyjna** polega na analizie sygnału odbitego, wyemitowanego z powierzchni od granic w gruncie. Znając geometrię układu źródło–odbiorniki, można na podstawie czasu od emisji do dojścia sygnału powrotnego (echa) określić głębokość zalegania horyzontu odbijającego. Metoda sejsmiki refleksyjnej pozwala na dobre określenie geometrii zalegania warstw lub innych horyzontów odbijających, jednak jest mało precyzyjna w określaniu pola prędkości w podłożu.

#### **Technika pomiarów, zastosowanie i interpretacja.**

W badaniach sejsmicznych stosuje się wielokanałowe sejsmografy, o co najmniej 24 kanałach. Aparatury te rejestrują amplitudę drgań w funkcji czasu dla serii czujników (hydrofonów, geofonów niskoczęstotliwościowych) rozmieszczonych wzdłuż linii pomiarowej. Zwykle dla badań przyjmuje się krok pomiarowy (rozmieszczenie odbiorników) od 1 do 5 m.

Metody sejsmiczne mają największe zastosowanie przy bezpośrednim określeniu zmienności parametrów mechanicznych podłoża gruntowego, w szczególności parametrów odkształceniowych. Na podstawie badań można wyznaczyć np. strefy rozluźnień w gruncie, zasięg gruntów słabonośnych, czy obecność takich stref zniszczenia struktury skał jak powierzchnia poślizgu w osuwisku.

Efektom badań podlegającym interpretacji w kategoriach parametrów mechanicznych jest jednak zwykle model pola prędkości fal sejsmicznych uzyskany dla przestrzeni 1D, 2D lub nawet 3D. Najniższe wartości zwykle odpowiadają gruntom o najsłabszych parametrach mechanicznych. Do badań podłoża gruntowego szczególnie przydatne są techniki pomiarowe określające rozkład prędkości fali poprzecznej, lepiej skorelowanej z parametrami mechanicznymi ośrodków ciągłych.

**Ograniczenia metod sejsmicznych.** Metody sejsmiczne są stosunkowo czułe na zakłócenia zewnętrzne, szczególnie z zakresu fal akustycznych niskich częstotliwości (poniżej 100–200 Hz). Z tego względu badania w sąsiedztwie dróg, w miastach czy na obszarach przemysłowych są utrudnione i czasami muszą być prowadzone w nocy. Zakłócenia akustyczne mają również źródła naturalne, jak silny wiatr, deszcz czy falowanie. Zwykle można wyeliminować wpływ zakłóceń odpowiednio dobierając rodzaj źródła, odbiorników czy stosowanie procedur filtracji, jednak w niektórych sytuacjach przeprowadzenie badań jest niemożliwe. Odbiorniki używane w badaniach sejsmicznych (geofony) są również czułe na zakłócenia elektromagnetyczne, szczególnie generowane przez linie energetyczne o złym ekranowaniu.

Ważnym, czasami niedocenianym ograniczeniem w badaniach sejsmicznych fali P, jest zawodnienie. Problem jest szczególnie istotny w osadach niezłityfikowanych, w których obecność wody zwykle podnosi wartość prędkości fali P do wartości charakterystycznej dla wody (ok. 1,5 km/s), choć sam szkielet gruntowy wykazywałby prędkości wielokrotnie niższe. Sytuacja taka prowadzi do niemożności rozpozniowania osadów, w rzeczywistości znacznie się od siebie różniących, lub do błędnych interpretacji budowy geologicznej.

### 5.4.1.3. Georadarowe

Georadar (*Ground Penetrating Radar – GPR*) (por. Karzewski, 2007) wykorzystuje zjawisko odbicia fali elektromagnetycznej od powierzchni rozdzielającej warstwy ośrodka o różnych wartościach przenikalności elektrycznej. Metoda wykorzystuje fale radiowe z zakresu od krótkich do ultrakrótkich.

Częstotliwości wykorzystywane w badaniach dobiera się z zakresu od ok. 10 MHz nawet do 4 GHz, w zależności od oczekiwanej rozdzielczości i głębokości penetracji. Rozdzielczość metody wzrasta wraz z częstotliwością sygnału, natomiast równocześnie spada głębokość penetracji.

**Technika pomiarów, zastosowanie i interpretacja.** Zwykle w badaniach podłoża gruntowego stosuje się częstotliwości w zakresie 100 do 500 MHz, a krok pomiarowy zależy od oczekiwanej dokładności horyzontalnej. Można przyjąć, że maksymalny zasięg metody georadarowej przy sprzyjających warunkach gruntowych nie przekracza kilku metrów. Badania georadarowe nie dają bezpośrednich informacji na temat parametrów fizycznych, a jedynie pozwalają na wyznaczenie granic pomiędzy warstwami o różnej przenikalności elektrycznej, lub określenia położenia obiektów o wysokiej względnej przenikalności elektrycznej – np. metalowych przewodów.

Najważniejsze zastosowanie metody georadarowej w badaniach podłoża gruntowego koncentruje się na wykrywaniu przebiegu instalacji (przewodów, rur) czy starych fundamentów. Za pomocą metody georadarowej możliwe jest również wykrywanie granic składu ośrodka, jak spągu nasypów, warstwowań sedymentacyjnych czy stref spękań w ośrodku skalnym.

**Ograniczenia metod radarowych.** Główne ograniczenia metod radarowych wiążą się z ekranującym efektem materiałów o niskiej oporności elektrycznej, zarówno materiałów naturalnych (skał, osadów i zasolonych wód gruntowych), jak i pochodzenia antropogenicznego, przede wszystkim elementów metalowych. Obecność w podłożu glin lub ilów właściwie uniemożliwia badania radarowe nawet na nieznacznej głębokości. Silny wpływ elementów metalowych ogranicza możliwości rozpoznania podłoża pod np. gęsto zbrojonym betonem.

### 5.4.1.4. Grawimetryczne

Metoda grawimetryczna opiera się na zależności natężenia pola grawitacyjnego od subtelnych zmian w rozkładzie mas w podłożu. Można przyjąć, że zmienność gęstości objętościowej pakietów (warstw) skalnych i gruntowych, oraz głębokość ich zalegania determinują zmienność pola grawitacyjnego (Fajkiewicz, 2007).

Posługiwanie się bezwzględną wartością pola grawitacyjnego jest niepraktyczne, dlatego stosuje się redukcję Bougera (uwzględniając położenie i topografię otoczenia) a częściej anomalię Bougera, czyli odchylenie wartości redukcji od pola normalnego (teoretycznego rozkładu pola grawitacyjnego dla Ziemi). W celu wyznaczenia lokalnych anomalii, takich jak związane ze zmianą struktury podłoża gruntowego, stosuje się



anomalia rezydualne – pokazujące lokalne odchylenie od trendu zmian anomalii Bougera.

**Zastosowanie.** Metoda grawimetryczna jest stosowana w rozpoznaniu podłoża gruntowego głównie w celu wyznaczenia stref występowania pustek-jaskiń, wymyć sufozyjnych, starych sztolni, lub stref rozluźnień związanych ze szkodami górniczymi. Krok pomiarowy badań grawimetrycznych musi odpowiadać wielkości występujących w podłożu anomalii. Przeważnie stosuje się krok pomiarowy rzędu pojedynczych metrów. Technika taką określa się zwykle mianem mikrogravimetrii.

**Ograniczenia badań grawimetrycznych.** Badania grawimetryczne są czułe na wibracje docierające z otoczenia. Dodatkowo badania wymagają stosunkowo dużego kontrastu gęstościowego, co powoduje, że ich stosowanie w przypadkach rozpoznania podłoża gruntowego o naturalnej ciągłości jest często nieuzasadnione.

#### 5.4.1.5. Elektromagnetyczne

Metody elektromagnetyczne polegają na pomiarze składowych zmiennego pola magnetycznego o określonej częstotliwości, które powstaje w ośrodku skalnym w złożonym procesie indukcji, pod wpływem pierwotnego pola elektromagnetycznego emitowanego przez źródła sztuczne.

**Technika konduktometryczna** (konduktometr) wykorzystuje urządzenie składające się z nadajnika i odbiornika (dwóch cewek indukcyjnych), sprzężonych czasowo i częstotliwościowo. W stosowanej obecnie aparaturze pomiarowej często stosuje się serię cewek odbiornikowych umieszczonych w różnej odległości od cewki nadajnika i różnym rozstawie. Pozwala to na równoczesne pomiary dla wielu rozstawów cewek – kilku teoretycznych poziomów głębokościowych. Wynikiem badań konduktometrycznych jest wartość oporności pozornej lub jej odwrotność – przewodnictwo dla każdego pomiaru.

**Technika pomiarów, zastosowanie i interpretacja.** Pomiary konduktometryczne wykonuje się zwykle wzdłuż linii pomiarowych z założonym krokiem pomiarowym. Zwykle krok ten jest gęsty, nawet poniżej 1 m. Realna głębokość rozpoznania dla metody konduktometrycznej wynosi do kilku metrów.

Zastosowanie metod elektromagnetycznych (przede wszystkim konduktometrii) z uwagi na mierzone parametry jest zbliżone do zastosowania metod elektrooporowych. Różnica między zastosowaniami jest związana z płytką penetracją metody konduktometrycznej, oraz znacznie większą szybkością wykonywania badań. Dlatego też badania elektromagnetyczne mają większe zastosowanie do wstępnego mapowania zmienności litologicznej na większych powierzchniach, niż pozyskiwanie informacji wgłębnej.

Wyniki badań konduktometrycznych przeważnie przedstawia się jako wykresy i mapy oporności pozornej dla poszczególnych teoretycznych głębokości. Wyniki takie są mało jednoznaczne i trudne do interpretacji. Ostatnio są wprowadzane techniki przetwarzania często niejednoznacznych danych konduktometrycznych do wartości oporności/przewodności rzeczywistej, które pozwalają na stworzenie map i przekrojów opornościowych. Postępujące upowszechnienie tych technik obliczeniowych pozwoli na zastąpienie

lub uzupełnienie tą techniką tomografii elektrooporowej w przypowierzchniowych warstwach gruntu.

**Ograniczenia badań elektromagnetycznych.** Głównym czynnikiem ograniczającym w badaniach elektromagnetycznych jest występowanie w podłożu i na powierzchni antropogenicznych elementów metalowych.

### 5.4.2. Badania geofizyczne otworowe

Wszystkie metody geofizyczne, także te z zakresu geofizyki inżynierskiej mają swoje odpowiedniki otworowe. Jednak jedynie stosowanie kilku technik otworowych ma uzasadnienie przy badaniach podłoża gruntowego. Szczególne znaczenie mają otworowe wersje badań sejsmicznych (wszystkie oparte na pomiarach fali bezpośredniej). Badania georadarowe w otworach mają znaczenie jedynie w skałach litych do określenia gęstości spękań. Badania elektrooporowe prowadzone w otworach mają jedynie niewielkie znaczenie w badaniach podłoża gruntowego w polskich warunkach geologicznych.

#### 5.4.2.1. Elektrooporowe

**Prześwietlenia elektrooporowe.** Badania wykonuje się między otworami wiertniczymi lub między otworem a powierzchnią terenu. Impuls elektryczny generowany przez parę elektrod tworzy pole elektryczne w podłożu. Pozostałe elektrody systemu pomiarowego próbują powstające pole elektryczne, mierząc lokalne napięcie i natężenie tego pola. Na podstawie serii pomiarów można odtworzyć rozkład pola elektrycznego i opisać je w kategoriach oporności elektrycznej. Przy możliwości kalibracji wyników z profilem litologicznym z otworów można z dużą dokładnością określić rozkład ciał (warstw, litosomów, gniazd rud, stref spękań itp.) w płaszczyźnie pomiędzy otworami.

Przy wykonaniu prześwietlań elektrooporowych musi zostać zastosowana szczególna konstrukcja otworu. Rury okładzinowe nie mogą być wykonane z przewodnika (metal), ponieważ dojdzie do zwarć, a równocześnie nie mogą izolować elektrycznie otworu od otoczenia skalnego. W praktyce sprowadza się to do tego, że badania takie mogą być wykonane jedynie w otworach niezarusowanych. Wymagania techniczne w stosunku do konstrukcji otworu faktycznie wykluczają możliwość wykonania takich badań w gruntach sypkich i znacznie ograniczają możliwość badań w gruntach innych niż skały lite.

#### 5.4.2.2. Sejsmiczne

**Sejsmika międzyotworowa (crosshole).** W badaniach wykorzystuje się pomiar prędkości fal w warstwie podłoża pomiędzy dwoma punktami w głębi ziemi, przeważnie umieszczonymi na tej samej głębokości między otworami wiertniczymi. W jednym z otworów umieszcza się źródło fal, w drugim odbiornik fal (geofon wieloskładnikowy). Znając drogę i czas przejścia fali, można wyznaczyć uśrednioną prędkość przemieszczania się fal sejsmicznych. W badaniach sejsmiki międzyotworowej przyjmuje się założenie o jednorodnym rozkładzie pola prędkości w warstwach i w efekcie otrzymuje się

jednowymiarowy profil prędkości dla badanych otworów, pozwalający określić parametry mechaniczne podłoża.

**Prześwietlania sejsmiczne** (*seismic tomography*) – to metoda będąca rozszerzeniem sejsmiki międzyotworowej, choć badania można wykonywać np. między tunelami, wkopami czy ścianami obiektów inżynierskich. W przypadku prześwietlań sejsmicznych stosuje się rejestrację wielokanałową – punkty wzbudzania fal i punkty odbioru rozmieszcza się z dużym zagęszczeniem na różnej głębokości. Badany obiekt jest pokryty w efekcie licznymi promieniami sejsmicznymi, także krzyżującymi się. Dla każdego z promieni wyznacza się uśrednioną prędkość fali sejsmicznej i numerycznie dopasowuje się model rozkładu prędkości w przestrzeni 2D lub 3D. Metoda daje precyzyjny obraz rozkładu fali (przeważnie fali P) w badanej przestrzeni.

**Pionowe sondowania sejsmiczne** (VSP – *Vertical Seismic Profiling*), potocznie nazywane *uphole* lub *downhole* zależnie od konfiguracji układu źródło–odbiornik, jest badaniem z zastosowaniem fal bezpośrednich P lub S, mające na celu określenie rozkładu wartości prędkości w profilu pionowym. W badaniach wykorzystuje się otwory wiertnicze, w których umieszcza się serię odbiorników sejsmicznych, natomiast źródło sejsmiczne (zwykle impulsowe) umieszcza się na powierzchni gruntu. W efekcie badań otrzymuje się wykres prędkości fal dla poszczególnych interwałów głębokości. Badania można wykonać także, umieszczając odbiornik na powierzchni terenu, a źródło – w otworze wiertniczym.

#### 5.4.2.3. Radarowe

Badania georadarowe z wykorzystaniem otworu (otworów) wiertniczego wymagają wykorzystania specjalnych anten przystosowanych do wprowadzania do otworu. Zastosowania georadaru otworowego są ograniczone prawie wyłącznie do otworów w skałach litych, przede wszystkim do określania stref spękania i pustek.

## 5.5. POBIERANIE PRÓBEK GRUNTÓW I SKAŁ ORAZ WÓD GRUNTOWYCH

### 5.5.1. Techniki wiertnicze

Zgodnie z normą PN-EN 1997-2 metodę wiercenia, a także narzędzie wiertnicze należy dobrać zgodnie z:

- wymaganymi kategoriami próbek;
- projektowaną głębokością wiercenia;
- spodziewanymi warunkami gruntowo-wodnymi;
- wymaganą minimalną średnicą rdzenia;
- projektowanymi dalszymi badaniami (np. laboratoryjnymi, sondowaniami, geofizycznymi);
- lokalizacją wiercenia.

Norma ta w rozdziale 3 pkt 3.2 zaleca stosowanie normy PN-EN ISO 22475-1.

Techniki wiertnicze zostały opisane na podstawie zapisów normy PN-EN ISO 22475-1. Norma ta od 2006 r. ma status Polskiej Normy, jednak występuje jedynie w wersji angielskiej. W 2016 r. rozpoczęły się prace nad jej tłumaczeniem

na język polski. Na potrzeby tego opracowania podano robocze nazwy technik wiertniczych wraz z terminem angielskim.

Norma PN-EN ISO 22475-1 podaje kilka podstawowych lecz istotnych definicji:

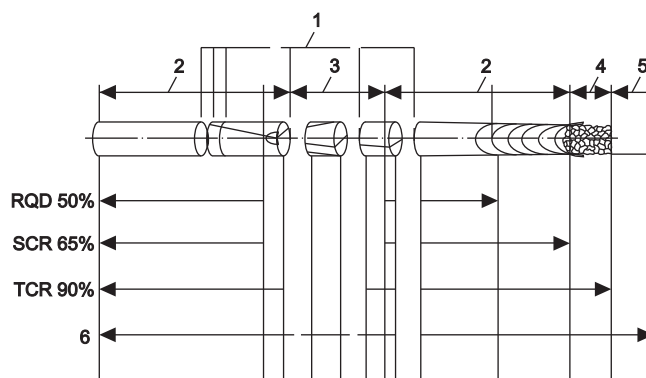
- wiercenie (*drilling*) jest to proces, podczas którego jest wykonywany otwór wiertniczy w dowolnych utworach geologicznych, realizowany metodą obrotową, obrotowo-udarową, udarową lub wrzutową w dowolnym założonym kierunku w stosunku do powierzchni terenu lub ścian wyrobiska;
- wiercenie małosrednicowe (*small diameter drilling*) jest to wiercenie w gruncie o średnicy większej niż 30 mm i mniejszej niż 80 mm;
- otwór wiertniczy (*borehole*) jest to otwór określonej średnicy i głębokości wykonany w dowolnych formacjach geologicznych z zastosowaniem techniki wiertniczej;
- wykop badawczy (*trial pit*) jest to wykop wykonany w celu określenia warunków gruntowych *in situ*, pozyskania próbek lub przeprowadzenia badań;
- szybk (*shaft*) jest to wykop o pionowych lub bardzo stromych ścianach, o głębokości większej niż 5 m wykonany w celu określenia warunków gruntowych *in situ*, pozyskania próbek lub przeprowadzenia badań.

Według przywoływanej normy, próbki można pozyskać trzema metodami:

- podczas wiercenia (ciągłe opróbowanie);
- z zastosowaniem próbników (opróbowanie na wybranych głębokościach);
- poprzez wycinanie bloków.

W przypadku badań podłoża skalnego, oprócz poboru próbek, należy także każdorazowo określić uzysk rdzenia (rys. 29), który jest określony trzema wskaźnikami:

- RQD (*Rock Quality Designation*) – wskaźnik spękania masywu – suma długości wszystkich odcinków rdzenia, których długość wynosi 10 cm lub więcej, mierzona wzdłuż osi rdzenia, wyrażona w procentach;



**Rys. 29. Ocena masywu skalnego na podstawie rdzenia wiertniczego wg normy PN-EN ISO 22475-1**

1 – pęknięcia rdzenia wywołane wierceniem; 2 – długość równa przynajmniej jednej średnicy rdzenia; 3 – rdzeń o długości mniejszej niż jedna średnica; 4 – odcinek naruszony; 5 – brak uzysku; 6 – całkowita długość rdzenia

– SCR (*Solid Core Recovery*) – uzysk litego rdzenia – długość odcinków rdzenia w kształcie cylindrów, wyrażona w procentach;

– TCR (*Total Core Recovery*) – całkowity uzysk rdzenia – całkowita długość uzyskanej próbki rdzenia w stosunku do długości przewierconego profilu, wyrażona w procentach.

W przywoływanej w Eurokodzie 7 normie PN-EN ISO 22475-1 opisano szczegółowo metodykę poboru próbek gruntów z zastosowaniem wiercenia i próbników zarówno dla gruntów, jak i skał. Można tam znaleźć również zastosowanie i ograniczenia dla każdej metody wiercenia, zakres średnic otworu oraz możliwą do poboru klasę próbek. W niniejszym opracowaniu przedstawiono zestawienie technik wiercenia, którymi można uzyskać poszczególne klasy jakości próbek.

Próbki klasy 1 można uzyskać następującymi technikami:

- obrotowe wiercenie rdzeniowane potrójną rdzeniówką (*rotary core drilling with triple-tube corebarrel*).

Próbki klasy 2 można uzyskać następującymi technikami:

- obrotowe wiercenie rdzeniowane podwójną/potrójną rdzeniówką z wewnętrznym próbnikiem\* (*rotary core drilling double/triple-tube corebarrel with extender inner tube*);
- wiercenie rdzeniowane udarowe w gruntach drobnoziarnistych (*percussive core drilling in cohesive soil*);
- wiercenie obrotowo-udarowe pojedynczą lub podwójną rdzeniówką w gruntach drobnoziarnistych\* (*rotary percussive drilling single- or double-tube corebarrel in cohesive soil*).

Próbki klasy 3 można uzyskać następującymi technikami:

- obrotowe wiercenie rdzeniowane na sucho świdrem przelotowym\*\* (*rotary dry core drilling with hollow stem auger*);
- obrotowe wiercenie rdzeniowane podwójną rdzeniówką\*\* (*rotary core drilling with double-tube corebarrel*).

Próbki klasy 4 można uzyskać następującymi technikami:

- obrotowe wiercenie rdzeniowane na sucho pojedynczą rdzeniówką\*\* (*rotary core drilling triple-tube corebarrel*);
- obrotowe wiercenie rdzeniowane pojedynczą rdzeniówką\*\* (*rotary core drilling single-tube corebarrel*);
- wiercenie świdrem\* (*auger drilling*);
- wiercenie rdzeniowane udarowe w gruntach gruboziarnistych\* (*percussive core drilling in non-cohesive soli*);
- wiercenie udarowe (*percussive drilling*);
- wiercenie obrotowo-udarowe pojedynczą lub podwójną rdzeniówką w gruntach gruboziarnistych\* (*rotary percussive drilling with single- or double-tube corebarrel in non-cohesive soli*);
- wiercenie wibracyjne w gruntach drobnoziarnistych (*resonance drilling in cohesive soli*);
- wiercenie wbijane z przewodem wiertniczym z łyżką wiertniczą\* (*cable percussion drilling with shell auger*);
- wiercenie chwytakowe powyżej zwierciadła wody gruntowej (*grab drilling above water surface*).

Próbki klasy 5 można uzyskać następującymi technikami:

- wiercenie z lewym obiegiem płuczki\* (*reverse circulation drilling*);
- wiercenie świdrem lekkim\*\*\* (*auger drilling with light equipment*);
- wiercenie udarowe małosrednicowe\*\*\* (*small diameter hammer driving*);
- wiercenie wibracyjne w gruntach gruboziarnistych (*resonance drilling in non-cohesive soil*);
- wiercenie wbijane z przewodem wiertniczym z łyżką wiertniczą z zaworem kulkowym\* (*cable percussion drilling with valve auger*);
- wiercenie hydrauliczne/stałe wciskanie małosrednicowe\*\*\* (*small diameter pneumatic/continuous thrust drilling*);
- wiercenie chwytakowe poniżej zwierciadła wody gruntowej (*grab drilling below water surface*).

### 5.5.2. Pobór próbek gruntów i skał, klasy jakości próbek, techniki pobierania, sposób postępowania, transport i magazynowanie

Podczas prac dokumentacyjnych należy pobierać próbki gruntów i skał do badań laboratoryjnych (fizycznych i mechanicznych właściwości gruntów). Dobór odpowiedniej techniki i metody pozyskiwania próbek gruntowych powinien zależeć od rodzaju i liczby zaprojektowanych badań laboratoryjnych oraz uwzględniać warunki geologiczne na obszarze prowadzonych prac.

W normie PN-EN 1997-2 zostały zawarte ogólne wytyczne dotyczące poboru próbek gruntów i skał. Norma nie opisuje bezpośrednio procedur dotyczących postępowania z pobranymi próbkami, ich transportu oraz magazynowania. W sprawie szczegółowego opisu wytycznych dotyczących poboru próbek gruntów i skał, w tym doboru odpowiednich technik i narzędzi wiertniczych oraz w kwestiach niewymienionych, wyżej wymieniony dokument odsyła do normy PN-EN ISO 22475-1.

**Pobieranie próbek gruntu.** Wyróżnia się trzy techniki pobierania próbek gruntu:

- wiercenie, w celu pozyskania pełnego profilu gruntu, z próbkami pobieranymi w toku wiercenia z dna otworu za pomocą narzędzi wiertniczych;
- za pomocą specjalnych próbników na wcześniej określonych głębokościach;
- wycinanie bloków gruntu z odkrywek geologicznych, wkopów, szybów itd.

Przy wyborze techniki poboru próbek gruntu oraz zastosowaniu odpowiedniej technologii wiercenia należy się kierować zaleceniami normy PN-EN ISO 22475-1.

Próbki gruntu do badań laboratoryjnych należy pobierać z każdej warstwy różniącej się litologią, rodzajem, stanem i wilgotnością lub, w przypadku jednorodnej budowy geologicznej, nie rzadziej niż co 3 m postępu wiercenia. Na terenach osuwiskowych należy pobierać próbki w sposób ciągły lub co 0,2–0,4 m w celu zlokalizowania powierzchni poślizgu.

\* W szczególnie sprzyjających warunkach gruntowych (np. bardzo spoiście grunty drobnoziarniste, zagęszczone grunty gruboziarniste) można uzyskać wyższe o jeden stopień klasy jakości próbek.

\*\* W szczególnie sprzyjających warunkach gruntowych (np. jednorodne, bardzo spoiście grunty drobnoziarniste) można uzyskać wyższe o jeden lub dwa stopnie klasy jakości próbek.

\*\*\* Uzyskanie wyższej o jeden stopień klasy jakości próbek jest możliwe w lekkich gruntach spoiстых.

Norma PN-EN ISO 22475-1 wyróżnia trzy metody (A–C) pobierania próbek gruntu.

**Kategoria A** – pozwala uzyskać próbki klas 1–5. Metoda ta zakłada pobieranie próbek gruntu z zachowaniem następujących kryteriów:

- zachowanie naturalnej struktury gruntu (dopuszczalne są tylko drobne jej zmiany);
- wilgotność i wskaźnik porowatości pobranej próbki odzwierciedlają stan gruntu *in situ*;
- zachowanie składników lub ich proporcji oraz składu chemicznego gruntu.

Metoda A poboru próbek gruntowych jest stosowana w przypadku potrzeby uzyskania próbek klasy 1 lub 2, które odpowiadają dawnym próbkom NNS (o naturalnej strukturze, wg (PN-B-04481:1988).

**Kategoria B** – pozwala uzyskać próbki klas 3–5. Metoda ta zakłada pobieranie próbek gruntu z zachowaniem następujących kryteriów:

- wilgotność pobranej próbki odpowiadająca stanowi *in situ*;
- brak zmiany składników lub ich proporcji;
- dopuszczalna zmiana struktury gruntu, z zachowaniem możliwości ustalenia ogólnego następstwa warstw gruntu.

Metoda B poboru próbek gruntowych jest stosowana w przypadku potrzeby uzyskania próbek odpowiadających próbce NW (o naturalnej wilgotności) wg dotychczas stosowanej normy PN-B-04481:1988.

**Kategoria C** – pozwala uzyskać próbki wyłącznie klasy 5. Metoda ta zakłada pobieranie próbek gruntu wg następujących kryteriów:

- niezachowana wilgotność próbki;
- niezachowane proporcje składników gruntu;
- całkowite naruszenie struktury gruntu;

– brak możliwości dokładnego określania granic warstw gruntu *in situ*.

Próbki gruntu pobrane metodą C nie nadają się do badań laboratoryjnych. Mogą posłużyć wyłącznie do przybliżonego określenia granic warstw litologicznych.

Próbki do badań laboratoryjnych są podzielone na pięć klas jakości ze względu na właściwości gruntu, dla których zakłada się, że nie ulegną zmianie podczas pobierania, transportowania i przechowywania próbek gruntowych.

Charakterystykę poszczególnych klas jakości próbek przedstawiono w tabeli 16.

W tabeli 2 normy PN-EN ISO 22475-1 przedstawiono katalog technik pobierania próbek gruntu z charakterystyką ich właściwości technicznych oraz możliwością osiągnięcia żądanej kategorii i klasy jakości pobrania próbki gruntu.

**Pobieranie próbek skał.** Wyróżnia się trzy techniki pobierania próbek skał:

- poprzez wiercenie, w celu pozyskania pełnego profilu skalnego, z próbkami pobieranymi z dna otworu za pomocą urządzeń wiertniczych;
- wycinanie bloków skalnych z odkrywek geologicznych, wyrobisk itd.;
- pobieranie próbek skalonych (z zastosowaniem materiału iniekcyjno-cementacyjnego) umożliwiających dokładną charakterystykę masywu skalnego, z zachowaniem pełnej charakterystyki jego szczelinowości.

Przy wyborze techniki poboru próbek skał oraz zastosowaniu odpowiedniej technologii wiercenia należy się kierować zaleceniami normy PN-EN ISO 22475-1.

Próbki skał do badań laboratoryjnych należy pobierać z każdej warstwy różniące się litologią lub rodzajem.

Norma PN-EN ISO 22475-1 wyróżnia trzy metody (A–C) pobierania próbek skał:

**Tabela 16**

**Klasy jakości próbek i kategorie pobierania próbek (PN-EN 1997-2)**

Właściwości gruntu		Klasa jakości próbek				
		1	2	3	4	5
Niezmienione	uziarnienie	+	+	+	+	
	wilgotność	+	+	+		
	gęstość, stopień zagęszczenia, przepuszczalność	+	+			
	ściśliwość, wytrzymałość na ścinanie	+				
Możliwe do określenia	następstwo warstw	+	+	+	+	+
	przybliżone granice warstw	+	+	+	+	
	dokładne granice warstw	+	+			
	granice Atterberga, gęstość właściwa szkieletu gruntowego, zawartość części organicznych	+	+	+	+	
	wilgotność	+	+	+		
	gęstość, stopień zagęszczenia, przepuszczalność	+	+			
	ściśliwość, wytrzymałość na ścinanie	+				
Kategorie pobierania próbek gruntu wg PN-EN ISO 22475-1		A				
		B				
		C				

**Kategoria A** – zakłada pobieranie próbek skał z zachowaniem następujących kryteriów:

- brak naruszenia struktury skały (dopuszczalne są tylko drobne jej zmiany);
- właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe, wilgotność, gęstość objętościowa, porowatość i przepuszczalność pobranej próbki są takie same jak skały *in situ*;
- brak zmiany w elementach składowych masywu skalnego, ich proporcji oraz składu chemicznego gruntu.

**Kategoria B** – zakłada pobieranie próbek skał z zachowaniem następujących kryteriów:

- naruszona struktura skały;
- właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe, wilgotność, gęstość objętościowa, porowatość i przepuszczalność całej pobranej próbki są zmienione względem skały *in situ*;
- brak zmiany w elementach składowych masywu skalnego, ich proporcji oraz składu chemicznego gruntu (próbka zawiera okruchy skał zachowujące swoje właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe oraz wilgotność, gęstość objętościowa i porowatość);
- można określić ogólny układ nieciągłości w masywie skalnym.

**Kategoria C** – zakłada pobieranie próbek skał wg następujących kryteriów:

- zmieniona struktura skały i jej nieciągłości, materiał skalny może być skruszony;
- właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe, wilgotność, gęstość objętościowa, porowatość i przepuszczalność całej pobranej próbki są zmienione względem skały *in situ*;
- mogą wystąpić zmiany w elementach składowych masywu skalnego, ich proporcji oraz składu chemicznego gruntu.
- można rozpoznać tylko typ skały, jej spoiwo i teksturę.

W przypadku próbek skał norma PN-EN ISO 22475-1 nie definiuje klas jakości próbek w obrębie danej kategorii próbek.

W tabeli 5 normy PN-EN ISO 22475-1 przedstawiono katalog technik pobierania próbek skał z charakterystyką ich właściwości technicznych oraz możliwością osiągnięcia żądanej kategorii pobrania próbki skały.

**Sposób postępowania z próbką gruntu i skały.** Po wydobyciu próbki z otworu wiertniczego lub odkrywki należy zapewnić jej odpowiednie warunki przechowywania i transportu. Każda próbka gruntu i skały musi być chroniona przed działaniem światła słonecznego, ciepła, mrozu i deszczu.

Rodzaj materiałów ochronnych i pojemników na próbki zależy od kategorii pobierania próbek (A, B i C), klimatu, rodzaju transportu i odległości. Norma PN-EN ISO 22475-1 proponuje następujące pojemniki i materiały ochronne na próbki gruntów i skał:

- wosk uszczelniający, np. wosk mikrokrystaliczny;
- metalowe tarcze o grubości ok. 2 mm i o średnicy nieco mniejszej niż wewnętrzna średnica pierścienia rury ochronnej, do stosowania wraz z woskiem lub nakrętkami i taśmą;
- wodoodporna taśma klejąca;

- kapsle, plastikowe, gumowe lub metalowe, umieszczone na końcach rur cienkościennych wraz z taśmą lub woskiem;
- O-ring (uszczelnienie i zaślepki) służące do uszczelniania końców próbek w cienkościennych rurach;
- folia aluminiowa;
- plastikowe torby;
- materiał opakowaniowy, zabezpieczający przed wibracjami i wstrząsami;
- izolacja przed zmianami temperatury, np. granulaty (ołów), pianka;
- kontenery i skrzynie transportowe, pudełka lub pojemniki cylindryczne wraz z odpowiednią konstrukcją zabezpieczającą przed wibracjami i wstrząsami.

Zabezpieczone próbki powinny posiadać trwałe etykiety umożliwiające identyfikację. Etykieta powinna zawierać następujące informacje:

- nazwę i ogólną lokalizację inwestycji/przedsięwzięcia;
- nazwę, i rodzaj otworu badawczego;
- datę pobrania próbek;
- kategorię pobranej próbki;
- głębokość pobrania próbki.

Próbki powinny być oznakowane w taki sposób, żeby nie było wątpliwości co do górnego i dolnego końca próbki. W miarę możliwości etykieta powinna wskazywać rodzaj gruntu i skały.

**Transport próbek gruntów i skał.** Sposób zabezpieczenia próbki gruntu lub skały i przygotowania do transportu jest uzależniony od kategorii (metody) poboru.

**Transport próbek gruntu.** Próbki gruntowe kategorii A należy transportować z zachowaniem co najmniej następujących zasad:

- bloki gruntów lub rdzenie powinny być owinięte szczelnie odpowiednią folią z tworzywa sztucznego, uniemożliwiającą rozpadnięcie się i/lub wysuszenie próbki;
- próbki znajdujące się w cienkościennych próbnikach powinny być zabezpieczone z obu stron folią z tworzywa sztucznego. W przypadku braku całkowitego wypełnienia próbника, pustą przestrzeń należy wypełnić dowolnym materiałem, niewchodzącym w reakcję i/lub niemieszającym się z pobranym gruntem w celu uniemożliwienia przemieszania się próbki wewnątrz próbника;
- próbki powinny umieszczać się w sztywnym pojemniku z drewna, metalu i tworzywa sztucznego, zabezpieczającym przed uderzeniami, walcowaniem i zgnieceniem;
- próbki należy chronić przed wibracjami, wstrząsami i ekstremalnymi temperaturami;
- w czasie transportu próbek jest wskazane stosowanie materiałów amortyzujących, takich jak trociny, kauczuk, polistyren, pianka poliuretanowa lub materiał podobny.

Próbki gruntowe kategorii B nie wymagają takich rygorów transportu jak próbki kategorii A. Próbki gruntu kategorii B powinny być przechowywane i transportowane w zamkniętych pojemnikach lub workach z tworzywa sztucznego zabezpieczających próbkę przed zmianami wilgotności.

Próbki gruntowe kategorii C, ze względu na swój charakter, mogą być transportowane w dowolnym typie pojemnika w ramach dostępnych środków transportu. Ewentualne wy-

tyczne do transportu są ustalane indywidualnie w zależności od celu, przeznaczenia pobranej próbki.

Szczegółowe wytyczne dotyczące transportu próbek gruntu są zawarte w normie PN-EN ISO 22475-1.

**Transport próbek skał.** Próbki skał kategorii A i B wymagają zbliżonych warunków przechowywania i transportu. Próbki te należy transportować z zachowaniem co najmniej następujących zasad:

- próbki powinno umieścić się w sztywnym pojemniku z drewna, metalu lub tworzywa sztucznego, które zapewniają amortyzację i chronią przed uderzeniami i rozkruszeniem;
- jeśli próbki nie zostały pobrane w przeznaczonych do tego tubach (pojemnikach rurowych), to powinny być szczelnie owinięte folią;
- próbki należy chronić przed wibracjami, wstrząsami oraz zmianami temperatury;
- próbki walcowe należy transportować poziomo;
- w czasie transportu próbek jest wskazane stosowanie materiałów amortyzujących, takich jak trociny, kauczuk, polistyren, pianka poliuretanowa lub materiał podobny.

Próbki skał kategorii C należy transportować w skrzyniach, w których powinny być ułożone z zachowaniem następstwa warstw oraz przykryte folią. Powinny być transportowane i przechowywane w pozycji poziomej.

Szczegółowe wytyczne dotyczące transportu próbek skał są zawarte w normie PN-EN ISO 22475-1.

**Magazynowanie próbek.** Próbki gruntów i skał powinny być przechowywane w taki sposób, żeby ich właściwości fizyczne i mechaniczne nie uległy zmianie. Próbki nie powinny być narażone na mróz. Próbki gruntów i skał należy przechowywać w chłodnym otoczeniu, w warunkach zbliżonych do naturalnych, optymalnie w temperaturze od +6 do +12°C i wilgotności od 85 do 100%.

Szczegółowe wytyczne dotyczące magazynowania próbek gruntów i skał są zawarte w normie PN-EN ISO 22475-1.

### 5.5.3. Pobór próbek wody

Pobór oraz transport próbek wody należy wykonać zgodnie z zaleceniami normy PN-EN ISO 22475-1.

W trakcie transportu powinny być chronione przed zmianami temperatury (parowaniem, zamarzaniem), światłem i zniszczeniem.

Próbki wody pobiera się, żeby określić właściwości fizykochemiczne i, w miarę potrzeb, stan bakteriologiczny wód podziemnych. Procedura poboru powinna zapewnić reprezentatywność próbki oraz ograniczyć przemiany w niej zachodzące pod wpływem czynników zewnętrznych (Janica, 2011).

Pobór próbek wód podziemnych powinien odbywać się z otworu tymczasowo zafiltrowanego i wstępnie oczyszczonego w wyniku krótkotrwałego pompowania. Bezpośrednio przed poborem próbki należy wypompować wodę stagnującą w otworze. Przyjmuje się, że ilość wymienionej wody powinna wynosić co najmniej 2-krotną objętość otworu (Witczak, Adamczyk, 1994) lub do czasu ustabilizowania się

podstawowych parametrów fizykochemicznych (Janica, 2011). Dlatego też każdorazowo przy pobraniu próbki wody należy wykonać bezpośrednio w terenie pomiary co najmniej przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW), odczynu (pH) i temperatury wody (odniesionej do temperatury powietrza). Oznaczenia należy wykonywać skalibrowanymi i atestowanymi miernikami elektronicznymi (pH-metrem i konduktometrem) w komorach przepływowych, umożliwiających wykonanie oznaczeń bez dostępu powietrza.

Podstawowym celem poboru próbek wody jest ustalenie stopnia agresywności wody w stosunku do betonu i/lub stali. W przypadku inwestycji liniowych lub innych przedsięwzięć, mogących negatywnie oddziaływać na wody podziemne, próbki wody pobiera się także w celu określenia ich aktualnego (przed etapem budowy i eksploatacji) stanu jakościowego. Zakres oznaczeń należy dobierać indywidualnie w zależności od rodzaju inwestycji i typowych dla nich wskaźników zanieczyszczeń oraz od sposobu zagospodarowania powierzchni terenu i lokalizacji obiektów uciążliwych, mogących potencjalnie szkodliwie oddziaływać na wody podziemne. Jeśli roboty geologiczne są prowadzone przy użyciu wiertnic mechanicznych na płuczkę, a w ich trakcie dochodzi do nawiercenia użytkowej warstwy wodonośnej, należy pobrać dodatkowo próbkę wody do badań bakteriologicznych z uwzględnieniem specjalnych zabiegów umożliwiających pobranie próbki czystej wody odseparowanej od płuczki. Badania te pozwalają określić, czy proces wiercenia nie doprowadził do zanieczyszczenia wód podziemnych.

Próbki wód do badań laboratoryjnych powinny być pobierane za pomocą różnego rodzaju pomp lub próbników, przechowywane i transportowane zgodnie z obowiązującymi normami i wytycznymi laboratorium wykonującego oznaczenia. Niektóre laboratoria wymagają dostarczenia próbek przefiltrowanych bezpośrednio przy poborze przez prosty filtr membranowy. W przypadku utworów słabo przepuszczalnych dopuszcza się wyciśnięcie lub odwirowanie wody z próbki gruntu.

### 5.5.4. Badania w celu klasyfikacji, oznaczenia i opisu gruntu i skał

Według normy PN-EN 1997-2 klasyfikację, oznaczenie i opis gruntu należy wykonywać zgodnie z normami PN-EN ISO 14688-1 oraz PN-EN ISO 14688-2. Obie normy są bezpośrednim tłumaczeniem dokumentów anglojęzycznych/europejskich, które dodatkowo zostały rozbudowane o załączniki krajowe.

Norma ISO wprowadza zmianę w opisie makroskopowym gruntów. Opis gruntów opiera się tu na kodowaniu cech fizycznych gruntów, które decydują o jego właściwościach mechanicznych. Taki sposób opisu z jednej strony wydaje się bardzo ogólnikowy, z drugiej zaś, dla rzetelnego udokumentowania warunków geologicznych, wymusza przeprowadzenie dodatkowych diagnostycznych badań laboratoryjnych (np. badanie uziarnienia). Klasyfikacja zgodna z normą PN-B-04481 dostarcza znacznie więcej informacji na temat gruntów, umożliwia dokładniejszy i bardziej jednoznaczny podział. Już w samej

nazwie gruntów można odczytać informacje o zawartości poszczególnych frakcji. Państwa członkowskie UE zobowiązały się do końca marca 2010 r. wdrożyć pełne teksty Eurokodów wraz ze zharmonizowanymi normami i wycofać wszystkie normy sprzeczne z tymi dokumentami (Bagińska, 2009). Pomimo tego obowiązku, w Polsce po 2010 r. wciąż jest stosowana klasyfikacja gruntów wg normy PN-B-04481.

#### 5.5.4.1. Oznaczanie i opis gruntów zgodnie z PN-EN ISO 14688-1 oraz PN-B-04481

Do oznaczenia i opisu gruntów norma PN-EN 1997-2 zaleca stosowanie normy PN-EN ISO 14688-1, wraz z poprawkami i zmianami.

W Polsce wciąż jest jednak powszechnie stosowana norma PN-B-04481, w związku z tym w niniejszym rozdziale przedstawiono także kryteria oznaczania i opisu gruntów wg tej normy.

Według normy PN-EN ISO 14688-1 termin „oznaczanie gruntu” jest zdefiniowany jako określenie nazwy gruntu i jego opisu na podstawie uziarnienia, rodzaju materiału, właściwości składników mineralnych lub organicznych oraz plastyczności. Z uwagi na skład granulometryczny, zawartość substancji organicznej i innych domieszek oraz genezę norma PN-EN ISO 14688-1 wyróżnia grunty antropogeniczne oraz grunty naturalne, które zostały podzielone na następujące typy:

- grunty organiczne;
- grunty wulkaniczne;
- grunty bardzo gruboziarniste;
- grunty gruboziarniste;
- grunty drobnoziarniste.

Każdy z wymienionych rodzajów gruntów, zarówno grunty antropogeniczne, jak i naturalne oznacza się i opisuje metodami właściwymi dla danego rodzaju gruntu.

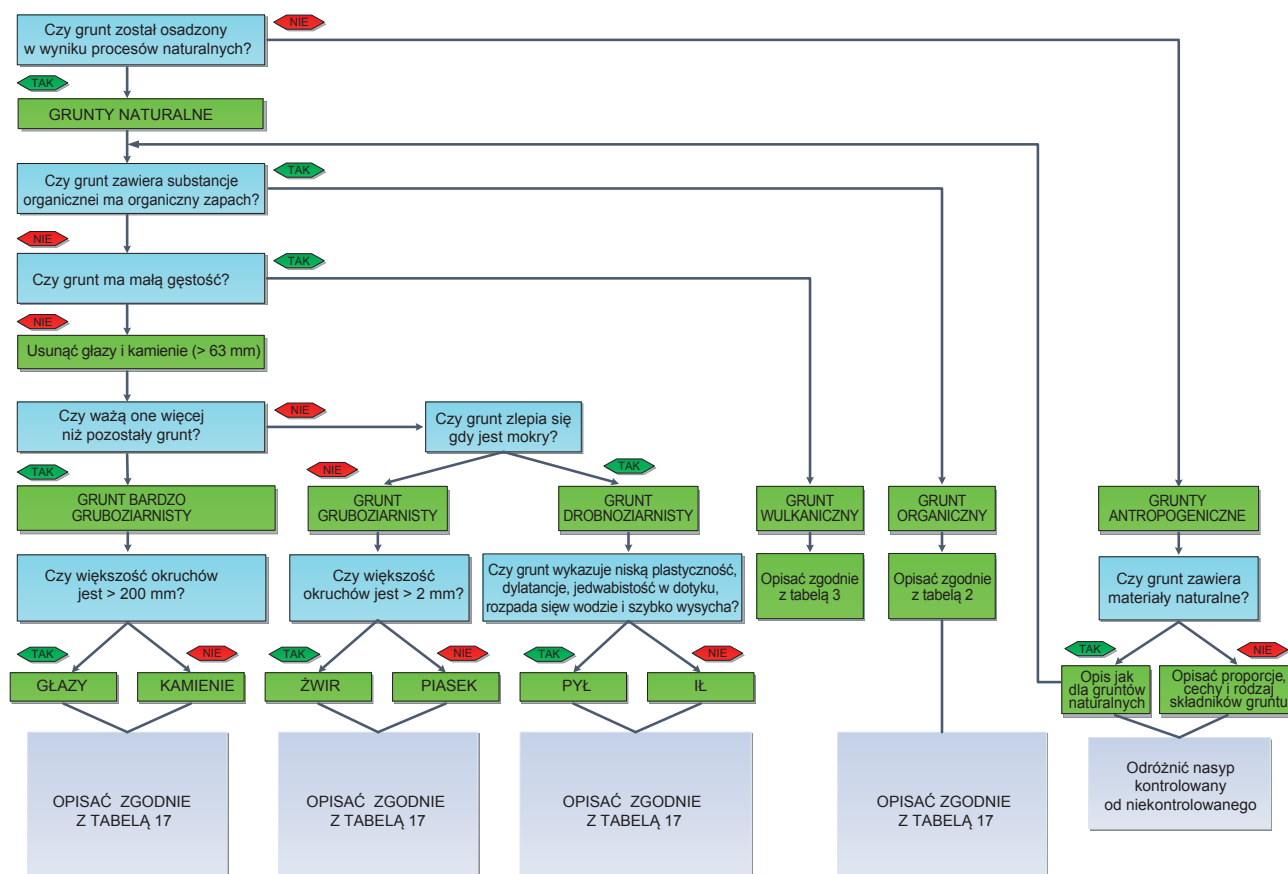
Schemat stosowania normy PN-EN ISO 14688-1 oparty jest na dwóch krokach:

- oznaczenie gruntu na podstawie jednej z cech, właściwości;
- opis oznaczonego gruntu wg kryteriów właściwych dla danego rodzaju gruntu.

Schematu procedury oznaczania i opisu gruntu przedstawionego na rysunku 30 został zaczerpnięty z normy PN-EN ISO 14688-1.

Opis oznaczonych gruntów należy przeprowadzić z uwzględnieniem ich rodzaju, stosując adekwatne metody badawcze. Wykaz metod badawczych wraz ze wskazaniem gruntów, do których powinny być stosowane zostały przedstawione w tabeli 17.

**Grunty antropogeniczne.** Grunty oznaczone jako antropogeniczne należy rozdzielić na grunty zawierające materiał naturalny lub całkowicie go pozbawione, a następnie opisać czy materiał pochodzi z nasypu kontrolowanego czy z nasypu niekontrolowanego.



Rys. 30. Schemat oznaczania i opisu gruntów (wg PN-EN ISO 14688-1)

Tabela 17

## Wykaz metod badawczych wraz ze wskazaniem gruntów, do których powinny być stosowane

Rodzaj oznaczenia	Grunty naturalne					Grunty antropogeniczne	Uwagi	
	bardzo gruboziarniste	gruboziarniste	drobnoziarniste	organiczne	wulkaniczne			
Oznaczanie składu granulometrycznego	•	•	•	•	•	Stosować tak jak dla gruntów naturalnych w zależności od uziarnienia i innych cech	badanie wykonuje się w celu oznaczenia gruntu poprzez określenie frakcji głównej, w celu charakterystyki frakcji drugorzędnych	
Oznaczanie kształtu cząstek	•	•			•			
Oznaczanie składu mineralnego	•	•	•	•	•			
Oznaczanie zawartości drobnych frakcji	•	•						badanie wykonuje się w celu charakterystyki frakcji drugorzędnej
Oznaczanie zawartości piasku, pyłu i łu w gruntach			•	•				badanie wykonuje się w celu oznaczenia pyłu lub łu jako frakcji głównej i/lub charakterystyki frakcji drugorzędnej
Oznaczenie wilgotności	•	•	•	•	•			
Oznaczenie barw gruntu	•	•	•	•	•			zaleca się stosować wzorniki barw
Oznaczanie wytrzymałości gruntów suchych			•	•				
Oznaczanie dylatacji pyłu i łu			•					
Oznaczanie plastyczności			•	•				
Oznaczanie konsystencji			•	•				
Oznaczanie węglanów	•	•	•	•				
Opis pozostałych cech	•	•	•	•	•			należy opisać pozostałe spostrzeżenia zgodnie z normą, takie jak np. nieciągłości, warstwowania, zaburzenia w gruncie, domieszki wzbogacające opis oznaczonego gruntu
Geneza	•	•	•	•	•			
Charakterystyka gruntów pod kątem stwierdzenia rodzaju i struktury substancji organicznej*	•	•	•	•			ogólny opis rodzaju i struktury substancji organicznej zgodnie z terminami w normie PN-EN ISO 14688-1	

\* dla gruntów oznaczonych jako nieorganiczne, a zawierających substancję organiczną w ilości nie wpływającej na sposób oznaczenia oraz ich właściwości, a także dla gruntów oznaczonych jako organiczne

**Grunty organiczne.** Na obecność substancji organicznej w gruncie wskazują barwa i specyficzny zapach, a ich intensywność pozwala ocenić proporcje pomiędzy substancją organiczną i mineralną.

Należy zwrócić uwagę, że proponowany przez normę PN-EN ISO 14688-1 podział gruntów organicznych dotyczy wyłącznie struktury i rodzaju części organicznych, natomiast nie uwzględnia genezy gruntu. W przypadku gytii nie uwzględniono kryterium zawartości węglanu wapnia i ograniczono się do stwierdzenia obecności materii organicznej pochodzenia zwierzęcego, czyli z założenia zawierającej dużą ilość  $\text{CaCO}_3$  w postaci szczątków szkieletów, muszli, itp.

**Grunty wulkaniczne.** Są specyficznym rodzajem gruntów i są związane z obszarami aktywnego wulkanizmu. Takie obszary w Polsce nie występują, ale znane są w rejonie Dolnego Śląska obszary, które w odległej przeszłości były aktywne wulkanicznie. Z tego powodu nie wyklucza pojawienia się w tym rejonie przekształconych gruntów typu wulkanicznego.

**Grunty bardzo gruboziarniste** – dzieli się na głazy lub kamienie. Kryterium podziału na głazy i kamienie jest obecność i ilość okruchów powyżej 200 mm:

- głazy – większość okruchów > 200 mm;
- kamienie – większość okruchów < 200 mm.

**Grunty gruboziarniste** – dzieli się na żwiry lub piaski. Kryterium podziału na żwiry i piaski jest obecność i ilość okruchów powyżej 2 mm:

- żwiry – większość okruchów > 2 mm;
- piaski – większość okruchów < 2 mm.

**Grunty drobnoziarniste** – dzieli się na pył i łu. Podziału na pył lub łu dokonuje się na podstawie:

- oznaczenia wytrzymałości w stanie suchym;
- oznaczenia dylatacji pyłu i łu;
- oznaczenia plastyczności;
- oznaczenia zawartości piasku, pyłu i łu w gruntach.

Schemat stosowania normy PN-B-04481 również bazuje na dwóch krokach, ale o odmiennej charakterystyce. Norma PN-B-04481 nie rozdziela badanych gruntów na antropogeniczne i naturalne, ale charakteryzuje grunt ogólnie na podstawie jego cech fizycznych:

- wstępne ustalenie spoistości gruntu;
- oznaczenie rodzaju gruntów spoistych i niespoistych (drobno- i gruboziarniste) na podstawie odpowiednich procedur.



**Makroskopowe określenie rodzaju gruntu.** Według normy PN-EN ISO 14688-1 podczas oznaczania składu granulometrycznego w pierwszej kolejności należy określić spistość gruntu. W tym celu należy wykonać próbę „oznaczanie plastyczności” i/lub „oznaczanie wytrzymałości gruntu suchego”. Jeżeli grunt w stanie suchym rozsypuje się samoistnie, a z wilgotnego nie można uzyskać bryłki i/lub uformować kulki, to znaczy, że oznaczane grunty nie posiadają spistości i należy je oznaczać jako grunty bardzo gruboziarniste lub gruboziarniste.

Grunty dające się formować w bryłki (grunty przesuszone dla ułatwienia można zwilżyć wodą), wykazujące wg normy PN-EN ISO 14688-1 co najmniej małą wytrzymałość w stanie suchym lub małą plastyczność należy oznaczać jako grunty drobnoziarniste.

Po określeniu spistości badanego gruntu należy oznaczyć frakcje główną i drugorzędne.

W celu oznaczenia rozkładu uziarnienia badany grunt należy rozłożyć na płaskiej powierzchni lub dłoni, a wymiary ziaren porównać ze standardami uziarnienia wg normy PN-EN ISO 14688-1 zawartymi w tabeli 18. Dla ułatwienia można posłużyć się lupą tradycyjną lub z podziałką.

Dla oznaczenia cech gruntów drobnoziarnistych, których cząstki nie są widoczne gołym okiem, należy stosować metody właściwe dla tego rodzaju gruntów, podane w normie PN-EN ISO 14688-1 i opisane w niniejszym rozdziale.

Według normy PN-B-04481 oznaczenie makroskopowe gruntu przeprowadza się z uwzględnieniem podziału na grunty spoiste oraz niespoiste. Część próbki, pobranej do badania makroskopowego, należy zwilżyć w celu oceny spistości. Rodzaj i nazwę gruntu spoistego określa się na podstawie wyglądu kuleczki i wałeczka a zawartość ziaren piaszczystych poprzez rozcieranie gruntu między palcami (tabela 19). W gruntach niespoistych nie jest możliwe utworzenie kuleczki, a nazwę gruntu określa się na podstawie makroskopowego oszacowania dominującej frakcji (tabela 20).

Norma PN-B-04481 wyróżnia 12 rodzajów gruntów spoistych i 6 rodzajów gruntów niespoistych. Szczegółowe procedury i kryteria oznaczania gruntów spoistych i niespoistych wg normy PN-B-04481 zostały przedstawione w tabelach 19 i 20 oraz opisane w dalszej części rozdziału.

Dla określenia nazwy gruntu konieczne jest wydzielenie frakcji głównej i drugorzędnej.

Frakcja główna określa właściwości inżynierskie gruntu.

Według normy PN-EN ISO 14688-1 frakcją główną dla poszczególnych rodzajów gruntu są:

- dla gruntów bardzo gruboziarnistych frakcją główną są głązy lub kamienie w zależności, która z nich przeważa w masie badanego gruntu;
- dla gruntów gruboziarnistych frakcją główną jest żwir lub piasek w zależności, która z nich przeważa w masie badanego gruntu; w przypadku złożonych gruntów gruboziarnistych obecność frakcji drobnej (pył, ił) nie warunkuje właściwości inżynierskich gruntu;
- dla gruntów drobnoziarnistych frakcją główną jest pył lub ił; w przypadku złożonych gruntów drobnoziarnistych frakcje drobne determinują właściwości inżynierskie gruntu, dlatego dokładnego opisu należy dokonać na podstawie:
  - oznaczanie wytrzymałości w stanie suchym;
  - oznaczanie dylatacji pyłu i iłu;
  - oznaczanie plastyczności;
  - oznaczanie zawartości piasku, pyłu i iłu w gruntach.

Frakcję główną zapisuje się z wielkiej litery.

Frakcja drugorzędna i kolejne nie określają właściwości inżynierskich gruntu, ale mają na nie wpływ.

Nazwę frakcji drugorzędnej należy zapisywać z małej litery i umieszczać z lewej strony symbolu frakcji głównej w kolejności ich ważności. Należy zwrócić uwagę, że w bezpośrednim sąsiedztwie symbolu frakcji głównej znajduje się dominująca frakcja drugorzędna, a kolejne są dopisywane z lewej strony już oznaczonych frakcji drugorzędnych.

**Tabela 18**

**Frakcje i wymiary cząstek i ziaren wg normy PN-EN ISO 14688-1**

Frakcje gruntów	Podfrakcje	Symbole	Wymiary cząstek i ziaren [mm]
Bardzo gruboziarnista	duże głązy	LBo	>630
	głązy	Bo	>200–630
	kamienie	Co	>63–200
Gruboziarnista	żwir	Gr	>2,0–63,0
	żwir gruby	CGr	>20–63
	żwir średni	MGr	>6,3–20,0
	żwir drobny	FGr	>2,0–6,3
	piasek	Sa	>0,063–2,000
	piasek gruby	CSa	>0,63–2,00
	piasek średni	MSa	>0,20–0,63
piasek drobny	FSa	>0,063–0,200	
Drobnoziarnista	pył	Si	>0,002–0,063
	pył gruby	CSi	>0,020–0,063
	pył średni	MSi	>0,0063–0,0200
	pył drobny	FSi	>0,0020–0,0063
	ił	Cl	≤0,002

W nazewnictwie oznaczonych gruntów frakcje drugorzędne są umieszczane w drugiej kolejności ze spójnikiem „z”. W przypadku grubych frakcji drugorzędnych w celu opisanie ich ilości można stosować określenia „mało” lub „dużo”.

Przy charakterystyce frakcji drugorzędnych pomocne będzie badanie „oznaczanie zawartości drobnych cząstek oraz oznaczanie zawartości piasku, pyłu i ilu w gruntach”.

**Przewarstwienia** – przemienne występowanie różnych rodzajów gruntów w warstwach o zmiennej miąższości i rozciągłości (laminy, cienkie warstwy, gwałtowne zmiany) może być opisywane do celów praktycznych łącznie, choć należałoby w opisie uwzględnić występowanie cienkich warstw o odmiennych właściwościach fizyczno-mechanicznych mogących mieć wpływ na zachowanie się gruntu jako ogólnego masywu skalnego, np. piasek przewarstwiony cienkimi warstwami ilu.

Przy oznaczaniu nazwy gruntu symbol przewarstwienia zapisuje się z podkreśleniem z prawej strony symbolu frakcji głównej.

**Oznaczanie kształtu ziaren** gruntu w nawiązaniu do stopnia obtoczenia, ogólnego kształtu i charakteru powierzchni stosuje się zwykle dla żwirów i frakcji grubszych. Ziarna takie należy charakteryzować zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN ISO 14688-1.

**Oznaczanie składu mineralnego.** Według normy PN-EN ISO 14688-1 skład mineralny gruntu we wstępnej ocenie podaje się zwykle dla gruntów bardzo gruboziarnistych lub gruboziarnistych i oznacza się wg zasad geologicznych. Ziarna żwiru, kamienia, głązy są na ogół fragmentami skał, np. granitów, piaskowców, wapieni, natomiast cząstki piasku i drobniejsze są zwykle pojedynczymi ziarnami minerałów, np.: kwarcem, skaleniami, łyszczykami.

Ze względu na charakter gruntów drobnoziarnistych podanie ich składu mineralnego wymaga wykonania specjalnych analiz laboratoryjnych (m.in. rentgeno-strukturalnych, chemicznych itp).

Według normy PN-B-04481 skład mineralny można podawać jako uzupełnienie opisu próbek gruntu.

**Oznaczanie zawartości drobnych frakcji.** Stosując normę PN-EN ISO 14688-1 przy oznaczaniu składu granulometrycznego gruntów gruboziarnistych i bardzo gruboziarnistych, frakcje drobne występujące w małej ilości należy wypłukać. Pozostałą część gruntu powinno opisać się zgodnie z wytycznymi dla gruntów gruboziarnistych lub grubszych.

Na podstawie czasu i dokładności przemywania oraz badania samego osadu można orientacyjnie ustalić rodzaj i zawartość procentową frakcji drobnej. Cząstki ilaste będą się wypłukiwać dłużej niż cząstki pylaste.

Norma PN-B-04481 nie charakteryzuje zawartości frakcji drobnych w składzie granulometrycznym gruntów niespoistych. Jedynie w przypadku piasków pylastych mowa jest w normie o tym, że tego typu osady po wyschnięciu mogą tworzyć lekko spojone grudki, rozsypujące się między palcami podczas podnoszenia.

**Oznaczanie barw gruntu.** Obie normy (PN-EN ISO 14688-1, PN-B-04481) w identyczny sposób określają procedurę oznaczania barwy gruntu.

Tabela 19

Oznaczanie rodzajów gruntów spoistych metodą makroskopową wg normy PN-B-04481

Rodzaj gruntu, wskaźnik plastyczności $I_p$ i zawartość frakcji ilowej $f_i$	Rodzaje i nazwy gruntów w zależności od zawartości frakcji piaszkowej			Wyniki badania	
	grupa I	grupa II	grupa III	próba waleczkowania	próba rozmakania
1	3	4	5	6	7
Rodzaje i nazwy gruntów w zależności od wyników próby waleczkowania lub rozmakania	piasek gliniasty	pył piaszczysty	pył	kulka rozpłaszcza się lub rozsypuje; grunt nie daje się waleczkować	grudka rozmaka natychmiast
	piasek gliniasty	pył piaszczysty	pył	waleczek rozwarstwia się podłużnie	grudka rozmaka w ciągu 0,5–5,0 min
	głina piaszczysta	głina	głina pylasta	od początku do końca waleczkowania powierzchnia waleczka bez polysku; waleczek pęka poprzecznie	grudka rozmaka w ciągu 5–60 min
	głina piaszczysta zwięzła	głina zwięzła	głina pylasta zwięzła	waleczek początkowo bez polysku, przy końcu waleczkowania z polyskiem; pęka poprzecznie	grudka rozmaka w ciągu 1–24 h
bardzo spoisty $I_p > 30\%$ ; $f_i > 30\%$	il piaszczysty	il	il pylasty	kulka i waleczek od początku z polyskiem	grudka rozmaka w czasie dłuższym niż 1 doba

Tabela 20

**Oznaczenie rodzajów gruntów niespoistych w zależności od zawartości poszczególnych frakcji wg normy PN-B-04481**

Nazwa gruntu	Zawartość frakcji [%]		
	> 2 mm	> 0,5 mm	> 0,25 mm
żwir	> 50	–	–
pospółka	50–10	> 50	–
piasek gruboziarnisty	K 10	> 50	–
piasek średnioziarnisty	< 10	< 50	> 50
piasek drobnoziarnisty	< 10	< 50	< 50
piasek pylasty*			

\* piasek pylasty po wyschnięciu tworzy lekko spojone grudki, które rozsypują się między palcami przy ich podnoszeniu

Barwę gruntu należy oceniać na świeżo odsłoniętej powierzchni przy świetle dziennym. Należy zwrócić uwagę, że wiele związków obecnych w gruncie przy zetknięciu się z powietrzem atmosferycznym utlenia się, zmieniając barwę. Takie zmiany należy odnotowywać podczas opisywania gruntu. Przy określaniu barwy gruntu należy posługiwać się powszechnie znanymi nazwami kolorów, np.: zielony, czerwony, żółty, itp. Nie należy stosować nazw barw pochodzących od rzeczowników, np.: łososiowy (łosoś), popielaty (popiół), morelowy (morela), rdzawy (rdza). W wyjątkowych przypadkach można stosować kolor pomarańczowy, ze względu na jego powszechną obecność w języku polskim.

Ze względu na subiektywną ocenę barw przez różne osoby, w celu jej unifikacji zaleca się stosowanie na przykład tablic Munsella ze wzorcowymi skalami barw.

Na podstawie barwy gruntu można wnioskować w sposób przybliżony o składzie mineralnym badanej próbki, w tym oznaczyć grunt jako organiczny lub mineralny.

**Oznaczenie wilgotności.** Norma PN-EN ISO 14688-1 nie definiuje terminu wilgotność gruntu ani nie opisuje metody jej oznaczania. Ze względu jednak na fakt, że wilgotność determinuje właściwości fizyczno-mechaniczne gruntów, przede wszystkim tych drobnoziarnistych, wykonując badania makroskopowe warto dokonać oznaczenia tej cechy. W tym celu zaleca się stosować załącznik NA3 normy PN-EN 1997-2. Makroskopowa ocena wilgotności znajduje się w normie PN-EN ISO 14688-2:2006/Ap2.

Norma PN-B-04481 wprost definiuje 5 typów wilgotność gruntu, jako jedną z podstawowych charakterystyk opisanego osadu.

