

ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH DLA POTRZEB REKULTYWACJI TERENÓW ZDEGRADOWANYCH



MINISTERSTWO
ŚRODOWISKA



Wykonano na zamówienie
Ministra Środowiska za środki finansowe
wyłacone przez Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



Instytut Techniki Budowlanej

Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy



Warszawa 2012

Autorzy:

Zbigniew FRANKOWSKI¹, Tomasz GODLEWSKI³, Wojciech IRMIŃSKI², Stanisław ŁUKASIK³, Edyta MAJER¹, Tomasz NAŁĘCZ¹, Marta SOKOŁOWSKA³, Wojciech WOŁKOWICZ¹, Konrad CHADA³, Dariusz CHOROMAŃSKI¹, Piotr GAŁKOWSKI¹, Krystyna JAŚKIEWICZ³, Leszek JURYS⁴, Łukasz KACZYŃSKI³, Monika MADEJ¹, Krzysztof MAJER¹, Paweł PIETRZYKOWSKI¹, Izabela SAMEL¹, Małgorzata WSZĘDYRÓWNY-NAST³

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

² Geo-Logik Wojciech Irmiński – Badania i remediacja środowiska, ul. Owocowa 10, 05-806 Komorów

³ Instytut Techniki Budowlanej, ul. Filtrowa 1, 00-611 Warszawa

⁴ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk

Współpraca: Andrzej Drągowski¹, Józef Kirejczyk², Tomasz Burchard², Zbigniew Pantula², Aleksandra Urbaniak-Słoma³

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

² PUP SIGMA BP Sp. z o.o., ul. Sienkiewicza 23, 39-400 Tarnobrzeg

³ SEGI-AT Sp. z o.o., ul. Baletowa 30, 02-867 Warszawa

Recenzent: Maciej K. Kumor

Redaktorzy wydawnictwa: Teresa Lipniacka, Janina Małecka

Projekt okładki: Magdalena Sędek

Fotografie na okładce: © Copyright by Marek Ostrowski, Zbigniew Frankowski

W publikacji zamieszczono zdjęcia, które są własnością następujących firm: Instytut Techniki Budowlanej; Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy; Geo-Logik Wojciech Irmiński; SEGI-AT Sp. z o.o.; PUP SIGMA BP Sp. z o.o. w Tarnobrzegu

Opracowanie zamówione przez Ministra Środowiska, zrealizowane przez Konsorcjum:
Instytut Techniki Budowlanej i Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

Akceptował do druku dnia 25.09.2012 r.

Dyrektor Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego
prof. dr hab. Jerzy NAWROCKI

© Copyright by Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2012

ISBN 978-83-7863-090-6

Adres redakcji:

Zakład Publikacji

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; tel. 22 459 2480

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

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	7
1.1. Przedmiot i cel opracowania	7
1.2. Terminologia	7
2. Charakterystyka terenów zdegradowanych	10
2.1. Przyczyny i procesy degradacji terenu	10
2.2. Przekształcenia terenów	10
2.3. Klasyfikacja degradacji terenów	10
2.4. Rodzaje terenów zdegradowanych oraz przyczyny ich degradacji	11
2.4.1. Degradacja naturalna	13
2.4.1.1. Osuwiska	13
2.4.1.2. Klif	18
2.4.1.3. Erozja na terenach lessowych	24
2.4.1.4. Kras	24
2.4.1.5. Powódzie	25
2.4.1.6. Podtopienia	28
2.4.2. Degradacja antropogeniczna	29
2.4.2.1. Górnictwo podziemne	30
2.4.2.2. Górnictwo odkrywkowe	32
2.4.2.3. Przemysł chemiczny	34
2.4.2.4. Infrastruktura liniowa	36
2.4.2.5. Składowanie odpadów	38
3. Rekultywacja terenów zdegradowanych	42
3.1. Rodzaje rekultywacji	42
3.2. Oczyszczanie <i>ex situ</i>	44
3.3. Oczyszczanie <i>in situ</i>	45
3.4. Proces samooczyszczania i naturalnego rozpadu (<i>natural attenuation</i>)	47
3.5. Metody rekultywacji gleb i gruntów zanieczyszczonych metalami ciężkimi	47
3.6. Metody rekultywacji gleb i gruntów zanieczyszczonych związkami organicznymi	48
4. Terenowe badania geologiczno-inżynierskie	49
4.1. Kartowanie geologiczno-inżynierskie	49
4.2. Badania geofizyczne	49
4.3. Wiercenia badawcze i pobór próbek	52
4.4. Badania terenowe znormalizowane	53
4.5. Wybrane specjalistyczne badania terenowe	61
5. Laboratoryjne badania geologiczno-inżynierskie	64
5.1. Ogólne zalecenia prowadzenia badań laboratoryjnych na gruntach zanieczyszczonych i antropogenicznych	67
5.2. Opis i klasyfikacja gruntów	68
5.3. Wybrane badania laboratoryjne gruntów	69
6. Tworzenie map i przekrojów geologiczno-inżynierskich	77
6.1. Zasady tworzenia map na potrzeby opracowań studialnych	79

6.1.1.	Materiały źródłowe	79
6.1.2.	Metodyka tworzenia map	79
6.1.3.	Treść map	80
6.1.4.	Przekroje geologiczno-inżynierskie.	81
6.2.	Zasady tworzenia map i przekrojów na potrzeby opracowań szczegółowych	84
7.	Badania środowiskowe gruntów i wody	85
7.1.	Strategia badań	87
7.2.	Metody i zakres badań	88
7.2.1.	Badania próbek gruntu (podłoża)	88
7.2.2.	Badania próbek wody podziemnej	91
7.2.2.1.	Standardowe metody opróbowania wód podziemnych	92
7.2.2.2.	Metody opróbowania bezpośredniego	94
7.2.2.3.	Inne metody opróbowania wód podziemnych.	95
7.2.2.4.	Polowe badania fotometryczne	99
7.3.	Identyfikacja próbek, zabezpieczenie, transport i składowanie.	101
7.4.	Rola osób pobierających próbki	102
8.	Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby rekultywacji terenów zdegradowanych	103
8.1.	Etapy prac geologicznych	103
8.2.	Stopień złożoności warunków gruntowych	104
8.3.	Prace przygotowawcze i projektowe	104
8.3.1.	Rozpoznanie wstępne	105
8.3.1.1.	Zebrań i analiza materiałów archiwalnych i literatury	106
8.3.1.2.	Wizja lokalna terenu i wywiad środowiskowy	106
8.3.1.3.	Określenie stopnia złożoności warunków gruntowych i decyzja o konieczności dokumentowania	106
8.3.2.	Projektowanie	106
8.3.2.1.	Cel prac i robót geologicznych	106
8.3.2.2.	Określenie zakresu badań i metodyki	107
8.3.2.3.	Opracowanie projektowanych robót geologicznych	107
8.4.	Prace dokumentacyjne	107
8.4.1.	Prace terenowe	108
8.4.1.1.	Prace geodezyjne	108
8.4.1.2.	Prace teledetekcyjne.	109
8.4.1.3.	Prace i roboty geologiczne	111
8.4.1.4.	Badania znormalizowane i specjalistyczne	112
8.4.1.5.	Badania geofizyczne.	112
8.4.1.6.	Badania środowiskowe	113
8.4.2.	Badania laboratoryjne.	113
8.4.3.	Dokumentowanie wyników badań	113
8.5.	Prace monitoringowe	113
9.	Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich terenów zdegradowanych przez osuwiska	116
9.1.	Rozpoznanie wstępne	116
9.1.1.	Analiza materiałów archiwalnych	116
9.1.2.	Wizja lokalna terenu	116
9.2.	Projektowanie robót geologicznych	117
9.3.	Badania terenowe	117
9.3.1.	Prace geodezyjne	117
9.3.2.	Kartowanie geologiczno-inżynierskie	117
9.3.3.	Wiercenia badawcze	117
9.3.4.	Pobieranie próbek gruntów, skał i wody	117
9.3.5.	Sondowania	118

9.3.6. Wykopy badawcze	119
9.3.7. Badania geofizyczne	119
9.4. Badania laboratoryjne	119
9.5. Sieć monitoringu	119
9.6. Mapy i przekroje geologiczno-inżynierskie	120
9.7. Dokumentowanie wyników badań	121
10. Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich terenów zdegradowanych przez procesy erozji na obszarach występowania lessów i gruntów lessopodobnych	125
10.1. Kartowanie geologiczno-inżynierskie	125
10.2. Projektowanie robót geologicznych.	125
10.3. Badania terenowe	125
10.4. Badania laboratoryjne	126
10.5. Dokumentowanie wyników badań	126
11. Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych przez kras	128
11.1. Rozpoznanie wstępne. Kartowanie geologiczno-inżynierskie	128
11.2. Etap podstawowy	128
11.3. Etap szczegółowy	128
11.4. Zalecenia do projektowania i wykonywania badań terenowych	129
11.5. Badania laboratoryjne	129
11.6. Mapy i przekroje geologiczno-inżynierskie	129
11.7. Dokumentowanie wyników badań	130
12. Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych przez powódzie i podtopienia	132
12.1. Rozpoznanie wstępne	132
12.1.1. Analiza materiałów archiwalnych	132
12.1.2. Wizja lokalna terenu	132
12.2. Projektowanie robót geologicznych	132
12.3. Badania terenowe	133
12.4. Badania laboratoryjne	133
12.5. Mapy i przekroje geologiczno-inżynierskie	134
12.6. Dokumentowanie wyników badań	135
13. Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych przez przemysł	136
13.1. Rozpoznanie wstępne	136
13.2. Projektowanie robót geologicznych	136
13.3. Badania terenowe	136
13.4. Badania laboratoryjne	138
13.5. Mapy i przekroje geologiczno-inżynierskie	139
13.6. Dokumentowanie wyników badań	141
14. Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych przez górnictwo	142
14.1. Zakres prac przy dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich na terenach pogórnich (wg Dobaka i in., 2009)	142
14.1.1. Analiza materiałów archiwalnych	144
14.1.2. Badania terenowe	144
14.1.3. Badania laboratoryjne	148
14.1.4. Mapy i przekroje geologiczno-inżynierskie	150
14.2. Dokumentowanie wyników badań	155

15. Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych przez składowanie odpadów	156
15.1. Rozpoznanie wstępne	156
15.2. Projektowanie robót geologicznych	156
15.3. Badania terenowe	157
15.4. Badania laboratoryjne	158
15.5. Dokumentowanie wyników badań	159
16. Doświadczenia w zakresie dokumentowania geologiczno-inżynierskiego na terenach zdegradowanych	161
16.1. Atlasy geologiczno-inżynierskie aglomeracji w skali 1:10 000	161
16.1.1. Atlas Warszawy	161
16.1.2. Atlas aglomeracji katowickiej	162
16.1.3. Atlas Poznania, aglomeracji trójmiejskiej i aglomeracji krakowskiej	163
16.1.4. Atlas aglomeracji wrocławskiej	163
16.1.5. Atlas aglomeracji Rybnik–Jastrzębie-Zdrój–Żory	164
16.2. Mapa geologiczno-inżynierskiej przydatności terenu, mapa ryzyka geologicznego	165
16.3. Likwidacja kopalń i rekultywacja terenów pogórnicznych w Tarnobrzescim Zagłębiu Siarkowym	166
16.3.1. Likwidacja odkrywkowych kopalń siarki	166
16.3.2. Likwidacja wyrobiska kopalni siarki Machów	166
16.3.3. Likwidacja i rekultywacja wyrobiska po byłej kopalni siarki Piaseczno	168
16.3.4. Likwidacja otworowych kopalń siarki	169
16.4. Rekultywacja terenów zdegradowanych chemicznie na przykładzie Łomianek	172
16.5. Rekultywacja terenów zdegradowanych przez przemysł chemiczny na przykładzie Tarnowskich Gór	174
16.5.1. Koncepcja centralnego składowiska	174
16.5.2. Bariera geologiczna	174
16.5.3. Konstrukcja składowiska	174
16.6. Rekultywacja terenów zdegradowanych przez produkty ropopochodne na przykładzie obiektu wojskowego	176
16.7. Dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby rekultywacji stawu osadowego odpadów z przeróbki rud uranowych w Kowarach	177
16.8. Dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby rekultywacji wąwozów lessowych w rejonie Kazimierza Dolnego i Szczepieszyna	178
16.9. Dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich do sztucznego zasilania piaskiem brzegu morskiego.	179
17. Formalnoprawne podstawy dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby rekultywacji terenów zdegradowanych	182
17.1. Prawna ochrona gruntów na obszarach zdegradowanych	182
17.2. Prawna ochrona wód podziemnych na obszarach zdegradowanych	183
17.3. Projekt robót geologicznych	184
17.4. Dokumentacja geologiczno-inżynierska	185
17.5. Dostęp do danych archiwalnych	186
17.6. Stosowanie norm	187
Literatura	188
Akty prawne	193
Dyrektywy	193
Ustawy	193
Uchwały	193
Rozporządzenia	194
Normy	194

1. WPROWADZENIE

Rozpoznanie warunków geologiczno-inżynierskich jest jednym z najistotniejszych elementów projektów rekultywacji terenów zdegradowanych. Tworząc nowe technologie i procesy przemysłowe, projektując działalność budowlaną i gospodarczą oraz inżynierską, musimy poszukiwać możliwie najlepszych rozwiązań, które ochronią środowisko naturalne. Całkowita eliminacja zagrożeń antropogenicznych jednak nie jest możliwa. Przykładem jest energetyka, gdzie chęć eliminacji wykorzystania węgla jako paliwa (bo emitujemy zbyt dużo CO₂, popiołów) kieruje nas w stronę rozwiązań ekologicznych, jak np. próby pozyskania prądu elektrycznego z energii słonecznej. Mimo szeregu ograniczeń musimy racjonalnie działać rozwijając potencjał gospodarczo-przemysłowy i minimalizować negatywne skutki tej działalności poprzez uświadamianie efektów oraz kosztów ludzkich, społecznych i gospodarczych degradacji środowiska.

W tym kontekście degradacja środowiska przez egzogeniczne siły natury jest pojęciem bardzo subiektywnym, gdyż najczęściej niepożądane zmiany przypisywane są głównie działaniom człowieka. Należy jednak pamiętać, że powierzchnia Ziemi podlega nieustannym zmianom (w geologicznej skali czasu). W skali życia człowieka są one praktycznie niezauważalne. Zmiany w krótkim okresie nie są rejestrowane i dla życia nawet kilku pokoleń istniejący stan określa się jako niezmienny. Istnieje jednak szereg wyjątków od tej reguły, gdyż naturalne siły zewnętrzne warunkowane klimatem, procesami geologicznymi, wzmocnione działalnością człowieka gwałtownie wzmagają skutki swojej działalności. Procesy takie jak osuwiska, powodzie czy trzęsienia ziemi również degradują – przeobrażają trwale – środowisko naturalne.

1.1. PRZEDMIOT I CEL OPRACOWANIA

Celem pracy jest przedstawienie:

- zasad prowadzenia badań i wykonywania dokumentacji geologiczno-inżynierskich,
- metodyki badań geologiczno-inżynierskich,
- zakresu badań geologiczno-inżynierskich w zależności od rodzaju degradacji i typu planowanej rekultywacji,
- klasyfikacji degradacji terenów,
- ogólnej charakterystyki rodzajów rekultywacji pod kątem wymogów środowiskowych,
- rodzajów, sposobu i zakresu monitoringu gruntów i wód gruntowych w zależności od rodzaju degradacji terenu.

Opracowanie ma charakter poradnika metodycznego w zakresie zagadnień związanych z badaniami geologiczno-inżynierskimi. Może być wykorzystane przez przedsiębiorstwa geologiczne, firmy budowlane, urzędy gminne oraz inne zainteresowane jednostki i instytucje administracji publicznej jako materiał metodyczny do oceny warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby rekultywacji terenów zdegradowanych.

Przedmiotem opracowania są zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby rekultywacji terenów zdegradowanych. Zasady zostały opracowane na podstawie danych zaczerpniętych z wielu źródeł, w tym z archiwalnych dokumentacji geologiczno-inżynierskich, geotechnicznych i hydrogeologicznych, oraz doświadczeń uzyskanych w trakcie realizacji prac na terenach zdegradowanych. Podano również aktualne akty prawne i normalizacyjne oraz uzupełniono dodatkowo o zalecenia do wykonywania badań i dokumentowania geologiczno-inżynierskiego dla rekultywacji terenów zdegradowanych.

1.2. TERMINOLOGIA

Degradacja powierzchni ziemi – niekorzystna zmiana utworu geologicznego, rzeźby terenu, gleby, warunków wodnych, szaty roślinnej pod wpływem działalności przemysłowej i agrotechnicznej lub innej (Siuta, 1998).

Dokumentacja geologiczno-inżynierska – jest to dokument wymagany przepisami ustawy (Dz.U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981), wykonywany dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich w związku z: projektowaniem posadowienia obiektów budowlanych, w tym obiektów budownictwa drogowego, dla potrzeb ustalenia warunków geologiczno-inżynierskich ich posadowienia oraz prognozy zmian w środowisku na skutek ich realizacji i eksploatacji. Dokumentacja geologiczno-inżynierska powinna spełniać wymagania określone w rozporządzeniu (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714). Dokumentację geologiczno-inżynierską wykonuje się w przypadku obiektów budowlanych trzeciej kategorii geotechnicznej oraz w złożonych warunkach gruntowych drugiej kategorii (Dz.U. z 2012 r. Nr 81 poz. 463).

Działania naprawcze – rozumie się przez to wszelkie działania, w tym działania ograniczające lub tymczasowe, podejmowane w celu naprawy lub zastąpienia w zrównoważony sposób elementów przyrodniczych lub ich funkcji, które uległy szkodzie, w szczególności oczyszczanie gleby i wody, przywracanie naturalnego ukształtowania terenu, zalesianie, zadrzewianie lub tworzenie skupień roślinności,

reintrodukcję zniszczonych gatunków, prowadzące do usunięcia zagrożenia dla zdrowia ludzi oraz przywrócenia równowagi przyrodniczej i walorów krajobrazowych na danym terenie (wg Ustawy z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie – Dz.U. Nr 75 poz. 493 z późn. zm.).

Działania zapobiegawcze – rozumie się przez to działania podejmowane w związku ze zdarzeniem, działaniem lub zaniechaniem powodującym bezpośrednie zagrożenie szkodą w środowisku, w celu zapobieżenia szkodzie lub zmniejszenia szkody, w szczególności wyeliminowanie lub ograniczenie emisji (wg Ustawy z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie – Dz.U. Nr 75 poz. 493 z późn. zm.).

Grunty zdegradowane – rozumie się przez to grunty, których rolnicza lub leśna wartość użytkowa zmalała, w szczególności w wyniku pogorszenia się warunków przyrodniczych albo wskutek zmian środowiska oraz działalności przemysłowej, także wadliwej działalności rolniczej (wg Ustawy z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych – Dz.U. z 1995 r. Nr 16 poz. 78 z późn. zm.).

Grunty zdewastowane – rozumie się przez to grunty, które utraciły całkowicie wartość użytkową (wg Ustawy z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych – Dz.U. z 1995 r. Nr 16 poz. 78 z późn. zm.).

Klif – urwisko brzegowe, stroma, nieraz pionowa ściana brzegu morskiego lub jeziornego, utworzona w wyniku abrazji u jej podstawy, na styku z platformą abrazyjną (Jaroszewski i in., 1985).

Metody *ex situ* – metody polegające na przemieszczeniu zanieczyszczonych gruntów/przepompowaniu zanieczyszczonej wody w miejsce przeznaczone do ich oczyszczenia poza miejscem wystąpienia zanieczyszczenia.

Metody *in situ* – metody stosowane bezpośrednio w miejscu wystąpienia zanieczyszczenia lub skażenia.

Nadbrzeże – część strefy brzegowej przylegająca bezpośrednio do brzegu morskiego od strony lądu; zazwyczaj stanowi obszar występowania wydm, zalewany jedynie podczas wyjątkowo silnych sztormów (Jaroszewski i in., 1985).

Osuwisko – forma geomorfologiczna, która powstała na skutek grawitacyjnego przemieszczenia się mas gruntowych lub skalnych na stoku i/lub u jego podnóża.

Podtopienie – wystąpienie wód gruntowych w strefie od 0 do 50 cm pod powierzchnią terenu (podmokłość) lub ponad powierzchnią terenu (zalewisko), spowodowane niekorzystnymi warunkami geologicznymi i hydrogeologicznymi oraz czynnikami antropogenicznymi. Dyrektywa powodziowa nie definiuje terminu „podtopienie”, zaznacza występowanie powodzi wywołanej przez wody gruntowe.

Powódź – 1) czasowe pokrycie wodą terenu, który normalnie nie jest pokryty wodą. Definicja ta obejmuje powodzie wywołane przez rzeki, potoki górskie, okresowe ciekły wodne oraz powodzie sztormowe na obszarach wybrzeża, natomiast może nie uwzględniać powodzi wywołanych przez wadliwe systemy kanalizacyjne lub ich awarie (Dyrektywa powodziowa, 2007).

2) czasowe pokrycie przez wodę terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą, powstałe na skutek wezbrania wody w ciekach, naturalnych zbiornikach wodnych, kanałach oraz od strony morza, powodujące zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej (wg ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne – Dz.U. z 2012 r. Nr 0 poz. 145).

Projekt robót geologicznych – jest to dokument wymagany przepisami ustawy (Dz.U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981), stanowiący podstawę wykonywania prac geologicznych z zastosowaniem robót geologicznych, który w szczególności określa cel zamierzonych prac, sposób jego osiągnięcia, rodzaj dokumentacji geologicznej mającej powstać w wyniku robót geologicznych, harmonogram robót geologicznych, przestrzeń, w obrębie której będą wykonane roboty geologiczne, a także przedsięwzięcia niezbędne ze względu na ochronę środowiska, sposób likwidacji wyrobisk, otworów wiertniczych, rekultywacji gruntów, a także czynności mające na celu zapobieżenie szkodom powstałym wskutek wykonywania zamierzonych robót. Na podstawie wyników prac i robót geologicznych opracowuje się dokumentację geologiczno-inżynierską.

Przybrzeże – strefa płytkiego morza przylegająca bezpośrednio do plaży, której fale oscylacyjne łamią się w postaci fal translacyjnych i przemieszczają się w stronę plaży (Jaroszewski i in., 1985).

Rekultywacja – przywrócenie wartości użytkowych środowiska przyrodniczego, zdegradowanego przez gospodarczą i bytową działalność człowieka oraz klęski żywiołowe, np. ruchy masowe ziemi, powódzie, erozję wodną i wietrzną, pożary itp. (Siuta, 1998).

Rekultywacja gruntów – rozumie się przez to nadanie lub przywrócenie gruntom zdegradowanym albo zdewastowanym wartości użytkowych lub przyrodniczych przez właściwe ukształtowanie rzeźby terenu, poprawienie właściwości fizycznych i chemicznych, uregulowanie stosunków wodnych, odtworzenie gleb, umocnienie skarp oraz odbudowanie lub zbudowanie niezbędnych dróg (wg Ustawy z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych – Dz.U. z 1995 r. Nr 16 poz. 78 z późn. zm.).

Remediacja – 1) naprawianie, ulepszenie, oczyszczenie gleby (gruntu) lub środowiska (Siuta, 1998);

2) jest najbardziej uszczegółowionym pojęciem, oznacza dobraną do konkretnej sytuacji technikę oczyszczania gruntów z obecnych w nich zanieczyszczeń (Gordoń i in., 2009). Remediacja jest jednocześnie podstawą działalności rewitalizacyjnej, gdyż nowa funkcja użytkowa może być nadana tylko terenowi uwolnionemu od obciążeń środowiskowych;

3) usunięcie lub zredukowanie szkodliwych zmian w fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwościach gleby oraz wód powierzchniowych i podziemnych, przywrócenie zdolności produkcyjnej glebom, odtworzenie warstwy glebowej, wprowadzenie upraw polowych, zadrzewienie lub zalesienie.

Rewitalizacja – nadanie terenom zdegradowanym nowych funkcji: gospodarczych, społecznych, środowisko-

wych oraz kulturowych. Termin ten, obok technik remediacyjnych i sposobów przywracania wartości użytkowych terenom i obiektom, obejmuje również procesy ich zagospodarowania, w tym działania organizacyjne, planistyczne i programy towarzyszące (Gordoń i in., 2009), a także narzędzia prawne, finansowe i społeczne. Pojęcie nie jest zdefiniowane prawnie. Cechą charakterystyczną procesu rewitalizacji jest wieloaspektowość działania, gdyż dotyczy on takich obszarów, jak: planowanie przestrzenne, budownictwo, ochrona środowiska, ekonomia, polityka społeczna (Dulewski, 2009).

Ryzyko powodziowe – 1) kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i związanych z powodzią potencjalnych negatywnych konsekwencji dla zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej (Dyrektywa powodziowa, 2007);

2) kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i potencjalnych negatywnych skutków powodzi dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej (wg ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne – Dz.U. z 2012 r. Nr 0 poz. 145).

Sanacja – usunięcie lub zredukowanie szkodliwych substancji (działania dekontaminacyjne) lub długotrwałe cof-

nięcie lub zredukowanie rozprzestrzeniania się szkodliwych substancji, bez ich usunięcia (działania zabezpieczające).

Zagospodarowanie gruntów – rozumie się przez to rolnicze, leśne lub inne użytkowanie gruntów zrehabilitowanych (wg Ustawy z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych – Dz.U. z 1995 r. Nr 16 poz. 78 z późn. zm.).

Zanieczyszczenie – 1) emisja, która może być szkodliwa dla zdrowia ludzi lub stanu środowiska, może powodować szkodę w dobrach materialnych, może pogarszać walory estetyczne środowiska lub może kolidować z innymi, uzasadnionymi sposobami korzystania ze środowiska (wg ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska – Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150 z późn. zm.);

2) bezpośrednie lub pośrednie wprowadzenie – w wyniku działalności człowieka – substancji, wibracji, ciepła lub hałasu do powietrza, wody lub ziemi, które może zagrażać zdrowiu ludzi lub jakości środowiska, spowodować szkody materialne albo obniżenie walorów środowiskowych lub koliduje z innymi uzasadnionymi sposobami korzystania ze środowiska (wg Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych).

2. CHARAKTERYSTYKA TERENÓW ZDEGRADOWANYCH

Degradację terenów można oceniać i charakteryzować z perspektywy przyczyn, tj. oddziaływania procesów powodujących degradację, oraz z punktu widzenia skutków przekształceń terenu w wyniku degradacji.

2.1. PRZYCZYNY I PROCESY DEGRADACJI TERENU

W najbardziej ogólnym ujęciu przyczyny degradacji terenu dzieli się na naturalne i antropogeniczne. Jako czynniki naturalne przyjmuje się: powódzie, ruchy masowe, erozję, kras, huragany, a nawet pożary. Czynniki antropogeniczne zaś to przede wszystkim: przemysł, górnictwo, rolnictwo, gospodarowanie odpadami, w szczególności składowanie, budownictwo, transport oraz turystyka.

Katalog czynników i zjawisk powodujących degradację terenu ma charakter otwarty.

Należy zwrócić uwagę, że np. pożar może być zarówno naturalną, jak i antropogeniczną przyczyną degradacji terenu oraz że także działalność człowieka może wywoływać lub intensyfikować procesy naturalne powodujące degradację.

W ujęciu czasu występowania degradacji wyróżnia się jej charakter ciągły, pulsacyjny lub incydentalny. Czynniki ciągłe i pulsacyjne wynikają głównie ze sposobu użytkowania i zagospodarowania terenu, np. obecności na danym terenie infrastruktury przemysłowej, rolniczego użytkowania gruntów, lokalizacji składowiska odpadów. Czynniki incydentalne powodujące degradację związane są głównie z awariami lub wypadkami oraz katastrofami naturalnymi.

Przyczyny powodujące degradację można opisywać także jako aktywne lub nieaktywne. Przyczyna aktywna to taka, która ciągle powoduje oddziaływanie, natomiast przyczyna nieaktywna to taka, która została już usunięta lub zakończona.

Degradacja danego terenu może być powodowana przez jeden lub wiele czynników o różnym statusie (aktywny, nieaktywny) i różnym czasie oddziaływania (ciągły, pulsacyjny, incydentalny).

Różnego rodzaju oddziaływania powodujące degradację terenu, generalnie, mają charakter procesów chemicznych i mechanicznych. Wzajemne przenikanie tych procesów może powodować różnorakie przekształcenia terenu.

2.2. PRZEKSZTAŁCENIA TERENÓW

Ze względu na procesy rekultywacji lub rewitalizacji największe znaczenie ma charakterystyka degradacji terenów z perspektywy powstałych na nich przekształceń. W takim

ujęciu degradacja terenu może dotyczyć zarówno pogorszenia jakości elementów środowiska (grunty, gleby, wody, organizmy żywe), jak też przekształcenia powierzchni (zmiany w krajobrazie). Taka sytuacja często skutkuje pozbawieniem lub ograniczeniem dotychczasowych lub projektowanych funkcji danego terenu.

W bardziej szczegółowym ujęciu wyróżnia się przekształcenia: biologiczne, chemiczne, hydrochemiczne, termiczne, hydrologiczne, fizykomechaniczne oraz geomechaniczne.

W ocenie skali degradacji zastosowanie mają także takie kryteria, jak: powierzchnia terenu zdegradowanego, głębokość lub miąższość warstwy zdegradowanej, czas występowania oraz stopień uciążliwości degradacji.

Ze względu na zasięg degradację można opisywać jako punktową (obejmuje teren liczony w metrach kwadratowych), obszarową (dotyczy powierzchni mierzonej w hektarach), liniową (związaną z liniową infrastrukturą terenową) lub kubaturową.

Istotne dla trwałości degradacji terenu jest także kryterium czasowe, które może być uzupełnione informacjami np. o stopniu pokrycia roślinnością oraz o występowaniu dalszych, pośrednich konsekwencji wynikających z przekształceń spowodowanych przez bezpośredni czynnik degradujący.

Na podstawie ilościowej i jakościowej charakterystyki terenu zdegradowanego można prognozować spodziewany stopień złożoności procesu rekultywacji.

2.3. KLASYFIKACJA DEGRADACJI TERENÓW

W literaturze można znaleźć wiele propozycji klasyfikacji terenów zdegradowanych, uwzględniających różne aspekty zagadnienia. Zdaniem autorów, do celów dokumentowania geologiczno-inżynierskiego należy stosować klasyfikację degradacji terenu, w której za podstawę podziału przyjęto przyczyny.

Klasyfikacja degradacji terenu ze względu na przyczyny:

- degradacja antropogeniczna (degradacja terenu w wyniku działalności człowieka):
 - przez budownictwo,
 - przez przemysł (np. górnictwo, energetyczny, chemiczny itd.),
 - przez infrastrukturę (np. drogi i autostrady, koleje, instalacje do przesyłu ropy naftowej, produk-

- tów naftowych oraz substancji chemicznych, wały przeciwpowodziowe),
- przez rolnictwo,
 - przez składowanie odpadów;
 - degradacja naturalna (degradacja terenu spowodowana działaniem czynników naturalnych):
 - przez ruchy masowe (osuwiska),
 - przez abrazję (klif),
 - przez erozję (np. erozja wodna, powierzchniowa, liniowa, rzeczna, wąwozowa, eoliczna, sufozja, soliflukcja),
 - przez kras (np. zapadliska krasowe),
 - przez powódź,
 - przez podtopienia,
 - przez trzęsienia ziemi i tsunami.

Na uwagę zasługuje również klasyfikacja degradacji terenu proponowana przez J. Siutę (za Cieśliński i in., 1994), podkreślająca aspekt odwracalności lub trwałości zmian środowiska:

- degradacja terenu względna – polega na przeobrażaniu dotychczasowego układu (stopniowo lub skokowo) w nowy układ, którego aktywność biologiczna nie jest mniejsza od poprzedniego. Tylko w okresie przejściowym może nastąpić spadek aktywności biologicznej środowiska;
- degradacja terenu bezwzględna – polega na trwałym obniżeniu lub zniszczeniu aktywności biologicznej środowiska, pogorszeniu produktywności i ekologicznych walorów szaty roślinnej, obniżeniu wartości technologicznej pól oraz pogorszeniu higienicznego stanu środowiska.

Klasyfikację degradacji terenów ze względu na przyczyny zaleca się uzupełnić o podanie geometrii degradacji (klasyfikacja w zależności od geometrii) oraz procesów powodujących degradację (klasyfikacja ze względu na procesy):

Klasyfikacja degradacji w zależności od geometrii degradacji:

- punktowa,
- liniowa,
- wielkopowierzchniowa,
- przestrzenna.

Klasyfikacja degradacji terenu ze względu na procesy:

- geomechaniczna – degradacja w wyniku przekształceń geomechanicznych, np. osiadania związane z górnictwem i budownictwem, lejami depresji, odwodnieniem, makroniwelacje,
- hydrologiczna – degradacja w wyniku przekształceń hydrologicznych i hydrogeologicznych, np. leje depresji, odwodnienia, regulacja rzek,
- fizykochemiczna – degradacja w wyniku przekształceń fizykochemicznych, np. zanieczyszczenie gruntów i wód substancjami ropopochodnymi i metalami ciężkimi,
- termiczna – degradacja w wyniku przekształceń termicznych, np. hałdy skał płonnych,
- biologiczna – degradacja w wyniku przekształceń biologicznych.

2.4. RODZAJE TERENÓW ZDEGRADOWANYCH ORAZ PRZYCZYNY ICH DEGRADACJI

Problem terenów i gruntów zdegradowanych dotyczy najczęściej obszarów uprzemysłowionych i silnie zurbanizowanych. Dziesiątki lat obserwacji i badań dowiodły, że pogląd ten jest uzasadniony, gdyż niekontrolowany rozwój gospodarczy zawsze wywołuje negatywne skutki związane z wykorzystaniem zasobów przyrodniczych. Działalność człowieka jest jednym z elementów ekosystemu, najbardziej degradujących własne otoczenie. Człowiek niszczy środowisko przyrodnicze do tego stopnia, że zaczyna ono zagrażać jemu samemu. Od lat 80. XX w. organizacje ekologiczne próbują odwrócić tę tendencję i zachować status quo w środowisku. Odpowiedzią inżynierską na wyzwania są próby stworzenia globalnych zasad rozwoju zrównoważonego. Rezultat działań obu grup nie jest synergiczny i otrzymujemy niespójny obraz zagrożeń, a także skutków globalnych zmian wywołanych działalnością antropogeniczną, prezentowanych przez te grupy. Niektóre rodzaje działań człowieka powodują degradację o znacznym, często regionalnym zasięgu, jak np. kopalnie odkrywkowe. Według autorów, rozwiązaniem nie jest ograniczanie rozwoju, ale minimalizacja oddziaływań. Efektem ścierania się poglądów będzie przewartościowanie zasad wykorzystania zasobów naturalnych i wprowadzania zmian w ekosystemach.

Polska jest krajem, w którym mieszka ponad 120 osób na 1 km² (na Śląsku ponad 300 osób). W skali świata jest krajem względnie rozwiniętym, lecz zapóźnionym w stosunku do przodujących państw europejskich. Polska ma swoją specyfikę związaną z powierzchnią obszaru kraju (ok. 1/500 powierzchni kontynentów Ziemi) oraz poziomem przemysłu i rolnictwa. Zasadnicze zagrożenia środowiska z perspektywy Polski są związane nie z naszymi lokalnymi problemami środowiskowymi, z którymi możemy sobie sami poradzić, ale z zagrożeniami globalnymi i możliwością globalnej katastrofy (Wysokiński, 2004).

Po 1989 r. przemiany społeczne i ekonomiczne w Polsce spowodowały znaczną zmianę i ograniczenie produkcji przemysłowej, likwidację zakładów nienowoczesnych, niespełniających wymagań ochrony środowiska. Przez ponad 20 lat zaobserwowaliśmy wyraźne trendy zmian w środowisku: mniej kwaśnych deszczy, mniej odpadów przemysłowych, ale wzrost odpadów komunalnych. Badania wykazują zdecydowaną poprawę czystości rzek i wód powierzchniowych.

Na figurze 2.1 zaprezentowano główne zagrożenia hydrologiczne związane z brakiem właściwej gospodarki wodnej w zakresie retencji, ochrony przed powodzią oraz słabym wykorzystaniem zasobów wodnych Polski, przedstawione w koncepcji przestrzennego zagospodarowania kraju 2030 (Uchwała..., 2011).

Przedsięwzięcia zmierzające do obniżenia emisji zanieczyszczeń, mające charakter długofalowy, pociągają za sobą koszty. Obecnie około 30% nakładów na realizację nowego obiektu przemysłowego trzeba przeznaczyć na urządzenia związane z ochroną środowiska. Pełna likwidacja skażenia

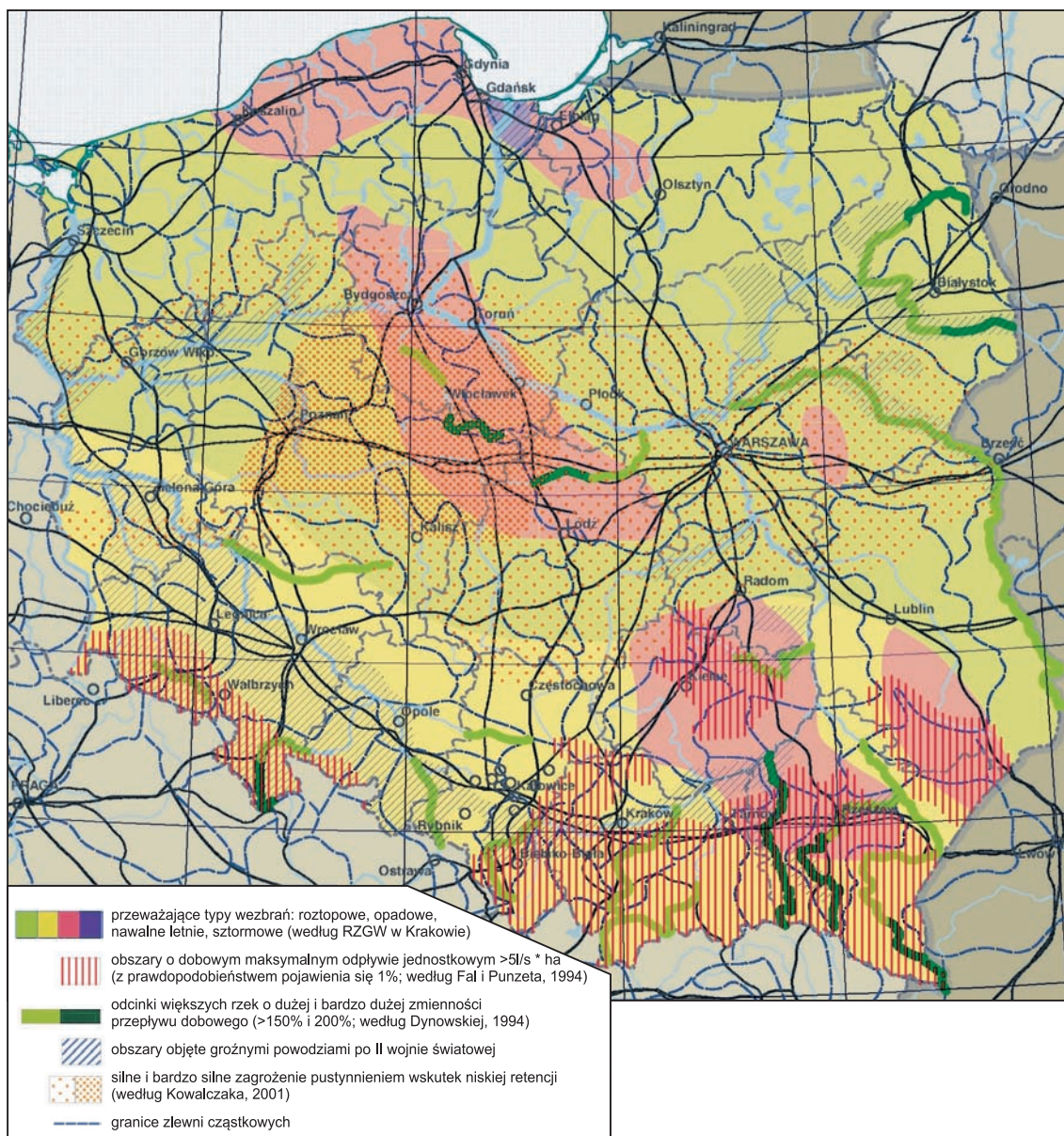


Fig. 2.1. Obszary głównych zagrożeń hydrologicznych (Uchwała..., 2011)

w małej skali, np. awarii cysterny z paliwem, trwa niekiedy kilka lat.

Problemy Polski, mimo dużej skali (np. Śląsk), są niewspółmiernie mniejsze od takich jak np. awaria elektrowni atomowej w Czarnobylu czy chemizacja gleb w Europie Zachodniej.

Grunty zdegradowane i zdewastowane w 2010 r. szacowano na 61,2 tys. ha, w 2000 r. było to 71,5 tys. ha.

Badania wskazują, że około 97% powierzchni użytków rolnych kraju jest wolne od podwyższonej ilości metali ciężkich, co pozwala na produkcję wysokiej jakości płodów rolnych, gdyż Polska ma do tego wyjątkowo korzystne warunki. Powoduje to mała urbanizacja i czyste gleby. Nigdzie w Europie nie ma takich nietkniętych zanieczyszczeniem regionów jak Mazury, Bieszczady, rejon Białowieży, bagna nad Biebrzą, a Wisła jest ostatnią nieuregulowaną tak dużą rzeką w Europie.

Geologia inżynierska umożliwia prowadzenie analiz wzajemnych relacji między działaniami człowieka a odpowiedzialnością środowiska. Pozwala to na częściową optymalizację niektórych działań i minimalizację skutków. W przypadku większości procesów naturalnych, takich jak erozja, ruchy masowe, trzęsienie ziemi itp., można zlikwidować ich skutki, ale praktycznie nie można wpłynąć na ich powstawanie. Zawsze w takich przypadkach dochodzi do przekształcenia środowiska.

Do głównych czynników powodujących przeobrażenia powierzchniowe utworów geologicznych i rzeźby terenu należą:

- eksploatacja zasobów geologicznych,
- składowanie odpadów,
- budownictwo przemysłowe, mieszkaniowe, drogowe, kolejowe,

- budownictwo wodne, regulacja rzek i melioracje wodne,
- powierzchniowa erozja wodna, wąwozowa, rzeczna i morska, wietrzna,
- masowe ruchy ziemi, osuwiska, spływy, osypy,
- powódzie.

W Polsce duży udział w niszczeniu powierzchni terenu, pokrywy glebowej i szaty roślinnej ma górnictwo podziemne i odkrywkowe – nie tylko na eksploatowanym terenie.

W mniejszym stopniu niż górnictwo, budowę geologiczną zmienia składowanie odpadów, przeważnie o odmiennych fizycznych właściwościach niż grunt rodzimy. Tym samym drastycznie zmienia budowę oraz fizyczne, chemiczne i biologiczne właściwości powierzchni. Zwały zróżnicowanych odpadów oddziałują zawsze niekorzystnie na przyległe grunty i na wody podziemne.

W aglomeracjach miejskich i rejonach przemysłowych mechaniczne i chemiczne przeobrażenie powierzchniowych utworów geologicznych jest bardzo duże. Budownictwo mieszkaniowe, przemysłowe, drogowe, hydrotechniczne oraz wszelkiego rodzaju sieci podziemne w ogromnym stopniu zmieniają właściwości strefy powierzchniowej. Do najbardziej przekształconych obszarów należy zaliczyć powierzchnie technicznie zabudowane – trwale pozbawione aktywności biologicznej. Tereny silnie zdegradowane, pokryte nasypami, zwałami odpadów nie mogą samoistnie odzyskać pierwotnych walorów przyrodniczych, tu należy wykonać rekultywację.

2.4.1. Degradacja naturalna

Odbierany przez ludzi stan środowiska naturalnego jako *status quo*, takim w rzeczywistości nie jest. To, co wydaje się niezmiennie i trwałe, ulega gwałtownym zmianom. Dla człowieka korzystającego z terenu, który podlega procesom geodynamicznym, jest to degradacja środowiska. Z tego punktu widzenia siły egzogeniczne, dążąc do osiągnięcia stanu równowagi na powierzchni Ziemi, uruchamiają zjawiska i procesy geologiczne powodujące degradację środowiska. Należą do nich: osuwiska, powódzie, zmiany poziomu wód gruntowych, zjawiska krasowe.

Problem naturalnych zagrożeń geologicznych został dostrzeżony przez Ministerstwo Środowiska i w latach 2003–2004 został zrealizowany program rejestracji i inwentaryzacji naturalnych zagrożeń geologicznych ze szczególnym uwzględnieniem osuwisk i innych zjawisk geodynamicznych na terenie całego kraju. Założeniem projektu było umożliwienie prognozowania zagrożeń związanych z powierzchniowymi ruchami masowymi oraz przeciwdziałanie ich skutkom. Efektem jest stworzenie podstaw decyzyjnych dla planowania przestrzennego na poziomie powiatów i województw oraz oceny istniejących i potencjalnych zagrożeń, zgodnie z kompetencjami poszczególnych władz. Powstała baza danych zawiera informacje dotyczące:

- rejonów występowania nasilonych procesów osuwiskowych,
- obszarów zagrożonych osuwiskami w dolinach rzecznych,

- powierzchniowych ruchów masowych poza dolinami rzecznyymi oraz terenami górskimi,
- obszarów występowania czynnego krasu,
- zagrożonych odcinków brzegu morskiego.

Podobne programy są realizowane w innych krajach, np. The National Landslide Hazards Mitigation Strategy – program prowadzony w USA przez US Geological Survey (USGS).

W latach 90. XX w. w Instytucie Techniki Budowlanej dokonano analizy i oceny wybranych terenów zdegradowanych w Polsce. W ramach tego programu sporządzono mapy terenów o zdegradowanych parametrach dla 261 miast w skali 1:10 000. Informacje przedstawione na mapach uzupełniono danymi tabelarycznymi. W opracowaniu tym do terenów zdegradowanych zaliczono tereny, gdzie występują:

- nasypy niebudowlane o miąższości większej niż 1,5 m,
- młode osady zastoiskowe,
- grunty organiczne, rejonu podmokłe oraz rejonu występowania wód gruntowych na głębokości mniejszej niż 1 m,
- rejonu skarp o wysokości większej niż 4,5 m,
- tereny o spadkach większych niż 15% (w rejonach górskich >30%),
- składowiska odpadów komunalnych i przemysłowych,
- tereny górnicze,
- tereny poprzemysłowe,
- wyrobiska poeksploatacyjne (piaskownie, żwirownie, gliniarki).

2.4.1.1. Osuwiska

Odczucie zagrożenia i degradacji terenu związanego z osuwiskami jest zróżnicowane i zależy od ich powtarzalności i zasięgu. Problem ten dotyczy zarówno pojedynczych ludzi, jak i instytucji oraz organizacji. Niektóre rejonu osuwiskowe charakteryzują się długimi okresami stabilizacji, kiedy obserwacje nie wykazują zmian. Dlatego też pamięć ludzka je eliminuje i w sposób irracjonalny koduje jako zjawisko, które było, „ale u nas się nie zdarzy”. To często prowadzi do lekceważenia sił natury, gdyż uważa się, że rozwój techniczny i myśl ludzka są w stanie je pokonać albo przynajmniej zneutralizować.

Do obiektywnych trudności należy zaliczyć brak jednoznacznej skali zagrożeń i trudność w prognozowaniu.

Zniszczenia spowodowane przez zjawiska naturalne można podzielić na trzy kategorie:

- materialne – degradacja terenu, zniszczenie infrastruktury technicznej, zniszczenie upraw,
- funkcjonalne – zostają zakłócone naturalne więzi komunikacyjne z innymi regionami, niekiedy straty występujące w innych regionach na skutek zerwania więzi kooperacyjnych przekraczają straty w miejscu powstania zjawiska,
- społeczne – zakłócają poczucie bezpieczeństwa społeczności lokalnej, niweczą aktywność, niekiedy po-

wodują trwałą niechęć do dalszego działania i aktywności.

Pod względem aktywności osuwiskowej Polskę można podzielić na dwa obszary – rejon Karpat, gdzie występuje około 90% tych zjawisk, i resztę obszaru kraju. Szczególnie zagrożone osuwiskami jest południe Polski, poniżej linii Kraków–Przemysł (fig. 2.2). Występują tu osuwiska, których liczbę szacuje się na ponad 20 tysięcy. Mamy tam do czynienia z obszarami, które w całości nie nadają się do wykorzystania np. jako tereny budowlane. Minimalizacji ryzyka ma służyć System Osłony Przeciwośuwiskowej (SOPO), którego celem jest rozpoznanie, udokumentowanie i zaznaczenie na mapach w skali 1:10 000 wszystkich osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi w Polsce (Grabowski i in., 2008). SOPO jest rozwinięciem wcześniejszej bazy danych wykonanej przez AGH. Podstawowa rejestracja osuwisk zakończy się w 2015 r. Projekt SOPO ma za zadanie wspomaganie władz lokalnych w wypełnianiu

obowiązków dotyczących problematyki ruchów masowych, wynikających z odpowiednich ustaw i rozporządzeń.

Powstała baza danych o osuwiskach ma pomóc w zarządzaniu ryzykiem osuwiskowym, czyli w ograniczeniu szkód i zniszczeń wywołanych rozwojem osuwisk poprzez zaniechanie budownictwa drogowego i mieszkaniowego w obrębie aktywnych i okresowo aktywnych osuwisk.

Powstawanie osuwisk w Karpatach fliszowych wywołane jest czynnikami biernymi i czynnymi (Zabuski i in., 1999). Do zjawisk czynnych zalicza się: zjawiska naturalne (opady i położenie zwierciadła wody), zjawiska antropogeniczne (podcinanie stoków przy budowie obiektów inżynierskich i budynków, zmiany w szacie roślinnej, głównie wycinanie drzew, ruch kołowy na drogach), sposób zagospodarowania zboczy (uprawy rolne, zalesienie). Do zjawisk biernych zalicza się: budowę geologiczną podłoża, która jest czynnikiem obiektywnym i niezmiennym nawet w długoterminowej perspektywie czasu (rodzaj skał, kierunek nachylenia – upad,

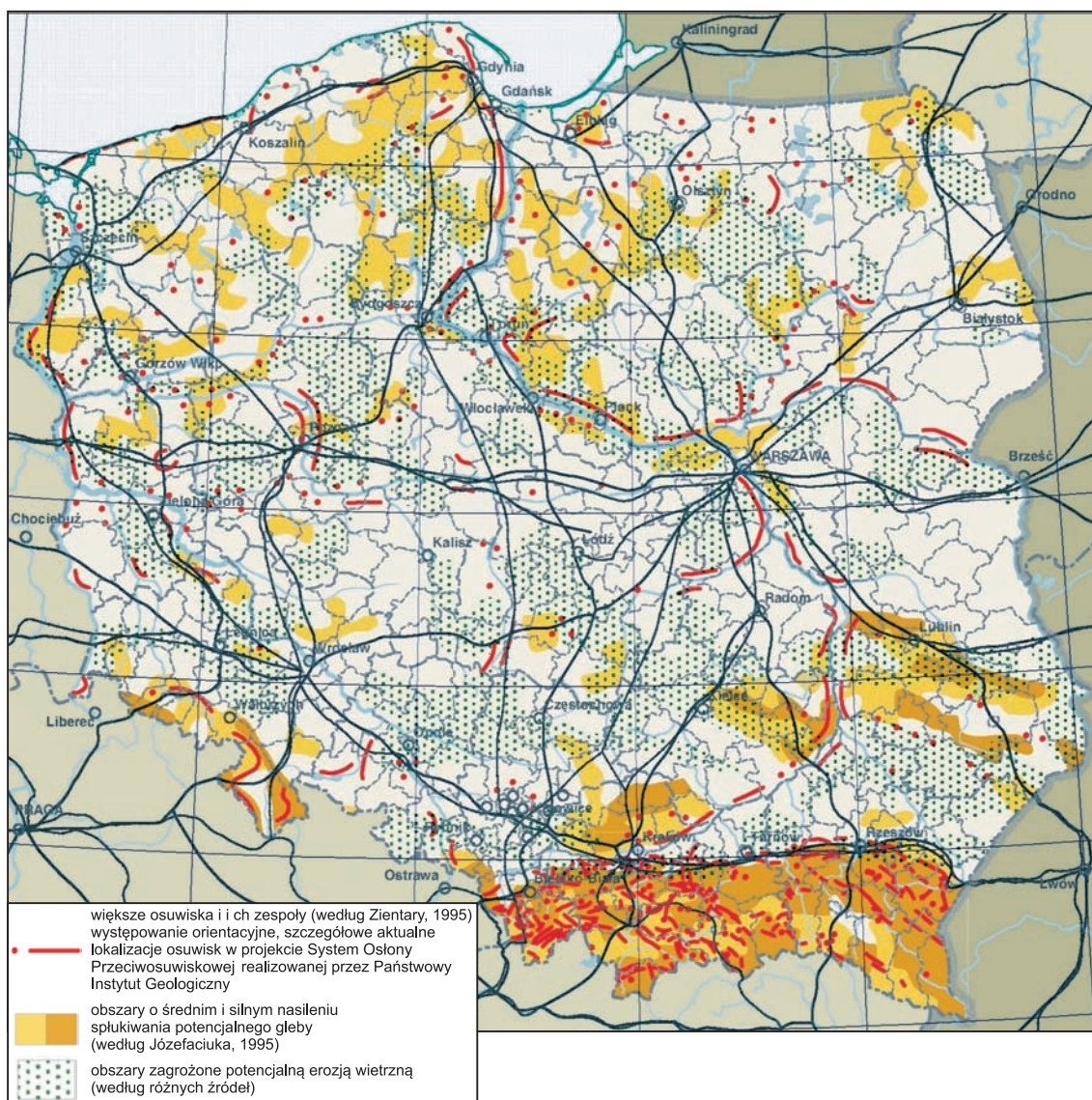


Fig. 2.2. Występowanie głównych zespołów osuwiskowych na terenie Polski (Uchwała..., 2011)

położenie zwierciadła wody), a także morfologię terenu (kąąt nachylenia zbocza, długość stoków, ekspozycja w stosunku do stron świata).

Nie jest racjonalne zaprojektowanie drogi w poprzek osuwiska, by potem co roku ją naprawiać. Takie przypadki powinny być eliminowane, szczególnie dla dużych osuwisk, bo łatwiej je ominąć, niż naprawiać. Niekiedy budowa drogi uruchamia osuwisko, a kolejne remonty tylko pogarszają sytuację.

Według danych archiwalnych w Karpatach fliszowych jedno osuwisko przypadało na 10 km linii kolejowej oraz 5 km drogi (Zabuski i in., 1999). Dane te są wartościami średnimi i pochodzą z lat siedemdziesiątych, jednakże przybliżają skalę zjawiska dla celów makroekonomicznych. Rejonami o szczególnej aktywności osuwiskowej są zbocza zbiorników wodnych. Największą aktywność obserwuje się w rejonie Jeziora Rożnowskiego (fig. 2.3). Przemieszczające się koluwia powodują wypełnienie zbiornika, przez co traci on na pojemności. W większości gmin brak jest rzetelnej informacji na temat zasięgu osuwisk i terenów nimi objętych, gdyż oznacza to konieczność ograniczenia terenów pod zabudowę, a w perspektywie przenoszenie wielu obiektów na nowe tereny. Problem jednak nie przestaje istnieć, a raczej się zaostrza, kiedy uruchomiony zostaje proces osuwiskowy. Należy podkreślić, że ocena osuwisk jako zagrożenia często jest bagatelizowana.



Fig. 2.3. Osuwisko koło Siennej nad Jezioro Rożnowskim

Poczucie zagrożenia jest tym mniejsze, im rzadziej występuje zjawisko, aż zaczyna utrwalac się przekonanie o pełnej stabilizacji. Tworzona baza danych osuwisk na terenie całego kraju pozwoli w przyszłości na uniknięcie wielu błędów. Zjawiska osuwiskowe będą w niej rejestrowane i aktualizowane, co pozwoli na śledzenie tendencji rozwojowych ruchów masowych. Nie będziemy polegać wyłącznie na wywiadach środowiskowych i obserwacjach bieżących, wymusi to konieczność analizy przez specjalistów budowy geologicznej nie tylko określonej działki, lecz terenu w szerszym zakresie. Taki przypadek przedstawiają Poprawa i in. (2000), omawiając regulację potoku Bielanka płynącego między dwoma osuwiskami, która wywołała efekty odwrotne od

zamierzonych. Wykonane progi regulujące bieg potoku uległy naruszeniu, a próba poprawy sytuacji poprzez usunięcie części koluwiów (osuwisko ma ok. 1 km długości) może doprowadzić do jeszcze gorszych efektów. Podobnie dzieje się, kiedy na obszarach osuwisk buduje się nowe obiekty (fig. 2.4). Wtedy ich istnienie jest uzależnione od kaprysów natury. Problem ten dotyczy szczególnie terenów podgórskich, gdzie osuwiska mogą być bardzo długie (na stokach o małym nachyleniu), a jeśli nie są aktywne, to ulegają zamaskowaniu przez roślinność i procesy erozyjne.



Fig. 2.4. Osuwisko Falkowa w Nowym Sączu

Osuwiska w dolinach rzecznych i na obszarach zurbanizowanych

Dużym problemem technicznym i ekonomicznym są powierzchniowe ruchy masowe na obszarach miejskich. Kiedy o lokalizacji ośrodka miejskiego decydowały głównie walory obronne, to najlepszym miejscem była wysoka skarpa nadrzeczna. Dzięki temu wiele miast w Polsce ma atrakcyjną lokalizację, ale również kłopoty z zachowaniem statecznej skarpy i obiektów na niej zlokalizowanych. Do takich miast należy Płock. Staromiejska zabudowa, usytuowana na bardzo wysokiej (ok. 40 m) i stromej (do 40°) skarpie, jest narażona na intensywne oddziaływanie Wisły (fig. 2.5). Podstawę skarpy stanowią piaski i żwiry znacznej miąższości. Seria ta występuje w poziomie wahań zwierciadła Wisły i w stropie jest sucha. Dzięki temu pełni rolę warstwy odwadniającej leżących wyżej glin lodowcowych. Wypłukiwany z gliny węgiel wapnia cementuje piaski i żwiry, tworząc z nich piaskowiec. Po wybudowaniu zapory we Włocławku wykonano również część prac zabezpieczających wzdłuż skarpy płockiej, ale są one niewystarczające wobec braku następnych stopni kaskady Wisły (Wysokiński, 1998). Z tego też powodu zagrożenie skarpy od strony Wisły nadal jest istotnym czynnikiem destabilizującym. Specjalnego traktowania wymaga również budowa urządzeń podziemnych (kanalizacja i wodociągi) w strefie wpływu skarpy. Stanowią one ważny czynnik w utrzymaniu stateczności. Niewłaściwe ich funkcjonowanie (przecieki) powoduje przyspieszoną erozję, a w dłuższej perspektywie inicjuje osuwisk. Na procesy antropogenicznego oddziaływania na skarpe nakładają się również zjawiska neotektonicz-

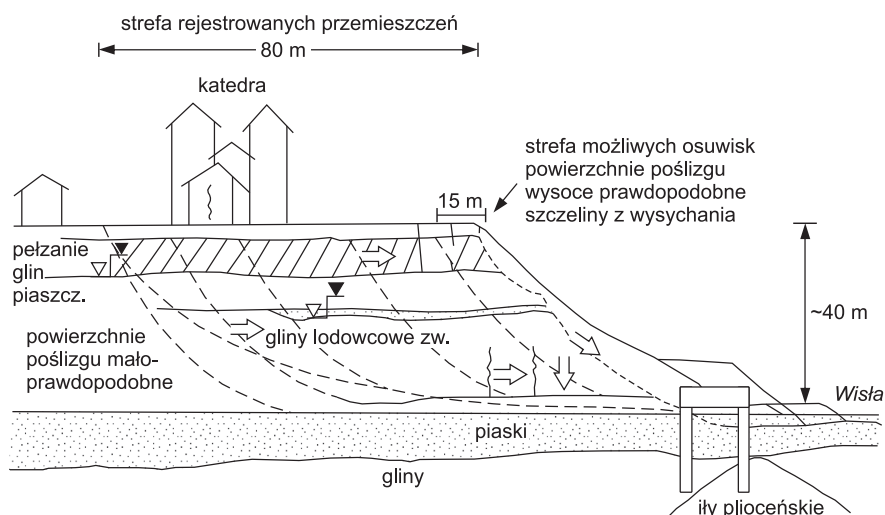


Fig. 2.5. Schemat budowy geologicznej skarpy płockiej (Wysokiński, 1998)

ne (Ostaficzuk, 1998). Płock jest zlokalizowany w miejscu, gdzie występują duże struktury tektoniczne sprzyjające koncentrowaniu się naprężeń wywołanych wielkopromiennymi deformacjami obszaru. W literaturze brak jednoznacznej oceny wpływu ruchów neotektonicznych na stateczność skarpy w Płocku.

W celu analizy powolnych odkształceń pionowych i poziomych w skarpie płockiej założono unikalną w skali światowej „wiekową” sieć pomiarową. Jej rozmiary to 2,5 km długości wzdłuż skarpy oraz 0,5 do 0,8 km szerokości w kierunku wysoczyzny. Pierwsza obserwacja została wykonana w 1982 r. Kolejne pomiary są wykonywane z przerwami z powodu problemów finansowych inwestorów, którzy się zmieniali. Kolejną sieć obserwacji „wiekowej” założono na skarpie warszawskiej, gdzie obserwacjami objęto trzy obszary najbardziej zagrożone: Stare Miasto, rejon ul. Myśliwieckiej oraz rejon kościoła św. Katarzyny. Dane pomiarowe są wprowadzone do bazy obsługiwanej przez oprogramowanie ArcGIS, które umożliwia analizę pomiarów, prognozę zagrożeń, a także ocenę oddziaływania skarpy na obiekty

istniejące lub projektowane. System zbierania i przetwarzania wraz z walidacją został specjalnie zaprojektowany przez Instytut Techniki Budowlanej.

Zjawiska osuwisk, szczególnie czynnych, są najczęściej trudne technicznie i kosztowne w zabezpieczeniu. Często stwarzają niebezpieczeństwo, gdy w ich zasięgu znajdują się obszary zabudowane i trasy komunikacyjne.

Klasyfikacja form osuwiskowych

W tabeli 2.1 przedstawiono najczęściej spotykane formy i podtypy ruchów mas ziemnych. Ponadto formy osuwiskowe można podzielić ze względu na geometrię: powierzchnię i objętość (tab. 2.2).

Elementy geometryczne osuwiska

Najczęściej wyróżnia się następujące elementy geometryczne osuwiska (fig. 2.6):

- kolumium (synonim: masa, ciało osuwiska, klin odłamu) – uruchomione w wyniku przemieszczenia osuwiskowego masy gruntów,

Tabela 2.1

Klasyfikacja form ruchów mas ziemnych (Bażyński i in., 1999)

Typ formy	Charakter procesu	Podtypy	
A ₁	zmywy	splukiwanie, wymywanie i osadzanie materiału w dolnej części zbocza	
A ₂	splywy, spelzywania	plynięcie gruntu w dół zbocza, grzeźnięcie bloków	
A ₃	osypy	osypywanie się, zsypywanie, toczenie w dół zbocza	
B	zsuwy (B ₁ , B ₂ , B ₃)	przemieszczanie gruntów i skał wzdłuż powierzchni ścięcia	zsuwy po powierzchni uwarunkowanej budową geologiczną: B ₁ – wzdłuż powierzchni warstwowania, B ₂ – wzdłuż spękań, szczelin, B ₃ – wzdłuż granicy zwietrzelina-skała
	osuwiska (B ₄ , B ₅)	przemieszczanie gruntów i skał wzdłuż powierzchni ścięcia	osuwiska po powierzchni rotacyjnej: B ₄ – ze ścięcia w materiale jednorodnym, B ₅ – ze ścięcia w materiale niejednorodnym
C	obrywy	obrywanie, odpadanie, zawalanie	

Tabela 2.2

Podział form osuwiskowych ze względu na powierzchnię i objętość

	Małe	Średnie	Duże	Bardzo duże	Ekstremalnie duże
Powierzchnia (wg Nowacki i in., 1999)	pon. 1000 m ²	1000–3000 m ²	ponad 3000 m ²		
Objętość (wg Smallwood i in., 1997)	pon. 50 m ³	50–500 m ³	500–5000 m ³	5000–50 000 m ³	ponad 50 000 m ³

- powierzchnia poślizgu, po której przemieszczają się masy koluwalne; w osuwisku może być kilka powierzchni poślizgu,
- nisza osuwiskowa – zazwyczaj półkolista forma naruszenia zbocza powstała po przemieszczeniu mas,
- jezior osuwiskowy – przemieszczona dolna część mas osuwiskowych, często jezior wychodzi poza dolną krawędź zbocza,
- taras osuwiskowy (synonim: stopień osuwiskowy) – pozioma lub nieco nachylona płaska powierzchnia, na różnych poziomach, równoległa do krawędzi zbocza, utworzona w wyniku przemieszczenia materiału na zboczu,
- szczelina osuwiskowa – rozwarta nieciągłość w materiale zbocza; szczeliny mogą występować powyżej niszy, co wskazuje na możliwość dalszego rozwoju osuwiska, szczeliny na powierzchni osuwiska wskazują na wewnętrzne ścięcia, często na mniejsze osuwiska rozwinięte w obszarze osuwiska głównego,
- obszar akumulacji – przyrost objętości mas w badanym profilu w stosunku do stanu przed powstaniem osuwiska,
- obszar oderwania – ubytek objętości mas w badanym profilu w stosunku do stanu przed powstaniem osuwiska,
- czoło osuwiska – dolny, najdalej wysunięty skraj jeziora osuwiskowego,
- jeziorko osuwiskowe (synonim: staw osuwiskowy) – zbiornik wody występujący w obrębie osuwiska,
- oś osuwiska – linia poprowadzona na planie osuwiska, wskazująca drogę mas ziemnych i najpełniejsze rozwinięcie osuwiska w każdym przekroju,
- szerokość, długość i głębokość formy osuwiskowej.

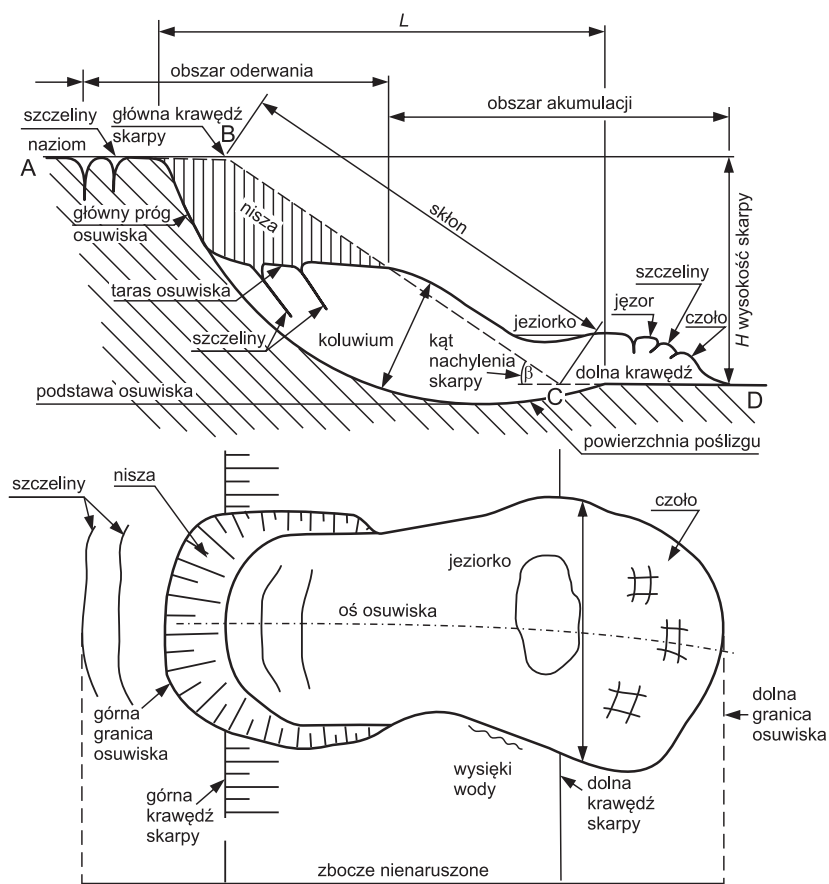


Fig. 2.6. Elementy geometryczne osuwiska (Wysokiński, 2011)

2.4.1.2. Klif

Klif to urwisko brzegowe, czyli strome, niekiedy pionowe zbocze na brzegu morskim lub jeziornym, utworzone w wyniku erozyjnego działania fal. Procesy zachodzące na brzegach klifowych należy rozpatrywać jako procesy zachodzące nie tylko na brzegu, ale też na nadbrzeżu i w przybrzeżu. Brzegi klifowe cofają się, zmieniając (degradując) warunki geologiczno-inżynierskie nowych terenów położonych na ich zapleczu. Średnie tempo cofania się klifów na polskim wybrzeżu w wielu miejscach przekracza 2 m na rok, na ogół jest jednak znacznie mniejsze.

Klify zajmują 95,6 km polskich brzegów Bałtyku. Jeżeli nie uwzględnimy Półwyspu Helskiego, to stanowią one 22% polskiego wybrzeża (tab. 2.3). Brzegi klifowe występują na

12 odcinkach. Sześć odcinków, o łącznej długości 19,5 km, występuje na zachodnich wybrzeżach Zatoki Gdańskiej (fig. 2.7). Trzy z nich stanowią zachodnie brzegi Zalewu Puckiego – częściowo izolowanej północno-zachodniej części Zatoki Gdańskiej. Klify występujące nad otwartymi wybrzeżami polskiego Bałtyku zajmują 76,1 km. Długość odcinków klifowych brzegu wynosi od 1,1 km w przypadku klifu pomiędzy Osłoninem a Rzucewem nad Zalewem Puckim do 18,3 km w przypadku klifów pomiędzy Niechorzem a Dziwnówkiem.

Wymienione odcinki wybrzeża, określone jako brzegi klifowe, są bardzo zróżnicowane zarówno pod względem budowy geologicznej, jak również występujących na nich procesów dynamicznych. Ze względu na zróżnicowanie procesów wyróżniamy klify aktywne (czynne), martwe i omlodzone.

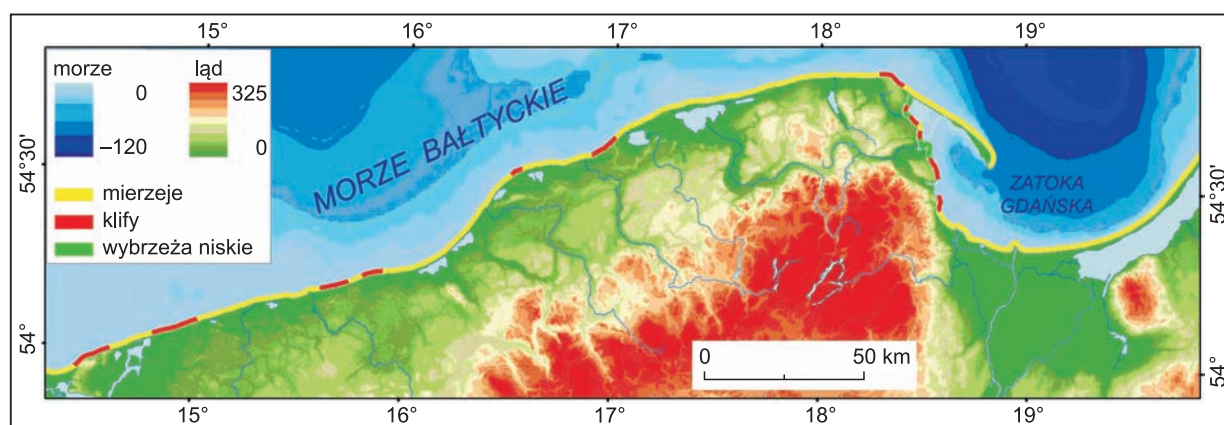


Fig. 2.7. Typy polskiego wybrzeża (Frankowski i in., 2009)

Tabela 2.3

Brzegi klifowe Polski

Początek [km brzegu]	Koniec [km brzegu]	Długość [km]	Odcinek wybrzeża	Długość [km]	Położenie klifu
79,0	85,0	6,0	Sopot-Kamienny Potok – Gdynia	19,5	wybrzeże Zatoki Gdańskiej
89,2	96,3	7,1	Gdynia-Oksywie – Mechelinki		
107,7	108,8	1,1	Osłonino – Rzucewo		
111,7	114,3	2,6	Rzucewo – Puck		
117,9	120,6	2,7	Gnieźdźewo – Swarzewo		
125,9	135,8	9,9	Władysławowo – Jastrzębia Góra		
220,9	232,3	11,4	Rowy – Ustka	76,1	wybrzeże otwartego morza
254,7	256,9	2,2	Jarosławiec		
306,3	316,9	10,6	Sarbinowo – Ustronie Morskie		
319,0	328,2	9,2	Ustronie Morskie – Kołobrzeg		
367,2	385,5	18,3	Niechorze – Dziwnówek		
397,3	411,8	14,5	Świętoustje – Międzyzdroje		
RAZEM 95,6 km 22% wybrzeża (bez Helu)					

Klify aktywne (czynne) położone są w strefie oddziaływania fal i są przez nie niszczone, tworząc ostro zarysowaną, często pionową ścianę z wyraźnym podciosem brzegowym (niszą abrazyjną). Nisza abrazyjna to wnęka u podstawy klifu, utworzona wskutek uderzenia fal. Przewieszony strop podciosu brzegowego sprzyja obrywaniu coraz wyższych partii brzegu, przyczyniając się do cofania się klifu (fig. 2.8).

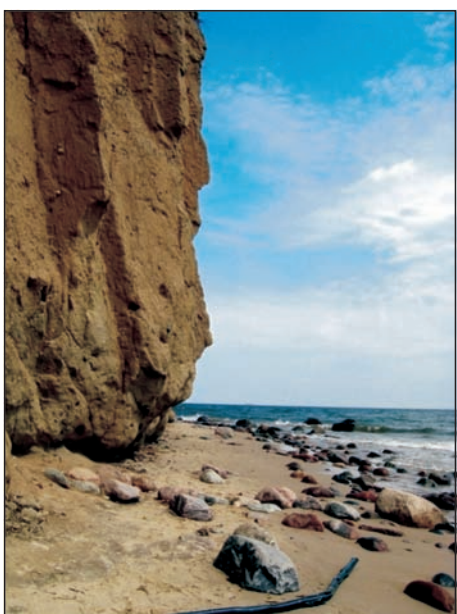


Fig. 2.8. Klif aktywny na Cyplu Orłowskim z typowym podciosem brzegowym i wąską platformą abrazyjną

Klify martwe to klify położone poza strefą oddziaływania fal i skutkiem tego nie podlegają abrazji. Zwykle pokrywa je gruby płaszcz osadów stokowych (fig. 2.9).

Klify odmłodzone są to klify, które przez jakiś czas pozostawały klifami martwymi, a obecnie ponownie są podcinane przez fale (fig. 2.10). Na południowych brzegach Bałtyku uaktywnianie się martwych klifów zachodzi na skutek okre-

sowego występowania silnych sztormów i przyspieszonego wzrostu poziomu wody w morzu.

Klifowe odcinki brzegu stanowią na ogół złożony system występujących na przemian odcinków klifów aktywnych, martwych i odmłodzonych, często porożcinanych ujściami potoków oraz poprzedzielanych dodatkowo bardzo krótkimi odcinkami brzegów wydmy. Również pojęcia klifu aktywnego, martwego czy odmłodzonego są w praktyce bardziej złożone i niejednoznaczne, niż wynikałoby to z definicji.

Wśród klifów aktywnych można wyróżnić odcinki dokładnie pasujące do definicji, np. klif Cypla Orłowskiego nieustannie niszczone przynajmniej od 200 lat, o czym świadczy dokumentacja kartograficzna oraz fotograficzna. Na podstawie morfologii i geologii wybrzeża można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że ten odcinek klifu jest niszczone bez większych przerw od 3–4 tys. lat. Odcinek ten buduje wyłącznie glina lodowcowa, u podstawy występuje bardzo wąska, kilkumetrowa platforma abrazyjna oraz typowa, dobrze wykształcona nisza abrazyjna, a bloki gliny z obrywów na bieżąco są usuwane przez fale (fig. 2.8).

Doskonałym przykładem złożoności procesów i niejednoznaczności w klasyfikacji aktywności klifów jest odcinek wybrzeża pomiędzy Rowami a Ustką. Analizując dane literaturowe z ostatnich dziesięcioleci, można znaleźć wiele przykładów opisanego odcinków brzegów klifowych jako aktywnych, których podstawa obecnie znajduje się poza zasięgiem fal, jak i odwrotnie – opisanych jako klify martwe, niekiedy nawet z wydumą u podnóża, które obecnie są typowymi klifami aktywnymi, z niszami abrazyjnymi wycinanymi w osadach plejstoceńskich *in situ*.

Typowym klifem martwym jest odcinek wybrzeża pomiędzy Sopotem-Kamiennym Potokiem a Gdańskiem. Na tym odcinku wybrzeża zbocze klifu, aczkolwiek wyraźnie zaznaczające się w terenie, jest ustabilizowane i pokryte osadami zboczowymi i starodrzewem (fig. 2.9). Od kilku tysięcy lat klif ten odseparowany jest od linii brzegowej przez platformę akumulacyjną o szerokości od kilkudziesięciu metrów w Kamiennym Potoku do 1 km w Brzeźnie, dzielnicy



Fig. 2.9. Sopot-Kamienny Potok – martwy klif pozostający poza zasięgiem fal od 2–3 tys. lat. Obecnie położony ok. 300 m od linii brzegowej. Po prawej widoczna platforma akumulacyjna pomiędzy martwym klifem a plażą



Fig. 2.10. Sopot-Kamienny Potok – przykład klifu odmladzającego. Do niedawna martwy odcinek klifu, obecnie podcinany w czasie sztormów. Platforma abrazyjna wycięta w osadach plejstoceńskich jest przykryta piaskami plażowymi

Gdańska. Ten odcinek martwego klifu, z uwagi na wydmy rozwinięte na jego przedpolu, nie jest zaliczany do wybrzeży klifowych i w literaturze dotyczącej polskich wybrzeży traktowany jest jako początek Mierzei Wiślanej.

Podobnie, aczkolwiek z innych przyczyn, do martwych klifów jest zaliczany klif przylądka Rozewie. Od około 150 lat ten odcinek wybrzeża chroniony jest opaską betonową i narzutem kamiennym na dnie morskim przed opaską. Dodatkowo, w celu zapobieżenia procesom zboczym zastosowano tu rozbudowany system drenażu. Całość systemu zabezpieczeń działała skutecznie do 2005 r., kiedy to w górnej części stabilnego od kilkudziesięciu lat zbocza wystąpiły osuwiska, skutkujące również destabilizacją jego podnóża, łącznie z częściową destrukcją opaski betonowej (fig. 2.11).



Fig. 2.11. Rozewie, pęknięta opaska betonowa

Przytoczone przykłady dotyczące trudności w klasyfikacji klifów (aktywne bądź martwe) są jednymi z wielu możliwych. W ciągu ostatnich 20–30 lat obserwuje się w wielu miejscach uaktywnienie odcinków brzegów klifowych, pozostających wcześniej poza zasięgiem fal sztormowych (fig. 2.10).

Większość brzegów klifowych w Polsce zbudowana jest z różnego rodzaju osadów plejstoceńskich o genezie związanej z glacjacją i deglacjacją lądolodów. We wszystkich klifach występują osady spoiste, najczęściej w postaci glin lodowcowych, ale także mułków (pyłów) i ilów. Prawie wszędzie występują również piaski i żwiry wodnolodowcowe. Miejscami, w kilku klifach odsłaniają się osady miocenu *in situ* lub w postaci porwaków. Także lokalnie, górną część klifów budują piaski eoliczne. Osady innego rodzaju i genezy są bardzo rzadkie. Wszędzie zmienność litologiczna i genetyczna osadów jest bardzo duża. Miejscami towarzyszą jej zaburzenia glaciektoneczne.

Odporność klifów na abrazję, wynikająca z budowy geologicznej, jest niewielka, chociaż w pewnym zakresie zróżnicowana. Najbardziej odporne są osady spoiste, zwłaszcza gliny lodowcowe. Złożona budowa geologiczna sprzyja aktywności innych niż abrazja procesów degradacyjnych i komplikuje warunki hydrogeologiczne mające duże znaczenie lokalne. Utrudnia to ocenę warunków geologiczno-inżynierskich oraz przewidywanie tempa degradacji klifu i prowadzi do nieudanych prób stabilizacji brzegów klifowych poprzez zabudowę. Przykładem mogą być zabudowy klifu w Jastrzębiej Górze i Jarosławcu, bardziej niszczone przez czynniki działające od strony lądu niż przez abrazję (fig. 2.12–2.14).

Na warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne ma wpływ obecność wód morskich u podstawy klifu, do których spływają wody powierzchniowe i podziemne. W koronie klifu wody powierzchniowe nigdzie nie występują w sposób stały. Okresowo pojawiają się wody opadowe, spływające na ogół w sposób niezorganizowany. Jedynie miejscami spływają one suchymi rozcięciami erozyjnymi krawędzi klifu. Sytuacja ta ulega zmianie na terenach zabudowanych,



Fig. 2.12. Odształcone zabezpieczenie klifu w Jastrzębiej Górze



Fig. 2.13. Jarosławiec, ścianka Larsena i gwiazdoblaki przesunięte przez osuwisko

gdzie spływ powierzchniowy wód opadowych jest większy i w różnym stopniu regulowany.

Miejscami istotne znaczenie dla degradacji klifów wydaje się mieć infiltracja wód opadowych do gruntu. Na terenach niezabudowanych trudno tę zależność wyjaśnić ze względu na brak danych. Inaczej jest na terenach zabudowanych, gdzie istnieje wiele przesłanek świadczących o możliwym niekorzystnym wpływie naturalnej infiltracji, a zwłaszcza antropogenicznego nawadniania gruntu.

W rejonie większości brzegów klifowych polskiego wybrzeża Bałtyku ma miejsce drenaż wód podziemnych. Objawia się to występowaniem w skarpcie klifu wysięków i źródeł. Ścisła lokalizacja, przebieg i skala drenażu są mało poznane, tym niemniej dotychczasowe doświadczenia zebrane podczas prób stabilizacji klifów wskazują na znaczącą rolę poznania warunków hydrogeologicznych w celu właściwej oceny warunków geologiczno-inżynierskich w rejonie klifu. Niezwykle ważna jest wiedza o położeniu i charakterze zwierciadła wód gruntowych na zapleczu klifu, jego spadku w kierunku morza oraz kierunku przepływu wody

w miejscach drenażu (fig. 2.15). Gdy woda przepływa przez grunt niezgodnie z kierunkiem siły ciężkości (w górę), przy dużym spadku hydraulicznym grunt ulega rozluźnieniu. W skrajnych przypadkach woda może bezpośrednio oddziaływać na dolną część skarpy klifu, zawsze natomiast wpływa na stan gruntu w jego podstawie i na podbrzeżu, choćby tylko poprzez wytwarzanie wysokiego ciśnienia porowego i spływowego.

Istotnym czynnikiem degradującym rejon klifu jest zabudowa, której wpływ jest na ogół pośredni, przez co trudno do uściślenia w konkretnych sytuacjach. Zwykle mamy do czynienia z dwoma rodzajami zabudowy. Na terenach przylegających do korony wielu klifów znajduje się zabudowa typu mieszkalnego i usługowego oraz związane z nią obiekty infrastrukturalne. Drugi rodzaj zabudowy powstaje u podstawy klifu, rzadziej na całej jego wysokości. Są to obiekty inżynierskie w postaci opasek gabionowych, betonowych i innych, narzutów kamiennych i gwiazdoblaków. Ich celem jest ochrona brzegu przed abrazją, rzadziej stabilizacja osuwisk (fig. 2.16).

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń można sądzić, że zabudowa podstawy klifu, niekiedy także całego zbocza, zmienia istotnie lokalne warunki geologiczno-inżynierskie, głównie poprzez zmianę stosunków wodnych. Zawsze budowle te zlokalizowane są w strefie drenażu wód gruntowych. By nie utrudniały odpływu wód do morza, wykonuje się drenaż, którego skuteczność na ogół maleje wraz z upływem czasu. Specyficznym rodzajem zabudowy są nasypy (budowle) ziemne, uzupełniające ubytek klifu powstały w wyniku abrazji i usuwisk.

Abrazja. Najważniejszym procesem prowadzącym do niszczenia klifów jest erozja morska (abrazja). Erozyjna działalność fal przyboju bezpośrednio uwidacznia się przez podcinanie zbocza klifu lub zalegającego u jej podnóża kolumium. Pośrednio jest też procesem inicjującym późniejsze procesy zboczowe. Zasadnicze znaczenie ma tutaj rodzaj podłoża macierzystego oraz ilość zalegających na nim piasków morskich. Gliny lodowcowe występujące w podłożu

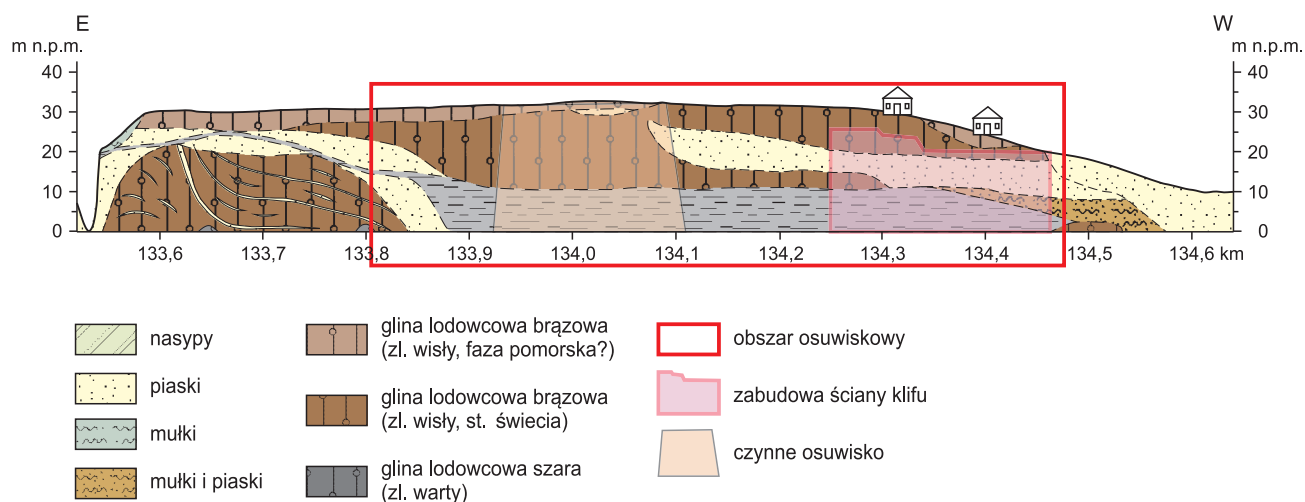


Fig. 2.14. Klif w Jastrzębiej Górze, budowa geologiczna i występowanie osuwisk (Masłowska i in., 2005, zmienione)

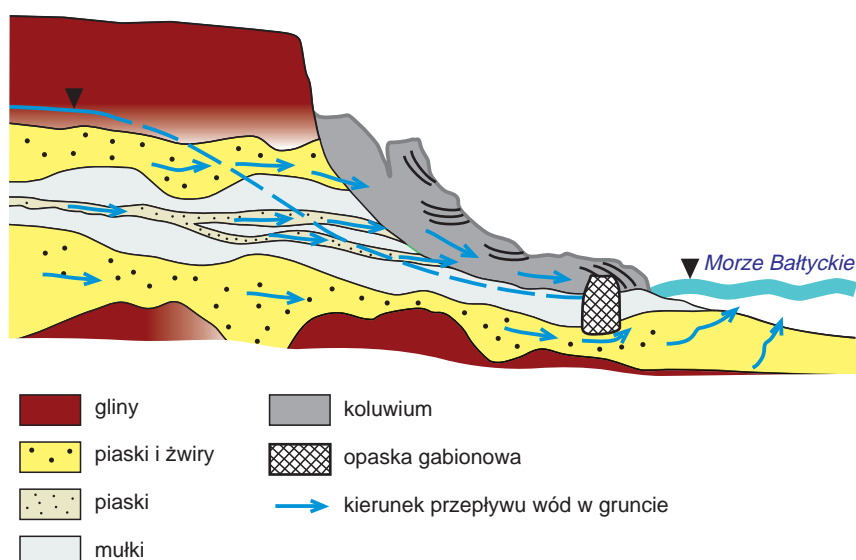


Fig. 2.15. Schemat budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych klifu w Jastrzębiej Górze



Fig. 2.16. Jastrzębia Góra, stabilizacja osuwiska w klifie

macierzystym są osadem w warunkach południowego Bałtyku odpornym na erozję, tym bardziej że na ich powierzchni zalegają na ogół rezydualne otoczaki i żwiry.

Budowa geologiczna klifów i podwodnego stoku brzegowego jest istotna dla cyklu rozwoju wybrzeża, nie mniej ważne są również procesy hydrodynamiczne, takie jak długookresowe zmiany poziomu morza, a przede wszystkim okresowe zmiany częstotliwości i siły sztormów. Najlepiej poznane są zmiany poziomu morza w ciągu ostatnich 100–150 lat, od kiedy prowadzone są obserwacje mareograficzne (fig. 2.17).

Podobnie jak zmienia się tempo wzrostu poziomu morza, również zmienia się okresowo siła i częstotliwość sztormów, przez co procesy erozji brzegu nie są stałe w czasie – występują okresy szybszej erozji brzegów, w tym klifów, oraz okresy względnej stabilizacji. W okresach tych mogą być też

reaktywowane (odmłodzone) klify, które w okresach obniżonej aktywności hydrodynamicznej zamarły, przekształcając się w klify martwe.

Inicjalna rola abrazji klifu jest niewątpliwa. Jej bezpośrednie skutki najlepiej widać tuż po sztormach. Stosując odpowiednie metody pomiarów, można wówczas ocenić skalę ubytku brzegu.

Powstanie klifu stwarza warunki do aktywacji wielu innych procesów degradujących brzeg, takich jak obrywy, zsuwy i osuwiska.

Obrywy. Pierwsze obrywy występują już podczas abrazji klifu i bezpośrednio po niej. Mają one miejsce głównie w osadach piaszczysto-żwirowych. Są na ogół niewielkie, jedynie w przypadku zamarznięcia klifu mogą być większe. Obrywy są rzadko obserwowane, ponieważ występują podczas sztormu, a oberwany materiał jest zaraz usuwany. Jeśli zdarzy się, że u podstawy klifu zostaną piaski i żwiry z obrywu, nie będą się niczym różnić od takich samych osadów przemieszczonych w wyniku zsuwu.

Obrywy posztormowe występują zwykle w glinach lodowcowych, pod którymi powstaje nisza abrazyjna. Procesy te aktywizują się częściej w przypadku, gdy gliny występują w górnej części klifu ponad osadami piaszczystymi.

Zsuwy o różnej skali występują przez cały rok. Aktywują je różne czynniki. W pierwszej kolejności abrazja podczas sztormów, a później głównie czynniki klimatyczne (np. obfite opady deszczu) lub antropogeniczne. Poszczególne zsuwy mają różną wielkość, ale nigdy nie osiągają dużej skali. Jednak jest to podstawowy proces denudacyjny (degradacyjny) przez powszechność i długotrwałość występowania, aż do całkowitego zarośnięcia zbocza klifu.

Osuwiska. Są to procesy degradujące klif w sposób najbardziej spektakularny. Ich powstanie ma wiele przyczyn. Przyczyną pierwotną jest abrazja, której efektem jest powstanie stromego zbocza klifu. Później nabierają znaczenia

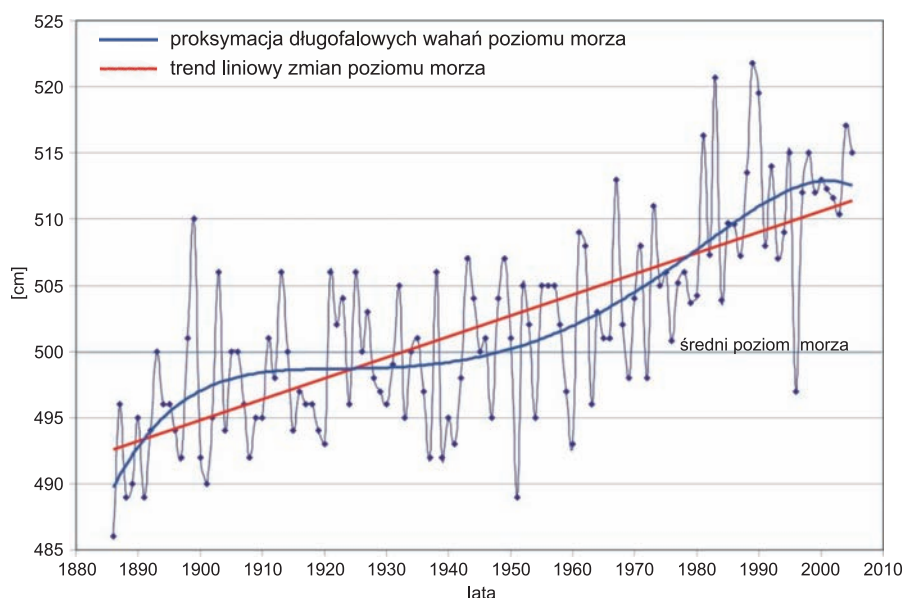


Fig. 2.17. Zmiany średniego rocznego poziomu morza w Gdańsku

cechy geologiczne górotworu (także podbrzeża), warunki hydrogeologiczne i hydrologiczne, w tym ich zmienność, czynniki meteorologiczne oraz różne wpływy antropogeniczne. Miejscami do wymienionych procesów należy dodać erozję wodną w dolinkach (jarach) rozcinających klify, którymi do morza spływają wody opadowe i okresowo wody gruntowe.

Tak duża różnorodność czynników aktywujących osuwiska sprawia, że powstają one zarówno w klifach aktywnych (fig. 2.18), jak i nieaktywnych (fig. 2.11).

Nie sposób wymienić wszystkie czynniki antropogeniczne wspomagające degradację bądź bezpośrednio degradujące klify. Są nimi przede wszystkim wszelkie ingerencje w przebieg naturalnych procesów brzegowych, głównie w postaci obiektów budowlanych, także tych mających za zadanie ochronę brzegu. Obiekty takie prawie zawsze posadowione są w osadach nawodnionych, będących miejscem drenażu wód gruntowych do morza, zmieniając tym samym niekorzystnie lokalne stosunki wodne. Pośrednie oddziaływanie wynika ze zmiany przebiegu procesów erozji i akumulacji w strefie brzegowej, czego skutki w postaci wzmożonej erozji brzegu są widoczne poza zabudową.

Obiekty budowlane położone na koronie klifu pogarszają jego stateczność. Doświadczenie wskazuje jednak na większe oddziaływanie zabudowy poprzez zmianę gospodarki wodnej. Zmienia się spływ powierzchniowy oraz infiltracja wód opadowych do gruntu, czemu miejscami towarzyszy wprowadzanie do gruntu ścieków.

W rejonie klifów mamy do czynienia z obszarami zdegradowanymi poprzez opisane procesy oraz obszarami jeszcze niezdegradowanymi, ale znajdującymi się w zasięgu wpływu procesów degradacyjnych, np. utrata stateczności klifu w górnej strefie krawędziowej.

Do nadmorskich obszarów zdegradowanych zalicza się zbocza klifów, plaże i podbrzeża. Zbocze klifu i jego górna



Fig. 2.18. Jastrzębia Góra, osuwisko w zabezpieczonym klifie, październik 2011 r.

krawędź są często terenami zdegradowanymi przez procesy osuwiskowe. W miejscach, gdzie w klifie powstały osuwiska, szerokość pasa terenu zdegradowanego rośnie, głównie kosztem lądu.