**Oznaczenie wytrzymałości gruntu suchego.** Wytrzymałość gruntu suchego wg normy PN-EN ISO 14688-1 dostarcza informacji o plastyczności badanego gruntu wynikającej z proporcji iltu i pyłu w składzie granulometrycznym. Pył charakteryzuje się małą wytrzymałością w stanie suchym, natomiast właściwość ta zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości iltu w gruncie.

W celu oznaczenia wytrzymałości gruntu suchego należy próbkę gruntu doprowadzić do stanu powietrzno-suchego.

Opór gruntu podczas rozdrabniania palcami jest miarą wytrzymałości w stanie suchym.

Szczegółową charakterystykę wytrzymałości gruntu suchego przedstawiono w normie PN-EN ISO 14688-1.

Podobne badanie występuje w normie PN-B-04481 i dotyczy klasyfikowania gruntów na spoiste i niespoiste. W przypadku wspomnianej normy określa się, czy grunt suchy stanowi zwarte grudki, czy niezwiązane ze sobą cząstki lub grudki rozpadające się pod wpływem lekkiego nacisku palcem.

Szczegółowe informacje dotyczące wstępnego ustalenia spoistości gruntu przedstawiono w normie PN-B-04481.

**Oznaczenie dylatacji pyłu i iltu.** Określenie dylatacji gruntu definiuje wyłącznie norma PN-EN ISO 14688-1. Brak jest tego terminu w normie PN-B-04481. Według normy ISO dylatacją określa się specyficzne zachowanie gruntów drobnoziarnistych podczas wstrząsania. Zjawisko to polega na pojawianiu się (wyrzucaniu) wody obecnej w gruncie drobnoziarnistym na jego powierzchni. Podczas wstrząsania i przerzucania próbki gruntu jej powierzchnia staje się błyszcząca na skutek pojawienia się na jej powierzchni wody. Przy naciskaniu palcami woda znika. Czas, po którym zachodzi proces dylatacji, pozwala ocenić zawartość pyłu i iltu. Dla pyłu – zjawisko to zachodzi szybko, natomiast dla iltu – wstrząsanie i nacisk nie daje efektu.

Norma PN-EN ISO 14688-1 nie podaje skali ani charakterystycznych stopni do określenia procesu dylatacji. Podczas badania laboratoryjnego zostaje stwierdzony jedynie fakt wystąpienia tego zjawiska lub jego braku. Wszelkie stany pośrednie są trudne do scharakteryzowania, a próby ich zdefiniowania mogą być obarczone dużym błędem.

**Oznaczenie plastyczności.** Według normy PN-EN ISO 14688-1 ma na celu ogólne określenie zwięzłości gruntu i jest badaniem jakościowym. Należy zwrócić uwagę, że badanie to nie jest tożsame z badaniem granicy plastyczności wg normy PN-B-04481, polegającym na ilościowym określeniu wilgotności granicy plastyczności. W celu oznaczenia plastyczności należy wilgotną próbkę waleczkować na gładkiej powierzchni, żeby otrzymać waleczek o średnicy 3 mm, następnie zlepić go z powrotem i czynność powtarzać do momentu, w którym grunt nie daje się już waleczkować. W badaniu tym nie zostało ujęte kryterium liczby waleczkowań i sprowadza się ono w praktyce do określenia, czy grunt można lub nie waleczkować. Ze względu na fakt, że nie jest to badanie ilościowe, podczas oznaczania plastyczności wg normy PN-EN ISO 14688-1 dopuszcza się zwilżenie suchej próbki gruntu w celu doprowadzenia jej do stanu umożliwiającego formowanie bryłki i/lub waleczkowania.

Szczegółowy opis i podział plastyczności gruntów przedstawiono w normie PN-EN ISO 14688-1.

**Oznaczenie zawartości piasku, pyłu i iltu w gruntach.** Według normy PN-EN ISO 14688-1 ma na celu określenie udziału piasku, pyłu i iltu w składzie granulometrycznym przede wszystkim gruntów drobnoziarnistych. W celu oznaczenia zawartości piasku w gruncie drobnoziarnistym należy próbkę gruntu rozetrzeć pomiędzy palcami, jeśli jest to konieczne w wodzie. Ilość frakcji gruboziarnistej można określić wzrokowo i/lub z wyczuwalnego stopnia szorstkości badane-

go materiału. W celu stwierdzenia obecności pyłu i iłu lub ich proporcji w składzie granulometrycznym, należy wilgotną próbkę przekroić nożem i ocenić powierzchnię przekroju. Błyszcząca powierzchnia sugeruje większą zawartość frakcji ilowej natomiast matowa – większą zawartość cząstek pyłu. W normie PN-B-04481 podobnym badaniem jest próba rozcierania gruntu w wodzie. Na podstawie ilości zaobserwowanego piasku gruntu zalicza się do jednej z 3 grup o zdefiniowanej piaszczystości (tab. 19). Dodatkowym kryterium służącym do oznaczania proporcji frakcji ilowej i pyłowej w składzie granulometrycznym gruntu jest próba rozmakania. Charakterystykę próby rozmakania badanego gruntu przedstawiono w tabeli 19.

**Oznaczanie zawartości węglanów** w gruncie pomaga w określeniu genezy i wieku badanego gruntu, a także w scharakteryzowaniu składu mineralnego. Badanie to wykonuje się przy użyciu 10% roztworu kwasu solnego (HCL). Szczegółowy opis reakcji gruntu na działanie kwasu solnego przedstawiono w normie PN-EN ISO 14688-1.

Należy zwrócić uwagę, że w porównaniu z normą PN-B-04481, w przedmiotowym badaniu wg normy PN-EN ISO 14688-1 stosuje się słabszy roztwór HCL, a także jego mniejszą ilość (wystarczy 1 kropla). Dodatkowo norma PN-EN ISO 14688-1 nie uwzględnia kryterium czasu przy ocenie reakcji gruntu na kwas solny.

**Oznaczanie gruntów organicznych.** Podstawą oznaczenia jest ich barwa i zapach oraz widoczne gołym okiem części organiczne w postaci nierozłożonych szczątków roślin i innych organizmów.

Grunty organiczne charakteryzują się głównie barwą szarą, w ciemnych odcieniach, do czarnej. W zależności od pochodzenia substancji organicznej niektóre grunty organiczne, tak jak gytie, mogą być barwy szarej i jasnoszarej.

Ponadto omawiane grunty charakteryzują się specyficznym zapachem pleśni lub typowym dla siarkowodoru będącym efektem rozkładu składników organicznych z ograniczonym dostępem tlenu.

Norma PN-EN ISO 14688-1 nie tylko sankcjonuje oznaczanie metodą makroskopową gruntów organicznych, ale także wprowadza podział na poszczególne typy (torf, gytia, humus), uwzględniając rodzaj i strukturę materii organicznej w nich zawartej. Należy zwrócić uwagę, że zgodnie z normą PN-B-04481 oznaczanie makroskopowe gruntów organicznych nie było obligatoryjne, a wynikało jedynie z dobrej praktyki geologów inżynierskich. Na jakość oznaczania gruntów organicznych (jak i pozostałych) miało wpływ przede wszystkim doświadczenie geologa, ponieważ opis makroskopowy polegał na subiektywnej ocenie gruntów bez znajomości rzeczywistych wartości parametrów badanego gruntu. W dotychczasowej praktyce jedynym kryterium oznaczania gruntów organicznych była zawartość części organicznych  $I_{om}$  powyżej 2% wskazana w normie PN-B-02480.

Wprowadzone przez normę PN-EN ISO 14688-1 usankcjonowanie oznaczania typów gruntów organicznych komplikuje opis gruntów organicznych, zwłaszcza w kontekście dotychczas stosowanej terminologii. Terminy stosowane

dotychczas, takie jak namuł, torf, gytia jednoznacznie są kojarzone z konkretnymi rodzajami gruntów organicznych o sprecyzowanej genezie. Tymczasem w terminologii normy PN-EN ISO 14688-1 nie tylko pominięto nazwę „namuł”, ale ograniczono znaczenie dotychczas stosowanych nazw gruntów organicznych wyłącznie do rodzaju i struktury organiki zawartej w gruncie bez uwzględnienia jej genezy.

Norma PN-EN ISO 14688-1 ogranicza geologów w nazewnictwie gruntów organicznych, zobowiązując do stosowania terminów budzących wątpliwości, zwłaszcza w kontekście ich dotychczasowych znaczeń. Zapis w normie, że w przypadku oznaczania gruntów będących mieszaniną substancji organicznej i mineralnej zaleca się opisywanie ich terminami kwalifikującymi, np. torf z piaskiem średnim, może sugerować, że dotychczasowe namuły są mieszaniną ustalonego rodzaju torfu i mineralnych frakcji drugorzędnych, np.: piasku, iłu, pyłu.

Dla gruntów nieoznaczonych jako organiczne, a zawierających niewielką ilość substancji organicznej nie wpływającej na sposób ich oznaczania, należy odnotować ten fakt w opisie danego gruntu.

**Oznaczanie gruntów wulkanicznych.** W Polsce, ze względu na brak obszarów aktywnego wulkanizmu, nie występują grunty wulkaniczne. W razie potrzeby opisu tego rodzaju gruntów należy stosować kryteria zawarte w normie PN-EN ISO 14688-1.

**Oznaczanie konsystencji.** Konsystencję gruntu oznacza się na próbkach o naturalnej wilgotności. Przed wykonaniem makroskopowego badania jest niedozwolona jakakolwiek ingerencja w wilgotność badanej próbki. Badanie wg normy PN-EN ISO 14688-1 uwzględnia wyłącznie jakościową ocenę konsystencji w porównaniu do stosowanej wcześniej normy PN-B-04481, w której uwzględniano także kryterium ilościowe w postaci liczby wałeczków.

Charakterystykę konsystencji gruntów spoistych przedstawiono w normach PN-EN ISO 14688-1 i PN-B-04481.

**Inne cechy i uwagi.** Zarówno norma PN-B-04481, jak i PN-EN ISO 14688-1 zaleca, żeby w opisie gruntów odnotować wszelkie inne cechy i spostrzeżenia dotyczące badanych gruntów, które nie zostały wymienione w tym rozdziale, a które mogłyby pomóc w ich opisie. Informacje dotyczące np. genezy, nazwy lokalnej, pochodzenia materiału/gruntu, czy jego ogólna gęstość mogą wspomóc oznaczenie i opis gruntów.

#### 5.5.4.2. Oznaczanie, opis i klasyfikacja skał zgodnie z normą PN-EN ISO 14689-1

Oznaczenie i opis skał wg Eurokod 7 należy przeprowadzać zgodnie z normą PN-EN ISO 14689-1 „Badania Geotechniczne, Oznaczanie i klasyfikowanie skał. Część 1: Oznaczenie i opis”.

Powyższa norma dotyczy oznaczenia i opisu:

- a) skały – występującego w warunkach naturalnych zespołu minerałów, skonsolidowanych, scementowanych lub inny sposób powiązanych ze sobą, tworzących materiał o wytrzymałości i sztywności większej od gruntu;

- b) masywu skalnego – skały *in situ* wraz z powierzchniami nieciągłości i strefami zwietrzałymi;
- c) materiału skalnego – monolitycznego fragmentu masywu skalnego ograniczonego powierzchniami nieciągłości.

W zależności od charakteryzowanego materiału (skała, masyw skalny, materiał skalny) oznaczenie i opis przeprowadza się na podstawie następujących kryteriów:

- dla skał:
  - grupa genetyczna;
  - struktura;
  - wielkość uziarnienia;
  - skład mineralny;
- dla masywu skalnego:
  - rodzaj skał;
  - struktura masywu;
  - nieciągłości;
  - zwietrzenie;
  - zawodnienie;
- dla materiału skalnego:
  - zwietrzenie;
  - barwa;
  - wielkość ziaren;
  - spoiwo;
  - zmiany wietrzeniowe;
  - zawartość węglanów;
  - odporność materiału skalnego;
  - wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie.

Dokładny opis kryteriów charakteryzujących skały, masyw skalny i materiał skalny znajduje się w poszczególnych rozdziałach normy PN-EN ISO 14689-1.

W przypadku wykonywania opisu na rdzeniach zaleca się określić wskaźnik spękania RQD, całkowite odzyskanie rdzenia TCR oraz odzyskanie stałego rdzenia SCR zgodnie z normą PN-EN ISO 22475-1.

## 5.6. SONDOWANIA

W rozdziale zostały opisane znormalizowane badania polowe gruntów i skał, wyróżnione w polskiej normie PN-EN 1997-2. Dla każdego badania podano szczegółową normę w wersji polskojęzycznej, a w przypadku jej braku - anglojęzycznej. Warto zaznaczyć, że normy szczegółowe przeważnie opisują tylko podstawowe wersje metody, bez dodatkowych akcesoriów np. końcówki sejsmicznej. Skupiono się na ogólnych informacjach na temat danej metody badawczej, jej zastosowaniu oraz możliwościach wykorzystania wyników. Przedstawiono również ich zalety oraz ograniczenia. Zaleca się do oceny parametrów geotechnicznych stosowanie węzłów badawczych (kilka metod badawczych w jednym punkcie zastosowanych w bliskim sąsiedztwie, w odległości około 2 m) składających się z wiercenia i co najmniej jednego typu sondowania. Wyniki sondowań bez znajomości dokładnej litologii w badanym punkcie nie pozwalają na uzyskanie wiarygodnych związków korelacyjnych. Proponowane zastosowanie metod badawczych w zależności od spodziewanych warunków gruntowych oraz wymaganych właściwości gruntu zestawiono w tabeli 21.

### 5.6.1. Badania statyczną sondą stożkową CPT, CPTU

Zgodnie z polską normą PN-EN 1997-2 badania statyczną sondą stożkową CPT (*Cone Penetration Test*) wykonuje się w celu określenia oporu gruntu bądź miękkiej skały podczas zagłębiania stożka oraz tarcia na tulei ciernej. Badanie polega na wciskaniu ze stałą prędkością (2 cm/s) sondy pionowo w grunt. Podczas badania z końcówką elektryczną pomiary zagłębienia stożka ( $q_c$ ) oraz tarcia na tulei ( $f_s$ ) zapisują się automatycznie i w sposób ciągły. W przypadku badania sondą stożkową CPTU dodatkowo jest możliwy pomiar ciśnienia wody ( $u$ ), przeważnie w filtrze znajdującym się u podstawy stożka ( $u_2$ ). Zaleca się korzystanie ze szczegółowych norm: PN-EN ISO 22476-12:2009 oraz PN-EN ISO 22476-1:2013-03. Obydwie normy są obecnie tylko w wersji anglojęzycznej.

Wyniki badania CPT/CPTU są wykorzystywane głównie do: uszczegółowienia granic geologicznych wyznaczonych na podstawie wiercenia, określenia zagęszczenia gruntów gruboziarnistych i stanu gruntów drobnoziarnistych, wyznaczania stref osłabień czy zasięgu gruntów organicznych, do pomiaru rozpraszania ciśnienia wody w porach (test dysypacji), podatności na deformacje filtracyjne, oceny sztywności i ściśliwości podłoża, a także do wstępnej prognozy osiadań.

Z pewnymi ograniczeniami można wykorzystać wyniki sondowania do wyznaczania parametrów geotechnicznych gruntów, takich jak właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe.

Wyniki sondowań są wykorzystywane również w obliczeniach np. do wyznaczania wymiarów fundamentów bezpośrednich czy do wyznaczania długości i nośności pali.

Badanie to w ostatnich latach stało się bardzo popularne, ze względu na szerokie możliwości zastosowania, łatwość i szybkość przeprowadzenia badania, a także dokładność i powtarzalność wyników testu. Te cechy przełożyły się na popularność metody, a co za tym idzie również na jej atrakcyjność ekonomiczną. Dostępnych jest wiele publikacji szczegółowo opisujących zarówno aspekty techniczne badania, jak i późniejszą interpretację z wynikami sondowania (np. Lunne i in., 1997; Sikora, 2006).

Po zamontowaniu końcówki z próbnikiem możliwy jest pobór próbek.

Nie zaleca się stosowania sondowania CPT/CPTU do gruntów bardzo zagęszczonych i zwięzłych z uwagi na ograniczenia techniczne (możliwość uszkodzenia stożka).

### 5.6.2. Badania presjometryczne PMT

Zgodnie z polską normą PN-EN 1997-2 badania presjometryczne wykonuje się w celu pomiaru w warunkach *in situ* odkształcenia gruntu lub miękkiej skały, spowodowanego rozszerzaniem się cylindrycznej, elastycznej membrany pod wpływem wzrastającego ciśnienia wody i powietrza krążących w obiegu zamkniętym. Sondę do pomiarów wraz z elastyczną membraną można umieścić w gruncie w wieloraki sposób: we wcześniej wykonanym odwiercie, za pomocą samowierzącego presjometru lub wciskając albo wkręcając

Tabela 21

## Proponowane sondowania w zależności od spodziewanych gruntów bądź procesów geologicznych

Rodzaj gruntów		Antropogeniczne <sup>2</sup>	Gruboziarniste <sup>1,2</sup>	Drobnziarniste	Pyły	Lessy	Zwietrzliny gliniaste	Zwietrzliny gruzowe <sup>2</sup>	Skaly	Osuwisko	Kras (material wypelniający <sup>2</sup> )
Cel badań											
Ocena właściwości środowiska geologicznego	odkształceniowe	PMT, DMT, CPT,	PMT, DMT, CPT,	PMT, DMT, CPT	PMT, DMT, CPT	PMT, DMT, CPT,	PMT, DMT, CPT,	PMT, CPT	FDT PMT <sup>3</sup> DMT <sup>3</sup>	PMT, DMT, CPT,	PMT, CPT
	wytrzymałościowe	WST, SPT, DMT, FVT <sup>4</sup> , CPT, SPT	DMT, SPT, CPT, DP,	WST, SPT, DMT, FVT <sup>4</sup> , CPT, SPT	WST, DMT, CPT, SPT	WST, DMT, CPT, SPT	WST, CPT	WST, CPT	n.d.	WST, CPT, SPT, FVT <sup>4</sup> ,	WST, CPT, FVT <sup>4</sup> ,
	filtracyjne	BAT, CPTU	BAT, CPTU	BAT, CPTU	BAT, CPTU	BAT, CPTU	BAT, CPTU	BAT, CPTU	n.d.	BAT, CPTU	BAT, CPTU
	podatność na deformacje	CPT	CPT	CPT, FVT <sup>4</sup>	CPT, FVT <sup>4</sup>	CPT, FVT <sup>4</sup>	CPT	CPT	n.d.	CPT, FVT <sup>4</sup> ,	CPT
	ocena stanu gruntu	DP, CPT	SPT, DP, CPT	WST, FVT <sup>4</sup> , CPT	CPT, WST, FVT <sup>4</sup> ,	CPT, WST, FVT <sup>4</sup> ,	CPT	CPT	n.d.	CPT, WST, FVT <sup>4</sup> ,	CPT
	klasyfikacyjne (rodzaj)	CPTU, SPT	CPTU, SPT	CPTU, SPT	CPTU, SPT	CPTU, SPT	CPTU, SPT	CPTU, SPT	n.d.	CPTU, SPT	CPTU, SPT
	sztynność	CPT	CPT, DP	CPT	CPT	CPT, DP	CPT	CPT, DP	n.d.	CPT, DP	CPT, DP
	historia naprężeń	CPT, DMT, PMT	CPT, DMT, PMT	CPT, DMT, PMT	CPT, DMT, PMT	CPT, DMT, PMT	CPT, DMT, PMT	CPT, DMT, PMT	n.d.	n.d.	n.d.
	cechy fizyczne	SPT	SPT	SPT	SPT	SPT	SPT	SPT	n.d.	SPT	SPT
Ocena górotworu	puszki i nieciągłości	DP, CPT	DP, CPT	CPT	CPT	DP, CPT	CPT	DP, CPT	n.d.	DP, CPT	DP, CPT
	granice warstw	DP, WST, CPT	DP, CPT	WST, CPT	WST, CPT	WST, CPT	WST, CPT	WST, CPT	n.d.	WST, CPT, DP	WST, CPT, DP
	parametry morfologiczne osuwiska (zasięg koluwium, gł. strefy poślizgu)	DP, CPT	DP	CPT	CPT	DP, CPT	CPT	DP, CPT	n.d.	DP, CPT	DP, CPT
	poziom wód gruntowych	CPTU	DP, CPTU	CPTU	CPTU	CPTU	CPTU	CPTU	n.d.	CPTU	CPTU
Ocena danych geotechnicznych	zasięg gruntów słabośnych	DP, CPT	DP, CPT	WST, CPT	CPT	CPT	CPT	DP,	n.d.	CPT	CPT
	powykonawcza ocena wzmocnienia	DP, CPT	DP, CPT	FVT <sup>3</sup> , CPT	CPT	CPT	CPT	DP	n.d.	CPT	CPT
	nośność fundamentów bezpośrednich lub pali (wstępna ocena)	DP, CPT, WST	DP, CPT,	CPT, WST	CPT, WST	CPT, WST	CPT, WST	DP, CPT	n.d.	CPT, WST	CPT, WST
	osiadanie (wstępna ocena)	DMT, PMT, CPT	DMT, PMT, CPT	DMT, PMT, CPT	PMT, CPT	DMT, PMT, CPT	DMT, PMT, CPT	CPT, PMT	n.d.	PMT, CPT	DMT, PMT, CPT

Rodzaj sondowania zaproponowano w odniesieniu do stosowalności pod względem czasu i kosztu wykonania;

<sup>1</sup> z wyłączeniem bardzo zagęszczonych gruntów gruboziarnistych;

<sup>2</sup> należy uważać na kamienie;

<sup>3</sup> tylko dla miękkich skał;

<sup>4</sup> dla gruntów o  $C_u < 150$  kPa

n.d. nie dotyczy

ją w grunt. Badanie polega na rozszerzeniu membrany pod wpływem zadawanego ciśnienia na określonej głębokości, co powoduje jej nacisk na otaczający ją grunt. Mierzone są wartości ciśnienia oraz rozszerzenie membrany, aż do osiągnięcia maksymalnego rozszerzenia bocznego dla danego presjometru. Rozszerzenie membrany jest miarą odkształcalności poziomej gruntu.

Presjometry ze względu na sposób umieszczenia w gruncie podzielone są na trzy grupy:

- samowierzące (SPB), minimalizujące odprężenia gruntu w otworze;
- wymagające wstępnego wiercenia (PBP);
- zagłębiane z pełnym przemieszczeniem, tzw. pushed-in wciskanych (FDP lub PIP).

Presjometr SPB wierce się w grunt za pomocą specjalnej głowicy umieszczonej w dolnym końcu sondy, tworząc swój własny odwiert badawczy. Podobnie własny odwiert badawczy tworzy presjometr FDP, który jest wciskany w grunt za pomocą specjalnego stożka, umiejscowionego na dole sondy. Natomiast presjometry PBP są opuszczane do specjalnie wykonanego, na potrzeby badania, otworu badawczego. Presjometry mogą występować w różnych formach w zależności od systemu pomiarowego i rodzaju przyrządu.

Najpopularniejszym w warunkach polskich presjometrem jest presjometr Menarda. Jego cechą charakterystyczną jest trójkomorowa sonda, oraz możliwy pomiar przemieszczenia objętościowego (*volume displacement*), podczas gdy inne presjometry mierzą przemieszczenie radialne. Podczas wykonywania badania zaleca się korzystanie z normy PN-EN ISO 22476-4:2013-05. Dla badań presjometrycznych innego typu zaleca się stosowanie normy PN-EN ISO 22476-7:2013-05.

Z otrzymanych wyników można wyznaczyć krzywe naprężenie-odkształcenie tzw. krzywe presjometryczne. Z karty sondowania na danej głębokości można odczytać presjometryczne ciśnienie graniczne, moduł presjometryczny oraz stosunek modułu do ciśnienia. Podaje się również (na wykresach) zmiany tych danych w zależności od głębokości. Wyniki badań można wykorzystać do wyznaczenia właściwości odkształceniowych gruntów, oceny ścisłości podłoża i wstępnej prognozy osiadań. Z pewnymi ograniczeniami można wykorzystać wyniki badań presjometrycznych do oceny ekspansywności i właściwości wytrzymałościowych gruntów, a także sztywności podłoża (Tarnawski, 2007).

Jest to zaawansowana i pracochłonna metoda badawcza, którą zaleca się stosować po uprzednim rozpoznaniu gruntu wierceniami oraz innymi sondowaniami.

Badanie presjometryczne jest szczególnie przydatne dla gruntów słabych. Umożliwia pomiar odkształcalności gruntu w płaszczyźnie prostopadłej do osi otworu.

Badania presjometrycznego nie stosuje się przy bardzo zagęszczonych, nawodnionych gruntach gruboziarnistych.

### 5.6.3. Badania dylatometryczne FDT, DMT

Zarówno dla badania FDT, jak i DMT zaleca się korzystanie ze szczegółowej normy PN-EN ISO 22476-5:2013-05.

#### 5.6.3.1. Badanie dylatometrem cylindrycznym FDT

Cylindryczny dylatometr sprężysty FDT zgodnie z polską normą PN-EN 1997-2 służy do pomiaru *in situ* odkształcalności i pełzania miękkiej skały (RDT) oraz gruntu (SDT). Badanie polega na umieszczeniu w otworze sondy cylindrycznej z rozszerzalną, sprężystą membraną oraz na pociągłym lub punktowym pomiarze radialnego przemieszczenia odwiertu w związku z zadaniem znanym ciśnieniem radialnym. Ciśnienie jest zadawane poprzez cylindryczną końcówkę dylatometru.

Dla skał, w których pozyskanie rdzenia jest trudne lub może być niewystarczające do otrzymania optymalnych wyników laboratoryjnych, badanie cylindrycznym dylatometrem FDT może być stosowane do porównania względnej odkształcalności różnych warstw skalnych oraz do szybkiego rejestrowania wskaźników skał np. kruchości, stopnia spękania itp.

Wyniki badania służą do określenia zmian odkształcenia wraz z głębokością.

W związku z niedużą popularnością tego badania w Polsce, problemem jest brak sprawdzonych korelacji w lokalnych warunkach.

#### 5.6.3.2. Badanie dylatometrem płaskim DMT

Badanie dylatometrem płaskim (DMT – *Dilatometer Marchetti Test*), wykonuje się w celu oznaczenia właściwości wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntu *in situ*. Podczas badania wprowadza się pionowo w grunt cienką, stalową membranę w kształcie koła, zamontowaną po jednej stronie stalowej sondy w kształcie łopatkki. Podczas badania mierzone jest ciśnienie w fazie początkowej, gdy membrana jest w jednej płaszczyźnie z ostrzem oraz gdy przemieszczenie w środku membrany, w kierunku gruntu, osiąga 1,10 mm. Zaleca się wykonywać badanie w sposób pociągły (np. co 20 cm lub częściej, w przypadku gruntów słabych) lub na wybranych głębokościach.

Wyniki badań z dylatometru płaskiego mogą być wykorzystane do określenia m.in. wybranych parametrów wytrzymałościowych, współczynnika parcia bocznego, współczynnika przekonsolidowania, a także modułu ściśliwości i sprężystości gruntu. Wyniki badań mogą również posłużyć do wstępnej oceny wartości osiadań oraz do wyprowadzenia granicznej nośności pali. Badanie zaleca się wykonywać w gruntach o stosunkowo małych wymiarach cząstek w porównaniu do wielkości membrany np. ilach, pyłach, piaskach lub gruntach organicznych. Należy uważać na kamienie i zanieczyszczenia antropogeniczne (np. gruz), które mogą doprowadzić do uszkodzenia delikatnej membrany.

Do interpretacji wyników przydatne są wartości ciśnienia wody w porach uzyskane podczas innych badań (np. BAT).

Jest to zaawansowana i pracochłonna metoda badawcza, którą zaleca się stosować po uprzednim rozpoznaniu gruntu wierceniami oraz innymi sondowaniami.

### 5.6.4. Badania sondą cylindryczną SPT

Badanie sondą cylindryczną SPT (*Standard Penetration Test*) wykonuje się w celu określenia oporu gruntu poprzez wbijanie

próbnika w dnie otworu. Próbnik najczęściej w postaci dzielonego cylindra umożliwia pobranie prób gruntu o naruszonej strukturze. Młot o wadze 63,5 kg opuszcza się na kowadło lub podbąbnik z wysokości 760 mm. Wynikiem badania jest liczba uderzeń (N), zwana oporem zagłębienia, konieczna do osiągnięcia zagłębienia próbnika na głębokość 300 mm.

Sondowanie SPT stosuje się głównie do oceny stopnia zagęszczenia gruntów gruboziarnistych (niespoistych) lub oszacowania parametrów stanu lub wytrzymałościowych w gruntach drobnoziarnistych (spoistych), oceny jednorodności podłoża gruntowego czy wyznaczenia poziomów o obniżonej wytrzymałości, a także do poboru próbek. Dodatkowo dzięki możliwości poboru próbek na podstawie sondowania można określić wilgotność oraz gęstość objętościową gruntu.

W Polsce jest to badanie rzadko stosowane z uwagi na konieczność wykonania podwiertu oraz ze względu na techniczne aspekty wykonania badania – wiertnice są rzadko wyposażone w zestaw do badania SPT. W związku z tym szczegółowa norma do tego badania występuje tylko w wersji angielskiej: PN-EN ISO 22476-3:2005 oraz PN-EN ISO 22476-3:2005/A1:2012. Ograniczeniem do stosowania tego badania może być występowanie w podłożu kamieni, gruzu itp.

### 5.6.5. Badania sondą dynamiczną DP

Badanie sondą dynamiczną DP (*Dynamic Penetration*) wykonuje się w celu określenia oporu gruntu podczas dynamicznego zagłębienia stożka. Do tego celu jest używany młot o określonej masie i wysokości spadania. W zależności od ww. parametrów polska norma PN-EN 1997-2 wyróżnia cztery rodzaje sondowań dynamicznych DP:

- lekkie (DPL), sonda o masie 10 kg, wysokość spadania 500 mm, liczba uderzeń  $N_{10L}$ ;
- średnie (DPM), sonda o masie 30 kg, wysokość spadania 500 mm, liczba uderzeń  $N_{10M}$ ;
- ciężkie (DPH), sonda o masie 50 kg, wysokość spadania 500 mm, liczba uderzeń  $N_{10H}$ ;
- superciężkie (DPSH) sonda o masie 63,5 kg, wysokość spadania 500 mm (A-DPSH) lub 750 mm (B-DPSH), liczba uderzeń  $N_{10SA}$ ,  $N_{20SA}$ ,  $N_{10SB}$  lub  $N_{20SB}$ .

Wynikiem sondowania jest opór zagłębienia stożka wyrażony w liczbie uderzeń na określony wpęd sondy. Wartością wyprowadzoną z ww. parametru jest stopień zagęszczenia gruntów gruboziarnistych ( $I_p$ ). Sondowanie można wykonywać bezpośrednio z powierzchni terenu lub z wcześniej wykonanego otworu czy dna wykopu.

Sondowanie to stosuje się najczęściej do oceny zagęszczenia gruntów gruboziarnistych. Ponadto może być używane do lokalizacji pustek, kawern czy przewarstwień lub soczewek gruntów słabych lub bardzo zagęszczonych, określenia głębokości podłoża nośnego, kontroli wykonawstwa nasypów i zasypiek gruntowych. Pozwala ocenić podłoże głównie w sposób jakościowy.

W Polsce badanie to jest powszechnie stosowane z uwagi na szybkość wykonania oraz dostępność sprzętu, jednak ma swoje ograniczenia. Głębokość badania nie powinna przekraczać 8 m dla sondy DPL, 20 m dla sondy DPM oraz 25 m dla

sondy DPH. Masę sondy należy dobrać do spodziewanego rodzaju i zagęszczenia gruntu oraz głębokości. Należy mieć również na uwadze znaczny wzrost tarcia wraz z głębokością dla gruntów drobnoziarnistych. Szczegółowa norma dotycząca badania występuje jedynie w języku angielskim PN-EN ISO 22476-2:2005 i PN-EN ISO 22476-2:2005/A1:2012.

Wszystkie typy sondowania dynamicznego DP posiadają urządzenie do mechanicznego podnoszenia młota, a sonda lekka (DPL) może być obsługiwana ręcznie, co może być atutem w przypadku miejsc o ograniczonej dostępności np. na obszarach chronionych.

### 5.6.6. Badania sondą wkręcaną WST

Badanie sondą wkręcaną WST polega na statycznym i/lub obrotowym zagłębieniu końcówki w kształcie śruby w celu wyznaczenia oporu gruntu. Dla gruntów słabych, dla których opór zagłębienia jest mniejszy niż 1 kN, sondę należy zagłębiać statycznie. W przypadku, gdy opór jest większy niż 1 kN, sondę należy obracać ręcznie lub mechanicznie i jednocześnie rejestrować dla całego badania liczbę półobrotów przy określonym zagłębieniu.

Sondę wkręcaną WST zgodnie z polską normą PN-EN 1997-2 stosuje się do określenia: następstwa warstw, ciągłego profilu wytrzymałościowego gruntu, a także stopnia zagęszczenia gruntów gruboziarnistych i stanu gruntów drobnoziarnistych, ustalenia granicy pomiędzy nasypem a podłożem. Dodatkowo stosuje się tę metodę badań do wyznaczania głębokości warstw bardzo zagęszczonego gruntu, pozwalającą określić głębokość palowania.

Badanie to jest rzadko stosowane w Polsce, ponieważ do wyznaczenia ww. parametrów przeważnie jest stosowane badanie sondą dynamiczną DP (rozdz. 5.6.5). Badania sondą WST nie stosuje się dla gruntów zwartych lub zagęszczonych. Szczegółowe informacje na temat badania można uzyskać w CEN ISO/TS 22476-10.

### 5.6.7. Badania sondą krzyżakową FVT

Badania sondą krzyżakową FVT (*Field Vane Test*) zgodnie z polską normą PN-EN 1997-2 zazwyczaj stosuje się dla słabych gruntów drobnoziarnistych, a także dla gruntów organicznych. Celem badania jest określenie ich wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu oraz wrażliwości strukturalnej gruntu. Dodatkowo poprzez wielokrotne ścięcie można określić wytrzymałość rezydualną gruntu. W przypadku niezastosowania rur osłonowych badanie wykonuje się z dna podwiertu.

Podczas badania umieszcza się końcówkę krzyżakową w gruncie i mierzy się jej opór przy obrocie. Dla gruntów bardzo słabych lub wrażliwych można zastosować końcówki o większej powierzchni ścięcia, jednak należy to uwzględnić podczas opracowywania wyników.

Wykonanie badania sondą krzyżakową FVT jest mało pracochłonne, a sprzęt do badania jest łatwo dostępny. Te cechy składają się na popularność tej metody. Badanie jest mało uciążliwe, przez co można je stosować w miejscach o ograniczonej dostępności np. na obszarach chronionych.



Podczas tego badania uzyskujemy bezpośredni parametr, jakim jest wytrzymałość na ścinanie.

Badania sondą krzyżakową FVT wykonuje się dla gruntów o  $c_u < 150$  kPa.

Szczegółowe informacje mają być zawarte w przygotowywanej normie ISO/DIS 22476-9.

## 5.7. SPECJALISTYCZNE BADANIA TERENOWE

Obok standardowych, polowych badań podłoża istnieje szereg metod specjalistycznych (lub modyfikacji metod standardowych), które są wykonywane w przypadku, gdy jest konieczna ocena specyficznych właściwości gruntów lub inny cel badawczy wykraczający poza znormalizowaną listę badań podłoża. Spośród terenowych metod specjalistycznych norma PN-EN 1997-2 wymienia jedynie próbne obciążenia (płytą PLT lub w makroskali) oraz polowe badania przepuszczalności w przypadkach, gdy badania na próbkach mogą być niereprezentatywne (dotyczy to głównie spękanych masywów skalnych). Inne uznane w świecie metody badawcze norma zaleca stosować uzupełniająco. Metody te są opisane w wielu publikacjach (Lunne, 1997; Frankowski i in., 2009; 2012; Wysokiński i in., 2011).

Do takich metod można zaliczyć m.in.:

- sondowania statyczne lub dylatometryczne z końcówką sejsmiczną (SCPT/SCPTU, SDMT) – wyposażone w geofony, umożliwiające pomiar prędkości rozchodzenia się fal sprężystych; badanie wykonuje się po zatrzymaniu sondowania na określonej głębokości; na podstawie pomiarów określa się prędkość rozchodzenia się fali pomiędzy powierzchnią a geofonem umieszczonym w końcówce; badania sejsmiczne pozwalają na wyznaczenie profilu sztywności gruntu w funkcji modułu ścinania ( $G_0$ );
- sondowania statyczne końcówką opornościową (RCPT/RCPTU) – wyposażone w elektrody do pomiaru napięcia pozwalają na wyznaczenie oporności i przewodności elektrolitycznej gruntu, przez który przepływa prąd zmienny o dużej częstotliwości; badania te mają szczególne zastosowanie na terenach zanieczyszczonych chemicznie; wyniki są obarczone szeregiem czynników, takich jak: skład chemiczny wody w porach, temperatura, porowatość, zawartość frakcji ilowej, skład mineralogiczny itp. (Carnapella, 2008);
- sondowania statyczne z modułem video (visCPT) – wyposażone w kamerę pozwalającą na bieżąco obserwować penetrowany grunt; stosowane głównie do obserwacji wykształcenia gruntów gruboziarnistych;
- sondy statyczne z końcówkami opływowymi (np. *T-bar*, *Ball probe*) – wyposażone w specyficzne szerokie końcówki w kształcie litery T lub kuli, co poprzez zwiększenie powierzchni pozwala mierzyć opory penetracji w gruntach bardzo słabych; szerokie zastosowanie mają w badaniach dna morskiego;
- niestandardowe sondy do badania zagęszczenia (penetrometr Panda) – lekkie urządzenie do oceny zagęszczenia, wyposażone w wymienny stożek wbijany w ziemię oraz automatyczną rejestrację oporu gruntu; stosowane głównie do badania zagęszczenia warstw przypowierzchniowych;

- urządzenia do badania odkształcenia (np. VSS, HMP, PLT) – wywołujące efekt próbnego obciążenia w małej skali; ich celem jest pomiar pionowego odkształcenia podłoża poprzez rejestrację obciążenia i odpowiadającego mu osiadania; szerokie zastosowanie mają w badaniach odbiorczych wykopów i budowli ziemnych;
- polowe urządzenia do badania nośności (CBR) – badanie polega na pomiarze nacisku, jaki jest potrzebny do zagłębienia tłka o określonym kształcie w grunt; badanie powszechnie stosowane w drogownictwie;
- sondowania w celu określenia współczynnika filtracji oraz poboru próbek do badań chemicznych (sonda BAT) – system ten wykorzystuje się najczęściej do badań parametrów filtracyjnych gruntów słabo przepuszczalnych o współczynniku filtracji  $k$  w zakresie od  $10^{-12}$  do  $10^{-5}$  m/s w kierunku poziomym oraz do poboru próbek wody;
- polowe badania współczynnika filtracji (np. metoda Kamińskiego, infiltrometri) – polegające na obserwacji czasu opadania słupa wody w rurce umieszczonej w otworze wiertniczym lub innym miejscu; stosowane powszechnie do oceny szczelności obwałowań hydrotechnicznych oraz przesłon izolacyjnych;
- badania próbnego obciążenia (balastowe) – będące rozwinięciem badań próbnego obciążenia płytą lecz w dużej skali; polega na ułożeniu tymczasowej konstrukcji obciążającej na odpowiednio przygotowanym podłożu i pomiarach osiadań wywołanych obciążeniem;
- kamery działające w podczerwieni (badania introskopowe) – pozwalające na wizualną ocenę wnętrza otworów wiertniczych, szybów kopalnianych, sztolni i innych przestrzeni podziemnych za pomocą niewielkiej kamery; badanie jest stosowane powszechnie w górnictwie do oceny stanu górotworu.

Poniżej zestawiono najczęstsze zastosowania (tab. 22) wybranych, specjalistycznych metod badawczych.

## 5.8. POŁOWE BADANIA HYDROGEOLOGICZNE

W świetle wymagań Eurokodu 7 rozpoznanie warunków hydrogeologicznych jest jednym z elementów, który należy uwzględnić w badaniach geotechnicznych i obliczeniach projektowych.

Pomiary i badania hydrogeologiczne wykonywane w ramach dokumentowania geologiczno-inżynierskiego lub geotechnicznego mają na celu:

- określenie głębokości i charakteru występowania poziomów wodonośnych oraz kierunków przepływu;
- pobór próbek wody na potrzeby badań agresywności wód podziemnych w stosunku do materiałów konstrukcyjnych;
- określenie ilościowe parametrów filtracyjnych gruntów i skał w warunkach *in situ*.

**Kartowanie hydrogeologiczne** jest niezwykle istotnym, choć często pomijanym elementem służącym do oceny warunków hydrogeologicznych rejonu planowanej inwestycji. Powinno być wykonywane w zakresie uzależnionym od celu prac i składać się z kartowania hydrogeologicznego, sozologicznego i hydrochemicznego (Rodzoch i in., 2006). Eurokod 7 wprowadza wymóg rozpoznania historii geologicznej tere-

Tabela 22

Zastosowanie specjalistycznych badań terenowych w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim

Cel badania	Sondowania z końcówką sejsmiczną	Sondowania opornościowe	Sondowania z modulem video	Penetrometr Panda	Sondowania z końcówkami opływowymi	Płyty do badania odkształcenia	Próbné obciążenia	Sonda BAT	Badanie CBR	Polowe badania współczynnika filtracji	Badania introskopowe
Odbiory geotechniczne podłoża, kontrola jakości wykonania robót ziemnych	-	-	-	+	-	+	+	-/+	+	-/+	-
Ocena zanieczyszczenia gruntów i wody	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-
Ocena jakości górotworu	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+
Prognozowanie osiadań	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Ocena sztywności podłoża	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-
Ocena stanu budowli ziemnych	+/-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-
Ocena przepuszczalności podłoża	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
Ocena gruntów bardzo słabych	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Ocena izolacyjności podłoża	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-

+ zalecane, - nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby

nu badań i jego otoczenia przy badaniach geotechnicznych. Obszar kartowania należy dostosować do skali przedsięwzięcia i specyfiki obszaru. Najważniejsze cele kartowania to:

- możliwe szczegółowe rozpoznanie głębokości występowania zwierciadła wody w celu prawidłowego zaprojektowania otworów wiertniczych;
- inwentaryzacja ujęć wód podziemnych oraz wytypowanie otworów do dalszych obserwacji i opróbowania;
- ocena stanu jakościowego wód podziemnych;
- inwentaryzacja ognisk zanieczyszczeń i ogólna ocena stanu ekologicznego obszaru w celu określenia tzw. „stanu zerowego” z okresu przed rozpoczęciem budowy i późniejszej eksploatacji obiektu.

Prawidłowo wykonane kartowanie powinno także obejmować szczegółową analizę materiałów archiwalnych. Dotychczasowa praktyka pokazuje, że nawet w przypadku niewielkich inwestycji analiza archiwaliów w skali regionalnej, np. dotycząca reakcji badanego obszaru na stany powodziowe lub wypełniania się lejów depresyjnych związanych z zaprzestaniem odwodnienia lub ograniczeniem poboru z ujęć wodociągowych, może ustrzec przed ryzykiem wystąpienia awarii budowlanych (Sokołowska i in., 2015).

**Pomiary zwierciadła wód podziemnych.** Podstawowym pomiarem hydrogeologicznym, który powinien być wykonywany we wszystkich otworach wiertniczych, jest pomiar głębokości występowania zwierciadła wód podziemnych. Ustalenie położenia zwierciadła wody umożliwia określenie efektywnych naprężeń geostatycznych, ocenę parcia wody na konstrukcje oporowe lub wartość ciśnienia spływowego uwzględnianą w obliczeniach stateczności. Wpływa także na ustalenie kategorii geotechnicznej (Sokołowska i in., 2015). Szczegółowa informacja na temat położenia zwierciadła wody jest też niezbędna do niektórych obliczeń wytrzymałościowych

i odkształceniowych oraz do oceny nośności podłoża, dlatego też określenie poziomu wód podziemnych jest wymagane normą Eurokod 7.

Do pomiarów zaleca się używanie świstawki hydrogeologicznej zapuszczanej do otworu na taśmie mierniczej. W zależności od stwierdzonych warunków geologicznych należy dokonać pomiaru nawierconego i ustalonego zwierciadła wody. W drugim przypadku prawidłowo przeprowadzony pomiar powinien polegać na pełnej stabilizacji zwierciadła, tj. uzyskaniu 2-3 kolejnych odczytów nieróżniących się między sobą więcej niż 1-2 cm. Właściwe określenie wysokości naporu hydraulicznego jest niezwykle istotne, m.in. w celu uniknięcia awarii budowlanych związanych ze zjawiskiem przebicia hydraulicznego lub kompaktacji osadów wodonośnych wskutek zmniejszenia ciśnienia. Niezwykle istotnym jest, żeby uzyskane wyniki odnieść do aktualnej sytuacji pogodowej, a przede wszystkim porównać do wielkości opadów w okresie poprzedzającym wykonywanie prac. Wskaźnikiem wahań pierwszego zwierciadła wód gruntowych mogą być zażelazienia profilu gruntowego w strefie aeracji/saturacji. Zaleca się również odnotowywanie innych przejawów występowania wód podziemnych, takich jak sączenia w obrębie utworów słabo przepuszczalnych lub znaczne zawilgocenia osadów porowych. Na terenach osuwiskowych postępowanie takie powinno być obligatoryjne. Przeprowadzenie powyższych pomiarów w otworach niezarurowanych może niejednokrotnie być niemożliwe bądź obarczone dużym błędem, dlatego zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 1997-2, w celu wyznaczenia głębokości zalegania zwierciadła wody należy zainstalować piezometr lub, dla większych obiektów budowlanych, ich sieć. Podejście takie umożliwi m.in. precyzyjne określenie kierunku przepływu wody oraz, co niezwykle istotne, umożliwi prognozę zmian położenia zwierciadła wody w czasie, poprzez cykliczne wykonywanie

pomiarów z zachowaniem porównywalnych warunków pomiarowych. Wykonywanie pomiarów przy okazji wiercenia otworów niezarurowanych powinno stanowić jedynie uzupełnienie badań prowadzonych w piezometrach. Stosowanie piezometrów zaleca również norma PN-EN 1997-1, a także pośrednio (np. poprzez wymóg określenia amplitudy wahań poziomu zwierciadła wód podziemnych) Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033). W przypadku badań na większym obszarze, w skład sieci obserwacyjnej piezometrów mogą wchodzić gospodarcze studnie kopane ujmujące pierwszy poziom wodonośny (Bażyński i in., 1999; Dojcz, Troć, 2008). Studnie takie mogą jednak pełnić wyłącznie rolę wspomagającą sieć właściwych piezometrów z uwagi na przeważnie nieznaną profil litologiczny, utrudniający interpretację pomiarów, i zły stan techniczny. Kolmatacja strefy dopływu sprawia, że często studnie te są praktycznie odcięte od strefy przepływu wód, a stagnująca w nich woda nie wykazuje łączności z otaczającą warstwą wodonośną. Zdarza się także, że studnie te są zupełnie odcięte od warstwy wodonośnej i po szcerpaniu wody pozostają suche.

Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 1997-2 wyniki badań hydrogeologicznych powinny dostarczyć informacji o:

- głębokości występowania zwierciadła wód podziemnych i jego zmianach w czasie;
- rozkładzie ciśnienia wody w profilu gruntowym oraz właściwościach fizycznych i składzie chemicznym wód podziemnych.

Zależnie od rodzaju inwestycji dane te powinny umożliwić:

- właściwe zaprojektowanie odwodnień budowlanych;
- określenie możliwości niekorzystnego oddziaływania wód podziemnych na dno i skarpy wykopu;
- określenie możliwości wystąpienia deformacji filtracyjnych;
- ocenę agresywności wody względem stosowanych materiałów budowlanych;
- określenie sposobu zabezpieczenia środowiska gruntowo-wodnego przed niekorzystnym wpływem inwestycji w czasie poszczególnych etapów jej realizacji.

W normie PN-EN 1997-1 wymieniono dwa dodatkowe stany graniczne gruntów, które należy uwzględnić w obliczeniach stateczności w warunkach obecności wody podziemnej. Są to:

- wyparcie (UPL), czyli utrata stateczności konstrukcji na skutek działania ciśnienia hydrostatycznego;
- deformacje filtracyjne (HYD), czyli utrata stateczności podłoża wskutek działania ciśnienia hydrostatycznego.

Sprawdzenie stanów granicznych UPL i HYD wymaga posiadania dokładnych danych hydrogeologicznych i uwzględnienia wszystkich możliwych sytuacji obliczeniowych, takich jak parcie wody w stanach ekstremalnych, rozpraszanie ciśnienia porowego, szkodliwe oddziaływanie chemiczne wód, wpływ robót odwodnieniowych na istniejące obiekty budowlane i zmiana stosunków wodnych w otoczeniu.

Eurokod 7 wyróżnia dwa rodzaje systemów pomiarowych:

- otwarty: pomiary w otworach obserwacyjnych wyposażonych w otwartą rurkę piezometryczną (utwory o wysokiej przepuszczalności, np. piaski, żwiry, spękane skały);

- zamknięty: pomiary bezpośrednio w zamkniętej instalacji piezometrycznej (utwory o niskich parametrach filtracyjnych, np. ły, skały lite lub warunki artezyjskie).

Częstotliwość pomiarów należy dobrać odpowiednio do stwierdzonych warunków hydrogeologicznych. W ramach monitoringu hydrogeologicznego, wykonywanego przez Urząd Morski w Gdyni, w rejonie konstrukcji zabezpieczającej klif w Jastrzębiej Górze pomiary są prowadzone w systemie zamkniętym w sposób ciągły. Liczba, rozmieszczenie i głębokość punktów pomiarowych powinny być dobrane z uwzględnieniem:

- etapu realizacji inwestycji;
- typu obiektu budowlanego;
- celu pomiarów;
- morfologii i topografii terenu;
- wstępnego rozpoznania warunków gruntowo-wodnych (szczególnie przepuszczalności podłoża i położenia warstw wodonośnych) opartego na analizie materiałów archiwalnych.

Wraz z pomiarem głębokości zwierciadła wody zaleca się pomiar podstawowych właściwości fizykochemicznych wody (odczyn, PEW, temperatura) w celu wytypowania punktów do późniejszego oprobowania.

**Określanie współczynnika filtracji w otworach** – podstawowy parametr charakteryzujący przepuszczalność ośrodka skalnego.

W przypadku utworów dobrze i średnio przepuszczalnych podstawową terenową metodą oznaczania wartości współczynnika filtracji jest metoda próbnego pompowania (Krogulec, 2011). Pozwala ona uzyskać wyniki, które uchodzą za najbardziej reprezentatywne. Stosowanie tej metody do określania parametrów wodoprzepuszczalności w warunkach *in situ* jest zalecane przez Eurokod 7 (1). W przypadku, gdy przeprowadzenie pompowania nie jest możliwe, współczynnik filtracji można obliczyć poprzez zalewanie otworów lub wykonując próbę nagłej zmiany ciśnienia (*slug test*).

Próbne pompowanie pomiarowe wykonuje się w otworach zarurowanych i zafiltrowanych, po ich uprzednim oczyszczeniu. Badanie polega na pompowaniu wody z otworu z określoną, stałą wydajnością z jednoczesnym prowadzeniem pomiarów głębokości położenia zwierciadła wody podziemnej. Pompowanie prowadzi się do momentu ustabilizowania się depresji, tzn. do momentu, kiedy trzy kolejne pomiary nie będą różnić się między sobą więcej niż 1–2 cm. Przeciętnie czas ten wynosi kilka godzin. Pompowanie należy wykonać co najmniej na dwóch stopniach (poziomach) hydrodynamicznych czyli z dwoma wydajnościami. Na podstawie uzyskanych wyników sporządza się wykres zależności depresji od wydajności w funkcji czasu, a następnie wybiera odpowiedni schemat obliczeniowy do określenia współczynnika filtracji (Mikołajków, 2011). Istnieje wiele metod pompowań pomiarowych oraz wzorów obliczeniowych, dostosowanych m.in. do różnych warunków hydrogeologicznych i różnych sposobów zafiltrowania warstwy wodonośnej (Turek, 1971; Siwek, Mańkowski, 1981; Kulma, 1995; Szczepański i in., 2004; Dąbrowski, Przybyłek, 2005).

Próba nagłej zmiany ciśnienia polega na wymuszeniu skokowej różnicy ciśnienia w warstwie wodonośnej przez przekształcenie pierwotnego poziomu zwierciadła wody w otworze, a następnie precyzyjnym pomiarze sposobu i szybkości powrotu zwierciadła do stanu ustalonego (Rogoż, 2012). Jedną z odmian badania jest metoda PARAMEX polegająca na obniżeniu poziomu zwierciadła wody w uszczelnionym otworze o kilkadziesiąt centymetrów przy użyciu sprężonego powietrza, a następnie rejestracji zmiany jego wzniosu w czasie (Marciniak, 1999; Stobiecki, Marciniak, 2011). Pomiar poziomu wody w otworze wykonuje się specjalną sondą. W porównaniu do próbnego pompowania pomiarowego badanie to jest bardzo szybkie, jednak wymaga zastosowania specjalistycznej aparatury umożliwiającej rejestrację ruchu zwierciadła wody z odpowiednią dokładnością (Stobiecki, Marciniak, 2011).

Metoda zalewania, polegająca na wlewaniu wody do otworu wiertniczego, ma dwie zasadnicze odmiany. Woda może być zatłaczana do otworu ze stałą wydajnością przy jednoczesnym pomiarze wysokości słupa wody nad zwierciadłem statycznym lub otwór może być zalany jednorazowo wraz z obserwacją obniżania się zwierciadła wody w czasie. Interpretację wyników przeprowadza się za pomocą wzorów empirycznych, analogicznie jak w przypadku próbnego pompowania. Metoda zalewania pozwala uzyskać jedynie przybliżone wyniki współczynnika filtracji (Rogoż, 2012).

## 5.9. WSTĘPNA OCENA MASYWU SKALNEGO NA PODSTAWIE BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Zalecenia Eurokodu 7 (norm PN-EN 1997-1 i 2) odnośnie oceny masywu skalnego są ogólne lecz dotyczą zarówno badań klasyfikacyjnych (opisu petrograficznego i podstawowych cech fizycznych – rozdz. 3.7.3), jak i badań właściwości mechanicznych skał (głównie wytrzymałościowych). Norma wyraźnie zaleca rozróżnić zachowanie się materiału skalnego, ocenionego na podstawie badań pojedynczych próbek, w stosunku do zachowania się całego masywu z uwzględnieniem wszelkiego rodzaju nieciągłości (PN-EN 1997-1 pkt 3.3.8.1). Oprócz zachowania się masywu w kontekście geomechaniki, norma zaleca także uwzględniać takie elementy jak: ciśnienie wody, kontakty hydrauliczne, wrażliwość na czynniki klimatyczne lub zmiany naprężeń, a także możliwą degradację chemiczną. Norma zawiera także ogólne zalecenia dotyczące badań masywu (polowych i laboratoryjnych) z uwzględnieniem projektowanego obiektu. Wśród przykładowych badań norma wymienia: wiercenia, sondowania, pomiary wody gruntowej, badania geofizyczne oraz badania wielkoskalowe (PN-EN 1997-2 pkt 2.4.1.1). Dodatkowo wymaganym elementem badawczym jest określenie wskaźnika spękań na podstawie rdzenia wiertniczego (RQD, TCR i SCR) wg normy PN-EN ISO 22475-1 (rozdz. 3.6). W załączniku „U” norma odnosi się do możliwości stosowania uznanych na świecie klasyfikacji geotechnicznych i geofizycznych w ocenie masywu skalnego, przywołując do stosowania publikację Bieniawskiego (Bieniawski, 1989), natomiast podstawowe wymagania odnośnie przygotowania próbek do badań oraz badań klasyfikacyjnych i mechanicz-

nych próbek skał zawierają załączniki od „T” do „W” normy PN-EN 1997-2.

Przy rozwiązywaniu problemów inżynierskich podstawowe znaczenie ma wielkość masywu wraz z jego zróżnicowaniem litologicznym, uskokami i spękaniem oraz warunkami hydrogeologicznymi opisanymi w skali projektowanej budowli. Należy rozważać zarówno wielkość, jak i czas oddziaływania obciążeń ze względu na to, że skały są ośrodkami reologicznymi o właściwościach lepko-sprężysto-plastycznych.

Masyw skalny jest ośrodkiem dyskretnym, złożonym z bloków o różnych wielkościach i kształtach, między którymi szczeliny są niezwiertzałe lub zwiertzałe, suche lub zawadnione. Praktycznie nie jest możliwe obliczenie, jak zachowa się masyw skalny na podstawie ograniczonej liczby danych dotyczących właściwości mechanicznych bloków skalnych. Do opisu masywów skalnych wykorzystuje się więc podejście empiryczno-statystyczne. Celem rozdziału jest przedstawienie krótkiej charakterystyki klasyfikacji masywów skalnych ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania badań geofizycznych.

### 5.9.1. Klasyfikacje masywów skalnych

Klasyfikacja to porządkowanie obiektów i ich grupowanie w podzbiory jednostek podobnych ze względu na określone właściwości, za pomocą tzw. parametrów klasyfikacyjnych.

Klasyfikacje masywów skalnych, bazujące na empirycznym podejściu do oceny właściwości geotechnicznych masywu, są szeroko stosowane w geotechnice.

Do najczęściej stosowanych klasyfikacji geotechnicznych, wykorzystywanych w ocenie masywów skalnych, zalicza się:

- RMR (*Rock Mass Rating*) Z.T. Bieniawskiego,
- Q (*Rock Mass Quality*) N. Bartona, R. Liena i J. Lundego;
- GSI (*Geological Strength Index*) Hoeka-Browna,
- KF (Klasyfikacja Fliszu) K. Thiela, która jest wzorowana na klasyfikacji RMR.
- KFG (Klasyfikacja Fliszu – Geofizyczna), opracowana na potrzeby oceny masywów fliszowych przez Z. Bestyńskiego.

Podstawowym celem klasyfikacji jest podział masywu skalnego na jednorodne części na podstawie wybranej grupy parametrów, na jednorodne grupy charakteryzujące się określonymi właściwościami, ważnymi ze względu na cel klasyfikacji. Redukuje się w ten sposób, podczas oceny obiektu, konieczność analizy różnorodnych i trudno porównywalnych czynników, mających wpływ na jego właściwości, do kilku podstawowych określonych liczbowo parametrów klasyfikacyjnych. Klasyfikacje masywów skalnych prowadzą więc do uporządkowania i uproszczenia procedury ich rozpoznania geotechnicznego.

Klasyfikacji nie należy traktować jako zamiennika projektowania inżynierskiego. Powinny być stosowane rozsądnie i w połączeniu z metodami analitycznymi i obserwacyjnymi wykorzystane do racjonalnego połączenia rozwiązania projektowego budowli z warunkami jej posadowienia. Klasyfikacja użyta właściwie i zgodnie z celem jest pomocą w projektowaniu i umożliwia:

- podział przestrzeni na części o określonych właściwościach geotechnicznych;
- identyfikację podstawowych parametrów, o ile klasyfikacja umożliwi ich wyznaczenie;
- podział badanej przestrzeni na rejony o określonych właściwościach geotechnicznych;
- stworzenie podstawy do zrozumienia charakterystyki każdej z klas;
- dostarczenie dla celów inżynierskich ilościowych danych odnośnie właściwości masywu;
- stworzenie możliwości porównania masywów skalnych w różnych rejonach;
- wprowadzenie wspólnej płaszczyzny porozumienia i komunikacji projektanta z geologiem.

### 5.9.2. Zasady oceny masywu skalnego

Klasyfikacje są tworzone w określonym celu i dla konkretnego rodzaju skał, na podstawie odpowiadającego temu celowi zbioru danych pomiarowych i obserwacyjnych. Nie ma więc klasyfikacji uniwersalnej, system klasyfikacyjny należy dobrać do rozwiązywanego zadania i rodzaju środowiska geologicznego.

Klasyfikacja Terzagiego (Terzaghi, 1946) została utworzona do oceny warunków drążenia w gruntach tuneli o małej średnicy w obudowie stalowej. Klasyfikację określono empirycznie na podstawie obserwacji zachowania się gruntów podczas drążenia wyrobisk. Na podstawie tych danych grunty podzielono na klasy geotechniczne.

W podobny sposób utworzono powszechnie stosowane klasyfikacje RMR, Q i GSI, jako klasyfikacje wieloparametrowe, których parametry dobrano tak, żeby opisywały w sposób ilościowy główne charakterystyki masywów, decydujące o ich zachowaniu się pod wpływem obciążeń zewnętrznych.

Klasyfikacja RMR jest pierwszą klasyfikacją wieloparametrową, ilościową utworzoną do oceny warunków drążenia tuneli, ale poprzez wprowadzenie dodatkowego parametru klasyfikacyjnego uwzględniającą relację kierunku obciążenia do dominującego kierunku nieciągłości, wykorzystywaną również do oceny stateczności zboczy i fundamentów. Do oceny stateczności zboczy M. Romana zaproponował specjalistyczną klasyfikację SMR (Romana i in., 2003) będącą modyfikacją klasyfikacji RMR. Polega ona na wprowadzeniu współczynników korygujących, zależnych od wzajemnej relacji dominującego kierunku nieciągłości z nachyleniem i rozciągłością zbocza i powierzchni poślizgu.

Klasyfikację Q utworzono do oceny warunków drążenia tuneli i dużych komór wykonywanych w skałach mocnych, spękanych. Na podstawie obserwacji stwierdzono, że w takich skałach o klasie masywu decyduje głównie gęstość oraz stan powierzchni spękań. Klasyfikacja nie uwzględnia więc orientacji spękań.

Klasyfikacja GSI umożliwia szybką i wiarygodną klasyfikację masywów skalnych na podstawie ich wizualnej obserwacji i dopasowaniu do diagramów przygotowanych dla masywów ciągłych i nieciągłych. Wartość wskaźnika GSI można

obliczyć na podstawie wartości RMR i zmodyfikowanej wartości Q (Tajduś i in., 2012). Wskaźnik GSI jest wykorzystywany do oszacowania parametrów kryterium wytrzymałościowego Hoeka-Browna, koniecznych do obliczeń numerycznych do określenia wytrzymałości zróżnicowanych geologicznie masywów skalnych.

Klasyfikacja KF jest wzorowana na systemie RMR, ale parametry klasyfikacyjne uwzględniają specyfikę fliszu. Wartości liczbowe parametrów klasyfikacyjnych ustalono na podstawie obserwacji, ale tylko na 9 stanowiskach. Ich wartości liczbowe powinny być określone na podstawie większej liczby danych pomiarowo-obserwacyjnych.

Klasyfikacja KFG jest skorelowana z systemem RMR, ale oparta na parametrach geofizycznych  $V_p$  [m/s] i  $\rho$  [ $\Omega$ m] i geotechnicznych określonych na 22 stanowiskach pomiarowych obejmujących pełne zróżnicowanie fliszu tak ze względu na litologię jak i tektonikę. Klasyfikacja została pozytywnie zweryfikowana na trasach sztolni hydrotechnicznych zapory Świnna Poręba zarówno na wstępnym etapie rozpoznania – dla prognozy warunków geotechnicznych na trasach sztolni na podstawie pomiarów powierzchniowych, jak również w trakcie i po zakończeniu drążenia – na podstawie pomiarów w sztolniach.

Na podstawie przedstawionych informacji i przeprowadzonej analizy możliwości i ograniczeń stosowanych klasyfikacji geotechnicznych można stwierdzić, że w warunkach polskich optymalnymi klasyfikacjami są systemy Q Bartona – dla masywów jednorodnych litologicznie i RMR Bieniawskiego (Bieniawski, 1979). System RMR jest prosty, łatwy do stosowania i najbardziej na świecie rozpowszechniony, dzięki czemu jest ciągle doskonalony i uszczegółowiany. System jest najbardziej uniwersalny, dzięki dodatkowemu parametrowi klasyfikacyjnemu uwzględniającemu orientację nieciągłości może być stosowany zarówno do oceny warunków budowy tuneli, jak również oceny stabilności zboczy i fundamentów.

Do oceny masywów fliszowych system KF powinien być stosowany równolegle z systemem RMR w celu dalszej weryfikacji i uszczegółowienia wartości liczbowych jego parametrów klasyfikacyjnych oraz ułatwienia w ocenie parametrów klasyfikacyjnych systemu RMR.

Klasyfikacja geofizyczna KFG umożliwia określenie wskaźnika liczbowego równoważnego klasie bazowej systemu RMR. Jak już wspomniano system został utworzony na dość bogatej bazie pomiarowej (wszystkie wykonane w Polsce, w Karpatach fliszowych, wielkoskalowe pomiary modułów Younga) i pozytywnie zweryfikowany w czasie drążenia sztolni hydrotechnicznych zapory Świnna Poręba. Podstawowym atutem klasyfikacji KFG jest możliwość oceny warunków geotechnicznych na wstępnych etapach rozpoznania, na podstawie powierzchniowych pomiarów geofizycznych i ewentualnie otworowych (jeżeli są dostępne), jeszcze przed wykonaniem wyrobisk górniczych. System KFG umożliwia również określenie modułów sprężystości Younga i odkształcenia masywu. System KFG w połączeniu z systemem SMR umożliwia także ocenę stateczności fliszowych zboczy osuwiskowych (Bestyński i in., 2017). Klasyfikację KFG można więc uznać za bardzo dobre narzędzie

rozpoznania masywów fliszowych, szczególnie na wstępnych etapach rozpoznania, bez konieczności wykonywania kosztownych robót górniczych.