Niszczenie klifów jest zjawiskiem bardziej spektakularnym niż erozja brzegów wydmowych, dlatego też klify zaczęto chronić bardzo wcześnie. Od początku stosowano różnego rodzaju budowle hydrotechniczne, zabezpieczające podstawę klifu przed erozyjnym działaniem fal. Najczęściej są to opaski betonowe posadowione u podnóża klifu, rzadziej na linii wody. Stosowane są też narzuty z głazów i bloków betonowych, mające zabezpieczać bądź to przybrzeże przed klifem, bądź jego podnóże. W szczególnych przypadkach, jak w Trzęsaczu, Śliwinie czy Jastrzębiej Górze, poza ochroną podstawy klifu przed erozją, zastosowano różnego rodzaju konstrukcje zabezpieczające zbocza klifów przed procesami osuwiskowymi. Na świecie dla ochrony brzegów

klifowych powszechnie buduje się falochrony przybrzeżne bądź progi podwodne. W Polsce progi podwodne zastosowano jedynie w Orłowie.

Poza ciężką zabudową hydrotechniczną dla ochrony brzegów klifowych stosowane są też metody wykorzystywane na wybrzeżach wydmych, takie jak ostrogi mające zatrzymywać piasek migrujący wzdłuż brzegu czy sztuczne zasilanie brzegu piaskiem. Obie te metody, a szczególnie ostrogi, często stosowano jako wspomagające opaski brzegowe.

2.4.1.3. Erozja na terenach lessowych

Procesy geodynamiczne mają szczególne znaczenie na obszarach lessowych. Rejony występowania lessów, z uwagi na ich właściwości (wysokie parametry geotechniczne, pionowa oddzielność, duża ilość rozpuszczalnych związków, łatwe uleganie destrukcyjnej działalności wody), są traktowane odrębnie. Te elementy decydują o charakterystycznym wyglądzie wysokich, stromych krawędzi erozyjnych. Należy podkreślić, że procesy degradacji rozwijają się zarówno na skutek oddziaływania czynników naturalnych, jak i działalności człowieka. W zasadzie w warunkach silnej antropopresji procesy niszczące ulegają przyspieszeniu.

Lessy pokrywają około 6% powierzchni Polski, głównie w części południowej (bez Sudetów i Karpat) i południowo-wschodniej (fig. 2.19). Obszar występowania lessów nie jest ciągły, ale stanowi izolowane powierzchnie. Przyczyn rozwoju procesów geodynamicznych na terenach lessowych najczęściej upatruje się w erozyjnym podcinaniu zboczy i destrukcyjnym oddziaływaniu systemu korzeniowego roślin (Muchowski, Szytk, 1975). W każdym jednak przypadku decydującym elementem niszczącym jest woda. Podcinanie zbocza powoduje blokowe spękania masywu w strefie przykrawędziowej. W powstające szczeliny wnika woda i powiększa szczeliny. W kolejnym etapie rozwoju szczeliny woda penetruje system korzeniowy i go powiększa. Głęboko wnikające wody wraz

z systemami korzeniowymi powoli rozbudowują sieć szczelin. Ten proces jest ciągły i prowadzi do strefowego osłabienia masywów lessowych, co powoduje blokową destrukcję krawędzi zboczy. Procesy erozji wewnętrznej powodują z kolei wynoszenie cząstek w kierunku doliny i w konsekwencji umożliwiają rozwój procesów osuwiskowych.

Procesy erozji wewnętrznej polegają głównie na mechanicznym rozmywaniu masywu lessowego wzdłuż uprzywielejonnych otwartych szczelin. Proces ten jest gwałtowny z powodu nadzwyczaj dużej wrażliwości struktury lessów.

Lessy na wydzielonych obszarach różnią się uziarnieniem, zawartością procentową wybranych minerałów, a także trwałością struktury. Jedną z ich charakterystycznych cech jest mała odporność na działanie wody. Woda ma ogromny wpływ na zachowanie się podłoża lessowego. Związany jest z tym specyficzny problem degradacji podłoża w obrębie miast zlokalizowanych na obszarach lessowych. Duża wytrzymałość oraz bardzo dobra urabialność masywów lessowych sprawiły, że w przeszłości mieszkańcy takich miast jak Sandomierz, Kłodzko czy Jarosław drążyli pod swymi domami piwnice, korytarze, a nawet tunele. Znane są przypadki, że głębokość podziemi sięgała 20 m. Obecnie woda z nieszczelnych instalacji jest najczęstszą przyczyną niszczenia podłoża. Ostatnim etapem procesu jest powstawanie lejów zapadliskowych, co często prowadzi do katastrof budowlanych.

2.4.1.4. Kras

Występowanie w podłożu skał rozpuszczalnych w wodzie wywołuje wiele zjawisk, które nazywamy krasem. Z inżynierskiego punktu widzenia obszary objęte krasem są zdegradowane z uwagi na trudno przewidywalne warunki geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne. Z tego powodu obszary rozwiniętego krasu są omijane przez budownictwo mieszkaniowe i przemysłowe. Obszary krasowe z rozwiniętymi formami krasowymi sięgającymi powierzch-

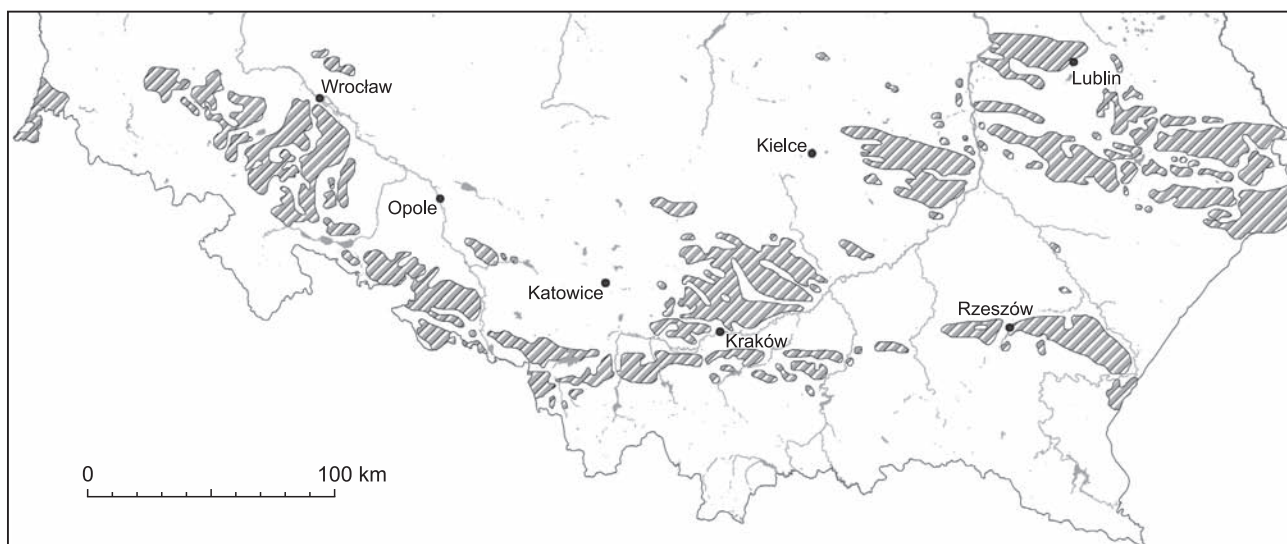


Fig. 2.19. Rozmieszczenie lessów na obszarze południowej Polski (Rühle, Mojski, 1968)

ni, choć są istotną barierą do zabudowy (niekiedy uniemożliwiają ją), nie stanowią zagrożenia w okresie eksploatacji. Takim zagrożeniem są formy krasowe rozwijające się pod powierzchnią nadkładu z młodszych utworów niepodlegających krasowieniu. Urbanizacja terenu wywołuje najczęściej potencjalne niebezpieczeństwo nagłego osiadania terenu (zapadliska) lub dużych i nierównomiernych osiadań. Pustki krasowe występujące na niezbyt dużej głębokości stanowią poważne strefy osłabienia, szczególnie gdy nie są wypełnione albo są wypełnione luźnym materiałem oraz gdy znajdują się w zasięgu oddziaływania naprężeń od budowli. Niebezpieczeństwo powstawania zapadlisk wzrasta wraz z powiększaniem się liniowych rozmiarów pustek, stopnia spękania skał nad kawernami, zmniejszeniem się głębokości ich występowania, a także wraz z pojawieniem się obciążeń dynamicznych (np. w wyniku budowy dróg). Na terenach krasowych często skaliste podłoże charakteryzuje się dużymi deniwelacjami. Młodsze utwory wypełniające formy negatywne mają zwykle niskie parametry fizyczno-mechaniczne. Ostre granice między słabonośnymi osadami wypełniającymi obniżenia krasowe a nieściśliwymi skałami sprzyjają powstawaniu dużych i groźnych dla konstrukcji różnic osiadań. Pewność lub podejrzenie, że obszar podlega procesom krasowym wymusza konieczność rozszerzenia badań o metody geofizyczne. Tradycyjne wiercenia i sondowania nie wystarczają do rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich. Z doświadczenia autorów wynika, że zmiany poziomu stropu skał litych są bardzo gwałtowne. Dwa otwory wykonane w odległości 11 m wykazały 25-metrową różnicę w położeniu stropu skał litych. Dopiero zastosowanie metody profilowania elektrooporowego przybliżyło rozmiary leja krasowego i jego głębokości.

Zróznicowanie morfologiczne powierzchni na obszarach rozwiniętego krasu jest znacznym utrudnieniem np. dla budownictwa drogowego i kolejowego. Duża liczba zarówno pozytywnych, jak i negatywnych form istotnie komplikuje prace projektowe. Roboty drogowe wymagają wykonania dużej ilości prac ziemnych, budowy wysokich nasypów (często z gruntów zbrojonych) i wielu specjalistycznych prac związanych z głębokim posadowieniem różnych obiektów (mosty, estakady, przejścia dla zwierząt).

Istotną specyfiką terenów krasowych są zróznicowane warunki hydrogeologiczne. Są one uwarunkowane rozpuszczalnością skał podłoża, stopniem ich spękania, rozwarciem szczelin, charakterem deformacji tektonicznych oraz biegiem i upadem warstw. Obszary krasowe wykazują bardzo dużą dynamikę zmienności zasobów wodnych, są to jednak tereny raczej ubogie w wodę. Na obszarach krasowych istotne jest zagrożenie rozwojem filtracyjnych deformacji gruntów niekrasowięjących, zarówno gruboziarnistych, jak i drobnoziarnistych, i związanych z nimi pionowych deformacji osiadania powierzchni.

W literaturze polskiej nie ma podziału terenów krasowych pod kątem geologiczno-inżynierskim. Do tego celu można stosować zaczerpniętą z literatury zagranicznej klasyfikację inżynierską terenów krasowych (Waltham, Fookes, 2005), która wyodrębnia pięć klas terenów krasowych: kras

juwenilny, niedojrzały, dojrzały, mieszany i ekstremalny. Dodatkowo autorzy podają zalecenia odnośnie projektowania badań (z dużym naciskiem na badania geofizyczne) oraz zalecenia odnośnie fundamentowania. Należy jednak zaznaczyć, że w warunkach polskich mamy do czynienia w zasadzie z klasami II–IV. W tabeli 2.4 przedstawiono pełną wersję klasyfikacji inżynierskiej krasu wynikającą z rozwoju procesów krasowych.

2.4.1.5. Powodzie

Jednym z ważnych w warunkach Polski procesów powodujących degradację terenu jest powódź. Powódź jest jednym z najczęściej występujących zagrożeń naturalnych. Działalność człowieka może wspomagać lub nawet uruchamiać procesy powodziowe poprzez nadmierną regulację koryta rzecznoego, nieprawidłową budowę i konserwację obwałowań, zajmowanie naturalnych polderów zalewowych itp.

Każda powódź niesie ze sobą negatywne skutki dla środowiska o różnorodnym zakresie szkód i strat. Poza wielkopowierzchniowym zdegradowaniem terenu często zagrożone jest zdrowie ludzkie, mienie społeczne i gospodarcze. Podczas powodzi może dochodzić do uszkodzenia ujęć wód podziemnych lub do uruchamiania osuwisk czy deformacji filtracyjnych.

Prawo europejskie i krajowe poprzez akty prawne reguluje problematykę związaną ze zjawiskiem powodzi oraz działalnością zmniejszającą ryzyko jej wystąpienia. Zagadnienia te są bardzo ważne, gdyż powódzie to istotny problem dotyczący całej Europy. Regulacje prawne mają zarówno charakter ogólnych wytycznych dyrektyw Parlamentu Europejskiego, charakter ustaw krajowych, jak i rozporządzeń szczegółowych, takich jak:

- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, zwana Ramową Dyrektywą Wodną (RDW);
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, zwana Dyrektywą powodziową;
- ustawa Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. (Dz.U. z 2012 r. Nr 0 poz. 145) i rozporządzenia wykonawcze.

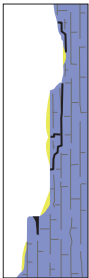
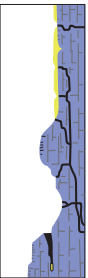
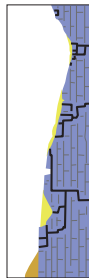
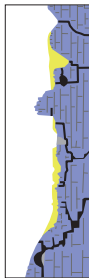

Powódź nie jest pojęciem czysto hydrologicznym, lecz także gospodarczym. Negatywne skutki powodzi dla zalanego terenu związane są głównie z degradacją krajobrazu, ukształtowania terenu, gleb i gruntów oraz wód powierzchniowych i podziemnych.

Straty wymierne związane z degradacją terenu spowodowaną powodzią można oszacować np. poprzez koszt rekultywacji czy wycenę szkód gospodarczych. Istnieją jednak straty niewymierne, których nie da się wyrazić dobrze lub wcale w jakichkolwiek kryteriach ekonomicznych (społeczne, moralne, przyrodnicze).

Powódzie występujące na obszarze Polski mają różne przyczyny, zasięg terytorialny oraz okres powstawania. Do najczęstszych rodzajów powodzi zalicza się (tab. 2.5):

Tabela 2.4

Klasyfikacja inżynierska krasu (Waltham, Fookes, 2005)

Warunki krasowe	Występowanie	Obecność lejów krasowych	Charakter powierzchni skalnej	Stopień szczelinowatości	Obecność jaskiń	Zalecane badania polowe	Zalecenia do fundamentowania
Klasa I  Kras juwenilny	wyłącznie na pułstyniach i w strefie peryglacialnej	bardzo rzadko NSH* <0,001	jednorodna, drobne szczeliny	nieliczne, płytkie szczeliny	nieliczne i małe jaskinie, sporadycznie wyizolowane o charakterze reliktowym	konwencjonalne	konwencjonalne
Klasa II  Kras niedojrzały	sporadycznie w klimacie umiarkowanym	niewielkie zagłębienia sufozyczne, leje powstałe w wyniku drążenia i wymywania przez wodę NSH 0,001–0,05	dużo drobnych szczelin	liczne szczeliny w strefie przy powierzchniowej	liczne, małe jaskinie o szerokości <3 m	głównie wiercenia do 3 m w skale, analiza szczelinowatości powierzchni skalnej (w wychodniach)	cementacja szczelin, kontrola odwodnienia
Klasa III  Kras dojrzały	powszechnie w klimacie umiarkowanym, sporadycznie w mokrym klimacie tropikalnym	liczne leje sufozyczne i powstałe w wyniku drążenia i wymywania przez wodę, duże leje z rozpuszczania, drobne leje zapadliskowe NSH 0,05–1,0	postępująca szczelinowatość, w obrębie pokrywają luźne bloki o rozmiarach <5 m	postępująco wiotre otwarcia istniejących szczelin	liczne długie jaskinie o szerokości do 5 m na różnych poziomach	wiercenia do 4 m w skale, mikrograwimetryczne badania geofizyczne	fundamenty płytowe, belki podwalinowe, geokraty, pale wbijane do podłoża skalnego, kontrola odwodnienia
Klasa IV  Kras mieszany	typowy dla regionów tropikalnych, możliwy w klimacie umiarkowanym	liczne duże leje powstałe z rozpuszczania, wypełnione osadem, leje zapadliskowe i leje w formie wypełnionych osadem NSH 0,5–2,0	rzeźba żeberkowa, deniwelacje 5–20 m	postępująco duże szczeliny z rozpuszczania	dużo długich jaskiń o szerokości powyżej 5 m na różnych poziomach	wiercenia do głębokości 5 m w skale, mikrograwimetryczne badania geofizyczne	pale wiercone do podłoża skalnego, iniekcja zamykająca (cap grouting), kontrola odwodnienia i ubytków
Klasa V  Kras ekstremalny	wyłącznie w klimacie tropikalnym	bardzo duże leje i zapadliska różnego typu, luki i ostańce, zagęszczony osad w obniżeniach NSH >>1	wysokie żebra krasowe, często połączone kanałami, deniwelacje >20 m, ostańce krasowe (mogoty)	bardzo liczne jamy i pustki krasowe o złożonym przebiegu i formie	liczne złożone trójwymiarowe systemy jaskiniowe, galerie i komory o szerokości >15 m	indywidualne badanie pod każdy pal / grupę pali	wzmocnienie geokratami, obciążenie wybranych, sprawdzonych żeber krasowych lub długie pale wiercone, kontrola odwodnienia i ubytków

* NSH – roczne tempo formowania się nowych zapadlisk krasowych na km²

Tabela 2.5

Podstawowe typy powodzi (Lambor, 1962, 1971)

Typ powodzi		Symbol	Przyczyny	Zasięg i charakter	Okres pojawiania się powodzi		
					wyjątkowo	najczęściej	
1	opadowe	nawalne	O _n	lokalne deszcze nawalne, burze termiczne	lokalne silne powodzie na potokach górskich i małych ciekach	V–IX	VII–VIII
2		rozlewny	O _f	deszcze frontalne	zwykle powodzie o szerokim zasięgu	IV–X	VI–IX
3			O _r	deszcze frontalne nasilane warunkami orograficznymi	groźne powodzie długotrwałe z obszarów górskich		
4	roztopowe	R	gwałtowne topnienie śniegu zasilone silnymi deszczami jednocześnie przy zamrożonej powierzchni gruntu	szeroki zasięg terytorialny w warunkach sprzyjających (nizinne i górskie)	XII–III	III	
5	sztormowe	S _z	sytuacja baryczna sprzyjająca tym powodziom	wybrzeże morskie, Zalew Wiślany (Żuławy), Zalew Szczeciński	X–III i VII–VIII	XII i I	
6	zimowe	śrężowe	Z _ś	gwałtowny spadek temperatury do –10°C	lokalne powodzie w miejscach specjalnie predestynowanych jak: Noteć Środkowa, Brda	XII–III	XII i I
7		zatorowe	Z _z	spiętrzenie wody na zatorze w czasie splotu lodu, najczęściej w przekrojach mostowych	lokalne groźne na rzekach i potokach w miejscach o hamowanym spływie lodu	XII–III	III

- powodzie opadowe – spowodowane są silnymi opadami nawalnymi lub rozlewnymi. Mogą pojawiać się w różnych rejonach kraju. Zdarza się, że nawet mało intensywne opady mogą stanowić poważne zagrożenie powodziowe, gdy są poprzedzone długotrwałym okresem deszczowym. Najgroźniejsze, głównie ze względu na szybkość powstawania i przemieszczania się, są wezbrania na rzekach górskich i podgórskich;
- powodzie roztopowe – ich przyczyną jest gwałtowne topnienie śniegów. Tego typu powodzie mogą wystąpić na wszystkich rzekach. Najgroźniejsze rozmiary osiągają na dużych rzekach nizinnych. Jeśli obfity śnieg leży na zamrożonym gruncie, a w okresie roztopowym nastąpi gwałtowny wzrost temperatury powietrza, pokrywa śnieżna stopi się szybko i w krótkim czasie dotrze, po zamrożonym podłożu, do rzek i obszarów depresyjnych powodując powódź;
- powodzie zimowe (zatorowe) – wywołane są wyjątkowym nasileniem rzecznych zjawisk lodowych. Pojawiają się w czasie zamrażania rzeki, gdy w wodzie powstaje śręż spowalniający przepływ wody, co sprzyja powstawaniu zatoru. Drugim, częstszym powodem tego typu powodzi jest kruszenie się pokrywy lodowej przy dodatnich temperaturach, kiedy to przy jakiegokolwiek przeszkodzie uniemożliwiającej jej spływanie dochodzi do spiętrzenia kry. Najgroźniejsze powodzie zatorowe powstają podczas wezbrań roztopowych na dużych rzekach nizinnych, a także w ujściach rzek do Bałtyku.

Należy pamiętać, że powódź może być efektem działania kilku czynników w jednym czasie, np. topnienia śniegu, opadów deszczu, tworzących się zatorów na rzece itp. Wówczas

jest to powódź mieszana, np. roztopowo-opadowa (Barszczyńska i in., 2002).

Poza wymienionymi można wyróżnić tzw. powodzie miejskie, niewynikające z wezbrania wód w rzece, np. powódź w Gdańsku w lipcu 2001 r. Zjawisko powodzi spowodowane było intensywnymi opadami na obszarach zabudowanych o zredukowanej powierzchni infiltracji.

Szkody powodziowe na terenach wyżynnych i nizinnych zależą w dużej mierze od położenia użytków rolnych, terenów zurbanizowanych i warunków fizjograficznych. W dolinach rzecznych największe szkody powstają w wyniku przerywania wałów przeciwpowodziowych. Główne rodzaje szkód to: obrywanie się brzegów i zmiana koryta cieków, zamulenie, zardcie i wypłukanie gleby, wymycie składników pokarmowych, dewastacja pokrywy roślinnej, nadmierne uwilgotnienie gruntu oraz skażenie chemiczne gleby.

Tereny objęte powodzią najczęściej pokryte są materiałem z rozmytych wałów oraz wycierodowanych brzegów i dna rzeki. W pobliżu koryta rzeczno osadza się przeważnie jałowy, przemyty przez wodę piasek. Im dalej od rzeki, tym osady stają się drobniejsze. Najdalej od rzeki osadza się materiał najdrobniejszy. W tym miejscu warstwa pozostawiona przez powódź osiąga grubość od kilku milimetrów do kilku centymetrów. Jest to warstwa użyźniająca glebę i ma działanie pozytywne, pod warunkiem że nie jest skażona chemicznie.

Głównymi elementami degradacji terenu powstałymi w wyniku powodzi (z wyłączeniem szeroko pojętych szkód i strat w mieniu i zdrowiu ludzkim) są:

- wzmoczona erozja dna i brzegów koryta rzeki (zwłaszcza brzegu wklęsłego), często uruchamiająca procesy zboczowe,

- nanoszenie w trakcie wezbrania fali i jej opadania osadów rzecznych koryta oraz wymytych osadów tarasu zalewowego i nadzalewowego (grunty sypkie, spoiste i organiczne, gleby/grunty orne, grunty antropogeniczne) o miąższości miejscami dochodzącej nawet do 1 m,
- nanoszenie części uszkodzonych drzew, krzewów oraz innej roślinności, a także pozostałych szczątków organicznych,
- nanoszenie uszkodzonych fragmentów infrastruktury i mienia ludzkiego,
- niszczenie gleb poprzez procesy gnilne, znaczne ubytki w profilu pionowym oraz wypłukiwanie składników mineralnych,
- zmiana struktury gruntów naturalnych i antropogenicznych poprzez rozmycie i wymieszanie z naniesionymi gruntami,
- zanieczyszczenie wód powierzchniowych wypłukiwanym materiałem i substancjami z terenów zalanych,
- zanieczyszczenie wód podziemnych poprzez zalanie zanieczyszczonymi wodami ujęć wód podziemnych,
- zniszczenie walorów krajobrazowych, przyrodniczych i rolniczych terenu – naturalnego ukształtowania i pokrycia,
- nadzwyczajne zanieczyszczenie terenu/nadzwyczajne zagrożenie środowiska, gdy gleby, grunty, wody powierzchniowe i podziemne zostają zdegradowane w wyniku uruchomienia substancji niebezpiecznych, toksycznych i bakterii poprzez naniesienie odpadów komunalnych, przemysłowych, skumulowanie zanieczyszczeń metalami ciężkimi i ropopochodnymi w osadach popowodziowych itp.

W przypadku powodzi w obszarach górskich dodatkowo występuje również:

- znaczne obniżenie dna rzek skutkujące obniżeniem bazy drenażowej wód podziemnych,
- znaczna zmiana rozmiarów i kształtu koryta rzeki (rzeka jednokorytowa > rzeka roztokowa),
- tworzenie nowego koryta w efekcie napotkania na zapórę,
- nanoszenie grubszego materiału korytowego (żwiru, kamieni) o miąższości nawet do 1,5 m,
- znaczne przeobrażenie rzeźby terenu (zmiany geomorfologiczne) poprzez uruchomienie grawitacyjnych ruchów masowych (osuwiska, obrywy, spływy powierzchniowe itp.) oraz różnych rodzajów erozji w jednym miejscu i akumulacji niesionego materiału w innym.

2.4.1.6. Podtopienia

Podtopienia terenu wywołane wysokim poziomem wód gruntowych nie mają w polskich przepisach prawnych określonej definicji. Jest to o tyle niepokojące, że szkody wywołane podtopieniami mają coraz większy udział w niszczeniu mienia i środowiska. Jediną wzmianką na temat zagrożeń od wód gruntowych w formalnym dokumencie są zapisy

w Dyrektywie powodziowej (Dyrektywa..., 2007). Brakuje także wymogów dotyczących możliwości uwzględnienia obszarów zagrożonych podtopieniami przy sporządzaniu dokumentów planistycznych.

Termin podtopienie jest błędnie utożsamiany ze strefą zalewową czy też zasięgiem powodzi wywołanej przez wody powierzchniowe. Często podtopieniami mylnie nazywane są powodzie miejskie związane z nieodprowadzeniem wody opadowej z obszaru silnie zurbanizowanego, o znacznie zmniejszonej powierzchni infiltracji. Zjawisko to nie ma wiele wspólnego z podtopieniem w sensie hydrogeologicznym.

Podtopienie może zachodzić na obszarach wysoczyzn, jak i w rejonie czy sąsiedztwie dolin rzecznych. Podtopienia mogą występować na obszarach należących do różnych jednostek geomorfologicznych, okresowo lub stale, przy czym stale występujące podtopienia są niejednokrotnie przedstawione na mapach jako podmokłości lub bagniska.

Podtopienia mogą być krótko- lub długotrwałe (nawet wielomiesięczne), powstają w czasie okresów intensywnych opadów, a także przy okazji wezbrań w ciekach powierzchniowych lub w czasie roztopów. Podtapiane są bardzo często obszary położone w dolinach rzek w odległości 3–4 km od wałów przeciwpowodziowych. Często zachodzi równoczesne zalanie terenu przez falę powodziową czy spiętrzone w mniejszych ciekach wody powierzchniowe, jak i podtopienie (terenu, podziemnej infrastruktury) na skutek podniesienia poziomu zwierciadła wody podziemnej w znacznej odległości od powodzi powierzchniowej. Zjawisko to zazwyczaj występuje po kilku dniach od naturalnych opadów.

Poza naturalnymi czynnikami, które sprzyjają podtopieniom, występują także czynniki antropogeniczne. Wiele szkód powstaje w wyniku braku konserwacji kanałów i urządzeń melioracyjnych. Budowa nasypów bez systemu przepustów i odprowadzania wody pod różne obiekty w naturalnych obniżeniach cieków powierzchniowych (nawet tych okresowych) także przyczynia się do piętrzenia wód powierzchniowych i podnoszenia zwierciadła wód gruntowych, co w efekcie prowadzi do podtapiania okolicznych terenów.

Podtopienia doprowadzające do degradacji terenu można podzielić na dwie grupy: podmokłości i zalewiska. Różnią się one zarówno formą, jak i skutkami, jakie ze sobą noszą. Jeżeli podtopienie jako proces doprowadza do wystąpienia wód gruntowych w strefie od 0 do 50 cm pod powierzchnią terenu, powstaje podmokłość. Gdy natomiast zwierciadło wód gruntowych występuje ponad powierzchnię terenu, mamy do czynienia z zalaniem terenu, czyli zalewiskiem.

Degradacja terenu w przypadku podmokłości jest wynikiem wysokiego stanu wód gruntowych. Niejednokrotnie podmokłości doprowadzają także do zanieczyszczenia wód podziemnych z głębszych, izolowanych warstw wodonośnych przez wlanie się podniesionych wód gruntowych (często zawierających zanieczyszczenia) do niezabezpieczonych ujęć wód podziemnych. W ekstremalnych sytuacjach zachodzi nadzwyczajne zanieczyszczenie terenu/nadzwyczajne zagrożenie środowiska. Grunty, wody powierzchniowe i podziemne zostają zdegradowane wodami infiltrującymi

ze źle zabezpieczonych powierzchniowych składowisk odpadów czy nawet z zalania dzikich składowisk w rowach melioracyjnych.

Główne różnice w zakresie degradacji terenu w stosunku do wezbrania powodziowego i przejścia fali wynikają z tego, że pojawienie się zalewiska jest raczej stopniowe i jest procesem mało gwałtownym. Elementy degradacji związane z naniesieniem osadów, szczątków organicznych i nieorganicznych czy też erozją i rozmyciem znacznej części profilu glebowego oraz gruntów mają więc znacznie mniejszy zakres.

2.4.2. Degradacja antropogeniczna

Eksploracja zasobów przyrody powoduje zmiany w środowisku naturalnym. Zmiany te zależą od rodzaju ingerencji i skali działań. Nie wszystkie odnoszą się do degradacji podłoża i wód gruntowych. Doświadczenia opisane w okresie ostatnich 30 lat wskazują, że realizacja postulatów tzw.

zrównoważonego rozwoju wymusza minimalizację niekorzystnych zjawisk również w odniesieniu do gruntów i wód gruntowych.

Działalność przemysłowa, a w szczególności przemysł wydobywczy, powoduje istotne i zróżnicowane efekty degradacji: uruchamia wtórne procesy geologiczne (np. trzęsienia ziemi), rozległe deformacje (obniżenia) powierzchni, zmiany kierunku przepływu wód i inne. Górnictwo podziemne i odkrywkowe wymusza także powstawanie zwałowisk i hałd odpadów, które wywołują deformację powierzchni terenu, zmieniają stan naprężeń górotworu, chemizm wód gruntowych. Kolejnym źródłem przekształceń terenu jest infrastruktura przemysłowa oraz obiekty hydrotechniczne towarzyszące górnictwu i przemysłowi. W Polsce około 7% powierzchni kraju, wliczając w to powierzchnię miast, objętych jest mechanicznymi przekształceniami terenu, oczywiście najbardziej tereny Śląska. Największe przekształcenia powierzchni terenu oraz krajobrazu występują w obszarze działania górnictwa (fig. 2.20). Wydobyty węgiel kamien-

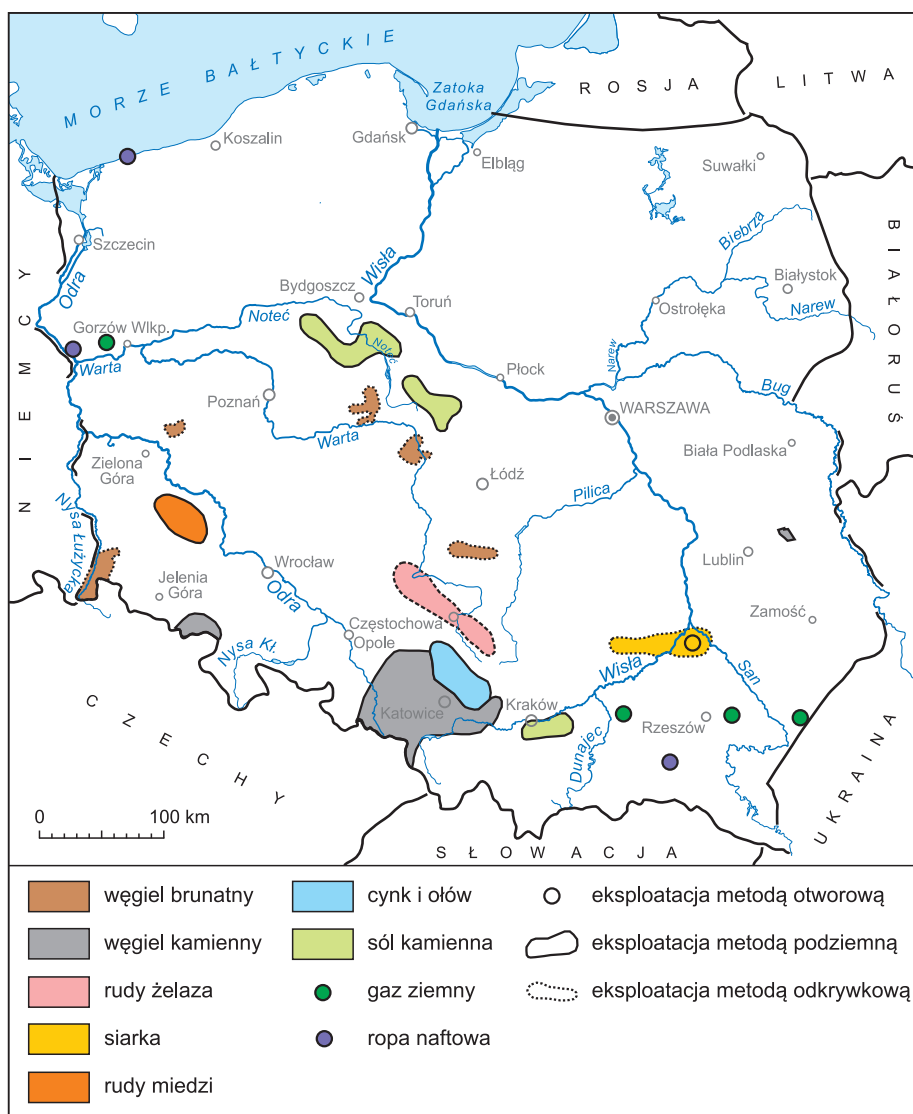


Fig. 2.20. Główne rejony intensywnej eksploatacji górniczej (trwającej i zakończonej)

ny i brunatny jest spalany i tworzy znaczne niedobory mas gruntowych. W 2010 r. wydobyto ponad 56 mln ton węgla brunatnego i ponad 69 mln ton węgla kamiennego (Rocznik statystyczny, 2010). Istotne skutki w skali kraju powoduje również wydobycie piasków i żwirów (ok. 163 mln t) oraz kamienia łamanego i blocznego (ok. 63 mln t). Główne rejonory dużych zmian powierzchni terenu i środowiska hydrogeologicznego w Polsce to Górny Śląsk (węgiel kamienny), zagłębie olkuskie (cynk i ołów), rejon Tarnobrzega (siarka), a także obszary wydobywania węgla brunatnego: Bełchatów, Konin i Turossów.

2.4.2.1. Górnictwo podziemne

Podziemna działalność górnictwa powoduje zmiany powierzchni terenu na znacznych obszarach. Zakres tych zmian zależy od sposobu i głębokości eksploatacji, sposobu likwidacji pustek oraz odwonienia terenu. Do głównych skutków degradacji należy zaliczyć:

- osiadanie terenu i związane z tym zapadliska i niecki osiadania,
- podtopienia (zalewiska i podmokłości),
- składowiska skały pływnej i odpadów powęglowych,
- wstrząsy parasejsmiczne,
- osuszanie terenów w rejonie leja depresji.

W Polsce najbardziej narażony na degradację z powodu wielowiekowej eksploatacji podziemnej jest rejon Górnego Śląska. Według różnych danych wybranie pokładów o miąższości ok. 50–60 m spowodowało obniżenia terenu rzędu 30 m. Są to rejonory Chorzowa, Bytomia, Siemianowic Śląskich, Piekarów Śląskich, Świętochłowic, Rudy Śląskiej i Zabrze. Na części obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) nastąpiło nieco mniejsze obniżenie terenu, rzędu 5–10 m.

Z osiadaniami terenu ściśle wiąże się powstanie zalewisk, przez które rozumie się nagromadzenie wody w obniżonej partii terenu w wyniku podziemnej eksploatacji górnictwa. Podtopienie oznacza proces prowadzący do nadmiernego nawodnienia gruntu w przypowierzchniowej partii terenu. Podtopienie oznacza, że zwierciadło wody gruntowej jest na tyle płytko, że powoduje zmianę właściwości gruntów, podmakanie budynków itp.

Powstanie zalewiska jest procesem skomplikowanym, gdyż zależy od wielkości i lokalizacji obniżenia terenu oraz od budowy geologicznej w strefie przypowierzchniowej. Predysponowane są obszary, gdzie występują grunty słabo przepuszczalne i niepodlegające wpływowi tektoniki nieciągłej. Na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego większość zalewisk powstała w wyniku ciągłych deformacji powierzchni. Obszarami najbardziej podatnymi na wystąpienie podtopień i zalewisk są doliny i pradoliny rzeczne. Z nimi przede wszystkim związane jest występowanie Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w utworach czwartorzędowych, gdzie zwierciadło wody występuje płytko. Tego typu obszary mają najbardziej korzystne warunki dla zwiększenia retencji powierzchniowej. Według danych zawartych w Planie zagospodarowania przestrzennego województwa śląskie-

go (2004), w 2000 r. stwierdzono 22 zalewiska, które zajmowały około 8–10 km². Z fragmentarycznych obserwacji wynika, że nadmierne zawodnienie profilu glebowego zajmuje powierzchnię 3–4-krotnie większą od powierzchni zalewisk. Można zatem w przybliżeniu założyć, że powierzchnia terenów podtopionych stanowi około 30–40 km².

Dane te potwierdzają analizy oparte na danych interferometrycznych i zdjęciach radarowych.

Obszar Górnego Śląska, w mniejszym stopniu Legnicko-Głogowski Okręg Miedziowy (LGOM) oraz rejon Bełchatowa objęte są wstrząsami parasejsmicznymi, powstającymi w wyniku gwałtownego przemieszczania, pęknięcia lub załamywania się warstw górotworu. Wstrząs górotworu wiąże się zawsze z wyzwoleniem określonej ilości energii sejsmicznej i jest zawsze źródłem emisji drgań sprężystych. Drgania te rozchodzą się w górotworze od miejsca ich powstania, to jest od ogniska wstrząsu, we wszystkich kierunkach jako fale sejsmiczne.

Na obszarze Górnego Śląska głównymi czynnikami wywołującymi wstrząsy sejsmiczne są:

- głębokość eksploatacji,
- występowanie grubych i wytrzymałych warstw, które w wyniku podbierania i rozwoju procesów deformacyjnych stają się warstwami generującymi wstrząsy,
- tektonika złoża,
- lokalne warunki naprężeniowe kształtowane przez działalność górnictwa.

Miarą intensywności wstrząsów jest ich energia sejsmiczna lub magnituda. W skrajnych przypadkach wyróżnia się, w kategoriach sejsmologicznych, zjawiska sejsmiczne słabe, niewyczuwalne przez ludzi, które rejestrują wyłącznie specjalne urządzenia pomiarowe, i bardzo silne wstrząsy, o charakterze słabych trzęsień ziemi. W przypadku najsłabszych wstrząsów energia sejsmiczna jest rzędu 10² J (magnituda 0,0), a dla najsilniejszych wstrząsów energia wynosi około 10⁹–10¹⁰ J (magnituda 4,0–4,5). Od lat 50. Główny Instytut Górnictwa w Katowicach prowadzi rejestrację wstrząsów górotworu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W blisko 40 kopalniach funkcjonują kopalniane sieci sejsmologiczne. Wstrząsy parasejsmiczne powinny być uwzględniane przy projektowaniu niektórych obiektów, zgodnie z wymaganiami normy Eurokod 8.

Odpady wytwarzane w trakcie eksploatacji i przeróbki węgla kamiennego, tzw. odpady powęglowe, stanowią pływne skały karbońskie, towarzyszące pokładom węgla kamiennego. Odpady powęglowe powstają we wszystkich fazach rozwoju kopalń i eksploatacji złóż, począwszy od głębiania szybów poprzez udostępnianie pokładów przekopami, oraz we wszystkich operacjach technologicznych związanych ze wzbogacaniem urobku węglowego wydobytego na powierzchnię. Odpady te, zgodnie z Ustawą o odpadach (Dz.U. 2010 r. Nr 185 poz. 1243 z późn. zm.), nie są zaliczane do odpadów niebezpiecznych.

Wyróżnia się dwa rodzaje odpadów powęglowych: odpady górnictwa i przerobcze. Odpady górnictwa (z robót szybowych i przekopów) charakteryzują się dużą zmiennością składu petrograficznego, ponieważ pochodzą z wyrobisk

prowadzonych w kierunku największej zmienności petrograficznej górotworu. Skład ziarnowy tego materiału skalnego mieści się w przedziale 0–500 mm. Zawartość substancji palnej jest zróżnicowana również w stopniu wysokim. Odpady przerobcze (gruboziarniste i drobnoziarniste, poflotacyjne oraz muły z obiegów wodno-mułowych) pochodzą z procesów wzbogacania urobku surowego według różnych technologii, charakteryzują się większą stabilnością składu chemicznego, mineralogicznego i petrograficznego.

Podziemna eksploatacja jest kojarzona najczęściej z wydobyciem kopalni z głębokości kilkuset metrów lub większej. Jednakże część prac górniczych (zwłaszcza sprzed 100 i więcej lat) odbywa się również na mniejszej głębokości. Jeśli nie przekracza 80 m, to stwarza specyficzne problemy dla powierzchni terenu. Na ogół są to nie sygnalizowane zapadliska, ujawniające się w bardzo różnym czasie po zakończeniu eksploatacji. Znane są również przypadki rozpoznania bardzo płytkiej eksploatacji (poniżej 50 m), która jest wykrywana wierceniami jako pustki. Dla niektórych obiektów ten rodzaj degradacji jest najbardziej niebezpieczny. Płytką eksploatacją jest często przyczyną dużych przeobrażeń środowiska geologicznego. Dotyczy to zwłaszcza krążenia wód podziemnych, wyzwiania sufozji chemicznej i mechanicznej. Na terenie GZW jest wiele rejonów, gdzie prowadzono płytką eksploatację węgla kamiennego, łącznie z wychodniami. Na terenie województwa śląskiego jest pięć obszarów, gdzie taką eksploatację prowadzono. Ich inwentaryzację wykonał Główny Instytut Górnictwa w 1989 roku.

Obszar I, pas o długości 35 km i szerokości około 10–15 km, biegnący w najbardziej zurbanizowanych terenach pomiędzy Zabrzem a Jaworzniem. W jego obrębie węgiel wybierano w parcelach o różnych rozmiarach i kształcie. Stosowano różne systemy eksploatacji zawałowej. W zachodniej i południowej części pasa węgiel eksploatowano głównie w pokładach grupy 400 (warstwy rudzkie). Na pograniczu Rudy Śląskiej i Zabrze-Biskupic eksploatowano pokład 501. W części centralnej pasa (Lipiny, Katowice, Siemianowice Śląskie) eksploatowane były głównie pokłady grupy 500 (warstwy siodłowe). Grubość wybieranej warstwy węgla w poszczególnych pokładach zmieniała się od 2 do 9 m. Na tym obszarze działalność górniczą prowadziły kopalnie węgla kamiennego: Pstrowski, Miechowice-Bobrek, Rozbark, Siemianowice, Zabrze-Bielszowice, Wawel, Barbara-Chorzów, Polska-Wirek, Pokój, Makoszowy (część północno-wschodnia) i Katowice-Kleofas (część północna).

W części południowo-wschodniej pasa eksploatowano węgiel z pokładów grupy 300 i 400 (o grubości od 1,5 do 4 m) oraz lokalnie grupy 200 i 500. W południowej części Sosnowca oraz na pograniczu Katowic i Sosnowca eksploatację prowadzono w pokładach 501, 510 i 620. Lokalnie grubość wybieranej warstwy węgla sięgała 8,5 m. Na obszarze tym działalność górniczą prowadziły kopalnie węgla kamiennego: Wujek, Wieczorek, Siemianowice, Niwka-Modrzejów, Murcki, Staszic, Katowice, Kazimierz-Juliusz, Mysłowice, Wesola, Jan Kanty i Jaworzno.

Obszar II, stanowiący północne obrzeże GZW, ciągnie się wąskim pasem pomiędzy Wojkowicami a Sosnowcem.

Najgrubszy pokład 510 miał miąższość 9 m. Obszar obejmuje działalność kopalni Grodziec i Paryż.

Obszar III składa się z dwóch oddzielnych obszarów – pierwszy w rejonie Tychy–Łędziny (pokłady eksploatowane przez kopalnię Ziemowit), a drugi w rejonie Chelma Śląskiego.

Obszar IV obejmuje tereny zlokalizowane pomiędzy Orzeszem, Mikołowem i Tychami, gdzie wychodnie urabiało również metodą odkrywkową.

Obszar V obejmuje tereny kopalni Rydułtowy, Chwałowice i Marcel. Płytkie wydobycie węgla trwało tu prawie 65 lat, licząc od początku XX wieku.

Kopalnie podziemne istniały również w regionie wabrzyckim, lecz zostały całkowicie zlikwidowane, podobnie jak kopalnie barytu.

Należy również wspomnieć o płytkim wydobyciu rud cynku i ołowiu oraz rud żelaza.

Złoża rud cynku i ołowiu zlokalizowane były w czterech rejonach: bytomsko-tarnogórskim, bolesławsko-olkuskim, chrzanowskim i zawierciańskim. Pierwsze historyczne dokumenty o działalności górniczej pochodzą z XII w. (rejon bytomsko-tarnogórski) oraz z XIII w. (rejon bolesławsko-olkuski i chrzanowski). Pierwotnie eksploatacja górnicza odbywała się metodą odkrywkową. W XVI w., po zastosowaniu metody odwadniania górotworu za pomocą sztolni, wydobywanie rudy prowadzono poniżej zwierciadła wód gruntowych metodą szybikowo-komorową. W rejonie bytomsko-tarnogórskim działalność górnicza została zakończona w 1989 r.

Obszar eksploatacji rud żelaza w rejonie Częstochowy w większości znajduje się w Obniżeniu Wierciańsko-Prośnińskim, należącym do Wyżyny Śląskiej. W obrębie tego rejonu działalnością górniczą objęto obszar między Żarkami a Kłobuckiem oraz na północ od Zawiercia, o łącznej powierzchni około 200 km². Do końca XVIII w. eksploatacja rud żelaza była prowadzona systemem odkrywkowym. Na przełomie XVIII i XIX stulecia rozpoczęto wydobywanie rud żelaza systemem szybikowym, a pod koniec XIX w. systemem chodnikowym. Najintensywniejsza eksploatacja odbywała się w latach 1950–1968 (21 czynnych kopalni). W 1982 r. działalność górniczą zakończyła ostatnia kopalnia – Wręczyca.

Rozwój górnictwa rud żelaza w rejonie częstochowskim spowodował bardzo duże zmiany, szczególnie w środowisku wodnym oraz ukształtowaniu powierzchni terenu. W okresie trwania eksploatacji połączonej z intensywnym odwadnianiem wyrobisk górniczych (lata 60. i 70. XX w.) ukształtowały się nowe warunki geologiczno-inżynierskie. Po zaprzestaniu eksploatacji górniczej i odwadniania wyrobisk warunki te uległy gwałtownej zmianie, co doprowadziło do nowych, negatywnych zmian w ukształtowaniu i użytkowaniu powierzchni terenu oraz zmian w obrębie wód powierzchniowych i podziemnych, zauważalnych do dnia dzisiejszego.

Górnictwo podziemne prowadzi do znacznych zmian i degradacji środowiska, a głównym oddziaływaniem jest pozostawienie pustek w górotworze, niecek osiadań i zalewisk

oraz składowisk skały płonnej. Sporządzanie dokumentacji geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji wymaga przede wszystkim analizy dawnej działalności górniczej. Badania właściwości fizyczno-chemicznych materiału zgromadzonego na hałdach często wykazują ich negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze. Wpływ ten objawia się przede wszystkim degradacją gleb w bezpośrednim sąsiedztwie hałd oraz zmianami chemizmu wód podziemnych i powierzchniowych, wywołanymi przeobrażeniami różnych związków chemicznych w procesach wietrzenia – zwłaszcza rozkładem pirytu i powstawaniem siarczanów. Właściwości buforowe skał ilastych zgromadzonych na hałdach mogą być przyczyną, przy nieznacznym obniżeniu pH środowiska, uruchomienia metali ciężkich obecnych w osadzie, stanowiących poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Systematyczne badania zawartości metali ciężkich w utworach budujących hałdy nie były dotychczas prowadzone, ale stwierdzono znaczne koncentracje cynku oraz niewielkie ołowiu, miedzi i molibdenu. Ustalenie rozmiarów koncentracji i możliwości przemieszczania do gleb i wód metali ciężkich, a także związków toksycznych występujących na hałdach wymaga bardzo dokładnych badań w aspekcie określenia ich szkodliwego oddziaływania na środowisko.

2.4.2.2. Górnictwo odkrywkowe

Odkrywkowa eksploatacja węgla brunatnego, siarki i innych kopalin to znacząca ingerencja człowieka w litosferę wraz z jej systemem hydrogeologicznym oraz biologicznie czynną powierzchnią ziemi. Przekształca ona w dużym stopniu wszystkie elementy środowiska w rejonie bezpośredniej działalności górniczej, a także częściowo na terenach przyległych. Jednym z poważniejszych problemów związanych z odkrywkową eksploatacją i spalaniem węgla brunatnego jest negatywny wpływ tych procesów na środowisko przyrodnicze. Eksploatacja powoduje naruszenie powierzchni, trwałe i przejściowe zmiany w systemie wód powierzchniowych i podziemnych, a w wyniku spalania powstają odpady – popioły z elektrowni.

Szczególnym przykładem jest odkrywkowa eksploatacja węgla brunatnego. Pozostawia ona znaczne obszary zdegradowane w postaci hałd, głębokich wyrobisk, leja depresji, czego skutkiem jest zaburzenie stosunków wodnych na znacznym obszarze. Podobne zdegradowanie obszaru pogórniczego występuje w przypadku odkrywkowej eksploatacji siarki (zrekultywowany już obszar kopalni Machów), ale również i otworowej. W tym przypadku mamy do czynienia dodatkowo ze skażeniem chemicznym.

Negatywne skutki oddziaływania kopalń odkrywkowych węgla brunatnego w zakresie geologii inżynierskiej definiowane są następująco (Kasztelewicz, Zajączkowski, 2010):

- wydobycie pokładów węgla brunatnego oraz przemieszczanie znacznych ilości nadkładu powoduje wielkoprzestrzenne przekształcenia krajobrazu: powstaje zwałowisko zewnętrzne oraz wyrobisko eksploatacyjne poniżej pierwotnego ukształtowania

terenu; powoduje to zmiany krajobrazu, pejzażu i mikroklimatu;

- głębokie odwodnienia górotworu oraz powierzchniowe odwodnienia odkrywki i zwałowisk wywołują zmiany stosunków wód podziemnych i powierzchniowych; występuje również oddziaływanie na jakość wód w zewnętrznej sieci hydrograficznej;
- na skutek wglębnego odwodnienia górotworu i naruszenia pierwotnych układów statycznych w górotworze w otoczeniu kopalni następują deformacje powierzchni;
- przemieszczenia mas ziemnych w procesie górnictwa powodują degradację jakości gruntów pod względem rolnym i leśnym, trwałe i czasowe wyłączenie z użytkowania gruntów rolnych i leśnych, przeobrażenie ziemi i zmiany morfologiczne.

Duże zdegradowanie terenu występuje także przy eksploatacji niektórych surowców skalnych, choć przy prawidłowej i dobrze przeprowadzonej rekultywacji obszary takie nabierają niekiedy nowych funkcji, jako obszary leśne lub wodno-rekreacyjne.

Wypełnione wodą wyrobiska oraz nadpoziomowe składowiska nadkładu złoża i odpadów kopalnianych przekształcają nieodwracalnie budowę geologiczną, warunki wodne, krajobraz, mikroklimat i sposób użytkowania terenu. Obszar leja depresji wielokrotnie przekracza powierzchnię odkrywki kopalnianej. Przyrodnicze skutki leja depresji zależą od charakteru pokrywy glebowo-roślinnej w jego zasięgu, a największe zmiany występują na terenach podmokłych (bagiennych) i podmokłych użytkach zielonych oraz na glebach piaszczystych. Wpływ bełchatowskiej kopalni węgla brunatnego na degradację ekosystemów bagiennych i trawiastych jest wyjątkowo duży, aczkolwiek wraz z eksploatacją odkrywki zmienia się zasięg leja i w niektórych rejonach już obserwuje się powrót wód gruntowych do poziomu zbliżonego do pierwotnego.

Eksploatacja węgla brunatnego w Polsce jest prowadzona wyłącznie metodą odkrywkową. Odkrywki kopalń węgla brunatnego są bardzo dużymi obiektami, o powierzchni od 6 do ponad 20 km² (fig. 2.21). Bieżącym efektem działalności górnictwa węgla brunatnego jest całkowita zmiana krajobrazu (powstawanie ogromnych wyrobisk o głębokości dochodzącej do 300 m – odkrywka Bełchatów), zwałowiska zewnętrznego (np. Góra Kamińska o wysokości prawie 200 m i powierzchni 1480 ha), jak również znaczne obniżenie zwierciadła wód podziemnych na dużym obszarze na skutek działania systemu odwadniającego wyrobisko.

Efektom końcowym po zakończeniu eksploatacji i rekultywacji będzie duży zbiornik wodny.

Powierzchnia odkrywki Bełchatów to około 2500 ha. W wyrobisku jest 11 poziomów eksploatacyjnych o wysokości pięter do 30 m. Na zwałowisku zewnętrznym Góra Kamińska zdeponowane jest 1 350 mln m³ gruntów nadkładu. Złoże odwadniane jest systemem studni głębinowych (ok. 300), które ujmują rocznie 200 mln m³ wody, 500 tys. m³/d. Lej depresji jest znacznie mniejszy niż początkowo projektowano i ma kształt elipsy o osiach NS – 18,5 km, WE – 38 km.

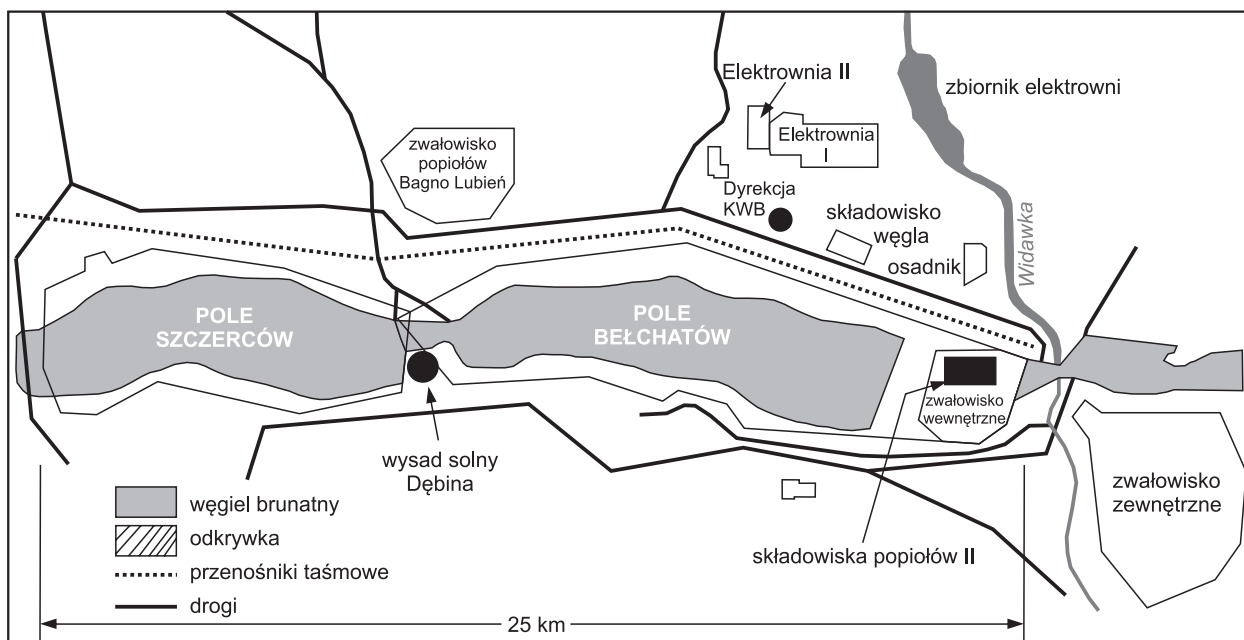


Fig. 2.21. Plan sytuacyjny PGE KWB Belchatów wraz z elektrownią i składowiskiem popiołów oraz zwałowiskiem zewnętrznym Góra Kamięńska (Wysokiński, 2008)

Według Kasztelewicza i Zajączkowskiego (2010) działające kopalnie węgla brunatnego zajmują ok. 35 tys. ha, w tym: Adamów 5900 ha, Belchatów 10 500 ha, Konin 13 200 ha, Turów 5200 ha. Można zatem przyjąć, że ok. 350 km² zostało zdegradowane i wymagać będzie rekultywacji.

Rekultywacja tych obszarów była prowadzona dotychczas w dwóch kierunkach:

- leśnym – np. Góra Kamięńska (zwałowisko zewnętrzne kopalni Belchatów), zwałowisko kopalni Turów ok. 2200 ha;
- wodnym – zbiorniki wodne kopalń zagłębia konińskiego i adamowskiego (Adamów 150 ha, Turów – w projekcie – ok. 1800 ha, Konin ok. 110 ha i dodatkowo projektowane 475 ha), kopalnia Belchatów – po 2050 r. ma powstać zbiornik o powierzchni ok. 32 tys. ha i pojemności 2400 km³, którego wypełnianie wodą zajmie ok. 60 lat, a gdy skieruje się do niego wody Warty – ok. 20 lat (Wysokiński, 2010).

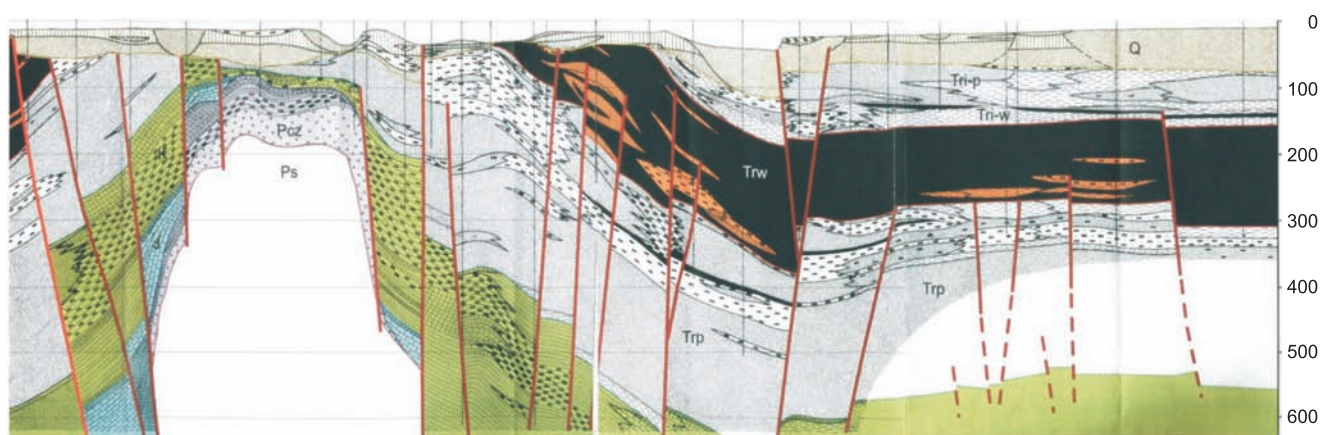
Nowym kierunkiem, który jest stosowany od niedawna, jest kierunek budowlany i rekreacyjny. Tereny zwałowiska są atrakcyjne dla lokalizacji siłowni wiatrowych oraz terenów sportowych (np. wyciągi narciarskie, trasy rowerowe, motocrossowe itp.). Wcześniej w Polsce nie były one brane pod uwagę przy projektowaniu, głównie ze względu na złożone warunki formowania zwałów, relatywnie krótki czas od momentu zakończenia zwałowania oraz dużą wysokość nasypów.

Degradacja terenu przez kopalnie odkrywkowe to nie tylko wyrobisko, osuszenie ogromnego obszaru przez lej depresji, ale również konieczność zagospodarowania popio-

łów z elektrowni i potencjalne niebezpieczeństwo wtórnej degradacji, np. powstawanie osuwisk na zboczach zbiorników wodnych po ich wypełnieniu wodą. Kąt nachylenia skarp kopalni Belchatów wynosi ok. 14° (1:4). Mimo tego łagodnego nachylenia na skarpach występuje wiele osuwisk, które utrudniają eksploatację i nie pozwalają nawet na tymczasową zabudowę i prowadzenie przez nie instalacji – taśmociągów, rurociągów, studni itp. W przypadku kopalni Belchatów dochodzą do tego jeszcze problemy związane z możliwym uruchomieniem wysadu solnego (fig. 2.22) oraz trzęsienia ziemi.

Odwodnienie górotworu, mimo sprawnego działania, nie jest w stanie w pełni osuszyć gruntów. W osadach pozostają tzw. wody resztkowe, związane z wklęsłymi strukturami sedymentacyjnymi i pułapkami strukturalnymi. Ponadto infiltracja z wód opadowych systematycznie zasila górotwór. Wody infiltracyjne gromadzą się nad osadami nieprzepuszczalnymi i formują naturalne baseny. Prace eksploatacyjne prowadzą do otwierania wspomnianych pułapek lub basenów. Wody wypływające z nich na skarpy sprawiają kopalni wiele trudności i powstające osuwiska wymagają niekiedy przesuwania zasięgu obszaru górniczego, monitorowania terenu w zakresie często większym, niż planowano. Z danych Rocznika statystycznego (2011) wynika, że szkody górnicze spowodowane w wyniku eksploatacji węgla brunatnego objęły 451 obiektów. Ich usunięcie stanowiło zaledwie 5% ogólnych kosztów szkód górniczych.

Koszty rekultywacji i rewitalizacji tych obszarów powinny być zabezpieczone, a środkiem do osiągnięcia tego celu jest wprowadzona w prawie geologicznym i górniczym instytucja funduszu likwidacji zakładów górniczych. Sposób likwidacji kopalni oraz rekultywacji i rewitalizacji obszaru



Q – czwartorzęd, Tri-p – trzeciorzęd ropy i piaski, Tri-w – trzeciorzęd ropy węglowej, Trw – trzeciorzęd węgla, Trp – trzeciorzęd piaski, Pcz – perm czapa gipsowa, Ps – perm sole

Fig. 2.22. Schematyczny przekrój przez wysad solny KWB Bełchatów (Wysokiński, 2008)

pokopalnianego powinien być ukierunkowany już na etapie projektowania kopalni.

W odniesieniu do starych kopalń programy i zakres rewitalizacji obszarów zdegradowanych są opracowywane dopiero po zakończeniu eksploatacji.

W zakresie rewitalizacji obszarów pokopalnianych możliwe są dwa podejścia. Jedno, tradycyjne, zakłada przywrócenie obszaru pokopalnianego do stanu sprzed eksploatacji. Jest to podejście często nierealne, również i z ekonomicznego punktu widzenia (Wysokiński, 2010). Drugie podejście, obecnie dominujące, dąży do uzyskania obszaru po rewitalizacji innego niż przed podjęciem eksploatacji, co nie znaczy, że gorszego. Wykorzystuje się tu pewne naturalne walory, które zostały nadane obszarowi w czasie pracy kopalni. I tak hałda powstała w pierwszych latach pracy kopalni z powodzeniem może służyć jako ośrodek sportów zimowych czy farma wiatrowa (np. PGE KWB Bełchatów). Odkrywka zalana wodą może być udostępniona sportom wodnym (niektóre odkrywki w rejonie Konina, odkrywka siarki w Machowie).

Całość można zalesić i stworzyć nawet atrakcyjniejszy środowiskowo obszar niż ten przed eksploatacją złoża. Możliwe są tu różne kombinacje docelowego zagospodarowania, niekiedy połączone także i z rekultywacją rolniczą, a w pewnych przypadkach nawet z przeznaczeniem obszaru pod zabudowę mieszkaniową, przemysłową czy handlową.

Działania górnicze zawsze wnoszą w geologię i środowisko czynnik nieodwracalności. Jeżeli wydobywamy i wykorzystujemy złoża, nie można mówić o ich odnawialności; ogromne zmiany dotyczą też przekształceń krajobrazu. Dlatego też bardzo istotne jest podejmowanie działań związanych z rekultywacją. Perspektywą, jaką realnie zakładamy, jest na ogół 50 lat. Jednak nawet dla tak krótkiego okresu czasu nie sposób dziś przewidzieć, jak zmienią się warunki, potrzeby i zagrożenia (Wysokiński, 2010).

Obecnie, przy rozwoju zrównoważonym, zwraca się większą uwagę na całe życie danego obiektu – od jego powstania aż do pełnej rekultywacji.

2.4.2.3. Przemysł chemiczny

Degradacja chemiczna terenu może mieć przede wszystkim charakter antropogeniczny lub rzadziej naturalny. Na degradację chemiczną wpływają substancje zanieczyszczające występujące w fazie stałej, ciekłej i gazowej. Degradacja powierzchni i strefy przypowierzchniowej jest nieodłączną częścią gospodarczej i bytowej działalności człowieka, począwszy od starożytnych cywilizacji. Głównymi skutkami degradacji przez przemysł są:

- zniekształcenie struktury budowy geologicznej i rzeźby terenu,
- zmiana warunków hydrogeologicznych, geologiczno-inżynierskich, termicznych, solarnych, właściwości atmosfery,
- zmiana chemizmu gleb, gruntów i skał,
- zmiany ekosystemów, świata roślin i zwierząt.

W literaturze przedmiotu wyróżnia się cztery stopnie degradacji podłoża gruntowego (Sombroek, 1995):

- degradacja lekka – podłoże gruntowe ma częściowo ograniczoną przydatność rolniczą, bez naruszania naturalnych funkcji biologicznych; przywrócenie działalności rolniczej jest możliwe przez modyfikację systemu gospodarowania i zarządzania terenem;
- degradacja umiarkowana – podłoże gruntowe ma znacznie ograniczoną przydatność rolniczą i jednocześnie częściowo naruszone funkcje biologiczne, a przywrócenie pierwotnych cech podłoża wymaga zabiegów inżynierskich;
- degradacja silna – podłoże gruntowe jest nieprzydatne rolniczo; ma znacznie naruszone naturalne funkcje biologiczne i utraconą odporność na działanie czynników zewnętrznych;
- degradacja ekstremalna – naturalne funkcje biologiczne i odporność na zanieczyszczenia są całkowicie zatracone.

W badaniach obszarów zdegradowanych chemicznie należy określić ogniska, rodzaj i charakterystykę zanieczyszczeń oraz określić ich migrację w zmieniającym się

środowisku przyrodniczym, np. suchym i nawodnionym. Wpływ zanieczyszczeń chemicznych na parametry geologiczno-inżynierskie powinien być każdorazowo określany przy ocenie przydatności podłoża gruntowego dla celów budowlanych.

Zagrożenia chemiczne, stanowiące ryzyko degradacji terenu, to głównie:

- urządzenia do poszukiwania i eksploatacji ropy i gazu ziemnego,
- rurociągi przesyłowe ropy, gazu oraz produktów naftowych,
- terminale przeładunkowe i bazy magazynowe ropy i gazu,
- rafinerie, porty morskie i lotnicze oraz stacje paliw,
- bazy i poligony wojskowe,
- magazyny substancji niebezpiecznych,
- zakłady przemysłowe, przede wszystkim przemysłu chemicznego, hutniczego i energetycznego,
- zakłady przemysłu skórzanego, zwłaszcza garbarnie,
- składowiska odpadów przemysłowych i komunalnych (powierzchniowe i podziemne), mogielniki,
- drogi samochodowe oraz szlaki kolejowe,
- zanieczyszczenia rolnicze związane z nawożeniem i ochroną roślin w XX w.

Osobną grupę przyczyn powstania zanieczyszczeń podłoża stwarzają najczęściej jednorazowe i krótkotrwałe zdarzenia losowe wynikające z klęsk żywiołowych: awarie instalacji, katastrofy tankowców i chemikaliowców, katastrofy cystern samochodowych i kolejowych, celowe uszkodzenia rurociągów produktów ropopochodnych.

Duży wpływ na degradację terenu mają odpady przemysłowe i wydobywcze:

- popioły i żużle z elektrowni i elektrociepłowni,
- odpady powęglowe i zakładów przetwórczych węgla kamiennego,
- osady poflotacyjne: powęglowe, pomiedziowe, posiarkowe i inne,
- fosfogipsy,
- odpady pohnitnicze żelaza, stali i metali nieżelaznych,
- odpady medyczne.

Duże ilości gazów (SO_2 , związki azotu NO_x , węglowodory) pośrednio mogą wpływać na degradację gleb i gruntów. Gazy te wtórnie przedostają się do środowiska geologicznego, zanieczyszczając je. Zagrożenia dla środowiska stanowią również przywożone nielegalnie z zagranicy odpady przemysłowe bądź komunalne.

Na powiększenie obszarów zdegradowanych wpływają klęski żywiołowe, głównie powodzie, w wyniku których niszczone są składowiska odpadów i wypłukiwane substancje toksyczne. Wypłukiwane i przemieszczane są też substancje i odpady znajdujące się na posesjach.

Wpływ na przemieszczanie się zanieczyszczeń i rozprzestrzenianie się obszarów zdegradowanych ma charakter wykształcenia gruntów i skał. Najłatwiej zanieczyszczenia przenikają przez grunty przepuszczalne i spękane skały. Obszary takie powinny być szczególnie zabezpieczone przed przemieszczaniem się zanieczyszczeń, zwłaszcza ciekłych

i gazowych. Zanieczyszczenie substancjami stałymi powstaje najczęściej w wyniku mechanicznych przekształceń różnych gruntów i może występować w postaci rozproszonej lub skupionej w formie gniazd.

Istotnym czynnikiem zanieczyszczenia środowiska i jego degradacji są substancje organiczne, odcieki ze składowisk komunalnych lub związane z hodowlą zwierząt, gdzie ważnym wskaźnikiem jest odczyn (pH) i BZT_5 .

Szczególnym, godnym odnotowania przypadkiem degradacji chemicznej są Zakłady Chemiczne Tarnowskie Góry (68 ha). Teren zakładu i jego okolice zostały skażone odpadami toksycznymi, między innymi składowanymi na 10 składowiskach. Były to głównie trucizny i substancje kancerogenne, takie jak bar (53 500 Mg), stront (ponad 1000 Mg), cynk (52 000 Mg), arsen (do 1000 Mg) i inne. Skażone również były konstrukcje obiektów zakładu (Wysokiński, Majer, 2002).

Zagadnienie unieszkodliwiania tak dużego zagrożenia w tak dużej skali jest przedsięwzięciem niespotykanym i nietypowym nie tylko w Polsce, ale i na świecie. Szczególnie, że warunki geologiczno-inżynierskie terenu są wyjątkowo mało korzystne. W obrębie zakładu i na terenie przyległym zaprojektowano wykonanie składowiska odpadów niebezpiecznych, odpowiednio izolowanego, gwarantującego bezpieczeństwo dla środowiska. Docelowa powierzchnia składowiska to 16 ha, wysokość 17 m. W obrębie składowiska znalazły się między innymi rozebrane, skażone konstrukcje obiektów fabrycznych.

Gospodarka odpadami w Polsce daleko odbiega od standardów europejskich. Jeszcze zbyt mało odpadów jest wykorzystywanych gospodarczo, a unieszkodliwianie odbywa się głównie poprzez składowanie. Z danych statystycznych i dokonywanych ocen oddziaływania na środowisko wynika, że struktura składowania w Polsce jest wyjątkowo niekorzystna. Obok wielkich w skali europejskiej składowisk istnieje duża liczba składowisk małych, o powierzchni poniżej 3 ha. Większość eksploatowanych składowisk nie ma odpowiedniej izolacji, infrastruktury i usprzętowania. Wszystkie te czynniki powodują, że oddziaływanie składowisk na środowisko, szczególnie geologiczne, jest niekorzystne i prowadzi do degradacji chemicznej terenu. Małe składowiska, lokalizowane przypadkowo, bez uwzględnienia warunków środowiskowych, stanowią w większości poważne zagrożenie dla środowiska, najczęściej ze względu na brak odpowiednich barier izolacyjnych, urządzeń technicznych, dozoru i monitoringu oddziaływania. Postuluje się, aby, szczególnie w zakresie odpadów komunalnych, budować składowiska duże w skali jednego powiatu, a nie gminy, jak to jest obecnie praktykowane.

Wybór lokalizacji nowych składowisk powinien wynikać z uwarunkowań środowiskowych i zagospodarowania terenu. Pomocna może się tu okazać Mapa geośrodowiskowa Polski w skali 1:50 000. Przy projektowaniu składowisk obserwuje się niedostateczne rozpoznanie właściwości materiału deponowanego, co powoduje, że często trudno jest określić stopień zagrożenia materiału dla środowiska oraz możliwości wykorzystania jego właściwości konstrukcyj-

nych. Projektowanie nowego składowiska czy modernizacja istniejącego powinny być oparte na określonych przepisami udokumentowaniu warunków geologicznych, zawartych w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i hydrogeologicznej. W dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich szczególną uwagę należy zwrócić na możliwość występowania czynnych procesów geodynamicznych. Procesy te należy rejestrować, prognozować ich dalszy rozwój i odpowiednio im przeciwdziałać. Dokumentowanie warunków geologicznych, jego zakres i dokładność rozpoznania powinny zależeć od określonego ustawą rodzaju składowiska. Należy również zróżnicować wymogi co do właściwości izolacyjnych podłoża. W skali całego kraju należy dokonać rejestracji złóż i ocenić możliwości pozyskiwania w obrębie poszczególnych województw co najmniej dwóch złóż gruntów mogących stanowić sztuczne bariery izolacyjne. Wybór musi być poprzedzony odpowiednio ukierunkowanymi badaniami geologicznymi. Wszędzie, gdzie jest to możliwe, zamiast likwidacji składowisk niespełniających kryteriów, należy je modernizować przez różnego typu zabiegi geoinżynierskie.

2.4.2.4. Infrastruktura liniowa

W świetle ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. z 2010 r. Nr 243 poz. 1623 art. 3 pkt 3a) obiektem liniowym jest obiekt budowlany, którego charakterystycznym parametrem dominującym jest długość. Są to obiekty nadziemne, podziemne i podwodne. Do obiektów liniowych zalicza się: drogi wraz ze zjazdami, mosty, wiadukty, tunele oraz linie kolejowe, wały przeciwpowodziowe, a także wodociągi, sieci kanalizacyjne, rowy melioracyjne, gazociągi, ciepłociągi, rurociągi, linie i trakcje elektroenergetyczne i sieci telekomunikacyjne.

Zmiany w środowisku gruntowo-wodnym w wyniku budowy i eksploatacji obiektów liniowych mogą mieć charakter bezpośredni (zmiany rzeźby terenu) i pośredni (zanieczyszczenie gruntu), mogą być krótkotrwałe (czas budowy) i długotrwałe (czas eksploatacji) oraz mogą mieć skutki odwracalne (wykopy pod instalacje podziemne, prace odwodnieniowe) i nieodwracalne (likwidacja warstwy gleby i zastąpienie jej nawierzchnią, zmiany krajobrazowe).

Z obiektami liniowymi związane są również zagrożenia o charakterze nagłym, niespodziewanym („poważne awarie” w rozumieniu ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska – Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150 z późn. zm., art. 3 pkt 23), do których należy zaliczyć wycieki znacznych ilości substancji szkodliwych w wyniku wypadków drogowych i kolejowych (cystern), przerwania rurociągów, pożary przyległych lasów, eksplozje itp., powodujące degradację terenów przyległych. Prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest stosunkowo niewielkie, jednak konsekwencje bywają bardzo poważne (Bohatkiewicz red., 2008).

Przykładem takiej awarii była katastrofa kolejowa w sierpniu 1997 r. na szlaku Rembertów–Zielonka, w wyniku której do środowiska gruntowo-wodnego z uszkodzonych cystern kolejowych przedostało się 15 ton etyliny. W wyniku

podjętych wówczas badań geologicznych i sozologicznych określono zasięg strefy zanieczyszczonej na powierzchni około 2000 m² (Kucharski, 1999).

Budowa i późniejsza eksploatacja obiektów infrastruktury liniowej niemal zawsze wiąże się z degradacją terenu:

- dewastacja gleby: zdjęcie warstwy humusowej, zmiany struktury i porowatości gleby w trakcie prac rekultywacyjnych;
- przekształcenia rzeźby terenu: wykopy i nasypy drogowe/kolejowe, osiadania gruntu po niedostatecznym zagęszczeniu zasypanych wykopów pod infrastrukturę podziemną, wydobywanie kopaliny do budowy dróg, przekształcenia rzek, w tym regulacja koryta i zabudowa brzegów;
- zmiana warunków hydrogeologicznych: prace odwodnieniowe, zmniejszenie lub zwiększenie infiltracji;
- zanieczyszczenia chemiczne gleb, gruntów, wód powierzchniowych i podziemnych oraz roślinności w trakcie eksploatacji obiektu w wyniku infiltracji substancji szkodliwych z różnych źródeł, w tym także w wyniku „poważnych awarii”;
- inne czynniki, takie jak: emisja zanieczyszczeń do powietrza, drgania, bariery dla migracji zwierząt.

Największe przekształcenia terenu, w większości o charakterze nieodwracalnym, niesie za sobą budowa dróg ekspresowych, autostrad i kolei (fig. 2.23). Ujawniają się one we wszystkich okresach realizacji: planowania i projektowania, budowy i modernizacji, eksploatacji, likwidacji oraz katastrof drogowych (Garlicki, Tracz, 1995). Po zakończeniu prac budowlanych teren ciągu komunikacyjnego zostaje częściowo zrehabilitowany, dotyczy to głównie skarp wykopów i zboczy nasypów. Dodatkowo, niewłaściwe lub niedostateczne zabezpieczenie robót drogowych oraz złe rozpoznanie warunków geologicznych i hydrogeologicznych może powodować wzmożenie procesów erozji, osuwiska, trwałe obniżenie zwierciadła wód gruntowych oraz awarie budowlane w trakcie realizacji (fig. 2.24, 2.25).



Fig. 2.23. Skala przekształceń terenu na potrzeby budowy autostrad



Fig. 2.24. Osuwisko na skarpie wykopu drogi ekspresowej

Eksploatacja dróg i autostrad niesie za sobą zagrożenia dla środowiska gruntowo-wodnego, głównie w zakresie skażenia chemicznego, mogące mieć charakter stały (związany z ruchem samochodowym) i sezonowy (zimowe utrzymanie dróg) oraz incydentalny (wycieki w wyniku wypadków) (Kołodziejczyk i in., 2009). Zanieczyszczenia te docierają do środowiska gruntowo-wodnego dwiema drogami: spływu powierzchniowego i poprzez osiadanie z powietrza. Pochodzą z różnych źródeł: od ruchu pojazdów oraz od obiektów towarzyszących (stacje paliw, miejsca obsługi podróżnych – MOP, stacje poboru opłat – SPO, obwody utrzymania autostrady – OUA, itp.). Do charakterystycznych wskaźników zanieczyszczeń drogowych zalicza się (Górski, Liszkowska, 1998): ChZT, amoniak, chlorki, metale ciężkie (Pb, Cd, Zn, Cr), substancje ropopochodne oraz siarczany. Spośród wymienionych zanieczyszczeń najczęściej spotykane i najistotniejsze z punktu widzenia geologii inżynierskiej są zanieczyszczenia substancjami ropopochodnymi. Ich obecność może znacząco wpływać na właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów (Zadroga, Olańczuk-Neyman, 2001).

Stopień wpływu inwestycji drogowych i kolejowych na warunki gruntowo-wodne zależy nie tylko od lokalnych warunków wzdłuż trasy (budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych) i rodzaju terenu, przez jaki przechodzi (obszary Natura 2000, wrażliwe ekosystemy), lecz także od klasy drogi, natężenia ruchu i ilości oraz rodzaju obiektów towarzyszących. Z tego względu stopień zdegradowania terenów w wyniku budowy i eksploatacji obiektów drogowych i kolejowych będzie różny. Do głównych czynników wpływających na stopień zagrożenia środowiska gruntowo-wodnego należy zaliczyć (Rodzoch, 2006):

- przepuszczalność warstw podłoża, która determinuje rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń,
- głębokość występowania wód gruntowych – zwłaszcza poziomu użytkowego,
- stopień izolacji poziomu użytkowego, od którego zależy stopień degradacji wód podziemnych.



Fig. 2.25. Utrata stateczności na budowie autostrady

W ocenie wpływu danej inwestycji liniowej na środowisko, w zależności od rodzaju gruntu i typu gleby, przyjmuje się 5-stopniową skalę odporności gruntów i gleb na zanieczyszczenia komunikacyjne (Bohatkiewicz red., 2008): bardzo dobra, dobra, średnia, słaba, bardzo słaba.

Gruntami o najniższej odporności na zanieczyszczenia komunikacyjne są grunty piaszczyste (fig. 2.26).

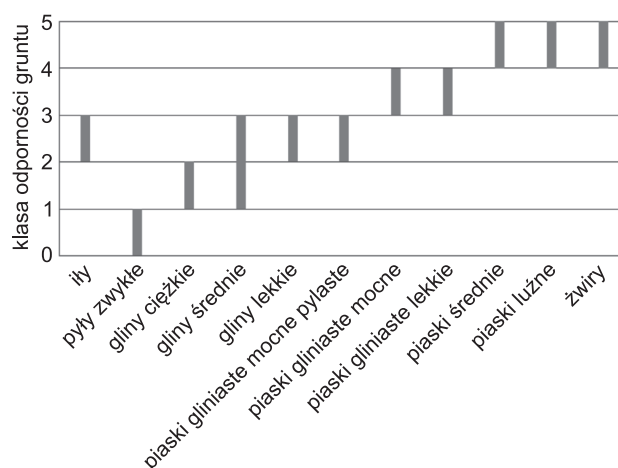


Fig. 2.26. Klasy odporności na zanieczyszczenia komunikacyjne w zależności od rodzaju gruntu (wg klasyfikacji glebowej; Bohatkiewicz red., 2008)

W przypadku wód podziemnych wyznacznikiem odporności na zanieczyszczenie mogą być: czas migracji wody z powierzchni do warstwy wodonośnej oraz miąższość nadległej warstwy słabo przepuszczalnej. W zależności od tych dwóch czynników przyjmuje się odpowiednio 5- lub 4-stopniową skalę podatności/odporności wód podziemnych na zanieczyszczenia (tab. 2.6, 2.7).

W przeciwieństwie do opisanych obiektów infrastruktury drogowej lub kolejowej, skutki prac związanych z budową urządzeń do przesyłania płynów, gazów, energii i infor-

Tabela 2.6

Klasy zagrożenia i odporności wód podziemnych (Kleczkowski, 1990 za Rodzoch i in., 2006)

Średni czas migracji wody z powierzchni do stropu warstwy wodonośnej [lata]	Symbol klasy	Stopień zagrożenia wód podziemnych	Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie	Odporność wód podziemnych na zanieczyszczenie
<2	A1	bardzo silnie zagrożone	bardzo wysoka	bardzo niska
2 – 5	A2	silnie zagrożone	wysoka	niska
5 – 25	B	średnio zagrożone	średnia	średnia
25 – 100	C	słabo zagrożone	niska	wysoka
>100	D	praktycznie nie zagrożone	bardzo niska	bardzo wysoka

Tabela 2.7

Uproszczona klasyfikacja odporności wód podziemnych na zanieczyszczenie w zależności od miąższości warstwy izolacyjnej (Rodzoch i in., 2006)

Symbol klasy	Miąższość osadów słabo przepuszczalnych* [m]	Stopień zagrożenia	Podatność na zanieczyszczenia	Odporność na zanieczyszczenia
A	<1	silnie zagrożone	wysoka	niska
B	1 – 15	średnio zagrożone	średnia	średnia
C	15 – 50	słabo zagrożone	niska	wysoka
D	>50	praktycznie nie zagrożone	bardzo niska	bardzo wysoka

* osady o współczynniku filtracji w przedziale 10^{-9} – 10^{-6} m/s

macji (nad- i podziemnych) nie wpływają tak znacząco na zmianę funkcji terenów, na których powstają. Przywrócenie pierwotnych właściwości użytkowych jest możliwe poprzez właściwe planowanie i wykonawstwo robót budowlanych (Cymerman i in., 2000).

Dzięki ustawowo określonej konieczności wykonywania opracowań środowiskowych dla obiektów liniowych oraz stosowaniu urządzeń zabezpieczających przed rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń (zbiorników retencyjnych, infiltracyjnych, rowów, osadników, powierzchni trawiastych), ich wpływ na warunki gruntowo-wodne można zminimalizować. Jednakże niektórych oddziaływań (np. na gleby – całkowite ich usunięcie) nie da się wyeliminować. Rekultywacja terenów zdegradowanych przez obiekty liniowe będzie miała specyficzny charakter, gdyż będzie to wąski, ale długi pas, przechodzący przez różne rodzaje terenu. Dlatego też rekultywacja polega najczęściej na stworzeniu warunków podobnych do tych, jakie występują w sąsiedztwie obszaru zajętego przez daną infrastrukturę, ewentualnie na adaptacji istniejących obiektów do innych celów (np. ścieżki rowerowe na wyspie Bornholm powstałe na dawnych nasypach kolejowych). W przypadku obiektów drogowych i kolejowych, przy których przekształcenia są znaczne, do rekultywacji skarp wykopów drogowych i kolejowych stosuje się inżynierskie

rozwiązania zabezpieczające przed osuwaniem oraz obsadza się roślinnością, pełniącą funkcję ochronną i rekultywacyjną.

W większości przypadków drogi w dalszym ciągu pełnią swoje funkcje (ewentualnie podlegają modernizacji) i terenów tych nie dokumentuje się pod kątem ich rekultywacji. Zabiegów tych wymagają niewątpliwie zdegradowane tereny nieczynnych linii kolejowych i obiektów towarzyszących (bocznice, rampy itp.) oraz osuwiska powstałe w wyniku budowy i eksploatacji obiektów liniowych.

2.4.2.5. Składowanie odpadów

Szczególne znaczenie jako miejsca degradacji, przede wszystkim chemicznej, mają składowiska i zwałowiska odpadów niebezpiecznych i innych niż obojętne i niebezpieczne (zgodnie z Ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach – Dz.U. z 2010 r. Nr 185 poz. 1243 z późn. zm.). Największy wpływ mają stare, przypowierzchniowe składowiska odpadów, wykonywane bez uwzględnienia naturalnych izolacyjnych warunków środowiskowych oraz specjalnie wykonywanych barier izolacyjnych. Należy podkreślić, że największe w Polsce składowiska mokre – Machów, Żelazny Most, Gilów – nie posiadają odpowiednich, uprzednio zaprojektowanych zabezpieczeń izolacyjnych.

Składowiska budowane po 2000 r. generalnie posiadają odpowiednie zabezpieczenia przed infiltracją zanieczyszczeń, mogą one jednak ulegać uszkodzeniom i wpływać na degradację terenu.

Wyróżnia się trzy rodzaje składowisk powierzchniowych: nadpoziomowe (formowane jedno- lub wieloetapowo), podpoziomowe, gdzie składowanie odbywa się w wyrobiskach poeksploatacyjnych lub obniżeniach terenu, oraz mieszane.

Poza tym przewiduje się składowanie w wyrobiskach podziemnych i głębokich strukturach geologicznych, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. w sprawie podziemnych składowisk odpadów (Dz.U. z 2011 r. Nr 298 poz. 1771). Oddziaływanie jednak tych ostatnich, poza strefą zatłaczania, nie powinno mieć wpływu na strefę podłoża budowlanego. Rodzaje składowisk pokazano na figurze 2.27.

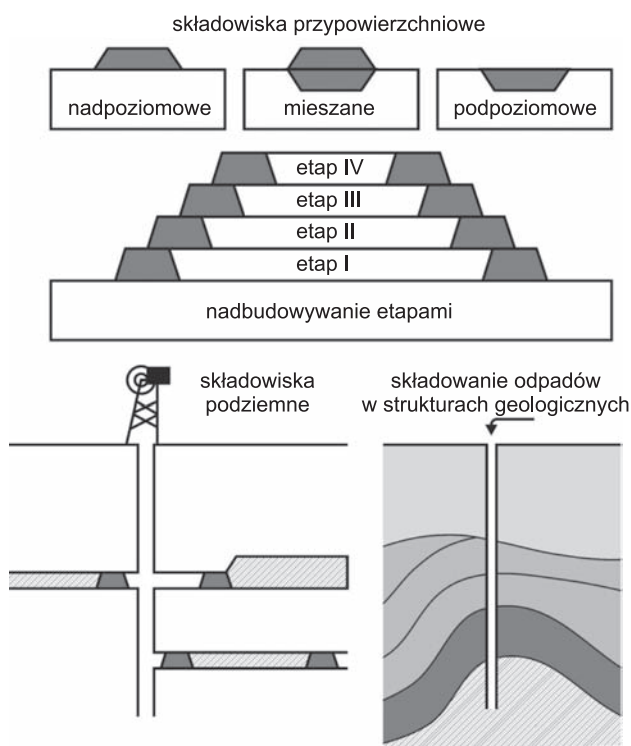


Fig. 2.27. Rodzaje składowisk

Liczba składowisk obecnie eksploatowanych jest szacowana na około 1200. Wielkość ich jest bardzo zróżnicowana i waha się od kilku do kilkuset hektarów. Strefa oddziaływania nie zawsze jest precyzyjnie określona, podobnie jak i pojemność.

Poza składowiskami i zwałowiskami, dla których określone są podstawy prawne eksploatacji, na degradację chemiczną terenu wpływają tzw. składowiska dzikie.

Składowanie na powierzchni

Do najważniejszych czynników rzutujących na funkcjonowanie nowych składowisk odpadów na powierzchni należy zaliczyć:

- wybór lokalizacji uwzględniający uwarunkowania środowiska, zagospodarowanie terenu, rodzaj składowanych odpadów, technologię składowania,
- badania geologiczne, geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne,
- rozwiązania izolacji składowiska (naturalne i sztuczne bariery geologiczne, geosyntetyki),
- monitoring składowiska,
- procedury likwidacji składowiska – rekultywacja i zagospodarowanie terenu.

Dla celów określających warunki modernizacji (uszczelnienie istniejącego składowiska, nadbudowa, zwiększenie stateczności zboczy itp.) istotne jest przeprowadzenie ukiepunkowanych badań geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych. Zastosowanych rozwiązań jest wiele, np. składowiska odpadów komunalnych Radiowo, Łubna i inne (Wysokiński, 1997).

Ze względu na składowanie odpadów w środowisku wodnym wyróżnić też należy tzw. składowiska mokre. Do odpowiednio przygotowanych kwater odpady są namywane i sedymentowane. W ten sposób składowane są często popioły z elektrowni oraz osady poflotacyjne, np. miedzi w Żelaznym Moście, a przedtem w Gilowie. Składowiska tego typu traktowane są jako budowle wodne, ale nie wymienia się ich w dokumentach dotyczących odpadów. Badania procesów samuszczelniania się składowisk mokrych prowadzi między innymi: Werno (1994), Drągowski, Cabalski i Radzikowski (2002), Majer i Wysokiński (2008).

Wybór lokalizacji składowisk jest bardzo ważną czynnością mającą wpływ na stan środowiska, zagospodarowanie terenu, koszty przedsięwzięcia, a także warunki i koszty przyszłej eksploatacji, chociażby ze względu na dowóz odpadów.

Problematyką tą, przedstawiając algorytmy wyboru lokalizacji, zajmowali się m.in.: Wysokiński (1996), Drągowski (1998) i Frankowski (1998).

Wymagania dotyczące lokalizacji zawiera Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny podlegać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. z 2003 r. Nr 61 poz. 549). W Rozporządzeniu szczegółowo określa się kryteria lokalizacji składowisk, uwzględniając to, czy są to składowiska odpadów niebezpiecznych, innych niż niebezpieczne i obojętne, jak również odpadów obojętnych.

Ustalenia Rozporządzenia muszą być przestrzegane, mimo że budzą pewne wątpliwości. Dotyczy to obszarów zaangażowanych glacitektonicznie lub tektonicznie i wychodni skał związanych porowatych jako wyłączonych z lokalizowania składowisk odpadów niebezpiecznych i innych niż obojętne i niebezpieczne. Wydaje się też, że teren o nachyleniu powyżej 10° nie powinien być jednoznacznie wykluczony jako miejsce składowania. Zgodnie z Ustawą z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. z 1995 r. Nr 16 poz. 78), ochronie powinny podlegać nie tylko gleby klas bonitacyjnych I i II, ale i III.

W Rozporządzeniu z 24 marca 2003 r. (Dz.U. z 2003 r. Nr 61 poz. 549) zaleca się, aby składowiska miały naturalną

barierę geologiczną uszczelniającą podłoże i ściany boczne. Dla składowisk odpadów niebezpiecznych miąższość naturalnej bariery powinna być nie mniejsza niż 5 m, a współczynnik filtracji $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s. W przypadku składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne miąższość bariery powinna być nie mniejsza niż 1 m, przy takim samym współczynniku filtracji.

Uwzględniając wymogi powyższego Rozporządzenia Państwowy Instytut Geologiczny wprowadził do Mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000 warstwę tematyczną „składowanie odpadów”, przedstawiając warunki lokalizacji dla wspomnianych trzech typów składowisk na każdym opracowanym arkuszu mapy.

Uwzględniając cel oraz skalę, na mapie wydzielono cztery typy obszarów:

- obszary, gdzie z uwagi na wymagania geologiczne obowiązuje bezwzględny zakaz lokalizowania składowisk wszelkich typów odpadów,
- obszary, gdzie na powierzchni lub płytko w podłożu występują grunty spełniające wymagania przyjęte dla naturalnych barier geologicznych,
- obszary pozbawione naturalnej warstwy izolacyjnej; lokalizacja składowisk wymaga tam zastosowania tzw. sztucznie wykonanych barier geologicznych lub syntetycznych uszczelnień,
- tereny zdegradowane mechanicznie, obejmujące przede wszystkim wyrobiska po eksploatacji kopalni, które rozpatrywane mogą być jako miejsca składowania odpadów po przeprowadzeniu odpowiednich badań i wykonaniu systemów zabezpieczeń.

Na mapie określa się i klasyfikuje izolacyjne właściwości podłoża, podaje wyrobiska związane z eksploatacją kopalni jako potencjalnych miejsc składowania. Do danych tych należy podchodzić z dużą ostrożnością, gdyż oparte są jedynie na materiałach archiwalnych i w związku z tym mają charakter orientacyjny.

Badania geologiczne. Wymagania, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie sporządzane między innymi dla składowisk odpadów, reguluje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714).

Wytyczne odnośnie metodyki badań geologicznych i geotechnicznych przedstawione są w Instrukcjach ITB nr 337/95 (Wysokiński, 1995), 339/2003 (Wysokiński i in., 2003) i 340/96 (Wysokiński, Łukasik, 1996), ale w związku ze zmianami wprowadzonymi przez Ministra Środowiska straciły częściowo na aktualności. Zasady budowy składowisk zawarte są w Instrukcji nr 444/2009 (Wysokiński, 2009) oraz 411/2010 (Majer, Wysokiński, 2010).

Istotną rolę w dokumentowaniu warunków geologicznych podłoża składowiska spełnia Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. W Rozporządzeniu wymienione zostały zalecane metody badawcze, techniki wiertnicze, zakres badań, dokładność rozpoznania wyznaczona minimalną liczbą otworów wiertniczych czy też ustalenie

pojemności sorpcyjnej gruntów. Nakazuje się wykonywanie dla wybranych lokalizacji badań geofizycznych, badań polowych w otworach wiertniczych współczynnika filtracji oraz badań laboratoryjnych tego parametru dla każdej wydzielonej litologicznie warstwy, szeroko zakrojonych badań hydrogeologicznych, wykonanie bilansu hydrologicznego dla składowiska.