#### 5.9.2.1. Przegląd wybranych klasyfikacji masywów skalnych

**K. Terzaghi** (1946) zaproponował klasyfikację geotechniczną, która była pierwszą tego rodzaju klasyfikacją (Terzaghi, 1946). Klasyfikacja dotyczyła gruntów i została utworzona do oceny warunków drążenia tuneli. Grunty, w zależności od ich zachowania się podczas drążenia wyrobiska, zostały scharakteryzowane w sposób opisowy i podzielone na 6 klas:

- grunty mocne;
- grunty łuszczące się;
- grunty skłonne do zaciskania;
- grunty sypkie;
- grunty płynące;
- grunty pęczniejące.

Do rodzaju gruntu dopasowywano sposób drążenia i obudowy wyrobiska.

Klasyfikacja Terzagiego była wielokrotnie modyfikowana i wykorzystana również do oceny warunków drążenia tuneli w skałach. Jedną z modyfikacji jest zaproponowany przez Deere i Singha podział skał na 9 typów (Deere i in., 1988; Singh i in., 1999):

- skała twarda, niespękana;
- skała twarda uwarstwiona i łupkowata;
- skała masywna umiarkowanie spękana;
- skała umiarkowanie blokowa i warstwowa;
- skała wyraźnie blokowa i warstwowa;
- skała całkowicie zniszczona (brekcja), ale chemicznie niezmienną;
- skała wyciskana na umiarkowanej głębokości;
- skała wyciskana na dużej głębokości;
- skała pęczniejąca.

Poszczególnym rodzajom gruntów i skał, na podstawie obserwacji wykonanych w nich wyrobiskach, przyporządkowano zalecane sposoby ich drążenia, obudowy i utrzymania.

**Klasyfikacja RQD (Rock Quality Designation) D.U. Deere** (1967) jest oparta na analizie podzielności rdzenia wiertniczego, wskazującej na stopień spękania masywu skalnego (Deere, Goel, 1967). Wskaźnik podzielności rdzenia wiertniczego określa się na podstawie wzoru:

$$RQD = L_k / L \cdot 100\%$$

gdzie:

- $L_k$  – suma długości odcinków rdzenia wiertniczego o długości powyżej 10 cm;
- $L$  – całkowita długość rdzenia wiertniczego.

W zależności od stopnia spękania masywu, określonego wartością RQD, Deere podzielił masywy skalne na 5 klas:

- masyw doskonały dla RQD = 90–100% ;
- masyw dobry dla RQD = 75–90% ;
- masyw średni dla RQD = 50–75% ;
- masyw słaby dla RQD = 25–50% ;

- masyw bardzo słaby dla RQD < 25% .

Jednoparametrowa klasyfikacja RQD nie zdobyła większego uznania, ponieważ nie uwzględnia stanu powierzchni spękań i zakłada losowy rozkład spękań. Była jednak wykorzystywana do oceny warunków drążenia tuneli o średnicy 6–12 m w obudowie stalowej lub kotwiowej z betonem natryskowym głównie w mocnych masywach granitowych i gnejsowych. Obecnie wskaźnik RQD jest wykorzystywany jako jeden z podstawowych parametrów klasyfikacyjnych powszechnie stosowanych klasyfikacji geotechnicznych na przykład RMR i Q.

**Klasyfikacja RSR (Rock Structure Rating) G.E. Wickhama** (1972) jest pierwszą klasyfikacją wieloparametrową (Wickham i in., 1972). Klasyfikacja określa jakość masywu na podstawie wpływu na jego zachowanie różnorodnych czynników (parametrów):

- Parametr A – zależy od pochodzenia skały, jej twardości oraz struktury geologicznej;
- Parametr B – zależy od stopnia spękania masywu, odstępu spękań oraz ich orientacji w stosunku do kierunku drążenia tunelu;
- Parametr C – zależy od wpływu wód gruntowych na stateczność drążonego wyrobiska.

Każdemu z wymienionych parametrów przyporządkowano wartość liczbową zależną od jego wpływu na jakość masywu, a wartość wskaźnika klasyfikacyjnego RSR jest sumą tych trzech parametrów klasyfikacyjnych:

$$RSR = A + B + C$$

Maksymalna wartość wskaźnika RSR wynosi 100. Zastosowanie klasyfikacji RSR jest ograniczone, ponieważ wartości liczbowe parametrów A, B i C określono na podstawie obserwacji zachowania się masywów w czasie drążenia tuneli o małej średnicy, w obudowie stalowej (rzadko obecnie wykonywanych). Znaczenie klasyfikacji RSR polega głównie na udanej próbie ilościowej oceny wpływu wybranych charakterystyk masywu na jego zachowanie się w czasie drążenia, wykonywania obudowy oraz eksploatacji.

**Klasyfikacja RMR (Rock Mass Rating) Z.T. Bieniawskiego** (1973 z późniejszymi modyfikacjami) jest pierwszą, powszechnie stosowaną, wieloparametrową klasyfikacją geotechniczną (Bieniawski, 1973). Bazowy wskaźnik klasyfikacyjny RMR jest oparty na 5 parametrach klasyfikacyjnych kompleksowo opisujących masyw skalny. Na podstawie obserwacji dużej ilości masywów i wyrobisk górniczych, przyporządkowano wartości liczbowe uwzględniające ilościowy wpływ każdego z nich na końcową wartość liczby klasyfikacyjnej RMR. Parametrami klasyfikacyjnymi systemu RMR są:

- wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie  $R_c$ ;
- wskaźnik stopnia spękania rdzenia wiertniczego RQD;
- średnia odległość między nieciągłościami;
- charakterystyka powierzchni nieciągłości;
- stopień zawodnienia masywu skalnego.

Wartość wskaźnika RMR będącego sumą wartości liczbowych wymienionych parametrów klasyfikacyjnych, jest jego wartością bazową  $RMR_b$ , a jej maksymalna wartość wy-

nosi 100. W zależności od wartości  $RMR_b$  masywy dzieli się na 5 klas:

- masyw bardzo dobry – dla  $RMR_b = 81-100$  ;
- masyw dobry – dla  $RMR_b = 61-80$  ;
- masyw przeciętny – dla  $RMR_b = 41-60$  ;
- masyw słaby – dla  $RMR_b = 21-40$  ;
- masyw bardzo słaby – dla  $RMR_b < 20$  .

W zależności od rodzaju budowli i jej orientacji w stosunku do głównego systemu nieciągłości masywu, wartość bazową  $RMR_b$  należy skorygować na podstawie określonych empirycznie współczynników korygujących. Wydzielono trzy rodzaje obiektów: tunele, fundamenty i skarpy, dla których określono współczynniki korygujące – dla 5 przypadków orientacji obiektu w stosunku do nieciągłości: bardzo korzystnej, korzystnej, przeciętnej, niekorzystnej i bardzo niekorzystnej.

Wartości liczbowe parametrów klasyfikacyjnych systemu RMR określone na podstawie obserwacji empirycznych zróżnicowanych masywów skalnych są zestawione w odpowiednich tabelach. Podstawowymi zaletami systemu RMR, które spowodowały jego szerokie rozpowszechnienie i stosowanie, są:

- łatwe do określenia i oceny parametry klasyfikacyjne;
- przyporządkowanie klasie masywu liczbowych wartości parametrów odkształceniowych i wytrzymałościowych;
- przyporządkowanie klasie konkretnych zaleceń inżynierskich odnośnie wykonania i utrzymania konstrukcji (tunele, fundamentu, skarpy);
- system jest stosowany na całym świecie i na podstawie nowych doświadczeń ciągle doskonalony i modyfikowany.

Klasyfikacja RMR jest cennym narzędziem oceny masywu skalnego wspomagającym projektowanie, chociaż jej stosowanie wymaga uwagi i ostrożności, w szczególności:

- nie należy stosować klasyfikacji bez dobrej znajomości wszystkich parametrów klasyfikacyjnych;
- jeżeli masyw skalny jest bardzo słaby – V klasy – gdyż jest mało dokładnie opisywany przez system RMR. Do oceny należy podchodzić z rezerwą, wskazane jest sprawdzenie oceny systemem Q;

– wskazana jest weryfikacja klasyfikacji RMR metodami empirycznymi i analitycznymi.

Klasyfikacja RMR, jak już wspomniano, liczbie klasyfikacyjnej przyporządkowuje klasę masywu oraz zalecenia odnośnie sposobu drążenia oraz rodzaju obudowy wyrobiska. Szczegółowe zalecenia na temat sposobu drążenia i obudowy wyrobisk w zależności od klasy masywu przedstawiono w tabeli 23.

Na podstawie liczby klasyfikacyjnej RMR jest możliwe określenie parametrów wytrzymałościowych, odkształceniowych zaś – na podstawie zależności korelacyjnych (Tajduś i in., 2012).

Na klasyfikacji RMR bazuje **klasyfikacja SMR (Slope-Mass Rating) Romana** (Romana, 1985) uzależniająca stateczność zbocza od wytrzymałości budującego je materiału. Opisana jest ona klasą RMR oraz relacją między kierunkiem działania sił zsuwających i kierunkiem ruchu. Do klasyfikacji SMR są wprowadzone tzw. współczynniki korygujące, które są zależne od wzajemnej relacji rozciągłości oraz kątów nachylenia zbocza względem powierzchni poślizgu oraz sposobu kształtowania i erozji zbocza:

$$SMR = RMR + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

współczynnik:

- $F_1$  – zależny od relacji rozciągłości zbocza i powierzchni poślizgu;
- $F_2$  – zależny od kąta nachylenia powierzchni poślizgu;
- $F_3$  – zależny od relacji kątów nachylenia zbocza i powierzchni poślizgu;
- $F_4$  – zależny od sposobu mechanicznego kształtowania i erozji zbocza.

Wartości współczynników korygujących  $F_1, F_2, F_3$  określa się na podstawie wzorów empirycznych podanych przez Tomasa i in. (2007).

$$F_1 = 0,64 - 0,006 \arctg [0,1 (|\alpha_j - \alpha_s| - 17)]$$

$$F_2 = 0,56 + 0,0051 \arctg (0,17\beta_j - 5)$$

$$F_3 = -30 + 0,33 \arctg (\beta_j - \beta_s)$$

$$F_4 = \text{wartości określone na podstawie obserwacji zboczcy}$$

**Tabela 23**

**Zalecenia odnośnie sposobu drążenia i obudowy wyrobisk w zależności od klasy masywu (Bieniawski, 1989)**

Klasa masywu skalnego	Sposób drążenia	Obudowa – kotwie [mm] wklejane na całej długości	Obudowa – beton natryskowy	Obudowa stalowa
Bardzo dobry $RMR = 81-100$	pełnym przekrojem, postępowanie 3 m	ogólnie nie trzeba obudowy poza wyjątkiem lokalnego kotwienia		
Dobry $RMR = 61-80$	pełnym przekrojem, postępowanie 1,0–1,5 m; cała obudowa 20 m od czoła przodka	lokalnie kotwie o dł. 3 m w stropie w rozstawie co 2,5 m, w razie konieczności siatka stalowa	jeśli potrzeba 50 mm w stropie	nie stosuje się
Średni $RMR = 41-60$	kalota – sztroś, postępowanie kaloty 1,5–3,0 m; obudowa po każdym strzelaniu; cała obudowa 10 m od czoła przodka	pełna zabudowa kotwiami o dł. 4 m, w rozstawie 1,5–2,0 m w stropie i ociosach ze stalową siatką w stropie	50–100 mm w stropie i 30 mm w ociosie	nie stosuje się
Słaby $RMR = 21-40$	kalota – sztroś, postępowanie kaloty 1,0–1,5 m; obudowa zakładana na bieżąco z postępowaniem przodka, 10 m od czoła	pełna zabudowa kotwiami o dł. 4–5 m, w rozstawie 1,0–1,5 m, ze stalową siatką w stropie i w spągu	100–150 mm w stropie i 100 mm w ociosie	jeżeli potrzeba, lekka lub średnia, łuki w odległości 1,5 m
Bardzo słaby $RMR < 20$	drążenie wieloma przodkami; postępowanie kaloty 0,5–1,0 m; obudowa zakładana na bieżąco; torcret jak tylko możliwe po strzelaniu	pełna zabudowa kotwiami o dł. 5–6 m, w rozstawie 1,0–1,5 m, ze stalową siatką w stropie i w ociosach; należy kotwić spąg	150–200 mm w stropie i 150 mm w ociosie, 50 mm na czoło przodka	średnia lub ciężka, łuki w odległości 0,75 m ze stalową opinką, jeżeli potrzeba; budowa w spągu

gdzie:

$\alpha_j$  – rozciągłość powierzchni poślizgu,

$\alpha_s$  – rozciągłość zbocza,

$\beta_j$  – upad powierzchni poślizgu,

$\beta_s$  – upad zbocza.

Dla powierzchni poślizgu równoległej do zbocza:  $\alpha_j = \alpha_s$  i  $\beta_j = \beta_s$ .

Klasyfikacja SMR wydziela 5 klas stateczności zboczy, zestawiono je w tabeli 24.

**Klasyfikacja Q (Rock Mass Quality) – N. Barton, R. Lien i J. Lunde** (1974) jest drugą powszechnie stosowaną klasyfikacją geotechniczną utworzoną na podstawie doświadczeń w drażeniu wyrobisk górniczych, głównie tuneli drażonych w granitach i gnejsach (Barton i in., 1974; Barton, 1999). Klasę geotechniczną masywu określa się ze wzoru:

$$Q = (RQD/J_n) \cdot (J_r/J_a) \cdot (J_w/SFR)$$

gdzie:

RQD – wskaźnik stopnia spękania rdzenia wiertniczego;

$J_n$  – liczba systemów spękań;

$J_r$  – liczba określająca chropowatość powierzchni skały;

$J_a$  – liczba określająca przeobrażenie powierzchni spękań;

$J_w$  – współczynnik zależny od dopływu wody;

SFR – współczynnik zależny od stanu naprężeń.

Pierwszy ze współczynników wzoru,  $RQD/J_n$ , opisuje nieciągłość masywu, określoną gęstością siatki spękań.

Drugi czynnik wzoru,  $J_r/J_a$ , opisuje szorstkość ścianek spękań i określa tarcie na ściankach, lub w materiale wypełniającym spękania.

Trzeci czynnik wzoru,  $J_w/SFR$ , opisuje warunki występowania aktywnych naprężeń.

Podobnie jak w przypadku klasyfikacji RMR współczynnikom klasyfikacyjnym są przyporządkowane wartości liczbowe zależnie od klasy masywu skalnego. Wartości te zostały określone empirycznie na podstawie obserwacji i pomiarów analizowanych masywów skalnych.

Wartość wskaźnika klasyfikacyjnego Q zmienia się w bardzo szerokim zakresie od 0,001 do 1000, a na podstawie jego wartości masywy skalne podzielono na 9 klas:

- masyw skrajnie dobry (1)  $Q = 400-1000$
- masyw wyjątkowo dobry (2)  $Q = 100-400$
- masyw bardzo dobry (3)  $Q = 40-101$
- masyw dobry (4)  $Q = 10-40$
- masyw średni (5)  $Q = 4-10$
- masyw słaby (6)  $Q = 1-4$

- masyw bardzo słaby (7)  $Q = 0,1-1$
- masyw wyjątkowo słaby (8)  $Q = 0,01-0,1$
- masyw skrajnie słaby (9)  $Q = 0,001-0,01$

Klasyfikacja Q, podobnie jak RMR, może być zastosowana w budownictwie podziemnym. Danej klasie masywu (Q) przyporządkowuje się sposób drażenia i utrzymania wyrobiska tunelowego. Na podstawie wartości wskaźnika Q oblicza się tzw. średnicę równoważną tunelu  $D_{eq}$ :

$$D_{eq} = B/ESR$$

gdzie:

B – rozpiętość wyrobiska;

ESR – współczynnik zależny od przeznaczenia i czasu trwania wyrobiska.

Dla danej średnicy tunelu  $D_{eq}$ , określonej wartości wskaźnika Q i wartości współczynnika ESR z diagramu dobiera się wstępną obudowę z kotwi i betonu natryskowego. Diagram doboru parametrów kotwienia i torkretowania w zależności od klasy geotechnicznej masywu Q i średnicy tunelu przedstawiono na rysunku 31.

Klasyfikacja Q jest często na świecie stosowana, wymieniane z klasyfikacją RMR. Dla ułatwienia porównania klasyfikacji i lepszej komunikacji określono wiele formuł korelacyjnych ułatwiających ich porównanie. Bieniawski i Barton podają dwie takie formuły:

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (\text{Bieniawski, 1989})$$

$$RMR = 50 + 15 \log_{10} Q \quad (\text{Barton, 2002})$$

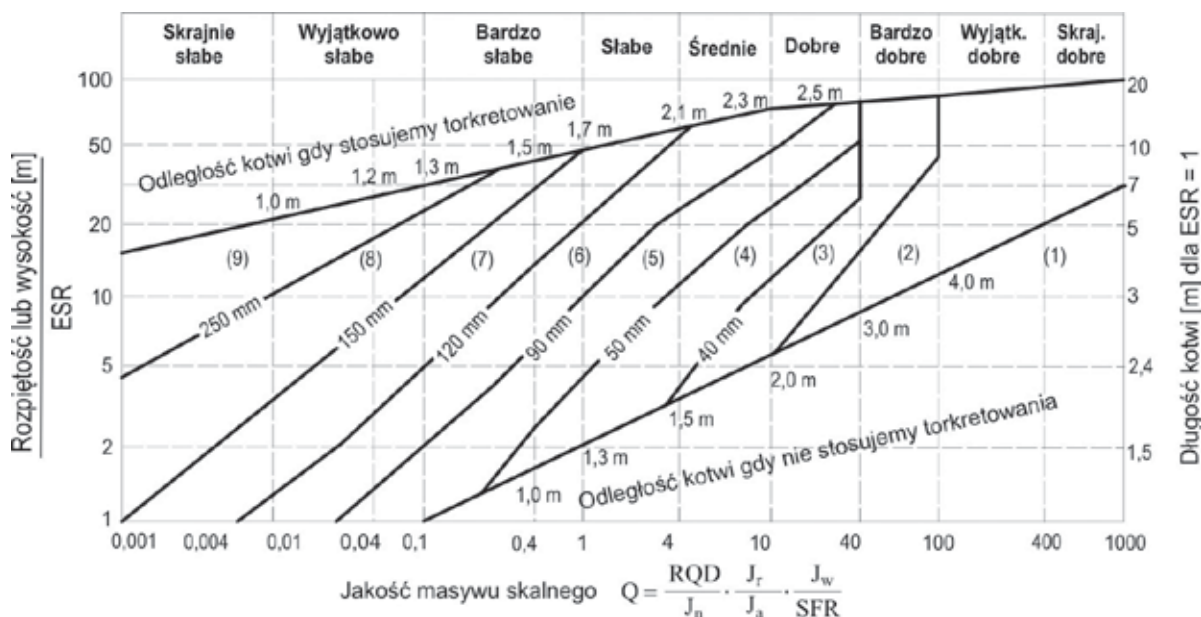
Analiza stosowanych klasyfikacji geotechnicznych, w szczególności RMR i Q, wskazuje, że parametry klasyfikacyjne, opisujące właściwości geotechniczne masywu skalnego, można podzielić na dwie grupy. Pierwsza opisuje wytrzymałość materiału skalnego i stopień jego rozdrobnienia ( $R_c$ , RQD, ilość systemów i rozstaw spękań), druga – tarcie między blokami budującymi masyw skalny (szorstkość ścianek spękań i stopień ich zwietrzenia, zawodnienie). Syntetycznym parametrem geofizycznym opisującym pierwszą z wymienionych grup parametrów jest prędkość fal sejsmicznych  $V_p$  [m/s], a drugą – oporność elektryczna  $\rho$  [ $\Omega$ m], klasyfikacja KG – zatem, będąca kombinacją tych parametrów geofizycznych, powinna wiarygodnie charakteryzować masywy skalne, w szczególności fliszowe, których główne charakterystyki tzn. litologię i stopień zaangażowania tektonicznego bardzo dobrze opisują parametry  $\rho$  i  $V_p$ .

**Tabela 24**

**Klasyfikacja SMR stateczności zboczy**

Klasa nr	V	IV	III	II	I
Wartość SMR	0–20	21–40	41–60	61–80	81–100
Opis masywu	bardzo zły	zły	normalny	dobry	bardzo dobry
Stabilność zbocza	bardzo niestabilne	niestabilne	częściowo stabilne	stabilne	bardzo stabilne
Powierzchnia poślizgu	duże płaskie pow.	pow. płaskie lub klinowe	poj. płaskie i klinowe	oddz. pow. bloków	brak pow. poślizgu
Prawdopodobieństwo zsuwu	0,9	0,6	0,4	0,2	0





Rys. 31. Dobór obudowy w zależności od jakości masywu skalnego (wg Grimstad i Barton, 1993 za Tajduś i in. 2012)

**Klasyfikacja GSI (Geological Strength Index) E. Hoeka i E.T. Brown** (Hoek i in., 1980). Klasyfikacja jest podobna do klasyfikacji RMR Z.T. Bieniawskiego. Dotychczasowe badania i obserwacje wskazują jednak, że wiarygodna klasyfikacja powinna być nieliniowa dla masywów bardzo słabych. Dlatego do określenia wskaźnika GSI takich masywów, gdzie klasyfikacja RMR jest mniej dokładna, posłużono się zmodyfikowanym wskaźnikiem  $Q'$  klasyfikacji Bartona.

$$\begin{aligned} \text{GSI} &= \text{RMR} - 5, & \text{dla } \text{GS I} \geq 18 \text{ lub } \text{RMR} \geq 23 \\ \text{GSI} &= 9 \ln Q' + 44, & \text{dla } \text{GSI} < 18 \end{aligned}$$

gdzie:

$$\begin{aligned} Q' &= \text{zmodyfikowany wskaźnik jakości } Q \text{ dla tuneli;} \\ Q' &= (\text{RQD}/J_n) \cdot (J_r/J_a). \end{aligned}$$

Klasę GSI można szybko określić z diagramów i wzorów (na podstawie stałej  $m_i$ ; Tajduś i in., 2012), jako funkcję struktury masywu i stanu powierzchni spękań.

Diagramy wskaźników GSI, opracowanych dla wybranych przypadków, przedstawiono na rysunkach 32, 33 i 34.

**Klasyfikacja KF (Klasyfikacja Fliszu) K. Thiel** (1989). Zaproponowano ją w związku z potrzebą oceny warunków drążenia i utrzymania w masywie fliszowym sztolni hydrotechnicznych (Thiel, 1989). Flisz jest specyficzną formacją skalną zbudowaną z naprzemianających warstw materiału skalnego, różnego pod względem mechanicznym („twardych” piaskowców i „miękkich” łupków), stąd stosowanie do klasyfikacji fliszu systemów RMR i  $Q$  utworzonych dla jednorodnych litologicznie masywów nie ma uzasadnienia. Klasyfikacja KF jest wzorowana i skorelowana z systemem RMR, ale w doborze parametrów klasyfikacyjnych uwzględnia specyfikę fliszu. Parametrami tymi są:

$R_c$  – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, dla fliszu piaskowcowego  $R_c$  dla piaskowców, a dla fliszu łupkowego  $R_c$  dla łupków;

D – rozstaw spękań; uławiczenie jest głównym systemem spękań, wydziela się 4 rozstawy spękań: (grubości ławic) do 0,05 m; 0,05–0,3 m; 0,3–1,0 m i powyżej 1,0 m;

T – stopień zaangażowania tektonicznego; wydziela się cztery stopnie zaangażowania: bardzo silny (brekcja), silny, przeciętny i bardzo słaby;

L – litologia masywu – % piaskowców 4 typy: piaskowcowy pow. 85%, piaskowcowo-łupkowy 50–85%, łupkowo-piaskowcowy 15–50% i łupkowy poniżej 15% piaskowców;

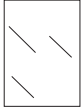
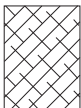
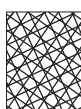
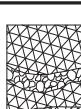


W – warunki wodne, cztery stopnie: sucho, wilgotno, wypływ pod małym ciśnieniem, wypływ pod dużym ciśnieniem.

Wartości liczbowe parametrów klasyfikacyjnych klasyfikacji KF zestawiono w tabeli 25.

Maksymalna wartość wskaźnika KF przy obecnych wartościach liczbowych parametrów klasyfikacyjnych wynosi 84 i jest to wartość bliska wartości określonej na podstawie maksymalnej wartości wskaźnika GSI dla fliszu, wynoszącej 75.  $\text{GSI} = \text{RMR} - 5$ , stąd  $\text{RMR} = 80$ . Wskazuje to na właściwy dobór wstępnych wartości liczbowych parametrów klasyfikacyjnych systemu KF.

### 5.9.3. Geofizyczne badania masywów skalnych

Podstawową metodą geofizyczną wykorzystywaną do oceny właściwości geotechnicznych masywów skalnych jest metoda sejsmiczna. Zarówno odkształcalność ośrodka fizycznego (masywu skalnego) pod wpływem obciążeń zewnętrznych, jak również rozchodzenie się w nim fal sejsmicznych jest opisane z użyciem prawa Hoke’a. Prędkość fal sejsmicznych może więc być wykorzystana do oceny właściwości geotechnicznych masywu skalnego. Ze względu jednak na właściwości reologiczne skał nie można obliczyć ich odkształcalności bezpośrednio z prawa Hoke’a, ponieważ jest ono odpowiednie dla ośrodków

Wskaźnik GSI		Jakość powierzchni spekania				
		Bardzo dobre Bardzo chropowaty, o nie zwietrzalej powierzchni	Dobre Chropowaty, o nieznacznie zwietrzalej powierzchni, rdzawo barwionej powierzchni	Średnie Gładki, mierznie zwietrzaly lub przeobrażony	Słaby Wyglądzone, powierzchnia bardzo zwietrzała wypełniona kanciastymi fragmentami skał	Bardzo słaby Wyglądzone, o silnie zwietrzalej powierzchni z powłoką ilastą lub wypełnieniem
Struktura		Spadek jakości powierzchni				
	<b>Nienaruszona/Masywna</b> – masyw skalny niezniszczony z kilkoma szerokimi nieciągłościami	90			N/A	N/A
	<b>Blokowa</b> – bardzo dobrze zaklinowany, niezniszczony masyw skalny składający się z sześciennych bloków formowanych przez trzy ortogonalne sieci nieciągłości.	80	70			
	<b>Bardzo blokowa</b> – zaklinowany, średnio zaburzony masyw skalny składający się z wielościennych kanciastych bloków utworzonych przez cztery lub więcej sieci nieciągłości		60			
	<b>Blokowa/Przewarstwiona</b> – fałdy i uskoki z wieloma przecinającymi się nieciągłościami tworzącymi kanciaste bloki.			50		
	<b>Rozdrobniona</b> – słabo zaklinowany, mocno spekany masyw skalny z mieszanką kanciastych i owalnych bloków.			40	30	
	<b>Uwarstwiony/Zuskokowany</b> – brak zaklinowania bliskich nieciągłości słabych skał łupkowych lub występujące płaszczyzny ścienia				20	
						10
		N/A	N/A			

Rys. 32. Diagram wartości wskaźnika GSI dla masywu niezaburzonego tektonicznie (wg Hoek, Marinos, 2000 za Tajduś i in., 2012)

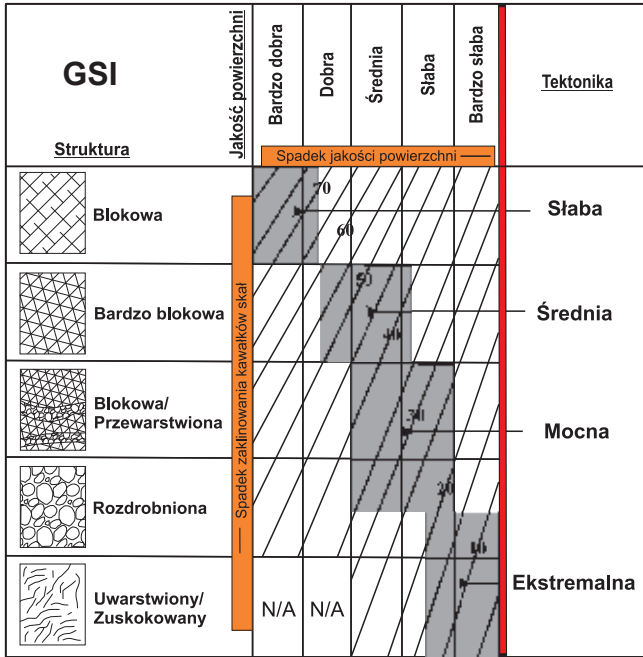
doskonale sprężystych. Odształcalność masywów skalnych można określić jako funkcję prędkości fal sejsmicznych, ale ze wzorów empirycznych utworzonych na podstawie obserwacji masywów o zróżnicowanych cechach reologicznych i odształcalności, charakteryzujących się różnymi prędkościami fal sejsmicznych. Do konstrukcji takich wzorów jest konieczna odpowiednio duża baza danych pomiarowych obejmująca masywy o zróżnicowanej odształcalności i prędkości fal sejsmicznych.

Opisane w rozdziale 5.9.1 klasyfikacje zostały utworzone do oceny masywów jednorodnych litologicznie i do oceny takich masywów powinny być stosowane. W Polsce brakuje doświadczeń w budowie tuneli w tego rodzaju masywach. Zalecenia inżynierskie przy projektowaniu tuneli wynikają z klasy geotechnicznej masywu skalnego, która może być określona na podstawie fal sejsmicznych. Zaleca się stosowanie klasyfikacji Q Bartona jako podstawowej, a RMR jako pomocniczej.

Klasyfikacja KFG, opisująca masywy fliszowe zbudowane z dwóch różnych kompleksów litologicznych, twardych pia-

skowców i miękkich łupków, określa klasę geotechniczną na podstawie dwóch parametrów geofizycznych dobrze charakteryzujących masyw fliszowy, tj. prędkość fal ( $Vp$ ) – stopień spekania masywu i oporność elektryczna ( $\rho$ ) – litologię. Korelacja klasy KFG z modułami Younga sprężystości  $E_s$  i odształcenia  $D$  umożliwia określenie odształcalności masywu. Na podstawie klasy KFG, równoważnej klasie RMR, można wiarygodnie określić warunki drażenia tuneli w masywach fliszowych. Wykorzystując system SMR, można również na podstawie klasyfikacji KFG ocenić stateczność fliszowych zboczy osuwiskowych. Można więc stwierdzić, że klasyfikacja KFG jest systemem najbardziej odpowiednim do regionalnej oceny właściwości geotechnicznych masywów fliszowych.

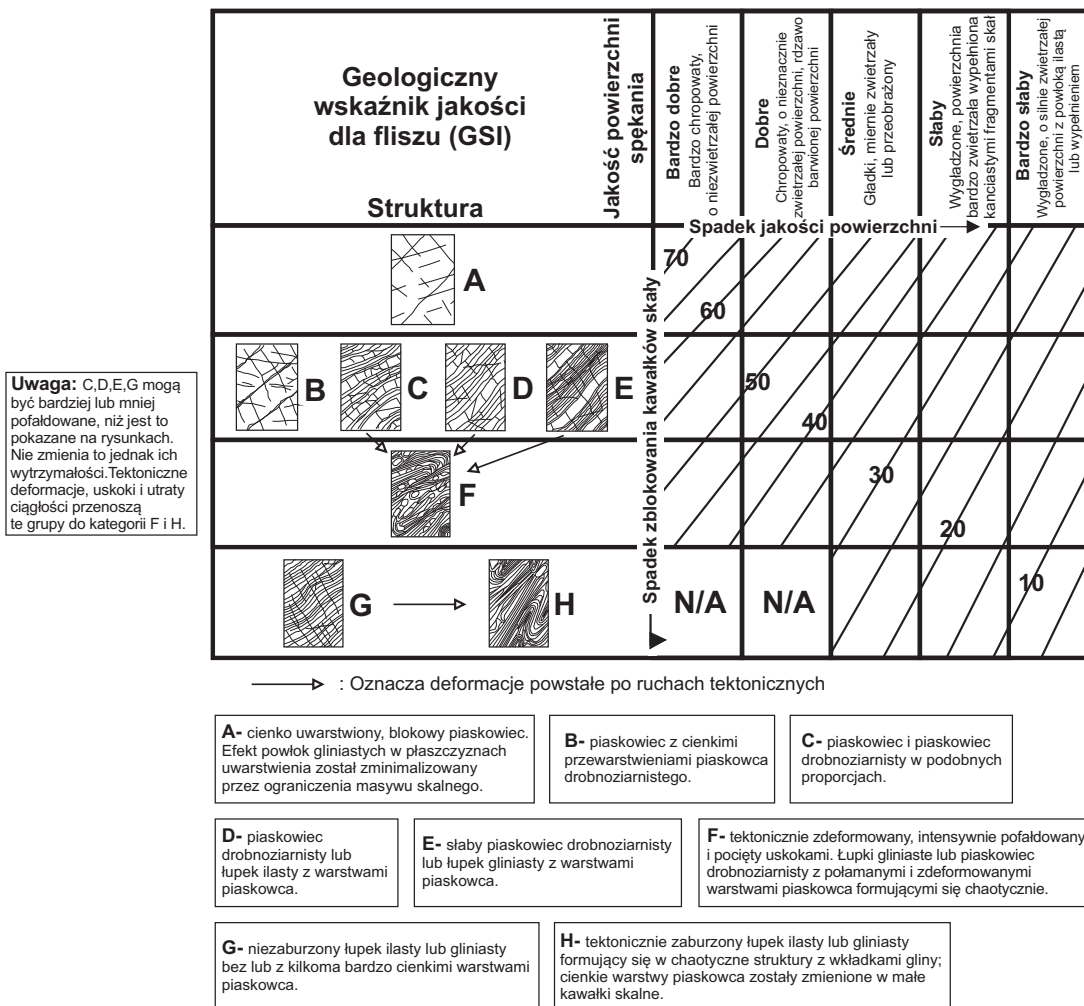
Pomiary geofizyczne, sejsmiczne i elektrooporowe wykonane do oceny właściwości geotechnicznych ośrodka, na który będzie oddziaływała budowla lub na którym mają miejsce procesy osuwiskowe, należy wykonać tak, żeby pomiary obejmowały całą przestrzeń oddziaływania obiektu. Profilowania sejs-



smiczne w sztolniach i na powierzchni należy wykonywać metodą refrakcyjną. Prześwietlenia sejsmiczne między sztolniami, między sztolniami i powierzchnią oraz między otworami należy opracowywać metodą tomografii sejsmicznej. Pomiary elektrooporowe należy wykonywać metodą tomografii elektrooporowej ERT, powierzchniowej i między otworami. Powierzchniowe pomiary sejsmiczne i elektrooporowe należy wykonywać wzdłuż tych samych linii pomiarowych, a pomiary metodą przesświetłań tak, żeby obejmowały tę samą przestrzeń. Pomiary powinny umożliwiać określenie wartości  $V_p$  i  $\rho$  dla wszystkich punktów przestrzeni pomiarowej. Wszystkie pomiary muszą być również dowiązane do wyrobisk badawczych (otwory wiertnicze, szybiki itp.). Szczegółowa lokalizacja pomiarów zawsze jest ograniczona konkretnymi warunkami terenowymi i pomiarowy-



Rys. 33. Diagram wartości wskaźnika GSI dla masywu zaburzonego tektonicznie (wg Habimana i in., 2002 za Tajduś i in., 2012)



Rys. 34. Diagram wartości wskaźnika GSI dla masywu fliszowego (wg Marinosa i Hoeka, 2000 za Tajduś i in., 2012)

Tabela 25

## Wartości liczbowe parametrów klasyfikacji KF

Parametr klasyfikacyjny	Opis masywu ze względu na dany parametr i jego stopień lub wartość		Wskaźnik wagowy
$R_c$	wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie [MPa]	<25	0
		25–50	3
		50–100	6
		> 100	12
D	rozstaw spękań uwarstwienia – główny system spękań [m]	<0,05	0
		0,05–0,3	6
		0,3–1,0	12
		> 1,0	24
T	stopień zaangażowania tektonicznego	bardzo silny (brekcja) – brekcja tektoniczna, warstwy pokruszone i przemieszczone względem siebie	0
		silny – liczne płaszczyzny nieciągłości i strefy spękań, silne sfałdowania	6
		przeciętny – pojedyncze płaszczyzny nieciągłości, sfałdowania	12
		bardzo słaby – pojedyncze spękania, łagodne sfałdowania	24
L	litologia masywu (zawartość piaskowców) [%]	< 15	0
		15–50	3
		50–85	6
		> 85	12
W	warunki wodne	trudne warunki wodne, wypływy wody pod dużym ciśnieniem	0
		wypływy i wycieki wody pod średnim i małym ciśnieniem	3
		wilgotno	6
		sucho	12

mi. Należy jednak dążyć do pokrycia badanego terenu możliwie regularną siatką pomiarową.

### 5.9.3.1. Klasyfikacje z wykorzystaniem metod geofizycznych

Podstawą badań geofizycznych wykorzystywanych w klasyfikacjach masywu skalnego są badania sejsmiczne. Parametrem najczęściej wykorzystywanym jest prędkość fal sejsmicznych podłużnych  $V_p$ , zależna głównie od stopnia spękania masywu.

**H. Masuda** (1964) zaproponował ocenę masywów skalnych na podstawie prędkości sejsmicznych fal podłużnych  $V_p$  mierzonych w sztolniach, metodą refrakcyjną i metodą przeświełań między sztolniami. Wydzielonym zakresom prędkości fal, dla poszczególnych rodzajów skał, przyporządkował stopień zwietrzenia i spękania, wydzielając dla każdego ich rodzaju 6 klas: A, B,  $C_n$ ,  $C_m$ ,  $C_1$  i D. Wymienione przyporządkowania zestawiono w tabeli 26.

**R.F. Coon i A.H. Merritt** (1970) zaproponowali podział masywów na 5 klas, w zależności od stopnia ich spękania,

określonego na podstawie prędkości fal sejsmicznych (Coon i in., 1970). Parametrem klasyfikacyjnym jest indeks prędkości równy  $(V_F/V_L)^2$ , gdzie:  $V_F$  – prędkość fal sejsmicznych w spękanym masywie, określona w terenie,  $V_L$  – prędkość fal sejsmicznych w niespękanym próbkę materiału skalnego, określona w laboratorium. Na tej podstawie wydzielono:

- masyw doskonały dla  $(V_F/V_L)^2 = 0,8–1,0$
- masyw dobry dla  $(V_F/V_L)^2 = 0,6–0,8$
- masyw średni dla  $(V_F/V_L)^2 = 0,4–0,6$
- masyw słaby dla  $(V_F/V_L)^2 = 0,2–0,4$
- masyw bardzo słaby dla  $(V_F/V_L)^2 < 0,2$

Klasyfikacja ta, podobnie jak RQD, nie znalazła szerszego zastosowania, ale indeks prędkości, podobnie jak RQD, może być wykorzystany jako parametr klasyfikacyjny systemów RMR i Q.

Barton (Barton i in., 1974) wprowadził do klasyfikacji Q diagramy wykorzystujące prędkość fali podłużnej.

**B. Sjögren, A. Oesthus, J. Sandberg** (1979) zaproponowali podobną klasyfikację masywów skalnych na podstawie prędkości fal sejsmicznych (Sjögren i in., 1979), określonych

Tabela 26

## Klasyfikacja na podstawie parametrów geofizycznych

Rodzaj skał	Prędkość fali refrakcyjnej $V_p$ [m/s] w sztolni	Prędkość fali przechodzącej $V_p$ [m/s] między sztolniami	Klasy masywu wg Masudy
Wapień	< 2000 2000–3000 3000–4500 4500 <	< 2300 2300–3300 3300–4500 4500 <	D, C <sub>1</sub> C <sub>1</sub> , C <sub>m</sub> C <sub>n</sub> , B B, A
Łupki, andezyty	< 2000 2000–3000 3000–4000 4000 <	< 2300 2300–3300 3300–4000 4000 <	D, C <sub>1</sub> C <sub>m</sub> C <sub>n</sub> B, A
Granity, gnejsy	< 1500 1500–2500 250–4000 4000 <	< 1800 2180–2800 2800–4000 4000 <	D, C <sub>1</sub> C <sub>m</sub> C <sub>n</sub> B, A
Piaskowce	< 1500 1500–2500 2500–3500 3500 <	< 1800 1800–2800 2800–3800 3800 <	D, C <sub>1</sub> C <sub>m</sub> C <sub>n</sub> , B B, A

Opis klas masywu: A – skała niezwięzła twarda, składniki mineralne niezwięzłe, spękania zamknięte, brak wietrzenia w pobliżu części kontaktowych spękań; B – skała niezwięzła zwięzła, w początkowym stadium wietrzenia składników mineralnych, spękania są zamknięte; C<sub>n</sub> – skała zwięzła w stadium zaawansowanego wietrzenia, składniki mineralne nieznacznie zmienione, części stykowe spękań nieznacznie zwięzła; C<sub>m</sub> – skała raczej zwięzła, większość składników mineralnych, z wyjątkiem kwarcu, uległa zwięzleniu, spękania są otwarte, części przylegające do spękania są silnie zwięzła; C<sub>1</sub> – skała zwięzła, miękka, na ogół z dużą liczbą spękań; D – skała z bardzo dużą liczbą szerokich spękań, oddzielających poszczególne bloki skalne

w wyniku pomiarów refrakcyjnych i otworowych w masywach mocnych (granity, gnejsy, amfibolity, kwarcyty itp.) Klasę masywu określili na podstawie wskaźnika QI (*Quality Index*) określonego wzorem  $QI + 100 \cdot V_p/V_{po}$ , gdzie:  $V_{po}$  – prędkość fal podłużnych w ośrodku niespękanym,  $V_p$  – prędkość fal podłużnych w górotworze.

Na podstawie wskaźnika QI masywy podzielono na 5 klas:

- masyw bardzo dobry dla QI = 100–91
- masyw dobry dla QI = 90–76
- masyw średnio dobry dla QI = 51–75
- masyw słaby dla QI = 25–50
- masyw bardzo słaby dla QI < 25

Również ta klasyfikacja nie znalazła szerszego zastosowania.

#### Klasyfikacja KFG (Klasyfikacja Fliszu – Geofizyczna)

**Z. Bestyński (1990, 1997).** Propozycja klasyfikacji KFG jest oparta na 2 parametrach geofizycznych: prędkości fal sejsmicznych  $V_p$  [m/s] oraz oporności elektrycznej  $\rho$  [ $\Omega$ m]. Wynika ona z potrzeby opracowania metody dostosowanej do specyfiki klasyfikowania masywów fliszowych na wstępnym etapie rozpoznania, na etapie wyboru lokalizacji obiektu, jeszcze przed wykonaniem kosztownych wyrobisk górniczych (Bestyński i in., 1990; Bestyński, 1997; Bestyński, Thiel, 1999; 2002). Na podstawie badań geofizycznych i obserwacji geotechnicznych na 22 stanowiskach wielkoskalowych pomiarów modułów sprężystości określono wartości RMR,  $V_p$  i  $\rho$ . Pomiarów i obserwacji wykorzystano w obliczeniach zostały wykonane na stanowiskach wielkoska-

lowych pomiarów odkształcalności. Stanowiska te były zlokalizowane praktycznie na terenie całego obszaru polskich Karpat fliszowych i reprezentowały pełne zróżnicowanie fliszu, tak pod względem litologii, jak i stopnia zaangażowania tektonicznego. Stanowiska pomiarowe były usytuowane w sztolniach badawczych na głębokości od kilkunastu do ok. 100 m p.p.t. i tego zakresu głębokości dotyczą uzyskane rezultaty. W wyniku aproksymacji wielomianami w przestrzeni RMR (KFG),  $V_p$  i  $\rho$  określono zależność  $KFG = f(V_p, \rho)$  w postaci:

$$KFG = 11,8 - 0,0028\rho + 0,0038V_p + 0,000033V_p \cdot \rho - \text{współczynnik korelacji } 0,93.$$

Wykres wymienionej zależności  $KFG = f(V_p, \rho)$  przedstawiono na rysunku 35.

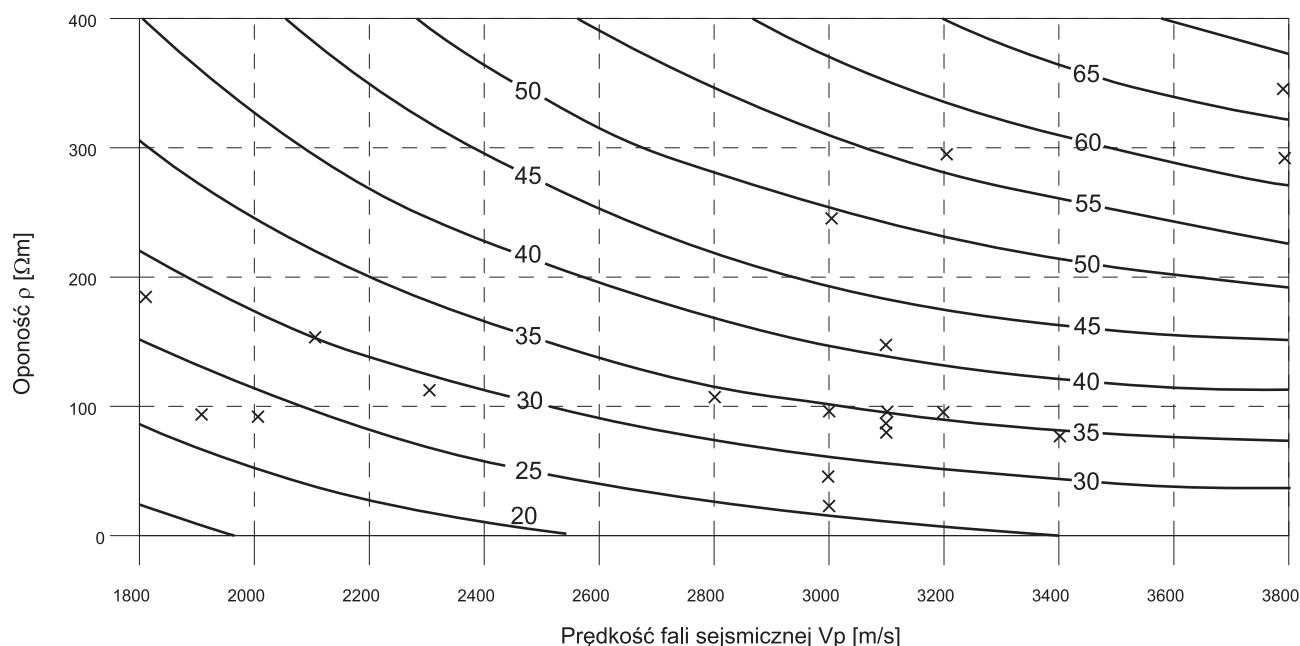
Wszystkie pomiary i obserwacje, geotechniczne i geofizyczne, wykorzystane do utworzenia klasyfikacji KFG wykonano na stanowiskach wielkoskalowych pomiarów modułów Younga sprężystości  $E_s$  i odkształcenia  $D$ . Istniała więc możliwość bezpośredniej ich korelacji z liczbą klasyfikacyjną KFG. Otrzymane zależności mają następującą postać:

$$E_s = 386 \cdot e^{0,048KFG} [\text{MPa}] - \text{współczynnik korelacji } 0,86$$

$$\text{ i } D = 204 \cdot e^{0,05KFG} [\text{MPa}] - \text{współczynnik korelacji } 0,87.$$

Wykresy wymienionych zależności  $E_s$ ,  $D$  przedstawiono na rysunku 36.

Klasyfikację KFG po raz pierwszy wykorzystano do oceny warunków drążenia sztolni hydrotechnicznych zapory Świnna Poręba, później także m.in. do projektowanych tuneli Laliki,



Rys. 35. Klasa geotechniczna fliszu KFG w funkcji parametrów geofizycznych –  $V_p$  [m/s] i  $\rho$  [ $\Omega m$ ]

Miłówka i Luboń-Zabornia, oraz oceny stateczności zbroczy osuwiskowych w Karpatach fliszowych objętych badaniami i monitoringiem w ramach realizowanego przez PIG-PIB programu SOPO (System Ochrony Przeciw Osuwiskowej).

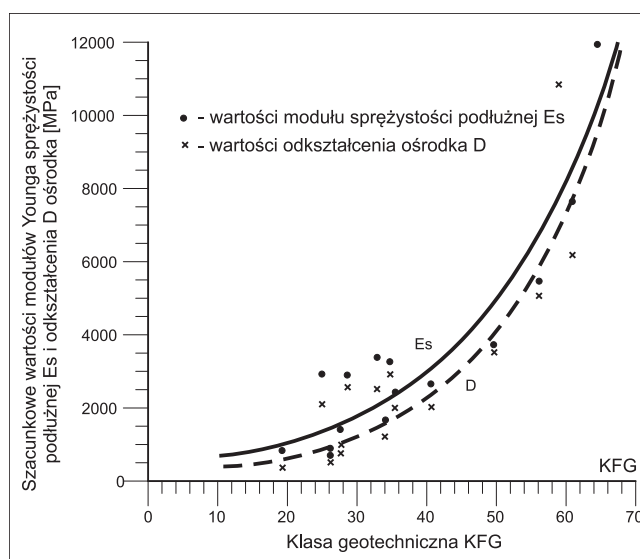
### 5.10. POŁOWE BADANIA WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNYCH GRUNTÓW I SKAŁ

Badanie właściwości cieplnych nie jest jeszcze rekomendowane przez Eurokod 7 (PN-EN 1997-1 i 2), jednak mając na uwadze coraz dynamiczniejszy rozwój technologii OZE (Odnawialnych Źródeł Energii) należy zwrócić uwagę na jeden z alternatywnych, możliwych sposobów wykorzystania podłoża gruntowego, jakim jest pozyskiwanie zmagazynowanego w masywie gruntowo-skalnym ciepła ziemi (geotermia niskotemperaturowa).

**Test reakcji termicznej (TRT – Thermal Response Test)** jest testem *in situ* (rys. 37), wykonywanym w odwiercie pilotażowym – otworowym wymienniku cieplnym, pierwszym z serii przewidzianych do wykonania w planowanej inwestycji geotermalnej. W literaturze jest nazywany także testem GRT (*Geothermal Response Test*). Zalecenia dotyczące badań TRT (GRT) zawiera norma PN-EN ISO 17628:2015-09, dostępna wyłącznie w języku angielskim.

Wartość przewodnictwa cieplnego otrzymywana w wyniku badania jest bardzo wiarygodna, ponieważ oblicza się ją w rzeczywistych warunkach pracy wymiennika ciepła. Badanie TRT jest wykonywane w celu uniknięcia niedoszacowania lub przeszacowania zdolności gruntu do przekazywania ciepła, zwłaszcza w przypadku projektowania pomp ciepła. Metoda polega na podaniu do otworu ładunku energii cieplnej o znanej wartości i pomiarze na powierzchni terenu temperatury początkowej (zmian temperatury czynnika dostarczającego ciepło)

oraz powrotu czynnika, dostarczającego ciepło do urządzenia pomiarowego. Medium wypełniające wymiennik krąży w obiegu zamkniętym, a iniekcja ciepła drogą podgrzewania płynu roboczego jest prowadzona przez cały czas trwania testu. Mierzona wartość współczynnika przewodnictwa cieplnego ( $\lambda_{eff}$  [W/m · K]) jest wartością efektywną, tj. uwzględniającą reakcję całego ośrodka gruntowo-wodnego, a także materiału wypełniającego przestrzeń pierścieniową otworu (iniektu). Warunkiem otrzymania poprawnych wyników jest odpowiednio długi czas prowadzenia testu. Minimalny, zalecany w literaturze, wynosi 48 godzin. Uzupełnieniem testu TRT jest test dyssypacji termicznej. Polega on na wykonaniu profilu temperaturowego



Rys. 36. Moduły Younga, sprężystości  $E_s$  i odkształcenia  $D$  w funkcji klasy KFG



Rys. 37. Test reakcji termicznej (TRT). Fot. M. Szlasa

wego w badanym otworowym wymienniku ciepła przed rozpoczęciem rozgrzewania gruntu badaniem TRT (profil referencyjny – uzyskujemy temperaturę początkową) oraz wykonaniu serii minimum trzech profili temperaturowych bezpośrednio po zakończeniu ogrzewania gruntu i dalej w interwałach co 1 godzinę. Wyniki takiego testu (rys. 38) pozwalają na przestrzenne określenie stref dobowych i sezonowych zmian temperatury, tempa oddawania temperatury przez grunt oraz wyłonienie stref anomalii temperaturowych. Takimi strefami anomalnymi mogą być np. dobrze przepuszczalne warstwy gruntów niespoistych o szybkim przepływie wody gruntowej lub odcinki badanego wymiennika o niepoprawnie wykonanej iniekcji strefy pierścieniowej. Badania wykonuje się zazwyczaj świstawką termiczną, tj. taśmą do pomiarów zwierciadła wody gruntowej z końcówką pomiarową o małej średnicy (poniżej 20 mm) wyposażoną w termometr o niskiej bezwładności pomiaru (najczęściej typu PT100). Zalecany interwał pomiarowy przy wykonywaniu profili temperaturowych to 2 m do głębokości 20 m oraz 5 m przy głębokościach poniżej 20 m p.p.t.

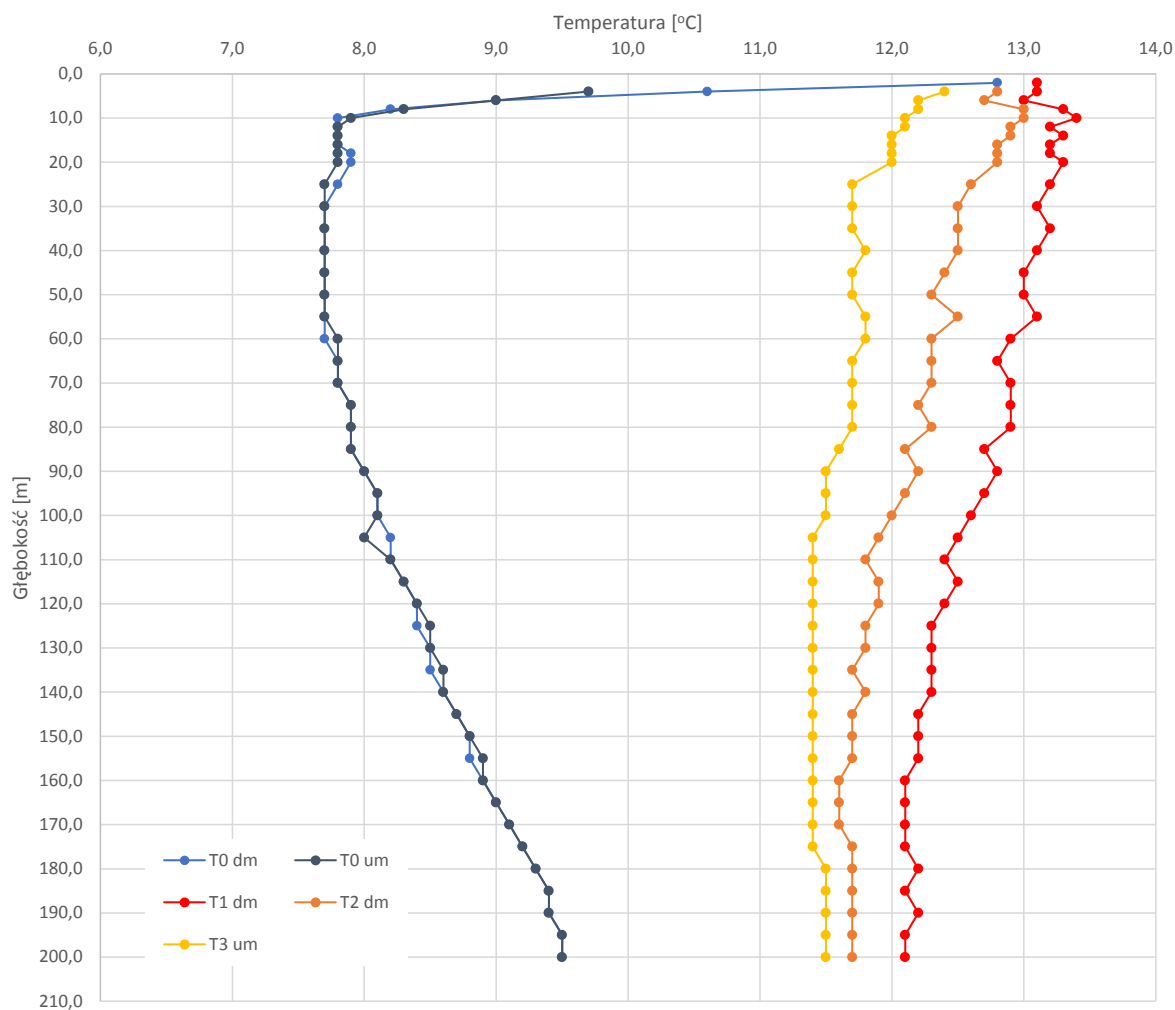
#### 5.11. BADANIA ŚRODOWISKOWE

Badania środowiskowe w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim mają na celu określenie stanu jakości gleby lub ziemi (gruntu), z uwzględnieniem ich funkcji aktualnej i planowanej. Zgodnie z Eurokodem 7 rozpoznanie podłoża powinno dostarczyć informacji pozwalających ocenić m.in. rodzaj i zasięg zanieczyszczenia podłoża w miejscu lokalizacji inwestycji i w

jego sąsiedztwie, a także skuteczności środków zastosowanych w celu powstrzymania lub zapobiegania zanieczyszczeniu.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. 2016 poz. 1395) określa sposób prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi, m.in.:

- substancje powodujące ryzyko szczególnie istotne dla ochrony powierzchni ziemi, ich dopuszczalne zawartości w glebie oraz dopuszczalne zawartości w ziemi (gruntu/skały), zróżnicowane dla poszczególnych właściwości gleby oraz grup gruntów, wydzielonych na podstawie sposobu ich użytkowania;
- etapy identyfikacji terenów zanieczyszczonych, w szczególności:
  - sposób ustalenia działalności mogącej być przyczyną zanieczyszczenia na danym terenie obecnie lub w przeszłości;
  - sposób ustalenia listy substancji powodujących ryzyko, których wystąpienie w glebie lub ziemi jest spodziewane ze względu na prowadzoną działalność;
  - źródła informacji istotne do oceny zagrożenia zanieczyszczeniem gleby lub ziemi;
  - warunki uznawania istniejących badań zanieczyszczenia gleby i ziemi za aktualne;
  - etapy i sposób prowadzenia badań zanieczyszczenia gleby i ziemi;
  - rodzaje działalności mogących z dużym prawdopodobieństwem powodować historyczne zanieczyszczenie



**Rys. 38.** Wyniki testu dyssypacji termicznej dla otworowego wymiennika ciepła na głęb. 200 m z zastosowaniem pojedynczej U-rurki o średnicy zewnętrznej 32 mm. Kolor niebieski to profile wykonywane przed rozpoczęciem testu TRT, kolory czerwony, pomarańczowy i żółty to profile wykonywane w godzinowych interwałach po zakończeniu testu TRT. Oznaczenie „dm” to pomiar od góry do dołu profilu, oznaczenie „um” – od dołu do góry

powierzchni ziemi, wraz ze wskazaniem przykładowych dla tych działalności zanieczyszczeń;

- referencyjne metodyki wykonywania badań zanieczyszczenia gleby i ziemi;
- szczegółowe wymagania dotyczące oceny zanieczyszczenia gleby, ziemi lub wód gruntowych na terenie zakładu, gdzie jest lub była w przeszłości eksploatowana instalacja wymagająca uzyskania pozwolenia zintegrowanego, w tym wymagania dotyczące zakresu i sposobu sporządzenia raportu początkowego, o którym mowa w ustawie Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2017 poz. 519).

Substancje powodujące ryzyko szczególnie istotne do ochrony powierzchni ziemi, ich dopuszczalne zawartości w glebie oraz w ziemi, zróżnicowane dla poszczególnych właściwości gleby oraz grup gruntów, wydzielonych na podstawie sposobu ich użytkowania, określa załącznik nr 1 do ww. rozporządzenia. Dopuszczalne zawartości substancji określa się dla grup gruntów wydzielonych na podstawie sposobu ich użytkowania, który jest określony w art. 3 ust. 3–6 ww. rozpo-

ządzenia. Grupy gruntów wydzielone na podstawie sposobu ich użytkowania na danym terenie określa się zgodnie z ewidencją gruntów i budynków, uwzględniając oznaczenia określone w przepisach wydanych na podstawie art. 26 ust. 2 ustawy z dnia 17 maja 1989 r. – Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. 2015 poz. 520, z późn. zm.). Dopuszczalną zawartość w glebie oraz dopuszczalną zawartość w ziemi substancji powodującej ryzyko ustala się na podstawie analizy wpływu obecności tej substancji w glebie lub w ziemi na zdrowie ludzi i stan środowiska, sporządzonej w postaci pisemnej.

Tereny zanieczyszczone identyfikuje się w pięciu etapach:

- etap pierwszy obejmuje ustalenie działalności mogącej być przyczyną zanieczyszczenia na danym terenie, obecnie lub w przeszłości;
- etap drugi obejmuje ustalenie listy substancji powodujących ryzyko, których wystąpienie w glebie lub w ziemi jest spodziewane na danym terenie;
- etap trzeci obejmuje zebranie oraz analizę dostępnych i aktualnych źródeł informacji istotnych do oceny zagrożenia zanieczyszczeniem gleby lub ziemi na danym tere-



nie oraz dostępnych i aktualnych badań zanieczyszczenia gleby i ziemi substancjami powodującymi ryzyko z listy ustalonej w etapie drugim;

- etap czwarty obejmuje zebranie informacji koniecznych do wykonania badań wstępnych oraz wykonanie badań wstępnych (m.in. ustalenie grupy gruntów występującej na danym terenie oraz zebranie informacji o rodzaju pokrycia terenu, w tym roślinności i zabudowie, lokalizację źródeł zanieczyszczeń substancjami powodującymi ryzyko, znajdujących się na danym terenie obecnie lub w przeszłości, określenie schematu lokalizacji punktów pobierania próbek gleby na głębokości 0–0,25 m p.p.t. oraz przekraczającej 0,25 m p.p.t. indywidualnie dla danego terenu);
- etap piąty obejmuje przeprowadzenie badań szczegółowych;
- w przypadku wykluczenia występowania zanieczyszczenia na którymkolwiek z etapów, identyfikację terenu zanieczyszczonego uznaje się za zakończoną.

Po określeniu wartości dopuszczalnej gleby lub ziemi, glebę lub grunt określa się jako zanieczyszczone lub nie, co przekłada się na konieczność wykonania prac inżynierskich np. zastosowanie odpowiednich systemów barierowych, wymiana gruntu lub rekultywacja, wykonywanych *ex situ* lub *in situ* przygotowujących teren pod inwestycję. Rodzaj gruntów i ich układ w podłożu, poziom i wahania zwierciadła wód podziemnych oraz kierunki ich spływu wpływają na sposób rozprzestrzeniania zanieczyszczeń. Wystąpienie czynnika o wysokiej toksyczności w warunkach płytkiego położenia wód, w gruntach o dużej przepuszczalności wymaga szybkiego przeprowadzenia oczyszczania. W takiej sytuacji, o ile pozostałe warunki to umożliwiają, korzystniejsze jest stosowanie metod *ex situ*, które pozwalają uzyskać efekt usunięcia zanieczyszczenia w krótkim czasie. Stopień rozpoznania warunków gruntowo-wodnych ma istotne znaczenie przy wyborze skutecznej technologii oczyszczania terenu inwestycyjnego.

## 6. WYKONYWANIE, INTERPRETACJA I OCENA BADAŃ LABORATORYJNYCH

Badania laboratoryjne gruntów zostały opisane w normie PN-EN 1997-2, która zawiera informacje dotyczące:

- wymaganej liczby stosowanych badań laboratoryjnych;
- interpretacji i oceny wyników badań;
- wyprowadzania wartości parametrów geotechnicznych.

Zgodnie z punktem 2.4.2.5 normy PN-EN 1997-2 należy zawsze przeprowadzać badania klasyfikacyjne gruntów i skał dla każdej warstwy i muszą być one wykonane tak, żeby równomiernie, na całej powierzchni i głębokości, wyznaczały jej skład i właściwości wskaźnikowe. Ponadto wyniki badań klasyfikacyjnych mają na celu weryfikację zakresu wykonanych badań i ocenę przeprowadzenia ewentualnych dalszych prac. Badania klasyfikacyjne opisano w rozdziałach 5.5.4, 6.2 oraz 6.4. Badania laboratoryjne są wykonywane również w celu wyznaczenia parametrów do obliczeń geotechnicznych. Zakres badań geotechnicznych gruntu ustala się w zależności od przyjętej przez projektanta kategorii geotechnicznej planowanego obiektu budowlanego, dlatego ważne jest prawidłowe określenie programu badań.

Norma PN-EN 1997-2 wyróżnia 22 rodzaje badań laboratoryjnych gruntów. Integralną częścią normy jest 12 specyfikacji technicznych (TS), które opisują procedury wykonywania badań laboratoryjnych na podstawie różnych metod badawczych. Dla pozostałych badań laboratoryjnych, wyróżnionych w normie, nie ma aktualnych Polskich Norm. Do tych badań wykorzystuje się tzw. normy wycofane, literaturę branżową lub normy zagraniczne, takie jak: BS, DIN czy ASTM. Zgodnie z ustawą o normalizacji (Dz.U. 2002 Nr 169 poz. 1386, z późn. zm.) stosowanie norm jest dobrowolne, dlatego też wycofanie niektórych oznacza jedynie wyłączenie ich ze spisu aktualnych norm. Wycofanie normy bez zastąpienia nie oznacza jej unieważnienia ani zakazu stosowania, a jedynie nie odzwierciedla ona aktualnego stanu wiedzy. Ostateczny wybór norm i korelacji interpretacyjnych należy zawsze do dokumentatora w porozumieniu z innymi uczestnikami procesu budowlanego. Wybór metodyki badań każdorazowo należy w dokumentacji wskazać i uzasadnić.