Szczególną uwagę należy zwrócić na procesy geodynamiczne zachodzące w strefie składowiska. Udokumentowanie tych procesów musi objąć znacznie większą strefę niż podstawa składowiska. Złożoność budowy geologicznej i występujące w strefie zainteresowań procesy geodynamiczne muszą być uwzględniane przy wyborze lokalizacji, projektowaniu, wykonawstwie i likwidacji składowisk. W trakcie dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich należy dokonać rejestracji tych zjawisk oraz przedstawić prognozę ich rozwoju. Szczególnie istotne będą ruchy masowe (osuwiska, obrywy, spęływanie), zjawiska krasowe, deformacje powierzchni związane z eksploatacją górnictw, deformacje filtracyjne gruntów, wypieranie podłoża. Rozpoznanie tych procesów będzie wymagać zastosowania odpowiednich do rozwoju zjawiska metod badawczych. Z doświadczeń A. Drągowskiego, opartych na dokonanych ocenach oddziaływania na środowisko dużej liczby składowisk, wynika, że niedostrzeganie rozwijających się czynnych procesów geodynamicznych w strefie składowiska jest przyczyną zaburzeń jego pracy, a nawet wystąpienia poważnych awarii.

Wyniki badań wykonanych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714) powinny być opracowane w formie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej. W Rozporządzeniu nie określa się, jaka powinna być kolejność i współzależność badań wymaganych dla sporządzenia tych dokumentacji. Wydaje się, że dla prostych warunków geologicznych mogłaby być wykonywana jedna dokumentacja geologiczno-inżynierska. W związku z tym, że składowisko jest obiektem budowlanym, powinny być określone warunki geotechniczne posadowienia. W Rozporządzeniu nie jest to określone.

Rozwiązania izolacji składowisk. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, podstawowe zabezpieczenie składowiska powinna stanowić mineralna bariera izolacyjna naturalna lub sztuczna, łącznie z izolacją syntetyczną tworzące najczęściej system izolacyjny wraz z warstwami drenażowymi. W ocenie izolacyjnych właściwości gruntów uwzględnia się, poza cechami identyfikacyjnymi i składem mineralnym, przede wszystkim właściwości filtracyjne i sorpcyjne, a także pęcznienie i skurcz oraz parametry wytrzymałościowe.

Właściwości izolacyjne ilów neogeńskich analizowała Łuczak-Wilamowska (1997), badania gruntów i praktyczne zastosowanie ich jako uszczelnień m.in. Garbulewski (2000) oraz Majer (2005). Kompleksowo temat przedstawiono w instrukcji „Zasady oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy mineralnych barier izolacyjnych” (Majer i in., 2007).

W ocenach izolacyjnych właściwości gruntów należy uwzględnić możliwość odpowiedniego kształtowania ich właściwości przez np. wykonanie mieszanek gruntowych.

Monitoring składowisk. Problematyka monitoringu jest szeroka i dotyczy metodyki i zakresu badań, interpretacji wyników, oceny stanu środowiska w funkcji czasu i prognozy jego zmian.

Do niedawna w Polsce monitoring składowisk najczęściej odnosił się do wód powierzchniowych i podziemnych. Pomijane były kwestie takie jak: stateczność obwałowań, odkształcenie i wypieranie podłoża, osiadanie zdeponowanego materiału czy też emisja biogazu. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz.U. z 2002 r. Nr 220 poz. 1858) szczegółowo określa sposób i zakres prowadzenia monitoringu w odniesieniu do wymienionych zagadnień, różnicując je na trzy fazy funkcjonowania składowiska: przedeksploatacyjną, eksploatacji i poeksploatacyjną. W Rozporządzeniu podano np. metody referencyjne wykonywania oznaczeń chemicznych, co jest istotne w przypadku porównywania skali oddziaływania różnych składowisk na środowisko (unifikacja sposobu uzyskiwania wyników).

Niestety, nie ustrzeżono się także drobnych niedociągnięć. Geodezyjne pomiary osiadania powierzchni składowiska w fazie jego eksploatacji są w praktyce nie do wykonania ze względu na stały, trudny do oceny ilościowej przyrost zdeponowanego materiału. Ponadto trudno się zgodzić ze współliniowym sposobem lokalizowania piezometrów w przypadku ich minimalnej, określonej w Rozporządzeniu liczby, z góry wykluczającym możliwość okonturowania lub stworzenia modelu ewentualnego zanieczyszczenia wód podziemnych.

Z doświadczeń A. Drągowskiego wynika, że wiele piezometrów, szczególnie przy składowiskach eksploatowanych od co najmniej 10 lat, zostało wykonanych z niewłaściwych materiałów albo sposób zafiltrowania nie obejmował strefy wahań pierwszego poziomu wody podziemnej, co uniemożliwiało dokonanie właściwego poboru próbki. Takie piezometry powinny być zastąpione nowymi. Ponadto piezometry stanowiące sieć obserwacyjną składowisk powinny być instalowane z wyprzedzeniem, w trakcie badań geologiczno-inżynierskich lub hydrogeologicznych wykonywanych na etapie projektowania przedsięwzięcia.

Likwidacja składowisk jest faktem mało docenianym w ogólnym procesie składowania odpadów. Likwidacja nie jest aktem krótkotrwałym, po zamknięciu składowiska (zaprzestaniu składowania) konieczne jest przeprowadzenie prac rekultywacyjnych, w tym wykonanie izolacji zewnętrznej składowiska i ewentualne uformowanie jego powierzchni, a następnie zagospodarowanie, którego kierunek często jest trudny do ustalenia. Warunki likwidacji określa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny podlegać

poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. z 2003 r. Nr 61 poz. 549).

Przez co najmniej 30 lat konieczne jest prowadzenie ściśle określonego co do sposobu, czasu i zakresu monitoringu składowisk, zgodnie z zaleceniami Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz.U. z 2002 r. Nr 220 poz. 1858).

Składowanie podziemne

Poza składowaniem na powierzchni odpady były i są składowane w składowiskach podziemnych, w wyrobiskach kopalń. W górnictwie węglowym, w wyrobiskach składowano popioły z elektrowni, a także, jako podsadzkę, odpady powęglowe (podsadzki suche i mokre).

Składowanie to do niedawna odbywało się w sposób nieuregulowany, bez ściśle określonych zasad i procedur. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. w sprawie podziemnych składowisk odpadów (Dz.U. z 2011 r. Nr 298 poz. 1771) określa wymagania, jakim powinny podlegać poszczególne typy podziemnych składowisk odpadów odnośnie lokalizacji, eksploatacji i zamknięcia, a także zakres i sposób prowadzenia monitoringu tych składowisk.

Składowisk podziemnych odpadów niebezpiecznych oraz odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne nie należy lokalizować w:

- obszarach uniemożliwiających bezpieczną eksploatację składowisk wywołaną zwiększoną aktywnością tektoniczną i sejsmiczną, masowymi ruchami gruntów,
- strefach ochronnych ujęć wód,
- obszarach występowania zjawisk krasowych lub rozwiniętej erozji wgłębnej,
- obszarach górniczych utworzonych dla kopalń leczniczych,
- obszarach, gdzie składowanie naruszyć by mogło zasadę racjonalnej gospodarki złożem,
- obszarach o szczególnej wartości kulturalnej, rekreacyjnej i zdrowotnej.

Lokalizowanie podziemnych składowisk odpadów obojętnych ma mniej ograniczeń. Nie może być urządzane w trzech ostatnich przypadkach jak dla składowisk odpadów niebezpiecznych i innych niż niebezpiecznych i obojętnych oraz w strefach ochrony ujęć wód.

Wyboru lokalizacji składowiska podziemnego dokonuje się na podstawie wyników zawartych w dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej, w zakresie określonym przez ww. Rozporządzenie. Co jest istotne, składowisko takie lokalizuje się w formacjach geologicznych stanowiących naturalną barierę geologiczną dla ewentualnej migracji zanieczyszczeń.

Monitoring składowiska podziemnego prowadzi się dla trzech faz: przedeksploatacyjnej, eksploatacyjnej i poeksploatacyjnej, zgodnie z zakresem i sposobem określonym w koncesji. Rozporządzenie bardzo szczegółowo określa również zakres prowadzenia monitoringu.

3. REKULTYWACJA TERENÓW ZDEGRADOWANYCH

3.1. RODZAJE REKULTYWACJI

Decyzja o wyborze odpowiedniego sposobu rekultywacji powinna zostać podjęta na podstawie oceny stanu degradacji, docelowego sposobu zagospodarowania danego obszaru, warunków geologicznych i hydrogeologicznych oraz społeczno-gospodarczych możliwości rozwoju rejonu. Niezbędna jest więc analiza możliwości zaspokojenia potrzeb lokalnych i dopasowania zagospodarowania do struktury ekologiczno-technicznej terenu oraz ekonomiczna i techniczna ocena możliwości zagospodarowania zdegradowanego obszaru (Siuta, 1998). Przy doborze rodzaju zagospodarowania terenu zdegradowanego istotna jest analiza następujących czynników (Karczewska, 2008):

- geomorfologia obiektu (nachylenie stoków, zróżnicowanie morfologii),
- warunki geologiczne – rodzaj skał/gruntów występujących w podłożu,
- możliwość wykonania żyzniejszego nadkładu,
- warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne,
- zgodność z lokalnym planem zagospodarowania przestrzennego,
- czynniki ekonomiczne i środowiskowe.

Rekultywacja terenów zdegradowanych prowadzona jest w kierunku leśnym, rolnym, wodnym i specjalnym (Cieśliński i in., 1994; Siuta, 1998; Karczewska, 2008).

Rekultywacja leśna polega na przygotowaniu terenu pod kątem użytkowania leśnego pod lasy, plantacje i tereny zadrzewione. Zadrzewianie i zakrzewianie jest bardzo częstym sposobem rekultywacji zwałowisk nadkładu kopalni odkrywkowych. Zaletą tego sposobu rekultywacji jest brak konieczności ukształtowania warstwy próchnicznej na gruncie bezglebowym. Niezbędne jest wówczas zasilanie gruntów nawozami mineralnymi, głównie azotowymi. Lasy na terenach rekultywowanych często pełnią funkcje ochronne – glebochronne i wodochronne, oraz stanowią tzw. strefy buforowe wokół terenów przemysłowych. O wyborze leśnego kierunku rekultywacji decydują następujące kryteria: duże spadki terenu, sąsiedztwo źródeł emisji zanieczyszczeń, uregulowane stosunki wodne, słabo produktywne utwory o niewielkiej przydatności rekultywacyjnej.

Rekultywacja rolna ma za zadanie przygotować obszar do użytkowania i produkcji rolniczej i ogrodniczej (pod grunty orne, łąki i pastwiska, ogrody, sady, plantacje krzewów itp.). Decyzję o tym kierunku rekultywacji podejmuje się na podstawie analizy morfologii (małe spadki terenu),

warunków gruntowo-wodnych, glebotwórczych właściwości gruntu oraz zapotrzebowania na grunty rolne w rejonie. W początkowym stadium rekultywacji w kierunku rolniczym potrzebne są specjalne nakłady ze względu na przygotowanie w pełni produktywnej gleby w terminie ustawowo przewidzianym na rekultywację (5 lat).

Rekultywacja w kierunku wodnym obejmuje przygotowanie na zdegradowanym terenie zbiornika wodnego o charakterze rekreacyjnym, hodowlanym lub ekologicznym. Rekultywacja wodna najczęściej stosowana jest na terenie wyrobisk górniczych oraz w nieckach osiadań na obszarach górnictwa podziemnego. Czynnikiem decydującym o wyborze tego kierunku rekultywacji są warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne. Do zagospodarowania wodnego pretendują wyrobiska zawodnione podczas eksploatacji, gdzie wydobywanie odbywa się spod wody, wyrobiska odwadniane podczas eksploatacji, gdzie pierwotne położenie zwierciadła wskazuje na możliwość jego zalania, oraz wyrobiska, których spąg i skarpy są zbudowane z materiału słabo przepuszczalnego.

Rekultywacja specjalna obejmuje zagospodarowanie terenu zdegradowanego na cele rekreacyjne i budowlane oraz przygotowanie terenu pod składowiska odpadów. Decyzja o tym kierunku rekultywacji zależy od aspektów ekonomiczno-społecznych. Wybór rekultywacji o kierunku specjalnym – ekologicznym zależy od walorów przyrodniczych terenu, konieczności ochrony przyrody i przesłanek ekologicznych (zapewnienie równowagi biologicznej). Rekultywacja wyrobisk pogórnich, polegająca na utworzeniu składowiska odpadów, związana jest z potrzebą składowania odpadów z zakładów przemysłowych zlokalizowanych w niewielkiej odległości od wyrobiska. Czynniki mającymi wpływ na decyzję o powstaniu składowiska odpadów są warunki sozologiczne, geologiczne i hydrogeologiczne.

Zgodnie z wymienionymi kierunkami rekultywacji czynności rekultywacyjne prowadzi się w trzech fazach: przygotowawczej, technicznej i biologicznej (Cieśliński i in., 1994; Priebe-Piechowska, 1997).

Faza przygotowawcza polega na zaprojektowaniu inwestycji. Założenia przyjęte na tym etapie postępowania mają decydujący wpływ na prawidłowe przeprowadzenie późniejszej rekultywacji. Faza ta ma charakter dokumentacyjny, obejmujący rozpoznanie warunków panujących na analizowanym obszarze oraz określenie kierunków jego przyszłego zagospodarowania. Faza przygotowawcza obejmuje opracowanie dokumentacji projektowej.

Faza techniczna, inaczej faza podstawowa, obejmuje czynności na wcześniej powstałym lub powstającym nie-
użytku, takie jak:

- ukształtowanie rzeźby terenu w najkorzystniejszy sposób dla przyszłego zagospodarowania,
- zapewnienie stateczności zboczy i skarp poprzez nadawanie im odpowiednich nachyleń oraz formowania tarasów, ławeczek i stopni przy wysokości powyżej 10 m,
- wzmocnienie zboczy i skarp za pomocą zabiegów geotechnicznych, budowy murów oporowych itd.,
- zapewnienie odpowiedniej gospodarki wodami powierzchniowymi zarówno na terenach przekształconych, jak i w ich otoczeniu, np. poprzez właściwe odwodnienie w obniżeniach oraz u podnóża zboczy i skarp, a także ograniczenie spływów powierzchniowych po zboczach i skarpach,
- częściowe lub całkowite odtworzenie gleb metodami technicznymi, czyli poprzez specjalne zwałowanie nadkładów i gruntów,
- neutralizacja gruntów skażonych i użyźnianie gruntów jałowych,
- budowa infrastruktury niezbędnej do późniejszego wykorzystywania terenu zgodnie z przeznaczeniem.

Faza biologiczna, inaczej faza szczegółowa, obejmuje takie zabiegi jak:

- ochrona gruntów i wód przed zanieczyszczeniem,
- wykorzystanie roślinności jako przeciwoerozyjnej obudowy zboczy i skarp oraz zabezpieczenie ich stateczności.

Po przeprowadzeniu trzech wymienionych faz rekultywacji przechodzi się do kolejnego etapu, a mianowicie do zagospodarowania terenu. Zagospodarowanie terenu wykonuje się w dwóch etapach:

- **zagospodarowanie przedplonowe** – stanowi przedłużenie etapu rekultywacji biologicznej i obejmuje rozpoczęcie procesów glebotwórczych poprzez zadrzewianie i zalesianie. Na tym etapie prowadzi się również zabiegi hydrotechniczne w celu utworzenia zbiornika i ewentualnego jego zarybienia lub prace przygotowujące teren do wykorzystania przez gospodarkę komunalną oraz uzupełniające prace agrotechniczne, wodnomelioracyjne i pielęgnacyjne;
- **zagospodarowanie docelowe** – jest to ostateczna faza procesu rekultywacji, w której następuje przejście do pełnej produkcji roślinnej, obejmująca dalsze czynności – na terenach zalesianych przebudowa drzewostanu na docelowy, na terenach rolniczych zastosowanie płodozmianu rekultywacyjnego, na pozostałych obszarach ostateczne ich ukształtowanie.

Rekultywacja terenów zdegradowanych według intencji ustawy Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz 150 z późn. zm.) sprowadza się do przekształceń w kierunku renaturyzacji obszarów, kompensacji przyrodniczej (gdzie wyróżniono rekultywację gleb), przywracania produktywności terenom poeksploatacyjnym. Inne zaś znaczenie ma tzw. przywrócenie do stanu poprzedniego. Wyraźnie

jednak (a dotyczy to szczególnie terenów przemysłowych) podkreśla się w ustawie, że w razie braku możliwości przywrócenia stanu poprzedniego, wymagane jest określenie zabiegów, których celem jest rekultywacja.

Od dawna istnieje problem powtórnego zagospodarowania terenów przemysłowych (*brownfields*), tak by wykorzystać istniejące położenie i infrastrukturę do dalszej działalności przemysłowo-usługowej. Zmniejszy to presję inwestycyjną na terenach zielonych (*greenfields*) i poprawi jakość środowiska na terenach przemysłowych. W dalszej części omówiono techniki poprawy jakości środowiska zdegradowanego przez działanie człowieka.

Rekultywacja techniczna to prace o charakterze technicznym, obejmujące neutralizację gruntów zanieczyszczonych, regulację stosunków wodnych oraz odpowiednie ukształtowanie rzeźby terenu.

W procesie rekultywacji stosowane są różnorodne metody, które w ujęciu najbardziej ogólnym można rozpatrywać jako inżynierskie i procesowe (Gworek red., 2004). Metody inżynierskie to prace i zabiegi polegające na usunięciu i składowaniu zanieczyszczonego gruntu oraz stosowaniu odpowiednich systemów barierowych. Metody procesowe dotyczą sposobów stabilizacji lub zestalania zanieczyszczeń z wykorzystaniem procesów fizycznych, biologicznych, chemicznych lub obróbki termicznej. Ze względu na możliwość zastosowania wyróżnia się metody rekultywacji *ex situ* oraz *in situ*. Metody *ex situ* wiążą się z przemieszczeniem zanieczyszczonego gruntu z jego naturalnego położenia i składowaniem lub oczyszczaniem w specjalnie do tego celu skonstruowanych instalacjach. Metody *in situ* stosowane są bezpośrednio w strefie, gdzie zanieczyszczenie lub skażenie nastąpiło, bez przemieszczania mas ziemnych. Wybór metody warunkowany jest głównie rodzajem degradacji i skutecznością technologii w danych warunkach.

Warunki środowiskowe mają wpływ na sposób realizacji zabiegów remediacyjnych. Do uwarunkowań środowiskowych wpływających na przebieg procesu rekultywacji należą: parametry środowiska gruntowo-wodnego, ukształtowanie powierzchni oraz zagospodarowanie terenu.

Rodzaj gruntów i ich układ w podłożu, poziom i waha-
nia zwierciadła wód podziemnych oraz kierunki ich spływu wpływają na sposób rozprzestrzeniania się 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 umożliwią, korzystniejsze jest stosowanie metod *ex situ*, które pozwalają uzyskać efekt usunięcia zanieczyszczenia z danego miejsca w krótkim czasie. Stopień rozpoznania warunków grunto-
wo-wodnych ma istotne znaczenie przy wyborze skutecznej technologii oczyszczania, zwłaszcza spośród metod *in situ*. Na przykład, skuteczność metod wykorzystujących procesy biodegradacji wykazuje dużą zależność od rodzaju gruntu i warunkowana jest prawidłowym zaprojektowaniem zabiegów intensyfikujących te procesy. Grunty spoiste wymagają zwiększania przepuszczalności, natomiast w przypadku luźnych gruntów piaszczystych stosuje się odpowiedni reżim

podawania preparatów w celu uniknięcia niekontrolowanej migracji wprowadzonych substancji. W skrajnym przypadku złożoność układu gruntu może uniemożliwiać zastosowanie metod *in situ*.

Na wybór metody rekultywacji znacząco wpływa morfologia terenu, zwłaszcza obecność skarp, zboczy i ich nachylenie.

Spośród czynników przestrzennych wpływających na realizację procesu rekultywacji można wymienić: stopień pokrycia roślinnością, zagospodarowanie na obszarach sąsiednich, obecność i układ infrastruktury podziemnej i naziemnej, możliwość czasowej zmiany funkcji terenu lub wyłączenia rekultywowanego obiektu z eksploatacji. Obecność infrastruktury może ograniczać stosowalność metod zarówno *ex situ*, jak i *in situ*. Usunięcie gruntów lub lokalizacja niezbędnej infrastruktury rekultywacyjnej będzie niemożliwe lub znacznie utrudnione, gdy na terenie rekultywowanym występują: budowle ziemne, takie jak wały przeciwpowodziowe, drogi i linie kolejowe, rurociągi oraz inne obiekty budowlane.

Zagospodarowanie terenu może przesądzić o zastosowaniu metody *ex situ*, gdy z uwagi na funkcje terenu oczyszczenie musi być przeprowadzone szybko lub zabiegi można przeprowadzić przy okazji realizowanej inwestycji budowlanej. W większości przypadków czynniki związane z zagospodarowaniem terenu implikują zastosowanie metod *in situ*.

Uwarunkowania środowiskowe wpływają na wybór metody rekultywacji i przebieg prac, jednak nie jest to wpływ jednoznacznie determinujący czy wykluczający daną metodę. Istotna jest wówczas kwestia oczekiwanego efektu ekologicznego i opłacalności ekologicznej i ekonomicznej: jakie efekty można uzyskać przy założonych kosztach, czasie realizacji i zakresie prac.

W niniejszym rozdziale zostały opisane zabiegi prowadzące do przywrócenia stanu poprzedniego, który najczęściej jest osiąganym poprzez sanację terenu. Rekultywacja jest bowiem niemal w całości sanacją, z wyjątkiem odtworzenia warstwy glebowej na terenach poeksploatacyjnych.

3.2. OCZYSZCZANIE EX SITU

Działanie *ex situ*, czyli poza miejscem, jest rozwiązaniem przyjmowanym niestety zbyt często. Jest to realizowane niekiedy wbrew art. 9 Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U. z 2010 r. Nr 185 poz. 1243), gdzie w pkt. 1 podaje się, że *odpady powinny być w pierwszej kolejności poddawane odzyskowi lub unieszkodliwiane w miejscu ich powstawania*. Powodem aprobowania metod *ex situ* i wydawania decyzji administracyjnych dopuszczających usuwanie zanieczyszczeń w celu ich utylizacji lub unieszkodliwienia przez składowanie jest najczęściej chęć sprzyjania inwestorom, którzy w planach inwestycyjnych i w procesach budowlanych nie przewidzieli problemu odpadów w postaci gruzu lub zanieczyszczonej ziemi.

Należy podkreślić, że jest to wielkie pole działania dla geologów inżynierskich, którzy zwykle jako pierwsi wykonu-

ją badania dla nowych inwestycji na terenach poddawanych powtórnemu zagospodarowaniu. Świadomość potencjalnych problemów i możliwość zaobserwowania większości przejawów zanieczyszczeń gruntu i wód (obserwacje makroskopowe i organoleptyczne) dają szansę racjonalnego rozszerzenia klasycznych badań geologiczno-inżynierskich dla inwestorów. Musi to być jednak wymóg formalny, egzekwowany przy udzielaniu pozwoleń budowlanych lub wydawaniu warunków zagospodarowania.

Technika redepozycji. Przemieszczenie poza teren występowania i złożenie, czyli redepozycja, jest najczęściej stosowaną metodą postępowania w przypadku zanieczyszczonych gruntów oraz odpadów w postaci np. gruzu z wyburzeń. Redepozycję można stosować jedynie wtedy, gdy zdegradowany i zanieczyszczony teren jest zbyt mały, a charakter zanieczyszczeń nie umożliwia zastosowania skutecznych technik remediacji.

Przy wykorzystaniu redepozycji konieczne jest przestrzeganie kilku zasad:

- wydobywanie gruntu, w którym są zanieczyszczenia, albo usuwanie gruzu lub wyburzanie zanieczyszczonej częściowo budowli wymaga stałego nadzoru specjalisty (geolog rozróżniający materiał czysty od zanieczyszczonego). Pozwala to na rozdzielenie strumienia odpadów i zmniejszenie objętości tych materiałów, które faktycznie wymagają oczyszczania. Nadzór geologiczno-środowiskowy należy do rzadkości, gdyż nie ma umocowania prawnego;
- zgodnie z postanowieniami Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U. z 2010 r. Nr 185 poz. 1243), odpady, które nie mogą być poddane odzyskowi lub unieszkodliwiane w miejscu ich powstawania, powinny być, uwzględniając najlepszą dostępną technikę lub technologię, o której mowa w art. 143 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150 z późn. zm.), przekazywane do najbliższych położonych miejsc, w których mogą być poddane odzyskowi lub unieszkodliwione;
- środki transportu muszą być odpowiednio przystosowane do rodzaju redeponowanego materiału, zaś personel musi być przeszkolony w zakresie zasad postępowania z odpadami, szczególnie na wypadek awarii i nagłego zdarzenia (wskazuje na to art. 11 Ustawy o odpadach);
- miejsce składowania powinno posiadać aktualne decyzje odpowiednich władz do przyjmowania danego rodzaju odpadów.

Przestrzeganie tych zasad zmniejszy ryzyko dla środowiska oraz uchroni inwestora lub właściciela nieruchomości przed dodatkowymi kłopotami.

Technika płyty remediacyjnej. Pod pojęciem płyty remediacyjnej rozumiane są różnorodne instalacje oraz obiekty, których zadaniem jest przetwarzanie określonej ilości materiału (ziemi, gruzu, osadu itd.), przy zastosowaniu procesów mechanicznych, chemicznych lub biologicznych w celu zmniejszenia zawartości niepożądanych substancji

(pierwiastków, związków chemicznych, mikroorganizmów), przy zachowaniu warunków gwarantujących bezpieczeństwo środowiska (szczelne podłoże, drenaż i oczyszczanie odcieków, izolowana atmosfera, środki ochrony osobistej dla personelu).

Do tak rozumianych obiektów należą proste w konstrukcji utwardzone place posiadające drenaż wód opadowych i odcieków, na których można formować i kondycjonować hałdy z zanieczyszczonego materiału, mogą to być także tymczasowe zadaszenia, namioty lub hermetyzowane namioty i hale o wymuszonej wentylacji z oczyszczaniem powietrza wylotowego.

Po osiągnięciu zakładanego standardu czystości (spadku poziomu zanieczyszczeń do wymaganej granicy) remediowany grunt można ponownie redeponować, ale najczęściej nie jest to miejsce pierwotnego pochodzenia. Główną bowiem ideą prowadzenia oczyszczania *ex situ* jest szybkie umożliwienie kontynuacji prac budowlanych i jednocześnie oczyszczanie wydobytego gruntu lub usuniętego zanieczyszczonego gruzu. Zależnie od rodzaju materiału i stopnia jego oczyszczenia na płycie remedacyjnej możliwe jest spożytkowanie go do makroniwelacji terenów, formowania koniecznych wałów ziemnych (np. ekrany akustyczne), wbudowania pod drogi i place. Często sprzyja to dalszemu, naturalnemu już oczyszczaniu.

Wadami płyt remedacyjnych są:

- ograniczenia lokalizacyjne i wymagania środowiskowe (podobnie jak składowiska odpadów i kompostownie),
- ograniczenia pojemnościowe i tym samym limitowana w czasie przepustowość,
- niekiedy wysokie koszty transportu (dowóz i wywóz) i kondycjonowania (preparaty i odczynniki oraz energia).

Do podstawowych zalet należą:

- odciążenie terenu przeznaczonego pod inwestycję z materiałów zanieczyszczonych,
- wydajne przyspieszenie procesów remedacyjnych,
- możliwość sterowania, optymalizacji i kontroli procesów przebiegających w trakcie oczyszczania,
- zmniejszenie narażenia środowiska na niekorzystne oddziaływanie zanieczyszczeń i ubocznych efektów procesów oczyszczania, np. kontrola emisji gazów i odcieków.

3.3. OCZYSZCZANIE *IN SITU*

W sytuacjach sprzyjających oczyszczaniu gruntu (a często jednocześnie wód podziemnych) bez dokonywania przemieszczania mówimy o sanacji terenu *in situ*, czyli w miejscu występowania zanieczyszczenia. Rekultywacja jest zawsze działaniem *in situ*, gdyż prowadzi do przywrócenia produktywności na zdegradowanym terenie, czyli utworzenia właściwej, pełnowartościowej gleby. Takie podejście jest najczęściej oceniane jako prośrodowiskowe, zwłaszcza jeśli zostaną wzięte pod uwagę czynniki czasu i oddziaływania na wszystkie elementy otoczenia.

W większości przypadków usuwanie skażeń (szczególnie skażonych gruntów), czyli działanie *ex situ*, nie gwarantuje pełnego oczyszczenia terenu inwestycji. Dzieje się tak szczególnie wtedy, gdy prócz gruntów występują skażone wody. Na figurze 3.1 przedstawiono porównanie głównych metod *in situ* i *ex situ* pod względem ich skuteczności w czasie, gdzie oczekiwanym efektem jest spadek ryzyka dla środowiska i ludzi w miejscu inwestycji.

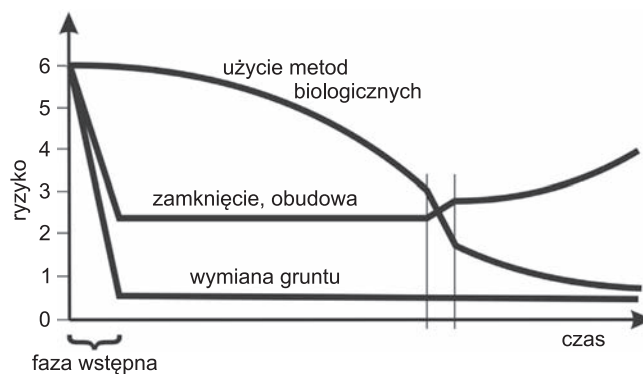


Fig. 3.1. Spadek ryzyka środowiskowego w czasie dla różnych typów działania. Wymiana gruntu to metoda *ex situ*, zaś pozostałe to metody *in situ* (wg Altlasten Handbuch, 1989)

Technika *in situ*, czyli oczyszczanie w miejscu występowania zanieczyszczenia, ma uzasadnienie w przypadku, gdy istnieją warunki do prowadzenia prac w miejscu wykrycia skażenia i jednocześnie, gdy są szanse na zastosowanie procesów redukujących poziom skażeń w warunkach gwarantujących znikome oddziaływanie zewnętrzne.

Działanie polega na prowadzeniu prac oczyszczających z minimalnym przemieszczaniem mas, bez usuwania ich z terenu zdegradowanego. Dopuszcza się natomiast usuwanie produktów fitoremediacji, segregacji i oczyszczania odpadów, np. szlamów z procesu prania gruntu, złomu i innych odpadów nadających się do recyklingu. Technika ta zazwyczaj dotyczy kompleksowo środowiska gruntowo-wodnego, łącznie z powietrzem gruntowym, gdyż media te nie mogą być rozdzielone, a nawet wzajemnie ułatwiają oczyszczanie (synergia procesu).

W ramach techniki *in situ* można wymienić cały szereg rozmaitych technologii, w tym:

- airsparging – oddzielanie zanieczyszczeń w kolumnie zwanej bełkotką,
- bioremediacja – oczyszczanie gruntu lub wody przy użyciu preparatów bakteryjnych i grzybów,
- bioslurping – szczypanie,
- bioventing – wentylowanie gruntu, ewentualnie także strefy saturacji w celu poprawy warunków działania mikroorganizmów aerobowych,
- chemical oxidation – utlenianie chemiczne,
- dual phase extraction – ekstrakcja dwufazowa,
- dynamic underground stripping – usuwanie zanieczyszczeń z roztworu poprzez dynamiczne odpędzanie

nie rozpuszczalnika bez wydobywania zanieczyszczonych wód na powierzchnię,

- electrokinetic separation – separacja elektrokinetyczna,
- well air stripping – usuwanie zanieczyszczeń z roztworu poprzez odpędzanie rozpuszczalnika w specjalnej studni w warstwie wodonośnej,
- fitoremediacja – remediacja z wykorzystaniem zdolności roślin do ekstrakowania z gruntu i wody zanieczyszczeń i kumulowania ich w tkankach,
- skimming – zgarnianie z powierzchni warstwy wodonośnej zanieczyszczeń mających zdolność do unoszenia się na wodzie w postaci ciekłej, zemulgowanej lub spienionej, w terminologii geologiczno-środowiskowej już na dobre zagościło pojęcie „skimmer”,
- soil flushing – przepłukiwanie gruntu, często z zastosowaniem środków powierzchniowo czynnych,
- soil and groundwater vapor extraction – ekstrakcja par związków lotnych i półlotnych z gruntu i wód podziemnych z zastosowaniem lanc grzewczych,
- treatment walls – ściany i bariery reaktywne.

Najtańszym sposobem oczyszczania jest fitoremediacja (fitoekstrakcja), która jednak powoduje, że teren musi być przez długi czas zalesiony lub uprawiany (np. uprawa wierzby energetycznej).

Największymi zaletami metod *in situ* są:

- działanie w dużym przedziale wielkości obszaru zdegradowanego – od małych działek do przypadków wielkoobszarowych,
- niskie koszty oczyszczania w długim horyzoncie czasowym,
- skuteczność oczyszczania, której sprzymierzeńcem jest upływający czas (fig. 3.1) – w przypadku metod biologicznych,
- możliwość prowadzenia innych prac inwestycyjnych na zdegradowanym terenie (z pewnymi ograniczeniami).

Szczególnym rodzajem oczyszczania *in situ* dla skażonych wód podziemnych jest system *funnel & gate*, należący do grupy pasywnych metod oczyszczania wód (fig. 3.2). Jest

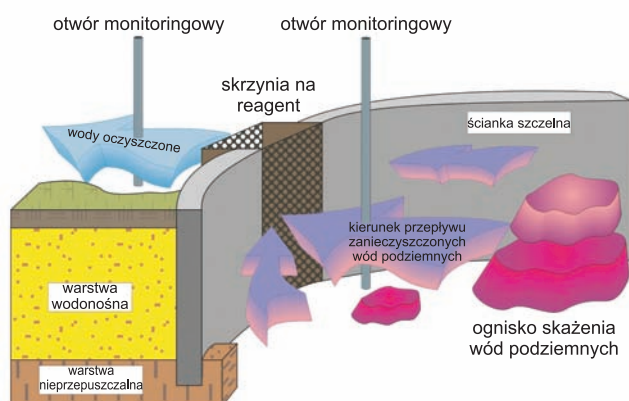


Fig. 3.2. Schemat systemu *funnel & gate* (Irmiński, 1998)

to bariera reaktywna i tego rodzaju rozwiązania są stosowane od wielu lat w USA i Kanadzie, zaś w Europie wprowadzone są od niedawna (ze względu na wysokie koszty budowy). Pierwsza taka instalacja powstała w Karlsruhe w Niemczech i dopiero w 2004 r. osiągnęła pełną sprawność (Kühlers i in., 2004). System składa się ze ścianki szczelnej oraz jednej lub wielu podziemnych skrzyń o przepuszczalnych ściankach, stanowiących swoiste bramy dla wody pod ziemią. W skrzyni znajduje się reagent lub preparat oczyszczający (np. Fe^0 do dehalogenizacji lub węgiel aktywny do adsorpcji), który po spełnieniu swej roli musi być wymieniony na nowy (zużyty zaś podlega regeneracji). W ten sposób bez stałego dostarczania energii system działa przez bardzo długi czas.

Technika *in situ on-site*. Ten rodzaj działań jest mieszaniłą techniki *in situ* oraz techniki płyty remediacyjnej. Skuteczność techniki *in situ on-site* jest największa, choć istnieją i wady: utrudnienia w szybkim, powtórny zagośparowaniu całego terenu, spore koszty jednostkowe w niektórych przypadkach, np. gdy konieczne jest użycie instalacji mobilnych, a także trudniejsza akceptacja społeczna. Ważnym czynnikiem umożliwiającym przeprowadzenie techniki oczyszczania *in situ on-site* jest dostępność miejsca na zdegradowanym terenie (*on-site* oznacza z boku, czyli na stronie).

Typowe dla procesów *in situ on-site* jest łączenie oczyszczania w miejscu (średnie zanieczyszczenie gruntu) i procesów przebiegających w bioreaktorach lub kontenerach stojących na terenie inwestycji (np. pranie gruntu o wysokim zanieczyszczeniu). W tej sytuacji, w polskich warunkach prawnych, staje się możliwe wykorzystanie np. dodatkowych rozpuszczalników lub związków powierzchniowo czynnych, które są potem odzyskiwane i zwracane do procesu.

W przypadku oczyszczania wód podziemnych klasyczną techniką tego rodzaju jest system *pump & treat* – pompuj i oczyszczaj (fig. 3.3). Zanieczyszczone wody są wypompowywane na powierzchnię do instalacji oczyszczających (tu możliwe są np. natlenianie, flokulacja, filtracja na węglu aktywnym itp.), a następnie zatłaczane ponownie do górotworu przez studnie chłonne. System składa się z dwóch podstawowych elementów – zasilania oraz oczyszczalni wód – po-

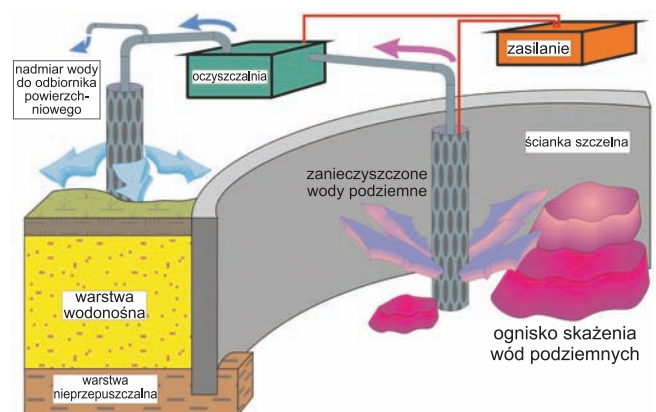


Fig. 3.3. Schemat systemu *pump & treat* (Irmiński, 1998)

wodujących, że system ten jest skuteczny i ekonomicznie opłacalny jedynie w średniej skali czasu, tj. około 10–15 lat funkcjonowania. Także tu barierą dla wód zanieczyszczonych jest odpowiednia ścianka szczelna.

3.4. PROCES SAMOOCZYSZCZANIA I NATURALNEGO ROZPADU (*NATURAL ATTENUATION*)

Pod pojęciem *natural attenuation* (NA) rozumie się procesy samooczyszczania i naturalnego rozpadu substancji, przebiegające zarówno w strefie aeracji, jak i saturacji. W procesie NA dochodzi zwykle do zmniejszenia masy, toksyczności, spowolnienia migracji, redukcji objętości lub stężeń substancji szkodliwych w gruncie i w wodzie. W celu propagowania tego podejścia do problematyki usuwania zanieczyszczeń mówi się o *monitored natural attenuation* (MNA), gdyż odpowiednio zaplanowany i prowadzony monitoring procesów naturalnych może pozwolić na wskazanie perspektywy samooczyszczenia się środowiska na danym obszarze. Po rozpoznaniu najważniejszych procesów i mechanizmów naturalnych możliwe jest także ich wspomaganie i stymulowanie, co nosi nazwę *enhanced natural attenuation* – ENA (Track, Michels, 1999; Michels i in., 2001).

W trakcie NA zachodzą w naturalnym tempie rozmaite procesy fizyczno-chemiczne oraz biologiczne, a środowisko uzyskuje niekiedy swoisty stan równowagi. Powoduje to, że zanieczyszczenia nie rozprzestrzeniają się mimo stałej emisji z ogniska skażenia. Jest to zjawisko opisywane jako smuga stacjonarna (Maier i in., 2000).

3.5. METODY REKULTYWACJI GLEB I GRUNTÓW ZANIECZYSZCZONYCH METALAMI CIĘŻKIMI

Toksyczność metali ciężkich wynika nie tylko ze stopnia skażenia środowiska, ale także z ich biochemicznej roli, jaką spełniają w procesach metabolicznych, oraz ze stopnia wchłaniania i wydalania ich przez organizmy żywe. Rośliny są głównym odbiorcą składników mineralnych z gleby, wód, w tym metali niebezpiecznych. Zagrożenie ze strony metali ciężkich polega głównie na wchodzeniu ich do łańcucha pokarmowego. Przechodzenie metali ciężkich do wyższych ogniw łańcucha pokarmowego jest uzależnione od naturalnych barier biologicznych. Szczególnie niebezpieczne dla środowiska i organizmów żywych są kadm, ołów, rtęć, chrom, arsen, cynk i miedź.

Techniczne metody oczyszczania *ex situ*. Technologia *soil washing* – płukania gleby opiera się na fizycznych i chemicznych zabiegach mających na celu wypłukanie z zanieczyszczonego gruntu substancji niepożądanych. W pierwszej kolejności wymaga ona wydobycia zanieczyszczonych gruntów na odpowiednio przygotowane miejsca do ich gromadzenia, a następnie wprowadzenia w kolejne etapy technologiczne. Niezmiernie ważnym elementem *soil washing* jest zabieg oddzielania zanieczyszczeń z materiału glebowego za pomocą roztworów wodnych. Można tu wydzielić:

- fazę przygotowawczą – rozdrobnienie i homogenizacja oraz oddzielenie szkieletu gruntowego na sitach,
- fazę ekstrakcji zanieczyszczeń z części ziemistych.

Na fazę właściwą oczyszczania gleby składają się trzy główne procesy:

- intensywne mieszanie zanieczyszczonej gleby z roztworem ekstrakcyjnym,
- oddzielenie oczyszczonego materiału glebowego od zanieczyszczeń, które przeszły do ekstraktu lub tworzą zawiesinę koloidalną,
- oczyszczenie zanieczyszczonego roztworu w oczyszczalni ścieków.

Ograniczenia tej techniki dotyczą przede wszystkim rodzaju oczyszczanej gleby. Proces ten jest skuteczny do oczyszczania gleb piaszczystych, w których zawartość ilu koloidalnego, łącznie z substancją organiczną, nie przekracza 10–15%. Ważnym elementem jest także fakt usuwania w ramach procesu rekultywacji najcenniejszych dla żywności gleby frakcji koloidów (mineralnych i organicznych). Przy stosowaniu *soil washing* pojawia się konieczność usuwania zanieczyszczeń z wykorzystywanej wody, która musi trafić do oczyszczalni ścieków. Należy jednak pamiętać, że proponowana metoda, mimo iż jest stosunkowo droga, należy do najszybszych.

Techniczna stabilizacja metali *in situ*. Jest to technologia, która wykorzystuje chemiczną stabilizację zanieczyszczenia poprzez tworzenie trwałych soli metali ciężkich lub trwałych form jonowych, lub też wiązanie z cementem albo solami glinu. Tak powstałe kompleksy są niemobilne. Metale w nich zawarte nie ługują się i nie są wprowadzane do środowiska. Stabilizację gruntów *in situ* realizuje się za pomocą otworów zatłaczających preparaty w głąb strefy zanieczyszczonej lub też mieszając grunt z odpowiednimi preparatami za pomocą urządzeń umożliwiających wymieszanie gruntu.

Techniczne metody usuwania metali *in situ*. Ługowanie metali metodą *in situ* jest technologią, która wykorzystuje właściwości niektórych związków organicznych (chelaty) do ługowania metali z gruntu. Roztwory substancji chelatujących wprowadza się do strefy zanieczyszczonej systemem otworów zatłaczających, a następnie roztwór wzbogacony w metale odprowadza się systemem otworów odpompowujących.

Biologiczne metody rekultywacji *in situ*. W ramach rekultywacji gruntów zanieczyszczonych metalami ciężkimi wykorzystuje się technologię fitoremediacji (fito-odzysku). Jest to metoda oczyszczania środowiska (gleb), która wykorzystuje naturalne zdolności roślin do pobierania i gromadzenia substancji zanieczyszczających lub do ich biodegradacji (rozkładu wewnątrz tkanek roślinnych). W fitoremediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi wykorzystywane są rośliny charakteryzujące się dużą akumulacją metali, wysokim przyrostem biomasy oraz wysokim stopniem przemieszczania metali z korzeni do części naziemnych, który zapewniłby możliwie największe usunięcie tych pierwiastków ze skażonego środowiska wraz z materiałem roślinnym.

3.6. METODY REKULTYWACJI GLEB I GRUNTÓW ZANIECZYSZCZONYCH ZWIĄZKAMI ORGANICZNYMI

Do oczyszczenia środowiska gruntowego zanieczyszczonego substancjami organicznymi najczęściej jest stosowana rekultywacja **metodą biologiczną**. W metodzie tej wykorzystywana jest zdolność mikroorganizmów do przetwarzania substancji organicznych na produkty, które są nieszkodliwe dla człowieka i środowiska. Proces mikrobiologicznej dekontaminacji wykorzystuje właściwości mikroorganizmów do przetwarzania związków organicznych jako substancji odżywczych (tzw. substratów). Proces ten może być przyspieszony oraz wspomagany metodami fizycznymi usuwania zanieczyszczeń poprzez aerację dynamiczną i statyczną gruntu za pomocą systemu drenów napowietrzających i dmuchaw zaopatrzonych w filtry zatrzymujące węglowodory. Ma to na celu obniżenie stężenia ksenobiotyków do poziomu tolerowanego przez mikroorganizmy, a także skrócenie całego cyklu remediacji.

Technologia bioremediacji zapewnia, przy relatywnie niskich kosztach w stosunku do metod fizyczno-chemicznych, doprowadzenie gruntów do wymogów stawianych przez prawo.

Metodę bioremediacji można stosować w dwóch wariantach technologicznych:

- *ex situ*, tzn. z usunięciem zanieczyszczonego gruntu z jego naturalnego położenia. Rekultywacja odbywa się na specjalnie do tego przygotowanym stanowisku technologicznym poza obrębem rekultywowanego obiektu;
- *in situ*, tzn. bez usuwania zanieczyszczonego gruntu z miejsca jego naturalnego położenia. W tej metodzie wprowadza się preparaty biologiczne wprost do skażonego gruntu. Metoda ta wymaga zapewnienia dogodnych warunków rozwoju dla drobnoustrojów, co wiąże się z koniecznością utrzymywania instalacji niezbędnych do dozowania substancji odżywczych i napowietrzania w obrębie rekultywowanego obiektu.

Zaletą rekultywacji metodą *in situ* jest brak konieczności wykonywania wykopów w celu usunięcia zanieczyszczonych mas ziemnych.

Metoda *ex situ* umożliwia skuteczniejsze prowadzenie procesu biorekultywacji, gdyż odbywa się w obrębie specjalnych przyłaz rekultywacyjnych poza obiektem. Pozwala to na szybką jego rekultywację, gdyż na miejsce wydobytego zanieczyszczonego gruntu umieszcza się niezanieczyszczone masy ziemne.

4. TERENOWE BADANIA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Właściwe zaprogramowanie badań terenowych oraz odpowiedni dobór metody badawczej pozwalają uzyskać możliwie najpełniejszą charakterystykę podłoża. Badania podłoża oparte wyłącznie na wierceniach z poborem próbek do analiz laboratoryjnych zostały zastąpione coraz powszechniejszym wykorzystaniem różnego rodzaju badań terenowych (sondowań i badań geofizycznych). Różnorodność i dostępność badawczych metod *in situ* jest coraz większa i nadal jest rozwijana zarówno w zakresie wdrażania nowych metod, jak również doskonalenia już istniejących (np. dodanie końcówki sejsmicznej do sondy CPTU lub DMT).