Badania laboratoryjne wykonuje się w celu:

- opisu i klasyfikacji próbek gruntów i skał;
- wyznaczenia parametrów geotechnicznych;
- określenia przydatności gruntów pochodzących z wykopów na potrzeby realizacji budowli ziemnych.

Ilość zleconych badań do laboratorium powinna być uzależniona od stopnia skomplikowania budowy geologicznej podłoża, założeń inwestycyjnych oraz informacji o projekto-

wanym obiekcie. Zaleca się zatem, przed wytypowaniem próbek do badań, na podstawie materiałów archiwalnych, charakteryzujących budowę geologiczną, wstępnie wydzielić warstwy geologiczno-inżynierskie/geotechniczne. Propozycje odnośnie minimalnej liczby próbek dla poszczególnych grup badań zawierają załączniki od „M” do „S” normy PN-EN 1997-2.

Podczas projektowania programu badań laboratoryjnych należy uwzględnić:

- cel badań;
- kategorię obiektu budowlanego;
- rodzaj budowli;
- parametry geotechniczne potrzebne do obliczeń projektowych;
- informacje otrzymane na podstawie wyników badań terenowych i sondowań.

W celu prawidłowego udokumentowania terenu badań należy:

- wytypować próbki reprezentatywne dla danej warstwy;
- określić minimalną liczbę próbek do badań i pamiętać o ich równomiernym rozłożeniu na całej głębokości;
- wskazać rodzaj planowanych badań.

Niezwykle istotne w wykonywaniu badań laboratoryjnych są weryfikacja i zapewnienie odpowiedniej jakości uzyskanych wyników przez:

- ocenę błędów systematycznych i wykonywanie badań sprawdzających na próbkach kontrolnych lub podwójnych, zwłaszcza kiedy badań jest bardzo dużo;
- porównanie wyników uzyskanych różnymi metodami badań laboratoryjnych, np. w zakresie wytrzymałości na ścinanie, oznaczeń konsystencji i ich wzajemną korelację;
- ocenę zgodności wyników badań laboratoryjnych i polowych, np. porównanie analizy makroskopowej wykonanej w terenie z badaniem w laboratorium;
- kalibrowanie i na bieżąco sprawdzanie aparatury badawczej oraz archiwizowanie i udostępnianie zapisów z prowadzonych czynności;
- zapewnienie właściwej jakości badań laboratoryjnych przez wykwalifikowany, doświadczony i specjalizujący się w danej metodzie badawczej personel.

Rozbieżności w wynikach badań i wszelkie nieprawidłowości wynikające z awarii pracy aparatu czy błędu ludzkiego powinny być przeanalizowane, a w razie konieczności badania powinno się powtórzyć.

Na jakość wykonanych badań laboratoryjnych również mają wpływ:

- sposób i metoda poboru próbek;
- klasa jakości pobranych próbek gruntu;
- transport próbek;
- sposób i czas przechowywania próbek;
- kategoria i sposób przygotowania próbek do badań;
- reprezentatywność próbek, czyli ich odpowiednia liczba i wielkość.

Wyniki badań laboratoryjnych powinny być opracowane w formie kart badań i zestawień tabelarycznych wraz z wynikami badań polowych.

## 6.1. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK GRUNTÓW I SKAŁ DO BADAŃ

Norma PN-EN 1997-2 zawiera zalecenia związane z rozpoznawaniem i badaniem podłoża gruntowego zarówno metodami polowymi, jak i laboratoryjnymi. W myśl tej normy przygotowanie próbek gruntów i skał powinno zapewnić ich jednorodność i reprezentatywność w stosunku do warstwy rozpoznawanej oraz spełniać wymogi warunków badań określone w normach i specyfikacjach. W przypadku przygotowania próbek gruntów i skał norma odwołuje się do dokumentu PN-EN ISO 22475-1:2006. Zacytowana norma dokładnie precyzuje sposoby pobierania i przechowywania próbek gruntowych przeznaczonej do badań laboratoryjnych, dostarcza również wskazówek i zaleca czynności mające na celu zachowanie właściwości próbek i skał, tak żeby odpowiadały ich właściwościom *in situ*.

W normie PN-EN 1997-2 wyróżniono pięć rodzajów próbek do badań laboratoryjnych: naruszone, nienaruszone, ponownie zagęszczone, przerobione i odtworzone. Szczegółowe wymagania ich przygotowania scharakteryzowano w załączniku „L” do wyżej wymienionej normy.

Podczas przygotowywania próbek gruntów należy zadbać o to, żeby:

- wszystkie próby jednoznacznie oznakować;
- chronić próbki przed uszkodzeniem, zniszczeniem i nadmiernymi zmianami temperatury, w szczególności należy chronić próbki nienaruszone przed utratą wody i zapobiegać odkształceniom;
- nie dopuszczać do utraty wilgotności gruntu, co może mieć znaczący wpływ na wyniki badań;
- unikać kruszenia cząstek, jeżeli próbka ma być roztarta;
- przy wyborze metody dalszego podziału próbek zapewnić reprezentatywność otrzymanych porcji.

Próbki gruntów i skał przygotowane do laboratorium powinny uwzględniać zalecane w opisie metod naważki, niezbędne do określania parametrów z wymaganą dokładnością. Minimalne masy gruntów do badań laboratoryjnych zgodnie z normami i specyfikacjami ich wykonania zestawiono w tabelach 27, 28 i 29.

**Tabela 27**

**Masa gruntu wymagana do badań na próbkach naruszonych (wg PN-EN 1997-2)**

Badanie	Wymagana masa początkowa	Minimalna masa próbki przygotowanej do badań			
		ity i pyły	piaski	zwiry	
Wilgotność	przynajmniej dwukrotność masy próbki przygotowanej do badań	30 g	100 g	D = 2–10 mm MMS	D > 10 mm 0,3* MMS min. 500 g
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego	100 g	10 g (rozmiar ziaren < 4 mm)			
Analiza granulometryczna – metoda sitowa	przynajmniej dwukrotność masy próbki przygotowanej do badań	minimalną masę próbki do badań należy przygotować zgodnie z tabelą 28			
Analiza granulometryczna – analiza areometryczna	250 g	50 g	100 g		
Analiza granulometryczna – analiza pipetowa	100 g	12 g	30 g		
Granice konsystencji	500 g	300 g (rozmiar ziaren < 4 mm)			
Stopień zagęszczenia	8 kg	*			
Dyspersyjność	400 g	*			
Zagęszczalność	S	*			
Cylinder Proctora	25 kg				
Cylinder CBR	80 kg				
NS	10 kg	*			
Cylinder CBR	50 kg				
NS	50 kg				
CBR	6 kg	*			
Przepuszczalność** średnica próbki					
100 mm	4 kg				
75 mm	3 kg				
50 mm	500 g				
38 mm	250 g				

\* masa próbki zależy od zachowania się gruntu podczas badania; \*\* próbki do badania przepuszczalności o wysokości równej dwukrotności średnicy D – średnica największej cząstki w przeważającej części ( $\pm 10\%$ ) w suchej masie; MMS – minimalna masa, która ma być pobrana do przesiewu; NS – cząstki gruntu niewrażliwe na zmiążdżenie; S – cząstki gruntu wrażliwe na kruszenie podczas zagęszczania

W przypadku próbek skał do badań laboratoryjnych w normie PN-EN 1997-2 zwrócono uwagę na zabezpieczenie próbek, chroniąc je przed zmianami wilgotności. Ważne są także: jasne i transparentne opisanie warunków przechowywania próbek rdzeni, metoda ich poboru oraz warunki wilgotności panujące w trakcie wiercenia.

Zastosowanie techniki rotacyjnej z pojedynczą, podwójną lub potrójną rdzeniówką w skałach niespękanych daje odpowiednie próbki do badań klasyfikacyjnych, wytrzymałościowych lub odkształceniowych. Zalecenie ISRM sugeruje, że próbki o długości 300–1000 mm i o średnicy większej niż 50 mm są wystarczające do przeprowadzenia zestawu badań klasyfikacyjnych, wytrzymałościowych i odkształceniowych.

Ważne czynności, na które trzeba zwrócić uwagę w przypadku przygotowania próbek skał, zestawiono w załącznikach „T”, „W” i „X.2” do normy PN-EN 1997-2.

## 6.2. KLASYFIKACJA GRUNTÓW ZGODNIE Z NORMAMI PN-EN ISO 14688-2 I PN-B-02480

Według normy PN-EN 1997-2 klasyfikowanie gruntów należy wykonywać zgodnie z normą PN-EN ISO 14688-2, która wyróżnia dwie podstawowe klasyfikacje.

Pierwsza oparta jest na uziarnieniu i plastyczności gruntów. Podział ten opracowano na podstawie procentowego udziału frakcji gruboziarnistych i plastyczności frakcji drobnoziarnistych. Waloryzację wyżej wymienionych cech fizycznych zawarto w tabeli 30. Podstawą do klasyfikacji gruntów powyższą metodą są badania makroskopowe szczegółowo opisane w rozdziale 5.5.4.

Druga klasyfikacja wykorzystuje wyłącznie wyniki badań uziarnienia gruntu i oparta jest na krzywej granulometrycznej (rys. 39). Do tej metody ma zastosowanie trójkąt klasyfikacyjny opracowany na podstawie zawartości frakcji żwirowej, piaskowej i drobnoziarnistej. Rozszerzeniem trójkąta klasyfikacyjnego jest nomogram umożliwiający szczegółowe klasyfikowanie gruntów drobnoziarnistych na podstawie za-

Tabela 28

### Minimalna masa do przesiewu

Średnica największej cząstki (D) [mm]	Minimalna masa do przesiewu (MMS) [kg]
75,0	120,0
63,0	70,0
45,0	25,0
37,5	15,0
31,5	10,0
22,4	4,0
20,0	2,0
16,0	1,5
11,2	600,0
10,0	500,0
8,0	400,0
5,6	250,0
4,0	200,0
2,8	150,0
≤2,0	100,0

wartości iltu i pyłu. Podstawą do klasyfikacji gruntów powyższą metodą są badania uziarnienia szczegółowo opisane w rozdziale 6.4.

W normie PN-B-02480 zaproponowano klasyfikację gruntów wyłącznie na podstawie składu granulometrycznego, z uwzględnieniem pięciu frakcji:

- kamienistej, gdzie  $d > 40$  [mm];
- żwirowej, gdzie  $40 \geq d > 2$  [mm];
- piaskowej, gdzie  $2 \geq d > 0,05$  [mm];
- pyłowej, gdzie  $0,05 \geq d > 0,002$  [mm];
- iltowej, gdzie  $0,002 \geq d$ .

Na podstawie powyższego podziału frakcyjnego normy PN-B-02480 wyróżnia się trzy główne grupy gruntów:

- kamieniste, gdzie  $d_{50} > 40$  [mm];
- gruboziarniste, gdzie  $d_{50} \leq 40$  i  $d_{90} > 2$  [mm];
- drobnoziarniste niespoiste i spoiste  $d_{90} \leq 2$  [mm].

W przytoczonej normie gruntów kamienistych nie rozdzielono szczegółowo pod względem granulometrycznym.

Tabela 29

### Masa gruntu wymagana do badań na próbkach o nienaruszonej strukturze klasy 1

Rodzaj badania	Wymiary próbki		Minimalna wymagana masa [g]
	średnica [mm]	wysokość [mm]	
Edometr	50	20	90
	75	20	200
	100	20	350
Ściskanie*: – jednoosiowe – trójosiowe	35	70	150
	38	76	200
	50	100	450
	70	140	1 200
	100	200	3 500
Bezpośrednie ścinanie	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 (MMS)

\* rozmiary próbki i minimalna masa odnoszą się do wszystkich trzech badań

D – średnica największej cząstki w przeważającej części ( $\pm 10\%$ ) w suchej masie; MMS – minimalna masa, która ma być pobrana do przesiewu

Tabela 30

## Klasyfikacja gruntów na podstawie uziarnienia i plastyczności (wg PN-EN ISO 14688-2)

Kryterium	Grupa gruntów	Kryteria kwalifikacji	Podział na grupy o podobnych właściwościach			Dalsze podpodziały	
Grunty niewykazujące spójności w stanie mokrym	bardzo gruboziarniste	większość cząstek > 200 mm	Bo	xBo	coBo	wymagają specjalnych oznaczeń	
		większość cząstek > 63 mm	Co	boCo			sagrCo
	gruboziarniste	większość cząstek > 2 mm	Gr	coGr	cosaGr		zależą od wymiarów cząstek (rozkładu uziarnienia), kształtu krzywej uziarnienia, zagęszczenia i przepuszczalności
		większość cząstek > 0,063 mm	Sa	saGr clGr orSa	sasiGr, grsiSa siSa, clSa, saclGr		zależą od składu mineralnego i kształtu cząstek
Grunty wykazujące spójność w stanie mokrym	drobnoziarniste	o małej plastyczności, wykazujące dylatację	Si	saSi	sagrSi saclSi	zależą od plastyczności, wilgotności, wytrzymałości, wrażliwości, ściśliwości, sztywności, i składu mineralnego iltu	
		plastyczne, niewykazujące dylatacji	Cl	clSi siCl orSi, orCl	sagrCl		
Barwa ciemna, mała gęstość	organiczne	–	Or	saOr siOr	clOr	wymagają specjalnych oznaczeń	
Nienaturalne	antropogeniczne	przemieszczone	Mg	xMg	materiał wytworzony przez człowieka	wymagające specjalnych badań	
					przemieszczony materiał naturalny	jak dla gruntów naturalnych	
Objaśnienia symboli						zaleca się, żeby przypadki wymagające specjalnego traktowania, klasyfikowane były zgodnie z wymaganiami krajowymi lub projektowymi	
Grunt	Składnik główny	Składnik drugorzędny lub domieszka					
Głaziki Kamienie Żwir Piasek Pył Ił Organiczny Sztuczny	Bo Co Gr Sa Si Cl Or Mg	bo co gr sa si cl or – x	Gr(gr) i Sa(sa) można dzielić na drobne F(f), średnie M(m) lub grube C(c)  każda kombinacja składników				

Tabela 31

## Podział gruntów gruboziarnistych ze względu na uziarnienie wg normy PN-B-02480

Grunty gruboziarniste pod względem uziarnienia podzielono na cztery rodzaje, których charakterystykę przedstawiono w tabeli 31.

Grunty drobnoziarniste wg normy PN-B-02480 podzielono na dwa typy:

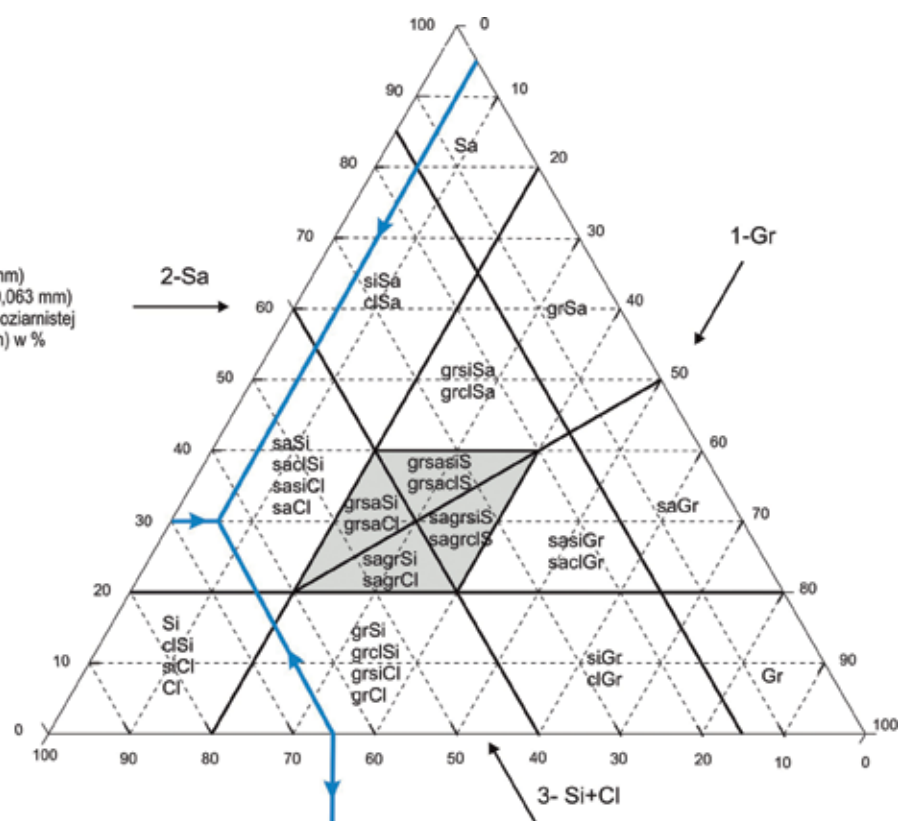
- niespoiste (tab. 32);
- spoiste (tab. 33).

Zaleca się stosowanie klasyfikacji gruntów zgodnie z wymaganiami uczestników procesu budowlanego. W praktyce dokumentowania są stosowane dwie klasyfikacje – wg norm PN-EN ISO 14688-2 i PN-B-02480. Proponuje się stosować je niezależnie, bez porównywania względem siebie.

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie	
Żwir	Z	$f'_1 \leq 2\%$	$f_k - f'_2 > 50\%$
Żwir gliniasty	Zg	$f'_1 > 2\%$	
Pospółka	Po	$f'_1 \leq 2\%$	$50\% \geq f_k - f'_2 > 10\%$
Pospółka gliniasta	Pog	$f'_1 > 2\%$	

**Objaśnienia:**

- 1 zawartość żwiru (od 2 mm do 63 mm)
- 2 zawartość piasku (od 0,063 mm do 2 mm)
- 3 zawartość frakcji drobnoziarnistych (<0,063 mm)
- 4 stosunek masy iltu do masy frakcji gruboziarnistej i drobnoziarnistej (wymiary ziaren <63 mm) w %
- 5 grunty drobnoziarniste (pył i ilt)
- 6 grunty o mieszanym uziarnieniu (pylaste lub iltaste żwiry i piaski)
- 7 grunty gruboziarniste (żwiry i piaski)

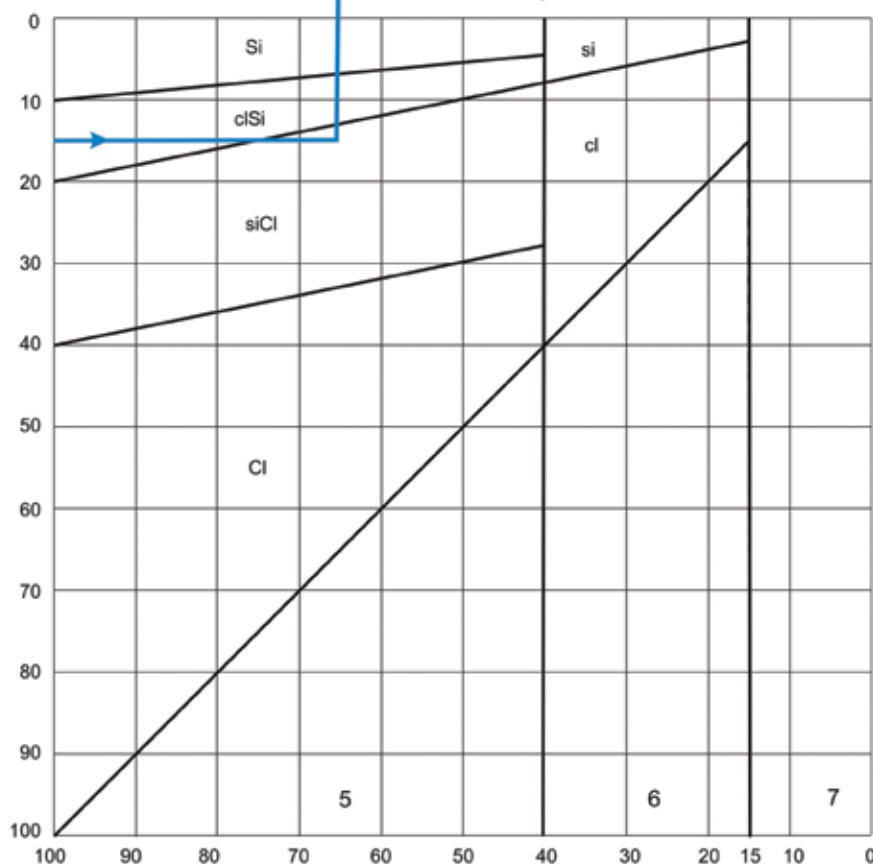


**Przykład:**

- a - Gr= 5%
- b - Sa= 30%
- c - Si+Cl=75%
- d - Cl=15%

Nazwa gruntu: **sasiCl**

4-Cl →



Rys. 39. Klasyfikacja gruntów zgodnie z normą PN-EN ISO 14688-2

Tabela 32

**Podział gruntów drobnoziarnistych niespoistych ze względu na uziarnienie wg normy PN-B-02480**

Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie
Piasek gruby	Pr	zawartość ziaren o średnicy większej niż 0,5 mm wynosi więcej niż 50% ( $d_{50} > 0,5$ mm)
Piasek średni	Ps	zawartość ziaren o średnicy większej niż 0,5 mm wynosi nie więcej niż 50%, lecz zawartość ziaren o średnicy większej niż 0,25 mm wynosi więcej niż 50% ( $0,5$ mm $\geq d_{50} > 25$ mm)
Piasek drobny	Pd	zawartość ziaren o średnicy mniejszej niż 0,25 mm wynosi więcej niż 50% ( $d_{50} \leq 25$ mm)
Piasek pylasty	P $\pi$	$f'_p = 68-90\%$ $f'_x = 10-30\%$ $f'_l = 0-2\%$

### 6.3. KLASYFIKACJA SKAŁ WG EUROKODU 7

W normie PN-EN 1997-2 nie podano i nie odniesiono się do normy szczegółowej w zakresie klasyfikacji skał i maszywów skalnych. Klasyfikacja skał jest oparta na klasycznych doświadczeniach Bieniawskiego, Bartona, Hoeka, Browna i in. (Pinińska, 2001).

W normie PN-EN 1997-2 wskazano badania klasyfikacyjne skał wraz z warunkami ich wykonywania:

- oznaczenie i opis skał,
- badanie wilgotności,
- badanie gęstości i porowatości.

Ponieważ brak jest norm ISO-CEN dotyczących badania skał, możliwe jest korzystanie z doświadczeń zagranicznych, sformułowanych m.in. w normach British Standards i dokumentach International Society for Rock Mechanics.

Norma PN-EN ISO 14689-1 nie definiuje klasyfikacji skał i maszywów skalnych, ale w załączniku „A” dopuszcza się zastosowanie tabeli ułatwiającej ich klasyfikowanie (tab. 34). Jest to tablica do rozpoznawania i oznaczania rodzajów skał na potrzeby inżynierskie na podstawie cech głównych. Nie jest ona klasyfikacją, lecz zbiorem terminów i nazw wybranych głównie z podręczników dla niespecjalistów geologów, które mogą być niepoprawne geologicznie, ale są ogólnymi określeniami szerokiej grupy podobnych skał.

### 6.4. BADANIA CECH FIZYCZNYCH GRUNTÓW

Badania laboratoryjne właściwości fizycznych gruntów są istotnym elementem procesu ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. Stanowią podstawę do scharakteryzowania właściwości budowlanych podłoża gruntowego. Ponadto są uzupełnieniem wyników badań polowych i pozwalają na weryfikację wykonanej w terenie klasyfikacji gruntów (tab. 35).

Normę PN-EN 1997-2 należy stosować łącznie z powołanymi w niej normami i specyfikacjami technicznymi (EN i EN-ISO/TS), dotyczącymi identyfikacji gruntów i skał oraz

Tabela 33

**Podział gruntów drobnoziarnistych spoistych ze względu na uziarnienie wg normy PN-B-02480**

Nazwa rodzaju gruntu	Symbol	Zawartość frakcji [%]		
		$f'_p$	$f'_x$	$f'_l$
Piasek gliniasty	Pg	60–98	0–30	2–10
Pył piaszczysty	$\pi p$	30–70	30–70	0–10
Pył	$\pi$	0–30	60–100	0–10
Gлина piaszczysta	Gp	50–90	0–30	10–20
Gлина	G	30–60	30–60	10–20
Gлина pylasta	G $\pi$	0–30	30–90	10–20
Gлина piaszczysta zwięzła	Gpz	50–80	0–30	20–30
Gлина zwięzła	Gz	20–50	20–50	20–30
Gлина pylasta zwięzła	G $\pi$ z	0–30	50–80	20–30
Ил piaszczysty	Ip	50–70	0–20	30–50
Ил	I	0–50	0–50	60–100
Ил pylasty	I $\pi$	0–20	50–70	30–50

badania polowych i laboratoryjnych. Specyfikacja techniczna PKN-CEN ISO/TS 17892 – zawiera informacje w zakresie najbardziej powszechnie stosowanych metod laboratoryjnych. Składa się z 12 specyfikacji technicznych (TS), w których szczegółowo opisano wymagania dotyczące sprzętu, przygotowanie próbek do badań, przebieg procedury badawczej oraz obliczenia i sposób dokumentowania oraz przedstawiania wyników. Poniżej wymieniono specyfikacje techniczne dotyczące właściwości fizycznych gruntów:

- PKN-CEN ISO/TS 17892-1 – Oznaczanie wilgotności;
- PKN-CEN ISO/TS 17892-2 – Oznaczanie gęstości gruntów drobnoziarnistych;
- PKN-CEN ISO/TS 17892-3 – Oznaczanie gęstości właściwej. Metoda piknometru;
- PKN-CEN ISO/TS 17892-4 – Oznaczanie składu granulometrycznego;
- PKN-CEN ISO/TS 17892-11 – Badanie filtracji przy stałym i zmiennym gradiencie hydraulicznym;
- PKN-CEN ISO/TS 17892-12 – Oznaczanie granic Atterberga.

Norma PN-EN 1997-2 zaleca wybrane metodyki badań laboratoryjnych, ale nie nakazuje ich stosowania. Inne metody i procedury badawcze mogą być stosowane pod warunkiem spełnienia wymagań zawartych w normie PN-EN 1997-2. W wykazie aktualnych norm Polskiego Komitetu Normalizacyjnego oprócz norm europejskich znajdują się też polskie:

- PN-B-02481:1998 – Geotechnika. Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar;
- PN-B-04481:1988 – Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.





Tabela 35

## Badania laboratoryjne zalecane do klasyfikowania gruntów

Rodzaj badania	Zalecane metody badawcze	Parametr [jednostka]	Parametry pochodne	Rodzaj gruntu	Zastosowanie
Wilgotność	metoda wagowa	[%]	$S_r$ $n_e$ $\rho_d$	grunty drobnoziarniste, średnioziarniste, gruboziarniste grunty organiczne	klasyfikacja gruntów, identyfikacja gruntów organicznych
Gęstość objętościowa	metoda pomiaru bezpośredniego	$\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_d$ $n_e$ $y$	grunty, dla których możliwe jest pobranie próbki o nienaruszonej strukturze; grunty drobnoziarniste	klasyfikacja gruntów, wyznaczenie wartości obliczeniowych oddziaływań wywołanych przez grunt
	metoda zanurzenia w wodzie				
	metoda wypierania płynu				
Granice konsystencji (Atterberga)	metoda wagowa	wilgotność granicy płynności $w_L$ [%]	$I_P$ $I_L$ $I_C$ $I_A$	grunty drobnoziarniste	klasyfikacja gruntów, ocena plastyczności i odkształcalności ilów i gruntów pylastych
	metoda wagowa	wilgotność granicy plastyczności $w_P$ [%]			
Analiza granulometryczna	metoda sitowa	krzywa rozkładu uziarnienia oraz procentowa zawartość frakcji [%]	Cu Cc k	grunty gruboziarniste	klasyfikacja gruntów, szacowanie przepuszczalności gruntów
	metoda sedymentacyjna – areometryczna				
	metoda sedymentacyjna – pipetowa		grunty drobnoziarniste	klasyfikacja gruntów, ocena wysadzinowości	
	metody wykorzystujące promieniowanie X, laser, pomiar gęstości, liczniki cząstek				
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego	metoda piknomietru cieczowego	$\rho_s$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	n, e	piaski; pyły i iły; grunty organiczne	klasyfikacja gruntów
	metoda piknomietru gazowego				
Stopień zagęszczenia gruntów niespoistych	metoda zagęszczenia w cylindrze	$e_{max}$ [-] $e_{min}$ [-] $I_D$ [-]	$I_s$	grunty niespoiste	ocena wytrzymałości na ścinanie i ściśliwości gruntów gruboziarnistych
Dyspersyjność gruntu	metoda otworkowa, podwójne badanie areometryczne, badanie okruczowe, metoda rozmakania			grunty ilaste	określenie właściwości dyspersyjnych gruntów ilastych
Mrozoodporność	badanie wysadzinowości	$H_{kb}$ [m]		grunty, dla których możliwe jest pobranie próbki o nienaruszonej strukturze; grunty organiczne, grunty zasolone, grunty antropogeniczne, różnoziarniste grunty gruboziarniste	określenie wysadzinowości gruntów
Zawartość części organicznych	metoda chemiczna, metoda termiczna	$C_{OM}$ [%] $I_z$ [%]		grunty organiczne	klasyfikacja gruntów; identyfikacja gruntów o słabej nośności

Normy te są nadal powszechnie stosowane ze względu na ich długoletnią obecność w praktyce dokumentowania. Dodatkowo, przykłady innych zalecanych do stosowania metod są podane w załączniku „X.4.1” normy PN-EN 1997-2. Należy każdorazowo podawać normę odniesienia, według której jest wykonywane badanie.

#### 6.5. BADANIA CECH WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH GRUNTÓW

Jednym z głównym celów opracowywania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej jest wykonanie wiarygodnego modelu geologicznego wraz ze wskazaniem w tym modelu, które warstwy podłoża gruntowego są względnie „najsłabsze” i mogą powodować potencjalne ryzyko geologiczne dla przyszłego obiektu budowlanego.

Dla tych warstw w pierwszej kolejności powinny być zbadane w laboratorium właściwości fizyczno-mechaniczne, w szczególności parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe wraz cechami fizycznymi.

Próbki do badań z warstw gruntów powinny być wytypowane na podstawie syntezy informacji z wierceń, badań geofizycznych, sondowań geotechnicznych oraz na podstawie danych archiwalnych oraz danych i obserwacji istniejących obiektów budowlanych.

Badania właściwości mechanicznych należy wykonywać na podstawie zaleceń zawartych w normach PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2 wraz z zestawem odpowiednich specyfikacji technicznych PKN-CEN ISO/TS 17892 części 5–10, w których podano szczegółowe procedury badań.

Do właściwego zaprogramowania, wykonania i interpretacji badań właściwości mechanicznych gruntów lub skał jest niezbędna wiedza z zakresu mechaniki gruntów, mechaniki skał i hydrogeologii oraz dostęp do nowoczesnej aparatury badawczej i doświadczony personel laboratoryjny, który zazwyczaj zapewniają laboratoria z wdrożonym systemem zarządzania jakością.

Zakres badań laboratoryjnych powinien być odniesiony do warunków geologiczno-inżynierskich z uwzględnieniem kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego oraz stopnia skomplikowania warunków gruntowych. W normie PN-EN 1997-2 wymaga się wykonania badań laboratoryjnych do wyznaczenia parametrów wytrzymałościowych do obliczeń geotechnicznych (tab. 2.3 normy PN-EN 1997-2):

- wytrzymałość na ścinanie z odpływem (efektywna) ( $c', \varphi'$ );
- rezydualna wytrzymałość na ścinanie ( $c'_R, \varphi'_R$ );
- wytrzymałość na ścinanie bez odpływu ( $c_u$ ).

Badania laboratoryjne należy zaplanować w programie badań, który powinien być konsultowany z zespołem projektantów, w celu ustalenia, jakie parametry będą potrzebne do obliczeń projektowych. Powinno się także ustalić wymagane przez projektantów rodzaj parametrów geotechnicznych oraz zakresy naprężeń, dla których zostaną wyznaczone.

Badania właściwości mechanicznych należy przeprowadzić na próbkach reprezentatywnych dla danej warstwy, na próbkach gruntu A1. Zaleca się, żeby badania wykonywać jak najszybciej (bezwłocznie) od momentu pobrania próbek

gruntu. Próbki muszą być odpowiednio zabezpieczone przed zmianą wilgotności i struktury.

W normie PN-EN 1997-1 (pkt 3.3.6) zwrócono uwagę na wiele czynników, które należy wziąć pod uwagę podczas oceny wytrzymałości. Szczególnie ważne jest, żeby wartości efektywnych parametrów wytrzymałości na ścinanie  $c'$  i  $\tan \varphi'$  przyjmować w nawiązaniu do zakresu naprężeń, w którym zostały wyznaczone.

W normie PN-EN 1997-2 podzielono badania wytrzymałościowe na wskaźnikowe badania wytrzymałości gruntów (pkt 5.7) oraz na badania prowadzone w aparacie bezpośredniego ścinania i trójosiowego ściskania oraz innych (pkt 5.8).

Celem badań wskaźnikowych jest szybkie określenie wytrzymałości na ścinanie bez odpływu dla gruntów ilastych. W załączniku „O” normy PN-EN 1997-2 podano wykaz czynników, które powinny być kontrolowane w tych badaniach. Odpowiednie procedury badawcze zestawiono w specyfikacjach technicznych PKN-CEN ISO/TS 17892 części 6–8.

Badania wytrzymałościowe wykonuje się w celu określenia efektywnych parametrów wytrzymałościowych, a także w uzasadnionych przypadkach – całkowitych. Odpowiednie procedury badawcze zestawiono w specyfikacjach technicznych PKN-CEN ISO/TS 17892 części 9–10. W Załączniku „P” normy PN-EN 1997-2 podano wskazówki dotyczące minimalnej liczby badań dla jednej warstwy gruntu oraz minimalnej liczby badań w funkcji zmienności gruntu i istniejącego doświadczenia porównywalnego. W załączniku „A” zestawiono badania laboratoryjne oraz ich wyniki, które powinny być przedstawiane w dokumentacji badań podłoża

#### 6.6. BADANIA CECH ODKSZTAŁCENIOWYCH GRUNTÓW

W normie PN-EN 1997-2 wymaga się wykonania badań laboratoryjnych do wyznaczenia parametrów odkształceniowych do obliczeń geotechnicznych (tab. 2.3 normy PN-EN 1997-2):

- wskaźnik ściśliwości;
- moduł Younga (E);
- moduł edometryczny;
- współczynnik konsolidacji pierwotnej i wtórnej;
- moduł ścinania (G).

Badania ściśliwości zaleca się wykonywać ze skokowym przyrostem obciążenia osiowego. Alternatywnie badanie może być wykonane z ciągłym przyrostem obciążenia ze stałą prędkością odkształcenia, tzw. badanie konsolidometryczne.

Należy je przeprowadzić na próbkach gruntu A1. Informacje o procedurze, sposobie przedstawiania i ocenie wyników badania edometrycznego zawiera specyfikacja techniczna PKN-CEN ISO/TS 17892 część 5. Załącznik „Q” normy PN-EN 1997-2 zawiera natomiast wytyczne dotyczące minimalnej liczby próbek i badań dla jednej warstwy oraz dodatkowe informacje o badaniu i jego ocenie.

Badania edometryczne są stosunkowo proste, jednak należy je wykonywać ze szczególną uwagą, dotyczy to głównie zabezpieczenia próbki gruntu przed wysychaniem w czasie długotrwałego testu. Badania konsolidometryczne wymagają

natomiast skomplikowanej aparatury badawczej, np. komory Rowe'a-Bardena, oraz zestawu przetworników pomiarowych siły, odkształcenia i ciśnienia porowego. Zaletą badań konsolidometrycznych jest krótszy przebieg badania oraz kontrolowane możliwości zadawania obciążenia lub wymuszania odkształcenia.

Norma PN-EN 1997-2 w punkcie 5.9.3 odnosi się również do badania trójosiowej odkształcalności, którego celem jest określenie sztywności gruntu. W przypadku określania sztywności należy wyznaczyć charakterystykę jej zmiany wraz ze wzrostem odkształcenia osiowego lub postaciowego. W normie PN-EN 1997-2 zaleca się do określania sztywności poniżej 0,1% odkształcenia stosować specjalną aparaturę. W przypadku tradycyjnych komór trójosiowych nie jest to możliwe. Aby osiągnąć ten cel należy stosować specjalną aparaturę umożliwiającą pomiar naprężeń i odkształceń z wysoką dokładnością. Do tego typu aparatury zalicza się zmodyfikowaną komorę trójosiową z wewnętrznymi prętami, wyposażoną dodatkowo w przetworniki piezoceramiczne typu *bender element* i napróbkowe czujniki do pomiaru zmiany średnicy próbki oraz części wysokości próbek gruntu. Dobrze jest także określać zmiany sztywności w jeszcze bardziej skomplikowanej aparaturze, jak np. komora rezonansowa z dodatkowymi przetwornikami typu *bender element*, oscylator Hardina lub aparat skrętny dla próbek wydrążonych lub bez wydrążenia.

## 6.7. BADANIA PRZEPUSZCZALNOŚCI GRUNTÓW

Celem badań przepuszczalności gruntu jest wyznaczenie współczynnika filtracji dla przepływu wody w gruncie całkowicie nasyconym. W przypadku badania gruntów w stanie nienasyconym normy PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2 nie mają zastosowania – w ocenie właściwości filtracyjnych należy stosować metody mechaniki gruntów nienasyconych.

Ogólne wymagania dotyczące oceny wyników badań przepuszczalności zawiera norma PN-EN 1997-2 (pkt 5.11). Informacje odnośnie procedury, sposobu przedstawiania i oceny wyników badań przepuszczalności zawiera specyfikacja techniczna PKN-CEN ISO/TS 17892 część 11.

W normie PN-EN 1997-1 podkreślono, że pomiary przepuszczalności na małych próbkach laboratoryjnych mogą nie być reprezentatywne dla warunków *in situ*. W związku z tym zaleca się stosowanie badań terenowych. Badania przepuszczalności wykonuje się na próbkach A1 lub A2 oraz A3 i B3 w przypadku próbek rekonsolidowanych. Zaleca się, żeby gradienty hydrauliczne ( $i_0$ ) dla ilów i pyłów nie były większe niż 30, a dla piasków – nie mniejsze niż 10.

Zalecanym badaniem przepuszczalności w warunkach *in situ* dla gruntów słabo przepuszczalnych jest badanie wykorzystujące system BAT (rozdz. 5.7). Należy pamiętać, że za pomocą systemu BAT jest określany współczynnik przepuszczalności w kierunku poziomym. Dlatego też nie powinno utożsamiać się wartości współczynnika filtracji oznaczonego w kierunku poziomym z wartościami współczynnika filtracji z badań laboratoryjnych określonymi dla przepływu wody w kierunku pionowym. Wyjątek stanowi próbka grun-

tu odpowiednio umieszczona/zorientowana w metalowym pierścieniu permeometru, edometru lub konsolidometru.

W przypadku gruntów sypkich w warunkach *in situ* do badania przepuszczalności są stosowane metody hydrogeologiczne, takie np. zalewanie otworów lub próbne pompowanie (rozdz. 5.8).

Istotnym czynnikiem podczas wyznaczania współczynnika filtracji jest stan naprężeń efektywnych, przy których jest on określany. Wzrost naprężenia efektywnego powyżej wartości występującej *in situ* powoduje konsolidację gruntu, co skutkuje zmniejszeniem jego zdolności do przepuszczalności.

## 6.8. BADANIA ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW

W normie PN-EN 1997-2 wyróżniono następujące laboratoryjne badania zagęszczalności gruntów: badanie w aparacie Proctora oraz badanie kalifornijskiego wskaźnika nośności (CBR), które szczegółowo opisano w punkcie 5.10 tej normy. W załącznikach do Eurokodu 7 są przytoczone procedury wykonania badań zagęszczalności – standardy brytyjskie (BS), amerykańskie (ASTM) i francuskie (NF).

W polskich warunkach nie ma aktualnej normy do oznaczenia wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości szkieletu gruntowego metodą Proctora oraz kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR. Do 2015 r. aktualnymi normami były PN-B-04481:1988 oraz PN-S-02205:1998, które precyzują warunki wykonania wyżej wymienionych badań.

Badanie kalifornijskiego wskaźnika nośności pozwala na klasyfikację gruntów na podstawie nośności podłoża gruntowego  $G_i$ . Na podstawie otrzymanych wyników badane grunty przypisuje się do grup nośności podłoża G1–G4. Charakterystykę badań zagęszczalności gruntów przedstawiono w tabeli 36.

## 6.9. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI GEOMECHANICZNYCH SKAŁ

W normie PN-EN 1997-2 podano zalecenia dotyczące badań ośrodków skalnych do celów budowlanych. Podano wybrane metody badań polowych i laboratoryjnych oraz poboru próbek. Ich podstawą jest określenie parametrów skały, materiału skalnego i masywu skalnego. W normie PN-EN ISO 14689-1 podano zasady identyfikacji skał i masywu skalnego. Na ich podstawie, w połączeniu z wynikami badań terenowych oraz wytrzymałościowych próbek skały, możliwa jest kategoryzacja masywu skalnego na przykład wg: ISRM, Bieniawskiego (RMR), Bartona (Q) (Pinińska, 2001). W tabelicy A.1 normy PN-EN ISO 14689-1 podano nazwy najbardziej powszechnych rodzajów skał, w celu ułatwienia ich oznaczania do celów inżynierskich. Dla każdego typu skały podano genezę, skład petrograficzny, wymiary ziaren, strukturę i teksturę.

Badania wytrzymałościowe próbek skał są opisane w normie PN-EN 1997-2, w której przedstawiono pięć metod wyznaczania wytrzymałości skał:

- ściskanie jednoosiowe oraz badanie odkształcalności;
- badanie pod obciążeniem punktowym;

Tabela 36

## Charakterystyka badań zagęszczalności gruntów

Badanie	Parametr	Badania pomocnicze wykonywane w trakcie oznaczenia	Grunty/przedmiot badań	Uwagi
Badanie w aparacie Proctora Metoda I, II, III, IV	$w_{opt}$ $\rho_{dmax}$	skład granulometryczny	grunty drobno- i gruboziarniste	dla gruntów gruboziarnistych są preferowane metody II i IV; dla gruntów drobnoziarnistych zaleca się metody I oraz III; warunki zagęszczenia w aparacie powinny odpowiadać warunkom zagęszczenia nasypu w skali naturalnej
Badanie kalifornijskiego wskaźnika nośności (CBR)	CBR	skład granulometryczny $w_L$ , $w_p$ dla gruntów drobnoziarnistych; maksymalna gęstość szkieletu gruntowego $\rho_{dmax}$ ; wilgotność optymalna $w_{opt}$	grunty drobno- i gruboziarniste z zawartością ziaren >20 mm nie większej niż 20%	–

- badanie bezpośredniego ściskania;
- test wytrzymałości na rozciąganie (brazylijski);
- badanie trójosiowego ściskania.

Procedury badawcze dla każdej z powyższych metod opisano w załączniku „W” normy PN-EN 1997-2. Określono także, w odniesieniu do poszczególnych metod, zalecane minimalne liczby próbek do badań, gdyż właściwości skały mogą się różnić w dużym zakresie, w zależności od litologii, diagenety lub scementowania, historii naprężeń, wietrzenia oraz innych naturalnych procesów. Zróżnicowanie cech może często występować w obrębie jednej warstwy geologicznej. Ze względu na dużą zmienność parametrów materiału skalnego, należy oznaczyć gęstość objętościową każdej z przygotowanych próbek do badań wytrzymałościowych, a także wykonać badania ultradźwiękowe, w celu rozpoznania cech sprężystych i ewentualnie stref osłabień. Rozpoznanie tych cech będzie przydatne w ocenie jednorodności badanego materiału skalnego. Najczęściej jako minimalną liczbę próbek do badań danej cechy wytrzymałościowej przyjmuje się  $N = 5$  oznaczeń dla jednej warstwy.

W normie PN-EN 1997-2 określono wymagania dla badań wytrzymałościowych, które obejmują podanie następujących elementów:

- zasady wyboru próbek do badań;
- przygotowanie próbek;
- liczbę badań dla jednego utworu;
- parametry dodatkowo wymagane;
- metody badań.

Zgodnie z dobrą praktyką do badań wytrzymałościowych należy stosować próbki skał kategorii A. Ważne jest, żeby próbki kategorii A były zorientowane względem stropu i spągu warstw geologicznych oraz/lub dominujących kierunków nieciągłości. Wiarygodne określenie parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych skał można uzyskać tylko przez zastosowanie pras o dużej sztywności z pomiarem charakterystyk odkształcenia osiowego, obwodowego i objętościowego (Pinińska, 2017).

W wykonywaniu laboratoryjnych badań wytrzymałościowych próbek skał są także przydane zalecenia Międzynarodowego Towarzystwa Mechaniki Skał (ISRM) zestawione w publikacji „The ISRM Suggested Methods for Rock

Characterization, Testing and Monitoring: 2007–2014” (Ulusay red., 2015).

Do najczęściej oznaczanych parametrów należy wytrzymałość na ściskanie ( $R_c$ ), którą opisano także w krajowych normach: PN-EN 1926:2007 – Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie jednoosiowej wytrzymałości na ściskanie; PN-G-04303:1997 – Skały zwięzłe. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie z użyciem próbek foremnych; PN-G-04307:1998 – Skały zwięzłe. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie z użyciem próbek nieforemnych.

W pracach dokumentacyjnych dotyczących podłoża skalnego wskazane jest korzystanie ze specjalistycznych monografii regionalnych i tematycznych, np. „Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał” (opracowanych przez Zakład Geomechaniki Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego dla różnych regionów Polski) oraz z zaleceń ujętych w obszernym opracowaniu dotyczącym projektowania i budowy tuneli (Tajduś i in., 2012). Wiele informacji jest zawartych w monografii Kidybińskiego (1982).

#### 6.10. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNYCH GRUNTÓW I SKAŁ

Badania laboratoryjne właściwości cieplnych nie są rekomendowane przez Eurokod 7, jednak, mając na uwadze dynamiczny rozwój technologii Odnawialnych Źródeł Energii (OZE), należy zwrócić uwagę na dokumentowanie warunków pozyskiwania zmagazynowanego w masywie gruntowo-skalnym ciepła ziemi (geotermia niskotemperaturowa).

W laboratorium wyznacza się przewodność cieplną (przewodnictwo cieplne, współczynnik przewodzenia ciepła, współczynnik przewodności cieplnej, współczynnik przewodnictwa cieplnego) – symbol  $\lambda$  [ $W/m \cdot K$ ]. Przewodność cieplna jest wielkością charakterystyczną substancji w danym stanie skupienia. Dla substancji niejednorodnych – gruntów i skał, jest zależna m.in. od litologii oraz wilgotności.

Do oznaczania przewodności cieplnej gruntów i skał jedną z najczęściej stosowanych metod jest badanie za pomocą igły termicznej (rys. 40). Badanie polega na czasowym nagrzewaniu próbki za pomocą źródła ciepła w postaci igły

(rys. 41). Igła jest wyposażona w bardzo czuły termometr, który wykonuje pomiary zmian temperatury w badanej próbce.

## 6.11. BADANIA SKŁADU CHEMICZNEGO GRUNTU, SKAŁY I WODY GRUNTOWEJ

### 6.11.1. Badania chemiczne gruntu i skały

Typowe badania chemiczne wykonywane w laboratoriach gruntoznawczych są zwykle ograniczone do określenia zawartości części organicznych (straty przy prażeniu, ogólnej zawartości części organicznych, składu), zawartości węglanów i siarczanów, wartości pH (kwasowości lub zasadowości) oraz zawartości chlorków.

Podstawową metodą określania zawartości części organicznych, zalecaną przez normę PN-EN 1997-2, jest wyliczenie ich zawartości ze straty masy gruntu powstałej w wyniku prażenia. Metoda ta, stosowana powszechnie w laboratoriach badań gruntów, obarczona jest wieloma błędami i ograniczeniami – powinna być stosowana tylko dla gruntów z małą ilością (lub w ogóle bez) frakcji ilowej. W normie PN-EN 1997-2 są także dopuszczone inne metody oznaczania zawartości części organicznych, m.in. metoda polegająca na utlenianiu ich nadtlenkiem wodoru (wodą utlenioną –  $H_2O_2$ ). Nie można jej stosować w przypadku gruntów o zawartości części organicznych  $I_{om} > 10\%$ , lub gdy badany grunt zawiera makroskopowo nierozłożone części drewna, roślin itp. W takich przypadkach stosuje się prażenie lub praktykowaną w wielu laboratoriach i uznawaną za uniwersalną metodę Tiurina, polegającą na określeniu ilości węgla organicznego z substancji organicznej przez utlenienie go dwuchromianem potasu.

Specyficzne badania chemiczne gruntów (wytypowanych na podstawie analiz materiałów archiwalnych i literatury) powinny obejmować także oznaczenie substancji o silnej agresywności chemicznej, które oddziałują szkodliwie na beton, stal, grunt i występują naturalnie lub zostały wprowadzone do środowiska w wyniku działalności prowadzonej na danym obszarze (pochodzą ze zrzutu ścieków przemysłowych

i wód kopalnianych, z odcieków składowisk odpadów i terenów przemysłowych, ze spływów od szlaków komunikacyjnych oraz spływów powierzchniowych).

#### 6.11.1.1. Związki występujące naturalnie

Spośród związków naturalnych mogących negatywnie oddziaływać na konstrukcje budowlane należy wymienić sole nieorganiczne i kwasy organiczne.

Sole  $Mg^{2+}$  powodują wydzielenie mazistego  $Mg(OH)_2$ , który nie ma właściwości wiążących i niszczy beton. Podobne jest działanie soli  $NH_4^+$ , prowadzące do wydzielania amoniaku.

Do szkodliwych kwasów organicznych zaliczają się kwasy octowy i mlekowy oraz kwasy humusowe gleb. Działanie kwasów organicznych na beton, podobnie jak kwasów nieorganicznych, polega na reagowaniu z wodorotlenkiem wapniowym, a częściowo także ze związkami glinu. Wytworzony przez bakterie kwas octowy, należący do mocnych kwasów organicznych, reaguje z wolnym wapnem, tworząc rozpuszczalny octan wapniowy, prowadzący do ubytku wapna. Dlatego agresywne są nawet roztwory znacznie rozcieńczone. Inne kwasy karboksylowe (np. kwas oleinowy lub stearynowy) reagują z  $Ca(OH)_2$ , tworząc miękkie nierozpuszczalne mydła wapniowe (oleinian lub stearynian wapniowy). Jeśli dopływ tych kwasów jest duży, to po wyczerpaniu się w tworzywie cementowym  $Ca(OH)_2$  może dojść do rozkładu krzemianów wapniowych z wytrąceniem żelu krzemianowego i dalszym powstawaniem mydeł wapniowych. W konsekwencji prowadzi to do rozmiękczenia lub spękania betonu (Błaszczński, 1995).

#### 6.11.1.2. Związki wprowadzone do środowiska (pochodzące ze źródeł antropogenicznych)

Wykaz chemicznych substancji o silnej agresji obejmuje benzynę, paliwa lotnicze, ropę naftową, oleje, benzen, alkohole, etery glikolowe, halogenopochodne węglowodorów aromatycznych i alifatycznych, organiczne estry i ketony,



Rys. 40. Igła termiczna z zestawem wymiennych końcówek pomiarowych dostosowanych do różnych materiałów (skały, grunty, mieszanki do iniekcji otworów itd.). Fot. A. Łukawska



Rys. 41. Badanie igłą termiczną próbek mieszanek do iniekcji otworowych wymienników ciepła. Fot. A. Łukawska

roztwory wodne kwasów organicznych o stężeniu do 10% (z wyjątkiem kwasu mrówkowego), ich sole (w roztworze wodnym), kwasy nieorganiczne o stężeniu do 20% i hydrolizujące sole o odczynie kwaśnym w roztworze wodnym (z wyjątkiem kwasu fluorowodorowego i kwasów utleniających oraz ich soli), zasady nieorganiczne i ich hydrolizujące sole o odczynie zasadowym w roztworze wodnym ( $\text{pH} > 8$ ) (z wyjątkiem roztworów soli amonowych i roztworów soli utleniających), roztwory nieorganicznych soli nieutleniających, aminy i ich sole, roztwory wodne środków powierzchniowo czynnych oraz etery (PN-EN 13529). Substancje te oddziałują niszcząco na beton i powodują korozję stali (Jaroszyńska-Wolińska, 2011). Poniżej scharakteryzowano oddziaływanie niektórych związków wprowadzonych do środowiska jako skutki działalności gospodarczej.

**Alkalia (ług sodowy i potasowy).** Alkalia z zanieczyszczonego gruntu wchodzi w reakcje z krzemionką, w wyniku czego powstaje żel, który absorbuje wodę i powoduje pękanie betonu (Owsiak, 2015). Reakcja alkaliów z kruszywem w betonie jest dużym zagrożeniem dla trwałości, zwłaszcza betonowych budowli wodnych oraz nawierzchni i infrastruktury drogowej, a skutki tej szkodliwej reakcji mogą pojawić się już po kilku latach od zakończenia budowy obiektu.

Uszkodzenia elementów konstrukcji betonowych spowodowane reakcją alkaliów z kruszywem mają różne formy, najczęściej występują powierzchniowe pęknięcia, czasami dochodzi do wypływania żelu na odsłoniętej powierzchni. Pierwsze uszkodzenia w postaci pęknięć powstają w przedziale od kilku miesięcy do kilku lat po zakończeniu budowy. Reakcja alkaliów z kruszywem jest jedną z głównych przyczyn destrukcji betonu i wymaga podejmowania działań minimalizujących jej następstwa. Typowymi objawami tej reakcji są bezładnie rozmieszczone spękania.

**Kwasy nieorganiczne.** Korozję betonu i stali powodują kwasy nieorganiczne:  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  i słaby kwas siarkowodorowy  $\text{H}_2\text{S}$ . Roztwory kwasu siarkowego oprócz korozji kwasowej wywołują korozję siarczanową, charakteryzującą się tworzeniem uwodnionych siarczanów o zwiększonej objętości, co wywołuje ekspansję materiału i rozsądzanie.

**Związki chlorowe.** Niszczące działanie składników betonu oraz korozję stali mogą powodować związki chlorowe (chlorki, nadchloryny, podchloryny, chlorany, chlorowódor). Źródłem chlorków mogą być zrzuty wód kopalnianych, woda morska i środki zimowego odładzania. Inne związki chloru pochodzą ze środków dezynfekcyjnych, piorących, wybielających i ścieków przemysłowych. Obecność jonów chlorkowych prowadzi do obniżenia  $\text{pH}$  i powstania związków powodujących pękanie betonu i korozję stali zbrojeniowej.

**Węglowodory.** Ropa i jej pochodne to przede wszystkim węglowodory, które zawierają też związki siarki i metali ciężkich. Całkowicie niszczą one strukturę koloidalną gruntu, zaburzając jego fizyczne właściwości pierwotne (zwięzłość, plastyczność, lepkość) i wtórne (właściwości wodne, powietrzne i ciepłne). Pod wpływem zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi następuje spadek gęstości objętościowej gleby, a w konsekwencji zmieniają się porowatość i właściwości wytrzymałościowe. Obecność substancji ropo-

pochodnych w porach wpływa też na obniżenie plastyczności gleby i przekształcenie jej konsystencji w bardziej płynną (Izdebska-Mucha, 2005). Najbardziej szkodliwymi węglowodarami są oleje mineralne zanieczyszczające nie tylko teren obiektów związanych z wydobyciem ropy naftowej (np. wieże wiertnicze), lecz także terminale towarowych odpraw celnych, zajezdnie taboru transportowego, fundamenty pod maszyny itp. Beton obniża swoje fizykomechaniczne właściwości w wyniku wchłaniania oleju. Zmiany wytrzymałości zastosowanego betonu i spadki przyczepności pomiędzy nim a prętami zbrojeniowymi mają pierwszorzędne znaczenie i prowadzą do poważnych awarii (Bastian red., 1991). Z upływem czasu w konstrukcjach pojawiają się uszkodzenia w postaci rys i pęknięć. Czynnikiem powodującymi chemiczny mechanizm niszczenia struktury betonu w środowisku produktów ropopochodnych są:

- obniżenie wartości  $\text{pH}$  środowiska olejowo-wodnego w wyniku rozwoju bakterii tlenowych i siarkowych;
- działanie kwasów organicznych produkowanych przez bakterie tlenowe (kwas octowy) oraz pozostałości po rafinacji ropy naftowej lub powstałe w wyniku eksploatacji jej produktów (oleje maszynowe);
- wodny roztwór siarkowodoru produkowany przez bakterie beztlenowe;
- kwas siarkowy produkowany przez bakterie siarkowe;
- siarka i jej związki zawarte w ropie naftowej i w jej produktach.

W efekcie mamy do czynienia z dwoma rodzajami chemicznego mechanizmu zniszczenia: ogólnokwasowym (obniżenie  $\text{pH}$  środowiska wodno-olejowego przez kwasy organiczne) i siarkowym (siarka i jej związki).

Zaleca się, żeby wszystkie badania chemiczne gruntów zanieczyszczonych były przeprowadzane przez laboratoria chemiczne lub laboratoria badań gruntów, które mają odpowiednią aparaturę i wdrożony system zarządzania jakością. Grunty te mogą wymagać zastosowania niestandardowych procedur, ze względu na potencjalne reakcje jakie mogą wystąpić między stosowanymi odczynnikami a zanieczyszczeniami.

### 6.11.2. Badania chemiczne wody gruntowej

Według normy PN-EN 1997-2 przy projektowaniu i wykonawstwie obiektów obowiązkowa jest ocena składu chemicznego wód podziemnych. Wymagane jest także określenie trwałości stosowanych materiałów, m.in. przez ustalenie czynników agresywnych w wodach podziemnych (PN-EN 1997-2). Wykonanie analizy fizykochemicznej wody może być konieczne również w celu uzyskania niezbędnych danych do obliczeń oddziaływań, np. ciężar właściwy roztworów wodnych, stężeń poszczególnych związków chemicznych, obecności zanieczyszczeń.

Zakres analiz laboratoryjnych należy zawsze dostosowywać do rodzaju inwestycji i specyfiki jej oddziaływania na środowisko gruntowo-wodne. Typowy zakres badań obejmuje zazwyczaj podstawowe wskaźniki fizyczne, parametry umożliwiające ocenę stopnia agresywności oraz najbardziej

charakterystyczne wskaźniki zanieczyszczeń, dobrane indywidualnie dla konkretnego przypadku.

Podstawowy zakres analizy laboratoryjnej wody, który powinien być wykonywany w każdym przypadku, obejmuje:

- wskaźniki fizyczne: przewodność elektryczna właściwa, odczyn, zapach;
- wskaźniki nieorganiczne: chlorki, siarczany, azotany, jon amonowy, magnez, dwutlenek węgla agresywny;
- wskaźniki organiczne: ogólny węgiel organiczny.

Zakres rozszerzony należy dostosować do specyfiki miejsca, uwzględniając m.in. kierunek spływu wód podziemnych i obecność ujęć zbiorowego zaopatrzenia w wodę, tak żeby osiągnąć zamierzony cel. W przypadku inwestycji liniowych lub innych, które mogą potencjalnie negatywnie oddziaływać na wody podziemne należy rozszerzyć analizę o:

- wskaźniki fizyczne: utlenialność;

- wskaźniki nieorganiczne: azotyny, wodorowęglany, sól, potas, wapń, fosfor ogólny, fluorki, żelazo ogólne, mangan;
- metale ciężkie: ołów, kadm, cynk, chrom, kadm, kobalt oraz bor;
- wskaźniki organiczne: suma węglowodorów ropopochodnych (TPH), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), lotne węglowodory aromatyczne (BTEX), fenole;
- detergenty.

W standardowym dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim nie przewiduje się dodatkowych badań laboratoryjnych wód powierzchniowych i osadów dennych oraz wód podziemnych (np. analiz bakteriologicznych lub izotopowych). Konieczność ich wykonania powinna być szczegółowo uzasadniona i ograniczać się do wyjątkowych sytuacji (Rodzoch i in., 2006).

## 7. SPORZĄDZANIE MODELU GEOLOGICZNEGO

### 7.1. TYPY MODELI GEOLOGICZNYCH

Jednym z pierwszych etapów projektowania inwestycji powinno być ustalenie modelu geologiczno-inżynierskiego. Według roboczej definicji komisji C25 IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment) pod pojęciem modelu geologiczno-inżynierskiego należy rozumieć *aproxymację rzeczywistości stworzonej na potrzeby rozwiązania problemu* (Parry i in., 2014). Model ten należy uszczegóławiać na każdym kolejnym etapie realizacji projektu, uzyskując coraz dokładniejszy i prawdziwszy obraz podłoża (rys. 42). Kolejno sporządzane przekroje różnią się między sobą nie tylko liczbą danych zebranych na poszczególnych etapach projektowania, lecz także sposobem ich interpretacji.

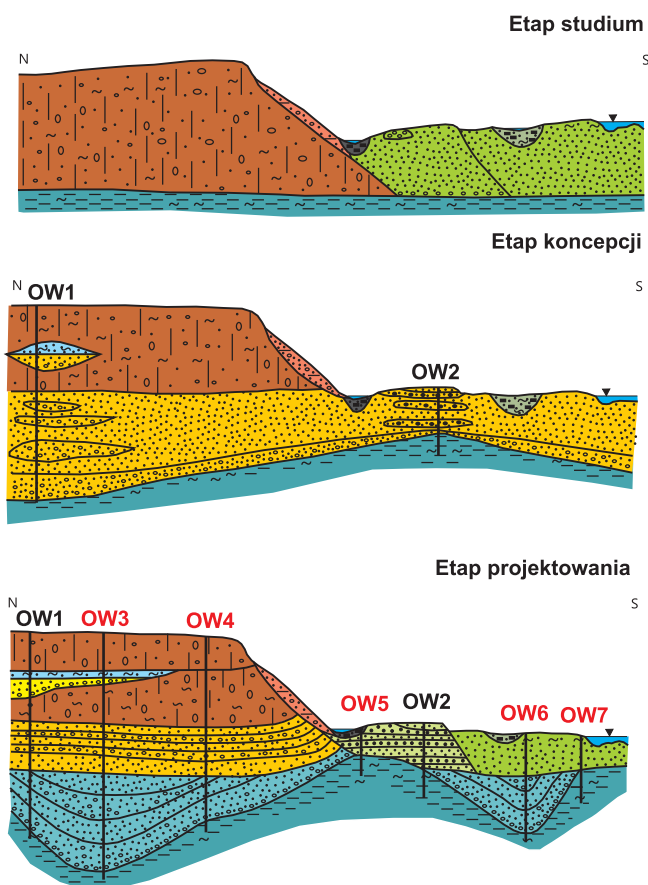
Zgodnie z najnowszym podejściem do konstruowania modeli geologiczno-inżynierskich, potwierdzonym przez IAEG, należy wyróżnić trzy typy modeli: konceptualny, obserwacyjny oraz analityczny.

W odniesieniu do załącznika „B” normy PN-EN 1997-2 model konceptualny to ogólne dane wejściowe o geologii jakie gromadzimy jeszcze przed rozpoczęciem właściwego projektowania geotechnicznego na podstawie materiałów archiwalnych. Model obserwacyjny odpowiada zakresem modelowi geologicznemu, konstruowanemu na podstawie badań polowych i laboratoryjnych, zaś model analityczny zawiera elementy modelu geotechnicznego (obliczeniowego), w którym parametry podlegają ocenie pod kątem możliwości wystąpienia stanów granicznych (z uwzględnieniem współczynników częściowych). Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę trzech typów modeli (Parry i in., 2014).