W przypadku rozpoznania podłoża na obszarze terenów zdegradowanych szczególną uwagę należy zwrócić na kartowanie geologiczno-inżynierskie oraz badania geofizyczne. Kartowanie pozwala na szybkie zidentyfikowanie problemów istotnych z punktu widzenia zagospodarowania terenu. Badania geofizyczne mają natomiast duże znaczenie we wstępnej fazie rozpoznania podłoża oraz na terenach zdegradowanych przez górnictwo podziemne, procesy osuwiskowe oraz na obszarach krasowych. W przeciwieństwie do sondowań, są to metody nieinwazyjne, dzięki czemu czas i koszt ich wykonania jest mniejszy niż badań inwazyjnych, a ich główną zaletą jest możliwość dość dokładnego lokalizowania struktur podziemnych, takich jak: granice warstw, struktury tektoniczne, strop podłoża skalnego, pustki krasowe, stare wyrobiska podziemne, fragmenty starych budowli itp. Metody te sprawdzają się niemal w każdych warunkach gruntowych i w miejscach o ograniczonej dostępności, a zwłaszcza w rozpoznaniu ośrodka skalnego, dla którego liczba metod badawczych o charakterze inwazyjnym jest niewielka. Metody te mają oczywiście pewne ograniczenia (głębokość, zaburzenia wywołane czynnikami zewnętrznymi), ale w większości przypadków pozwalają wystarczająco scharakteryzować podłoże, szczególnie na etapie wstępnego rozpoznania lub w przypadku występowania w podłożu naturalnych bądź sztucznych nieciągłości.

Przy wyborze metody badań terenowych wykonywanych dla celów rekultywacji terenów zdegradowanych należy uwzględnić trzy czynniki: etap rozpoznania (wstępny, szczegółowy), rodzaj degradacji terenu oraz przyjęty kierunek rekultywacji.

4.1. KARTOWANIE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Znaczenie kartowania geologiczno-inżynierskiego w procesie dokumentowania podłoża nie jest doceniane, gdyż w wielu przypadkach prace te nie są wykonywane lub wy-

konywane są nieprawidłowo. Skutkuje to niewłaściwym zaprojektowaniem badań i nieuzyskaniem precyzyjnych danych. Czynności te pozwalają na szybkie zidentyfikowanie problemów istotnych z punktu widzenia zagospodarowania terenu oraz ułatwiają dobór właściwej metody badawczej, z uwzględnieniem np. dostępności terenu. Na terenach zdegradowanych kartowanie geologiczno-inżynierskie ma na celu:

- inwentaryzację form antropogenicznych (wyrobiska, hałdy, zwałowiska, wysypiska, osadniki, odstożniki itp.),
- inwentaryzację obecności wód powierzchniowych (zalewisk, podtopień, podmokłości, wysięków, ucieczek wód powierzchniowych itp.),
- inwentaryzację przejawów procesów geodynamicznych (osuwisk, form krasowych, sufozji, erozji, abrazji itp.),
- ustalenie maksymalnego zasięgu wód powodziowych,
- inwentaryzację uszkodzeń istniejących obiektów,
- okonturowanie odkształceń powierzchni związanych z eksploatacją górnictwem (nieceki, zapadliska, obniżenia itp.),
- inwentaryzację źródeł skażeń i zanieczyszczeń środowiska (niekontrolowanych i kontrolowanych, czynnych i nieczynnych), takich jak: składowiska odpadów, surowców i paliw, wylewisk odpadów, emitatorów gazów, pyłów, hałasu i wibracji, oczyszczalni ścieków itp.

Wyniki kartowania geologiczno-inżynierskiego należy zamieścić w dokumentacji w formie tekstowej, fotograficznej lub kartograficznej.

4.2. BADANIA GEOFIZYCZNE

Badania geofizyczne mają duże znaczenie w rozpoznaniu warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych, objętych zarówno degradacją naturalną, jak i antropogeniczną. Ich główną zaletą jest możliwość przestrzennego rozpoznania podłoża. Badania te nabierają szczególnego znaczenia w przypadku ośrodków, w których obserwuje się zróżnicowane (ciągle lub nieciągle) deformacje oraz na obszarach, gdzie zastosowanie metod inwazyjnych jest ograniczone (w przypadku skał, osuwisk). Zestawienie wybranych metod geofizycznych przedstawiono w tabeli 4.1.

Najpowszechniej stosowane są metody elektryczne (geoelektryczne/elektrooporowe), sejsmiczne (refrakcyjne) i ele-

Tabela 4.1

Zestawienie wybranych metod geofizycznych (Stelmach, Bzówka, 2010)

Pole sił	Nazwa metody (symbol)	Mierzony parametr
Naturalne	magnetyczna (M)	natężenie pola magnetycznego
	grawimetryczna (G)	natężenie pola grawimetrycznego
	elektromagnetyczna (EM)	amplituda lub faza odbieranego sygnału elektromagnetycznego
	radiometryczna naturalna (R)	natężenie promieniowania
	elektryczna (E) – polaryzacja samoistna (PS)	potencjał pola elektrycznego
Sztuczne	sejsmiczna (S)	czoło przejścia fali pomiędzy odbiornikiem a źródłem
	radiometryczna sztuczna (R)	natężenie promieniowania
	elektromagnetyczna sztuczna (EM)	amplituda lub faza odbieranego sygnału elektromagnetycznego
	radarowa (RD)	czas propagacji odbitego impulsu radarowego od nadajnika do granicy
	elektryczna oporowa (E), w poziomie (PE) lub w pionie (SE)	opór elektryczny mierzonego ośrodka

ktromagnetyczne (georadarowe). Podstawą metod elektrycznych jest zróżnicowanie oporności warstw o różnej litologii. Czynniki wpływającymi na jednoznaczność interpretacji są nawodnienie i mineralizacja wody. Pośród tych metod wyróżnia się (Bestyński, 2011): profilowanie elektrooporowe (*Electrical Profiling* – EP), pionowe sondowania elektrooporowe (*Vertical Electrical Sounding* – VES) i tomografia elektrooporowa (*Electrical Resistivity Tomography* – ERT). Podstawą metod sejsmicznych są pomiary prędkości fal sejsmicznych, co pozwala na wyodrębnienie warstw o różnych prędkościach. Wśród nich w geologii inżynierskiej wykorzystywane są (Bestyński, 2011): metoda profilowania refrakcyjnego falami podłużnymi i poprzecznymi (*Seismic Refraction Profile* – SRP), metoda tomografii sejsmicznej fal bezpośrednich i fal refrakcyjnych (*Seismic Tomography*) oraz metoda analizy spektralnej fal powierzchniowych (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Są to metody powszechnie stosowane w standardowych badaniach geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych dla potrzeb projektowania różnego typu obiektów budowlanych,

lecz można je z powodzeniem wykorzystywać do oceny gruntów nasypanych oraz do charakterystyki terenów zdegradowanych.

Pośród metod geofizycznych, zalecanych do stosowania na terenach zdegradowanych, szczególnie przydatne są metody:

- **profilowania elektrycznego** lub **tomografii elektrooporowej** (fig. 4.1), polegające na pomiarze zróżnicowania oporu elektrycznego ośrodka; przydatne do lokalizowania naturalnych (krasowych) i sztucznych (górnicych) pustek, szczelin, stref uskokowych, położenia zwierciadła wód gruntowych oraz określenia agresywności korozyjnej gruntu, zasięgu osuwisk;
- **georadarowa** (*Ground Penetrating Radar* – fig. 4.2), polegająca na wysyłaniu impulsów fal elektromagnetycznych o wysokiej częstotliwości w głąb i badaniu fal odbitych; przydatna do lokalizacji infrastruktury podziemnej i przeszkód, pustek naturalnych (krasowych) i sztucznych (górnicych), stanu naruszenia górotworu, szczelin skalnych, lokalizacji wycieków

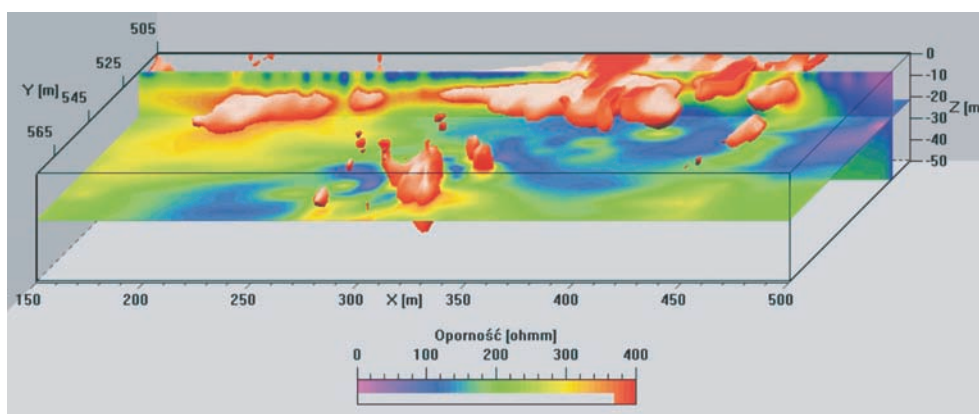


Fig. 4.1. Blokdiagram oporności elektrycznej ośrodka z wyróżnieniem prawdopodobnych, wysokooporowych struktur krasowych (Rudzki, www.geofizyka.pl)



Fig. 4.2. Przykład georadaru (Rajchel, 2011)

substancji szkodliwych itp. Metoda ta ma ograniczony zasięg głębokościowy do ok. 20 m;

- **sejsmiki powierzchniowej** (*Spectral Analysis of Surface Waves – SAWS* i *Continuous Surface Wave System – CSWS*), wykorzystujące fale powierzchniowe Rayleigha, które rozchodzą się promieniście od miejsca wzbudzenia, blisko jego powierzchni z prędkością zależną od częstotliwości fali oraz właściwości sprężystych i gęstości gruntu (Barański, Szczepański, 2007). Wynikiem badań są profile sztywności gruntu, tj. rozkład zmienności maksymalnego modułu ścinania G_{max} (lub modułu Younga E_{max}) wraz z głębokością (fig. 4.3);

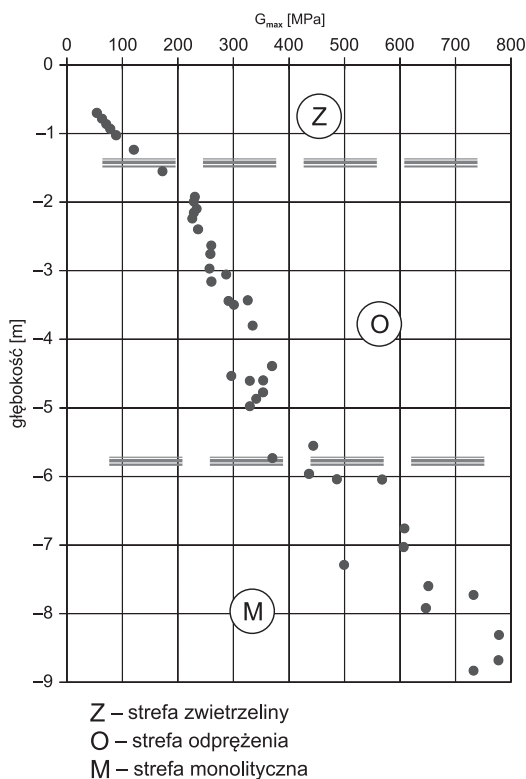


Fig. 4.3. Rozkład modułu ścinania G_{max}

- **grawimetryczne**, posługujące się pomiarami siły ciężkości, służące do wykrywania pustek podziemnych i kawern (metody mikrograwimetryczne do pustek o niewielkich rozmiarach). Badania przeprowadza się w gęstej siatce pomiarowej i w efekcie uzyskuje się rozkład anomalii grawimetrycznych (fig. 4.4). Zasięg głębokościowy tej metody wynosi ok. 30 m.

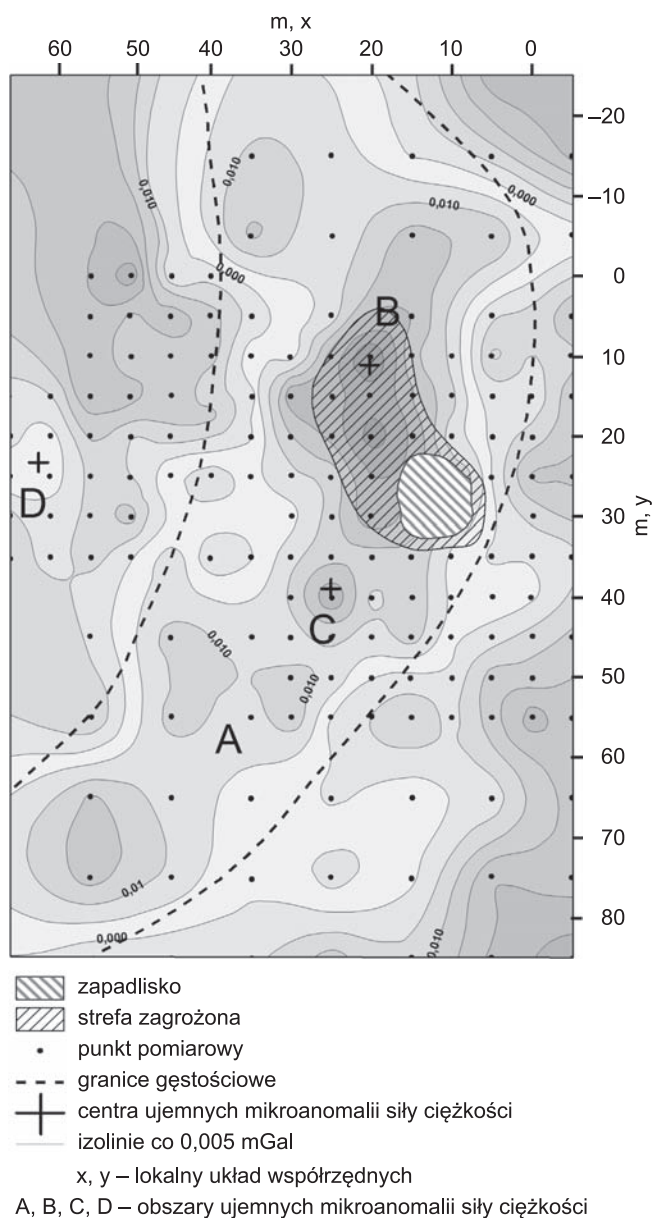


Fig. 4.4. Rozkład anomalii siły ciężkości w rejonie zapadliska górniczego (Fajkiewicz i in., 2006)

Zaleca się stosowanie metod geofizycznych zwłaszcza na wstępnym etapie rozpoznania podłoża, gdyż pozwalają one zdefiniować i okonturować problem, a na ich podstawie można zaprogramować rodzaj i zakres badań na etapie szczegółowym.

4.3. WIERCENIA BADAWCZE I POBÓR PRÓBEK

Dobór techniki wiercenia powinien być dostosowany do rodzaju gruntu oraz powinien uwzględniać wymaganą klasę jakości próbki. Wyróżnia się trzy kategorie metod pobierania próbek gruntu (PN-EN 1997-2:2009, PN-EN ISO 22475-1:2006):

- A – metoda pozwalająca uzyskać próbki klas 1–5, stosowana w przypadku potrzeby uzyskania próbek klasy 1 lub 2, które odpowiadają dawnym próbkom NNS (o naturalnej strukturze, wg PN-B-04481:1988), czyli w stanie nienaruszonym lub z niewielkimi naruszeniami struktury, o wilgotności, gęstości i przepuszczalności takiej jak w warunkach *in situ*;
- B – metoda pozwalająca uzyskać próbki klas 3–5, czyli o naturalnym uziarnieniu i wilgotności, lecz o naruszonej strukturze. Jest to odpowiednik dawnych próbek NW (o naturalnej wilgotności, wg PN-B-04481:1988);
- C – metoda pozwalająca uzyskać próbki klasy 5, czyli o strukturze i wilgotności całkowicie zmienionej. Próbki tej klasy nie odpowiadają dawnym próbkom NU (o naturalnym uziarnieniu, wg PN-B-04481:1988).

Charakterystykę poszczególnych klas jakości próbek przedstawiono w tabeli 4.2.

Do metod kategorii A poboru próbek można zaliczyć m.in. (fig. 4.5):

- wiercenia z zastosowaniem aparatów rdzeniowych (podwójnych, potrójnych), w przypadku gruntów grubo- i drobnoziarnistych bez stosowania płuczki (tzw. wiercenia rdzeniowane na sucho),

- wiercenia z zastosowaniem świrdrów przelotowych oraz wewnętrznych próbników (grunty drobnoziarniste – spoiste),
- cienkościenne próbki wciskane (grunty drobnoziarniste – spoiste, organiczne),
- wielkośrednicowe próbki cylindryczne (grunty drobnoziarniste – spoiste, organiczne),
- cienkościenne próbki tłokowe (grunty drobnoziarniste – spoiste, organiczne),
- próbki blokowe, pobierane z wykopów badawczych.

Do metod kategorii B można zaliczyć m.in.:

- wiercenia z zastosowaniem aparatów rdzeniowych (pojedynczych),
- wiercenia z zastosowaniem świrdrów przelotowych (grunty drobnoziarniste – spoiste),
- grubościenne próbki tłokowe (grunty drobnoziarniste – spoiste),
- próbki cylindryczne SPT (grunty gruboziarniste – niespoiste, ropy, pyły).

Do metod kategorii C można zaliczyć m.in.:

- wiercenia z zastosowaniem nieprzelotowych świrdrów spiralnych,
- próbki okienkowe.

W przypadku badań na terenach osuwisk w miarę potrzeby należy rozważać pobór próbek blokowych do wielkoskalowych badań laboratoryjnych.

W przypadku badań podłoża skalnego z zastosowaniem wierceń rdzeniowanych, oprócz poboru próbek, należy każdorazowo określić uzysk rdzenia, który określony jest trzema wskaźnikami (fig. 4.6):

- RQD (*Rock Quality Designation*) – wskaźnik spękania masywu – suma długości wszystkich odcinków rdze-

Tabela 4.2

Klasy jakości próbek i kategorie pobierania próbek (PN-EN 1997-2:2009)

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 22475-1:2006	A					
	B					
					C	

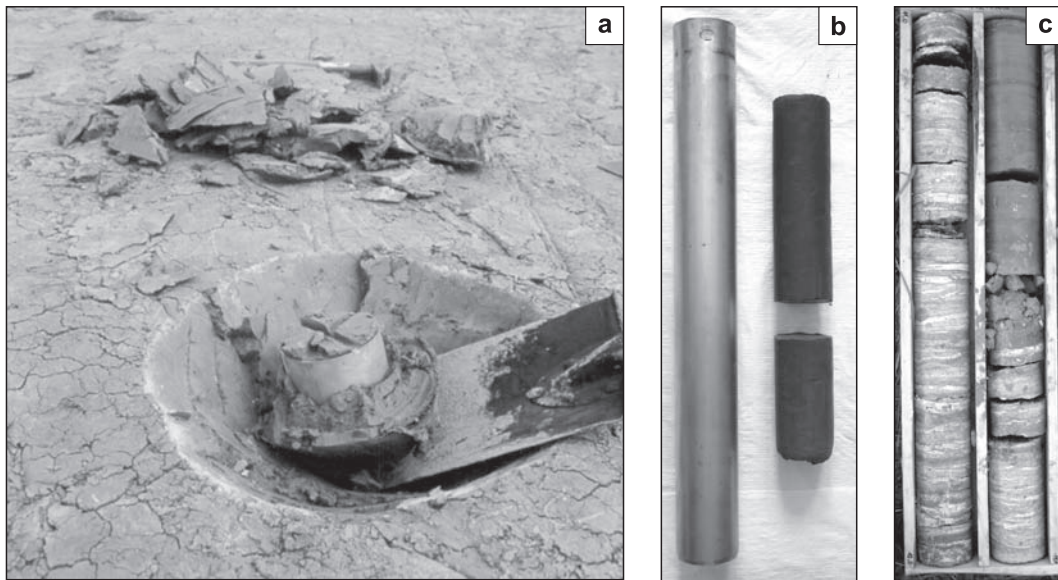


Fig. 4.5. Przykłady poboru próbek: za pomocą cylindra (a), za pomocą cienkościennego próbnika wciskanego (b) oraz za pomocą rdzeniówki (c)

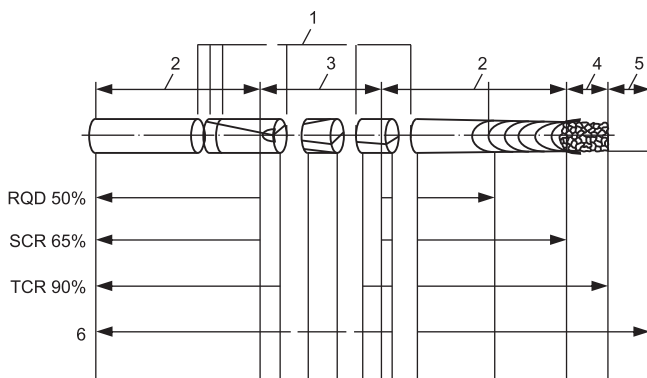


Fig. 4.6. Ocena masywu skalnego na podstawie rdzenia wiertniczego (PN-EN ISO 22475-1:2006)

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

nia, których długość wynosi 10 cm lub więcej, mierzona wzdłuż osi rdzenia, wyrażona w procentach,

- 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, wyrażona w procentach.

4.4. BADANIA TERENOWE ZNORMALIZOWANE

Nowa polska norma PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego wyróżnia 11 połowych metod badawczych, powszechnie uznanych i stosowanych do roz-

poznania właściwości podłoża w większości krajów europejskich. Metody te można z powodzeniem stosować do oceny parametrów geotechnicznych gruntów na terenach zdegradowanych. Szczególnie przydatne są te, z których uzyskuje się niemal ciągły zapis (np. CPT/CPTU). Większość z nich nie będzie miała jednak zastosowania w przypadku rolnego lub leśnego kierunku rekultywacji (zbyt szczegółowe). W badaniach znormalizowanych właściwości podłoża określane są na podstawie związków korelacyjnych, które należy opracować dla poszczególnych warunków gruntowych. Dlatego też, zwłaszcza w przypadku gruntów antropogenicznych, należy każdorazowo określić lub zweryfikować zastosowane związki korelacyjne. Do oceny parametrów geotechnicznych zaleca się stosowanie systemu **węzłów badawczych** (kilka metod badawczych w jednym punkcie w połączeniu z wierceniem i poborem próbek odpowiedniej klasy do badań laboratoryjnych w celu uzyskania wiarygodnych związków korelacyjnych, fig. 4.7).

Przykłady zastosowań znormalizowanych rodzajów sondowań przedstawiono w tabeli 4.3.

Badanie sondą dynamiczną (DP). Celem sondowania dynamicznego jest wyznaczenie oporu gruntu na dynamiczne zagłębienie stożka. Do zagłębienia stożka używany jest młot o określonej masie i wysokości spadania. Wyróżnia się cztery rodzaje sondowań:

- lekkie sondowanie dynamiczne (DPL): sonda o masie 10 kg, liczba uderzeń N_{10L} ,
- średnie sondowanie dynamiczne (DPM): sonda o masie 30 kg, liczba uderzeń N_{10M} ,
- ciężkie sondowanie dynamiczne (DPH): sonda o masie 50 kg, liczba uderzeń N_{10H} (fig. 4.8),
- superciężkie sondowanie dynamiczne (A-DPSH, wys. rzutu $h = 500$ mm i B-DPSH, $h = 750$ mm): sonda

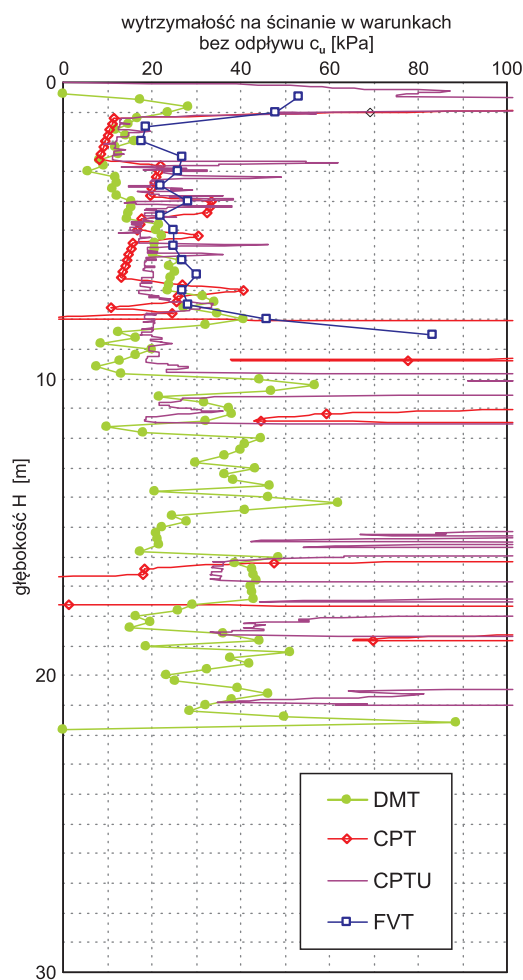


Fig. 4.7. Przykład prezentacji wyników w węźle badawczym (badania PIG-PIB)

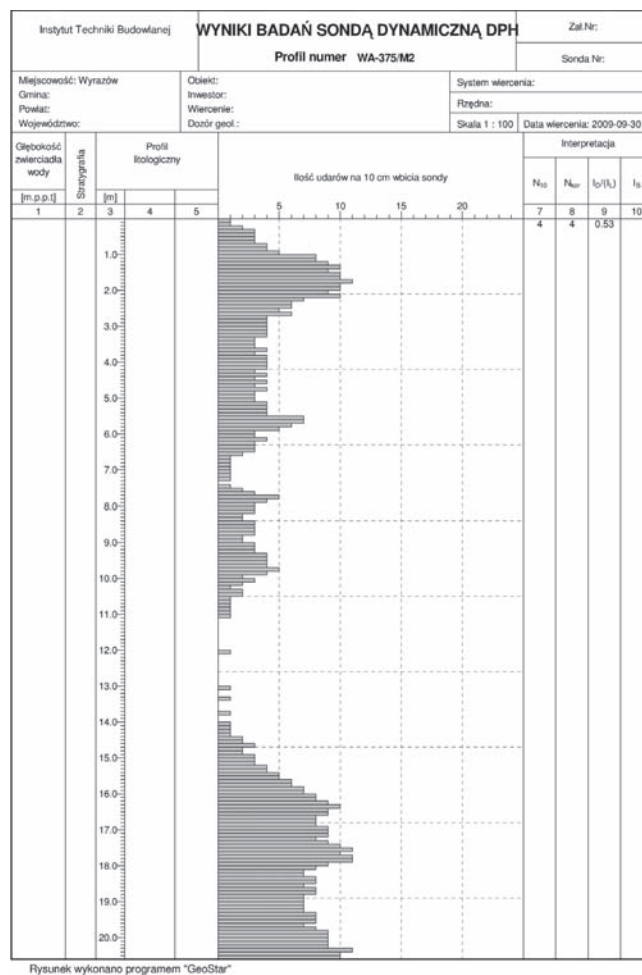


Fig. 4.9. Przykład lokalizacji pustek związanych z eksploatacją rud żelaza w rejonie Częstochowy



Fig. 4.8. Sondy dynamiczne DPH i DPSH

o masie zbliżonej do SPT 63,5 kg, liczba uderzeń N_{10SA} , N_{20SA} , N_{10SB} lub N_{20SB} .

Ten rodzaj sondowania najczęściej wykorzystuje się do oceny podłoża zbudowanego z gruntów gruboziarnistych (ocena zagęszczenia), jednak z powodzeniem może być stosowany do określania zasięgu głębokościowego gruntów słabych, nasypowych, do lokalizacji pustek (fig. 4.9), kawern, przewarstwień słabego podłoża oraz stref cementacji lub bardzo zagęszczonego podłoża czy też stropu warstwy nośnej.

Badanie sondą cylindryczną (SPT) polega na określeniu oporu gruntu przez dynamicznie zagłębiany próbnik w dnie otworu. Próbnik w postaci dzielonego cylindra pozwala również na otrzymanie prób gruntu do badań (fig. 4.10). Na podstawie SPT, oprócz badań klasyfikacyjnych, można dosyć dokładnie określić wartości gęstości objętościowej i wilgotności. Próbnik jest zagłębiany w gruncie przez opuszczanie młota o masie 63,5 kg na kowadło lub podobnik z wysokości 760 mm. Podczas badania rejestrowana jest liczba uderzeń N , konieczna do osiągnięcia zagłębienia próbnika na głębokość 300 mm (po jego zagłębieniu pod wpływem siły ciężkości i poniżej wymaganego

Tabela 4.3

Zestawienie znormalizowanych metod badań podłoża, uzyskiwanych pomiarów oraz wyprowadzonych na ich podstawie parametrów gruntów (PN-EN 1997-2:2009)

Metoda	Wykonywane pomiary	Wartości wyprowadzone*	Zastosowanie dla terenów zdegradowanych	Ograniczenia
Sondowanie dynamiczne DP	liczba uderzeń N_{10} dla następujących badań: DPL, DPM, DPH, liczba uderzeń N_{10} lub N_{20} dla badania DPSH	I_D, φ', M	zasięg głębokościowy gruntów słabych, nasypowych, lokalizacja pustek, lokalizacja stref osłabień	ograniczona głębokość: DPL – 8 m DPM – 20 m DPH – 25 m; znaczący wzrost tarcia wraz z głębokością w grutach spoistych
Badanie dynamiczne sondą cylindryczną SPT	liczba uderzeń N , współczynnik energii E_p , opis gruntu	I_L, I_D, φ', E	pobór próbek, lokalizacja stref osłabień	występowanie kamieni, gruzu, dużych otoczków; wymaga podwiertu
Badanie statyczne sondą stożkową CPT	opór zagłębienia stożka q_c , miejscowy, jednostkowy opór tarcia na poboczniczy f_s , współczynnik tarcia R_f	$I_L, I_D, c_u, \varphi', c', M, E, OCR, K_0, I_C$	profil wytrzymałościowy i odkształceniowy podłoża, uwarstwienie, zasięg głębokościowy gruntów słabych, nasypowych, lokalizacja stref osłabień, zasięg kolumwium w przypadku osuwisk	bardzo zagęszczone piaski, żwiry i pospółki
Badanie statyczne sondą stożkową z możliwością pomiaru ciśnienia porowego CPTU	skorygowany opór stożka q_t , miejscowy, jednostkowy opór tarcia na poboczniczy f_s , pomierzone ciśnienie porowe u	$I_L, I_D, c_u, \varphi', c', M, E, \gamma, OCR, K_0, I_C, c_{v(h)}, k_{h(v)}, G_0, CRR$	jw. + oszacowanie przepuszczalności gruntów	bardzo zagęszczone piaski, żwiry i pospółki
Badanie dylatometrem płaskim DMT	skorygowane ciśnienie p_0 , skorygowane ciśnienie p_1 przy wychyleniu membrany 1,1 mm, moduł dylatometryczny E_{DMT} , wskaźnik materiałowy I_{DMT} oraz wskaźnik naprężeń poziomych K_{DMT}	$c_u, \varphi', M, K_0, OCR, k_h$	zasadny dla specjalnego (budowlanego) kierunku zagospodarowania do oceny parametrów odkształceniowych	możliwość uszkodzenia membrany w przypadku występowania kamieni, gruzów itp.
Badanie presjometryczne Menarda MPM	moduł presjometryczny E_M , ciśnienie pelzania p_p , ciśnienie graniczne p_{LM} , krzywa ekspansji (rozszerzalności)	I_D, I_L, c_u, M	jw.	bardzo zagęszczone piaski, żwiry i pospółki nawodnione; wymaga podwiertu
Badanie dylatometrem cylindrycznym FDT	moduł dylatometryczny E_{FDT} , krzywa odkształcenia	I_D, I_L, c_u, M	jw.	brak sprawdzonych korelacji w warunkach polskich
Wszystkie inne badania presjometryczne (PBP, SBP, FDP)	krzywa odkształcenia	I_D, I_L, c_u, M	jw.	bardzo zagęszczone piaski, żwiry i pospółki nawodnione; brak sprawdzonych korelacji w warunkach polskich
Badanie połową sondą krzyżową FVT	wytrzymałość na ścinanie bez odpływu (bez poprawki) c_{fv} , wytrzymałość na ścinanie bez odpływu gruntu przerobionego c_{rv} , krzywa momentu obrotowego	I_L, c_u, c_p, S_t	zasadny dla wodnego i specjalnego (budowlanego) kierunku zagospodarowania, szczególnie do oceny parametrów wytrzymałościowych	dla gruntów o $c_u < 150$ kPa
Badanie sondą wkręcaną WST	ciągły zapis oporu sondowania sondą wkręcaną, opór sondowania sondą wkręcaną to: – wielkość zagłębienia przy obciążeniu normowym albo – liczba półobrotów potrzebnych na każde 0,2 m wępu, przy normowym obciążeniu 1 kN	φ', E, c_u, I_D	zasięg głębokościowy gruntów słabych, nasypowych	grunty zwarte lub zagęszczone
Próbne obciążenie płytą PLT	graniczne naprężenie kontaktowe p_u	c_u, E_{PLT}, k_s	zasadny dla odbiorów geotechnicznych podłoża	miękkoplastyczne grunty drobnoziarniste

* Wybrano najbardziej znaczące parametry, symbole i opisy wg PN-EN 1997-2:2009.

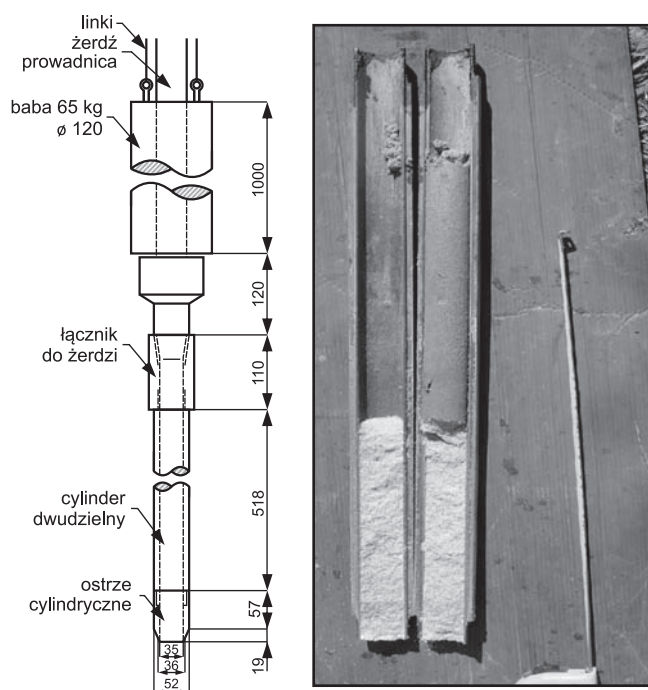


Fig. 4.10. Sonda SPT (Godlewski, 2009)

zagłębienia wstępnego). Stosuje się je głównie do poboru próbek oraz oceny zagęszczenia. Nie zaleca się stosowania do oceny nasypów gruzowych i gruntów z dużymi otoczkami (możliwość zaklinowania próbki), wymaga podwiertu.

Badania statyczną sondą stożkową CPT (bez pomiaru wody w porach), **CPTU** (z pomiarem ciśnienia wody w porach, fig. 4.11) lub **MCPT** (z końcówką mechaniczną) służą do określenia oporu gruntu podczas zagłębienia stożka q_c oraz tarcia na tulei ciernej f_s . Badanie CPT polega na wciska-

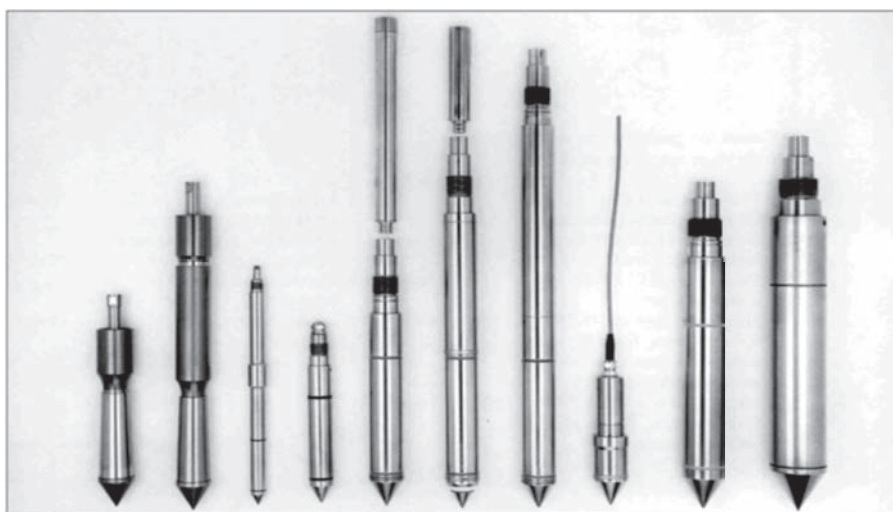
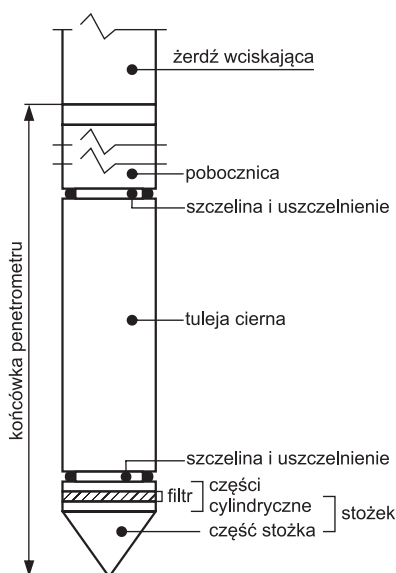


Fig. 4.11. Schemat budowy końcówki elektrycznej CPTU (PN-B-04452:2002), obok widok różnych typów końcówek pomiarowych (www.apvandenber.com)

niu sondy stożkowej pionowo w grunt za pomocą kolumny, ze stałą, ustaloną prędkością zagłębienia (2 cm/s). Sondowanie wykonuje się najczęściej siłownikiem o nacisku od 5 do 40 t, zwykle z powierzchni lub w otworze.

Wyniki badania CPTU (fig. 4.12) są wykorzystywane głównie do oceny uwarstwienia podłoża, wyznaczania parametrów geotechnicznych, takich jak właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe gruntu, do wykrywania stref osłabień, do pomiarów rozpraszania ciśnienia wody w porach (test dyssypacji – CPTU), a także w metodach obliczeniowych np. długości i nośności pali lub wymiarów fundamentów bezpośrednich. Sondy wyposażane są w coraz bardziej skomplikowane systemy pomiarowe (Cone Penetration Testing, 2007): VisCPT – z kamerą śledzącą warstwy gruntu, CCPTU/RCPTU – z elektrodami do pomiaru przewodności, z dodatkowym próbnikiem do poboru próbek, radioizotopowa do pomiaru gęstości i wilgotności *in situ*, T-bar – do gruntów bardzo słabych, a także z dodatkowymi czujnikami temperatury.

Głównym ograniczeniem metody jest występowanie w podłożu bardzo zagęszczonych piasków, żwirów i pospółek (trudności z osiągnięciem wymaganej głębokości).

Badanie dylatometrem płaskim (DMT). Dylatometr płaski jest rodzajem sondy o płaskim ostrzu, umożliwiającej rozpoznanie i pomiar parametrów gruntu bezpośrednio w podłożu. W Polsce najczęściej wykonuje się badanie dylatometrem płaskim Marchettiego. Celem badania jest wyznaczenie właściwości wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntu *in situ* przez odkształcenie cienkiej stalowej membrany w kształcie koła, zamontowanej w płaszczyźnie jednej strony stalowej sondy w kształcie łopatki, wprowadzonej pionowo do gruntu (fig. 4.13). Badanie polega na mierzeniu ciśnień, gdy membrana jest w jednej płaszczyźnie z ostrzem w momencie początkowym oraz gdy przemieszczenie w środku membrany w kierunku gruntu osiąga

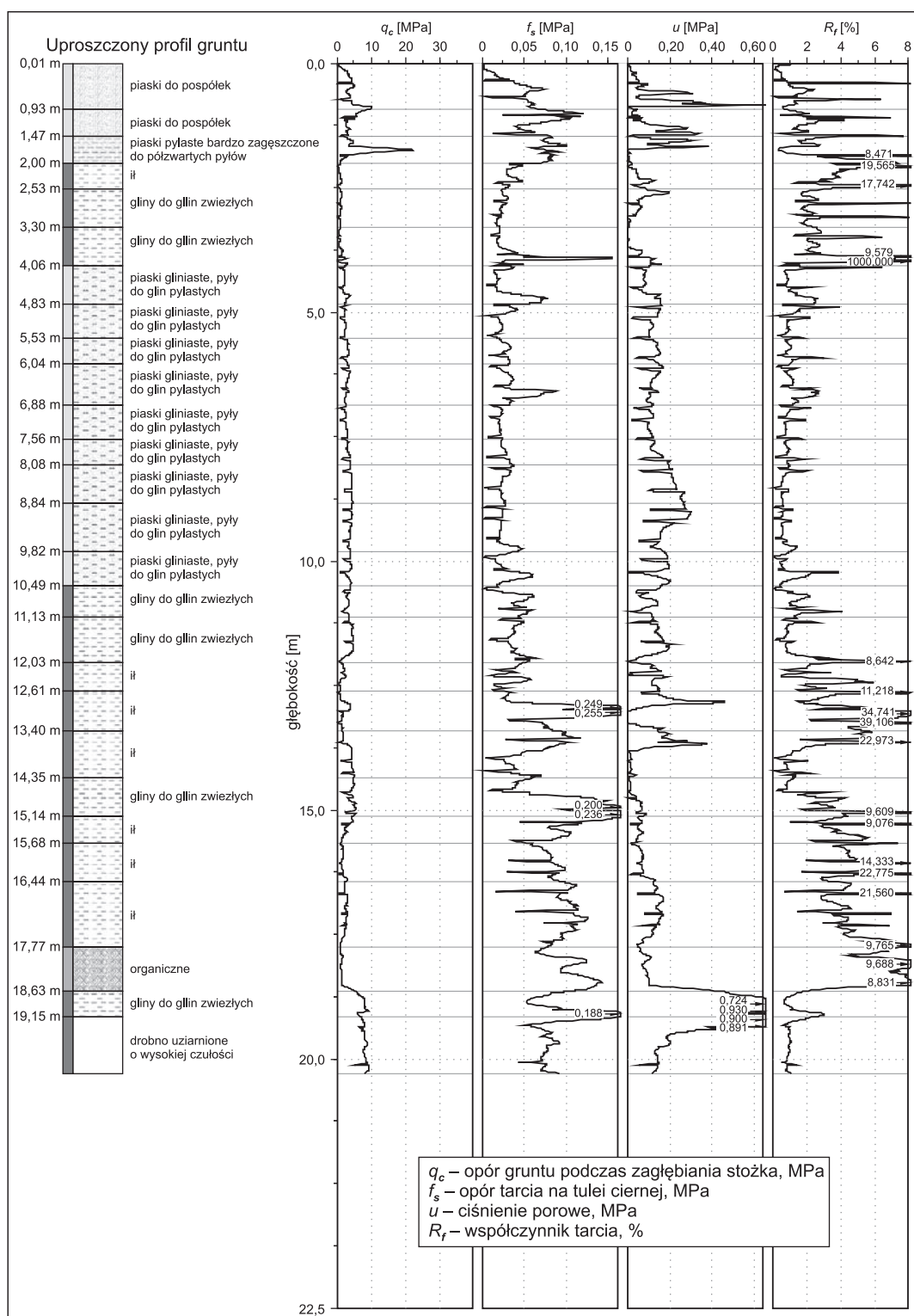


Fig. 4.12. Przykład wyników sondowań CPTU uzyskanych na zwałowisku zewnętrznym w Belchatowie

1,1 mm. Badanie można wykonywać na wybranych głębokościach albo w sposób półciągły (minimalne przemieszczenie co 20 cm).

Na podstawie badań DMT można określić m.in. współczynnik parcia boczego, wytrzymałość na ścinanie bez

odpływu, współczynnik przekonsolidowania, współczynniki konsolidacji i wodoprzepuszczalności oraz moduły ścisłości i sprężystości gruntu (fig. 4.14). Wyniki badań DMT można wykorzystać również do oszacowania wartości osiadań. Głównym ograniczeniem metody jest występowanie



Fig. 4.13. Łopatką dylatometryczną wraz z urządzeniem pomiarowym do badań dylatometrem płaskim (Marchettięgo)

nie w podłożu kamieni, gruzu i innych przeszkód mogących uszkodzić ciekłą membranę. Ponadto badanie wymaga dużej wprawy i doświadczenia w przypadku występowania gruntów w stanie miękkoplastycznym oraz organicznych.

Badania presjometryczne (PMT). Celem badania presjometrycznego jest pomiar *in situ* odkształcenia gruntu wywołanego rozszerzaniem się cylindrycznej, elastycznej membrany pod wpływem wzrostu ciśnienia (fig. 4.15). Badanie polega na umieszczeniu w podłożu sondy zawierającej cylindryczną, elastyczną membranę. Na wcześniej określonej głębokości membrana rozszerza się pod ciśnieniem, a odczyty wartości ciśnienia i rozszerzenia są rejestrowane, aż zostanie osiągnięte rozszerzenie boczne, maksymalne dla konkretnego urządzenia. Rozszerzenie mierzone jest na podstawie przemieszczenia radialnego lub zmiany objętości w membranie cylindrycznej.

Otrzymane wyniki służą do wyznaczania krzywych naprężenie–odkształcenie. Jako wynik sondowania otrzymuje się kartę dla danej głębokości badania. Z niej odczytuje się ciśnienie graniczne, moduł presjometryczny i stosunek modułu do ciśnienia, podawane są też wykresy zmienności tych danych wraz z głębokością.

Istnieją cztery różne typy tych urządzeń: presjometry wymagające wstępnego wiercenia (PBP), presjometr Menarda (MPM), presjometr samowierzący (SPB) oraz presjometr zagłębiany z pełnym przemieszczaniem (FDP).

Presjometry PBP i MPM są opuszczane do otworu badawczego, wykonanego specjalnie dla badania presjometrycznego. Presjometr samowierzący SPB wwierca się w grunt przy użyciu specjalnej głowicy umieszczonej na jego dolnym końcu. Dylatometr FDP zazwyczaj jest wciskany w grunt za pomocą specjalnego stożka umieszczonego w dolnym końcu sondy. Presjometr MPM w niektórych przypadkach może być wciskany albo wkręcany w grunt. Sondy PBP, SBP i FDP mogą przybierać różne formy, zależnie od rodzaju przyrządu i systemu pomiarowego.

Badanie służy do oceny parametrów odkształceniowych. Jest badaniem zaawansowanym, zasadnym przede wszystkim w przypadku budowlanego kierunku zagospodarowania, choć można go wykorzystywać do charakterystyki geologiczno-inżynierskiej terenu, stosując wartości modułu presjometrycznego jako kryterium wydzielenia na mapach geologiczno-inżynierskich (Tarnawski, 2007).