**Model konceptualny.** To pierwszy typ modelu powstający już na etapie planowania inwestycji, opracowywany z istniejących informacji archiwalnych, osadzony w ogólnym kontekście geologii regionalnej. Model taki charakteryzuje się stosunkowo wysokim stopniem niepewności, co jest bezpośrednio związane z rodzajem i liczbą istniejących danych i w znacznym stopniu zależy od wiedzy i doświadczenia opracowujących go osób (rys. 43). W przypadku gdy jest prawidłowo wykonany, stanowi świetne narzędzie do przedstawiania informacji o warunkach na obszarze przeznaczonym pod inwestycję już na wczesnym etapie jej realizacji. Model taki powinien w szczególności dostarczać informacji, czego można się spodziewać na terenie przeznaczonym pod inwestycję, powinien zatem być określony w zasadzie na samym początku realizacji projektu, jeszcze przed rozpoczęciem prac projektowych. Główne elementy, jakie w modelu konceptualnym powinny być zdefiniowane, to:

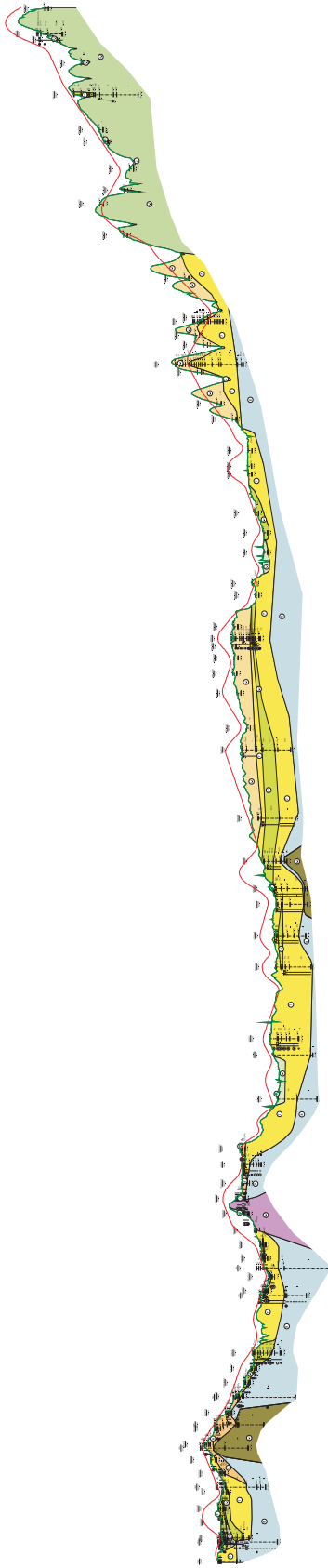
- jednostki geologiczne, ich wzajemny układ i jakościowe zróżnicowanie właściwości fizyczno-mechanicznych;
- obecny i przeszły stan naprężeń;
- procesy środowiskowe i klimatyczne, jakie mogą wpłynąć na zmianę właściwości podłoża;
- zagrożenia geologiczne, które mogą wpłynąć na warunki w podłożu i w otoczeniu inwestycji.

**Model obserwacyjny.** To model tworzony z reguły na podstawie informacji uzyskanych bezpośrednio z badań podłoża na obszarze przeznaczonym pod inwestycję, zaprojektowanych na podstawie modelu konceptualnego. Model ma zastosowanie już na etapie projektowania inwestycji i jest ograniczony tylko danymi uzyskanymi (pomierzonymi) bezpośrednio w obrębie terenu inwestycji (rys. 44, 45). Zawiera nie tylko informacje na temat budowy geologicznej terenu,



Rys. 42. Modele budowy geologicznej sporządzone na różnych etapach dokumentowania podłoża (Kowalski, 1988)





Odcinek od [km] do [km]	Długość [km]	Rodzaj gruntów w podłożu	Warstwa geologiczna	Warunki wodne	Grupa nośności podłoża*	Warunki geologiczno-inżynierskie	Podsumowanie warunków
0+000	0+220	Ps	7	przećiętne	G1	przećiętne - 0 kategoria terenów górniczych	<b>G1 = 45,6%</b> <b>G2 = 0%</b> <b>G3 = 32,4%</b> <b>G4 = 3,4%</b> <b>Slab. = 18,6</b>
0+220	2+080	G <sub>π</sub> , T, Nm, NN	5,2 (2) (1)	przećiętne	slabonośne	zle - 0 kategoria terenów górniczych	
2+080	2+735	Ps	7	dobrze	G1	przećiętne - 0 kategoria terenów górniczych (możliwe wstrząsy górnicze)	
2+735	4+160	Pg, Gp+Ż	6	dobrze	G3	przećiętne - 0 kategoria terenów górniczych (możliwe wstrząsy górnicze)	
4+160	5+565	II, G <sub>π</sub> , G <sub>πz</sub>	5,2	dobrze	slabonośne	zle - 0 kategoria terenów górniczych	
5+565	6+815	Ps	7	dobrze	G1	przećiętne - 0 kategoria terenów górniczych (możliwe wstrząsy górnicze)	
6+815	7+440	Pd+H, Nm	2	dobrze	slabonośne	zle I bardzo zle (szkody górnicze)	
7+440	8+490	Ps	7	dobrze	G1	zle I bardzo zle (szkody górnicze)	
8+490	9+250	w, KR, Ps+Ż	10,2 (4,2)	dobrze	G1	zle I bardzo zle (szkody górnicze)	
9+250	9+350	Nm	2	dobrze	slabonośne	zle I bardzo zle (szkody górnicze)	
9+350	10+700	Gp, G <sub>πz</sub>	6	przećiętne	G4	zle I bardzo zle (szkody górnicze)	
11+680	12+900	Ps	7	przećiętne	G1	zle (szkody górnicze)	
10+700	11+680	NN, Nm, Ps	1, 5, 1	dobrze	slabonośne	zle (szkody górnicze)	
12+900	17+500	Ps	7	dobrze	G1	zle (szkody górnicze)	
17+500	18+300	Ps+G	5,2	dobrze	G3	przećiętne - 0 kategoria terenów górniczych (możliwe wstrząsy górnicze)	
18+300	24+400	II	3,2	dobrze	G3	przećiętne (grunty wyszczelnione)	
24+400	25+250	Ps+G	7	dobrze	G1	zle I bardzo zle (szkody górnicze)	
25+250	26+120	Ps+Nm	5,1	przećiętne	slabonośne	zle I bardzo zle (szkody górnicze)	
26+120	27+520	II, I	5,2	przećiętne	slabonośne	zle (0 kategoria terenów górniczych, tereny zagrożone podtopieniami)	
27+520	28+900	Ps+G	7	dobrze	G1	zle (0 kategoria terenów górniczych, tereny zagrożone podtopieniami)	
28+900	33+450	II	3,2 (2)	dobrze	G3	przećiętne (lokalnie w dolinach grunty slabonośne)	
33+450	39+734	I, m, p-c	10,2 (2) (5,2)	dobrze	G1	bardzo zle (obszary zagrożone występowaniem osuwisk, lokalnie w dolinach grunty slabonośne)	

\* wg definicji GDDKiA (Zarządzenie nr. 30, 2014)

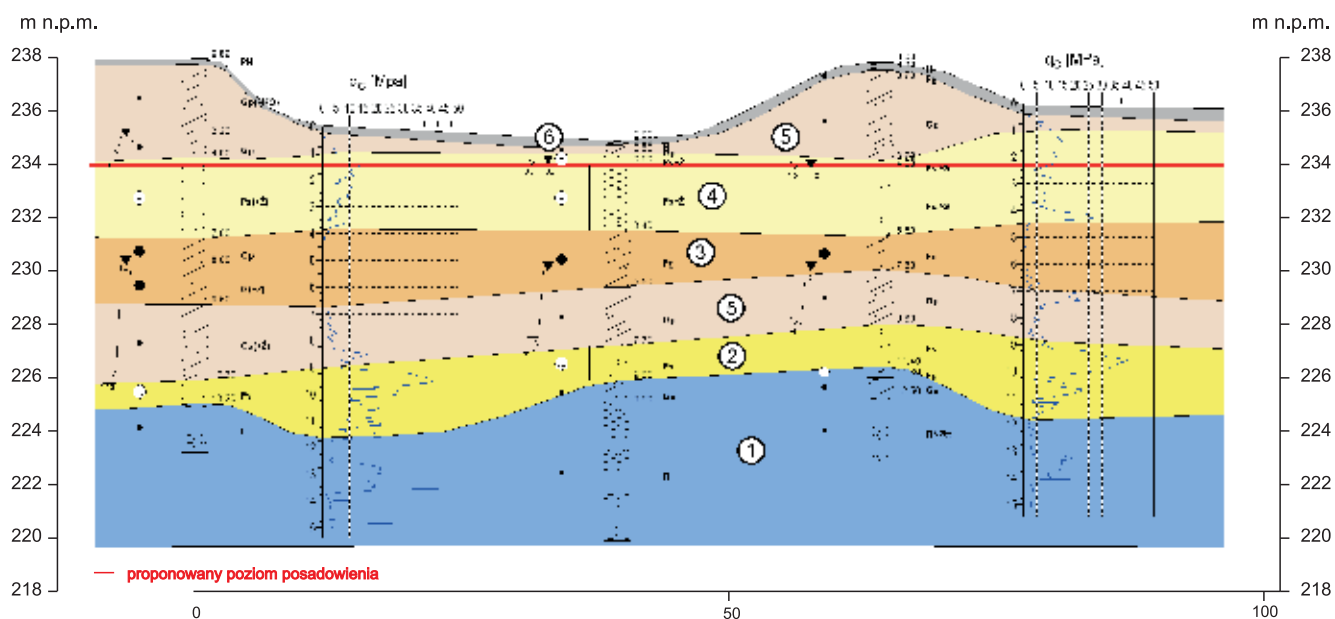
Rys. 43. Model koncepcyjny 2D na podstawie materiałów archiwalnych opracowany w ramach studium geologiczno-inżynierskiego dla inwestycji drogowej (dane PIG-PIB)

lecz także prognozę zmian warunków geologiczno-inżynierskich w wyniku realizacji inwestycji. W modelu tym główny nacisk kładzie się na charakterystykę problemów inżynierskich związanych z budową i eksploatacją obiektu. Są one co prawda zidentyfikowane na etapie modelu conceptualnego, ale stan wiedzy o nich jest ogólny. W dalszym ciągu rzetelność modelu jest ściśle uzależniona od wiedzy i doświadczenia osób zaangażowanych w jego tworzenie. Weryfikacja i doskonalenie tego modelu powinny zachodzić później, na etapie budowy. Konstruowanie tego modelu przebiega w dwóch etapach:

- wydzielenie jednostek (serii) geologiczno-inżynierskich o podobnej charakterystyce;

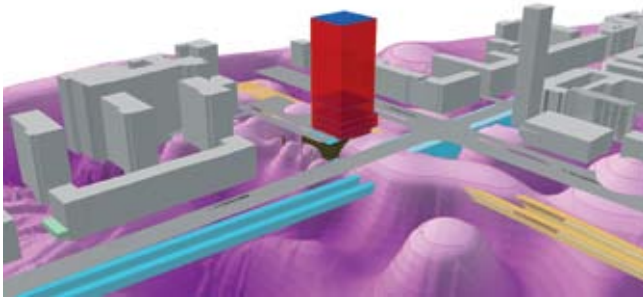
- interpretacja uzyskanych danych, począwszy od danych otworowych, skończywszy na interpretacji ciągłej warunków w podłożu (*mapping*).

**Model analityczny.** Model ten jest wykorzystywany do interpretacji i przewidywania zachowania się podłoża pod obciążeniem konstrukcją – innymi słowy jest to model przygotowany do obliczeń geotechnicznych. Modele analityczne mogą przedstawiać opcjonalne rozwiązania w zależności od oceny podłoża oraz konkretnego rozwiązania konstrukcyjnego i przyjętego modelu obliczeniowego (rys. 46). Parametry geotechniczne wykorzystywane do analiz, takie jak wytrzymałość na ścinanie, przepuszczalność czy moduły odkształcenia powinny być w tym modelu odpowiednio zgeneralizowane



Warstwa geologiczno-inżynierska	Litologia wg PN-B-02480:1986	Wartości wyprowadzone parametrów geotechnicznych wg normy PN-EN 1997-2:2009									
		Litologia wg PN-EN ISO 14688-1:2006	Geneza wg załącznika krajowego do PN-EN ISO 14688-2:2006	Wartość oporu zagłębienia stożka $q_c$ [MPa]	Stan gruntu $I_p/I_c$ [-]	Współczynnik filtracji $k$ [m/s]	Gęstość objętościowa gruntu $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Efektywny kąt tarcia wewnętrzznego $\varphi$ [°]	Spójność $c$ [kPa]	Wytrzymałość na ścinanie bez drenażu $c_u$ [kPa]	Moduł edometryczny $E_{oed}$ [MPa]
6	NN	clsMg	Mg	1-5	0,8-0,9	$10^{-5}$ - $10^{-4}$	1,8-2,0	20-22	1-2	40-60	20-40
5	Gp+KO	saClco	GL <sub>M</sub>	3-5	0,8-0,9	$10^{-6}$ - $10^{-5}$	2,1-2,2	33-35	2-3	80-120	40-60
4	Ps+Ż	MSagr	GL <sub>F</sub>	15-26	0,5-0,6	$10^{-3}$ - $10^{-2}$	1,8-1,9	33-35	-	-	100-120
3	Pg, Gp, G, G $\pi$	clSa, saCl, siCl	GL <sub>M</sub>	1-3	0,7-0,8	$10^{-6}$ - $10^{-5}$	2,1-2,2	18-20	2-4	40-60	30-50
2	Ps+Ż	MSagr	GL <sub>F</sub>	20-40	0,7-0,8	$10^{-3}$ - $10^{-2}$	1,8-1,9	38-40	-	-	150-200
1	Pg, $\Pi$ , G $\pi$	clSa, Si, siCl	GL <sub>H</sub>	3-15	0,9-1,0	$10^{-7}$ - $10^{-6}$	2,0-2,1	24-26	5-3	60-80	40-60

Rys. 44. Model obserwacyjny 2D opracowany w ramach projektu budowlanego dla obiektu inżynierskiego (dane PIG-PIB)



Rys. 45. Model obserwacyjny 3D opracowany w ramach projektu budowlanego dla obiektu inżynierskiego w gęstej zabudowie (dane PIG-PIB)

z uwzględnieniem współczynników częściowych, ale bliskie rzeczywistym odwzorowujące jednak charakter rozkładu parametrów i ich wpływ na wystąpienie stanu granicznego.

Na każdym etapie projektowania inwestycji należy pamiętać, że wszystkie przedstawione modele powinny być zawsze traktowane jako przybliżenia, a nie dokładne odbicie rzeczywistości. W związku z tym charakterystyka dokumentowanego terenu jest zawsze obciążona niepewnością, a celem dokumentatora jest minimalizowanie niepewności rozpoznania podłoża.

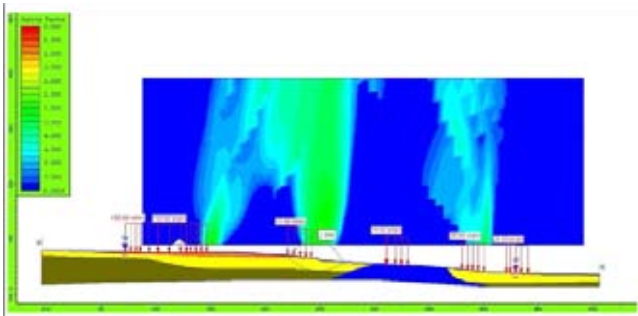
Model konceptualny, obserwacyjny, czy analityczny może być jednowymiarowy (karty otworów i sondowań), dwuwymiarowy (przekroje i mapy), trójwymiarowy (modele przestrzenne) lub czterowymiarowy (rys. 47).

### 7.2. ZASADY WYDZIELANIA WARSTW GRUNTÓW I SKAŁ ORAZ ICH CHARAKTERYSTYKA

Norma PN-EN 1997-2 w rozdziale 2.4.2.1 wskazuje, że wydzielenie warstw powinno być uzależnione od złożoności warunków geotechnicznych, lokalnych warunków geologicznych i parametrów wymaganych do projektowania, zaś w rozdziale 6.3, że ocenę informacji geotechnicznej należy udokumentować i ująć w niej:

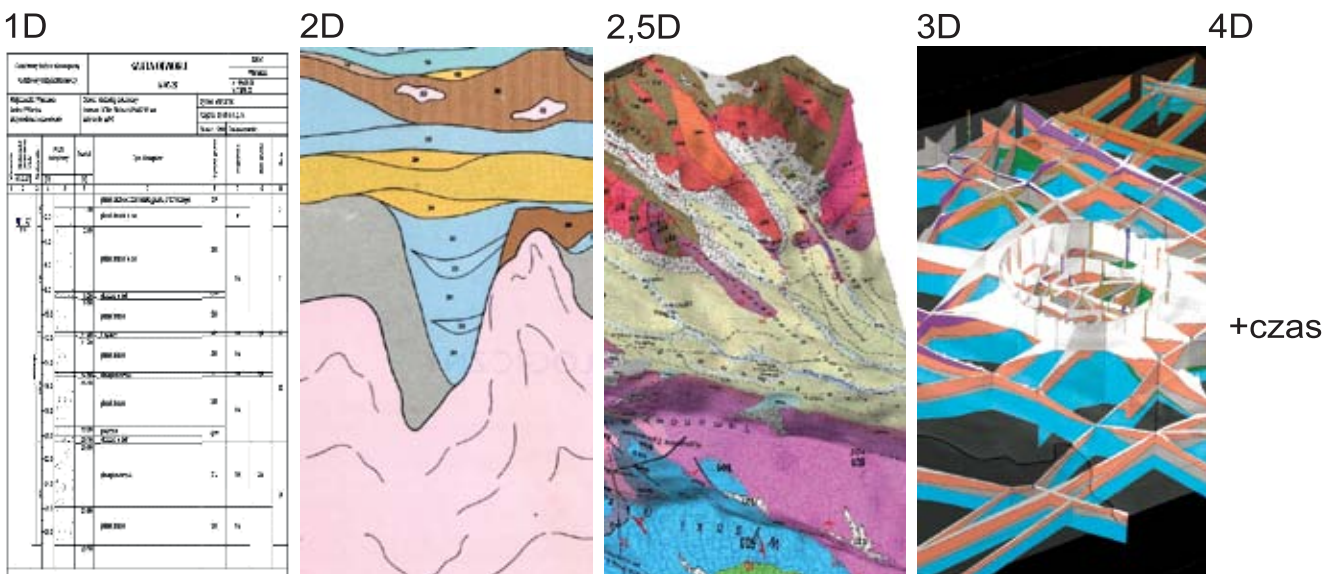
- opis geometrii warstw;
- szczegółowy opis wszystkich warstw, łącznie z ich właściwościami fizycznymi oraz charakterystyką odkształcenową i wytrzymałościową, odnosząc się do wyników badań;
- uwagi w sprawie nieregularności, takich jak: zapadliska (pustki) i strefy nieciągłości materiału, a także dalszy podział warstw, przyjęty na podstawie prac kameralnych i wizji lokalnych, który został ponownie rozpatrzony w świetle uzyskanych wyników.

Norma PN-EN 1997-2 zaleca, żeby wyniki badań przedstawić na przekroju geologiczno-inżynierskim, pokazując



	$E_{ref}$ (MPa)	$E_{oed}$ (MPa)	$n$ (-)	$g$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'/c_u$ (kPa)	$j$ (°)	$j'$ (°)	Kolor
Nasyp z łupka czarnego	80	100	0,27	18,0	10/-	35	5	Żółty
Gлина pylasta (M1)	3,6	5	0,31	20,5	-/60	-	-	Brązowy
Torf, namul (O)	0,23	0,5	0,40	12,0	-/30	-	-	Siwy
Piasek (P1)	27,4	35	0,28	18,0	0/-	32	2	Żółty
Piasek (P2)	45,8	55	0,25	19,0	0/-	35	5	Żółty
Kolumny kamienne	100	120	0,25	18,0	0/-	38	8	Brązowy

Rys. 46. Model analityczny 2D opracowany w ramach projektu budowlanego dla obiektu inżynierskiego (dane PIG-PIB)



Rys. 47. Formy prezentacji modelu geologicznego

warstwy, ich granice oraz położenie zwierciadła wody gruntowej. Dokumentacja powinna zawierać także wartości parametrów geotechnicznych dla każdej warstwy.

Norma PN-EN 1997-2 podaje również zalecenia odnośnie uśredniania i łączenia warstw, identyfikowania stref osłabienia oraz zastosowanego rodzaju interpolacji między punktami dokumentacyjnymi.

Zasadą wydzielenia warstw gruntów i skał powinno być (na podstawie Wysokiński, 1990, PN-EN 1997-2):

- wydzielenie warstw gruntów i skał tego samego wieku (wydzielenia stratygraficzne) – kompleks stratygraficzny;
- w obrębie warstw stratygraficznych, wydzielenie warstw gruntów i skał tej samej genezy (wydzielenia genetyczne) – seria genetyczna;
- w obrębie warstw genetycznych, wydzielenie warstw gruntów i skał tego samego rodzaju (wydzielenia litologiczne) – warstwa litologiczna;
- w obrębie warstw litologicznych, wydzielenie warstw gruntów i skał o podobnych wartościach wyników badań polowych i laboratoryjnych oraz wyprowadzonych i ich zmienności (wydzielenia fizyczno-mechaniczne) – warstwa geologiczno-inżynierska;
- w obrębie warstw fizyczno-mechanicznych, wydzielenie warstw gruntów i skał problematycznych, które mogą stanowić zagrożenie dla obiektu budowlanego (wydzielenia problematyczne) – strefy zagrożeń.

Sposób wydzielenia warstw zilustrowano na rysunku 48.

Wydzielone warstwy gruntów i skał przedstawia się w karcie wiercenia, na przekroju geologicznym (2D) lub modelu 3D. Na przekroju geologicznym i/lub na modelu geologicznym zaznacza się granice warstw oraz wyniki badań i wartości wyprowadzonych parametrów geotechnicznych.

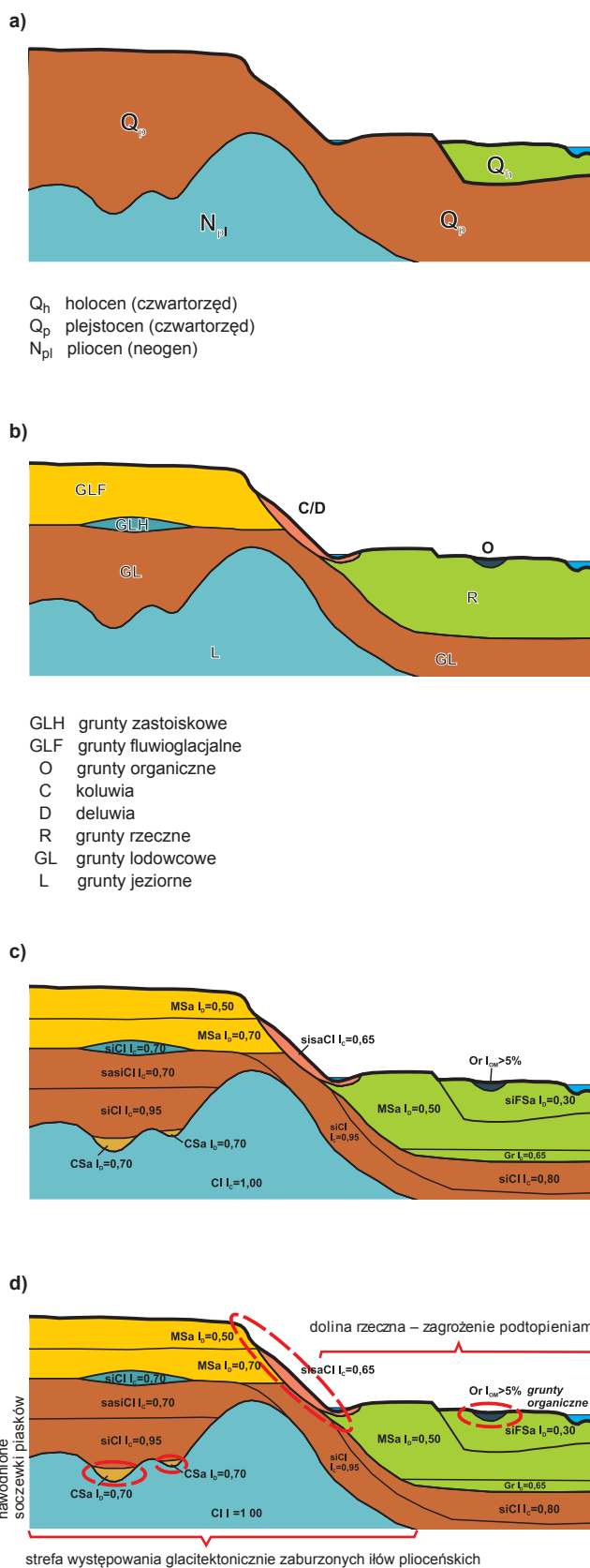
Wydzielone warstwy gruntów i skał powinny zostać szczegółowo charakteryzowane w dokumentacji z uwzględnieniem ww. kryteriów. Charakterystyka wydzielonych warstw gruntów i skał powinna zawierać dla każdej warstwy:

- genezę;
- stratyfację;
- rodzaj gruntów i skał;
- zestawienie wyników badań polowych i laboratoryjnych oraz wartości mierzonych i wyprowadzonych;
- podanie wartości eksperckich wszystkich wyznaczonych wartości parametrów geotechnicznych dla każdej warstwy gruntów i skał;
- wskazanie, czy warstwa może stwarzać szczególne zagrożenie dla obiektu budowlanego.

### 7.3. OPIS I OCENA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNYCH GRUNTÓW I SKAŁ. WARTOŚCI PARAMETRÓW GEOTECHNICZNYCH

Ocena właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał polega na opisanie cech fizyczno-mechanicznych, które charakteryzują wydzielone w modelu geologicznym warstwy gruntów i skał (wydzielenia fizyczno-mechaniczne).

Charakterystyka jest przedstawiana za pomocą tekstu, tabel, wykresów, blokdiagramów i innych form prezentacji. Opis



Rys. 48. Zasady wydzielenia warstw gruntów i skał

a – kompleksy stratygraficzne, b – serie genetyczne, c – warstwy litologiczne i geologiczno-inżynierskie, d – strefy zagrożeń

właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał jest podstawą do wyznaczenia wartości parametrów geotechnicznych.

Norma PN-EN 1997-2 wyróżnia 4 rodzaje wartości parametrów geotechnicznych (rys. 49):

- wartości mierzone (wyniki badań);
- wartości wyprowadzone;
- wartości charakterystyczne;
- wartości obliczeniowe.

Wartości mierzone wg normy PN-EN 1997-2, to wartości określone podczas badania (wyniki badań), które powinny być przedstawione w dokumentacji badań podłoża. Szczegółowe zestawienie wyników badań według odpowiednich norm znajduje się w załączniku „A” do PN-EN 1997-2. Należy dokładnie zapoznać się z wykazem podanych w załączniku wyników badań z uwagi na fakt, że w praktyce dokumentowania, bardzo często są mylone wartości mierzone i wartości wyprowadzone parametrów geotechnicznych.

Wartości wyprowadzone wg normy PN-EN 1997-2, to wartości parametrów geotechnicznych otrzymane na podstawie teorii, korelacji lub doświadczalnie, z wyników badań.

Wyniki badań i wartości wyprowadzone stanowią podstawę wyboru wartości charakterystycznych używanych do projektowania konstrukcji, dlatego ich wyznaczenie jest bardzo ważne w procesie dokumentowania.

Należy podkreślić, że zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1997-2, w przypadku wartości wyprowadzonych nie należy podawać jednej wartości parametru geotechnicznego, tylko wszystkie jego wartości uzyskane zarówno z badań laboratoryjnych, jak i polowych. Taką sytuację przedstawiono na rysunku 50.

Zbiory wyników badań i wartości wyprowadzonych można na etapie oceny wyników badań poddawać obróbce statystycznej, a efekty tej obróbki powinny być przedstawiane w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej w różnej formie np.: histogramów, tabelarycznych zestawień, statystyk opisowych

i innych. Zaleca się podawać wartości minimalne, maksymalne, średnie oraz odchylenie standardowe i współczynnik zmienności jako podstawowe statystyczne charakterystyki wartości wyprowadzonych parametrów geotechnicznych.

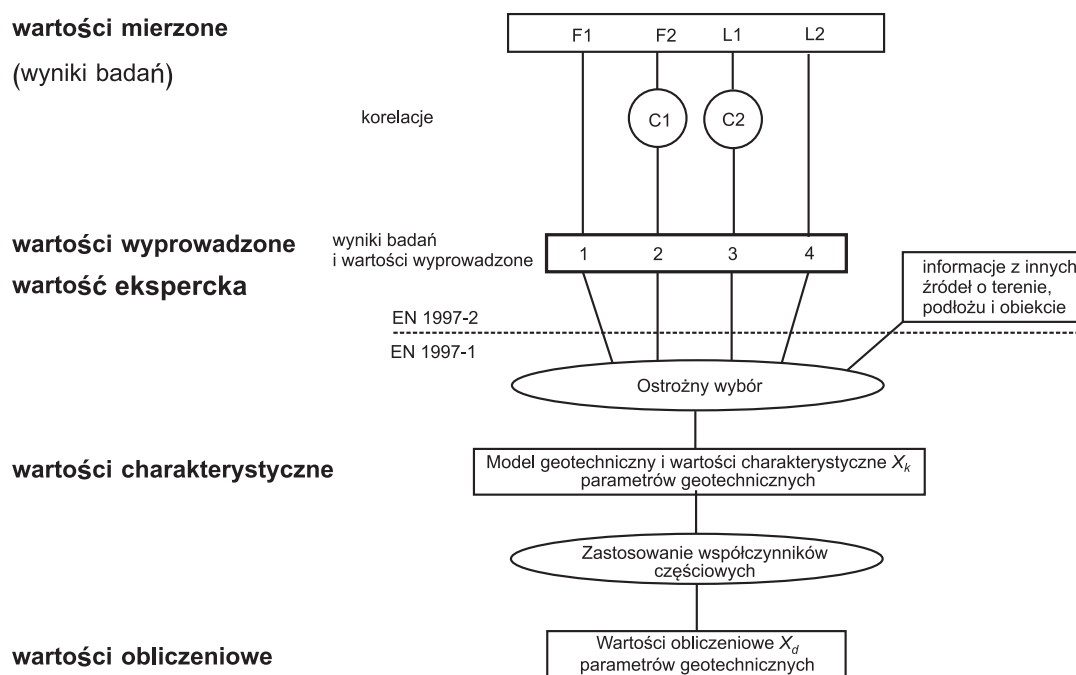
O wartości eksperckiej można mówić w przypadku wyznaczania wartości wyprowadzonych parametru geotechnicznego. Wartość ekspercka jest rozumiana wtedy jako jedna wartość dla wybranego parametru geotechnicznego podana na podstawie wszystkich wyników badań i wartości wyprowadzonych oddzielnie dla każdej warstwy geologiczno-inżynierskiej.

Wartości charakterystyczne to wg normy PN-EN 1997-1, ostrożne oszacowanie wartości decydującej o wystąpieniu stanu granicznego. Norma PN-EN 1997-2 wymaga podania wartości charakterystycznej na podstawie wyników badań oraz wartości wyprowadzonych z badań laboratoryjnych i terenowych, uzupełnionych ogólnie uznanym doświadczeniem. Zagadnienia wyznaczania wartości charakterystycznej w ujęciu statystycznym szczegółowo przedstawione są w publikacjach (Wysokiński i in. 2011, Bond, 2011).

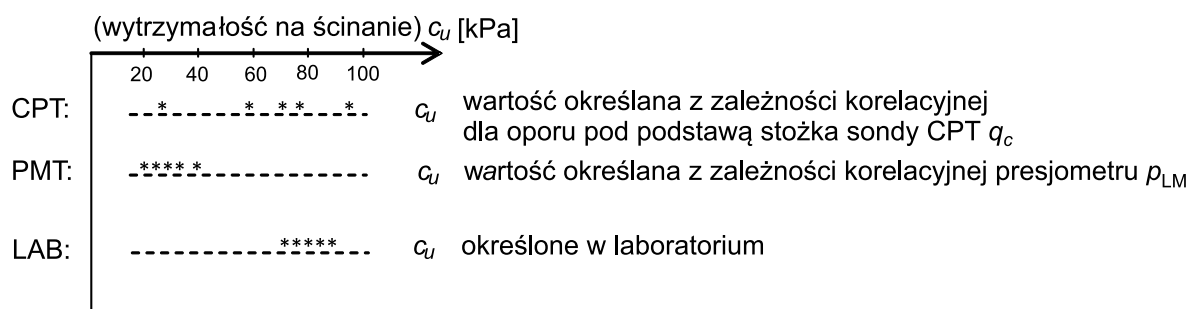
Wartości obliczeniowe to wg normy PN-EN 1997-1 wartości obliczane na podstawie ilorazu wartości charakterystycznych i współczynników częściowych lub oceniane bezpośrednio.

Z uwagi na fakt, że dokumentacje geologiczno-inżynierskie przedstawiające wyniki badań podłoża gruntowego nie zawierają wartości charakterystycznych i obliczeniowych, zaleca się skorzystać z pozycji literaturowych w celu uszczegółowienia informacji w tym zakresie. Szczegółowe informacje dotyczące wartości charakterystycznych i obliczeniowych oraz sposobu ich wyznaczania podaje Wysokiński (Wysokiński i in., 2011, rys. 51).

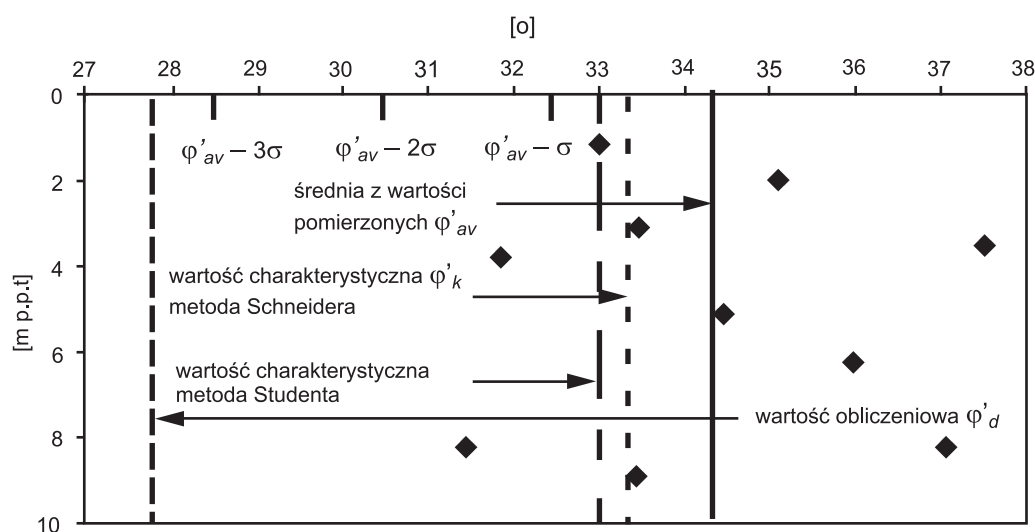
Bez względu na etap realizacji i rodzaj inwestycji, cel wykonywania badań, rodzaj dokumentacji oraz sposób posadowienia, w opracowaniach dotyczących badań podłoża stosuje się zasadę podawania wartości pomierzonych i wyprowadzonych parametrów geotechnicznych.



Rys. 49. Rodzaje wartości wg normy PN-EN 1997-2



Rys. 50. Wartości wyprowadzone parametru geotechnicznego (PN-EN 1997-2, Wysokiński i in., 2011)



Rys. 51. Idea wyznaczania wartości charakterystycznych (Wysokiński i in., 2011)

#### 7.4. IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ GEOLOGICZNYCH

Zagrożeniem geologicznym jest naturalne lub wzbudzone przez działalność człowieka procesy i zjawiska geologiczne występujące w obrębie litosfery, hydrosfery bądź atmosfery, których oddziaływanie na ludzi, środowisko, mienie, a także na infrastrukturę powoduje negatywne skutki.

Potencjalne zagrożenia geologiczne należy wstępnie rozpoznać podczas analizy materiałów archiwalnych oraz wizji terenowej i kartowania geologiczno-inżynierskiego, a następnie dobrze udokumentować, żeby ograniczyć ryzyko wpływu na obiekt budowlany i zaproponować środki zaradcze.

**Osuwiska.** Dominującą formą powstałą w wyniku ruchów masowych na terenie Polski są osuwiska (rys. 52). Pozostałe formy to głównie sływy powierzchniowe gruntu oraz wyżłobienia erozyjne. Znaczna większość (ok. 90%) osuwisk znajduje się na obszarze Karpat w osadach fliszowych.

Uwarunkowania oraz przyczyny powstawania osuwisk można podzielić na dwie kategorie, antropogeniczne oraz naturalne. Do naturalnych zaliczyć można przede wszystkim:

- ukształtowanie terenu;
- budowę geologiczną skarpy lub zbocza oraz podłoża;
- położenie oraz wahania zwierciadła wód podziemnych;
- ilość oraz intensywność opadów;

- roślinność porastającą skarpe lub zbocza;
- erozję dolin rzecznych i wąwozów oraz abrazję morską.

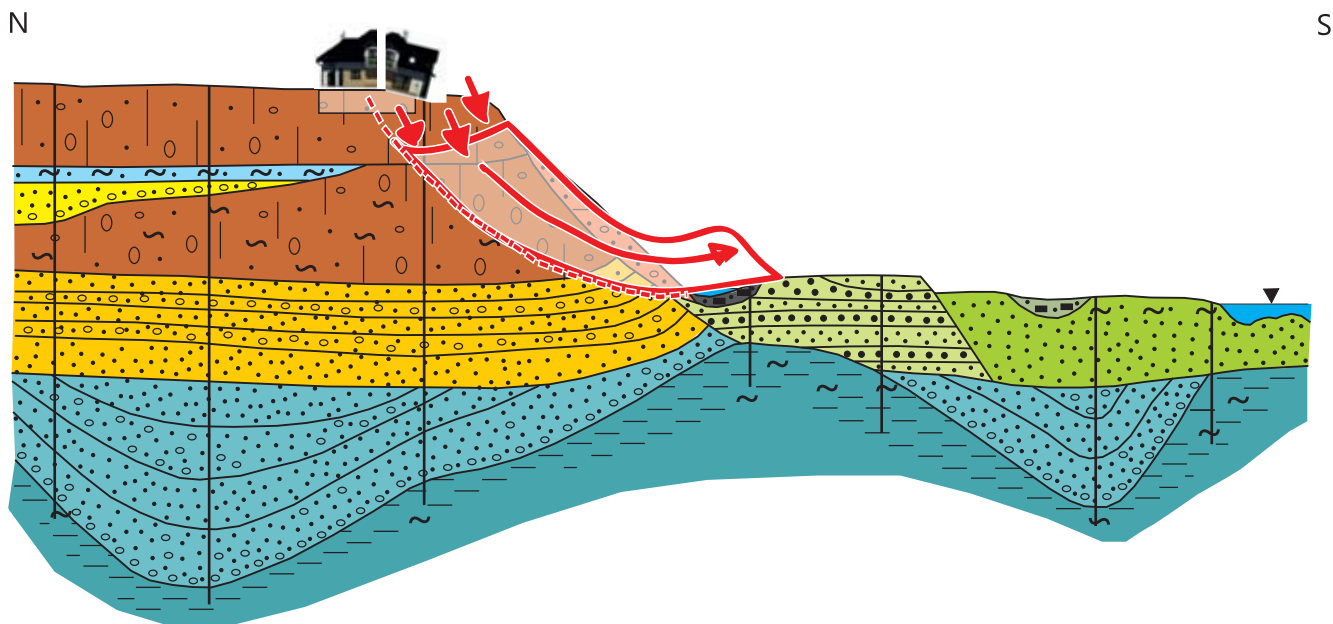
Szczególne uwagę należy poświęcić wodom gruntowym, ich położeniu, wahanom, strefom zasilania, a także składowi. Czynnikiem geologicznym sprzyjającym powstawaniu osuwisk jest występowanie gruntów ilastych oraz przewarstwienia gruntów drobno- i gruboziarnistych.

Do czynników antropogenicznych należy zaliczyć przede wszystkim:

- zaburzenia w gospodarce wodnej rejonu;
- budowę obiektów inżynierskich i budynków;
- obciążenia dynamiczne (np. drgania od pojazdów);
- niewłaściwe zagospodarowanie skarpy lub zbocza;
- zmiany w szacie roślinnej.

Warto podkreślić, że zazwyczaj jeden z ww. czynników uruchamia proces osuwiskowy, a pozostałe mają swój udział w rozwoju osuwiska. Kluczowe dla zapobiegania i przeciwdziałania procesom osuwiskowym jest jak najszybsze rozpoznanie możliwości ich wystąpienia. Istotną rolę pełni tutaj kartowanie geologiczno-inżynierskie.

W celu prawidłowego rozpoznania procesów osuwiskowych zaleca się przed rozpoczęciem prac terenowych przeprowadzić szczegółową analizę materiałów archiwalnych oraz danych teledetekcyjnych z różnych lat, a także przeprowadzić wywiad środowiskowy. Przydatne na tym etapie będą



Rys. 52. Uproszczona wizualizacja zagrożeń osuwiskowych (model geologiczny wg Kowalskiego, 1988)

dzie również przeanalizowanie danych dotyczących osuwisk dostępnych na stronach internetowych: [osuwiska.pgi.gov.pl](http://osuwiska.pgi.gov.pl), [atlasy.pgi.gov.pl](http://atlasy.pgi.gov.pl) oraz w rejestrach osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi, prowadzonych przez starostw powiatowych.

Podczas pracy w terenie należy zwrócić uwagę na wszelkie symptomy i przejawy występowania zjawisk osuwiskowych takie jak:

- nierówności stoków: pęknięcia, nabrzmienia, nierówności, progi, szczeliny, rowy;
- strome fragmenty stoku, które mogą być skarpami osuwiskowymi;
- wypływy wód – wysięki, młaki, niewielkie zbiorniki wodne na stokach oraz ślady zawilgoceń przy krawędzi i poniżej skarpy;
- pokrywy i stożki u podnóża stoku, które mogą być jezorama osuwiskowymi;
- głazy i bloki z obrywów i zsuwów;
- szata roślinna – odchylenia pni drzew od pionu tzw. pijany las;
- spękania na ścianach budynków;
- zerwania, przesunięcia dróg, ogrodzeń, linii przesyłowych, wykrzywione słupy;
- czynniki antropogeniczne, np. zrzut wody na skarpe czy nieszczelne instalacje wodne.

Jeżeli jest to możliwe należy określić granice, stopień aktywności osuwiska, skarpy główne i pozostałe elementy osuwiska, przejawy wód podziemnych i powierzchniowych.

Prawidłowe rozpoznanie osuwiska lub obszarów zagrożonych powstawaniem osuwisk wymaga ponadto przeprowadzenia badań zarówno inwazyjnych (wiercenia i sondowania), jak i nieinwazyjnych (metody geofizyczne). Wiercenia powinny być wykonywane jako pełnordzeniowe, techniką umożliwiającą pobranie próbek klas co najmniej 2, tak żeby było możliwe

wykonanie badań wytrzymałościowych. Zaleca się wykonywanie badań zgodnie z wymaganiami w rozdziale 4.7.1.

Badania należy wykonywać jedynie w warunkach niezagrożających życiu lub zdrowiu osoby badającej. Badania geofizyczne zaleca się w szczególności, gdy dostęp do badanego terenu jest utrudniony, zwłaszcza dla ciężkiego sprzętu wiertniczego.

Należy przeanalizować potencjalne zagrożenia związane z aktywnością osuwiska. Zaleca się również prowadzić obserwację i weryfikację w określonych ramach czasowych, najlepiej w postaci pomiarów inklinometrycznych i piezometrycznych.

Zakres zniszczeń spowodowanych przez osuwiska zazwyczaj jest znaczny i obejmuje straty materialne, funkcjonalne i społeczne, dlatego też obszary osuwiskowe powinny być wyłączone z planowanej zabudowy. W sytuacjach wyjątkowych, gdy zabudowa jest konieczna, a lokalizacja przedsięwzięcia nie może zostać zmieniona, należy zaplanować specjalistyczne badania geologiczno-inżynierskie oraz prace w celu zabezpieczenia skarpy w porozumieniu w projektantem.

Pomocne przy dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zagrożonych powstawaniem osuwisk oraz już objętych procesami osuwiskowymi mogą być zalecenia z poradnika pt. „Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych” dostępnego na stronie [http://geportal.pgi.gov.pl/atlasy\\_gi/publikacje](http://geportal.pgi.gov.pl/atlasy_gi/publikacje). Można tam znaleźć szczegółowy zakres badań dla obszarów zdegradowanych przez osuwiska.

**Powódzie.** Występowanie powodzi jest naturalnym procesem. Działalność człowieka taka jak nadmierna regulacja koryta rzeki, nieprawidłowa budowa obwałowań czy zagospodarowanie terenów zalewowych, może wzmacniać negatywne skutki tego naturalnego procesu.

Powodzie na terenie Polski, ze względu na ich genezę, można podzielić na 5 typów:

- opadowe, występujące najczęściej od czerwca do września, wynikające ze zwiększonych, często gwałtownych opadów w tym okresie; najbardziej niebezpieczne są na rzekach górskich i podgórskich;
- roztopowe, występujące najczęściej w momencie pozimowej odwilży w marcu; ich przyczyną jest gwałtowne topnienie śniegów, spotęgowane silnymi opadami przy jednocześnie zamrożonej powierzchni terenu, która uniemożliwia wsiąkanie wody w grunt; najbardziej niebezpieczne są na dużych rzekach nizinnych;
- sztormowe, występujące najczęściej w okresie zimowym, sporadycznie także w miesiącach letnich; przyczyną tego rodzaju powodzi jest sytuacja baryczna, a ich lokalizacja jest ograniczona do wybrzeża morskiego oraz zalewów Wiślanego i Szczecińskiego;
- zimowe (zatorowe), zgodnie z nazwą występujące najczęściej w okresie zimowym; ich przyczyną jest zablokowanie bądź spowolnienie przepływu, spowodowane powstającym śryżem lub lodem kruszącym się podczas występowania dodatnich temperatur;
- miejskie, występujące na terenach silnie zurbanizowanych, o zredukowanej powierzchni infiltracji, po intensywnych opadach.

Geneza powodzi może być wieloraka, np. jednocześnie opady deszczu, topnienie śniegu i powstające zatory na rzece.

Podczas analizy materiałów archiwalnych należy przeanalizować zasięg powodzi w latach ubiegłych, możliwie z jak najwcześniejszych lat; przydatny będzie również wywiad środowiskowy. Z doświadczeń wynika, że maksymalny zasięg powodzi, podtopień w dolinach rzek może dochodzić do granicy występowania utworów tarasowych. Pomocne mogą być analizy map zamieszczonych w serwisach [mapy.isok.gov.pl](http://mapy.isok.gov.pl), [mapy.geoportal.gov.pl](http://mapy.geoportal.gov.pl).

Podczas wizji terenowej i kartowania geologiczno-inżynierskiego należy zwrócić uwagę na wszelkie ślady występowania w przeszłości powodzi, takie jak: naniesiony drobnoziarnisty materiał o genezie rzecznej, mokradła, bagna i podmokłości, roślinność wskazująca na tereny podmokłe, wzmózniona erozja dna i brzegów koryta rzeki, ślady wysokich stanów wód na budynkach czy mostach.

**Podtopienia.** Powstają w wyniku podwyższonego stanu wód gruntowych lub obniżenia powierzchni terenu. Mogą występować zarówno na obszarach wysoczyznowych, jak i w dolinach rzecznych. Podtopienia mogą występować okresowo lub stale.

Występowanie podtopień jest związane z intensywnymi opadami atmosferycznymi, a także z wezbraniem wód w ciekach powierzchniowych. Efekty zazwyczaj są widoczne po około kilku dniach od nawalnych opadów. Proces powstawania podtopień jest z reguły stopniowy i nie przebiega w sposób gwałtowny. Jako przyczynę powstawania podtopień wymienia się również zachodzące zmiany antropogeniczne w infrastrukturze, takie jak niszczenie kanałów i urządzeń melioracyjnych, czy budowa nasypów bez odpowiednich systemów odprowadzających wodę.

Podtopienia mogą prowadzić do podwyższenia poziomu wód gruntowych nawet do poziomu terenu, wtedy są klasyfikowane jako podmokłości. W przypadku, gdy zwierciadło wód gruntowych podnosi się ponad powierzchnię terenu, mówimy o zalewisku.

Podczas prac terenowych, w celu poprawnego rozpoznania obszarów zagrożonych podtopieniami, należy zwrócić szczególną uwagę na wszelkie przejawy występowania tego zjawiska takie jak: wypełnione wodą niecki, zagłębienia, mokradła czy zalane piwnice. Podtopień można spodziewać się szczególnie w przypadku, gdy przypowierzchniowa warstwa wodonośna ma małą miąższość, a pod nią występują osady słabo przepuszczalne. Zaleca się korzystanie z bazy danych GIS Mapy obszarów zagrożonych podtopieniami dostępnej na geoportalu GUGIK.

**Zmiany poziomu wód gruntowych.** Wahania poziomu wód gruntowych są zjawiskiem naturalnym, występującym cyklicznie w ciągu roku (rys. 53). Zmiany zazwyczaj nie przekraczają 1 m w ciągu roku, jednak w ostatnich latach, zauważono wzrost poziomu wód gruntowych nawet o 4 m, co może powodować powstawanie takich zjawisk, jak np. podtopienia. Obniżenie poziomu wód gruntowych może skutkować osiadaniami czy wytworzeniem się leja depresji.

Zmiany poziomu wód gruntowych powinny być w szczególności wzięte pod uwagę przy występujących gruntach wrażliwych na działalność wód np. przy lessach. Zmiany poziomu wód gruntowych mogą uruchamiać lub wzmacniać takie procesy jak krasowienie, osuwiska, sufozja, upłynnienie, kurzawki, pęcznienie, skurcz, ekspansywność, rozmakanie, wysadzinowość czy szeroko pojętą erozję.

**Zjawiska krasowe.** Procesy krasowe (kras) rozwijają się w wapieniach, gipsach solach oraz w skałach, w których występują konkretne minerały (np. margle, ility gipsowe, wapieniste zlepieńce i piaskowce, kreda piszcząca), a także w lessach. Przepływające przez nie wody gruntowe lub opadowe rozpuszczają budujące je minerały. Tempo powstawania pustek krasowych jest uzależnione od parametrów ośrodka skalnego, takich jak szczeliny i podatność na rozpuszczanie w wodzie. Istotnym czynnikiem jest również chemizm wód, ich agresywność w stosunku do skały poddanej procesowi krasowienia. Wapienie ulegają rozpuszczeniu dopiero w obecności wolnego dwutlenku węgla w wodzie, który może pochodzić np. z przypowierzchniowych warstw humusowych. Zmiany chemizmu wód np. poprzez zanieczyszczenia czy to bezpośrednio wód czy też powietrza, a co za tym idzie również wód opadowych, mogą być czynnikiem intensyfikującym jak i opóźniającym zjawiska krasowe.

W Polsce zjawiska krasowe występują powszechnie na wyżynach Krakowsko-Częstochowskiej i Lubelskiej, w Tatrach, Górach Świętokrzyskich (Starachowice, Busko Zdrój). Kras solny występuje m.in. w rejonach Wieliczki, Inowrocławia i Ciechocinka.

Liczne klasyfikacje zjawisk krasowych podaje Kowalski (1988). W literaturze zagranicznej (Waltham, Fookes, 2005) można znaleźć podział terenów krasowych pod kątem geologiczno-inżynierskim. Procesy krasowe dzieli się między innymi na podstawie: rozpuszczalności skał, miąższości i jednorodności



ści krasowiejącego masywu, stopnia zakrycia masywu, przepływu wód czy stopnia zaawansowania procesów krasowych.

Należy mieć na uwadze, że krasowienie skał, ze względu na mnogość czynników wpływających na proces, może przebiegać na wiele sposobów. Tworzenie się krasu może być poprzedzane okresami stabilizacji związanymi ze zmianami warunków wodnych i klimatycznych. Zmiana tych warunków może mieć genezę naturalną, jak i antropogeniczną. Ingerencja w warunki hydrogeologiczne, nawet w znacznej odległości od badanego terenu np. poprzez zapory, sztuczne nawadniania czy odwadnianie, może być przyczyną powstawania lub zmiany intensywności przebiegu procesów krasowych.

W celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich kluczowe jest poprawne i jak najdokładniejsze scharakteryzowanie występujących zjawisk krasowych. Podstawowym narzędziem terenowym powinny być badania geofizyczne, gdyż wahania stropu krasowiejącej skały mogą być gwałtowne i bardzo duże. Wiercenia zaleca się zaprojektować po uprzednio wykonanych badaniach geofizycznych, co najmniej w miejscach wyznaczonych anomalii.

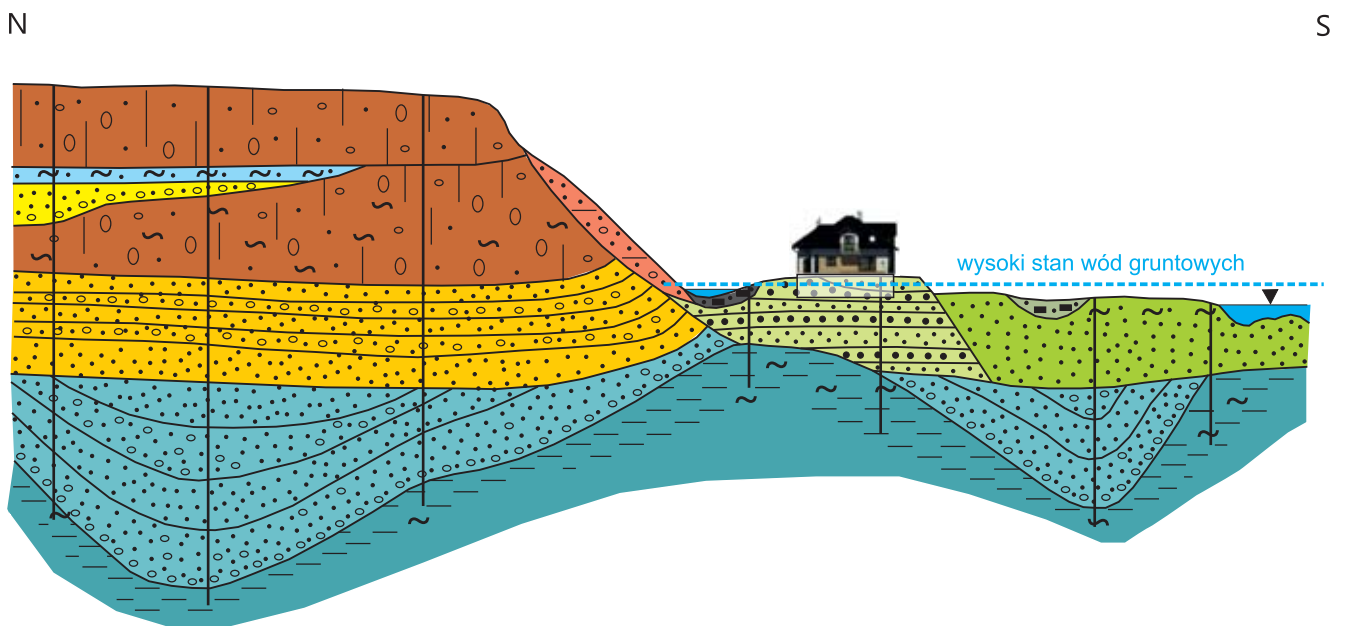
Wizja terenowa i kartowanie geologiczno-inżynierskie, powinny być poprzedzone dokładną analizą zdjęć lotniczych oraz cyfrowych modeli terenu i ich zmienności w czasie. Terenowe formy, świadczące o możliwości występowania zjawisk krasowych w podłożu, to leje krasowe, zapadliska i niecki osiadań. Te ostatnie mogą być trudne do rozpoznania, zwłaszcza, gdy leżą na krasie zakrytym. Ich powstawanie jest powolne, średnica niecki jest duża, a głębokość mała, przez co są łatwe do przeoczenia lub pomylenia z innymi formami morfologicznymi. Przy krasie zakrytym można napotkać wynurzające się górne części skałek tzw. ostańce. Wielkość wyżej wymienionych form zależy od wielkości pustek, wytrzymałości stropu, miąższości i rodzaju gruntów nadkładu. Innymi

zjawiskami, świadczącymi o zachodzących procesach krasowych w podłożu, mogą być gwałtownie zanikające ciekły powierzchniowe (ponory) lub nagłe wypływy na powierzchnię dużych ilości wód (wywierzyska).

Pustki krasowe powstałe na skutek wypłukania materiału skalnego przez wodę stanowią poważne strefy osłabień. Mogą one być wypełnione materiałem skalnym, przeważnie jest on luźny i zwietrzały. Tworzenie się pustek powoduje zmianę stanu naprężeń w skale, co może prowadzić do dalszych deformacji ośrodka skalnego

Realizacja obiektów budowlanych na obszarach krasowych stwarza niebezpieczeństwo nagłych zawałów oraz nierównomiernych osiadań wynikających z niejednorodnej budowy podłoża oraz możliwości wtórnego zagęszczenia gruntów poprzez scementowanie zwietrzliny powapiennej. W celu przeciwdziałania tym niekorzystnym skutkom zaleca się ograniczenie lokalizacji obiektów budowlanych na terenach, na których zjawiska krasowe są bardzo aktywne, czyli takich, gdzie częstotliwość pojawiania się nowych form krasowych przekracza 1 formę w roku na powierzchni 10 km<sup>2</sup> (Kowalski, 1988). W przypadkach, gdy zjawiska krasowe są mniej intensywne, dopuszczalne jest posadawianie obiektów, jednak ich liczba i wymiary, a także sposób fundamentowania i zabezpieczenia powinny być dostosowane do przewidywanych warunków. Ze wzrostem aktywności procesów krasowych, liczba i wielkość planowanych zabudowań powinna się zmniejszać.

Posadawianie budynków tam, gdzie postępują procesy krasowe, jest trudne i kosztowne, tym bardziej im stopień skrasowienia jest wyższy, a sam proces postępowania – szybszy. Można przeciwdziałać niekorzystnym procesom m.in. poprzez: zasypywanie powstałych pustek i lejów, sztuczne wywołanie zaważenia jaskiń, a następnie ich zasypanie czy odwadnianie podłoża. Stosuje się również wzmacnianie podłoża (np. iniekcjami).



Rys. 53. Uproszczona wizualizacja zagrożeń od wód podziemnych (model geologiczny wg Kowalskiego, 1988)

cje, cementacje), czy posadawianie obiektów pośrednio np. na palach. Gdy zjawiska krasowe są mniej intensywne, możliwe jest posadowienie bezpośrednie, o ile strefa oddziaływania budowli nie sięga do stropu form krasowych.

W fazie budowy i eksploatacji budowli kluczowym elementem jest uregulowanie stosunków wodnych terenu zabudowy oraz terenów przyległych, a także kontrola systemów odwadniających i natychmiastowe usuwanie usterek. Dynamiczne obciążenia (np. przy budownictwie kolejowym i drogowym) sprzyjają strukturalnemu załamaniu w obrębie skrasowiałego masywu.

**Grunty słabonośne.** Ścisłe zdefiniowanie gruntów słabonośnych jest praktycznie niemożliwe, ponieważ nośność gruntów zależy od ciężaru budowli, typu fundamentu, rodzaju obciążeń, warunków eksploatacji itp. Za grunty nienośne uznawano umownie grunty o wartości modułu ściśliwości poniżej 1 MPa (Bażyński, Turek, 1969). W drogownictwie np. do słabych podłoży zalicza się m.in. grunty o module odkształcenia do 5 MPa i wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu  $c_u$  do 50 kPa (Bzówka i in., 2012), ale bierze się również pod uwagę parametry zagęszczalności. W praktyce zatem nie da się zdefiniować jednego kryterium mówiącego o tym, czy grunt jest nośny, ponieważ należy go rozpatrywać wyłącznie w odniesieniu do stateczności projektowanej konstrukcji i rozwiązania fundamentowego. Oznacza to, że lepszymi określeniami takich gruntów są: *wymagające wzmocnienia* lub *nienadające się do bezpośredniego posadowienia* rozpatrywanej budowli.

Umownie jednak przyjmuje się, że do gruntów, na których w wielu przypadkach posadowienie bezpośrednie nie jest możliwe, zalicza się:

- grunty organiczne (namuły, torfy, młode gytie);
- grunty spoiste w stanie gorszym niż plastyczny;
- grunty sypkie w stanie luźnym;
- grunty antropogeniczne.

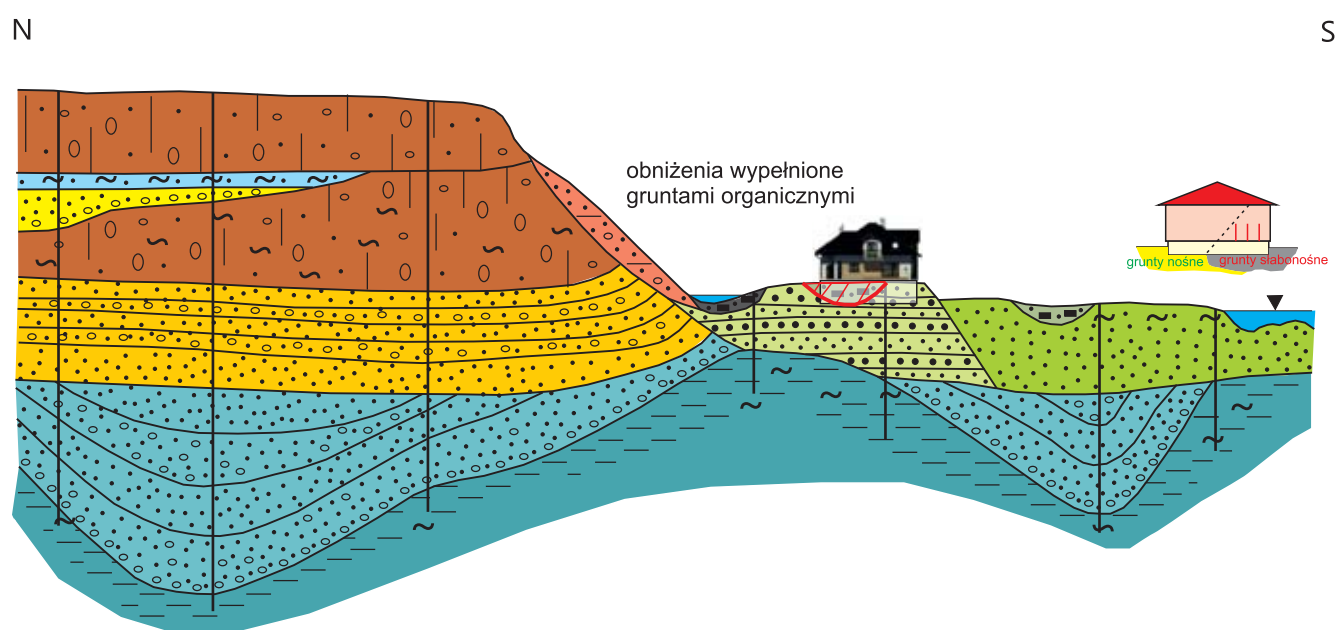
O ile nie zawsze występowanie takich gruntów musi świadczyć o konieczności posadowienia pośredniego, o tyle zawsze jest wymagane dokładniejsze zbadanie ich właściwości ponieważ charakteryzuje je stosunkowo duża ściśliwość i niewielka wytrzymałość, a także duża zmienność właściwości w pionie i w poziomie. Szczególnie niebezpieczne jest posadowienie obiektu na granicy gruntów o skrajnie różnych parametrach mechanicznych (rys. 54.).

Występowanie tego typu gruntów często bywa ściśle związane z konkretnymi formami geomorfologicznymi – najczęściej spotykane są w dolinach rzecznych, deltach, zagłębieniach bezodpływowych, w glinach młodoglacjalnych, utworach interglacjalnych, obszarach osuwiskowych, obszarach górniczych, obszarach przemysłowych oraz w starych miastach.

Okonturowanie tych gruntów (określenie ich przestrzennego zasięgu i miąższości) jest szczególnie istotne w przypadku dużych obiektów przestrzennych lub liniowych. W rejonach ich występowania należy w miarę możliwości zagęścić liczbę punktów badawczych tak, żeby jednoznacznie określić ich zasięg. W przypadku, gdy ich miąższość jest niewielka najczęściej wymagają usunięcia, więc nie jest konieczne szczegółowe określanie ich właściwości. W przypadku, kiedy ich miąższość jest znaczna, dużo bardziej optymalnym rozwiązaniem może być ich wzmocnienie. Wówczas muszą być bardzo dokładnie przebadane pod kątem ich właściwości fizyczno-mechanicznych.

**Deformacje filtracyjne.** Jest to umowna nazwa dla wszelkich zmian w gruntach wywołanych filtracją wody (rys. 55). Zalicza się do nich zmiany struktury, składu granulometrycznego, porowatości, gęstości, przepuszczalności, skonsolidowania, zagęszczenia, wytrzymałości, tekstury itp. Są to (Instrukcja PKP, 2016):

- sufozja – proces polegający na wynoszeniu (przemieszczeniu lub wynoszeniu poza obręb gruntu) pod wpływem prze-



Rys. 54. Uproszczona wizualizacja zagrożeń w dolinach rzecznych (model geologiczny wg Kowalskiego, 1988)

- wpływającej (filtrującej) wody drobniejszych cząstek lub ziaren szkieletu mineralnego gruntu; w wyniku tego procesu dochodzi do powiększenia przestrzeni porowych, wzrasta współczynnik filtracji; zjawisko to prowadzi często do powstawania kawern lub kanałów w obrębie gruntu i przybiera cechy tzw. przebicia hydraulicznego; sufozja może być mechaniczna (wewnętrzna, kontaktowa) i chemiczna;
- kolmatacja – proces odwrotny do sufozji, polegający na osadzaniu wymytych cząstek w porach gruntu; zachodzi podczas pompowania lub przy wtlaczaniu wody do otworów; towarzyszą mu zwykle procesy chemiczne i biochemiczne, prowadzące łącznie do ograniczenia przepustowości filtru i strefy przyfiltrowej;
- erozja wewnętrzna – to całkowite i skoncentrowane wymywanie cząstek z masywu gruntowego (transport ich poza masyw), prowadzące do wytworzenia kawern, tuneli itp.;
- upłynnienie (filtracyjne zniszczenie struktury gruntu) – proces, w którym pod wpływem ciśnienia hydrodynamicznego grunt czasowo przechodzi w stan płynny, tworząc tzw. kurzawki;
- wyparcie hydrauliczne – proces wyparcia określonej objętości gruntu (wraz z obciążającymi go elementami) przez przepływającą wodę, ogólnie – w kierunku przeciwnym do działania siły grawitacji;
- przebicie hydrauliczne – inaczej punktowe wyparcie hydrauliczne, to zjawisko tworzenia się kanału w masie gruntowej, wypełnionego gruntem o naruszonej strukturze, łączącego miejsca o wyższym i niższym ciśnieniu wody w porach;

– osiadanie zapadowe lessów, konsolidacja filtracyjna gruntów spoistych i niespoistych – procesy związane ze zmniejszeniem porowatości w wyniku filtracyjnego zniszczenia struktury lub reorientacji (połączenie z dehydratacją) cząstek szkieletu gruntowego.