Badanie cylindrycznym dylatometrem sprężystym (FDT) polega na pomierzeniu w warunkach *in situ* odkształcalności skały (badanie dylatometryczne skały RDT) oraz gruntu (badanie dylatometryczne gruntu SDT) na podstawie pomiarów radialnego rozszerzenia odcinka odwiertu, przy znanym, równomiernym ciśnieniu radialnym przyłożonym za pomocą cylindrycznej końcówki dylatometrycznej (fig. 4.16). Badanie polega na wprowadzeniu

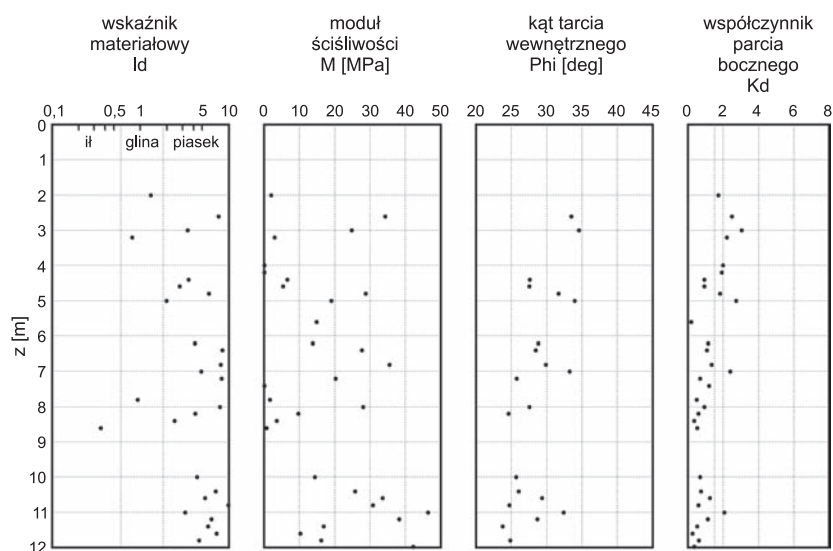


Fig. 4.14. Przykład wyników sondowań DMT uzyskanych na składowisku popiołów Lubień

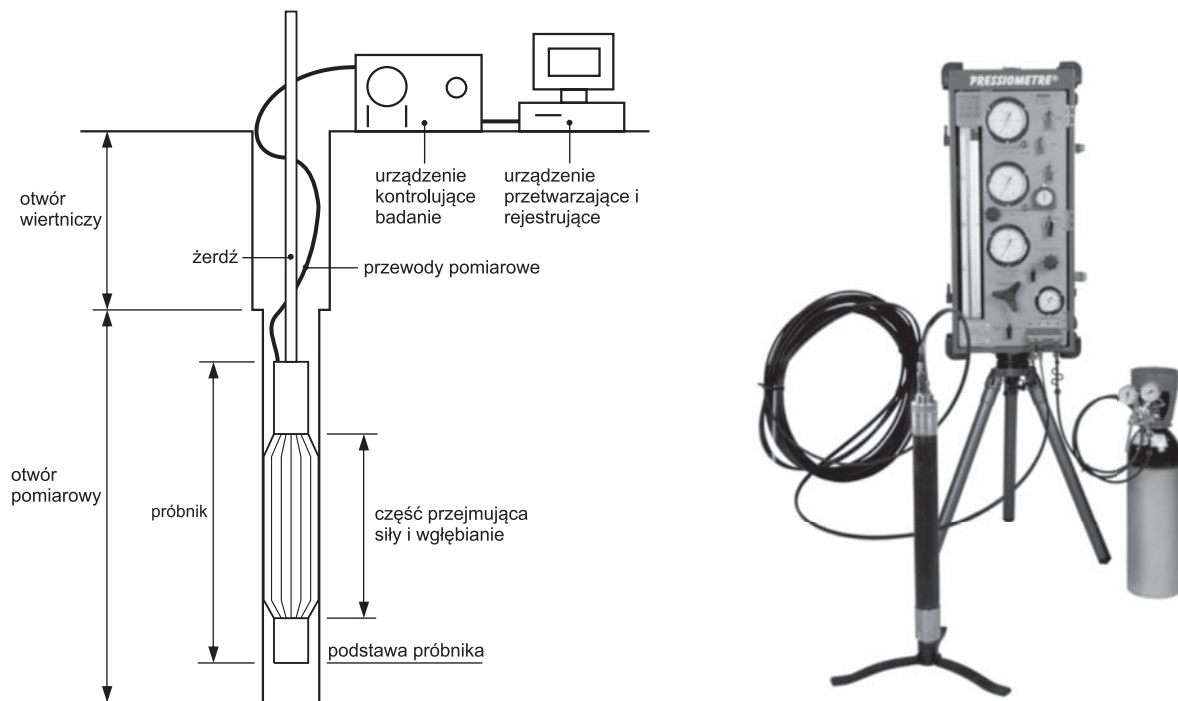


Fig. 4.15. Schemat i zestaw do badań presjometrem Menarda (PN-B-04452:2002, www.apageo.com)

do odwiertu sondy cylindrycznej, mającej zewnętrzną rozszerzalną, sprężystą membranę, i pomierzeniu, w wybranych przedziałach czasowych albo w sposób półciągły, radialnego przemieszczenia odwiertu wywołanego znanym ciśnieniem radialnym.

Badanie RDT stosuje się głównie w miękkich i twardych utworach skalnych, natomiast badanie SDT jest wykonywane przede wszystkim w gruntach plastycznych. Celem badania jest otrzymanie wykresów zmian odkształcalności wraz z głębokością. Wyniki badań dylatometrem cylindrycznym mogą być wykorzystane do wyznaczenia właściwości odkształceniowych i pełzania *in situ* dla nienaruszonej skały. W skałach kruchych lub ilastych oraz w utworach spękanych albo o małej nieciągłości, w których pozyskiwanie rdzenia jest trudne lub niewystarczające do otrzymania reprezentatywnych próbek do badań laboratoryjnych, badanie dylato-

metrem cylindrycznym może być stosowane do szybkiego rejestrowania wskaźników skał i do porównań względnej odkształcalności różnych warstw skalnych.

W Polsce metoda ta jest mało znana i rzadko wykonywana. Doświadczenia europejskie są również ograniczone i bazują na danych z badań presjometrycznych (dylatometr cylindryczny jest de facto odmianą presjometru). Podczas przeprowadzania analizy odkształcenia moduł sprężystości Younga może być przyjęty jako równy modułowi dylatometrycznemu E_{FDT} przy założeniu, że grunt lub skała jest liniowo sprężysta i izotropowa. Gdy zastosowana jest pośrednia lub analityczna metoda projektowania, parametry geotechniczne modułu ścinania należy wyprowadzać z krzywej dylatometrycznej przy stosowaniu metod odpowiednich dla określonego rodzaju badania. Jest to badanie zaawansowane, którego wykonanie można rozważyć w przypadku budowlanego kierunku zagospodarowania. Jego głównym ograniczeniem jest brak sprawdzonych korelacji w warunkach polskich.

Badanie połową sondą krzyżakową (FVT) polega na pomiarze oporu przy obrocie końcówki umieszczonej w gruncie. Podczas sondowania sondą FVT wykonuje się pomiary oporu ścinania po powierzchni walcowej. Końcówka krzyżakowa ma znormalizowane wymiary (fig. 4.17).

Badanie tą sondą stosuje się głównie w słabych gruntach spoistych i organicznych ($c_u < 75$ kPa) w celu określenia wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu oraz wrażliwości strukturalnej gruntu. Poprzez wielokrotne ścicie można również określać wytrzymałość rezydualną. Sondowanie wykonywane jest z powierzchni przy wykorzystaniu rur osłonowych lub w otworach badawczych. Sonda zagłębiania jest przez wciskanie. W przypadku gruntów bardzo słabych czy wrażliwych można zastosować końcówki



Fig. 4.16. Cylindryczny dylatometr sprężysty FDT (www.roctest-group.com)

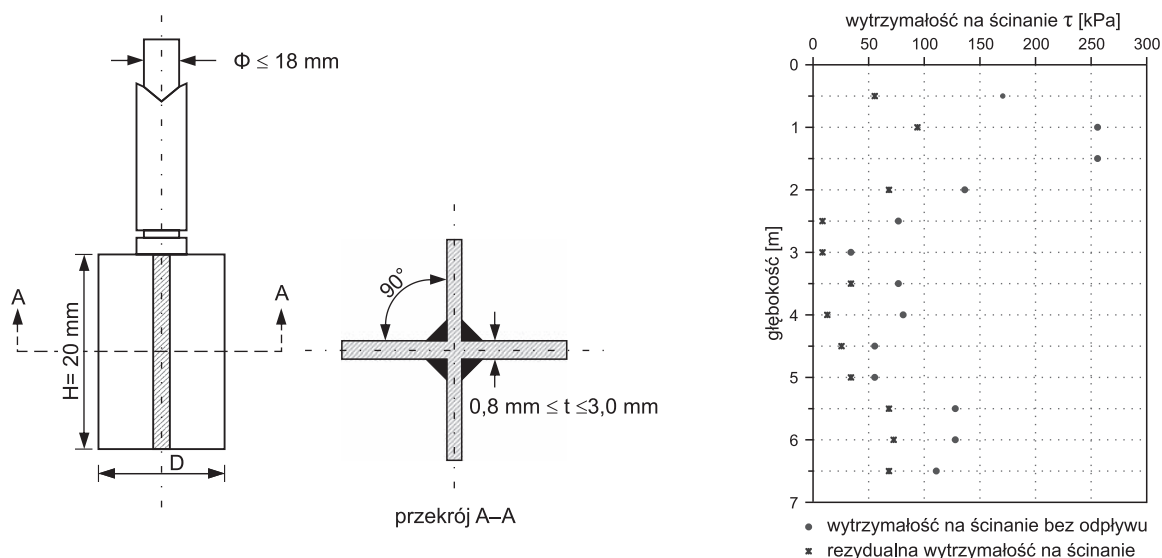


Fig. 4.17. Schemat końcówki krzyżakowej sondy FVT (PN-B-04452:2002) oraz przykładowy wykres wytrzymałości na ścinanie

o większej powierzchni ściana, pod warunkiem uwzględnienia tego przy opracowaniu wyników.

W Polsce również jest stosowana sonda SLVT, za pomocą której można oszacować wartość zagęszczenia gruntów niespoistych oraz określić wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu.

Badanie sondą wkręcaną (WST). Celem badania jest wyznaczenie oporu gruntu *in situ* na statyczne lub obrotowe zagłębienie końcówki w kształcie śruby (fig. 4.18) – metoda została wymyślona i sprawdzona w Skandynawii. Badanie sondą wkręcaną WST należy wykonywać w słabych gruntach, jeśli opór zagłębienia jest mniejszy niż 1 kN w sposób statyczny. Jeśli opór przekracza 1 kN, sondę należy obracać

ręcznie lub mechanicznie oraz rejestrować liczbę półobrotów przy określonym zagłębieniu. Próbkę gruntu nie są pobierane.

Badania sondą wkręcaną są wykorzystywane do ustalania ciągłego profilu gruntu i następstwa warstw. Zagłębienie sondy jest możliwe w niektórych przypadkach nawet w zwartych ilach i zagęszczonych piaskach, dlatego badanie sondą WST może być stosowane również do oceny stopnia zagęszczenia piasków. Innym zastosowaniem jest na przykład wykorzystanie do wyznaczenia głębokości warstw zagęszczonego gruntu, pozwalające ustalić długość pali.

Próbné obciążenie płytą (PLT). Celem próbnego obciążenia płytą jest określenie pionowego odkształcenia i właści-

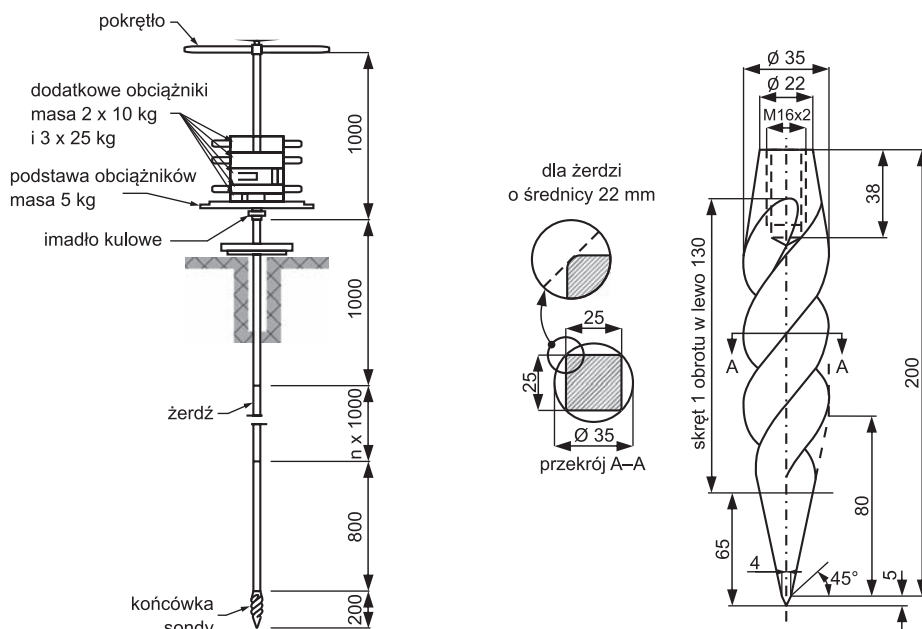


Fig. 4.18. Sonda wkręcana WST (PN-B-04452:2002)

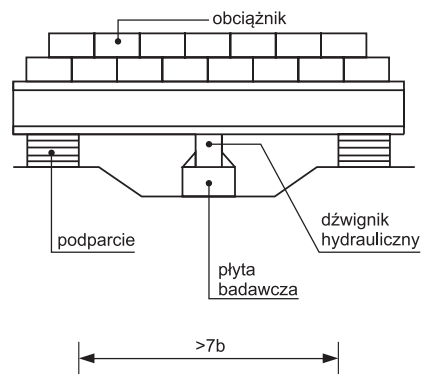


Fig. 4.19. Próbne obciążenie płytą PLT (PN-B-04452:2002; Godlewski, 2009)

wości wytrzymałościowych podłoża poprzez rejestrowanie obciążenia i odpowiadającego mu osiadania. Próbne obciążanie płytą należy przeprowadzać na dokładnie wyrównanej i nienaruszonej powierzchni podłoża, na dnie wykopu na określonej głębokości, również na dnie odwiertu o dużej średnicy lub w szybie badawczym (fig. 4.19).

Badanie jest stosowane we wszystkich gruntach, zasympach i skałach, nie powinno być wykorzystywane do miękkoplastycznych gruntów drobnoziarnistych. Zasadne dla odbiorów geotechnicznych podłoża (kontroli spełniania wymagań projektowych).

4.5. WYBRANE SPECJALISTYCZNE BADANIA TERENOWE

Pośród metod specjalistycznych, przydatnych do badań gruntu na obszarach zdegradowanych, należy wymienić: końcówki sejsmiczne do sondy statycznej (SCPTU), końcówki sejsmiczne do dylatometrów (SDMT), końcówkę opornościową do sondy CPTU (RCPTU/CCPTU), badania introskopowe oraz polowe metody badania współczynnika filtracji.

Sondowanie statyczne lub dylatometryczne z końcówką sejsmiczną (SCPT/SCPTU, SDMT). Wyposażenie sondy statycznej w geofony nadawcze i odbiorcze pozwala dodatkowo (oprócz standardowego badania CPT/CPTU) mierzyć prędkość rozchodzenia się fal ścinających (fig. 4.20). 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. Stożki wyposażone są w pojedynczy lub podwójny zestaw czujników. W podobny sposób zmodyfikowany został dylatometr (fig. 4.21). Do zestawu dołączono końcówkę z dwoma geofonami, umieszczoną tuż nad łopatką. Badanie przebiega podobnie jak badanie dylatometryczne, z tym że co 1 m dokonuje się pomiaru czasu propagacji fali od nadajnika na powierzchni do dwóch odbiorników.

Badania sejsmiczne pozwalają na wyznaczenie profilu sztywności gruntu w funkcji modułu ścinania (G_0) i, jak wynika z badań, dobrze korelują się z wynikami badań uzyskanymi klasycznymi metodami geofizycznymi.

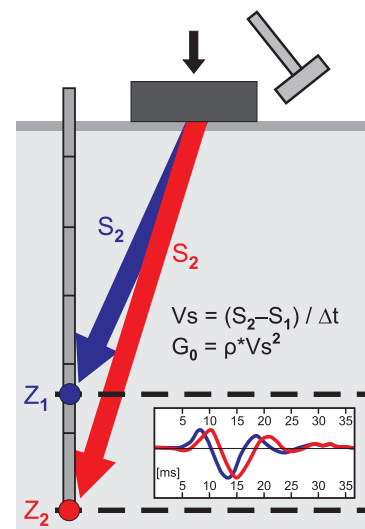


Fig. 4.20. Schemat pomiaru prędkości fali poprzecznej

V_s – prędkość fali poprzecznej, S_1, S_2 – odległość między źródłem sygnału a geofonami Z_1 i Z_2 , t – czas między wygenerowaniem sygnału a jego odbiorem, G_0 – moduł ścinania, ρ – gęstość ośrodka

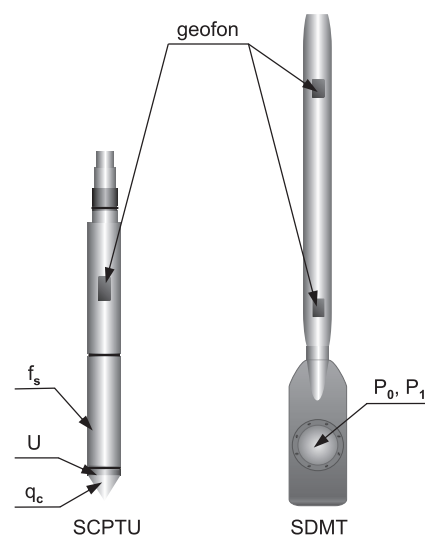


Fig. 4.21. Przykłady końcówek sejsmicznych (Młynarek i in., 2003); objaśnienia symboli – tabela 4.3

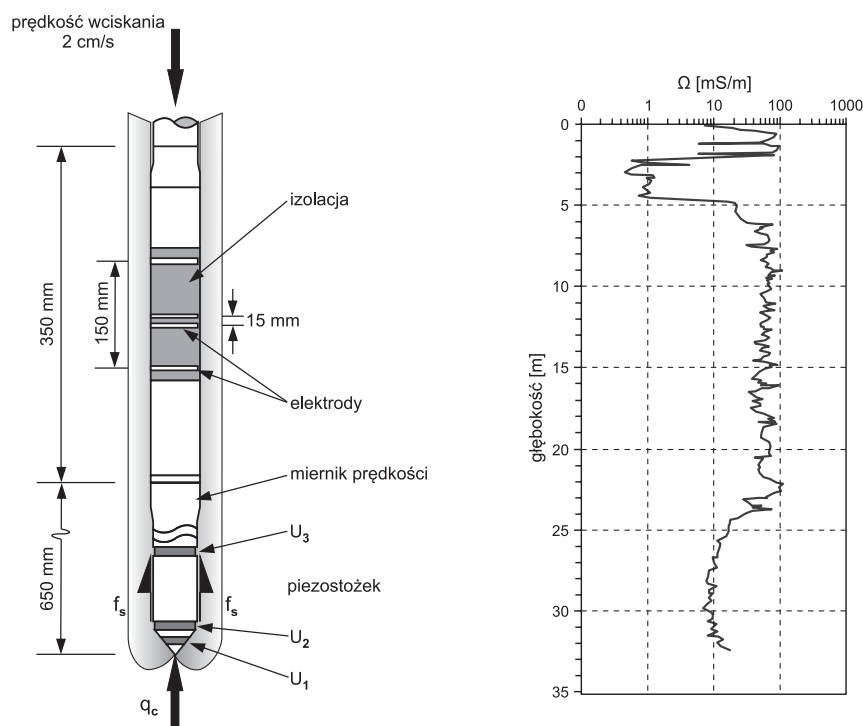


Fig. 4.22. Końcówka sondy CCPTU/RCPTU oraz przykładowy profil oporności (Cone Penetration Testing, 2007)

Badania te z powodzeniem stosowane są od lat na składowisku odpadów poflotacyjnych Żelazny Most, gdzie do konstrukcji zapór otaczających zbiornik wykorzystuje się odpady kopalniane (Młynarek i in., 2003; Gogolik, 2006).

Sondowanie statyczne końcówką opornościową (RCPTU/CCPTU). Wyposażenie końcówki CPTU w dodatkowy moduł z elektrodami (RCPTU/CCPTU) do pomiaru napięcia pomiędzy nimi pozwala na wyznaczenie oporności i przewodności elektrolitycznej gruntu, przez który przepływa prąd zmienny o dużej częstotliwości. Badania te mają szczególne zastosowanie na terenach zanieczyszczonych chemicznie, gdyż pozwalają szybko wytypować obszary o anomalnych wartościach przewodności w stosunku do tła. Wówczas w miejscach tych można zaprogramować bardziej szczegółowe badania z poborem próbek/wody do badań chemicznych. Badanie ma niewielką przydatność do badań osadów poflotacyjnych ze względu na dużą zmienność przewodności, wymagającą stałej kalibracji metody poborem próbek gruntu i wody (Młynarek i in., 2003). Przykład sondy CCPTU/RCPTU (typ UBC – *University of British Columbia*) wraz z profilem oporności podłoża przedstawiono na figurze 4.22.

Na wynik badania mają wpływ (Campanella, 2008):

- skład chemiczny wody w porach,
- stopień nasycenia,
- porowatość/zagęszczenie,
- temperatura,
- kształt przestrzeni porowej,
- zawartość frakcji ilastej,
- skład mineralogiczny,
- właściwości dielektryczne ośrodka.

Badania introskopowe (w podczerwieni) polegają na wizualnej penetracji wnętrza otworów wiertniczych, sztyków kopalnianych itp. za pomocą miniaturowej kamery. Zastosowanie podczerwieni do oświetlenia badanego obiektu umożliwia dokładniejszą inwentaryzację pęknięć i szczelin w górotworze (także wypełnionych luźnym osadem). Na podstawie badań introskopowych można określić stan górotworu (Stopyra i in., 1998; Pierszalik, 2010).

Zasadniczym elementem urządzenia do badań introskopowych jest miniaturowa kamera umieszczona wewnątrz walcowego wodoszczelnego korpusu o średnicy ok. 45 mm

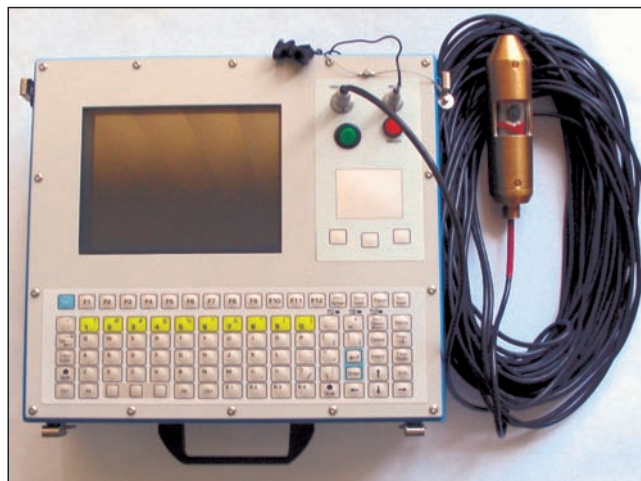


Fig. 4.23. Zestaw do badań introskopowych (www.gig.eu)

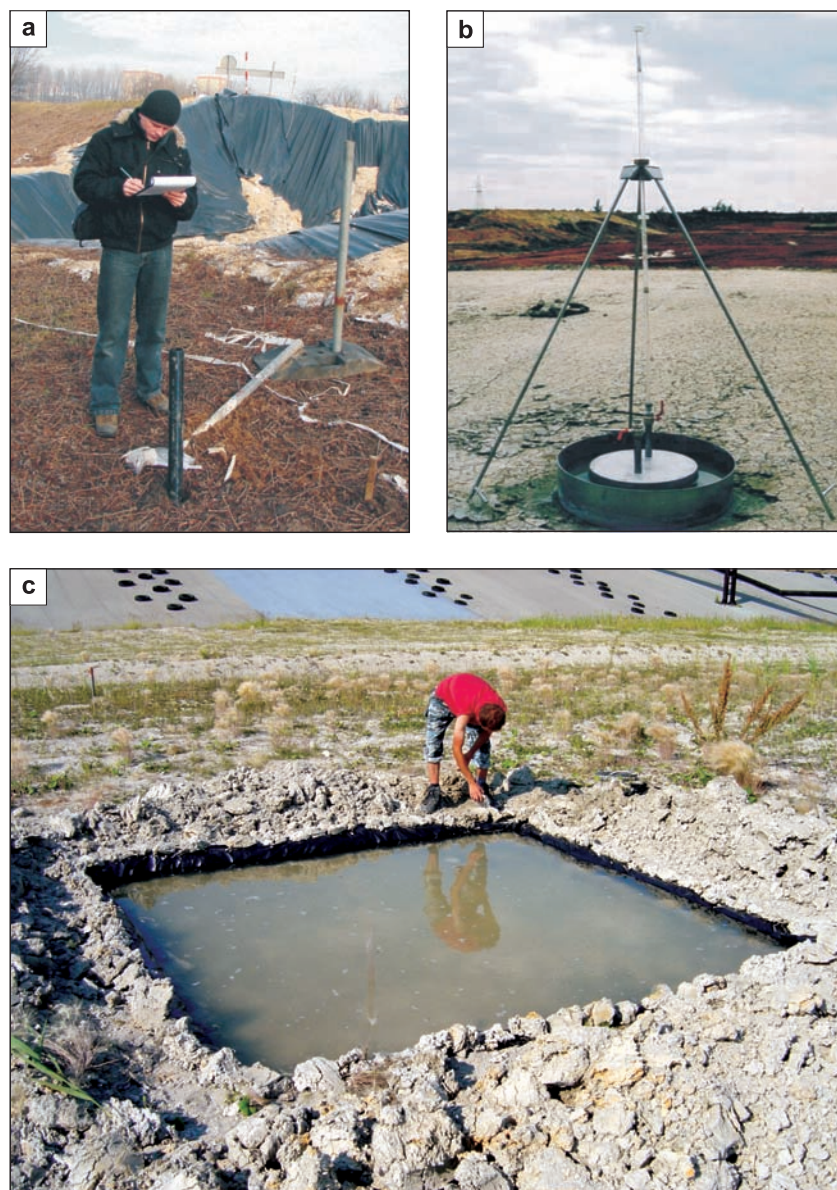


Fig. 4.24. Przykłady polowych metod badania współczynnika filtracji: a – na uszkodzonym wale przeciwpowodziowym metodą zalewania otworu, b – na przesłonie ilowej w Tarnowskich Górach w infiltrometrze, c – wielkoskalowe badania filtracji na przesłonie ilowej w Belchatowie

(fig. 4.23). Obraz z kamery jest przekazywany do monitora zintegrowanego z urządzeniem rejestrującym. Możliwe jest uzyskanie powiększenia obrazu badanego obiektu, co pozwala badać defekty materiałowe o rozmiarach rzędu 0,1 mm. Badania introskopowe stosowane są w górnictwie, budownictwie podziemnym oraz na potrzeby zagospodarowania terenów pogórnicznych (Kowalski, 2012).

Polowe badania współczynnika filtracji. Najprostszą metodą badania przepuszczalności gruntu w warunkach *in situ* jest zalewanie otworów wiertniczych w wariancie w rurach osłonowych lub bez rur (w zależności od warunków gruntowych). Po wykonaniu otworu wiertniczego systemem ręcznym lub mechanicznym do głębokości występowania badanej warstwy gruntów w otworze umiesz-

cza się rurę osłonową z PVC, zagłębianą w grunt o ok. 5–10 cm poniżej dna otworu (fig. 4.24a). Pomiar polega na określeniu czasu opadania słupa wody w rurze do określonego poziomu.

Do pomiarów przepuszczalności w kierunku pionowym, na przykład na celu kontroli przesłon ilowych na składowiskach lub oceny efektu skali (Majer, Wysokiński, 2008), można stosować metodę infiltrometru (fig. 4.24b) lub badania wielkoskalowe w zagłębieniach infiltracyjnych z uszczelnionymi brzegami (fig. 4.24c). W metodach tych należy uwzględnić ewentualny ubytek lub wzrost ilości wody w wyniku czynników zewnętrznych (opady, parowanie).

Metody badania współczynnika filtracji zawiera m.in. Instrukcja ITB 339/2003 (Wysokiński i in., 2003).

5. LABORATORYJNE BADANIA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Badania laboratoryjne gruntów obszarów zdegradowanych powinny być wykonywane zgodnie z przyjętymi standardami jak dla gruntów naturalnych.

W 2010 r. został wprowadzony do praktyki geotechnicznej w Polsce Eurokod 7 składający się z części 1 PN-EN-1997-1 dotyczącej zasad ogólnych i części 2 PN-EN-1997-2 dotyczącej rozpoznania i badań podłoża budowlanego. Norma PN-EN-1997-2 zawiera informacje w zakresie powszechnie stosowanych metod polowych i laboratoryjnych wraz z załącznikami informacyjnymi odnośnie możliwych metodologii i interpretacji. Integralną częścią Eurokodu 7 są Specyfikacje Techniczne (TS), opisujące szczegółowo procedury badawcze dla danej metody. W zakresie badań laboratoryjnych jest to 12 specyfikacji PKN-CEN ISO/TS 17892.

Równocześnie w wykazie aktualnych norm Polskiego Komitetu Normalizacyjnego znajdują się normy:

- PN-B-02481:1998 Geotechnika. Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar,

- PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu,

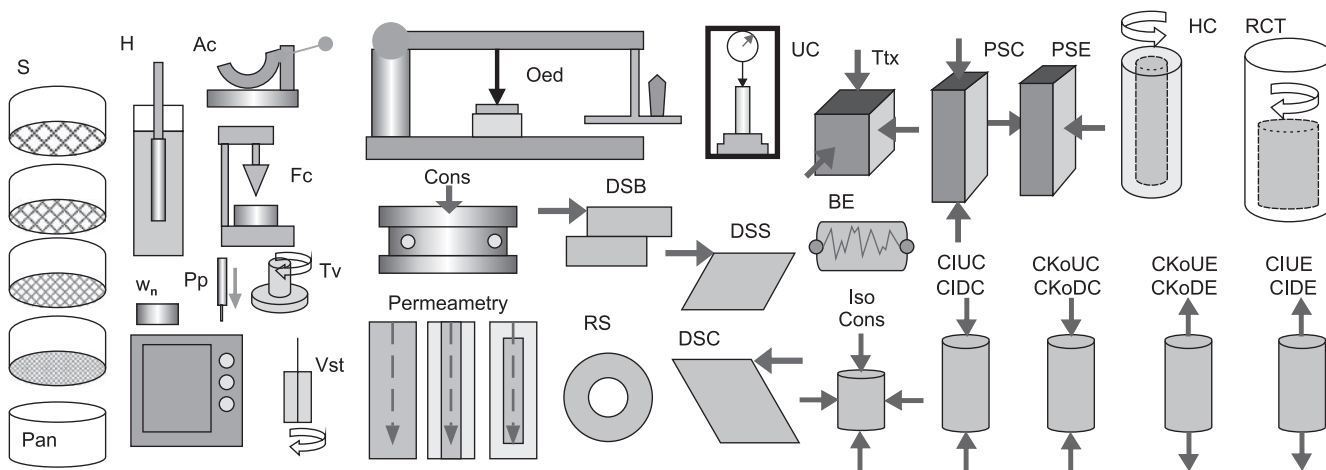
- normy PN dotyczące badań skał (kilkanaście).

Eurokod 7 nie powołuje się na aktualne normy PN dotyczące badań laboratoryjnych gruntów. Nie znaczy to, że nie należy wykonywać badań laboratoryjnych wg normy PN. Eurokod 7 zaleca wybrane metodyki, nie nakazuje ich stosowania.

Szczegółowe informacje dotyczące badań laboratoryjnych są podane w normach PN, PN-EN ISO, dostępnych na stronie PKN.

Przyjęcie metody badań laboratoryjnych w dokumentowaniu geologiczno-inżynierskim wg PN-EN, ISO lub PN jest uzależnione od: celu badań i kategorii obiektu, doświadczenia i wiedzy dokumentatora oraz wymagań odbiorcy wyników (np. inwestora, projektanta).

Na figurze 5.1 przedstawiono znane metody oznaczania parametrów fizycznych i mechanicznych gruntów. Zestawienie metod badań laboratoryjnych dla gruntów i skał oraz



Oznaczenie wilgotności (w_n)

Oznaczenie uziarnienia:

- analiza sitowa (S)
- analiza areometryczna (H)

Oznaczenie granicy płynności:

- aparat Cassagrande'a (AC)
- penetrometr stożkowy (FC)

Oznaczenie granicy plastyczności:

- metoda wałeczowania

Wskaźnikowe oznaczenie wytrzymałości:

- penetrometr tłoczkowy (PP)
- ścinarka obrotowa (Tv)
- laboratoryjna sonda krzyżakowa (Vst)
- aparat jednoosiowego ściskania (UC)

Edometr (Oed)

Konsolidometr (Cons)

Oznaczenie przepuszczalności przy stałym

i zmiennym spadku hydraulicznym (PMT)

Aparat skrzynekowy bezpośredniego ścinania (DSB)

Aparat pierścieniowy bezpośredniego ścinania (RS)

Aparat prostego ścinania (DSS)

Aparat ścinania kierunkowego (DSC)

Aparat prawdziwego trójosiowego ściskania (TTx)

Aparat dwuosiowego ściskania (PSC)

Aparat dwuosiowego rozciągania (PSE)

Hollow cylinder (HC)

Kolumna rezonansowa (RCT)

Oznaczenie parametrów sprężystych

przy użyciu Bender elements (BE)

Aparat trójosiowego ściskania:

– konsolidacja izotropowa (Iso cons)

– wytrzymałość na ściskanie (CIUC – konsolidacja izotropowa, bez drenażu;

CIDC – konsolidacja izotropowa, z drenażem; CKoUC – konsolidacja

Kzero, bez drenażu; CKoDC – konsolidacja Kzero, z drenażem;

CAUC – konsolidacja anizotropowa, bez drenażu; CADC –

konsolidacja anizotropowa, z drenażem; UU – bez konsolidacji, bez drenażu)

– wytrzymałość na rozciąganie (CIUE – konsolidacja izotropowa, bez drenażu;

CIDE – konsolidacja izotropowa, z drenażem; CKoUE – konsolidacja Kzero,

bez drenażu; CKoDE – konsolidacja Kzero, z drenażem)

Fig. 5.1. Zestawienie metod badań laboratoryjnych do oznaczania parametrów gruntów (Mayne i in., 2009)

wyników pomiarów wg PN-EN-1997-2 wraz z parametrami wyprowadzonymi na ich podstawie przedstawiono w tabeli 5.1. W bibliografii zostały zestawione normy, specyfikacje oraz procedury zalecane przez Eurokod 7 do wykonywania badań laboratoryjnych gruntów i skał.

Badania laboratoryjne powinny być prowadzone na reprezentatywnych próbkach gruntu. Na jakość wykonanych badań zasadniczy wpływ ma sposób poboru próbek, transport i przechowywanie. Próbki gruntu przygotowane do ba-

dań powinny być odpowiednio duże, aby uwzględniały największe wymiary ziaren oraz naturalne właściwości, takie jak struktura.

Wymagane minimalne masy rozdrobnionego gruntu do badań klasyfikacyjnych i badań próbek przerobionych, ponownie zagęszczanych, odtworzonych podano w tabeli 5.2. W tabeli 5.3 przedstawiono maksymalne wymiary ziaren w badaniach zagęszczalności gruntów, natomiast w tabeli 5.4 – wymagane masy gruntu do badań próbek nienaruszonych.

Tabela 5.1

Zestawienie metod badań laboratoryjnych według PN-EN-1997-2:2009 wraz z wynikami badań i parametrami wyprowadzonymi na ich podstawie

Badania laboratoryjne	Wyniki badań i parametrów wyprowadzonych
Badania gruntów	
Wilgotność	wartość (w)
Gęstość objętościowa	wartość (ρ)
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego	wartość (ρ_s)
Rozkład uziarnienia	krzywa rozkładu uziarnienia
Granice konsystencji	granica plastyczności i granica płynności (w_p), (w_L)
Stopień zagęszczenia	wartości e_{max} , e_{min} oraz I_D
Zawartość części organicznych	wartość zawartości części organicznych (C_{OM})
Zawartość węglanów	wartość zawartości węglanów (C_{CaCO_3})
Zawartość siarczanów	wartość zawartości siarczanów ($C_{SO_4^{2-}}$) lub (C_{SO_4})
Zawartość chlorków	wartość zawartości chlorków (C_{Cl})
pH	wartość pH
Ścisłość edometryczna	krzywa ściśliwości (różne opcje) krzywe konsolidacji (różne opcje) krzywa ściśliwości wtórnej (krzywa pełzania) wartości E_{oed} (przedziały naprężeń) i σ'_p albo C_s , C_c , σ'_p wartość C_u
Laboratoryjna sonda obrotowa	wartość wskaźnika wytrzymałości (c_u)
Penetrometr stożkowy	wartość wskaźnika wytrzymałości (c_u)
Ściskanie jednoosiowe	wartość wskaźnika wytrzymałości $q_u = 2c_u$
Ściskanie bez odplywu, bez konsolidacji	wartość wytrzymałości na ścinanie bez odplywu (c_u)
Ściskanie trójosiowe z konsolidacją	krzywa/krzywe odkształcenie–naprężenie oraz krzywa ciśnienia wody w porach ścieżki naprężeń koła Mohra c' , φ' lub c_u zmiennosc c_u w zależności od σ'_c moduł/moduły sprężystości (E') lub (E_u)
Aparat bezpośredniego ścinania z konsolidacją	krzywa naprężenie–przemieszczenie wykres $\tau - \sigma$ c' , φ' parametry rezydualne
Kalifornijski wskaźnik nośności	wartość wskaźnika CBR (I_{CBR})
Przepuszczalność	wartość współczynnika filtracji (k) – na podstawie bezpośrednich badań przepuszczalności w laboratorium – na podstawie połowych badań przepuszczalności – na podstawie badania edometrycznego
Badania skał	
Wilgotność	wartość w
Gęstość i porowatość	wartość ρ i n

cd. tabeli 5.1

Badania laboratoryjne	Wyniki badań i parametrów wyprowadzonych
Pęcznienie	wskaznik odkształceń pęcznienia ciśnienie pęcznienia pęcznienie swobodne pęcznienie pod stałym obciążeniem
Ściskanie jednoosiowe i odkształcalność	wartość σ_c wartość modułu odkształcenia (E) wartość współczynnika Poissona (ν)
Badanie pod obciążeniem skupionym	wskaznik wytrzymałości I_{s50}
Badanie bezpośredniego ścinania	krzywa naprężenie–odkształcenie wykres Mohra c' , φ' parametry rezydualne
Badanie brazylijskie	wytrzymałość na rozciąganie (σ_T)
Badanie trójosiowego ściskania	krzywa/krzywe naprężenie-odkształcenie ścieżka naprężeń koła Mohra c' , φ' wartość modułu odkształcenia (E) i współczynnika Poissona (ν)

Tabela 5.2

Wymagane masy gruntu do badań próbek naruszonych według PN-EN-1997-2

Badanie	Wymagana początkowa masa	Minimalna masa próbki do badań			
		ił y i pyły 30 g	piaski (D < 2 mm) 100 g	grunty żwirowe D = 2–10 mm MMS D > 10 mm 0,3 × MMS min. 500 g	
Wilgotność	co najmniej masa dla przygotowania dwóch próbek				
Gęstość właściwa	100 g	10 g (wymiar ziaren < 4 mm)			
Uziarnienie sita sedymantacja	2 × (MMS)	(MMS)			
▪ areometr	250 g	ił y i pyły 50 g	grunty piaszczyste 100 g		
▪ pipeta	100 g	12 g	30 g		
Granice Atterberga	500 g	300 g (wymiar ziaren < 0,4 mm)			
Wskaźnik lub stopień zagęszczenia	8 kg	*			
Dyspersyjność	400 g	*			
Zagęszczenie	S NS				
▪ Proctor	25 kg 10 kg	*			
▪ CBR	80 kg 50 kg	*			
CBR	6 kg	*			
Przepuszczalność** średnica 100 mm	4 kg				
75 mm	3 kg				
50 mm	500 g				
38 mm	250 g				

Oznaczenia:

D – średnica największego ziarna w przeważającej części ($\pm 10\%$ lub więcej) w suchej masie;

S – ziarna gruntu podatne na skruszenie podczas zagęszczania;

MMS – minimalna masa gruntu do badań uziarnienia metodą sitową: D = 75 mm, MMS = 120 kg; D = 20 mm, MMS = 2 kg; D = 10 mm, MMS = 500 g; D = 2 mm lub mniej, MMS = 100 g;

NS – ziarna gruntu niepodatne na kruszenie;

* – masa próbki zależy od właściwości gruntu w czasie badań;

** – próbki o wysokości równej podwójnej średnicy.

Tabela 5.3

Wymagane masy gruntu do badań próbek naruszonych według PN-EN-1997-2:2009

Rodzaj badania	Maksymalny wymiar ziarna
Zagęszczanie – w cylindrze 1 l – w cylindrze CBR	20 mm 37,5 mm
Określenie CBR	20 mm

Tabela 5.4

Masy gruntu wymagane dla badań próbek nienaruszonych według PN-EN-1997-2:2009

Rodzaj badania	Wymiary próbek: średnica / wysokość [mm]	Wymagana minimalna masa [g]
Edometr	50 / 20 75 / 20 100 / 20	90 200 350
Ściskanie* – jednoosiowe – bez konsolidacji i odpływu (UU) – trójosiowe	35 / 70 38 / 76 50 / 100 70 / 140 100 / 200 150 / 300	150 200 450 1200 3500 12000
Bezpośrednie ścinanie	60 / 60 100 / 100 300 / 300	150 450 30000
Gęstość (D = maks. wymiar ziarna**)	D = 5,6 mm D = 8 mm D = 10 mm D > 10 mm	125 300 500 1,4 × (MMS)***

* Rozmiary próbki i minimalna masa odnoszą się do wszystkich trzech badań

** D = największy wymiar ziarna w przeważającej części (10% lub więcej w masie)

*** MMS = minimalna masa do badań uziarnienia metodą przesiewania

5.1. OGÓLNE ZALECENIA
PROWADZENIA BADAŃ LABORATORYJNYCH
NA GRUNTACH ZANIECZYSZCZONYCH
I ANTROPOGENICZNYCH

Tereny zanieczyszczone wymagają szczególnej uwagi przy ocenie przydatności do celów budowlanych. Zanieczyszczenia gruntów wpływają na zmiany ich właściwości fizycznych i mechanicznych. Wielkość tych zmian zależy przede wszystkim od czynnika zanieczyszczającego, rodzaju gruntu (składu mineralnego i chemicznego gruntu), warunków hydrogeologicznych oraz czasu penetracji zanieczyszczenia (Korzeniowska-Rejmer, 2001).

Dotychczas w Polsce nie ma literatury dotyczącej antropogenicznych zmian zachodzących w środowisku gruntowym, wywołanych zanieczyszczeniami gruntów i wód, w odniesieniu do podłoża i konstrukcji. Podjęte na szerszą skalę badania związane z zanieczyszczeniami środowiska gruntowo-wodnego dotyczą głównie oceny stanu zanieczyszczeń, migracji oraz metod ich usuwania. Nie obejmują natomiast wpływu zanieczyszczeń na zmianę właściwości gruntu jako podłoża budowlanego i materiału budowlanego w budownictwie ziemnym i komunikacyjnym. W trakcie przenikania przez grunt roztworów chemicznych zachodzą zjawiska i procesy oraz zmiany właściwości gruntu zestawione w tabeli 5.5.

Badania laboratoryjne przeprowadzone na próbkach gruntu pobranych z obszarów poza kompleksem obiektów zagrożonych zanieczyszczeniem, w porównaniu z próbkami silnie zanieczyszczonego podłoża, wykazują znaczny spadek wartości parametrów geotechnicznych decydujących o nośności i odkształcalności podłoża.

W podłożu piaszczystym przeważają minerały odporne, które nie reagują z większością związków chemicznych. Natomiast grunty zawierające znaczną ilość cząstek ilastych i koloidalnych mogą wykazywać wrażliwość na zanieczyszczenia chemiczne.

Zmiany właściwości geologiczno-inżynierskich gruntu wynikają głównie z przebudowy jakościowej jego mikrostruktury oraz ilościowych zmian parametrów szkieletu gruntu i przestrzeni porowej – wzrost porowatości (Izdebska-Mucha i in., 2011). Destrukcyjny charakter różnych

Tabela 5.5

Zjawiska i procesy zachodzące w gruncie na skutek przenikania roztworów chemicznych (Korzeniowska-Rejmer, 2001)

Zjawiska i procesy zachodzące w trakcie przenikania przez grunt roztworów chemicznych:	Mniejsze lub większe zmiany zachodzące w gruncie:
<ul style="list-style-type: none"> rozpuszczanie składników mineralnych gruntu wytrącanie rozpuszczalnych składników mineralnych lub związków chemicznych agregacja (flokulacja) cząstek gruntu dyspersja cząstek gruntowych zmiana ładunku elektrycznego na powierzchniach i krawędziach cząstek mineralnych zmiana pH gruntu (układu grunt – substancja chemiczna) zmiana grubości otoczek wodnych wokół cząstek mineralnych wymiana jonowa, adsorpcja 	<ul style="list-style-type: none"> jego pęcznienia lub skurcze zmiany strukturalne zmiany porowatości zmiany wytrzymałości zmiany ścisłości zmiany przepuszczalności zmiany granic konsystencji

domieszek substancji ropopochodnych (siarki, kwasów, związków azotu, metali ciężkich i innych dodatków polepszających ich właściwości użytkowe) polega na niszczeniu więzi strukturalnych bądź powoduje rozpad cząstek szkieletu, mający charakter procesu wietrzenia. Zmiany te bezpośrednio wpływają na obniżenie nośności podłoża i wzrost osiadań. Wskazuje to na konieczność ponownej waloryzacji przydatności gruntów do celów budowlanych i oceny stopnia zagrożenia na terenach zanieczyszczonych przy sporządzaniu analiz dla potrzeb zagospodarowania przestrzennego.

Należy podkreślić, że grunt zanieczyszczony, zanim trafi do laboratorium gruntowego, powinien zostać poddany badaniom w laboratorium chemicznym (o ile laboratorium gruntowe nie robi takich badań), jak również powinien być odpowiednio oznakowany.

W przypadku obszarów zdegradowanych przez **górnictwo odkrywkowe**, zgodnie z Zasadami dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji kopalń (Dobak i in., 2009), badaniami laboratoryjnymi powinny zostać objęte grunty:

- występujące *in situ*, w obrębie terenu górniczego z uwzględnieniem zmian na skutek działalności kopalni (odwodnienie, odbudowa zwierciadła wód podziemnych, kontaminacja),
- przemieszczone na odkład i przekształcone (grunty nasypowe i antropogeniczne).

Badając **grunty zwałowane**, należy pamiętać, że jest to ośrodek gruntowy o bardzo zróżnicowanej budowie wewnętrznej. Specyfika tego ośrodka jest rezultatem zniszczenia jego pierwotnej naturalnej struktury, wzajemnego, zupełnie przypadkowego przemieszania poszczególnych fragmentów gruntów występujących w nadkładzie oraz różnego stopnia zmian i przeobrażeń na zwałowisku, spowodowanych oddziaływaniem różnorodnych czynników zewnętrznych. Duża niejednorodność gruntu zwałowanego sprawia znaczne trudności w interpretacji wyników badań i ustaleniu reprezentatywnej wartości liczbowej danego parametru (dotyczy to parametrów fizycznych i mechanicznych).

Badania terenów zdegradowanych przez **górnictwo podziemne** powinny objąć, zgodnie z Zasadami dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji kopalń (Dobak i in., 2009), parametry fizyczno-mechaniczne skał ze złoża, nadkładu i otoczenia złoża określające gęstość objętościową, porowatość, szczelinowość, nasiąkliwość oraz cechy wytrzymałościowe i odkształceniowe:

- graniczną wytrzymałość na ściskanie,
- graniczną wytrzymałość na rozciąganie i ścinanie,
- wytrzymałość rezydualną,
- moduł odkształcenia przedkrytycznego i podkrytycznego w stanie naturalnym i po nasączeniu wodą o chemizmie lokalnym.

Parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe powinny być ustalone w warunkach stanu naprężeń nawiązujących do warunków lokalnych panujących w górotworze.

5.2. OPIS I KLASYFIKACJA GRUNTÓW

Dotychczas w badaniach i ocenie gruntów budowlanych była wykorzystywana norma PN-B-02480:1986 (Grunty budowlane – określenia, symbole, podział i opis gruntów), ale została ona wycofana przez Polski Komitet Normalizacyjny. Obecnie można się posługiwać trzema normami klasyfikacji gruntów i skał:

- PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis;
- PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania;
- PN-EN ISO 14689-1:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie skał. Część 1: Oznaczanie i opis.

Według normy PN-EN ISO 14688-1:2006 wyróżnia się dwa pojęcia frakcji: frakcja główna i frakcje drugorzędne.

Frakcja główna określa właściwości inżynierskie gruntów, opisywana jest rzeczownikiem, a jako symbol zapisywana jest dużą literą (piasek – Sa, pył – Si). Grunty o jednolitym uziarnieniu, tzn. składające się z ziaren tylko jednej frakcji, nazywane są gruntami podstawowymi (np. piasek średni – MSa, żwir – Gr, il – Cl).