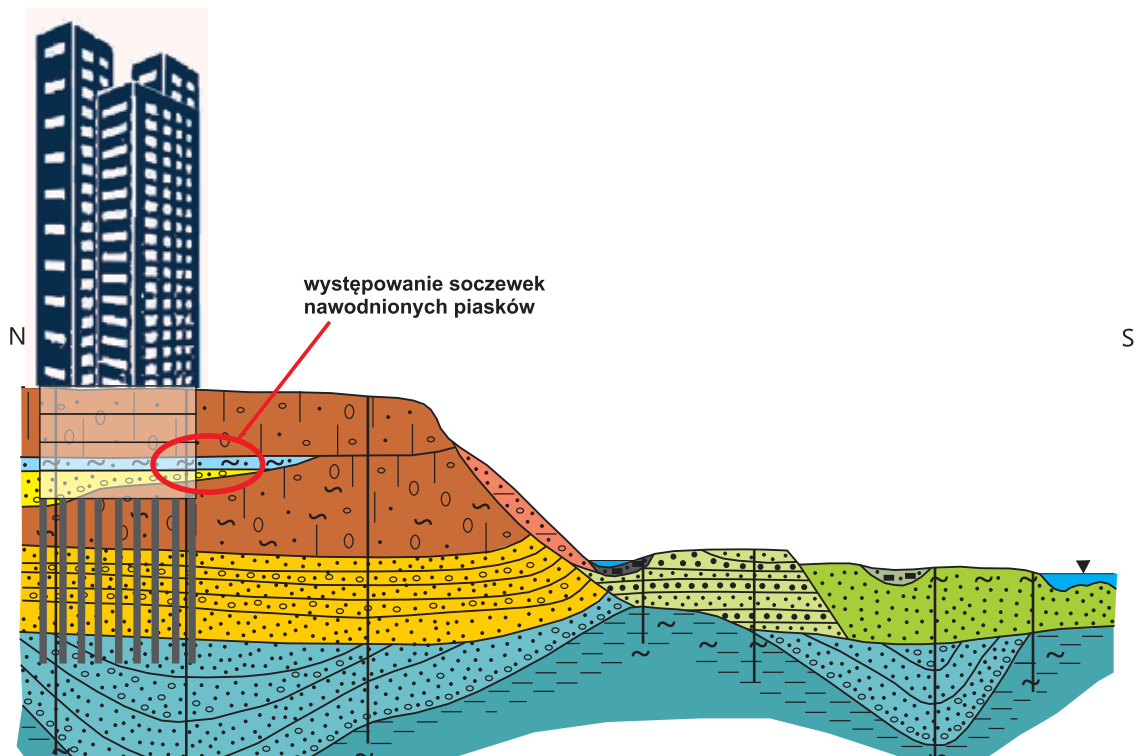
Najistotniejszym parametrem wpływającym na możliwość wystąpienia deformacji filtracyjnych jest spadek hydrauliczny. Drugim kluczowym parametrem jest skład granulometryczny.

Gruntami najbardziej podatnymi na deformacje filtracyjne są lessy, ponieważ wykazują bardzo niestabilną strukturę, zróżnicowaną przepuszczalność, dużą porowatość oraz właściwości tiksotropowe. Z uwagi na występujące w lessach niestabilne w wodzie wiązania strukturalne podczas filtracji wody następuje ich zniszczenie powodujące osiadanie zapadowe.

W słabo zagęszczonych, nawodnionych gruntach piaszczystych występuje natomiast zjawisko upłynnienia. Może ono nastąpić pod wpływem wstrząsów, drgań lub innych obciążeń o charakterze dynamicznym lub także pod wpływem nagłego statycznego obciążenia. W wyniku ograniczenia kontaktu pomiędzy ziarnami pod wpływem wody, grunt upłynnia się i może wystąpić utrata stateczności podłoża.

Przebicie hydrauliczne z kolei jest bardzo częste w gruntach mało spoistych, pod którymi występują grunty przepuszczalne, w których woda występuje pod znacznym ciśnieniem.

Pozostałe zjawiska mogą wystąpić w każdym gruncie w sprzyjających warunkach filtracji i układzie granulometrycznym. Zjawiska te bywają groźne i nieprzewidziane, mogą prowadzić do katastrofy budowlanej. Zjawiska sufozji mechanicznej występują w gruntach wyłącznie różnoziarnistych, przy odpowiednio dużym ciśnieniu spływowym.



Rys. 55. Uproszczona wizualizacja zagrożeń deformacjami filtracyjnymi (model geologiczny wg Kowalskiego, 1988)

Ocenę podatności na deformacje filtracyjne określa się w szczególności na podstawie wyników badań granulometrii oraz granic konsystencji, a także opracowanych do tego celu nomogramów (Instrukcja PKP, 2012). Dodatkowo, należy wziąć pod uwagę uwarunkowania terenowe: morfologię terenu oraz warunki hydrogeologiczne.

#### Osiadania powierzchni na skutek działalności górniczej.

Identyfikacja deformacji powierzchni terenu na skutek działalności górniczej powinna bazować głównie na materiałach opracowywanych przez jednostkę eksploatującą złożę (dokumentacje mierniczo-geologiczne, prognozy górnicze, pomiary monitoringowe itp.) oraz na wynikach wizji terenowej, kartowaniu geologiczno-inżynierskim, a także badaniach geofizycznych.

Podczas dokumentowania terenu, na którym była i jest prowadzona działalność górnicza, należy zwrócić uwagę zwłaszcza na (Frankowski i in., 2012):

- zmiany fizyczno-mechanicznych cech gruntów i skał;
- ryzyko i przejawy występowania zjawisk geodynamicznych;
- zmiany warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych.

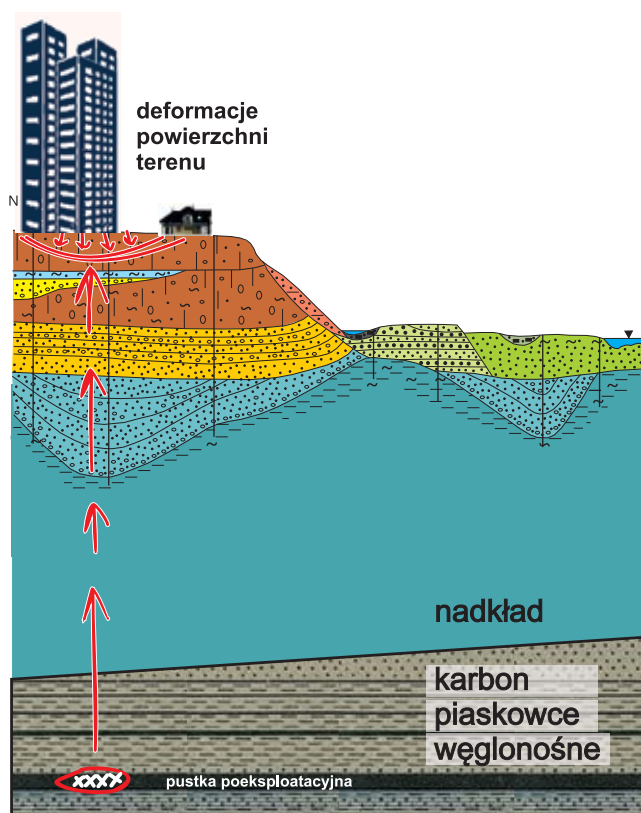
Do najbardziej niekorzystnych zjawisk związanych z działalnością wydobywczą zalicza się deformacje nieciągłe, które występują w rejonach płytkiej, podziemnej eksploatacji górniczej (nie głębszej niż 80 m). Są one bardzo trudne do przewidzenia i mogą wystąpić nawet po wielu latach od zakończenia eksploatacji (rys. 56). Osiadania o charakterze deformacji ciągłych są łatwiejsze do przewidzenia i przeciwdziałania. Warunki gruntowe na obszarach występowania szkód górniczych zawsze należy zakwalifikować do skomplikowanych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej (Dz.U. 2012 poz. 463), a rozpoznanie terenu planować na podstawie szczegółowej analizy danych geologiczno-górniczych.

### 7.5. WARUNKI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Warunki geologiczno-inżynierskie to cechy budowy geologicznej mogące wpłynąć bezpośrednio lub pośrednio na bezpieczeństwo obiektu budowlanego na wszystkich etapach jego realizacji. Podstawą waloryzacji geologiczno-inżynierskiej jest przeprowadzenie analizy cech budowy geologicznej takich jak:

- warunki geomorfologiczne:
  - formy geomorfologiczne;
  - spadki terenu;
- warunki hydrogeologiczne i hydrologiczne (wodne):
  - liczba poziomów wodonośnych;
  - głębokość do zwierciadła wody pierwszego poziomu wód gruntowych;
  - stopień izolacji głównego użytkowego poziomu wodonośnego;
  - charakter sieci rzecznej i warunków spływu;
- warunki geologiczne (gruntowe):
  - geneza (wg instrukcji do Mapy litogenetycznej Polski MIP);

- litologia;
- układ warstw;
- występowanie procesów geodynamicznych i innych niekorzystnych zjawisk geologicznych:
  - naturalne procesy geodynamiczne: osuwiska, kras, erozja, abrazja, sufozja, soliflukcja;
  - naturalne niekorzystne zjawiska geologiczne: powódzie, podtopienia, czynniki biogeniczne (wpływ drzew);
- występowanie procesów i zjawisk antropogenicznych (Bażyński i in., 1999):
  - odkształcenia na skutek eksploatacji podziemnej;
  - wyciskanie podłoża wokół składowisk kopalnianych;
  - osiadanie powierzchni terenu na skutek wielkoobszarowych odwodnień;
  - zmiany powierzchni na skutek makroniwelacji;
  - deformacje powierzchni powstające w wyniku zakończonej eksploatacji otworowej siarki;
  - zmiany powierzchni terenu na skutek składowania odpadów i gruntów nadkładu w kopalniach odkrywkowych;
  - zmiany powierzchni terenu, stanu naprężeń i warunków hydrogeologicznych w wyniku eksploatacji odkrywkowej;
  - powstawanie i składowanie gruntów antropogenicznych;
  - wstrząsy sejsmiczne w wyniku odprężania górotworu;
  - degradacja i zmiana chemizmu gruntów – tereny historycznie zanieczyszczone;



Rys. 56. Uproszczona wizualizacja zagrożeń związanych z działalnością górniczą (model geologiczny wg Kowalskiego, 1988)

- zmiany warunków zagospodarowania na skutek zabudowy liniowej;
- zmiany warunków hydrodynamicznych w wyniku zabudowy brzegu morskiego.

Ustalenie warunków geologiczno-inżynierskich powinno dotyczyć zarówno stanu istniejącego, jak i prognozy zmian nie tylko w obrębie obiektu, lecz także w jego sąsiedztwie, czyli w ustalonej strefie możliwego wpływu.

### 7.5.1. Określenie i ocena warunków geomorfologicznych

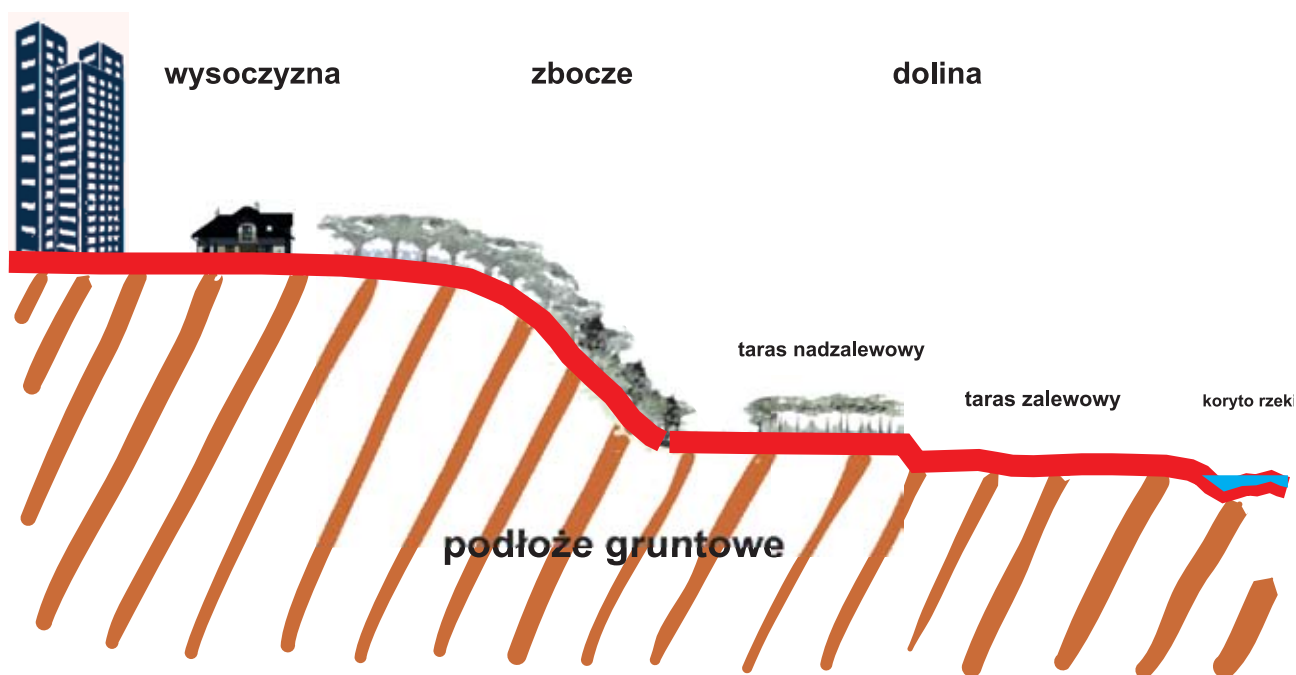
Znajomość formy geomorfologicznej, w obrębie której jest planowana inwestycja budowlana, pozwala wstępnie ocenić, czy teren przeznaczony pod inwestycje będzie miał proste czy skomplikowane warunki gruntowo-wodne. Z tego powodu można już na podstawie formy geomorfologicznej dokonać wstępnej klasyfikacji terenu pod kątem spodziewanych warunków geologiczno-inżynierskich (rys. 57). Do terenów o niekorzystnych warunkach geologiczno-inżynierskich należy zaliczyć m.in. formy rzeczne, eoliczne, akumulacji morskiej, formy pochodzenia roślinnego, strefy krawę-

dziowe wysoczyzn (stromy stoki, klify), formy krasowe i erozyjne.

Przyjmuje się, że spadki terenu do  $i = 2\%$  (przy założeniu, że 100% spadek odpowiada kątowi nachylenia  $45^\circ$ ) pozwalają na dowolne kształtowanie zabudowy (Szponar, 2003). Spadki od 2 do 12% wymagają odpowiedniego usytuowania obiektu względem kierunku spadku lub wykonania dodatkowych prac ziemnych. Spadki powyżej 12% to tereny wymagające znacznych przekształceń z uwzględnieniem możliwości występowania lub uruchomienia procesów zbieżnych. Dlatego też dla terenów o spadkach większych niż 12% należy przyjmować niekorzystne warunki geologiczno-inżynierskie. W zależności od potrzeb, warunki można oceniać w aspekcie formy geomorfologicznej lub spadków terenu. Ocena warunków geologiczno-inżynierskich w aspekcie morfologicznym przedstawia tabela 37.

### 7.5.2. Określenie i ocena warunków geologicznych (gruntowych)

W ocenie warunków geologiczno-inżynierskich rodzaj gruntów i skał w podłożu należy określać, biorąc pod uwagę



Rys. 57. Uproszczona wizualizacja podstawowych form geomorfologicznych

Tabela 37

### Ocena warunków geomorfologicznych

Ocena warunków geomorfologicznych	Formy geomorfologiczne	LUB	Spadki terenu [%]	Ocena [pkt]
niekorzystne	formy rzeczne, eoliczne, akumulacji morskiej, formy pochodzenia roślinnego, strefy krawędziowe wysoczyzn (stromy stoki, klify), formy krasowe i erozyjne,		$\geq 12$	3
średnio korzystne	pokrywy zwietrzelinowe, formy denudacyjne, podłoże skalne spękane,		2–12	2
korzystne	formy pochodzenia lodowcowego i wodnolodowcowego, podłoże skalne niespękane		$\leq 2$	1

ich najistotniejsze cechy, determinujące możliwość przeniesienia projektowanych obciążeń (uproszczoną wizualizację wydzielen geologicznych przedstawiono na rys. 58). Dodatkowo należy także uwzględnić prawdopodobieństwo wystąpienia specyficznych procesów w obrębie masywu gruntowego (tzw. grunty problematyczne). Do gruntów problematycznych zalicza się grunty antropogeniczne, organiczne, zwietrzelinowe, zdeformowane glacitektonicznie, pęczniejące, zapadowe, tiksotropowe i inne podatne na deformacje filtracyjne (patrz rozdział 6.5.3).

Jednym z istotniejszych elementów oceny geologiczno-inżynierskiej gruntów jest określenie genezy, od której zależy (Dobak, 2005):

- sposób zachowania się gruntów pod obciążeniem;
- ich stan (stopień zagęszczenia lub plastyczności);
- charakter zmienności przestrzennej w obrębie danego typu genetycznego.

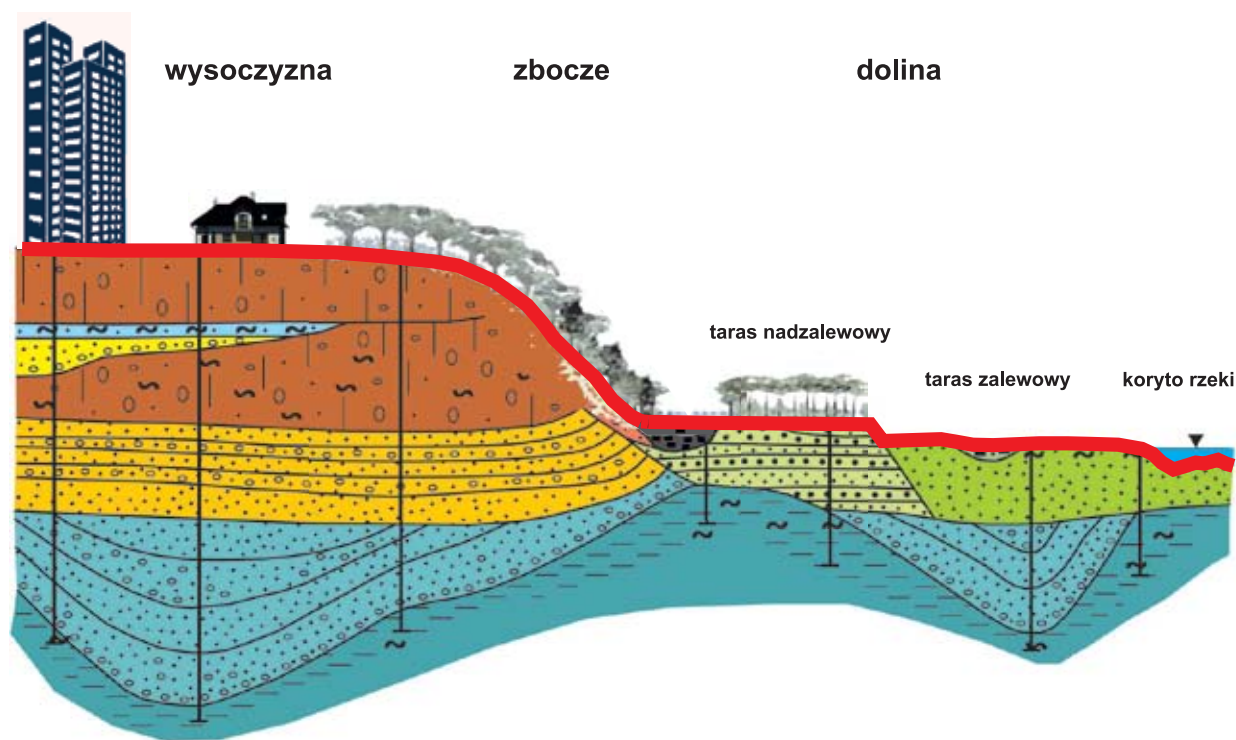
Pochodzenie i wiek gruntów świadczy także o stopniu skonsolidowania, scementowania i innych procesów postdepozycyjnych istotnych z punktu widzenia oceny ścisłości podłoża.

Kolejnym elementem różnicującym grunty w podłożu jest uziarnienie. W pierwszej kolejności w ujęciu ogólnym (gruboziarniste/drobnoziarniste), a następnie w kontekście udziału poszczególnych frakcji – w szczególności zawartości frakcji ilowej. Szczegółowy podział granulometryczny w ocenie warunków geologiczno-inżynierskich ma znaczenie drugorzędne (Dobak, 2005).

Ostatnim istotnym elementem oceny geologiczno-inżynierskiej gruntów występujących w podłożu jest stan gruntów (stopień zagęszczenia lub plastyczności). Można uznać, że warunki dobre w podłożu występują w przypadku występowania skał niespękanych oraz gruntów przynajmniej średnio zagęszczonych lub twardoplastycznych. Ocenę warunków geologiczno-inżynierskich w aspekcie rodzaju gruntu przedstawia tabela 38.

### 7.5.3. Określenie i ocena warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych

Błędna ocena warunków hydrogeologicznych jest jedną z najczęstszych przyczyn problemów w trakcie budowy i eks-



Rys. 58. Uproszczona wizualizacja wydzielen geologicznych (model geologiczny wg Kowalskiego, 1988)

Tabela 38

#### Ocena warunków geologicznych (gruntowych)

Ocena warunków geologicznych (gruntowych)	Rodzaj gruntu	Ocena [pkt]
niekorzystne	grunty problematyczne (antropogeniczne, organiczne, zwietrzelinowe, pęczniejące, zapadowe, tiksotropowe i inne podatne na deformacje filtracyjne)	3
średnikorzystne	grunty w stanie luźnym, plastycznym i miękkoplastycznym, skały spękane	2
korzystne	grunty w stanie średniozagęszczonym i zagęszczonym oraz twardoplastycznym, półzwartymi i zwartym, skały niespękane	1

ploatacji obiektów budowlanych. W ocenie warunków geologiczno-inżynierskich najistotniejsze jest położenie zwierciadła wód gruntowych i prognoza jego zmian (rys. 59). Dotyczy to nie tylko zmian sezonowych, lecz również możliwych zmian stosunków wodnych w wyniku realizacji inwestycji. Przyjmuje się, że korzystne warunki występują w przypadku, gdy poziom wody (z uwzględnieniem jego wahań) znajduje się poniżej poziomu posadowienia. W przypadku konstrukcji posadowionych głęboko poniżej poziomu terenu, oprócz głębokości występowania poszczególnych poziomów wód gruntowych istotna jest także ocena ciśnienia hydrostatycznego w poszczególnych poziomach, kierunków spływu, połączeń hydraulicznych pomiędzy poziomami, wielkości zasilania oraz parametrów filtracyjnych poszczególnych warstw (w przypadku odwodnienia).

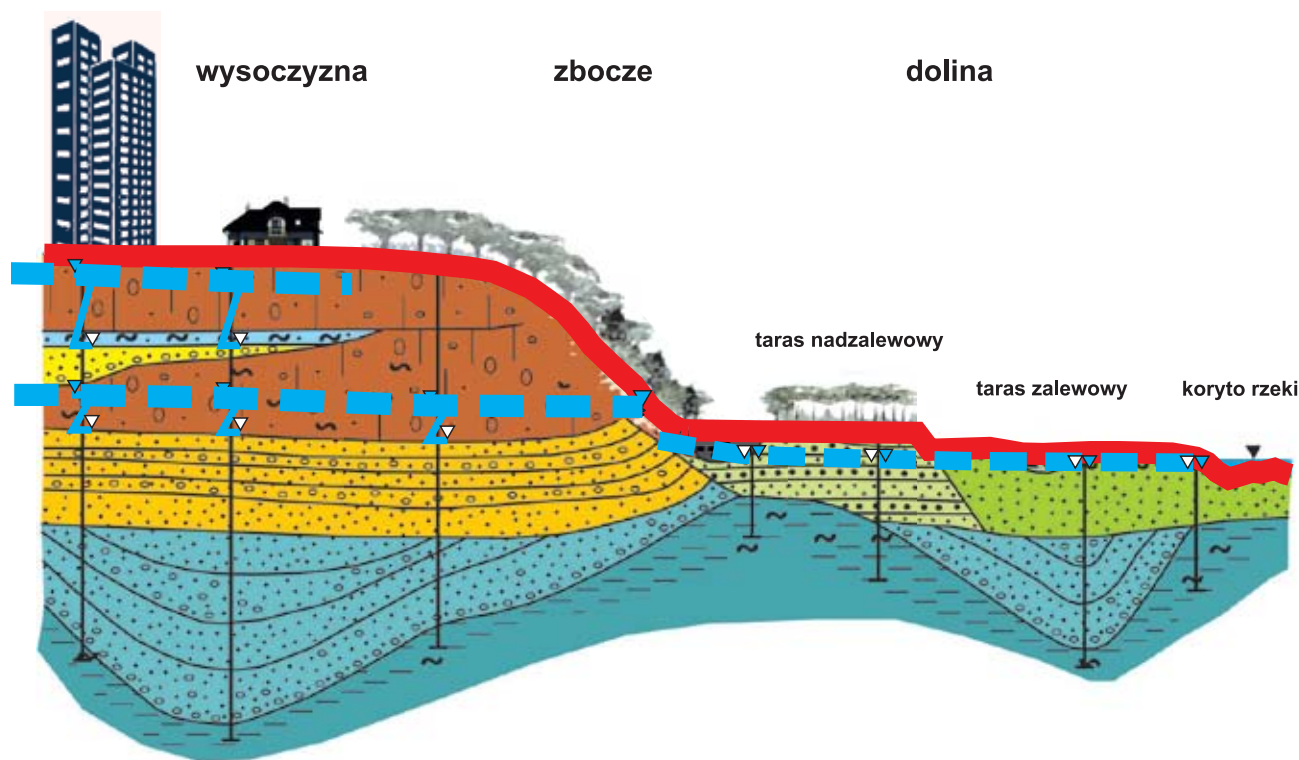
Ocenę warunków geologiczno-inżynierskich w aspekcie warunków hydrogeologicznych przedstawia tabela 39. Wa-

runki można oceniać w aspekcie głębokości do pierwszego zwierciadła wód gruntowych (głównie dla posadowień bezpośrednich) lub układu warstw wodonośnych (głównie dla konstrukcji posadowionych głęboko).

#### 7.5.4. Określenie i ocena występowania procesów geodynamicznych i innych niekorzystnych procesów geologicznych

Ocena możliwości wystąpienia procesów geodynamicznych (rys. 60) stanowi bardzo istotny element oceny warunków geologiczno-inżynierskich, być może nawet najważniejszy, ponieważ zjawiska takie mogą spowodować nie tylko straty materialne ale i zagrożenie dla życia ludzkiego. Do procesów geodynamicznych i geologicznych zalicza się:

- ruchy masowe;
- podtopienia i powodzie;



Rys. 59. Uproszczona wizualizacja warunków hydrogeologicznych (model geologiczny wg Kowalskiego, 1988)

Tabela 39

#### Ocena warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych

Ocena warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych	Głęb. pierwszego zwierciadła wód gruntowych [m p.p.t]	LUB	Układ warstw wodonośnych	Ocena [pkt]
niekorzystne	$\leq 1$		kilka poziomów wodonośnych o dużych wahań i zasilaniu, występujących pod znacznym ciśnieniem hydrostatycznym w tym artezyjskim	3
średniokorzystne	1–5		jeden poziom wodonośny o znacznych wahań zwierciadła, występujący w poziomie posadowienia lub powyżej	2
korzystne	$\geq 5$		brak wód gruntowych lub jeden poziom wodonośny o niewielkiej i znanej zmienności, występujący poniżej poziomu posadowienia	1

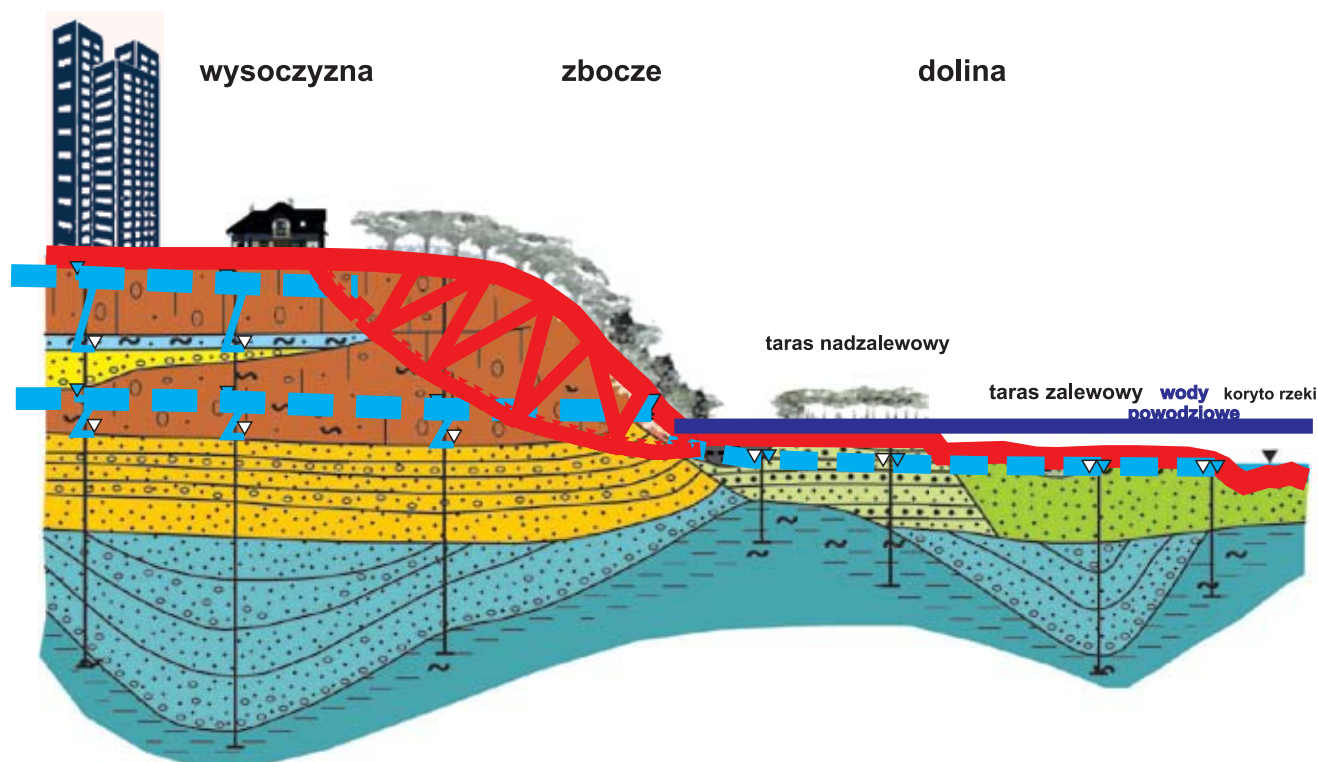
- zjawiska krasowe;
- erozję i abrazję;
- wstrząsy sejsmiczne.

Pomijając wstrząsy sejsmiczne, które w Polsce są zjawiskiem rzadkim, najniebezpieczniejsze są procesy osuwiskowe i powodzie, dlatego też miejsca ich występowania lub potencjalnego wystąpienia należy zawsze zaliczać do niekorzystnych warunków geologiczno-inżynierskich. Przyjmuje się (Dobak, 2005), że tereny o nachyleniu  $i > 12\%$  – w przypadku Nizy, oraz te, o nachyleniu  $i = 20\%$  – w przypadku podłoża zwietrzelinowo-skalistego, stanowią miejsca potencjalnie narażone na występowanie ruchów masowych (samoczynnych lub indukowanych działalnością człowieka – w tym pracami budowlanymi) i należy je zaliczać do terenów, o niekorzystnych warunkach geologiczno-inżynierskich. Ocenę warunków geologiczno-inżynierskich w aspekcie możliwości występowania procesów geodynamicznych przedstawia tabela 40.

### 7.5.5. Określenie i ocena występowania procesów i zjawisk antropogenicznych

Czynnik ten ma obecnie największe znaczenie na terenach przemysłowych i górniczych oraz zurbanizowanych. Antropopresja powoduje wiele oddziaływań istotnych do oceny warunków geologiczno-inżynierskich, które występują w różnym zakresie i różnej skali w zależności od prowadzonej działalności (rys. 61). Są to oddziaływania (Dobak i in., 2009):

- geomechaniczne – przekształcenia górotworu, osiadania i deformacje, zmiany parametrów fizyczno-mechanicznych, przemieszczenia grawitacyjne, wstrząsy parasejsmiczne;
- hydrogeologiczne i hydrologiczne (zmiany stosunków wodnych, mineralizacji, przepływu);
- geochemiczne (zanieczyszczenia, zmiany składu chemicznego gruntów i wód);



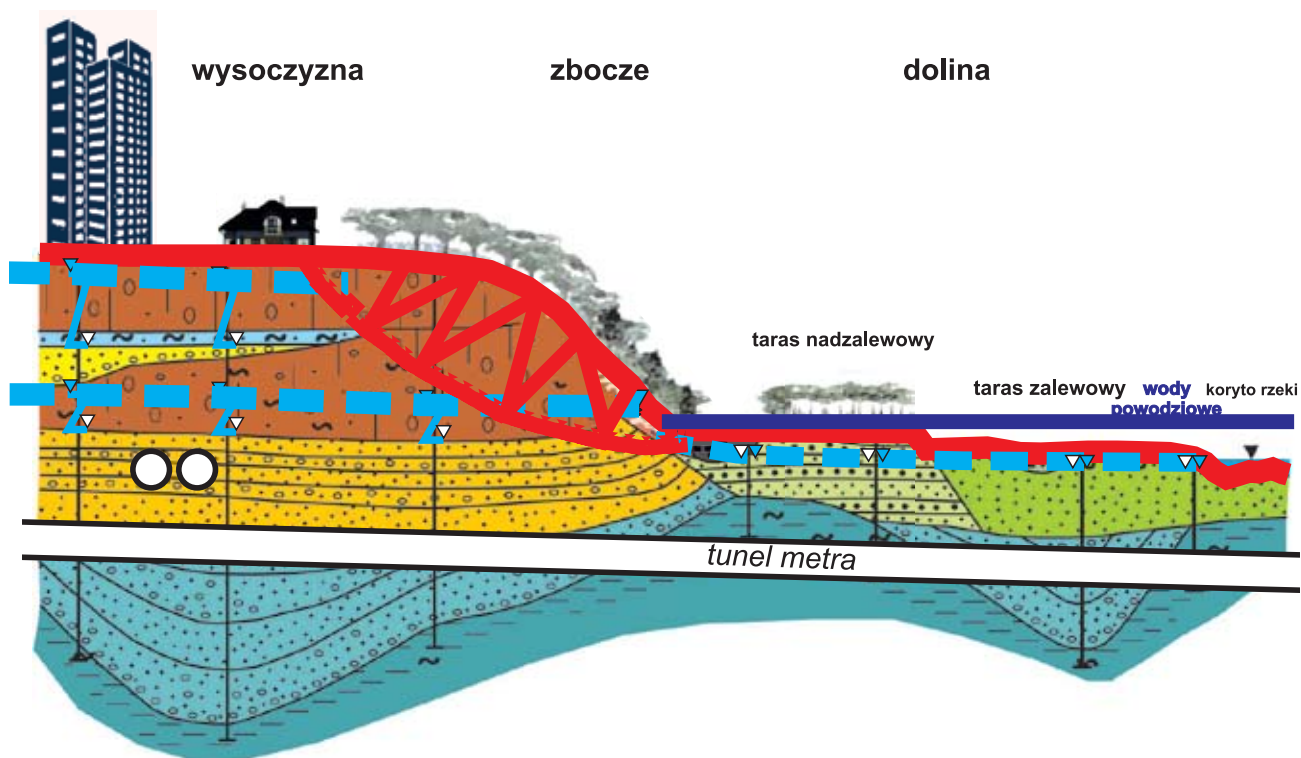
Rys. 60. Uproszczona wizualizacja procesów geodynamicznych i geologicznych (model geologiczny wg Kowalskiego, 1988)

Tabela 40

Ocena występowania procesów geodynamicznych i innych niekorzystnych procesów geologicznych

Ocena występowania procesów geodynamicznych i innych niekorzystnych procesów geologicznych	Możliwość wystąpienia czynnych procesów geodynamicznych	OCENA [pkt]
niekorzystne	czynne procesy geodynamiczne	3
średniokorzystne	istnieje możliwość wystąpienia procesów geodynamicznych	2
korzystne	brak przejawów czynnych i potencjalnych możliwości wystąpienia procesów geodynamicznych	1





Rys. 61. Uproszczona wizualizacja procesów antropogenicznych (model geologiczny wg Kowalskiego, 1988)

- geotermiczne (podniesienie temperatury);
- gazowe (dotyczą głównie obszarów wydobycia kopalin energetycznych, a szczególnie węgla kamiennego).

Obecność obszarów o znacznym nasileniu czynnika antropogenicznego implikuje konieczność zaklasyfikowania ich do niekorzystnych warunków geologiczno-inżynierskich z uwagi na znaczną zmienność przestrzenną gruntów antropogenicznych i zróżnicowanie ich wykształcenia. Z tego powodu wymagają bardziej szczegółowego udokumentowania w stosunku do gruntów rodzimych. Szczególnie nieprzewidywalne z punktu widzenia bezpieczeństwa konstrukcji są szkody górnicze, zwłaszcza o charakterze nieciągłym (rozdz. 6.5.3). Ocenę warunków geologiczno-inżynierskich w aspekcie stopnia antropopresji przedstawia tabela 41.

#### 7.5.6. Ocena warunków geologiczno-inżynierskich

Ocenę warunków geologiczno-inżynierskich należy utożsamiać z ustaleniem przydatności gruntów na potrzeby budownictwa w rozumieniu Rozporządzenia w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawienia (Rozporządzenie, 2012). Przedstawioną propozycję oceny punktowej można oczywiście modyfikować oraz rozszerzać o dodatkowe czynniki w zależności od potrzeb, uwzględniając specyficzne z punktu widzenia projektowanego obiektu aspekty oceny (np. o czynniki hydrologiczne).

W celu uzyskania oceny warunków geologiczno-inżynierskich, punkty uzyskane kolejno z analizowanych grup czynników (tab. 37–41) sumuje się, a otrzymany wynik zestawia z tabelą 42.

Tabela 41

#### Ocena występowania procesów i zjawisk antropogenicznych

Ocena występowania procesów i zjawisk antropogenicznych	Stopień antropopresji	Ocena [pkt]
niekorzystne	szkody górnicze, wstrząsy parasejsmiczne, zanieczyszczenia i degradacja gruntów, formy antropogeniczne (hałdy, wyrobiska, zwałowiska, składowiska, osadniki np.), nasypy z odpadów	3
średnikorzystne	pokrywy nasypowe z gruntów naturalnych o dużej lub zmiennej miąższości	2
korzystne	brak antropopresji lub pokrywy nasypowe z gruntów naturalnych o miąższości $\leq 1$ m, nasypy budowlane (budowle ziemne, makroniwelacja)	1

Tabela 42

## Ocena warunków geologiczno-inżynierskich

Ocena warunków geologiczno-inżynierskich	Punkcja
korzystne	5
średnikorzystne	6–10
niekorzystne	11–15

## 7.6. OCENA RYZYKA GEOLOGICZNEGO I PROGNOZA ZMIAN WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

Ryzyko geologiczne to możliwość wystąpienia niekorzystnego zjawiska wraz z jego konsekwencjami (Van Staveren, 2006). O ryzyku można mówić, kiedy jest wywołane czynnikami natury geologicznej (Majer i in., 2013).

W dużym uproszczeniu proces dokumentowania podłoża można opisać jako dostarczanie coraz to bardziej szczegółowych informacji o podłożu i obiekcie, pozwalających przewidzieć zachowanie się podłoża w wyniku obciążenia (rys. 62).

Okolo 95% inwestycji przebiega zgodnie z przewidywaniami (Hencher, 2012), jednak w pozostałych 5% przypadków pojawia się utrudnienie w realizacji przedsięwzięcia, które może przesądzić o ostatecznym jej koszcie. Jest wiele czynników mogących wpłynąć na przebieg realizacji przedsięwzięcia, jednak z punktu widzenia geologicznego najczęstszym problemem są źle rozpoznane warunki gruntowe i niewłaściwa ocena możliwości wystąpienia niekorzystnych zjawisk geologicznych. W efekcie, następuje konieczność wprowadzenia zmian projektowych już na etapie realizacji inwestycji, gdy koszt ich wprowadzenia jest wielokrotnie większy, niż byłby na etapie prac projektowych, a w skrajnych przypadkach dochodzi do awarii (katastrof) budowlanych. Dlatego też zaleca się, żeby określać i weryfikować możliwość wystąpienia niekorzystnych zjawisk na każdym etapie realizacji inwestycji poprzez ocenę ryzyka geologicznego.

W procesie inwestycyjnym w warunkach polskich można wyodrębnić 4 główne typy ryzyka geologicznego (Frankowski i Gałkowski, 2007, zmienione):

- geologiczno-inżynierskie:
  - odkształcenie (duże lub nierównomierne osiadania, osiadanie zapadowe, tąpnięcie itp);

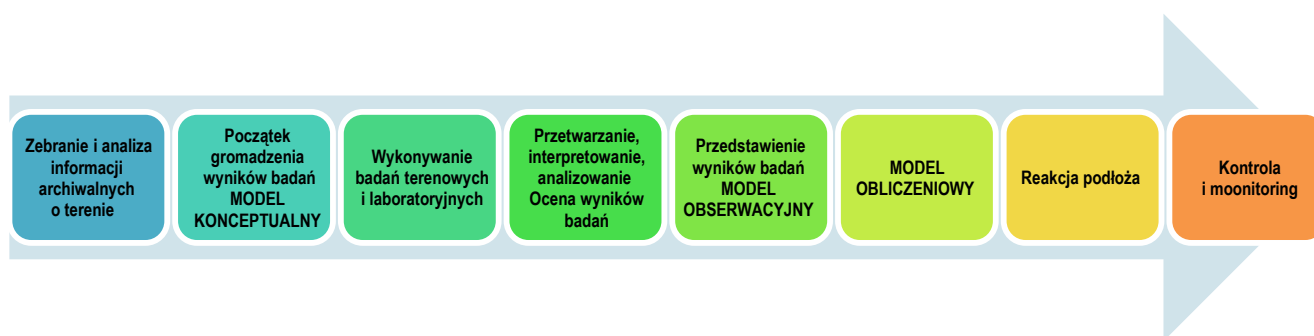
- wytrzymałość (utrata stateczności, upłynnienie itp.);
- hydrogeologiczne:
  - ciśnienie piezometryczne (wyparcie, przebicie hydrauliczne);
  - wahania poziomu zwierciadła wód podziemnych (podtopienie);
  - niespodziewane nawodnienie warstw (powódź);
- środowiskowe:
  - zanieczyszczenie wody;
  - zanieczyszczenie gruntu;
- antropogeniczne:
  - grunty nasypowe;
  - pozostałości starych fundamentów;
  - obecność niezainwentaryzowanej infrastruktury podziemnej;
  - znaleziska archeologiczne;
  - wstrząsy parasejsmiczne;
  - szkody górnicze;
  - pozostałości materiałów wybuchowych i niewybuchów.

Możliwość wystąpienia tych czynników samoistnie lub w wyniku realizacji inwestycji powinna być oszacowana na każdym etapie projektowania. Najistotniejsze są etapy wstępne (od studialnego do rozpoczęcia prac projektowych), ponieważ wtedy jeszcze zmiany projektowe nie generują dużych kosztów i są łatwe do wprowadzenia. Zaleca się systemowe podejście do zarządzania ryzykiem (Van Staveren, 2006; Młynarek, 2009), które sprowadza się do zmniejszenia ryzyka na skutek zwiększenia ilości i rodzaju posiadanych informacji o podłożu (rys. 63).

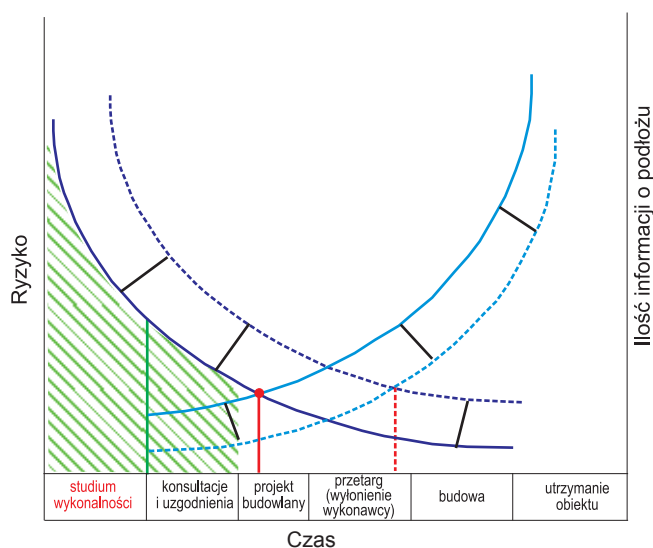
W ramach systemowego podejścia należy na każdym etapie realizacji inwestycji:

- zebrać jak najwięcej danych o podłożu i obiekcie;
- zidentyfikować, opisać i oszacować ryzyko;
- określić działania zmniejszające ryzyko;
- oszacować ryzyko ponownie po uwzględnieniu czynności zabezpieczających.

W praktyce dokumentowania jednym z przykładów wstępnej oceny ryzyka realizacji inwestycji jest określenie stopnia skomplikowania warunków gruntowo-wodnych oraz kwalifikacja do kategorii geotechnicznej. Samo zakwalifikowanie obiektu, np. do trzeciej kategorii geotechnicznej, może oznaczać zarówno, że konstrukcja jest bardzo złożona i wymaga indywidualnego podejścia, jak również, że jest umiejscowiona w obrębie skom-



Rys. 62. Efekty powstałe podczas dokumentowania podłoża



**Rys. 63. Schemat ideowy systemowego zarządzania ryzykiem (wg Van Staverena, 2006; Młynarka, 2009; Majer i in., 2013)**

Obszar zakreślony oznacza przedział czasu, gdy wprowadzenie zmian nie powoduje znacznego zwiększenia kosztów inwestycji.

plikowanych warunków gruntowych, do których zaliczają się tereny z możliwymi wystąpieniami niekorzystnych zjawisk geologicznych. Zakwalifikowanie obiektu do kategorii geotechnicznej jest każdorazowo wymagane na etapie projektu budowlanego i może ulec zmianie na każdym etapie prac projektowych.

Wstępnej oceny ryzyka geologicznego można jednak dokonać dużo wcześniej – już na etapie studium wykonalności poprzez:

- zlokalizowanie inwestycji na tle regionalnej budowy geologicznej (np. dolina rzeki, Karpaty – rozdz. 3.1);
- zaklasyfikowanie terenu pod kątem stopnia zagospodarowania i przekształcenia (tereny gęstej zabudowy, tereny aktywnej działalności górniczej);

– zidentyfikowanie specyficznych właściwości projektowanego obiektu (liniowy, wrażliwy na osiadania, głęboko posadowiony itp.).

Przypisanie inwestycji (lub jej części) do konkretnego regionu geologicznego Polski implikuje możliwość zaistnienia niekorzystnych zjawisk geologicznych (tab. 43).

W mniejszej skali można dokonać wstępnej oceny ryzyka, wykorzystując klasyfikację terenów inwestycyjnych (Van Staveren, 2006). Klasyfikacja ta dzieli tereny inwestycyjne na:

- tereny nienaruszone (*greenfield*) – zlokalizowane poza miastami, wcześniej niezagospodarowane, typowe dla inwestycji liniowych lub wielkopowierzchniowych typu lotniska, terminale itp.;
- tereny zagospodarowane (*brownfield*) – zlokalizowane w miastach lub ich sąsiedztwie lub na terenach przemysłowych – typowe dla obszarów rozwijających się, typu osiedla, centra handlowe itp.;
- tereny silnie przekształcone (*greyfield*) – zlokalizowane w gęstej zabudowie wielkich miast, tereny poprzemysłowe przeznaczone do zmiany kierunków zagospodarowania, typowe dla prac rekultywacyjnych lub odbudowy i rozbudowy istniejących obiektów lub budowa metra.

Istotną składową oceny ryzyka są właściwości samego obiektu, w tym typ zabudowy (wysoka, wielkopowierzchniowa, liniowa), złożoność obiektu, warunki jego pracy (obciążenia dynamiczne, drgania), wrażliwość na osiadania itp. Należy przyjmować zasadę, że wraz ze wzrostem stopnia złożoności obiektu wzrasta ryzyko wystąpienia problemów przy jego realizacji. Wiąże się to nie tylko z istniejącymi warunkami, ale także ze zmianami, które mogą nastąpić w wyniku realizacji inwestycji. Z tego powodu prognozowanie zmian warunków geologiczno-inżynierskich ma bardzo duże znaczenie na każdym etapie realizacji inwestycji, pozwala bowiem na przewidywanie stanu środowiska geologicznego lub geologiczno-inżynierskiego w określonym czasie, przy założeniu, że znane są czynniki kształtujące to środowisko (które dodatkowo mogą

**Tabela 43**

**Przykłady występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych w wybranych regionach Polski**

Niekorzystne zjawiska geologiczne	Karpaty	Lubelszczyzna	Delta Wisły	Górny Śląsk	Wybrzeże klifowe Morza Bałtyckiego	Dolina Warty
Ruchy masowe	+	+	–	+/-	+	+
Powodzie i podtopienia	+/-	+/-	+	+/-	–	+
Deformacje filtracyjne	+	+	+	+	+	+
Deformacje glaciektoniczne	–	–	–	–	+	+/-
Osiadanie zapadowe	–	+	–	–	–	–
Kompresja	+/-	+	+	+/-	–	+
Szkody górnicze	+	+	–	+	–	–
Zjawiska krasowe	–	+	–	+	–	–
Abrazja	–	–	–	–	+	–

+ występuje, – nie występuje, +/- możliwe występowanie

zmieniać się w czasie). Wiarygodność i dokładność prognozy zależy od:

- stopnia rozpoznania budowy geologicznej;
- stopnia poznania historii geologicznej środowiska geologicznego;
- znajomości oddziaływań obiektu budowlanego/górniczego lub sposobów zagospodarowania terenu na środowisko geologiczne;
- znajomości zjawisk i procesów geologicznych oraz ich zmian, które wpływają na obiekt budowlany/górniczny lub sposoby zagospodarowania terenu.

Zasady prognozowania zmian warunków geologiczno-inżynierskich obejmują zasady statyczno-przestrzenne, jak i czasowo-dynamiczne. Celem prognozowania statyczno-przestrzennego jest przewidywanie właściwości i ich zmienności w obrębie nieudokumentowanej części środowiska geologiczno-inżynierskiego. Dokonuje się tego na podstawie odpowiedniej liczby obserwacji z terenów sąsiadujących. Takie wnioskowanie umożliwia wydzielenie jednorodnych geologiczno-inżynierskich jednostek przestrzennych w środowisku, które jest rozpoznane z różną dokładnością. Prognozowanie czasowo-dynamiczne uwzględnia zmiany badanej części środowiska geologiczno-inżynierskiego w czasie, co umożliwia przewidywanie stanu badanego środowiska w przyszłości, po upływie określonego czasu na skutek wykonania i eksploatacji, ale coraz częściej po likwidacji obiektu budowlanego/górniczego (Kowalski, 1988).

Wiarygodność i dokładność prognoz geologiczno-inżynierskich jest kontrolowana w czasie realizacji i eksploatacji obiektu budowlanego/górniczego. W przypadku zaistnienia sytuacji nieprzewidzianych prognozą, które mogą zagrażać obiektowi lub jego otoczeniu, niezbędne są szybkie korekty ocen i prognoz z podaniem metod interwencyjnych, których zastosowanie zapobiegnie powstaniu lub rozwojowi szkód, np. kurzawki.

W prognozie zmian warunków geologiczno-inżynierskich w podłożu gruntowym na skutek wykonania obiektu budowlanego ważna jest znajomość charakterystycznych właściwości gruntów. W przypadku, gdy podłoże stanowią grunty ekspansywne, istotne jest wskazanie możliwości wystąpienia procesów pęcznienia lub skurczu, spowodowanego przez zmianę wilgotności gruntu w poziomie posadowienia obiektu. Wpływ mogą mieć różne czynniki:

- zmiana warunków wodnych w otoczeniu wykonanego obiektu;
- zmiana wilgotności ilów przez roślinność – szczególnie posadzenie drzew w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu;
- niedostateczne zabezpieczenie dna wykopu przed opadami atmosferycznymi;
- zmiany klimatyczne – długie lokalne okresy suszy lub intensywnych opadów atmosferycznych.

W przypadku posadowienia obiektów na przykład na obszarach dolin rzecznych, w rejonie skarp lub zboczy, na terenach, na których wystąpiły w przeszłości podtopienia, do opracowania prognozy najczęściej konieczne będą badania dodatkowe, nie związane bezpośrednio z rozpoznaniem podłoża projektowanego obiektu.

Przy lokalizacji obiektu w dolinach rzecznych lub zagłębieniach bezodpływowych bardzo ważne jest zebranie informacji archiwalnych lub z wywiadu terenowego o maksymalnych stanach wód podziemnych na dokumentowanym obszarze.

Lokalizacja obiektu w strefie przyskarpowej wymaga rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich w miejscu posadowienia i w otoczeniu projektowanej inwestycji. Podczas kartowania geologiczno-inżynierskiego konieczne jest sprawdzenie stanu technicznego budynków położonych w sąsiedztwie, rejestracja procesów geodynamicznych, rodzaje roślinności występujące na skarpie (mogą wskazywać na lokalizację sączeń lub okresowych wypływów wody podziemnej) i stanu infrastruktury naziemnej i podziemnej (rejestracja zagłębień, przechylenia słupów, drzew lub innych obiektów).

Do przygotowania prognozy zmian warunków geologiczno-inżynierskich konieczne jest zebranie dostępnych archiwalnych materiałów geologicznych oraz materiałów dotyczących aspektów środowiskowych badanego terenu (rozdz. 3). Analiza materiałów archiwalnych i wyniki wizji terenowej, w tym wywiad z mieszkańcami dotyczący zmian w środowisku, jakie wystąpiły w przeszłości oraz badania geologiczno-inżynierskie wykonane w celu rozpoznania i właściwego udokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich są podstawą do przeprowadzenia prognozy. Na dalszych etapach realizacji inwestycji istotą oceny ryzyka geologicznego jest analiza wyników badań uzyskanych z terenu przeznaczanego pod inwestycję i budowanie kolejnych modeli geologicznych (rozdz. 7.1).

Możliwość śledzenia i analizowania danych na potrzeby oceny ryzyka na każdym z etapów realizacji inwestycji (zarządzanie ryzykiem) wiąże się ze stałym dostępem do nich oraz sposobnością ich sprawnego przetwarzania i integrowania. Do tego celu konieczne są odpowiednie narzędzia pozwalające na ich zbieranie, przetwarzanie i wizualizację na potrzeby opracowań końcowych (GIS i BIM, rozdz. 9).

Analiza ryzyka jest niezbędna do zidentyfikowania zagrożeń geologicznych i oceny ich wpływu na obiekt budowlany oraz do prognozy zmian w trakcie jego wykonawstwa i eksploatacji, w celu ograniczenia ryzyka wystąpienia awarii lub katastrofy. Analiza ryzyka powinna być wdrożona do praktyki dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, także w celu optymalizacji rozwiązań projektowych dostosowanych do warunków geologiczno-inżynierskich, w efekcie czego pozwala ograniczyć koszty realizacji inwestycji.

## 8. SPORZĄDZANIE DOKUMENTACJI

Sporządzanie dokumentacji polega na zebraniu efektów następujących prac dokumentacyjnych:

- przetwarzanie, interpretowanie i analizowanie wyników badań;
- ocena wyników badań;
- przedstawianie wyników badań;
- gromadzenie wyników badań;
- archiwizowanie wyników badań;

które przedstawia się w formie dokumentu, np. dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Podczas procesu dokumentowania geologiczno-inżynierskiego zaleca się, żeby wszystkie efekty prac gromadzić w postaci dokumentów papierowych i ich cyfrowych kopii oraz cyfrowych baz danych zapisanych na informatycznych nośnikach w celu ich zabezpieczenia i archiwizacji.

W normie PN-EN 1997-2 odniesiono się do oceny wyników badań polowych i laboratoryjnych oraz do oceny informacji geotechnicznej, podano zalecenia i reguły dotyczące interpretowania wyników badań oraz przedstawiania danych geotechnicznych.

Prawo geologiczne i górnicze, w tym akty wykonawcze, odnosi się do przedstawiania wyników badań, definiując co powinna zawierać i z jakich elementów się składać dokumentacja geologiczno-inżynierska i projekt robót geologicznych. Jednocześnie nakłada obowiązek gromadzenia i archiwizowania informacji geologicznej.

Zalecenia i rekomendacje w zakresie sposobu sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich, dokumentacji badań podłoża oraz innych dokumentów, które zawierają wyniki badań, można znaleźć w wielu pozycjach literatury branżowej (tab. 6).

### 8.1. OGÓLNE ZASADY PRZETWARZANIA, INTERPRETOWANIA I ANALIZOWANIA WYNIKÓW BADAŃ ORAZ DANYCH Z PRAC I ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Przetwarzanie, interpretacja i analiza wyników badań polega na przekształcaniu danych źródłowych w celu nadania im znaczenia oraz ustalenia wspólnych zależności pomiędzy nimi. Efektem przetwarzania, interpretacji i analizy wyników badań są mapy, przekroje, modele, wykresy, zestawienia tabularyczne i inne formy przedstawienia danych.

Główne kryteria, pod kątem których należy przetwarzać, interpretować i analizować wszystkie zabrane dane i wyniki badań to:

- rodzaj obiektu budowlanego i sposób jego posadowienia;

- warunki geomorfologiczne;
- budowa geologiczna;
- warunki hydrogeologiczne;
- zagrożenia geologiczne;
- przekształcenia antropogeniczne;
- właściwości fizyczno-mechaniczne gruntów i skał.

Przetwarzanie, interpretacja i analiza wyników powinna pozwolić na:

- ustalenie warunków geologiczno-inżynierskich oraz przedstawienie ich na mapach, przekrojach i modelach;
- ustalenie wartości wyprowadzonych parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw gruntów i skał, zestawionych w formie tabeli;
- przeprowadzenie ich oceny pod kątem przydatności do wyboru optymalnej lokalizacji, projektowania i wykonania obiektu budowlanego – wnioskowanie, zalecenia.

**Przetwarzanie.** Przetwarzanie danych i wyników badań, uzyskanych podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, polega na krytycznej analizie i uproszczeniu danych źródłowych przez odrzucenie zbędnych informacji, które utrudniają lub zaburzają interpretację. Często wykonuje się to w sposób iteracyjny, a kolejność poszczególnych iteracji musi być odpowiednio dobrana. Dzięki temu otrzymuje się niezaburzone i pozbawione artefaktów dane gotowe do interpretacji. Z uwagi na ważność procesu przetwarzania danych powinna to wykonywać osoba posiadająca odpowiednie doświadczenie. Nie można bowiem dopuścić do utraty istotnych informacji, które mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo obiektu budowlanego. Przetwarzanie danych może odbywać się z zastosowaniem metod numerycznych, automatycznie lub manualnie. Wyniki badań, dane oraz pomiary, które wymagają przetwarzania w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim to m.in.:

- pomiary teledetekcyjne;
- badania geofizyczne;
- sondowania.

**Interpretowanie.** Interpretowanie wyników badań, pomiarów i danych polega na określeniu parametrów oraz cech jakościowych i ilościowych:

- gruntów i skał występujących w podłożu i w sąsiedztwie obiektu budowlanego;
- przestrzeni geologicznej w podłożu i w sąsiedztwie obiektu budowlanego;
- powierzchni terenu inwestycji.

Interpretowanie przeprowadza się na podstawie korelacji, wzorów empirycznych, nomogramów, macierzy, zapisów norm, metod geostatystycznych (ekstrapolacja, interpolacja,

alokacja) oraz doświadczenia. Zastosowanie konkretnej korelacji, wzoru empirycznego, nomogramu, macierzy, zapisu normy, metody geostatystycznej i/lub doświadczenia wymaga uzasadnienia oraz sprawdzenia przydatności do określenia danego parametru lub cechy.

Interpretowanie, podobnie jak przetwarzanie danych, powinna wykonywać osoba posiadająca doświadczenie, by zminimalizować możliwe błędy modelu, a uzyskane wartości parametrów gruntów i skał były prawidłowo wyznaczone.

Interpretację wykonuje się korzystając ze specjalistycznego oprogramowania, arkuszy kalkulacyjnych lub manualnie.

Większość wyników badań, danych oraz pomiarów zgromadzonych podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego wymaga interpretacji. Przykładami takiej interpretacji są m.in.:

- określenie stopnia zagęszczenia z pomiarów wykonanych sondami dynamicznymi na podstawie wzoru empirycznego;
- określenie współczynnika konsolidacji oraz współczynnika ścisłości wtórnej z badań edometrycznych na podstawie metody graficznej opisanej w normie;
- określenie granic warstw gruntów i skał na podstawie danych z wierceń;
- określenie przestrzennego zróżnicowania miąższości gruntów organicznych za pomocą metod geostatystycznych;
- określenie przestrzennego położenia głębokości do pierwszego zwierciadła wód podziemnych za pomocą metod geostatystycznych;
- określenie form geomorfologicznych na podstawie kartowania geologiczno-inżynierskiego i cyfrowego modelu terenu;
- zbudowanie modelu geologicznego 3D za pomocą metod geostatystycznych.

**Analizowanie.** Analiza wyników badań, pomiarów i danych polega na wyznaczeniu zależności i wskazaniu prawidłowości między nimi, pozyskaniu z nich jak największej wiedzy oraz przeprowadzeniu ich obiektywnej oceny i wnioskowania. Pozwala ustalić zmienność zachodzących zależności, zjawisk i procesów oraz ich tendencje do zmian w czasie.

W zależności od rodzaju danych oraz celu dokumentowania geologiczno-inżynierskiego do analizy wykorzystuje się metody statystyczne lub eksploracyjne, różniące się zakresem zastosowań oraz użytymi algorytmami, np.:

- wykresy typu: histogramy, skrzynkowe, krzywe regresji;
- statystykę opisową;
- analizy statystyczne (regresji, korelacji, wariancji i in.);
- sieci neuronowe;
- wnioskowanie matematyczne;
- poszukiwanie asocjacji;
- analizę jakościową danych;
- analizę ilościową danych;
- klasyfikację;
- grupowanie.

Analizę wyników badań powinna wykonywać osoba posiadająca odpowiednie doświadczenie, zwłaszcza w zakresie stosowania metod statystycznych.

Zaleca się, żeby metody statystyczne były stosowane w przypadku posiadania wyników badań o odpowiedniej liczeb-

ności, w celu określenia prawidłowości w zakresie stwierdzonych zależności, zjawisk i procesów.

Do analizy możemy wykorzystać różne narzędzia, zazwyczaj są to specjalistyczne programy, arkusze kalkulacyjne lub doświadczenie.

Zbiory wyników badań o odpowiedniej liczebności, dane oraz pomiary zgromadzone podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego wymagają analizy. Przykłady analizy wyników badań, pomiarów i danych to m.in.:

- wyznaczenie statystyk opisowych dla wartości wyprowadzonych parametrów geotechnicznych;
- wyznaczenie zależności między cechami fizycznymi gruntu a mechanicznymi, np. uziarnieniem gruntu a edometrycznym modułem ścisłości;
- wyznaczenie zmienności cech fizycznych gruntów i skał w profilu pionowym;
- scharakteryzowanie zmienności i rozkładu wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego dla wyznaczonych warstw gruntów na wykresie skrzynkowym lub histogramie.

Interpretacja i analiza wyników badań, pomiarów i danych powinna mieć charakter informacyjny i badawczy. W efekcie interpretacji i analizy powinniśmy uzyskać ocenę warunków geologiczno-inżynierskich oraz zjawisk i procesów, które mogą zagrażać bezpieczeństwu obiektu budowlanego, model geologiczny, właściwości fizyczno-mechaniczne gruntów i skał występujących w podłożu, na terenie i w sąsiedztwie inwestycji.

Podczas analizy i interpretacji budowy geologicznej należy uwzględnić wszystkie cechy, w tym wydzielenia genetyczne, litologiczne, stratygraficzne i tektoniczne. Układ warstw należy interpretować do głębokości mającej wpływ na ocenę stateczności obiektu budowlanego z odpowiednią dokładnością.

Charakterystyka właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał powinna być wykonana do odpowiedniej głębokości oraz obejmować badania terenowe i laboratoryjne przydatne do oceny stateczności obiektu budowlanego i zaprojektowania sposobu posadowienia.

W efekcie rozpoznania modelu budowy geologicznej należy opracować mapy geologiczne i/lub mapy gruntów na różnych głębokościach oraz przekroje geologiczno-inżynierskie.

Analiza warunków geomorfologicznych jest istotna do interpretacji właściwości gruntów i skał oraz ma wpływ na warunki prowadzenia robót ziemnych podczas budowy. Dobrze wydzielone formy geomorfologiczne oraz uskoki ułatwiają interpretację rozprzestrzenienia warstw gruntów i skał.

Warunki geomorfologiczne w połączeniu z siecią hydrograficzną i budową geologiczną ułatwiają interpretację warunków hydrogeologicznych oraz identyfikację terenów zagrożonych wystąpieniem podtopień, powodzi oraz osuwisk. Formy geomorfologiczne powinny być przedstawione na mapie geomorfologicznej.

Zjawiska i procesy geodynamiczne, geologiczno-inżynierskie oraz antropogeniczne powinny być zidentyfikowane, opisane i rozpoznane w stopniu pozwalającym na określenie ich rozprzestrzenienia oraz prognozy ich rozwoju. Na uwagę

zasługują zwłaszcza ruchy masowe, deformacje filtracyjne, erozja oraz pionowe ruchy tektoniczne. Wszystkie wymienione zjawiska i procesy zagrażają obiektowi budowlanemu, jednocześnie podczas budowy może dochodzić do ich rozwoju. Zidentyfikowane oraz możliwe do wystąpienia zjawiska oraz procesy geologiczne i antropogeniczne należy przedstawić m.in. na mapie zagrożeń geologicznych, na mapie warunków geologiczno-inżynierskich lub na mapie rejonizacji geologiczno-inżynierskiej. Należy zaznaczyć, że mapa warunków geologiczno-inżynierskich prezentuje wyniki rozpoznania terenu, natomiast mapa rejonizacji geologiczno-inżynierskiej jest dedykowana określonym rodzajom inwestycji lub sposobom zagospodarowania terenu, dla których ustala się indywidualne kryteria waloryzacji.

Analiza i interpretacja warunków hydrogeologicznych powinna być przeprowadzona zwłaszcza dla pierwszego zwierciadła wód podziemnych oraz dla wszystkich pozostałych, które mogą mieć wpływ na obiekt budowlany. W wykonywaniu analiz i interpretacji należy wziąć pod uwagę budowę geologiczną terenu inwestycji i rozprzestrzenienie warstw gruntów przepuszczalnych i słabo przepuszczalnych, ciśnienia wód gruntowych, a w przypadku skał – występowanie uskoków oraz wyniki oceny masywu skalnego, zwłaszcza szczelinowości. Podstawą interpretacji warunków hydrogeologicznych powinny być wyniki obserwacji hydrogeologicznych w otworach i kartowania geologiczno-inżynierskiego w zakresie przejawów występowania na powierzchni wód gruntowych w studniach i otworach hydrogeologicznych. Konieczna jest również analiza danych historycznych, jeżeli są dostępne, zwłaszcza w zakresie amplitudy wahań poziomu wód podziemnych – określenie maksymalnego i minimalnego stanu. Należy przeprowadzić badania fizykochemiczne wód podziemnych, w celu określenia agresywności w stosunku do betonu oraz zidentyfikowania potencjalnych stref występowania zanieczyszczeń. Warunki hydrogeologiczne powinny być przedstawione na mapie hydrogeologicznej.

Interpretacja i analiza właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał oraz wydzielenie ich warstw powinny być przeprowadzone na podstawie dostępnych wyników badań terenowych i laboratoryjnych. Wydzielanie warstw i ich charakterystykę należy dostosować do potrzeb związanych z posadowieniem obiektu budowlanego oraz projektanta i wykonawcy takiego obiektu. Informacje te przedstawia się na przekrojach i w zestawieniach tabelarycznych, które ułatwiają pracę uczestnikom procesu budowlanego. Interpretację i analizę wyników badań cech fizycznych i mechanicznych gruntów i skał powinny przeprowadzać osoby z doświadczeniem, żeby zminimalizować ryzyko popełnienia błędu.

## 8.2. OGÓLNE ZASADY OCENY WYNIKÓW BADAŃ ORAZ PRAC I ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Ocena wyników badań jest podstawą wniosku, co stanowi końcowy element dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i innych dokumentów syntetyzujących rozpoznanie i badania podłoża gruntowego.

Prawidłowa ocena wyników badań ma bezpośredni wpływ na bezpieczne zaprojektowanie, wykonanie i eksploatację obiektu budowlanego. Zaleca się, żeby ocenę przeprowadzał zespół osób z odpowiednią wiedzą i doświadczeniem, dzięki czemu można znacząco ograniczyć występowanie problemów podczas budowy i eksploatacji obiektu oraz zaistnienie awarii lub katastrofy.

W zależności od rodzaju danych oraz celu dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, wykonując ocenę wyników badań, należy korzystać z doświadczenia zespołu dokumentatorów, ekspertów oraz z doświadczenia porównywalnego (Wysokiński i in., 2011).

Wszystkie wyniki badań, dane oraz pomiary zgromadzone podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego podlegają ocenie przez osobę dokumentującą.

W normie PN-EN 1997-2 podano szczegółowe zalecenia i reguły w zakresie oceny wyników badań polowych i laboratoryjnych oraz oceny informacji geotechnicznych, które należy stosować. Podczas oceniania wyników badań terenowych należy m.in.:

- wykorzystać każdą informację o warunkach występujących w podłożu;
- uwzględnić możliwość wpływu aparatury, technik pomiarowych oraz zmienności podłoża na uzyskany wynik;
- wziąć pod uwagę anizotropię wykształcenia gruntów i skał;
- określić zakres stosowania wykorzystanej korelacji do wyznaczania parametrów gruntów i skał;
- stwierdzić, czy metody wykorzystane do badań były odpowiednio dobrane do warunków występujących w podłożu gruntowym i są zgodne z warunkami stosowania wybranych metod podanych w odpowiednich normach. Oceniając wyniki badań laboratoryjnych należy m.in.:
- porównać wyniki badań laboratoryjnych z wynikami badań archiwalnych;
- uwzględnić możliwość wpływu technik wiertniczych i sposobu pobrania próbek oraz zmienności podłoża na uzyskany wynik, w tym sprawdzić reprezentatywność próbek gruntów i skał;
- wziąć pod uwagę anizotropię wykształcenia gruntów i skał – badania w pozycji horyzontalnej i wertykalnej.

Szczegółowe zasady stosowane w ocenie wyników badań terenowych i polowych podają odpowiednie normy i specyfikacje techniczne.

Ocena informacji uzyskanych z całego procesu dokumentowania powinna uwzględniać:

- właściwe udokumentowanie wszystkich wyników badań terenowych i laboratoryjnych;
- przegląd wszystkich wykonanych wyników badań terenowych i laboratoryjnych;
- opis wydzielonych warstw gruntów i skał, w tym rozprzestrzenienie poziome i pionowe, wraz z charakterystyką właściwości fizycznych, wytrzymałościowych i odkształceniowych w odniesieniu do uzyskanych wyników badań;
- stwierdzone zagrożenia geologiczne, np.: pustki, nieciągłości, zapadliska;

- położenie zwierciadła wody podziemnej, rodzaj gruntów i skał, metody wiercenia i pobierania próbek, warunki ich transportu, przechowywania i przygotowania;
- graficzne zobrazowanie wyników badań na przekrojach przedstawiających układ warstw, położenie zwierciadeł wód podziemnych oraz wymagania projektowe;
- wartości wyprowadzone parametrów geotechnicznych.

Przykładami oceny wyników badań, pomiarów i danych, uzyskanych podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego i geotechnicznego są m.in.:

- ocena zebranych danych archiwalnych pod kątem ich przydatności do charakterystyki terenu inwestycji, w tym jego historii zagospodarowania z uwagi na możliwość występowania terenów historycznie zanieczyszczonych, a przede wszystkim do zaprojektowania badań terenowych i laboratoryjnych;
- ocena wystarczalności zakresu i rodzaju wykonanych badań terenowych i laboratoryjnych na potrzeby modelu geologicznego i wyznaczenia wartości wyprowadzonych parametrów geotechnicznych;
- ocena przydatności wyników wykonanych badań terenowych i laboratoryjnych do zaprojektowania obiektu budowlanego oraz określenia jego stateczności i sposobu posadowienia;
- ocena warunków geologiczno-inżynierskich dla optymalnej lokalizacji, identyfikacji zagrożeń oraz budowy modelu geologicznego;
- ocena zagrożeń geologicznych i geotechnicznych dla stateczności obiektu budowlanego oraz terenu inwestycji;
- ocena właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał dla optymalnego posadowienia;
- ocena stopnia udokumentowania i rozpoznania podłoża gruntowego w celu podania zaleceń i rekomendacji do dalszych badań wraz z uzasadnieniem;
- ocena uzyskanych wyników badań, modelu geologicznego i właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał pod kątem wyboru lokalizacji, zaprojektowania, wykonania i eksploatacji obiektu budowlanego.

### 8.3. OGÓLNE ZASADY PRZEDSTAWIANIA WYNIKÓW BADAŃ ORAZ PRAC I ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Przedstawienie wyników badań to faza dokumentowania, która polega na opisaniu i zobrazowaniu wszystkich zebranych, przetworzonych, zinterpretowanych, przeanalizowanych i ocenionych wyników badań oraz zebranych i przeanalizowanych informacji o terenie inwestycji i obszarach sąsiadujących.

W rozdziale podano ogólne informacje dotyczące sposobów i formy przedstawiania wyników badań oraz zalecenia do opracowania dokumentacji w formie elektronicznej.

Informacje zebrane o terenie inwestycji oraz wyniki badań podłoża powstające podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego należy przedstawiać w formie dokumentów opisanych w rozdziale 2.1.2. Większość z tych dokumentów

sporządza się w podziale na część tekstową, tabelaryczną i graficzną w układzie:

- tekst opracowania – opisujący i objaśniający;
- załączniki graficzne i tabelaryczne.

Każdy element dokumentu powinien być ponumerowany, opatrzony datą wykonania i podpisany przez autora/ów i osobę sprawdzającą.

Zawartość wskazanych dokumentów jest szczegółowo opisana w aktach prawnych, normach lub publikacjach branżowych (tab. 6).

Zawartość projektu robót geologicznych i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej regulują odpowiednie rozporządzenia Ministra Środowiska, natomiast zawartość programów badań i dokumentacji badań podłoża podano w normie PN-EN 1997-2 (rozdz. 2 i 6 tej normy).

Zawartość studium geologiczno-inżynierskiego i studium geotechnicznego określono w dokumentach branżowych opracowanych przez GDDKiA oraz PKP PLK (Zarządzenie..., 2015; Instrukcja PKP, 2016).

Inne formy przedstawiania wyników badań podłoża nie są regulowane w przepisach prawa, a ich zawartość zazwyczaj podlega szczegółowym uzgodnieniom między dokumentatorem a zamawiającym (np. ekspertyzy).

W związku z powyższym forma oraz treść części tekstowej i graficznej dokumentów opisanych w rozdziale 2 powinna w pierwszej kolejności odzwierciedlać zapisy prawa, następnie zalecenia norm, wytyczne branżowych oraz doświadczenie dokumentatora, a także wymagania szczegółowe wynikające np. z opisu przedmiotu zamówienia, który stanowi element specyfikacji istotnych warunków zamówienia (SIWZ).

Zawartość dokumentacji geologiczno-inżynierskich oraz innych dokumentów związanych z przedstawianiem wyników badań podłoża wymienionych w rozdziale 2 powinna być uzależniona od etapu badań podłoża (rozdz. 2.2.2), stopnia skomplikowania warunków gruntowych (rozdz. 2.1.1) oraz rodzaju obiektu budowlanego.

W normie PN-EN 1997-2 podano, że zasadą jest, żeby przedstawienie informacji i danych obejmowało udokumentowane wyniki badań polowych i laboratoryjnych, zawierało opis zastosowanych metod i procedur z powołaniem na dokumenty odniesienia oraz było zgodne z wymaganiami określonymi w normach PN-EN i ISO.

#### 8.3.1. Treść i sposób opracowania części tekstowej

Zaleca się, aby część tekstowa dokumentacji geologiczno-inżynierskich oraz innych dokumentów związanych z przedstawianiem wyników badań podłoża wymienionych w rozdziale 2 miała charakter syntezy obejmującej zebrane, przetworzone, zinterpretowane, przeanalizowane i ocenione wyniki badań oraz zebrane i przeanalizowane informacje o terenie inwestycji i terenach sąsiadujących (rozdz. 3).

Część tekstowa dokumentu powinna zawierać opisy, szczegółowe komentarze oraz odniesienia do załączników graficznych i zestawień tabelarycznych w nawiązaniu do celu badań.



Głównymi elementami dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i dokumentacji badań podłoża powinny być: ocena warunków geologiczno-inżynierskich ze wskazaniem zagrożeń dla obiektu budowlanego, model geologiczny oraz zalecenia odnośnie do dalszych badań (jeżeli będą one konieczne z uwagi na nierozwiązany problem lub wątpliwości) wraz z uzasadnieniem.

Dokumentacje bezwzględnie powinny zawierać następujące informacje (Jakubicz, Łodzińska, 1989, zmodyfikowane):

- cel i zakres wykonanych badań w odniesieniu do etapu badań (rozdz. 4);
  - ogólną charakterystykę terenu oraz terenów sąsiadujących wraz z jego historią zagospodarowania;
  - założenia projektowe dla obiektu budowlanego wraz z podaniem kategorii geotechnicznej i stopniem skomplikowania warunków gruntowych;
  - imiona i nazwiska wszystkich osób uczestniczących w procesie dokumentowania z przypisaną im rolę i wykonanymi czynnościami;
  - daty wykonania wszystkich obserwacji terenowych, daty badań laboratoryjnych i terenowych oraz daty opracowania dokumentu w podziale na datę rozpoczęcia i datę zakończenia;
  - lokalizację poszczególnych badań terenowych;
  - wyniki badań podłoża gruntowego na terenie inwestycji oraz w jej sąsiedztwie wraz z komentarzem;
  - opis modelu geologicznego wraz z wartościami pomierzonymi i wyprowadzonymi parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw gruntów i skał;
  - zagrożenia geologiczne dla obiektu budowlanego na etapie budowy i eksploatacji wraz z komentarzem.
- Tekst powinien zawierać takie elementy jak:
- wstęp – wskazanie podstawy rozpoczęcia prac i robót geologicznych lub badań podłoża, opis celu prac i robót geologicznych lub badań podłoża, opis prac poszczególnych wykonawców biorących udział w dokumentowaniu;
  - ogólna charakterystyka terenu – położenie administracyjne, geograficzne, obecna i historyczna charakterystyka zagospodarowania terenu, analiza materiałów archiwalnych, dane z wizji terenowej i wywiadu środowiskowego;
  - warunki geomorfologiczne i hydrograficzne – charakterystyka form geomorfologicznych i ich wpływ na ukształtowanie terenu, opis genezy gruntów i skał, warunki hydrograficzne;
  - warunki geologiczne – charakterystyka budowy geologicznej i procesów geologicznych, jakie występują i występowały na terenie inwestycji i w jej sąsiedztwie, z uwzględnieniem stratygrafii, litologii i tektoniki w nawiązaniu do materiałów archiwalnych i/lub wyników badań (w zależności od etapu badań i zgromadzonych informacji);
  - warunki hydrogeologiczne – charakterystyka poziomów wód gruntowych stwierdzonych na terenie inwestycji oraz w jej sąsiedztwie z uwzględnieniem głębokości występowania poziomów wód podziemnych i ciśnień, charakteru zwierciadła wód podziemnych, amplitudy wahań sezonowych

- i z wielolecia, zagrożeń dla obiektu budowlanego w nawiązaniu do materiałów archiwalnych i/lub wyników badań (w zależności od etapu badań i zgromadzonych informacji);
- zagrożenia geologiczne – opisane zjawiska i procesy geodynamiczne i geologiczno-inżynierskie, w tym: ruchy masowe (osuwiska), podtopienia i powodzie, zjawiska krasowe, erozja i akumulacja, deformacje filtracyjne (sufozja, osiadanie zapadowe), ekspansywność, deformacje tektoniczne, sejsmiczność wraz ze stopniem ich aktywności, stwierdzone na terenie inwestycji i w jej sąsiedztwie w nawiązaniu do materiałów archiwalnych i/lub wyników badań (w zależności od etapu badań i zgromadzonych informacji);
- antropopresja – opisane obecne i historyczne formy zaburzeń powierzchni terenu i podłoża inwestycji w wyniku działalności człowieka, w tym: szkody górnicze, tereny zrekultywowane i niezrekultywowane, strefy zanieczyszczeń, sieć melioracyjna, infrastruktura podziemna i powierzchniowa, stare fundamenty i elementy konstrukcji, wraz ze stopniem ich oddziaływania, stwierdzone na terenie inwestycji i w jej sąsiedztwie w nawiązaniu do materiałów archiwalnych i/lub wyników badań (w zależności od etapu badań i zgromadzonych informacji);
- warunki geologiczno-inżynierskie – ustalenie, ocena i prognoza zmian warunków geologiczno-inżynierskich (rozdz. 7.5, 7.6) na terenie inwestycji i w jej sąsiedztwie w nawiązaniu do materiałów archiwalnych i/lub wyników badań (w zależności od etapu badań i zgromadzonych informacji);
- wyniki badań terenowych i laboratoryjnych – opis: metod, rodzaju i zakresu wszystkich badań wykorzystanych do opracowania, sposobu ich przetworzenia i interpretacji wraz z uzasadnieniem przyjętych metod interpretacji, ocena pod kątem wykorzystania do realizacji obiektu budowlanego, a także zgodność z projektem robót geologicznych lub programem badań, jeżeli taki został wcześniej opracowany;
- charakterystyka wydzielonych warstw gruntów i skał – kryteria wydzielenia warstw gruntów i skał, opis wydzielonych warstw gruntów i skał na terenie inwestycji i w jej sąsiedztwie wraz z charakterystyką właściwości fizyczno-mechanicznych i z podanymi wartościami wyprowadzonych parametrów geotechnicznych;
- charakterystyka surowców budowlanych – lokalizacja i opis złóż kopalin możliwych do wykorzystania na etapie budowy;
- podsumowanie i wnioski – zestawienie wszystkich prac, robót i badań wykonanych w poszczególnych fazach dokumentowania oraz wynikających z nich zaleceń dla posadowienia obiektu i prognozowanych zmian warunków geologiczno-inżynierskich;
- literatura – wykaz użytej i cytowanej literatury, zarówno pozycji opublikowanych, jak i niepublikowanych, wskazanie archiwum lub miejsca, gdzie dane pozycje niepublikowane można odszukać.

Podany wyżej układ tekstu oraz jego zawartość powinny się zmieniać w zależności od rodzaju dokumentu, etapu badań, skali inwestycji i rodzaju obiektu budowlanego. Treść dokumentu powinna być dostosowana do potrzeb inwestora, projektanta i/lub wykonawcy.

Należy podkreślić, że w początkowych etapach realizacji inwestycji najwięcej danych będzie pochodzić z bezpośrednich obserwacji w terenie (wizja lokalna, wywiad środowiskowy) oraz z analizy zebranych materiałów archiwalnych. Na kolejnych etapach będą dochodzić wyniki z badań terenowych i laboratoryjnych oraz obserwacje wykonywane w czasie budowy. W związku z tym, przechodząc do kolejnych etapów, będziemy zmieniać charakter tekstu – od ogólnych opisów i stwierdzeń na etapie wizji do bardzo szczegółowych na etapie badań i budowy (rys. 62).

Szczegółowość opisu należy dostosować do ilości zebranych danych i etapu realizacji inwestycji. Najwięcej danych i informacji o terenie inwestycji zbierzemy na początkowych etapach jej realizacji, a opisy wykonane na ich podstawie będą ogólne. Na końcowym etapie realizacji inwestycji dodatkowych informacji o podłożu będzie niewiele, natomiast opisy będą coraz bardziej szczegółowe (rys. 62).

### 8.3.2. Treść i forma części graficznej i tabelarycznej

Część graficzna i tabelaryczna dokumentacji geologiczno-inżynierskich (oraz innych dokumentów związanych z przedstawieniem wyników badań podłoża wymienionych w rozdziale 2.1.2) jest jej integralnym i bardzo istotnym elementem, który prezentuje wszystkie zebrane, przetworzone, zinterpretowane, przeanalizowane i ocenione wyniki badań oraz zebrane i przeanalizowane informacje o terenie inwestycji i terenach sąsiadujących.

Załączniki graficzne powinny obrazować większość informacji podanych w części tekstowej dokumentacji geologiczno-inżynierskich oraz innych dokumentów wymienionych w rozdziale 2. Na przykład opisane w tekście warunki geologiczno-inżynierskie powinny być przedstawione na mapie warunków geologiczno-inżynierskich, a opisane wszystkie badania terenowe i laboratoryjne powinny być zestawione w tabelach.

Załączniki powinny być dołączone do tekstu dokumentacji w taki sposób, żeby można było łatwo z nich korzystać, bez obawy o ich uszkodzenie. Powinny być opracowane czytelnie, zawierać zestandaryzowane symbole i zwięzłe objaśnienia.

Należy wskazać, które mapy pochodzą z archiwów, a które opracowano na potrzeby rozpoznania podłoża gruntowego w ramach dokumentacji.

W przypadku załączników graficznych w formie map i przekrojów, kierując się przede wszystkim przepisami oraz ich czytelnością i użytecznością, należy odpowiednio dobrać skalę. Zaleca się, żeby skala wszystkich map, jak również przekrojów, była jednolita dla całego opracowania, wyjątek mogą stanowić mapy przedstawiające ogólny obraz terenu inwestycji (np. lokalizację, surowce budowlane).

Załączniki graficzne powinny zawierać:

- tytuł;
- legendę;
- autora lub zespół autorski;
- skalę;
- kierunek północy;
- współrzędne zasięgu mapy;
- datę opracowania;
- wykaz materiałów i danych, na podstawie których zostały wykonane.

Zaleca się, żeby część graficzna dokumentów, o których mowa w rozdziale 2.1.2, zawierała takie elementy jak (Jakubicz, Łodzińska, 1989, zmodyfikowane):

- mapa lokalizacyjna – w skali obejmującej cały obszar inwestycji, przedstawiająca m.in. lokalizację terenu inwestycji, jego sąsiedztwo, granice administracyjne i lokalizację względem dróg, miejscowości i hydrografii;
- mapa dokumentacyjna – przedstawiająca lokalizację i rodzaj poszczególnych badań (wiercenia, sondowania, odślonięcia, geofizykę itd.), przebieg wykonanych na ich podstawie przekrojów geologicznych oraz inne elementy istotne ze względu na charakter inwestycji;
- mapa geomorfologiczna – przedstawiająca rozmieszczenie i zasięg form rzeźby terenu oraz ich genezę;
- mapa geologiczna lub mapa gruntów na wybranych głębokościach – mapa lub zestaw map przedstawiających na podstawie zebranych danych (badania terenowe, archiwalia) budowę geologiczną terenu, czyli interpretację przestrzennego zasięgu wydzieleni geologicznych, mogą być wykonane na wybranej głębokości;
- mapa hydrogeologiczna – przedstawiająca w nawiązaniu do morfologii, hydrografii i litologii warunki występowania i kierunki przepływu wód podziemnych oraz ich dynamikę, właściwości fizykochemiczne i jakość; w zależności od potrzeb, możliwości i ustaleń może być wykonana w dwóch wersjach – mapy głębokości występowania wód podziemnych lub mapy hydroizohips;
- mapa zjawisk i procesów geodynamicznych, antropogenicznych – obrazująca rozprzestrzenienie oraz rodzaj zjawisk i procesów naturalnych (np.: osuwiska, osiadanie zapadowe, kras, ekspansywność) lub wynikających z działalności człowieka (np.: szkody górnicze, szkody budowlane, drgania komunikacyjne, leje depresji), mogących mieć wpływ na inwestycję;
- mapa warunków geologiczno-inżynierskich – syntetyczna mapa wykonana na podstawie innych map i danych analitycznych, bazująca na wydzieleniach litologicznych na określonej głębokości, danych hydrogeologicznych oraz wszystkich podstawowych czynnikach odzwierciedlających warunki geologiczno-inżynierskie i związane z nimi problemy (np.: wywierzyśka, elementy tektoniczne, spadki terenu, szkody górnicze, tereny chronione i in.), może być wykonana w dwóch wersjach – jako klasyczna mapa warunków geologiczno-inżynierskich lub mapa rejonizacji geologiczno-inżynierskiej z elementami waloryzacji (Dobak, 2005);

- przekroje geofizyczne – przedstawiające wyniki badań geofizycznych, wykonane w odpowiednio dobranej skali, zinterpretowane na podstawie wierceń i sondowań;
- przekroje geologiczno-inżynierskie – obrazujące na tle morfologii terenu układ warstw gruntów i zwierciadła wody podziemnej, czyli interpretację budowy podłoża gruntowego na podstawie przeprowadzonych lub archiwalnych badań terenowych, powinny mieć zapewniające czytelność odpowiednie przewyższenie skali pionowej w stosunku do poziomej (w miarę możliwości 2:1), przebiegać przez możliwie jak największą liczbę wydzielonych jednostek o różnych warunkach geologiczno-inżynierskich i prezentować lokalizację punktów dokumentacyjnych (w tym sondowań) wraz z ich rzędną, głębokością i odpowiednio opisanym profilem pionowym (litologia, stany gruntów, zwierciadło wody itd.);
- karty otworów wiertniczych – przedstawiające w odpowiednio dobranej skali profile pionowe nawierconych gruntów wraz z ich litologią, stratygrafią, genezą, poziomem nawierconych i ustalonych zwierciadeł wód podziemnych, nazwą otworu, współrzędnymi, rzędną, głębokością i datą wykonania wiercenia; zaleca się, żeby karta otworu miała także ogólne informacje o lokalizacji wiercenia (powiat, gmina, miejscowość, adres), inwestorze, wykonawcy i rodzaju (techniki) wiercenia;
- karty wyników badań polowych – przedstawiające w odpowiedniej, czytelnej skali wyniki badań polowych wraz z ich rodzajem, nazwą punktu dokumentacyjnego, współrzędnymi, rzędną, głębokością i datą wykonania; zaleca się, żeby karta badań miała także ogólne informacje o lokalizacji badań (powiat, gmina, miejscowość, adres), inwestorze, wykonawcy i rodzaju wiercenia lub sondowania;
- zestawienia tabelaryczne wykonanych badań terenowych i laboratoryjnych;
- dokumentacja fotograficzna;
- zestawienie tabelaryczne wyników właściwości fizycznych i mechanicznych gruntów i skał wraz ze statystykami opisowymi dla każdej wydzielonej warstwy.

Dodatkowo zaleca się, żeby w zależności od specyfiki terenu inwestycji opracowywać mapy tematyczne i zestawienia tabelaryczne, ukazujące problematykę danego terenu, np.:

- mapa zagospodarowania terenu – przedstawiająca historyczny, aktualny lub planowany rodzaj zagospodarowania terenu, np. na skutek odwodnienia;
- mapa osiadania terenu – przedstawiająca przestrzenny zasięg i wielkość pomierzonych lub spodziewanych osiadań terenu;
- mapy chemizmu wód powierzchniowych i podziemnych – zestawiające właściwości chemiczne wód, które mogą mieć wpływ na inwestycję zarówno na etapie wykonawstwa, jak i eksploatacji;
- mapy występowania surowców budowlanych – przedstawiające położenie, rodzaj i zasobność złóż (piasek, kruszywo, grunty spoiste) przydatnych dla inwestycji, mogą także zawierać prognozę możliwości wydobycia surowców;

- mapa zasięgu gruntów słabonośnych – przedstawiająca przestrzenny zasięg i miąższość gruntów organicznych;
- mapy stropu (przedstawiające morfologię i głębokość położenia stropu) i/lub miąższości gruntów problematycznych (ekspansywnych, zapadowych, luźnych, skrasowiałych itp.).

W przypadku nietypowych obiektów budowlanych posadowianych w skomplikowanych warunkach gruntowych zaleca się opracowywanie trójwymiarowego modelu geologicznego (3D). Model 3D pozwala wizualizować budowę geologiczną oraz definiuje właściwości podłoża budowlanego w przestrzeni. Umożliwia także generowanie profili geologicznych oraz przekrojów geologiczno-inżynierskich w dowolnym miejscu. Modele geologiczne są budowane na podstawie siatek wielokątów, opisu matematycznego (płaszczyzny parametryczne) lub wokseli (trójwymiarowych pikseli). Dane do modeli 3D pozyskuje się m.in. z wierceń, badań geofizycznych, skanerów trójwymiarowych, skanowania lotniczego i satelitarnego.

Podany wyżej wykaz załączników graficznych oraz ich zawartość powinny być dostosowane do rodzaju dokumentu, etapu badań, skali inwestycji i rodzaju obiektu budowlanego. Wykaz i zawartość załączników graficznych powinny być uzgodnione z inwestorem, projektantem i/lub wykonawcą oraz zgodne z obowiązującymi przepisami.

### 8.3.3. Zalecenia do opracowania dokumentacji w formie elektronicznej

Zgodnie z informacjami podanymi w rozdziale 2.1.2 efekty dokumentowania zarówno geologiczno-inżynierskiego, jak i geotechnicznego są przedstawiane w różnych dokumentach.

Zasady sporządzania tych dokumentów podane są w aktach prawnych, normach lub publikacjach branżowych (tab. 6).

Większość wskazanych w rozdziale 2.1.2 dokumentów sporządza się z podziałem na część tekstową, tabelaryczną i graficzną, zarówno w formie papierowej, jak i elektronicznej – zapis na informatycznym nośniku danych, zabezpieczonym przed ingerencją w treść. Podstawową formą elektroniczną dokumentacji zgromadzonych w archiwach, zwłaszcza w NAG, są zazwyczaj pliki w formacie PDF.

W związku z zapisami ustawy o informatyzacji działalności podmiotów realizujących zadania publiczne (Dz.U. 2014 poz. 1114) zaleca się, żeby dokumentację geologiczno-inżynierską oraz inne dokumenty związane z przedstawianiem wyników badań podłoża przekazywać do archiwów lub gromadzić w formie dokumentu elektronicznego, który sporządza się w zestandaryzowanych formatach danych, w celu łatwej wymiany między uczestnikami procesu inwestycyjnego i korzystania z nich.

Zgodnie z wyżej wspomnianą ustawą (art. 3, pkt 2) dokumentem elektronicznym jest stanowiący odrębną całość znaczeniową zbiór danych uporządkowanych w określonej struk-

turze wewnętrznej i zapisany na informatycznym nośniku danych.

W związku z tym zaleca się, żeby dokumentacje geologiczno-inżynierskie oraz inne dokumenty związane z przedstawianiem wyników badań podłoża były sporządzane w formie dokumentu elektronicznego w otwartym, tekstowym, uniwersalnym formacie XML. Umożliwia to łatwą wymianę danych (dokumentów) pomiędzy różnymi systemami, co zapewnia ich odczyt w dowolnym programie obsługującym format XML, niezależnie od tego, w jakim wcześniej zostały utworzone.

Ze względu jednak na zróżnicowane oprogramowanie posiadane przez wykonawców dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, dokumentacje w całości lub ich poszczególne części powinny mieć elektroniczną wersję w najbardziej powszechnych formatach, np.:

- część tekstowa dokumentacji – formaty: TXT, DOC, DOCX, RTF, PDF i in.;
- karty informacyjne i zestawienia – formaty: DAT, XLS, XLSX, JPG, TIF, PDF;
- wyniki badań specjalistycznych – formaty: LAS, LIS, DLIS, SEG-Y, SEG-D, SEG-EDI, UKOOA, SPS, RADAN, MALA RD3, MALA RD6, SEG2, IDS, RADSYS, ASCII, XLS, XLSX, DAT, PDF i in.;
- część graficzna:
  - pliki grafiki wektorowej – formaty: CDR, SVG, SWF, EPS i in.;
  - pliki grafiki rastrowej – formaty: JPG, TIFF, BMP, GIF i in.;
  - pliki grafiki kartograficznej – formaty: SHP, GML, GDB, MDB, MIF, TAB i in.;
- część tabelaryczna – formaty: CSV, TXT, XLS, XLSX, DAT, DOC, DOCX, PDF i in.

Dokumentacja geologiczno-inżynierska w formie elektronicznej powinna być przekazywana do NAG, w wyżej wymienionych formatach danych, i powinna zawierać:

- metadane (zestaw logicznie powiązanych z dokumentem elektronicznym informacji opisujących ten dokument) zgodne z Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 października 2006 r. w sprawie niezbędnych elementów struktury dokumentów elektronicznych (obowiązkowy zakres metadanych: identyfikator, twórca, tytuł, data, format, dostęp, typ, krótki opis treści dokumentu);
- wszystkie szczegółowe dane zawarte w części tekstowej (tekst opracowania, tabele, figury, spis wykorzystanej literatury itp.);
- szczegółowe dane zawarte w części tabelarycznej (zestawienia wierceń, zestawienia sondowań, zestawienia badań laboratoryjnych itp.);
- wyniki badań specjalistycznych (wiercenia, sondowania, badania geofizyczne, badania laboratoryjne itp.);
- dane zawarte w części graficznej (mapy, przekroje, karty otworów wiertniczych itp.).

Elektroniczna wersja dokumentu ma być potwierdzoną kopią standardowego, analogowego wydania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

#### 8.4. OGÓLNE ZASADY GROMADZENIA WYNIKÓW BADAŃ ORAZ PRAC I ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Gromadzenie wyników badań oraz danych i informacji polega na ciągłym i systematycznym pozyskiwaniu wiedzy na temat podłoża, przechowywaniu jej w określonym miejscu oraz aktualizacji.

Gromadzenie wyników badań oraz danych i informacji obejmuje:

- pozyskiwanie danych i informacji geologicznych ze źródeł zewnętrznych i wewnętrznych;
- zbieranie danych o inwestycji, jej podłożu i terenie w czasie całego procesu inwestycyjnego;
- przechowywanie zebranych danych i informacji w określonym miejscu, np. w formie cyfrowej w bazie danych, dokumencie elektronicznym, w formie papierowej i jego kopii cyfrowej w archiwum i na nośniku informatycznym;
- aktualizowanie wyników badań i ich kompletowaniu.

Zaleca się, żeby gromadzenie wyników badań oraz danych i informacji rozpocząć już na pierwszym etapie realizacji inwestycji. W związku z tym sposób zbierania, składowania i aktualizowania informacji powinien być szczegółowo określony już na etapie wizji (rys. 10), co zapewni sprawność w gromadzeniu informacji. Jednocześnie należy zapewnić odpowiednio zdefiniowany do nich dostęp.

Dobłą praktyką jest, żeby efekty prac ze wszystkich ośmiu faz dokumentowania były gromadzone w postaci dokumentów papierowych, cyfrowych kopii dokumentów papierowych, dokumentów elektronicznych oraz cyfrowych baz danych zapisanych na informatycznych nośnikach danych w celu ich zabezpieczenia i archiwizacji wraz z kopią zapasową.

Gromadzenie informacji zapewnia dostęp do wszystkich zebranych wyników badań oraz danych i informacji o środowisku na terenie i w sąsiedztwie obiektu budowlanego w czasie całego procesu inwestycyjnego. Przykładami gromadzenia informacji o obiekcie budowlanym i jego terenie są GIS i BIM (rozdz. 9).

Praktyka wskazuje, że dostęp do archiwalnych dokumentacji oraz zgromadzonych cyfrowych wyników badań, danych i informacji jest bardzo ograniczony, a często niemożliwy. Nie ma obowiązku gromadzenia i udostępniania wyników badań oraz danych i informacji w formie cyfrowej i papierowej kolejnym uczestnikom procesu inwestycyjnego. Wyjątek stanowi gromadzenie i udostępnianie projektów robót geologicznych i dokumentacji geologiczno-inżynierskich przez organy administracji geologicznej oraz NAG. Jednak dostęp do tych materiałów jest także ograniczony lub płatny, a dane nie mają formy dokumentu elektronicznego.

nego umożliwiającego edycję, tylko zazwyczaj są zeskanowanymi dokumentami papierowymi. Prawo budowlane i Eurokod 7 nie określają sposobu gromadzenia wyników badań podłoża.

W efekcie, każda instytucja uczestnicząca w dokumentowaniu na różnych etapach realizacji inwestycji indywidualnie określa sposoby gromadzenia wyników badań, danych i informacji o podłożu i terenie inwestycji, a ich udostępnianie zazwyczaj polega na dostarczeniu wersji papierowej lub jego cyfrowej wersji w formacie PDF, jeżeli jest to w ogóle możliwe. Niestety takie dane są bezużyteczne i chcąc z nich skorzystać należy je najpierw poddać cyfryzacji do formatu danych umożliwiających edycję, przetwarzanie, interpretowanie, analizowanie i ocenę.

#### 8.5. OGÓLNE ZASADY ARCHIWIZOWANIA WYNIKÓW BADAŃ ORAZ PRAC I ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Archiwizowanie wyników badań oraz danych i informacji polega na ich zabezpieczeniu w celu długotrwałego przechowywania.

Archiwizacja obejmuje:

- dokumenty papierowe i ich cyfrowe kopie;
- dokumenty elektroniczne w formatach danych umożliwiających edycję;
- cyfrowe bazy danych i ich kopie.

Zaleca się, żeby efekty prac ze wszystkich ośmiu faz dokumentowania zostały odpowiednio zarchiwizowane w postaci ww. form, przez zapisanie na informatycznych

nośnikach danych i/lub skatalogowanie w specjalnie przeznaczonym do tego miejscu (archiwum).

Archiwizowanie wyników badań oraz danych i informacji, podobnie jak gromadzenie, dobrze jest rozpocząć już w pierwszym etapie realizacji inwestycji. W związku z tym należy odpowiednio określić sposób archiwizowania dokumentów, danych i informacji, tak żeby było możliwe skorzystanie z nich w późniejszym czasie, nawet bardzo odległym.

Doświadczenie wskazuje, że archiwizacja wyników badań oraz danych i informacji uzyskanych podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego i geotechnicznego jest określana indywidualnie, ponieważ nie istnieje prawny obowiązek ich archiwizowania. W efekcie, każda instytucja uczestnicząca w dokumentowaniu na różnych etapach realizacji inwestycji sama określa sposoby archiwizacji.

Jednak obowiązkiem dokumentatora oraz instytucji zamawiających badania geologiczno-inżynierskie i badania podłoża gruntowego powinno być staranne zabezpieczenie i przechowywanie przez określony czas programów badań, projektów robót geologicznych, wyników badań, dokumentacji i innych form prezentacji wyników w odpowiednich formach, przydatnych do późniejszego wykorzystania.

W przypadku projektów robót geologicznych i dokumentacji geologiczno-inżynierskich, zgodnie z zapisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze, dokumenty te są archiwizowane i udostępniane przez organy administracji geologicznej oraz przez NAG. Prawo budowlane i Eurokod 7 nie określają sposobu archiwizowania i udostępniania wyników badań podłoża.

## 9. WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII GIS, BIM I CIM W DOKUMENTOWANIU GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIM

Proces dokumentowania geologiczno-inżynierskiego jest złożony. Składa się z wielu faz (rozd. 2.3), podczas których są zbierane informacje nie tylko o podłożu gruntowym, lecz także dane istotne dla danego rodzaju inwestycji, dla której jest wykonywana dokumentacja. Rozpiętość gromadzonych informacji jest bardzo szeroka i obejmuje dane pochodzące z materiałów archiwalnych oraz z różnego rodzaju badań, wykonywanych specjalnie na potrzeby inwestycji. Są to zarówno dane analogowe (mapy, plany, przekroje, profile otworów, tabele parametryczne itd.), jak i cyfrowe, lub istniejące od początku dane w postaci cyfrowej (różne klasy obiektów w postaci wektorowych warstw przestrzennych, mapy w postaci rastrowej, dane projektowe inwestycji w CAD, ortofotomapy i zdjęcia satelitarne, topograficzne bazy danych TBD, cyfrowe modele terenu DTM itp.). Zakres zbieranych informacji uzyskiwanych z badań obejmuje m.in. rozpoznanie geologiczno-inżynierskie, geotechniczne, geofizyczne, teledetekcję wraz z pomiarami geodezyjnymi.

Proces polegający na analizie zgromadzonych materiałów archiwalnych i danych uzyskanych podczas rozpoznania podłoża gruntowego ma na celu ustalenie i ocenę warunków geologiczno-inżynierskich oraz określenie parametrów geotechnicznych warstw gruntów i skał. W efekcie pozwala to na sporządzenie modelu geologicznego. Tradycyjne, analogowe podejście do tworzenia pełnego, dokładnego, jak najbardziej zbliżonego do rzeczywistości modelu geologicznego jest pracochłonne i długotrwałe. Aby proces ten był efektywny, wszystkie pozyskane różnymi metodami informacje i dane o podłożu gruntowym na terenie inwestycji i w jej sąsiedztwie powinny być gromadzone, integrowane i przetwarzane w postaci przestrzennych baz danych. Wykorzystuje się w tym celu systemy informacji przestrzennej GIS (*Geographical/Geospatial Information System*). Dane zgromadzone w systemach GIS mogą być wykorzystywane przez narzędzia elektronicznego modelowania danych budowlanych typu BIM (*Building Information Model/Modelling*) lub przez systemy zarządzania miastami (CIM – *City Information Modelling*), regionami lub państwem (NIM – *National Information Modelling*).

### 9.1. GIS – NARZĘDZIE W DOKUMENTOWANIU

System informacji geograficznej/przestrzennej GIS to system pozyskiwania, gromadzenia, przetwarzania, analizowania, wizualizacji i udostępniania danych umiejscowionych w przestrzeni geograficznej. GIS integruje ze sobą odpowied-

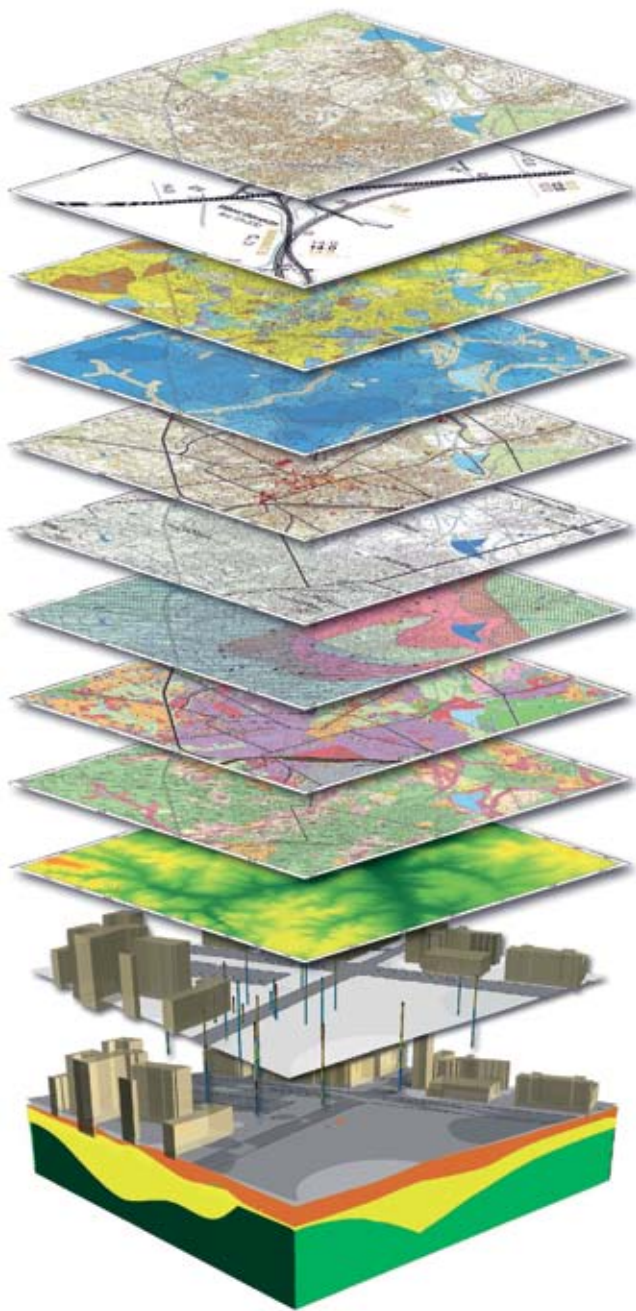
nie oprogramowanie, sprzęt komputerowy, użytkowników, gotowe procedury operacyjne oraz przede wszystkim dane przestrzenne i opisowe dane tabelaryczne, tworzące razem bazy danych przestrzennych.

GIS, jako element wspomagania procesu decyzyjnego, znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach, w tym także w geologii inżynierskiej. Ważną cechą wyróżniającą ten system jest umiejscowienie danych w przestrzeni przez nadanie im atrybutów x, y i z. Środowisko GIS pozwala na zintegrowanie danych umieszczonych w różnych geograficznych lub geodezyjnych układach współrzędnych i utworzonych z różną dokładnością. Dzięki temu możliwe jest umieszczenie wszystkich zgromadzonych danych we wspólnej przestrzeni geograficznej, co pozwala na wzajemne nakładanie wszelkich istotnych warstw informacyjnych (rys. 64) i tworzenie wielowarstwowego modelu (Kwiecień, 2009). Daje to nie tylko możliwość kartograficznego przedstawienia zdobytych informacji, lecz także dokonywanie wieloelementowych analiz (tzw. geoprzetwarzanie), pomagających w rozwiązywaniu problemów geologiczno-inżynierskich.

Celem zastosowania GIS jest stworzenie modelu odzwierciedlającego stan rzeczywisty. W związku z tym bierze się tu pod uwagę wszelkie możliwe informacje z różnych dziedzin, dotyczących wybranego obszaru i zagadnień, które są przedmiotem dokumentowania. Dane te mogą i powinny być aktualizowane na bieżąco, w miarę pozyskiwania kolejnych nowych lub zmodyfikowanych danych. W ten sposób zgromadzone, przetworzone i odpowiednio przeanalizowane dane o podłożu gruntowym są efektywnie wykorzystywane w procesie dokumentowania geologiczno-inżynierskiego.

Sporządzenie modelu geologicznego pomaga zrozumieć, jak zbudowane jest podłoże gruntowe, jakie mogą zachodzić w nim procesy i jakie mogą zaistnieć w związku z tym zagrożenia dla obiektów, które są przedmiotem dokumentowania. Właśnie dlatego praca z wykorzystaniem GIS pozwala na szybkie, efektywne i weryfikowalne wizualizacje tego, co prezentuje model odzwierciedlający rzeczywistość. W efekcie praca w systemie GIS, poza samą możliwością poznania i zrozumienia przestrzeni otaczającej obszar objęty dokumentowaniem (nie tylko geologicznej), służy przede wszystkim do tworzenia map, które będą integralnym elementem procesu dokumentowania.

Mapy te prezentują zarówno informacje wykorzystane przy tworzeniu modelu, np. mapy: dokumentacyjna i lokalizacyjna, jak i te będące wynikiem przeprowadzonych analiz,



Rys. 64. Warstwowa struktura modelu GIS  
(dane PIG-PIB)

np. mapy: gruntów i warunków geologiczno-inżynierskich (rozdz. 8.3.2). Mapy tworzone w środowisku GIS dzięki szybkości ich przetwarzania i łatwości zobrazowania analizowanego terenu, pozwalają w rezultacie odzwierciedlić efekty prac samego dokumentowania. Są one podstawą do prostego odczytania informacji o podłożu gruntowym i jego otoczeniu geograficznym, co jest wykorzystywane podczas podejmowania decyzji w planowaniu przestrzennym i w całym procesie inwestycyjnym, tj. w wyborze lokalizacji, projektowaniu, wykonawstwie i eksploatacji obiektu budowlanego.

Systemy GIS, w odniesieniu do danych, bazują na trzech głównych cechach funkcjonalnych, wydzielonych ze względu na etapowość prac (za: Kwiecień, 2009):

- pozyskiwanie danych: wyszukiwanie, gromadzenie i integracja;
- geoprzetwarzanie danych: weryfikacja, analiza i przetwarzanie;
- publikowanie danych: wizualizacja, prezentacja i udostępnianie.

Mimo że każda z tych cech charakteryzuje się odmiennym podejściem, to wszystkie są ze sobą powiązane i jedna wynika z drugiej. Jest to zbieżne z każdym etapem w procesie dokumentowania geologiczno-inżynierskiego.

**Pozyskiwanie.** Etap ten reguluje mechanizmy zbierania, wprowadzania, gromadzenia i przechowywania informacji przydatnych podczas dokumentowania. Poza wektorowymi, przestrzennymi danymi, są to również powiązane z nimi relacyjnie dane tabelaryczne i otworowe oraz powiązania z zewnętrznymi źródłami danych. Utworzone dzięki temu bazy danych dają możliwość zarządzania nimi, zapewniają spójność i integralność danych oraz umożliwiają ich weryfikację i przygotowanie do przeprowadzenia niezbędnych analiz.

**Geoprzetwarzanie.** Na tym etapie, na podstawie informacji zawartych w utworzonych wcześniej bazach danych, przeprowadza się złożone analizy przestrzenne. Opierają się one głównie na relacjach między obiektami. Odpowiednio przeprowadzone analizy, przez wykonywanie operacji na zebranych danych, umożliwiają wytworzenie nowych informacji. Dzięki możliwości umieszczenia w jednym środowisku GIS danych w różnych formatach oraz przeliczania do jednego układu współrzędnych, mogą być przeprowadzane bardzo złożone analizy wspierające cały proces dokumentowania geologiczno-inżynierskiego.

**Publikowanie.** Systemy GIS pozwalają na przedstawienie wyników dokumentowania przechowywanych w postaci tabelarycznej i przestrzennych klas obiektów jako wektorowe lub rastrowe warstwy. Dotyczy to zarówno danych pozyskanych na potrzeby dokumentowania, jak i będących rezultatem przeprowadzonego geoprzetwarzania. Same zestawienia tabelaryczne informacji zawartych w bazach pozwalają na sprawny i szybki wgląd w dane oraz ich obróbkę statystyczną, zobrazowaną w formie diagramów i wykresów. Warstwy przestrzenne w sposób czytelny i jednoznaczny są natomiast wizualizowane przez dokonanie odpowiedniej, uniwersalnej symbolizacji oraz nadanie właściwych etykiet obiektom (punkty, polilinie i poligony). Tak przygotowane warstwy są następnie wykorzystane do zaprezentowania wyników prac dokumentowania w postaci przekrojów, map, a nawet modeli i animacji 3D. Środowisko GIS pozwala nie tylko na szybkie przygotowanie do druku materiałów, wykorzystywanych w dokumentowaniu jako załączniki graficzne, lecz także umożliwia ich udostępnianie elektroniczne, np. w serwisach internetowych. Mogą to być zarówno pliki rastrowe arkuszy map (jako przygotowane do druku załączniki), jak i zgrupowane lub pojedyncze obiekty w usługach WMS (*Web Map Service*) lub w serwisach WFS (*Web Feature Service*).

Cały proces gromadzenia, obiegu i przetwarzania danych o podłożu gruntowym tworzy powtarzalny schemat uwzględniany w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim (rys. 65).

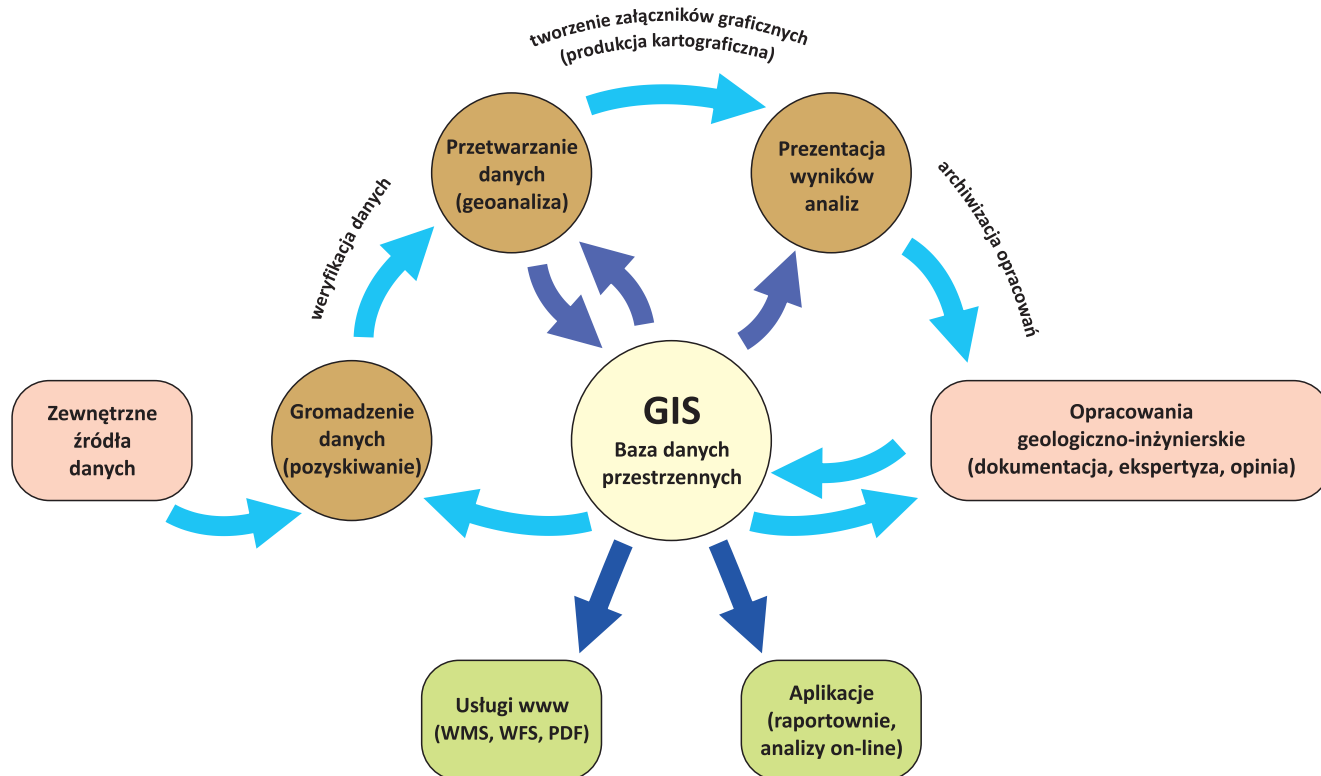
W pierwszej kolejności na podstawie standardowej bazy danych GIS oraz zaimplementowanych metadanych włącza się wszystkie zebrane archiwalne dane przestrzenne i tabelaryczne (1 faza dokumentowania – zbieranie i analiza informacji archiwalnych o terenie). W ramach gromadzenia informacji wprowadzane są do bazy kolejne dane, np. skalibrowane mapy geologiczne, wyniki badań podłoża, lokalizacja wykonanych badań geofizycznych itp. W ten sposób są zebrane wstępne informacje o obszarze objętym dokumentowaniem, będące podstawą dalszych prac. Mogą być one ujęte na przykład w postaci studium geologiczno-inżynierskiego. Na tym etapie na podstawie zebranych danych tworzone mogą być zaktualizowane mapy i przekroje, a nawet karty wierceń, sondowań i tabele badań laboratoryjnych. Po zarchiwizowaniu i zaimportowaniu do bazy GIS, dane przestrzenne mogą stanowić podstawę do wykonania, a następnie zrealizowania projektu robót geologicznych. Następnie zbiera się nowe dane, które w dalszej kolejności przeanalizowane i przetworzone w procesie GIS dostarczą kompletną i aktualną informację o podłożu gruntowym. Uzupełniają one bazę danych GIS, dzięki czemu jest możliwe stworzenie modelu geologicznego, będącego wynikiem całego procesu dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. Powstałe opracowanie (dokumentacja, ekspertyza, opinia itp.) wraz z mapami, przekrojami, kartami otworów i tabelami wartości parametrów, mogą być łatwo publikowane w postaci elektronicznej (pliki rastrowe, usługi WMS, serwisy WFS

itp.) lub wydrukowane. Wykorzystywane są one oczywiście w procesie inwestycyjnym, dla którego przeprowadzono dokumentowanie.

Na końcu realizacji dokumentowania otrzymujemy uzupełnioną o nowe informacje bazę GIS. Jest ona używana jako archiwum danych opisujących szeroko pojęty model geologiczny. Zebrane i przechowywane w ten sposób informacje mogą być udostępniane i wykorzystywane w zależności od potrzeb. Na przykład podczas realizacji kolejnego etapu lub przy nowej inwestycji wykonawca dokumentowania sięga do bazy GIS i posługuje się zawartymi w niej danymi (traktowanymi już jako archiwalne). Rozpoczyna tym samym nowy cykl obiegu i zdobywania informacji o podłożu gruntowym, w wyniku czego jest rozbudowywany model geologiczny. Dzięki takiemu postępowaniu, wraz z dokumentowaniem geologiczno-inżynierskim wykonywanym na potrzeby realizacji kolejnych inwestycji, ilość informacji o podłożu w bazie GIS stale wzrasta.

Wykorzystanie GIS i bazy danych umożliwia przetwarzanie informacji o podłożu gruntowym, dając możliwość szybkiego i łatwego wytwarzania produktów, które obrazują jego budowę. Zawarte w bazie danych informacje o profilach wierceń umożliwiają generowanie kart otworów i przekrojów geologicznych. Analizy przestrzenne (geoprzetwarzanie) pozwalają natomiast na tworzenie map i konstruowanie przestrzennych modeli.

Przekroje, mapy i modele 3D korzystają z informacji nie tylko o geometrii obiektów, lecz także z całego zakresu danych zawartych w bazie. Dlatego podczas przeprowadzania analiz przestrzennych kluczowym elementem jest tabela



Rys. 65. Obieg i wykorzystanie danych w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim



atrybutów nierozłącznie z nią związana (głębokość położenia warstw, poziom zwierciadła wód gruntowych, rodzaj gruntu itp.). Analiza i przetwarzanie danych atrybutowych przez nakładanie różnych warstw i założenie, że istnieje relacja z innymi danymi pozwala na generowanie różnego rodzaju map i modeli przestrzennych, będących graficznym przedstawieniem wyników dokumentowania.

Korzystanie z narzędzi GIS, szczególnie z geoprzetwarzania danych, daje wiele możliwości wizualizowania informacji przestrzennej na każdym etapie dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. Dzięki wykorzystaniu technologii GIS w szybki i łatwy sposób można złożyć i przetworzyć wiele danych przestrzennych i w konsekwencji wygenerować wszystkie mapy związane z dokumentowaniem. Są wśród nich stosunkowo proste do wykonania mapy lokalizacyjne czy dokumentacyjne oraz takie, które są wynikiem nakładania wielu warstw i wieloczynnikowych analiz, jak mapy warunków geologiczno-inżynierskich (rys. 66).

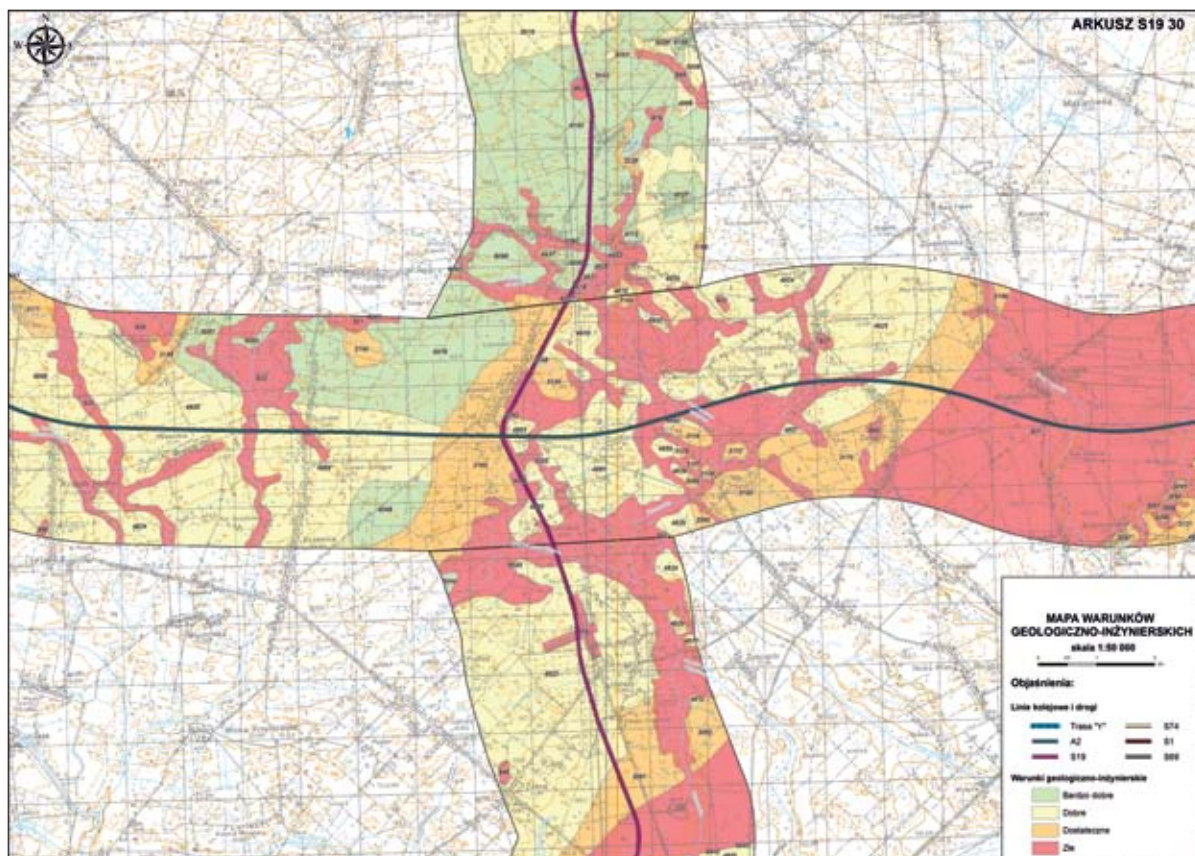
Podobnie jest z wykonywaniem obrazujących budowę geologiczną modeli 3D. W tym celu wykorzystuje się i integruje wszystkie zebrane i dostępne w bazie danych informacje o podłożu i powierzchni dokumentowanego terenu, w tym otwory wiertnicze i sondowania, wyniki badań laboratoryjnych i geofizycznych, przekroje geologiczne, warstwy przestrzenne GIS, cyfrowy model terenu itp. W wyniku geoprzetwarzania powstają mniej lub bardziej skomplikowane modele 3D, obrazujące budowę geologiczną dokumentowa-

nego obszaru. Mogą to być wizualizacje ukształtowania stropowych powierzchni warstw, położenia zwierciadła wód gruntowych lub wokselowy obraz położenia warstw geologicznych (rys. 67). W efekcie wspomaga to interpretację budowy geologicznej i ułatwia zrozumienie procesów zachodzących w podłożu.

Środowisko GIS obsługują wyspecjalizowane programy, zarówno komercyjne, jak i bezpłatne, opierające się na licencji wolnego i otwartego oprogramowania. Wśród atutów każdego z nich są m.in.:

- grupowanie danych z wielu źródeł;
- integrowanie danych o różnych formatach i skalach;
- możliwość korzystania za pośrednictwem Internetu z publicznych zasobów danych i map zgromadzonych w bazach danych służb publicznych;
- szybkość i powtarzalność prowadzenia obiektywnych, wieloelementowych analiz;
- możliwość ciągłej aktualizacji danych uszczegóławiających budowany model;
- łatwość i powtarzalność tworzenia map, także w systemie arkuszowym;
- proste udostępnianie danych i map wytworzonych na potrzeby dokumentowania w postaci cyfrowej przez serwisy internetowe.

Praca w środowisku GIS pozwala na zgromadzenie i integrację danych niezbędnych w procesie dokumentowania, a przede wszystkim na ich geoprzetwarzanie, co w efekcie



Rys. 66. Przykładowa mapa warunków geologiczno-inżynierskich podłoża dla inwestycji kolejowej

proceed do opracowania wielowarstwowego modelu geologicznego dokumentowanego terenu. Zwizualizowanie informacji w nim zawartych w postaci kart dokumentacyjnych badań (model 1D), przekrojów (model 2D), map lub blokdigramów (model 3D) pozwala wykorzystać je na różnych etapach planowania przestrzennego i procesu budowlanego.

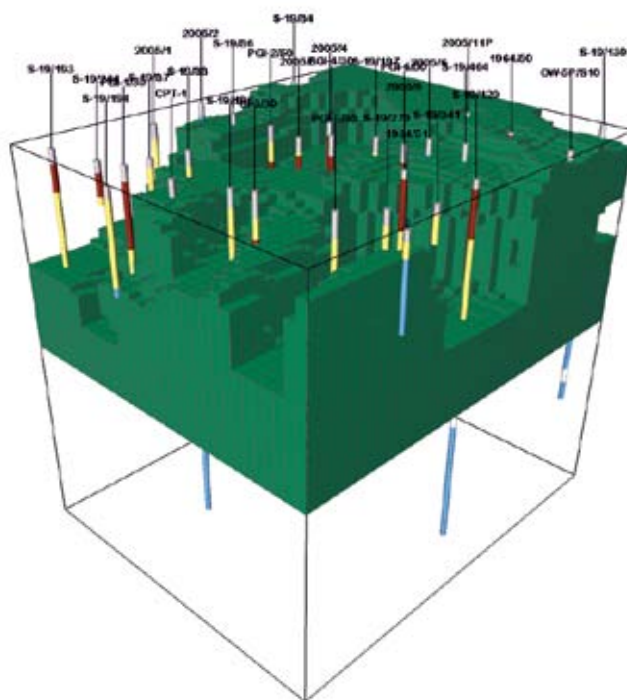
## 9.2. BIM – NIESZABLONOWE NARZĘDZIE PROJEKTOWE W PROCESIE BUDOWLANYM

Podstawowym znaczeniem BIM jest *Building Information Model (Modelling)*, co oznacza model (modelowanie) informacji o budowlach. BIM charakteryzuje się przede wszystkim inteligentnym zarządzaniem każdą informacją zawartą w czasie i przestrzeni związaną z obiektem budowlanym, stąd często definiuje się go jako *Building Information Management* – zarządzanie informacją o budowlach. W rzeczywistości nie chodzi o model samej budowli, a o model cyfrowego odwzorowania całego procesu związanego z istnieniem obiektu budowlanego – począwszy od samej koncepcji jego powstania, przez kolejne etapy: pomysłu, wyboru lokalizacji, projektowania, budowy, eksploatacji, aż do rozbiórki włącznie (rys. 68). BIM łączy ze sobą wszelkie związane z obiektem budowlanym aspekty, głównie architektoniczne, funkcjonalne i techniczno-fizyczne, ale także te, dotyczące powiązań społecznych i przyrodniczo środowiskowych.

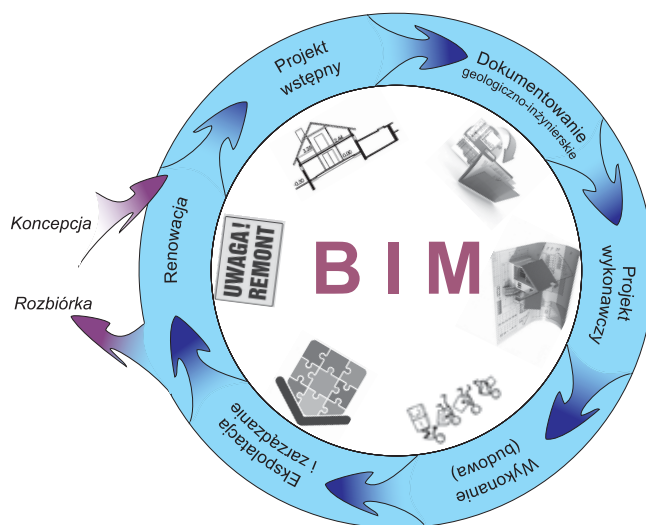
Inaczej mówiąc, BIM jest narzędziem, w którym jest wytwarzany cyfrowy model obiektu budowlanego, o poziomie szczegółowości zależnym od etapu rozwoju całego procesu. Efektem jest aktywna i dynamiczna baza danych, zawierająca wszelkie możliwe, istotne dla obiektu budowlanego dane, m.in.: przestrzenne (np. lokalizacja obiektu i elementów konstrukcji), geometryczne (np. wymiary elementów konstrukcyjnych), niegeometryczne (rodzaj materiału, współczynnik przenikania ciepła, naprężenia, obciążenia), czasowe (harmonogramy budowy i eksploatacji). Pozwala to na wyjście poza granice standardowego projektowania 2D, gdyż w miarę rozbudowywania modelu obiektu budowlanego uwzględnia się coraz więcej informacji, opisujących i udoskonalających cały proces inwestycyjny:

- 3D – informacja o przestrzennych zależnościach geometrycznych;
- 4D – informacja o czasie dostawy materiałów, instalacji przy budowie oraz zużyciu określonych elementów podczas eksploatacji obiektu budowlanego;
- 5D – informacja o koszcie określonych elementów, jak również całego obiektu budowlanego podczas jego budowy oraz eksploatacji;
- 6D – informacja niezbędna do zarządzania obiektem budowlanym w fazie budowy i eksploatacji;
- 7D itd.

Niezwykle istotne jest, że wszystkie zgromadzone w BIM informacje i dane mogą być jednocześnie i w każdej chwili dostępne dla każdego uczestnika procesu inwestycyjnego. Każdy z nich jest równoważny, istotny i zależny od innych (rys. 69). Ponieważ BIM jest narzędziem zarządzania procesem inwestycyjnym, bardzo ważne jest wskazanie zależności



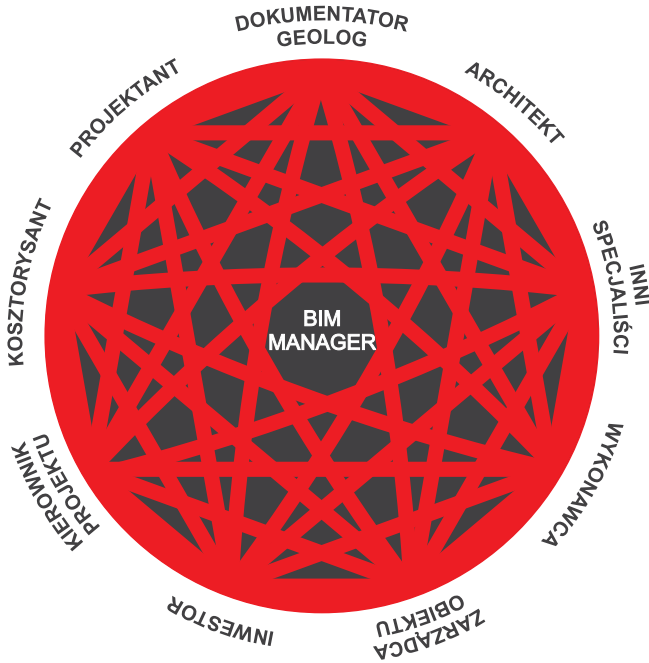
Rys. 67. Wokselowy model geologiczny 3D przedstawiający odwzorowanie zaburzonych glicetektonicznie ilów plioceńskich i położenie otworów



Rys. 68. Narzędzie elektronicznego modelowania danych budowlanych – BIM

między kolejnymi fazami realizacji inwestycji a uczestnikami procesu inwestycyjnego.

Założeniem BIM jest otwarta technologia informatyczna, dlatego u jego podstawy leży możliwość współpracy odmiennych systemów informatycznych i programów używanych przez wszystkich uczestników (na różnych etapach realizacji inwestycji), w tym osób zajmujących się dokumentowaniem geologiczno-inżynierskim. Dlatego dane gromadzone, analizowane i wytwarzane podczas dokumentowania w systemie GIS, mogą i powinny być integrowane z rozwiązaniami pro-

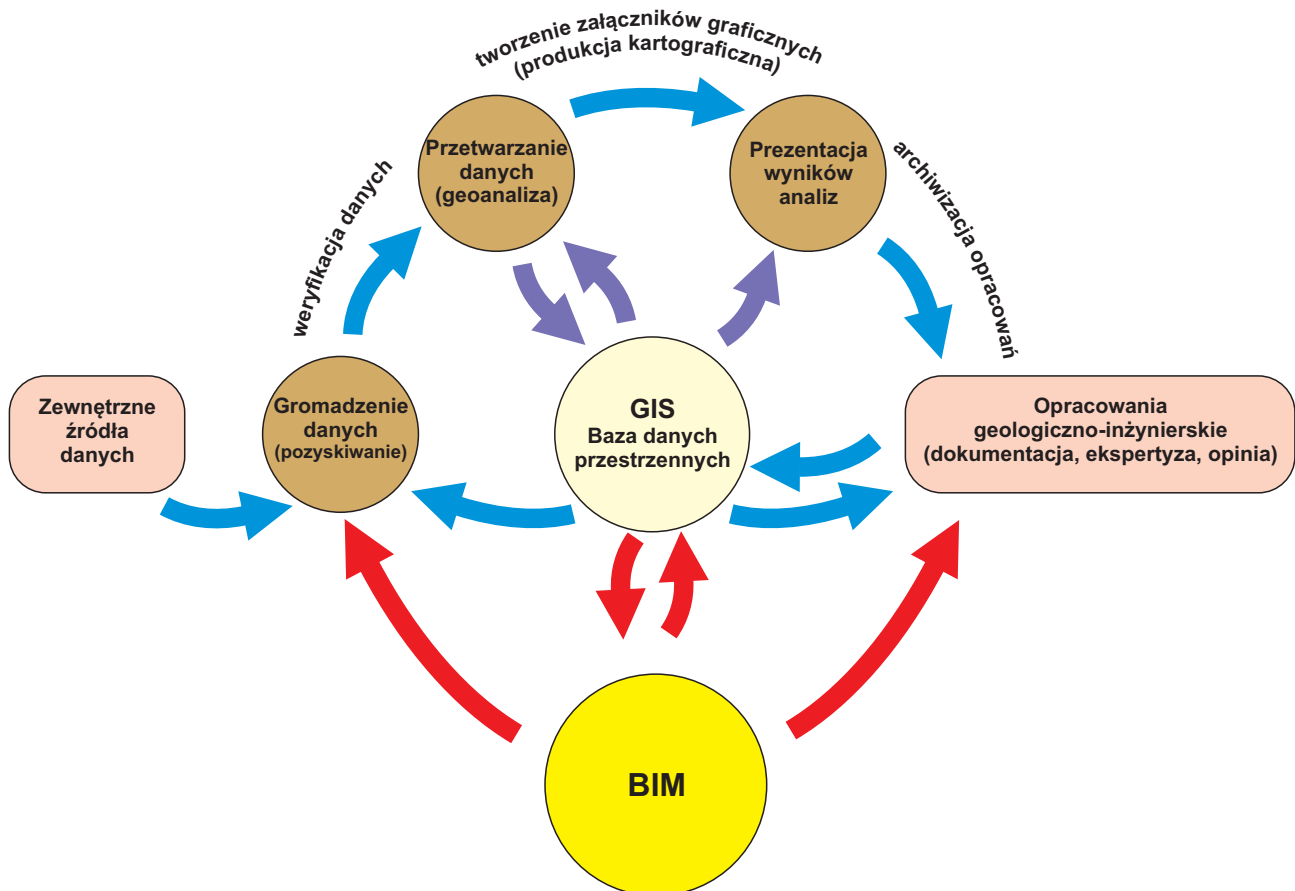


Rys. 69. Przykładowe schematy zależności uczestników w BIM

cesu BIM (rys. 70). Wszystkie dane są przechowywane w jednym centralnym wirtualnym modelu BIM, stąd standaryzacja formatów danych (w tym także słowników litologii, genezy i stratygrafii) oraz zgodność z obowiązującymi normami branżowymi (PN-EN, ISO) jest bardzo istotna. Taka standaryzacja może być przeprowadzana przez odpowiednio sformatowany eksport danych z aplikacji posiadanych przez uczestników i nadzorowana przez zarządzającego procesem BIM. Jednak możliwe to jest także dzięki specjalizującym się w technologii BIM programach lub systemach programów, które w części lub w całości mogą obsługiwać i sterować tym procesem.

Celem BIM jest integrowanie różnych zastosowań i istotnych danych w projektach dotyczących obiektów budowlanych. Głównie działania skupiają się na fazie projektowania, budowy i zarządzania. W schemacie BIM równie ważne są także inne elementy procesu inwestycyjnego, konieczne przy podejmowaniu strategicznych decyzji dotyczących projektu. Niezbędne jest uwzględnienie antropogenicznych i naturalnych właściwości podłoża budowlanego.

Zagadnienie wykorzystania informacji o geologii podłoża gruntowego w modelowaniu BIM jest niezwykle istotne oraz powinno być jak najbardziej rozpowszechnione. Dokumen-



Rys. 70. Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie w procesie BIM

towanie geologiczno-inżynierskie powinno stanowić ważny element procesu BIM, jako składowa dostarczająca niezbędnych informacji dotyczących geologicznej budowy i parametrów podłoża gruntowego. Pozwala to inwestorowi na wybór optymalnej lokalizacji, projektantowi na prawidłowe wykonanie właściwego modelu obliczeniowego niezbędnego do zaprojektowania prawidłowego sposobu posadowienia obiektu budowlanego, a wszystkim na minimalizację kosztów realizacji inwestycji.

Jednak, żeby było to możliwe, to dokumentowanie geologiczno-inżynierskie, jako element całego schematu BIM, korzysta również z jego zasobów danych. Przede wszystkim dotyczących celu, czyli przedmiotu modelowania informacji o budowlu. Inaczej przecież jest prowadzone dokumentowanie dla obiektu liniowego (droga, linia kolejowa), inaczej dla budynku czy obiektu przemysłowego, a jeszcze inaczej dla budowli hydrotechnicznej czy składowiska odpadów. Baza BIM, bez konieczności korzystania z innych źródeł, dostarcza istotnych informacji do dokumentowania, te związane z położeniem i otoczeniem inwestycji to przede wszystkim:

- lokalizacja inwestycji;
- topografia i hydrografia;
- plan zagospodarowania – rozmieszczenie sąsiadujących i projektowanych budowli;
- istniejąca infrastruktura podziemna i naziemna;
- sposób posadowienia (np.: rozmieszczenie podpór, fundamentów, ścian szczelinowych itp.);
- rzuty i przekroje obiektów inżynierskich;
- niweleta (dla obiektów liniowych lub makroniwelacji).

Mogą to być także informacje charakteryzujące sam realizowany obiekt budowlany, takie jak:

- wielkość i rozkład obciążeń;
- głębokość posadowienia;
- dopuszczalne osiadania.

Dzięki interaktywnej relacji między wykonawcami dokumentowania geologiczno-inżynierskiego (dokumentatorzy) a innymi uczestnikami procesu BIM (projektanci, architekci) możliwe jest odpowiednie zaprojektowanie badań podłoża. Obustronna wymiana informacji pozwala na prawidłowe i optymalne planowanie badań podłoża gruntowego, w tym liczby badań, ich rodzaju (wiercenia, sondowania, profile geofizyczne), wskazania ich lokalizacji oraz stworzenia harmonogramu wykonywania badań zgodnego z ogólnym harmonogramem prac BIM. To z kolei jest pomocne w wykonaniu prawidłowego modelu geologicznego, będącego (i to dosłownie) podstawą obiektu budowlanego.

Wielokierunkowy przepływ informacji, zapewniający swobodę współpracy między uczestnikami BIM, gwarantuje, że przeprowadzone dokumentowanie dostarczy prawidłowych odpowiedzi na pytania stawiane przez inwestorów, konstruktorów i projektantów. Wyniki dokumentowania geologiczno-inżynierskiego (karty otworów, tabele parametryczne, przekroje, mapy itp.), będące integralną składową schematu BIM, pozwalają na prawidłową ocenę warunków geologiczno-inżynierskich niezbędnych do określenia wytycznych dla lokalizacji i posadowienia obiektu budowlanego.

BIM jest przyszłością inżynierii budowlanej z uwagi na wiele korzyści jakie daje wszystkim uczestnikom procesu inwestycyjnego. Na świecie jest to rozwiązanie stosowane na szeroką skalę i coraz bardziej popularne. W wielu krajach duże publiczne inwestycje mają zapisane w specyfikacji zamówienia obowiązek wykonania projektu w standardzie BIM oraz dostarczenia modelu w formacie IFC (<http://www.bim-blog.pl/109-2/>). W kraju wdrożenie technologii zarządzania inwestycją w standardzie BIM wynika z przyjętych w 2014 r. dwóch dyrektyw europejskich regulujących udzielanie zamówień publicznych w Unii Europejskiej (2014/24/UE; 2014/25/UE). W zapisach dyrektywy 2014/24/UE w art. 22.4 stwierdza się, że w odniesieniu do zamówień publicznych na roboty budowlane i konkursów państwa członkowskie mogą wymagać zastosowania szczególnych narzędzi elektronicznych, takich jak narzędzia elektronicznego modelowania danych budowlanych lub podobne. Tu należy podkreślić, że dyrektywy nie używają bezpośrednio akronimu BIM, tylko pojęcia narzędzia elektronicznego modelowania danych budowlanych.

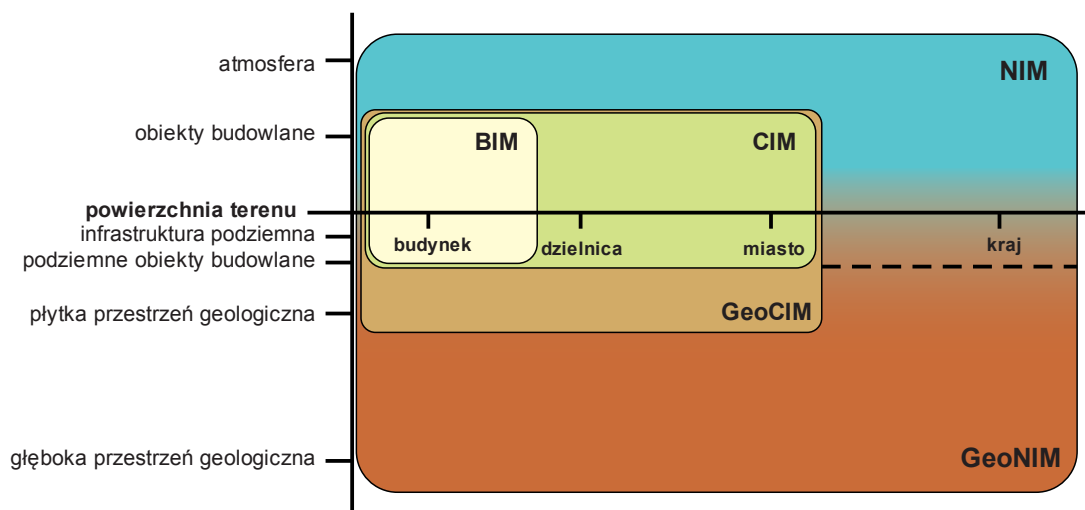
### 9.3. CIM – PROJEKTOWE NARZĘDZIE W ZARZĄDZANIU OBSZARAMI ZURBANIZOWANYMI

Ogólnie nie ma ograniczeń co do rozmiaru projektu, do którego można zastosować BIM, to zazwyczaj jego zasięg ogranicza się do pojedynczych lub stosunkowo niewielkich zespołów obiektów budowlanych. Związane jest to bezpośrednio z zadaniami jakie są stawiane przed uczestnikami procesu inwestycyjnego, ograniczonego do obiektu zlokalizowanego na konkretnym terenie (działce). W celu wspierania podejmowania decyzji dotyczących przestrzeni miejskiej konieczne jest zintegrowanie informacji o znacznie większym zasięgu, albowiem integracja informacji powierzchniowych i podziemnych jest szczególnie istotna przy planowaniu i podejmowaniu decyzji w skali miejskiej (COST..., 2016).

Aby sprostać wyzwaniom związanym ze zrównoważonym rozwojem miast i rozwijającym się stosowaniem narzędzi BIM, powstała koncepcja CIM (*City Information Modelling*), czyli miejskiego modelowania informacyjnego, która zyskuje coraz większe poparcie wśród urbanistów (COST..., 2013–2017). Dzieje się tak dlatego, że CIM charakteryzuje się inteligentnym zarządzaniem informacją związaną z przestrzenią miejską.

Idea CIM może być wykorzystywana do zrównoważonego zarządzania środowiskiem miejskim. Ważne jest, żeby był dostęp do informacji o właściwościach podłoża, które mają wpływ na projektowanie budynków i infrastruktury miejskiej. W tym celu możliwe jest rozszerzenie schematu CIM o składową geologiczną i stworzenie koncepcji GeoCIM (rys. 71) (COST..., 2013–2017). Dzięki temu można uzyskać dane poniżej powierzchni terenu w skali właściwej dla miasta, co jest wyraźnym wymogiem zrównoważonego planowania i zarządzania przestrzenią miejską (<http://atlasy.pgi.gov.pl>).

GeoCIM to proces polegający na generowaniu, dzieleniu, integrowaniu i zarządzaniu cyfrowymi informacjami związanymi



Rys. 71. Schemat relacji między BIM, CIM a GeoCIM w zależności od skali przedsięwzięcia

z szeroko pojętym obszarem zurbanizowanym. Dotyczy to głównie takich danych jak:

- zagospodarowanie przestrzenne (zabudowa powierzchniowa i podpowierzchniowa);
- infrastruktura (naziemna i podziemna);
- powierzchnia terenu (ukształtowanie, hydrografia);
- podpowierzchniowa warstwa informacyjna dotycząca czynników antropogenicznych (nasypy, fundamenty, archeologia);
- podpowierzchniowa warstwa informacyjna dotycząca czynników naturalnych (geologia, zagrożenia, procesy).

GeoCIM zawierają wielowymiarowe dane, które można wymieniać lub łączyć w celu wspomagania podejmowania decyzji dotyczącej przestrzeni miejskiej. Dane te mogą być

wykorzystywane przez różne środowiska – osoby fizyczne, firmy, agencje rządowe i samorządowe, planistów, projektantów, przedsiębiorstwa obsługi i utrzymania infrastruktury i zasobów miejskich (woda, ciepło, ekosystemy, energia, transport i komunikacja itp.). Cechą GeoCIM jest możliwość bieżącej aktualizacji danych na różnych poziomach i warstwach przestrzeni miejskiej przy elastycznej skali wyjściowej w zależności od użytkownika i sposobu użytkowania.

Systemy GeoCIM nie mają i nie muszą przyjmować formatu jednego oprogramowania. Fachowe dane i modele mogą być wytwarzane i przechowywane w różnych, specjalistycznych programach i narzędziach oraz łączone z elementami istotnymi dla przestrzeni miejskiej, umożliwiając w ten sposób integrację z informacjami pochodzącymi od różnych, kluczowych i zainteresowanych stron.

## LITERATURA

- AMERICAN Society of Civil Engineers and Structural Engineering Institute. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. NO. 1 (ASCE 7-05), 2005.
- ANONYMOUS, 1999 – A single learned society body for geotechnical engineering in the UK. Appendix A. Definition of geotechnical engineering. *Ground Engineering*, **32**, 11: 39.
- ATKINSON J.H., 2000 – Non-linear soil stiffness in routine design. *Geotechnique*, **50**, 5: 487–508.
- BAGIŃSKA I., 2009 – Rozpoznanie i badnie podłoża gruntowego metodami polowymi w ujęciu Eurokodu 7. *Górn. i Geoinż.*, **33**, 1: 39–46.
- BARTON N., LIEN R., LUNDE J., 1974 – Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, **6**: 189–236.
- BARTON N., 1999 – General report concerning some 20<sup>th</sup> century lessons and century challenges in applied rock mechanics, safety and control of the environment: 1659–1679. T. 3. International Society for Rock Mechanics, Paris.
- BARTON N., 2002 – Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.*, **39**, 2: 185–216.
- BASTIAN S. (red.), 1991 – Stan krajowych prac badawczych z zakresu technologii betonu. *Studia z Zakresu Inżynierii*, **31**.
- BAŻYŃSKI J., DRĄGOWSKI A., FRANKOWSKI Z., KACZYŃSKI R., RYBICKI S., WYSOKIŃSKI L., 1999 – Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BAŻYŃSKI J., TUREK S., 1969 – Słownik hydrogeologii i geologii inżynierskiej. Wydaw. Geol., Warszawa.
- BER A., 2006 – Mapa glaciektoniczna Polski w skali 1:1 000 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BER A., KRZYSZKOWSKI D. (red.), 2004 – Glaciektonika wybranych obszarów Polski. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **408**: 73–125.
- BESTYŃSKI Z., THIEL K., 2005 – Geophysical investigations of the Carpathian slide slopes. Proceedings of the Conference Mass Movements Hazard and Various Environments. *Pol. Geol. Inst. Sp. Papers*, **20**.
- BESTYŃSKI Z., THIEL K., ZABUSKI L., 1990 – Geotechniczne klasyfikacje masywów fliszowych. *Rozpr. Hydrotech.*, **52**: 143–163.
- BESTYŃSKI Z., 1997 – Ocena właściwości geotechnicznych fliszu karpackiego na podstawie badań geofizycznych [pr. doktor.]. Archiwum AGH, Kraków.
- BESTYŃSKI Z., THIEL K., 1999 – Flysch geotechnical properties by the Geophysical Classification Index KFG. Vol. 2. *W: 9<sup>th</sup> International Congress on Rock Mechanics ISRM Paris*: 1339–1346.
- BESTYŃSKI Z., THIEL K., 2002 – Geotechnical investigations of the predesign tunnel location, NARMS-TAC (North American Rock Mass Symposium and Tunneling Association of Canada), Toronto.
- BESTYŃSKI Z., 2014 – Polowe pomiary odkształcalności fliszowych masywów skalnych. *Prz. Geol.*, **62**, 10/2: 544–548.
- BESTYŃSKI Z., PACANOWSKI G., SIEŃSKI E., 2017 – Badania geofizyczne i klasyfikacje geotechniczne w ocenie stateczności karpackich zboczy fliszowych. *Prz. Geol.*, **65**, 10/2: 717–724.
- BIENIAWSKI Z.T., 1973 – Engineering classification in rock engineering. *J. S. Afr. Inst. Civ. Eng.*, **15**: 335–344.
- BIENIAWSKI Z.T., 1989 – Rock classifications: State of the art and prospect for standardization. *Trans. Res. Rec.*, **783**: 2–8.
- BIENIAWSKI Z.T., 1989 – Engineering rock mass classification. John Wiley & Sons, New York.
- BŁASZCZYŃSKI T., 1995 – Destrukcja betonu pod wpływem produktów ropopochodnych. Wydaw. Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- BOCZAROWSKI A., SIENKIEWICZ B., STOCKA B., 2015 – Geografia 1. Świat pod lupą. Internet: [www.epodreczniki.pl](http://www.epodreczniki.pl).
- BOND A.J., HARRIS A. 2008 – Decoding Eurocode 7. Taylor & Francis, New York, USA.
- BOND A.J., 2011 – A procedure for determining the characteristic value of a geotechnical parameters. *W: Proc. 3 rd. Int. Symp. on Geotechnical Safety and Risk*, Munich, Germany.
- BOROWCZYK M., FRANKOWSKI Z., 1979 – Wytyczne wykonywania badań lessów metodami polowymi. *Instr. Met. Bad. Geol.*, **40**.
- BUSTAMANTE M., GIANESELLI L., 1993 – Design of auger displacement piles from in situ tests. *W: Proc. 2nd Inter. Geotechnical Seminar on Deep Foundation on Bored and Auger Piles* (Ghent, Belgium). Wydaw. A.A. Balkema, Rotterdam.
- BZÓWKA J., KNAPIK K., JUZWA A., STELMACH K., 2012 – Geotechnika komunikacyjna. Wydaw. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- CAMPANELLA R.G., 2008 – Geo-environmental site characterization. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization*: 3–15. Huang & Mayne, London.
- CASAGLI N. i in., 2010 – Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry. *Landslides*, **7**: 291–301.
- CHANDLER R.J., 2011 – Increasing laboratory efficiency and value of laboratory data by maximizing the use of common data formats. *W: Association Geotechnical Testing Authorities – Construction Materials Testing Conference*, 13–14.10.2011, Brisbane.
- CHANDLER R.J., MCGREGOR I.D., MORIN G.R., 2011 – The role of geotechnical data in Building Information Modelling. Government Construction Client Group (2011), Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper.
- CHILD P., GRICE C., CHANDLER R., 2014 – The Geotechnical Data Journey – How the Way We View Data is Being

- Transformed. *W: Information Technology in Geo-Engineering* (red. D.G. Toll i in.). IOS Press.
- CLAYTON C.R.I., 2011 – Stiffness at small strain: research and practice. *Geotechnique*, **61**, 1: 5–37.
- COON R.F., MERRITT A.H., 1970 – Predicting in situ modulus of deformation using Rock Quality Index. *ASTM Sp. Tech. Publ.*, **477**: 154–173.
- COST Action TU1206 SUB-URBAN, 2013–2017 – An European network to improve understanding and use of the ground beneath our cities.
- DANIELAK M., 2015 – Czym jest, czym może być BIM? *Polski Instalator*, **8**: 38–39.
- DĄBROWSKI S., PRZYBYŁEK J., 2005 – Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. Poradnik metodyczny. Bogucki Wydaw. Nauk., Poznań.
- DEARMAN W.R., 1995 – Description and classification of weathered rocks for engineering purpose: the background to the BS5930:1981 proposals. *QJEGH*, **28**: 267–276.
- DEERE D.U., HENDRON A.J., PATTON F.D., CORDING E.J., 1967 – Design of surface and near surface construction in rock. *W: Proc. 8<sup>th</sup> US Symp. on Rock Mech.*, New York: 237–302.
- DEERE D.U., DEERE D.W., 1988 – The EQD Index in Practice. *Proc. Symp. Rock Classif. Eng. Purp. ATSM Sp. Tech. Publ.*, **984**: 91–101.
- DOBĄK P., 2005 – Waloryzacja geologiczno-inżynierska dla potrzeb planowania przestrzennego. *Probl. Ocen Środ.*, **4**, 31: 51–59.
- DOBĄK P., DRAĞOWSKI A., FRANKOWSKI Z., FROLIK A., KACZYŃSKI R., KOTYRBA A., PINIŃSKA J., RYBICKI S., WOŹNIAK H., 2009 – Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji kopalń. MŚ, Warszawa
- DOJCZ P., TROĆ M., 2008 – Rola stanu wód gruntowych w badaniach geotechnicznych. *Inżynieria i Budownictwo*, **11**.
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓŻKOWSKI A., 2002 – Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DRAĐOWSKI A., 1981 – Inżyniersko-geologiczna charakterystyka niszczenia skał mastrychckich Wyżyny Lubelskiej w wyniku pęcznienia i skurczu. *Biul. Geol. UW*, **29**.
- DRAĐOWSKI A., KACZYŃSKI R., PINIŃSKA J., 1984 – Geotechniczne problemy oceny zwietrzelin. *W: VII Krajowa Konferencja mechaniki gruntów i fundamentowania*. T. I. Poznań,
- EGRI G., 1971 – Bodenmechanische Grundungsprobleme auf Lossboden. *W: A II-A Conf. de Geotechnica si Fundatii*, Bucuresti: 195–207.
- EGRI G., 1972 – The physic-mechanical properties and engineering problems of the loess soils. *Acta Geol. Acad. Scientiarum Hungaricae*, **16**: 337–345.
- EVANS D., STEPHENSON M., SHAW R., 2009 – The present and future use of ‘land’ below ground. *Land Use Policy*, **26S**: S302–S316.
- EVERAERTS J., 2008 – The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) for Remote Sensing and Mapping. *W: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Congress: 1187–1192*. Beijing, China, XXXVII. Part B1.
- FAJKLEWICZ Z., 2007 – Grawimetria stosowana. Wydaw. Nauk. AGH, Kraków.
- FERETTI A., MONTI-GUARNIERI A., PRATI C., ROCCA F., MASSONET D., 2007 – InSAR Principles-Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation, TM-19, ESA Publications, Holandia, p. A-3-38.
- FOOKES P., DEARMAN W., FRANKLIN J., 1971 – Some engineering aspects of rock weathering with filed examples from Dartmoor and elsewhere. *QJEGH*, **4**: 139–185.
- FRANK R. i in., 2004 – Designers’ Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design – General Rules. ICE Publishing, Londyn.
- FRANKOWSKI Z., GRABOWSKI D., 2006 – Geologiczno-inżynierskie i geomorfologiczne uwarunkowania erozji wąwozowej w lessach w rejonie Kazimierza Dolnego (wąwoz Opolska Droga). *Prz. Geol.*, **54**, 9: 777–783.
- FRANKOWSKI Z., GAŁKOWSKI P., 2007 – Kartografia geologiczno-inżynierska w procesie GeoQ. *W: III Ogólnopolskie Sympozjum Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce*. Puszczkowsko k. Poznań, 31.05–1.06.2007. *Geologos*, **11**: 517–524.
- FRANKOWSKI Z., GRANICZNY M., JUSZKIEWICZ-BEDNARCZYK B., KRAMARSKA R., PRUSZAK Z., PRZEZDZIECKI P., SZMYTKIEWICZ M., WERNO M., ZACHOWICZ J., 2009 – Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskich warunków posadowienia obiektów budownictwa morskiego i zabezpieczeń brzegu morskiego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- FRANKOWSKI Z., MAJER E., PIETRZYKOWSKI P., 2010 – Geological and geotechnical problem of loess deposits from south-eastern Poland. *W: Proc. of the International Geotechnical Conference “Geotechnical challenges in megacities”*, Moscow: 546–553.
- FRANKOWSKI Z., GODLEWSKI T., IRMIŃSKI W., ŁUKASIK S., MAJER E., NAŁĘCZ T., SOKOŁOWSKA M., WOŁKOWICZ W., CHADA K., CHOROMAŃSKI D., GAŁKOWSKI P., JAŚKIEWICZ K., JURYS L., KACZYŃSKI Ł., MADEJ M., MAJER K., PIETRZYKOWSKI P., SAMEL I., WSZĘDYRÓWNY-NAST M., 2012 – Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych. MŚ, Warszawa.
- FRANKOWSKI Z., PIETRZYKOWSKI P., 2017 – Charakterystyki odkształceniowe lessów południowo-wschodniej Polski. *Prz. Geol.*, **65**, 10/2: 832–839.
- GEOHERMAL4PL – Wsparcie zrównoważonego rozwoju i wykorzystania płytkiej energii geotermalnej na terenie obszarów objętych programem Mieszkanie Plus w Polsce. Nr umowy 102/2017/Wn50/OA-XN-04/D, finansowany z Mechanizmu Finansowego EOG 2009–2014 w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej (FWD), Program PL04 „Oszczędzanie energii i promowanie odnawialnych źródeł energii”.
- GERMAN GEOLOGICAL SOCIETY (DGGV) AND GERMAN GEOTECHNICAL SOCIETY (DGGT), 2016 – Shallow geothermal systems – Recommendations on design, construction, operation and monitoring. Wilhelm Ernst and Sohn, Berlin.
- GLAZER Z., MALINOWSKI J., 1991 – Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. (red.), 1998 – Geologia stosowana. Właściwości gruntów niensyconych. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- GRABOWSKI D., MARCINIEC M., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z., 2008 – Instrukcja opracowania mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- HEJMANOWSKA B., GŁOWIENKA E., FISCHER C., 2006 – Hyperspectral data for detection of soil contamination by sulphur, 7. Geokinematisher Tag, Heft 2006-1, Freiberg 2006.

- HENCHER S., 2012 – Practical Engineering Geology. Spon Press an imprint of Taylor & Francis, London, New York.
- HIGH D.W., LEROUEIL S., 2003 – Characterization of soils for engineering purposes. *W: Characterisation and engineering properties of natural soils: 255–360.* Balkema.
- HOEK E., BROWN E.T., 1980 – Underground Excavation in Rock. Institution of Mining and Metallurgy, London.
- INSTRUKCJA, 1999 – Instrukcja sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- INSTRUKCJA ITB 424/2011, 2011 – Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń. Wydaw. ITB, Warszawa.
- INSTRUKCJA PKP, 2016 – Wytyczne badań podłoża gruntowego dla potrzeb budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej Igo-1. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa.
- IZDEBSKA-MUCHA D., 2005 – Wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na wybrane geologiczno-inżynierskie właściwości gruntów spoistych. *Prz. Geol.*, **53**, 9: 766–769.
- JAKUBICZ B., ŁODZIŃSKA W., 1989 – Zasady metodyczne opracowania map i atlasów geologiczno-inżynierskich obszarów zurbanizowanych i perspektywicznej zabudowy powierzchniowej. *Instr. Met. Bad. Geol.*, **49**.
- JANICA D., 2011 – Badania hydrogeologiczne i opracowanie ich wyników. *W: Podstawy hydrogeologii stosowanej* (red. nauk. A. Macioszczyk). Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- JANKOWSKI S., HRECHKA A., SZYMAŃSKI Z., RYŻYŃSKI G., 2014 – Modelling engineering-geological layers with K-NN and neural networks. *W: Neural Networks and Artificial Intelligence. 8<sup>th</sup> International Conference, ICNNAI 2014*, Brest, Belarus, June 3–6, 2014: 147–158. Springer.
- JAROSZEWSKI W., MARKS L., RADOMSKI A., 1985 – Słownik geologii dynamicznej. Wydaw. Geol., Warszawa.
- JAROSZYŃSKA-WOLIŃSKA J., 2011 – Chemia w laboratorium budownictwa. Politechnika Lubelska, Lublin.
- KACZYŃSKI R.R., 2017 – Warunki geologiczno-inżynierskie na obszarze Polski. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- KAPUŚCIŃSKI J., RODZOCH A., 2010 – Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie. Stan aktualny i perspektywy rozwoju. Uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. MŚ, Warszawa.
- KARCZEWSKI J., 2007 – Zarys metody georadarowej. Uczel. Wydaw. Nauk. Dydakt. AGH, Kraków.
- KAWUŁOK M., 2013 – Ocena przydatności terenów górniczych do zabudowy. Wydaw. ITB, Warszawa.
- KESSLER H. i in., 2015 – Building Information Modeling (BIM) – A Route for Geological Models to Have Real World Impact. *AER/AGS Sp. Report 101* (October 2015).
- KIDYBIŃSKI A., 1982 – Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydaw. Śląsk, Katowice.
- KLECZKOWSKI A., 1955 – Osuwiska i zjawiska pokrewne. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KŁOSIŃSKI B., BAŻYŃSKI J., FRANKOWSKI Z., KACZYŃSKI R., WIERZBICKI S., 1998 – Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Cz. 1 i 2. GDDP, Warszawa.
- KNILL J.L., 2003 – Core values: the First Hans Cloos Lecture. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, **62**: 1–34.
- KOLECKA N., 2011 – Photo-based 3D scanning vs. laser scanning – Competitive data acquisition methods for digital terrain modelling of steep mountain slopes. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, **38**, 203–208.
- KONDRACKI J., 2009 – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KOTAŃSKI Z. (red.), 1997 – Atlas geologiczny Polski. Mapy geologiczne ścięcia poziomego w skali 1:750 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KOWALSKI W.C., 1988 – Regionalna geologia inżynierska Polski. Wydaw. UW, Łódź.
- KOZDRÓJ W., KLONOWSKI M., 2014 – TransGeoTherm. Energia geotermalna dla transgranicznego rozwoju Nysy – Projekt pilotażowy. Broszura informacyjna na temat stosowania płytkiej geotermii. Państw. Inst. Geol. – PIB, Ladesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologic Freistaat Sachsen, Wrocław.
- KRAJEWSKA-PINIŃSKA J., 1969 – Inżyniersko-geologiczna charakterystyka glin zwałowych w nadkładzie węgla brunatnego okolic Turka. *Biul. Geol. UW*, **11**.
- KROGULEC E., 2011 – Przepływ wód podziemnych. *W: Podstawy hydrogeologii stosowanej* (red. nauk. A. Macioszczyk). Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- KURCZYŃSKI Z., 2014 – Fotogrametria. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- KULMA R., 1995 – Podstawy obliczeń filtracji wód podziemnych. Wydaw. AGH, Kraków.
- KUPETZ M., 1997 – Geological structure and origin of Muskauer Faltenbogen Moraine (in German). *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge*, **4**, 2: 1–20.
- KWECIEŃ J., 2009 – Technologia GIS w geologii inżynierskiej. Wydaw. Uczel. Uniwer. Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz.
- LINDNER L. (red.), 1992 – Czwartorzęd: osady, metody badań, stratygrafia. Wydaw. PAE, Warszawa.
- LOKE M.H., 2000 – Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. Internet: <http://pages.mtu.edu/~ctyoung/LOKENOTE.PDF> [dostęp: listopad 2017].
- LUNNE T., ROBERTSON P.K., POWELL J.J.M., 1997 – Cone penetration testing in geotechnical practice. Blackie Academic & Professional, London.
- MAJER E., SOKOŁOWSKA M., RYŻYŃSKI G., 2013 – Identyfikacja ryzyka geologicznego w procesie inwestycyjnym. *W: XXVIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła, 5–8 marca 2013: 305–341.
- MALINOWSKI J., 1960 – Geologia inżynierska. Cz. II. Wydaw. Geol., Warszawa.
- MARCAK H., PILECKI Z. (red.), 2003 – Wyznaczanie właściwości utworów fliszu karpackiego metoda sejsmiczną dla potrzeb budownictwa tunelowego. Wydaw. IGSMiE PAN, Kraków.
- MARCINIAK M., 1999 – Identyfikacja parametrów hydrogeologicznych na podstawie skokowej zmiany potencjału hydraulicznego. Metoda PARAMEX. Wydaw. Nauk. UAM, Poznań.
- MARKS L., BER A., GOGOLEK W., PIOTROWSKA K., 2006 – Mapa geologiczna Polski w skali 1:500 000. Wyd. Państw. Inst. Geol., Warszawa
- MARUSZCZAK H., 1976 – Stratygrafia lessów Polski południowo-wschodniej. *Biul. Inst. Geol.*, **297**: 135–175.
- MASUDA H., 1964 – Utilisation of elastic longitudinal wave velocity for determining the elastic property of dam foundation rocks. *W: 8<sup>th</sup> International congress on large dams. T. I: 253–272.*
- MATULA M., 1981 – Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geological Mapping Report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. *Bull. IAEG*, **24**: 235–274.
- MAYNE P.W., 2006 – In-situ test calibration for evaluating soil parameters. In-situ testing. Singapore Workshop.
- MIGOŃ P., 2006 – Geomorfologia. Wydaw. PWN, Warszawa.



- MIKOŁAJKÓW J., 2011 – Dopływ wody do studni. *W: Podstawy hydrogeologii stosowanej* (red. A. Macioszczyk). Wydaw. PWN, Warszawa.
- MIZERSKI W., 2009 – Geologia Polski. Wydaw. PWN, Warszawa.
- MIZERSKI W., 2010 – Geologia dynamiczna. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- MŁYNAREK Z., 2009 – Podłoże gruntowe a awaria budowlana. *W: XXIV Konf. Naukowo-Techniczna pt. „Awarie budowlane”*. Szczecin–Międzyzdroje, 26–29 maja 2009: 103–128.
- NAWROCKI J., BECKER A. (red), 2017 – Atlas geologiczny Polski. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- NORBURY D., HENCHER S., CRIPPS J., LUMSDEN A., 1995 – The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *QJEGH*, **28**: 207–242.
- NOWICKI Z. (red.), 2007 – Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- OSTROWSKI S., LASOCKI M., PACANOWSKI G., 2010 – Electrical Resistivity Tomography as a Tool in Geological Mapping. *W: 72nd EAGE Conference & Exhibition. Conference Abstracts*. Barcelona, Spain, 14–17 June 2010.
- OWSIK Z., 2015 – Korozja wewnętrzna betonu. *Monografie, Studia, Rozprawy*, **M66**.
- PARK C.B., MILLER R.D., 2004 – MASW to map shear-wave velocity of soil. KGS Open-file Report 2004-30. Kansas Geological Survey, Kansas.
- PARRY S., BAYENS F.J., CULSHAW M.G., EGGERS M., KEATON J.F., LENTFER K., NOWOTNY J., PAUL D., 2014 – Engineering geological models – an introduction: IAEG Commission 25. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, **73**, 3: 689–706.
- PETRIE G., TOTH C., 2009 – Introduction to laser ranging, profiling, and scanning. *W: Topographic laser ranging and scanning: Profiling and scanning* (red. J. Shan, C.K. Toth): 1–28. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- PILECKI Z., 2002 – Wyznaczanie parametrów górotworu na podstawie klasyfikacji geotechnicznych. Wydaw. Druk. Kraków.
- PINIŃSKA J., 2001 – Systemy geologiczno-inżynierskiej oceny skał i masywów skalnych. *Prz. Geol.*, **9**, 49: 804–814.
- PINIŃSKA J., 2017 – Geotechniczne badania wytrzymałościowe skał w świetle normy PN-EN ISO 14689-1 oraz EC7. *W: XXXII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła 7–10 marca 2017: 137–150.
- PISARCZYK S., 2005 – Mechanika gruntów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A., 2016 – Wytyczne badań podłoża gruntowego dla potrzeb budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej. Wydaw. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa.
- PLEWA M., 1999 – Geologia inżynierska w inżynierii środowiska. Wydaw. DWN, Kraków.
- PORT P.C., 2013 – Wytyczne projektowania, wykonania i odbioru instalacji z pompami ciepła. Cz. 1. Dolne źródła do pomp ciepła. Wyd. 01/2013. Kraków.
- PROST G.L., 2013 – Remote Sensing for Geoscientists. 3rd edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- PRZYBYCIN A., ULIASZ-MISIAK B., ZAWISZA L., 2011 – Sposoby użytkowania górotworu na świecie i w Polsce. *Prz. Geol.*, **59**, 5: 417–425.
- RODZICH A., KUŚMIERZ A., SAWICKA-SIARKIEWICZ H., BORZYSZKOWSKI J., BESTYŃSKI Z., DOBKOWSKA A., GÓRKA J., KRUK L., LEŚNIAK J., OFICJAŁSKA H., PACHOLEWSKI A., TKACZYK A., 2006 – Zasady sporządzania dokumentacji określających warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem dróg krajowych i autostrad. MŚ, Warszawa.
- ROGOŹ M., 2012 – Metody obliczeniowe w hydrogeologii. Wydaw. Śląsk, Katowice.
- ROMANA M., 1985 – New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. *W: Proceedings International Symposium Rock Mech. Excavation Min. Civil. Works ISRM*. Mexico City: 59–68.
- ROMANA M., SERON J., MONTALAR E., 2003 – SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation. Polytechnic University of Valencia, Spain.
- RUBIK M., 2011 – Pompy ciepła w systemach geotermii niskotemperaturowej. Monografia. Multico, Warszawa.
- RYŻYŃSKI G., MAJER E., 2015 – Geotermia niskotemperaturowa – informacja geologiczna i procedury prawne. *Prz. Geol.*, **63**, 12/1: 1388–1396.
- RYŻYŃSKI G., NAŁĘCZ T., 2016 – Engineering-geological data model – the first step to build national Polish standard for multilevel information management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sci.*, **44**: 1–8. Doi:10.1088/1755-1315/44/3/032025.
- SERAFIM J.L., PEREIRA J.P., 1983 – Considerations of the geomechanics classification of Bieniawski. *W: Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Constr.*: II.33–II.42. Balkema, Rotterdam.
- SIKORA Z., 2006 – Sondowania statyczne metody i zastosowanie w geoinżynierii. WNT, Warszawa.
- SINGH B., GOEL R.K., 1999 – Rock mass classification: A practical approach in civil engineering. Elsevier, Oxford.
- SIWEK Z., MAŃKOWSKI M., 1981 – Wyznaczanie parametrów hydraulicznych ujęcia wód podziemnych na podstawie próbnych pompowań. Wydaw. Geol., Warszawa.
- SJÖGREN B., OESTHUS A., SANDBERG J., 1979 – Seismic classification of rock mass qualities. *Geophysical Prospecting*, **27**, 2: 409–442.
- SOKOŁOWSKA M., MAJER E., SKRZECZKOWSKA M., 2015 – Rola obserwacji i pomiarów hydrogeologicznych w ocenie warunków geologiczno-inżynierskich podłoża w świetle wymagań Eurokodu 7. *Prz. Geol.*, **63**, 10/2: 1053–1058.
- SOKOŁOWSKA M., CHADA M., ROGUSKI A., MAJER E., 2017 – Ocena badań geologiczno-inżynierskich wykonanych na potrzeby inwestycji drogowych w latach 2007–2016. *Prz. Geol.*, **65**, 10/2: 672–677.
- STĘPIEŃ U., CHEŁMIŃSKI J., CZURYŁOWICZ K., NOWACKI Ł., SURAŁA M., SZYNKARUK E., TOMASZCZYK M., ŻARSKI M., 2011 – Założenia do wykonywania wielowymiarowej parametrycznej kartografii geologicznej płytkich struktur geologicznych w Polsce. Raport nr 11.1809.1001.00.0 wykonany na zamówienie Ministerstwa Środowiska. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- VAN STAVEREN M., 2006 – Uncertainty and Ground Conditions. A Risk Management Approach. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- SULLIVAN T.D., 2010 – The geological model. *W: Geologically active* (red. A.L. Williams i in.). Proceedings of the 11<sup>th</sup> Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment, Auckland, New Zealand: 155–170. CRC Press, London.
- STOBIECKI Z., MARCINIAK M., 2011 – Zastosowanie metody Paramex do oceny stanu technicznego piezometrów w kopalni węgla brunatnego „Bełchatów”. *Gór. Geoinż.*, **3**, 1: 247–258.
- STUPNICKA E., STEMPIEŃ-SALEK M., 2016 – Geologia regionalna Polski. Wydaw. UW, Warszawa.
- SZCZEPAŃSKI A. (kier. nauk.), DĄBROWSKI S., GÓRSKI J., KAPUŚCIŃSKI J., PRZYBYŁEK J., 2004 – Metodyka okreś-

- lania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Poradnik metodyczny. MŚ, Warszawa.
- SZPONAR A., 2003 – Fizjografia urbanistyczna. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- TAJDUŚ A., CAŁA M., TAJDUŚ K., 2012 – Geomechanika w budownictwie podziemnym: projektowanie i budowa tuneli. Wydaw. AGH, Kraków.
- TARNAWSKI M., 2007 – Zastosowanie presjometru w badaniach gruntu. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- TERZAGHI K., 1946 – Rock defects and load on tunnel supports, Introduction to rock tunneling with steel supports by Proctor R.V. and White T.L. Commercial Sheering & Sampling Co., Youngstown, Ohio, USA.
- THIEL K. (red.), 1989 – Właściwości fizyko-mechaniczne i modele masywów skalnych polskich Karpat fliszowych. *Biblioteka Naukowa Hydrotechnika*, 19.
- TOMAS R., DELGADO J., SERON J., 2007 – Visual sensibility analysis of Slope Mass Rating (SMR) correction parameters using continuous functions. *W: 11<sup>th</sup> Congress of the International Society for Rock Mechanics*. Lisbon, Portugal, 9–13 July: 729–732. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- TUREK S. (red.), 1971 – Poradnik hydrogeologa. Wydaw. Geol., Warszawa.
- ULUSAY R. (red.), 2015 – The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007–2014. Springer.
- VARNES D.J., 1978 – Slope movement types and processes. *W: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (red. R.L. Schuster, R.J. Krizek): 11–33. Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington.
- WALTHAM A.C., FOOKES P.G., 2005 – Engineering classification of karst ground conditions. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers. *The Virtual Scientific Journal*, 3, 1: 16.
- WANG J., ZHANG S., TEIZER J., 2014 – Geotechnical and safety protective equipment planning using range point cloud data and rule checking in building information modeling. *Automation in Construction*, 49: 250–261.
- WATANABE T., MATSUOKA T., ASHIDA Y., 1999 – Seismic traveltime tomography using Fresnel volume approach. SEG Expanded Abstracts: 1402–1405.
- WERS R., BLANDYNA Z., 2015 – Geografia 2. Świat pod lupą. Internet: www.epodreczniki.pl.
- WICKHAM G.E., TIEDMAN H.R., SKINNER E.H., 1972 – Support determination based on geologic predictions. *W: Proc. Rapid Excavation Tunneling Conference*: 43–64. AIME, New York.
- WIŁUN Z., 2003 – Zarys geotechniki. Wydaw. WKŁ, Warszawa.
- WITCZAK S., ADAMCZYK A., 1994 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. T. 1. PIOŚ. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., 1990 – Instrukcja ITB nr 303. Ustalanie przydatności gruntów na potrzeby budownictwa. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., KOTLIICKI W., GODLEWSKI T., 2011 – Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7. Poradnik. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- ŻELAŻNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARNKOWSKI P.H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K., 2011 – Regionalizacja tektoniczna Polski. Kom. Nauk Geol. PAN, Wrocław.

## AKTY PRAWNE

**Uwaga:** aktualność podanych aktów prawnych należy każdorazowo sprawdzić. Zaleca się korzystać ze strony Internetowego Systemu Aktów Prawnych: <http://isap.sejm.gov.pl>.

### DYREKTYWY

DYREKTYWA 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. (Dz.U. UE.L.00327.1 z dnia 22 grudnia 2000 r) – Ramowa Dyrektywa Wodna.

### USTAWY

USTAWA z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. 2017 poz. 2101).

USTAWA z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej (Dz.U. 2016 poz. 2145).

USTAWA z dnia 7 lipca 1994. Prawo budowlane (Dz.U. 2017 poz. 1332).

USTAWA z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2017 poz. 519).

USTAWA z dnia 12 września 2002 r. o normalizacji (Dz.U. 2002 Nr 169 poz. 1386, z późn. zm.).

USTAWA z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. Nr 80 poz. 717, z późn. zm.).

USTAWA z dnia 17 lutego 2005 r. o informatyzacji działalności podmiotów realizujących zadania publiczne (Dz.U. 2014 poz. 1114).

USTAWA z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (Dz.U. Nr 75 poz. 493, z późn. zm.).

USTAWA z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz.U. 2016 poz. 353).

USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2017 poz. 2126).

### UCHWAŁY I ZARZĄDZENIA

UCHWAŁA nr 239 Rady Ministrów z dnia 13 grudnia 2011 r. w sprawie przyjęcia Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030 (M.P. 2012 poz. 252).

ZARZĄDZENIE nr 10 z dnia 26 marca 1960 w sprawie wprowadzenia tymczasowych zasad sporządzania Szczegółowej Mapy Geologiczno-Inżynierskiej Polski w skali 1:25 000 i 1:50 000.

ZARZĄDZENIE nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16 czerwca 2014 r. w sprawie Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych, Warszawa.

ZARZĄDZENIE nr 58 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 23 listopada 2015 r. w sprawie dokumentacji do realizacji inwestycji.

## ROZPORZĄDZENIA

- ROZPORZĄDZENIE Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz. 1422).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (Dz.U. 2011 poz. 1572).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie opracowań ekofizjograficznych (Dz.U. 2002 poz. 155).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 15 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących innych dokumentacji geologicznych (Dz.U. Nr 282 poz. 1656).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. Nr 288 poz. 1696).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 16 lutego 2012 r. w sprawie planów ruchu zakładów górniczych (Dz.U. 2012 poz. 372).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. 2015 poz. 964).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. 2016 poz. 1395).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463).
- ROZPORZĄDZENIE Rady Ministrów z dnia 15 października 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz.U. 2012 poz. 1247).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 października 2006 r. w sprawie niezbędnych elementów struktury dokumentów elektronicznych (Dz.U. 2006 Nr 206 poz. 1517).
- OBWIESZCZENIE Prezesa Rady Ministrów z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz.U. 2016 poz. 71).

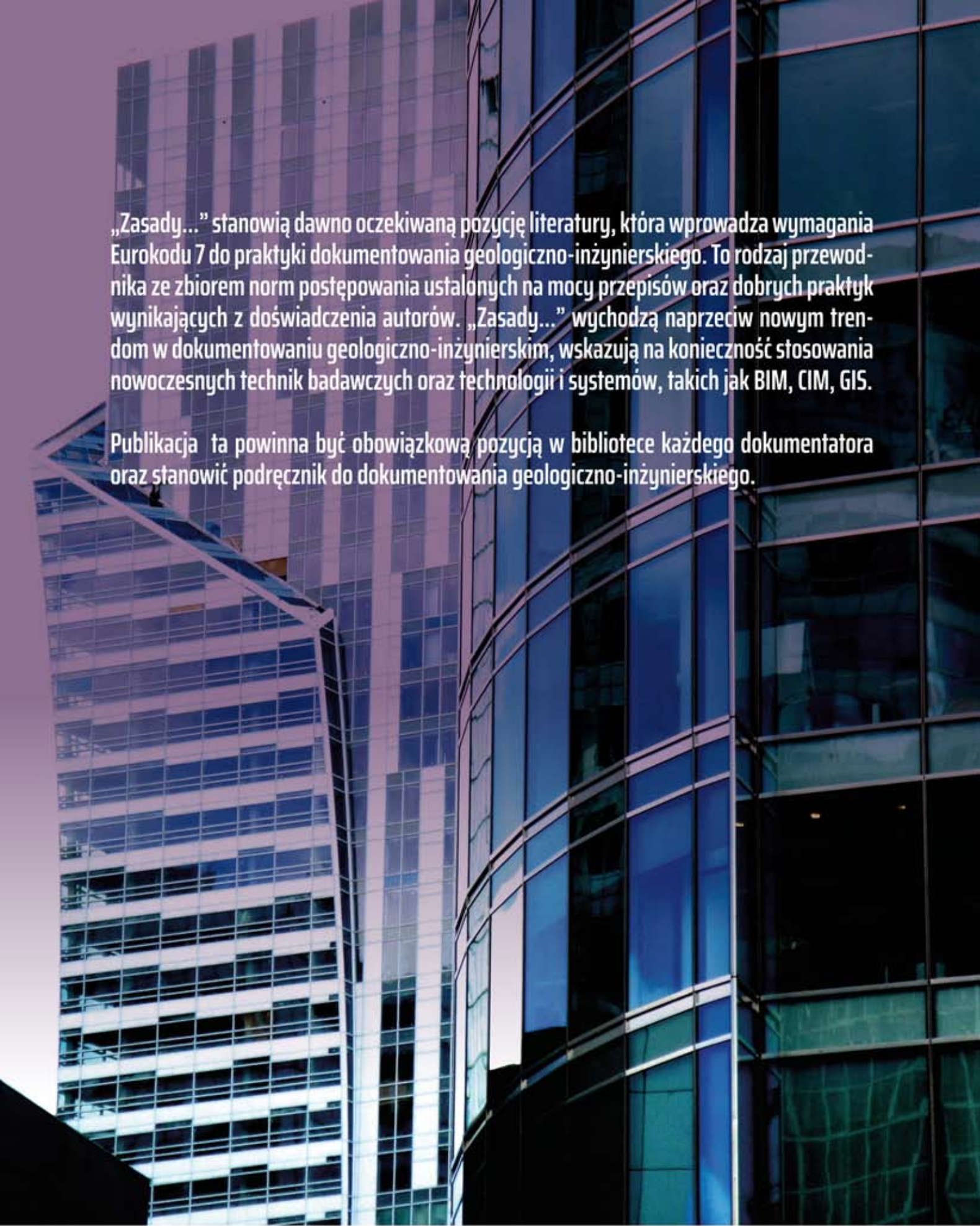
## NORMY

- Uwaga:** aktualność podanych norm należy każdorazowo sprawdzić. Zaleca się korzystać ze strony Polskiego Komitetu Normalizacyjnego: <http://www.pkn.pl>.
- ASTM D4428 / D4428M-14 – Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- ASTM D5777-00(2011)e1 – Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- ASTM D6429-99(2011)e1 – Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- ASTM D6431-99(2010) – Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Investigation, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
- ASTM D7400-14 – Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- BS 5930 – Code of practice for site investigations.
- CEN ISO/TS 22476-10 – Geotechnical investigation and testing – Field testing. Part 10: Weight sounding test.
- ISO/DIS 22476-9 – Ground investigation and testing – Field testing. Part 9: Field vane test.
- ISO 22476-5:2012 – Geotechnical investigation and testing – Field testing. Part 5: Flexible dilatometer test.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-1:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 1: Oznaczanie wilgotności [norma wycofana bez zastąpienia].
- PKN-CEN ISO/TS 17892-2:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 2: Oznaczanie gęstości gruntów drobnoziarnistych [norma wycofana bez zastąpienia].
- PKN-CEN ISO/TS 17892-3:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 3: Oznaczanie gęstości właściwej. Metoda piknometru [norma wycofana bez zastąpienia].
- PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-5:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 5: Badanie edometryczne gruntów.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-6:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 6: Badanie penetrometrem stożkowym.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-7:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 7: Badanie na ściskanie gruntów drobnoziarnistych w jednoosiowym stanie naprężenia.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-8:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 8: Badanie gruntów nieskonsolidowanych w aparacie trójosiowego ściskania bez odpływu wody.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-9:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 9: Badanie gruntów w aparacie trójosiowego ściskania po nasyceniu wodą.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-10:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 10: Badanie w aparacie bezpośredniego ścinania.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-11:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 11: Badanie filtracji przy stałym i zmiennym gradiencie hydraulicznym.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 12: Oznaczanie granic Atterberga.
- PN-B-02480:1986 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu [norma wycofana bez zastąpienia].

- PN-B-02479:1998 – Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne [norma wycofana zastąpiona przez PN-EN 1997-1:2008, PN-EN 1997-2:2009].
- PN-B-02481:1998 – Geotechnika. Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.
- PN-B-04452:2002 – Geotechnika. Badania polowe [norma wycofana zastąpiona przez PN-EN 1997-2:2009].
- PN-EN 13529:2005 – Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Odporność na silną agresję chemiczną.
- PN-EN 1997-1:2008 – Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-1:2008/NA:2011 – Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-1:2008/A1:2014-05 – Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2009 – Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- PN-EN ISO 22476-2:2005 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 2: Sondowanie dynamiczne [wersja angielska].
- PN-EN ISO 22476-2:2005/A1:2012 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 2: Sondowanie dynamiczne [wersja angielska].
- PN-EN ISO 22476-3:2005 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 3: Sonda cylindryczna SPT [wersja angielska].
- PN-EN ISO 22476-3:2005/A1:2012 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 3: Sonda cylindryczna SPT [wersja angielska].
- PN-EN ISO 14688-1:2006 – Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis.
- PN-EN ISO 14688-1:2006/A1:2014-02 – Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis [wersja angielska].
- PN-EN ISO 14688-2:2006/A1:2014-02 – Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania [wersja angielska].
- PN-EN ISO 14688-2:2006/Ap2 – Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania [poprawka do Polskiej Normy].
- PN-EN ISO 14689-1:2006 – Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie skał. Część 1: Oznaczenie i opis.
- PN-EN ISO 22475-1:2006 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych. Część 1: Techniczne zasady wykonania [wersja angielska].
- PN-EN ISO 22476-12:2009 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 12: Badanie sondą stożkową (CPTM) o końcówce mechanicznej [wersja angielska].
- PN-EN ISO 22282-1:2012 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania hydrogeologiczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN ISO 22282-2:2012 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania hydrogeologiczne. Część 2: Badania współczynnika filtracji w otworze wiertniczym w systemie otwartym.
- PN-EN ISO 22282-4:2012 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania hydrogeologiczne. Część 4: Pompowanie próbne.
- PN-EN ISO 22282-5:2012 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania hydrogeologiczne. Część 5: Badania infiltracyjne.
- PN-EN ISO 22282-6:2012 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania hydrogeologiczne. Część 6: Badania współczynnika filtracji w otworze wiertniczym w systemie zamkniętym.
- PN-EN ISO 22476-1:2013-03 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 1: Badanie sondą statyczną ze stożkiem elektrycznym lub stożkiem piezo-elektrycznym [wersja angielska].
- PN-EN ISO 22476-4:2013-05 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 4: Badanie presjometrem Menarda.
- PN-EN ISO 22476-5:2013-05 – Rozpoznanie i badania geotechniczne – Badania polowe. Część 5: Badanie dylatometrem.
- PN-EN ISO 17628:2015-09 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania geotermalne. Określenie przewodności cieplnej skał i gruntów przy zastosowaniu wymiennika ciepła w otworze wiertniczym.
- PN-EN ISO 17892-1:2015-02 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 1: Oznaczenie wilgotności naturalnej [wersja angielska].
- PN-EN ISO 17892-2:2015-02 – Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 2: Oznaczenie gęstości objętościowej [wersja angielska].
- PN-EN ISO 17892-3:2016-03 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 3: Oznaczenie gęstości właściwej. Metoda piknometru [wersja angielska].

## STRONY INTERNETOWE

- <https://atlasy.pgi.gov.pl/> – Baza Danych Geologiczno-Inżynierskich PIG-PIB
- <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/tektoniczne-deformacje;3986067.html>
- <http://geoportal.pgi.gov.pl>
- [http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas\\_y\\_gi/publikacje](http://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje)
- [https://prezi.com/htb\\_rvcbeqyj/ruchy-gorotworcze-i-deformacje-tektoniczne/](https://prezi.com/htb_rvcbeqyj/ruchy-gorotworcze-i-deformacje-tektoniczne/)
- <https://prezi.com/b6vbizrd-c3r/ruchy-gorotworcze-deformacje-tektoniczne-plutonizm-wulkan/>
- <http://sloownik-geologiczny.wikidot.com/glacitektonika>
- [www.bimblog.pl](http://www.bimblog.pl)
- [www.cadportal.pl](http://www.cadportal.pl)
- [www.epodreczniki.pl](http://www.epodreczniki.pl)
- [www.geoscene3D.com](http://www.geoscene3D.com)
- [www.gisblog.pl](http://www.gisblog.pl)
- [www.iaeg.info](http://www.iaeg.info)
- [www.pgi.gov.pl/en/publications/journals/polish-geological-review/5873-przeglpd-geologiczny-2008-10-tom-56.html](http://www.pgi.gov.pl/en/publications/journals/polish-geological-review/5873-przeglpd-geologiczny-2008-10-tom-56.html)
- [www.rynekinstalacyjny.pl](http://www.rynekinstalacyjny.pl)
- [www.scholaris.pl](http://www.scholaris.pl)



„Zasady...” stanowią dawno oczekiwaną pozycję literatury, która wprowadza wymagania Eurokodu 7 do praktyki dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. To rodzaj przewodnika ze zbiorem norm postępowania ustalonych na mocy przepisów oraz dobrych praktyk wynikających z doświadczenia autorów. „Zasady...” wychodzą naprzeciw nowym trendom w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim, wskazują na konieczność stosowania nowoczesnych technik badawczych oraz technologii i systemów, takich jak BIM, CIM, GIS.

Publikacja ta powinna być obowiązkową pozycją w bibliotece każdego dokumentatora oraz stanowić podręcznik do dokumentowania geologiczno-inżynierskiego.