W przypadku gruntów bardzo gruboziarnistych i gruboziarnistych główną frakcją jest frakcja o przeważającej masie. W obu przypadkach nazwa powinna być oparta na frakcji, która dominuje w gruncie gruboziarnistym.

W przypadku gruntów drobnoziarnistych główną frakcją jest odpowiednia podfrakcja gruntu drobnoziarnistego (Cl lub Si), określająca właściwości inżynierskie gruntu.

Frakcją główną gruntu drobnoziarnistego uważa się za determinującą jego właściwości inżynierskie, jeśli wykazuje:

- co najmniej średnią wytrzymałość gruntu suchego w badaniu opisanym w pkt. 5.6 normy PN-EN ISO 14688-1:2006 lub
- co najmniej małą plastyczność w badaniu opisanym w pkt. 5.8 normy PN-EN ISO 14688-1:2006.

W obu przypadkach grunt należy nazywać „ilem” lub „pyłem”, w zależności od plastyczności frakcji drobnej, a nie od uziarnienia.

Frakcje drugorzędne nie określają właściwości inżynierskich gruntów, lecz mają na nie wpływ. Opisywane są ze spójnikiem „z”. W symbolu gruntu zapisywane są przed frakcją główną małymi literami, np. saCl – il z piaskiem, grSa – piasek ze żwirem, orsaSi – pył z piaskiem i substancją organiczną, grsiSa – piasek z pyłem i żwirem. Jeżeli grube frakcje drugorzędne występują w wyjątkowo małej lub dużej ilości, używamy określeń „z małą ilością” lub „z dużą ilością”, np. grsasiCl – il z piaskiem i pyłem z małą zawartością żwiru.

Grunty stanowiące **przewarstwienia** wymienia się po frakcji głównej małymi, podkreślonymi literami, np. saCl_{si} – il z piaskiem przewarstwiony pyłem. W przypadku gruntów gruboziarnistych, jeżeli w gruncie dwie frakcje występują

w przybliżeniu równych proporcjach, pomiędzy ich nazwami umieszcza się ukośnik, np. MSA/CSa, Gr/Sa.

Poza tym przy ocenie makroskopowej należy podać barwę, strukturę gruntu, zawartość substancji organicznej, konsystencję, zawartość węglanów, genezę gruntu i inne nietypowe cechy, np. zapach. Zaleca się również podawanie lokalnych nazw.

Opis gruntu, jeśli to możliwe, powinien być zakończony geologiczną **genezą gruntu**, zwykle zapisywaną w nawiasie. Wskazuje ona także na właściwości i skład mineralny, zanim uzyska się dokładne wyniki badań.

Klasyfikacja gruntów, szczególnie o podobnych właściwościach fizyczno-mechanicznych, wymaga wykonania określonych badań, zgodnie z normą PN-EN ISO 14688-2:2006, dla ustalenia wartości liczbowych określonych parametrów.

Normę PN-EN ISO 14688-1:2006 stosuje się do gruntów naturalnych *in situ* lub podobnych do nich gruntów antropogenicznych zalegających *in situ* oraz do gruntów przemieszczonych. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów na potrzeby ochrony gruntów lub rekultywacji terenów skażonych zostało uwzględnione w PN-ISO 11259:2001. Norma ta dotyczy przede wszystkim opisu gleb. Zgodnie z nią przy opisie gleby (gruntu) należy uwzględnić następujące elementy:

- środowisko przyrodnicze profilu – poprzednie opady, użytkowanie gruntów w obrębie działki, rodzaj uprawy albo roślinności, długość zbocza, wartość nachylenia zbocza, pochodzenie skały macierzystej, część geomorfologiczną, obecność i głębokość poziomu wody gruntowej (z ogólną informacją o rodzaju wody: S – słona, B – słonawa, F – słodka, P – zanieczyszczona lub skażona),
- stan powierzchni – procent powierzchni zajęty przez wychodnie skalne lub powierzchniowe odkrywki materiałów pochodzenia sztucznego (np. na terenie

przemysłowym), zjawiska erozji lub akumulacji (np. osuwiska, erozja powierzchniowa),

- ogólny typ gleby,
- opis poziomu.

5.3. WYBRANE BADANIA LABORATORYJNE GRUNTÓW

Wilgotność

Według standardowych procedur, suszenie próbki do stałej masy w celu oznaczenia jej wilgotności przeprowadza się w temperaturze $105 \pm 5^\circ\text{C}$ i jest to sprawa umowna.

Niektóre **zanieczyszczone grunty** mogą wymagać obniżenia temperatury suszenia oraz wydłużenia czasu suszenia. Należy pamiętać, że podwyższona temperatura może uaktywnić wydzielanie się szkodliwych oparów. Metalowe pojemniki odporne na korozję w przypadku gruntów niezanieczyszczonych mogą korodować w określonych warunkach wilgotnościowych i temperaturowych z gruntami zanieczyszczonymi.

W przypadku oznaczania wilgotności gruntów pochodzących ze zwałowisk można spodziewać się dużego rozrzutu otrzymywanych wartości. Na przykładzie **materiału zwałowanego** pochodzącego z nadkładu KWB Turów wykazano, że zmienność wilgotności gruntu zwałowego w profilu pionowym jest przypadkowa i nie zależy od głębokości zalegania (Borecka, Rybicki, 2004). Zaobserwowano natomiast wzrost wilgotności zwałowanych gruntów z upływem czasu (fig. 5.2).

Zmiany wilgotności zwałowanych gruntów w czasie obserwowano również przy realizacji przesłony mineralnej składowiska popiołów elektrowni Bełchatów (Majer, 2005). Sezonowe zmiany wilgotności widoczne są najsilniej w górnej warstwie zwałowanych gruntów. Warstwa ta po deszczach jest zupełnie rozmożona, a w lecie w upale

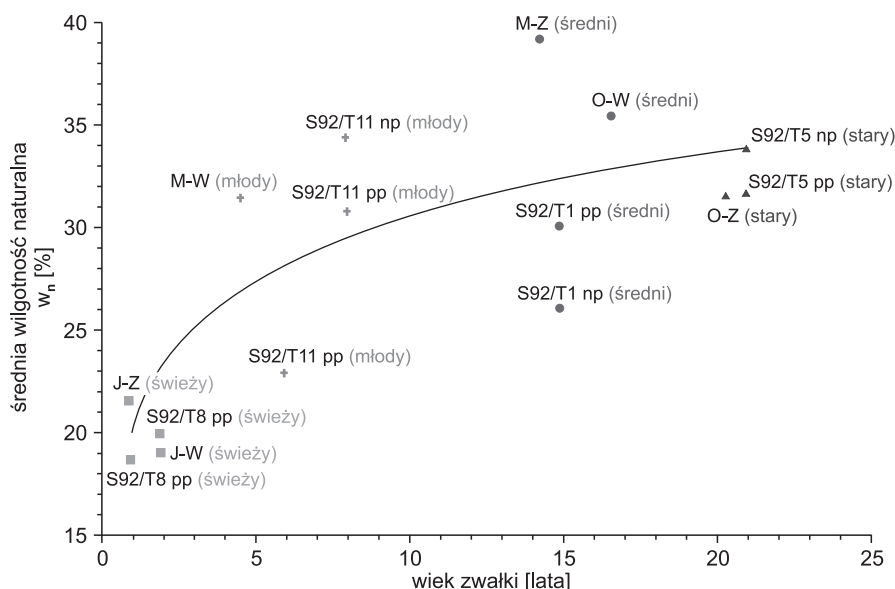


Fig. 5.2. Zależność wilgotności materiału zwałowanego od wieku składowiska (Borecka, 2007)

całkowicie wysycha. Niżej w profilu zwałowanych gruntów widoczna jest tendencja do stabilizacji wilgotności, homogenizacji i samouszczelnienia gruntów.

Granice konsystencji (Atterberga)

Zgodnie z normami granicę plastyczności oznacza się metodą waleczkowania, natomiast do oznaczania granicy płynności stosowane są dwa urządzenia: penetrometr stożkowy oraz aparat Cassagrande'a. W zaleceniach PN-EN 1997-2:2009 (Eurokod 7) oraz Specyfikacji Technicznej PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 metoda penetrometru stożkowego została uznana za dającą bardziej wiarygodne wyniki, zwłaszcza dla gruntów o niskiej wartości wskaźnika plastyczności. Metoda Cassagrande'a oznaczania granicy płynności została uznana tylko za alternatywną w stosunku do metody penetrometru stożkowego, z uwagi na bardziej subiektywną ocenę uzyskiwania wyników.

Badania **gruntów zanieczyszczonych** związkami ropopochodnymi wskazują, że w układzie dwufazowym grunt–ciecz ropopochodna grunty spoiste mogą tracić spistość, nabierając cech gruntów drobnoziarnistych sypkich (Izdebska-Mucha, 2005). Obecność związków ropopochodnych będzie powodować obniżenie wskaźnika plastyczności i przesunięcie stanu gruntu w kierunku płynnego. Na figurze 5.3 przedstawiono wyniki badań modelowych ilów monomineralnych: bentonitu z Wyoming (Na-montmorillonit), iltu illitowego i kaolinitu oraz gruntów polimineralnych: gliny lodowcowej i iltu serii poznańskiej (poziom iltu płomienistego). Po nasyceniu benzyną i olejem napędowym wartość granicy płynności (w_L) ulega znacznej redukcji w zakresie zależnym przede wszystkim od składu mineralnego badanego gruntu – im materiał bardziej hydrofilny, tym zaobserwowano większe zmiany.

Korzeniowska i in. (1995) podają, że w zanieczyszczonym podłożu magazynu oleju mineralnego, wykształconym w postaci gliny pylastej z przewarstwieniami pyłów, piasków, żwirów, nastąpiła zmiana wartości stopnia plastycz-

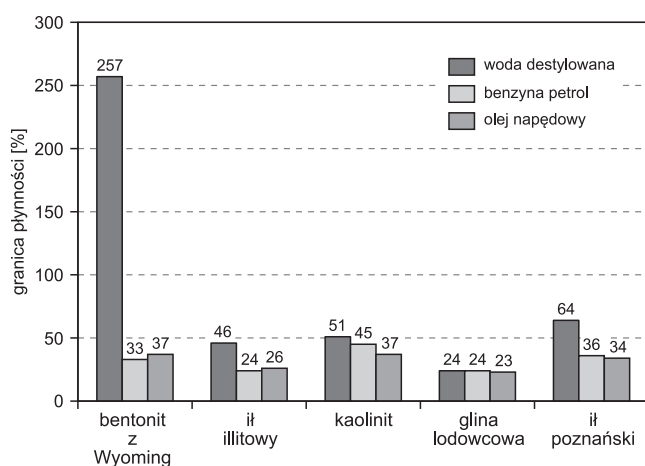


Fig. 5.3. Granica płynności różnych typów gruntów spoistych nasyconych wodą destylowaną, benzyną i olejem napędowym (Izdebska-Mucha, 2005)

ności od $I_L = 0,25$ w poziomie posadowienia budynku do $I_L = 0,40 - 0,50$ w głębszych warstwach. Podwyższenie stopnia plastyczności wraz z głębokością związane jest ze wzrostem zaolejenia gruntu.

W przypadku oznaczania konsystencji **gruntów zwałowanych** problematyczne może być wytypowanie reprezentatywnych porcji gruntu z próbek do oznaczenia konsystencji, ponieważ konsystencja gruntu zwałowego wewnątrz próbek często zmienia się dla jej poszczególnych fragmentów.

Gęstość objętościowa i właściwa

Gęstość objętościową gruntu wyznacza się z zasady na próbkach o strukturze nienaruszonej. W wyjątkowych przypadkach, gdy wiadomo, że grunt będzie pracował w stanie przerobionym (np. nasypy), wykonuje się badania na próbkach naruszonych.

W zależności od rodzaju gruntu oraz stanu i wielkości próbki przeznaczonej do badań, w Specyfikacji Technicznej PKN-CEN ISO/TS 17892-2:2009 przedstawione są trzy podstawowe metody laboratoryjnego oznaczania gęstości objętościowej: metoda pomiaru bezpośredniego, metoda zanurzania (ważenia) w wodzie i metoda wypierania płynu.

Zgodnie z PN-EN 1997-2:2009 (Eurokod 7) do określania gęstości właściwej stosuje się metodę piknometru. Została ona opisana w Specyfikacji Technicznej PKN-CEN ISO/TS 17892-3:2009 i polega na oznaczeniu objętości znanej masy gruntu metodą wyporu cieczy. Metodę stosuje się dla gruntów o średnicy ziaren poniżej 4 mm. Wybór cieczy zależy od rodzaju badanego gruntu. Metodę piknometru przy użyciu wody (destylowanej, demineralizowanej lub dejonizowanej) stosuje się do gruntów, które nie zawierają soli rozpuszczalnych w wodzie. W przypadku gruntów o wysokiej zawartości frakcji iltowej (iltów) używa się płynu o mniejszych naprężeniach powierzchniowych niż woda, np. etanolu, trichloroetylenu, chlorku metylu, naftaliny i nafty. W przypadku badania gęstości właściwej szkieletu grunto-ego gruntów organicznych zaleca się stosowanie nafty, toluenu lub heksanu.

Załącznik M do Eurokodu 7 umożliwia do oznaczenia gęstości właściwej stosowanie nowoczesnej metody, takiej jak piknometr gazowy. Badania przeprowadzane jest w atmosferze helu. Szczegółowa procedura wykonania badania opisana jest np. w niemieckiej normie DIN 66137-2.

Niejednorodność **gruntów zwałowanych** oraz obecność w mniejszym lub większym stopniu materiału organicznego może powodować zróżnicowanie gęstości objętościowej zarówno w obrębie poszczególnych kształtek gruntu, jak i większych odcinków (Borecka, 2007).

W wyniku nasycenia podłoża węglowodorami o gęstości mniejszej niż woda i adsorpcji cząstek węglowodorów na szkielecie mineralnym gruntu następuje spadek wartości gęstości objętościowej gruntu (ρ) i gęstości właściwej szkieletu grunto-ego (ρ_s) **zanieczyszczonych gruntów**. Pył piaszczysty zawierający ok. 28,5% zanieczyszczeń ropopochodnych wykazał o ok. 5% niższą wartość ρ_s i o ok. 20% niższą

wartość ρ (Dembicki red., 1981); dla gruntów aluwialnych zawierających 12% zanieczyszczeń stwierdzono zmianę ρ_s z 2,68 do 2,49 Mg/m³ (Srivastawa, Pandey, 1997). Wartości gęstości właściwej szkieletu gruntowego zmalały z 2,68 do 2,51 Mg/m³ przy 16% zawartości oleju napędowego (Izdebska-Mucha i in., 2011).

Granulometria

Według PN-EN 1997-2:2009 (Eurokod 7) do określenia składu uziarnienia zaleca się stosować dwie metody, w zależności od rozmiaru cząstek:

- metodę sitową dla cząstek >63 μm (albo najbliższego dostępnego sita),
- metodę sedymentacyjną (areometryczną lub pipetową) dla cząstek $\leq 63 \mu\text{m}$ (albo najbliższego dostępnego sita).

Oprócz tradycyjnych metod oznaczania uziarnienia norma dopuszcza stosowanie nowoczesnych metod wykorzystujących w pomiarach promieniowanie X, lasery, pomiary gęstości i liczniki cząstek.

Przeprowadzone analizy składu granulometrycznego gruntów pobranych z podłoża obiektów inżynierskich, jak i **próbek zanieczyszczonych** olejem napędowym w warunkach laboratoryjnych wykazują znaczne zmiany zawartości poszczególnych frakcji gruntu (Korzeniowska-Rejmer, Izdebska-Mucha, 2006). Na skutek agresji fizykochemicznej następuje znaczna redukcja zawartości frakcji piaskowej i ilowej, zwiększeniu ulega zawartość frakcji pyłowej. Analiza granulometryczna piasków gliniastych, pyłów i glin pylastych, zawierających objętościowo od 10 do 50% zanieczyszczeń ropopochodnych, wykazała, że nastąpiły istotne zmiany w rozkładzie uziarnienia tych gruntów. Odnotowano spadek zawartości frakcji piaskowej (f_p) z ok. 30 do 20%, spadek zawartości frakcji ilowej (f_i) o ok. 10–15% oraz wzrost udziału cząstek pyłowych (Korzeniowska-Rejmer, 2001). W środowisku cieczy organicznych niepolarnych zachodzi prawdopodobnie osłabienie i rozpad mikroagregatów frakcji piaskowej oraz flokulacja cząstek ilowych, wynikająca z redukcji podwójnej warstwy dyfuzyjnej. Wskutek agresji chemicznej występujące zmiany uziarnienia mogą stanowić główną przyczynę groźnego w skutkach nadmiernego osiadania. Wpływ jest tym większy, im więcej jest w gruncie minerałów ilastych i im bardziej grunt jest wilgotny.

Podczas badań gruntów zanieczyszczonych należy zwrócić uwagę na możliwość zatykania się sit (np. olejami) podczas przeprowadzania na mokro analizy sitowej, jak również możliwość wystąpienia korozji sit w wyniku kontaktu z badanym materiałem. Procedury usuwania materii organicznej i węglanów na potrzeby analiz sedymentacyjnych również mogą stanowić niebezpieczeństwo w przypadku stosowania ich dla gruntów zanieczyszczonych. Należy pamiętać, aby nie stosować nadtlenu wodoru dla gruntów zawierających siarczki lub tlenki manganu. Tak powstała mieszanina, przy podgrzaniu staje się mieszaniną wybuchową. Dodawanie odczynników chemicznych do zanieczyszczonych gruntów powinno być poprzedzone analizą możliwości wystąpienia

reakcji chemicznych między zanieczyszczeniem a dodatkowym odczynnikiem.

Badania ścisłości

Badania ścisłości – zachowanie się gruntów po obciążeniu lub po odciążeniu – wykonywane są za pomocą edometrów i konsolidometrów techniką badań stopniowego obciążania IL lub ciągłego obciążania CL (CRS – stała prędkość odkształcenia). Konsolidometry umożliwiają zadawanie obciążenia w dowolny sposób i z dowolną prędkością, a także często pomiar ciśnienia wody w porach.

Celem tych badań jest określenie charakterystyk ścisłości, konsolidacji i pęcznienia gruntu. Parametry, które najczęściej ustalamy na podstawie tych badań, to: edometryczny moduł ścisłości (E_{oed}), współczynnik zmiany objętości (m_v), wskaźnik ścisłości (c_c) i naprężenie prekonsolidacji (σ'_p), a także współczynnik konsolidacji (c_v) i współczynnik ścisłości wtórnej (c_{α}). Odciążenie i obciążenie wtórne może być scharakteryzowane przez wskaźnik odprężenia (c_s). Wszystkie te wartości są wyprowadzane bezpośrednio z odpowiednich części krzywych ścisłości.

Dla terenów zdegradowanych przez **górnictwo odkrywkowe** program badań ścisłości powinien być dostosowany do specyfiki gruntów poddanych odkształceniom oraz stanu naprężeń występujących w zwałowiskach i górotworze. Uwzględnienie wielkoagregatowego charakteru struktury gruntów zwałowanych wymaga prowadzenia badań w edometrach wielkowymiarowych. Częstotliwość pomiarów odkształceń musi być dostosowana do specyfiki przebiegu odkształcenia w gruntach o strukturze wielkoagregatowej (Dobak i in., 2009).

Obecność w gruntach **zanieczyszczeń ropopochodnych** powoduje obniżenie wartości modułów ścisłości. Na figurze 5.4 przedstawiono porównanie wyników badań edometrycznych próbek pyłu naturalnego i zanieczyszczonych substancją ropopochodną. Badania podłoża gruntowego pod obiektami naftowymi, zanieczyszczonego związkami ropopochodnymi przez ok. 50 lat wykazały, że przy 10% zanieczyszczeń nastąpił spadek modułu ścisłości pierwotnej (M_0) o ok. 30–40% (Korzeniowska i in., 1995; Korzeniowska-Rejmer, 2001).

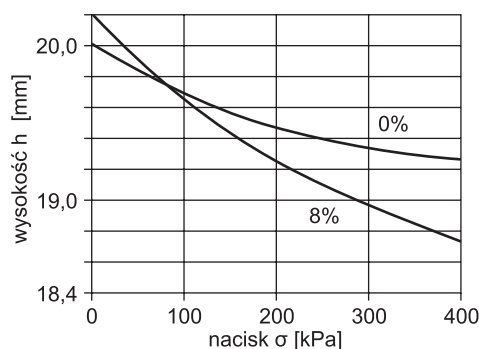


Fig. 5.4. Ścisłość pierwotna próbki pyłu w zależności od procentowej zawartości substancji ropopochodnych (Korzeniowska i in., 1995)

Należy być świadomym tego, że na kontakcie zanieczyszczonych gruntów z kamieniami porowymi i pierścieniami może dojść do reakcji chemicznych, co może mieć odzwierciedlenie w wynikach, a także może trwale uszkodzić aparaturę.

Badania wytrzymałościowe

Wskaźnikowe badania wytrzymałościowe. Celem badań jest określenie w szybki i prosty sposób wytrzymałości na ścinanie bez odpływu (c_u). Do badania wytrzymałości na ścinanie bez odpływu służą: penetrometr stożkowy, penetrometr tłoczkowy, ścinarka obrotowa, sonda krzyżakowa laboratoryjna (*vane test*), aparat jednoosiowego ściskania oraz aparat trójosiowego ściskania (metoda UU).

Badania w aparacie trójosiowego ściskania. Wyróżniamy kilka typów badań ze względu na: rodzaj konsolidacji (CI – konsolidacja izotropowa, CA – konsolidacja anizotropowa, U – bez konsolidacji) oraz odpływ wody z porów (U – bez odpływu, D – z odpływem). Z badań tych można oznaczyć wytrzymałość gruntów z odpływem lub bez odpływu. Odpowiednio wyznacza się efektywny kąt tarcia wewnętrznego (ϕ') i efektywną spójność (c') albo wytrzymałość na ścinanie bez odpływu (c_u).

Badania w aparacie bezpośredniego ścinania. Badanie bezpośredniego ścinania w aparacie skrzynkowym albo pierścieniowym jest wykonywane dla badań stateczności, w których spodziewana jest wyraźna powierzchnia zniszczenia lub potrzebna jest charakterystyka wytrzymałości na powierzchni poślizgu. Analizy porównawcze pokazują, że wyniki badań bezpośredniego (z przesunięciem) ścinania w aparacie skrzynkowym i pierścieniowym wykazują dobrą zgodność. W aparacie pierścieniowego ścinania można uzyskać powierzchnię ścicia i prowadzić badanie po tej powierzchni teoretycznie w nieskończoność. Pozwala to w bardzo wygodny sposób (bez konieczności obracania skrzynki jak w aparacie klasycznym w celu uzyskania ścicia wielokrotnego po wytworzonej powierzchni) na oznaczenie wytrzymałości rezydualnej gruntów – czyli minimalnej wartości wytrzymałości, jaką posiada grunt w danych warunkach (wilgotność, naprężenie pionowe). W wyniku badania bezpośredniego ścinania w aparacie skrzynkowym otrzymuje się wytrzymałość z odpływem. Wielkościami są efektywny kąt tarcia wewnętrznego i efektywna spójność.

W przypadku zabezpieczenia brzegu morskiego (**obszary klifowe**) może się okazać konieczne przeprowadzenie dodatkowych badań próbek gruntu w warunkach obciążeń cyklicznych (Frankowski i in., 2009). Wyznaczanie parametrów wytrzymałościowych oraz symulację stanu naprężenia i odkształcenia w próbce gruntu, poddanej obciążeniom zmiennym (np. falowania), wykonuje się wówczas w warunkach laboratoryjnych w przystosowanym do tego celu nowoczesnym aparacie trójosiowego ściskania. Cykliczne badania trójosiowe gruntu są najczęściej stosowaną metodą do oceny zdolności gruntu do bezpiecznego przenoszenia naprężeń ścinających w masywie gruntowym, wygenerowanych w wyniku działania obciążeń cyklicznych. Ich wyniki służą również do wyznaczania parametrów wytrzymałościowych

wych nawodnionego gruntu w warunkach zmiennych obciążeń. W tym przypadku wytrzymałość gruntu na ścinanie zależy m.in. od liczby cykli, amplitudy i zmian obciążenia cyklicznego oraz naprężenia bocznego, historii obciążenia, uziarnienia, zagęszczenia gruntu itp. Dlatego w takich sytuacjach ze szczególną starannością należy opracować program badań oraz odpowiednio przygotować próbki gruntu i aparaturę (np. badania standardowe ASTM D5311-92(2004) przeprowadza się w warunkach bez odpływu wody z porów, przy częstotliwości obciążeń odpowiednio dobranej do analizowanego problemu).

Interpretacja wyników badań wytrzymałościowych **gruntów zwalowanych**, ze względu na duży rozrzut uzyskiwanych wartości, może być niemożliwa dla serii badań obejmującej 3 próbki. Próbki mogą różnić się składem, strukturą, stanem konsystencji czy zawartością materiału organicznego na tyle, że w rzeczywistości każda z nich może stanowić odrębną, indywidualną próbkę nieporównywalną z drugą znajdującą się w jej bezpośrednim sąsiedztwie. Lepszą metodą interpretacji w przypadku takich gruntów jest łączenie próbek w podzbiory (niezależnie od głębokości zalegania, składu litologicznego, numeru otworu) według kryterium konsystencji, uzyskując w ten sposób jedną zgeneralizowaną wartość kąta tarcia wewnętrznego i spójności dla gruntów o danej konsystencji (Borecka, Rybicki, 2004).

Badania **podłoża gruntowego pod obiektami naftowymi** zanieczyszczonego związkami ropopochodnymi przez ok. 50 lat wykazały, że przy 10% zanieczyszczeń nastąpił spadek spójności o ok. 50% oraz redukcja kąta tarcia wewnętrznego o ok. 30–40% (Korzeniowska i in., 1995; Korzeniowska-Rejmer, 2001). Wartości tych parametrów oraz wytrzymałość badanych gruntów na ścinanie maleją wraz ze stopniem zanieczyszczenia podłoża (fig. 5.5). Analogiczną tendencję stwierdzili Srivastawa i Pandey (1997) w badaniach gruntu aluwialnego. Podają oni, że przy zawartości 12% oleju mineralnego spójność gruntu maleje z 76,6 do 50,1 kPa, a kąt tarcia wewnętrznego zmienia się z 9,16 do 5°. Jedną z przyczyn stwierdzonych zmian jest fakt, że ciecze

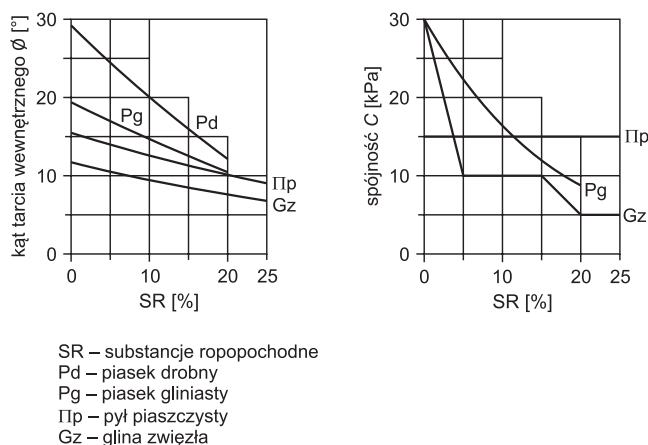


Fig. 5.5. Wykresy zmian kąta tarcia wewnętrznego (ϕ) i spójności (c) dla różnych gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi (SR) (Korzeniowska-Rejmer, 2001)



Fig. 5.6. Wielkoskalowy aparat bezpośredniego ścinania podczas badania oraz osuwisko Stože (Lenart, Bizjak, 2010)

ropopochodne charakteryzują się lepszymi właściwościami zwilżającymi niż woda, ich obecność w gruncie działa jak smar, który zmniejsza tarcie i opór gruntu w procesie jego ścinania.

Przeprowadzając badania gruntów zanieczyszczonych, należy wziąć pod uwagę możliwość wpływu zanieczyszczeń na aparaturę. Kamienie porowe używane w aparacie trójosiowego ścinania mogą korodować w kontakcie z gruntami o wysokiej wartości pH. Gaz wytwarzany w wyniku reakcji może prowadzić do powstania błędnych odczytów wartości ciśnienia porowego. Oleje i inne substancje zanieczyszczające mogą uszkodzić gumową membranę używaną w czasie badania.

Czasami wielkoagregatowy charakter struktury **gruntów zwalowanych**, jak również uziarnienie **koluwium-deluwium** wymaga prowadzenia badań w urządzeniach wielkoskalowych. Na figurze 5.6 przedstawiono wielkoskalowy

aparat bezpośredniego ścinania, skonstruowany na potrzeby określenia parametrów koluwium-deluwium (flisz) o frakcjach powyżej 45 mm, pochodzącego z osuwiska Stože w Słowenii. Osuwisko uaktywniło się na skutek długotrwałych opadów. Badania miały wykazać, jak zmiana wilgotności wpływa na parametry badanego materiału. Aparat umożliwił badanie próbek o wymiarach 63×63×20 cm oraz pomiar ciśnienia porowego.

Wielkoskalowy aparat bezpośredniego ścinania o wymiarze karetki 1×1 m, znajdujący się w Laboratorium Cedex w Hiszpanii, wykorzystano do badania stateczności hałdy na potrzeby rekultywacji terenów górniczych w El Bierzo (Leon) – figura 5.7. Badany materiał składał się z łupków bitumicznych i węgla, 7% frakcji badanego materiału stanowiły kamienie, 80% żwiry. Granulometria tego materiału wykluczała oznaczenie parametrów wytrzymałościowych w tradycyjnych urządzeniach o wymiarach 6×6 cm.

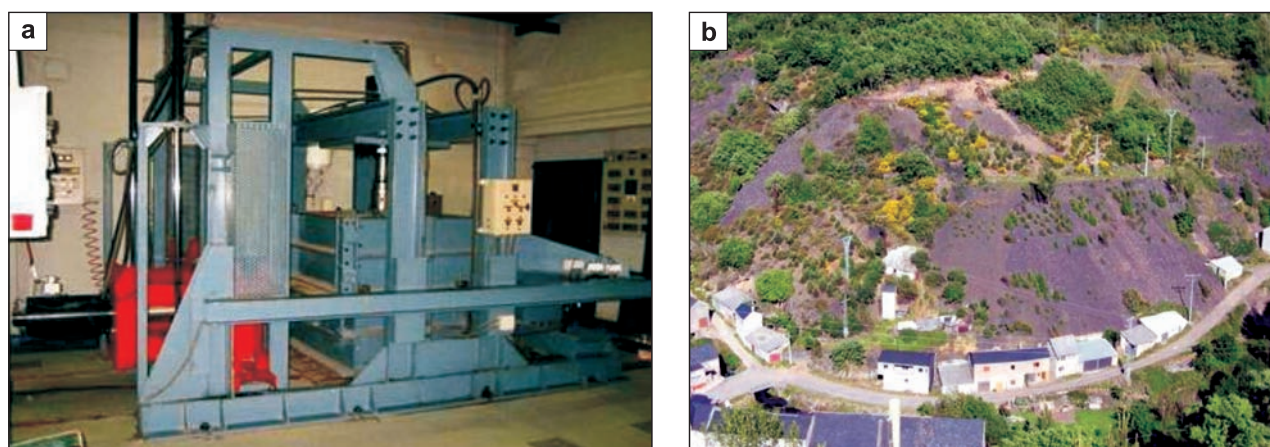


Fig. 5.7. a – Wielkoskalowy aparat bezpośredniego ścinania, b – Halda w El Bierzo (De Santiago Buey, Pardo de Santayana, 2011)

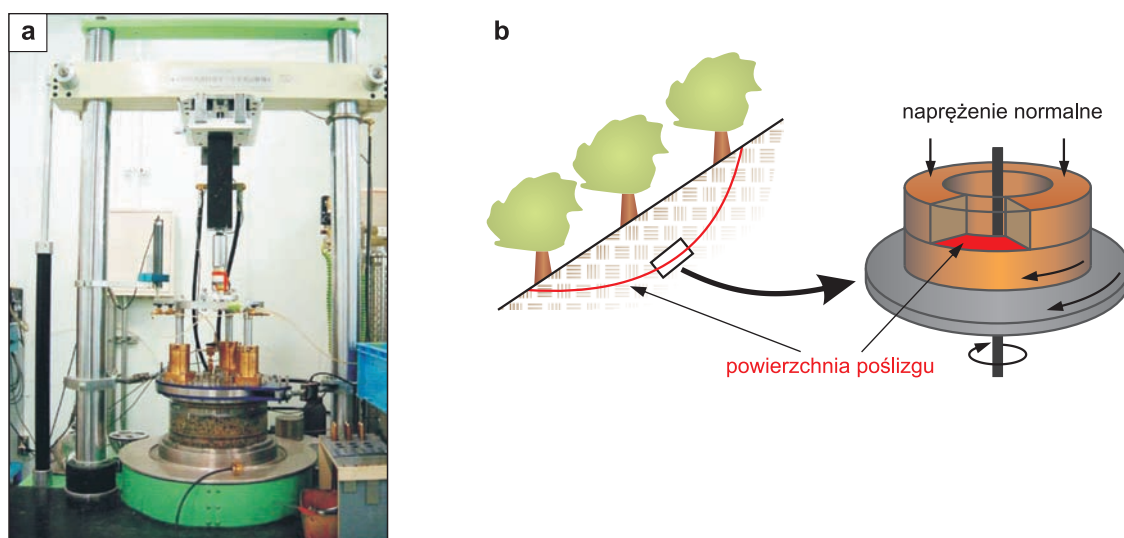


Fig. 5.8. a – Wielkoskalowy aparat pierścieniowego ścinania, b – Schemat powstawania powierzchni poślizgu w aparacie pierścieniowego ścinania (Fukuoka i in., 2006, zmodyfikowany)

Na figurze 5.8 przedstawiono niekonwencjonalny aparat pierścieniowego ścinania, nietypowy ze względu na wymiar, jak również na zastosowaną w nim przezroczystą obudowę. Taka budowa umożliwiła obserwację mechanizmu powstawania powierzchni poślizgu w gruntach piaszczystych. Badania te zostały przeprowadzone w Japonii w ramach programu Międzynarodowego Konsorcjum ds. Osuwisk (ICL – International Consortium on Landslides).

Dynamiczne parametry gruntów

Znajomość parametrów dynamicznych gruntu jest istotna przy projektowaniu posadowień konstrukcji poddanych drganiom pracy maszyn, a także zwykłym obciążeniom środowiska morskiego – falowanie (Werno i in., 1985). Reakcję gruntu na obciążenie dynamiczne można przewidzieć m.in. na podstawie znajomości maksymalnego modułu odkształcenia postaciowego (modułu ścinania) – G_{max} oraz modułu tłumienia (λ) przy małych odkształceniach. Moduł tłumienia, zwany również zdolnością tłumienia, jest to stosunek energii traconej w czasie jednego cyklu odkształcenia (odpowiadającej powierzchni pętli histerezy) do energii odkształcenia sprężystego. Badania gruntu w warunkach obciążeń cyklicznych w aparacie prostego ścinania i w aparacie trójosiowym prowadzą na ogół do zniszczenia próbki. Wykonywane są przy małych częstotliwościach i nie określają parametrów dynamicznych dla małych odkształceń (Frankowski i in., 2009).

Badania zagęszczalności

Najczęściej stosowanymi badaniami zagęszczania są standardowe i zmodyfikowane badania zagęszczania Proctora. Badania Proctora wykonywane są w celu określenia związku między gęstością objętościową szkieletu gruntowego a wilgotnością, przy stosowaniu określonej energii zagęszczania. Wilgotność optymalna (w_{opt}) i odpowiadająca jej maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ($\rho_{d,max}$) uzyskana

przy danej energii zagęszczania może być wykorzystywana do oceny jakości zęszczanego materiału. Wartość CBR można stosować jako podstawowy parametr do projektowania sprężystych nawierzchni. Można go stosować do oceny potencjalnej wytrzymałości materiałów podłoża warstwy nośnej, podbudowy (włączając materiały z recyklingu) dla konstrukcji nośnych dróg, kolei i nawierzchni lotnisk.

Badania zagęszczalności **gruntów zanieczyszczonych** wykazują związek pomiędzy ilością zanieczyszczeń a otrzymywanymi wartościami parametrów. Al Tabbaa i Walsh (1994) zauważyli, że wraz ze wzrostem zanieczyszczenia wzrasta wartość wilgotności optymalnej, a wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego maleje (fig. 5.9). Badania zostały przez nich przeprowadzone na ile kaolinowym zanieczyszczonym glikolem polietylenowym przy ośmiu różnych stężeniach, od 25 do 300 g glikolu na 100 ml wody.

Zanieczyszczenia obecne w gruncie mogą oddziaływać na wszystkie metalowe elementy, takie jak cylindry i ubijak. Zaleca się, aby w przypadku wykonywania badania CBR, w którym próbkę należy poddać sezonowaniu w wodzie, metalowe cylindry zastąpić plastikowymi.

W przypadku badania **gruntów zwałowanych** konieczne może być zastosowanie wielkoskalowego aparatu Proctora (Pisarczyk, 2001).

Z analizy uziarnienia gruntów zwałowanych (iły plicieńskie z PGE KWB Bełchatów) i zagęszczania (fig. 5.10) wynika, że wraz ze wzrostem zawartości frakcji pyłowej z 30 do 42% i spadkiem zawartości frakcji piaszczowej z 22 do 8% maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego maleje z 1,62 do 1,42 Mg/m³, natomiast wilgotność optymalna rośnie z 20,50 do 27,24% (Majer, 2005).

Badania przepuszczalności

Celem badań przepuszczalności jest oznaczenie współczynnika filtracji (k). Zgodnie z EC7 wyróżnia się dwa ro-

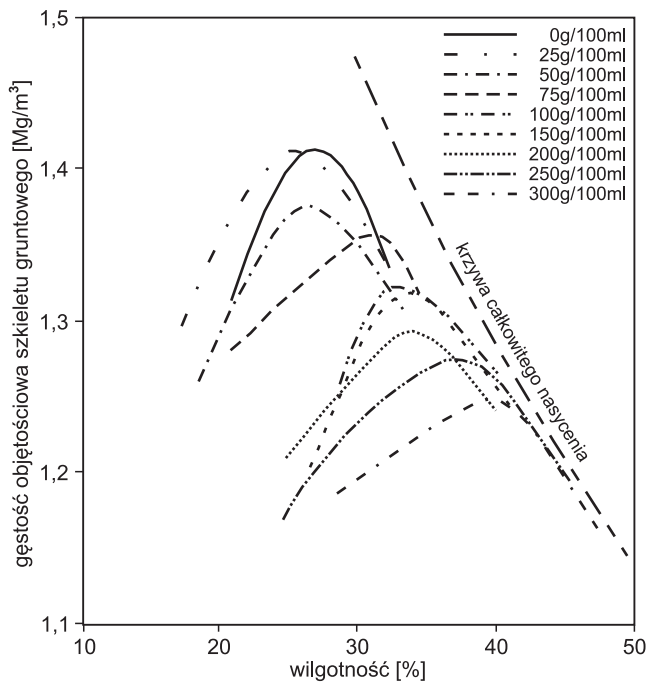


Fig. 5.9. Zależność gęstości objętościowej od wilgotności dla różnych stężeń glikolu polietylenowego (Al Tabbaa i Walsh, 1994)

dzaje badań – przy zmiennym i przy stałym spadku hydraulicznym. W zależności od rodzaju gruntu przed badaniem należy sprecyzować następujące elementy:

- grunty drobnoziarniste
 - stany naprężenia, w jakich próbka ma być badana;
 - kryterium osiągnięcia i utrzymywania warunków ustalonego przepływu;
 - kierunek przepływu przez próbkę;
 - gradient hydrauliczny, przy jakim próbka ma być badana;
 - potrzebę ciśnienia wyrównawczego i wymagany stopień nasycenia;
 - skład chemiczny filtratu;
- grunty gruboziarniste
 - stopień zagęszczenia, do jakiego próbka ma być doprowadzona;
 - gradient hydrauliczny, przy jakim próbka ma być badana;
 - potrzebę ciśnienia zwrotnego i wymagany stopień nasycenia.

Badania **gruntów zanieczyszczonych** wykazują wpływ zanieczyszczeń na uzyskiwane wartości współczynnika filtracji. Boldt-Leppin i in. (1994) badali wpływ benzyny na próbki ilów. Zaobserwowali zmniejszenie współczynnika

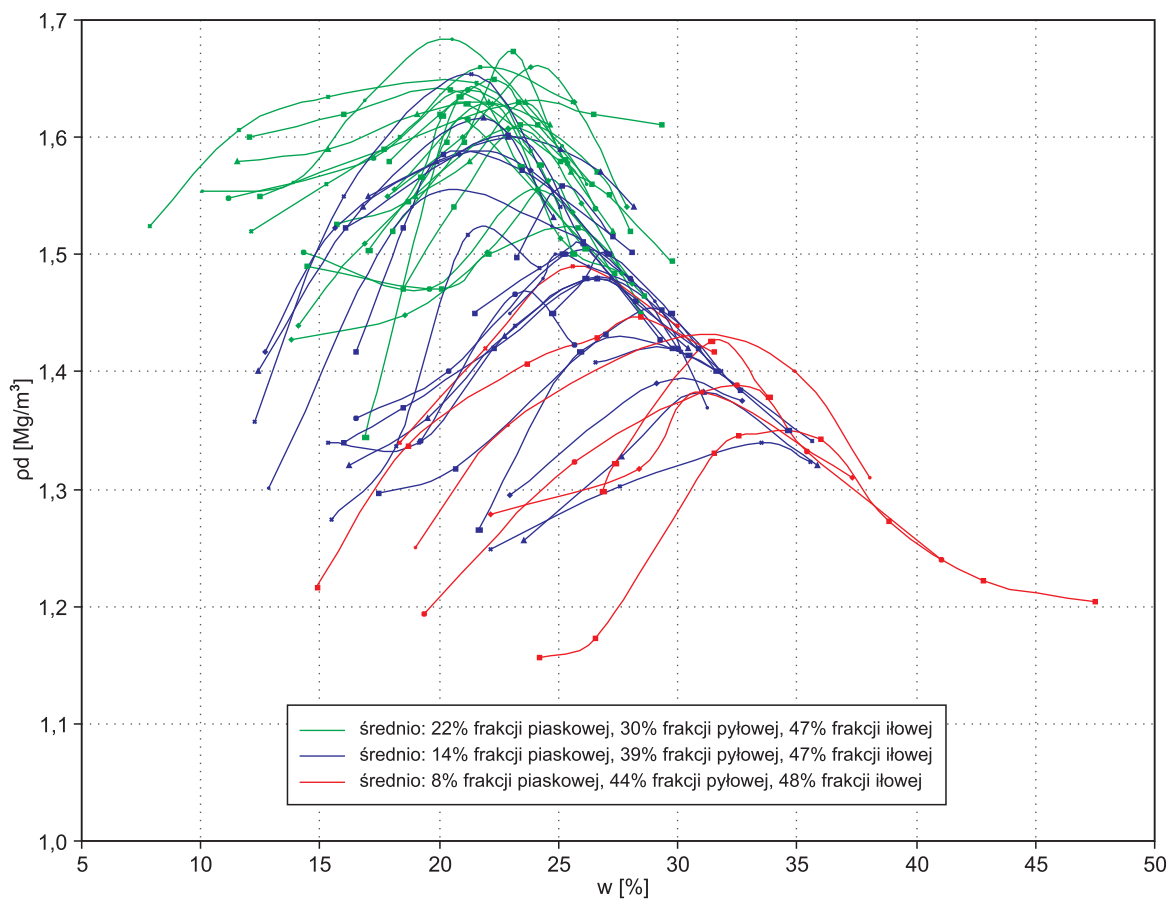


Fig. 5.10. Zależność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej od uziarnienia gruntów zwalanych (Majer, 2005)

filtracji do 1×10^{-10} m/s (przy użyciu benzyny) z 1×10^{-7} m/s (przy użyciu wody). Meegoda i Rajapakse (1993) wykazali, że próbki iltu w kontakcie ze związkami organicznymi zmieniają strukturę, a zmiana struktury odzwierciedla się wzrostem ich przepuszczalności. Niska stała dielektryczna związków organicznych odpowiedzialna jest za redukcję grubości podwójnej warstwy wody otaczającej cząstki iltu (Fernandez, Quigley, 1988), tworząc w ten sposób więcej przestrzeni dla przepływającego roztworu. Badania przeprowadzone przez Pamukcu i in. (1990) wykazały, że zanieczyszczenie próbek iltów olejem napędowym powoduje wzrost ich przepuszczalności.

Badania chemiczne

Celem oznaczeń chemicznych jest sklasyfikowanie gruntu dla oceny szkodliwego oddziaływania gruntu i wody gruntowej na beton, stal i na sam grunt. Nie są one przeznaczone do badań związanych ze środowiskiem naturalnym.

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, zawartości siarczanów, wartości pH (kwasowości lub zasadowości) i zawartości chlorków.

Podstawową metodą określania zawartości części organicznych, zalecaną przez PN-EN 1997-2:2009 (Eurokod 7)

jest metoda wyliczania ich zawartości ze straty masy gruntu powstałej w wyniku prażenia. Metoda ta stosowana powszechnie w laboratoriach badań gruntów obarczona jest szeregiem błędów i ograniczeń i powinna być stosowana tylko dla gruntów z małą ilością lub nie zawierających frakcji iltowej. W normie Eurokod 7 dopuszczone są także inne metody oznaczania zawartości części organicznych, m.in. metoda polegająca na utlenianiu ich nadtlenkiem wodoru (wodą utlenioną – H_2O_2). Metody tej nie można jednak stosować w przypadku gruntów o zawartości części organicznych ponad 10% lub gdy badany grunt zawiera makroskopowo widoczne części drewna, roślin itp. W takich przypadkach stosuje się metodę prażenia lub praktykowaną w wielu laboratoriach i uznawaną za uniwersalną metodę I.W. Tiurina, polegającą na określeniu ilości węgla organicznego z substancji organicznej przez utlenienie go za pomocą dwuchromianu potasu.

Zaleca się, aby wszystkie badania chemiczne gruntów zanieczyszczonych były przeprowadzane przez laboratoria chemiczne lub gruntowe, które mają odpowiednią aparaturę. Grunty te mogą wymagać zastosowania niestandardowych procedur, a wykonanie badań przez laboratoria geotechniczne lub geologiczno-inżynierskie może być niebezpieczne ze względu na niemożność przewidzenia potencjalnych reakcji, jakie mogą wystąpić między stosowanymi odczynnikami a zanieczyszczeniami.

6. TWORZENIE MAP I PRZEKROJÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

Obowiązek identyfikacji i wyznaczania obszarów zdegradowanych wynika z Ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym z dn. 27 marca 2003 (Dz.U. z 2003 r. Nr 80 poz. 717 z późn. zm.) oraz z powiązanych z nią aktów wykonawczych. W dokumentach planistycznych, takich jak: plan zagospodarowania przestrzennego województwa, studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego i plan miejscowy, należy określić:

- granice terenów górniczych,
- granice obszarów szczególnego zagrożenia powodzią oraz obszarów osuwania się mas ziemnych,
- granice obszarów wymagających przekształceń, rehabilitacji lub rekultywacji.

Dodatkowo część kartograficzna sporządzana w ramach opracowań ekofizjograficznych powinna zawierać informacje na temat:

- jakości środowiska i jego zagrożeń wraz z identyfikacją ich źródeł,
- odporności środowiska na degradację oraz zdolności do regeneracji,
- charakteru i intensywności zmian zachodzących w środowisku,
- stanu środowiska i jego zagrożeń wraz z oceną możliwości ich ograniczenia.

Konieczność tworzenia map i przekrojów, jako graficznego przedstawienia danych pozyskanych w wyniku dokumentowania geologiczno-inżynierskiego, wynika z Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej z dn. 23 grudnia 2011 r. (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714). Rozporządzenie to wymienia szereg map tematycznych, których treść jest uzależniona od celu dokumentowania geologiczno-inżynierskiego.

Według Rozporządzenia mapy dotyczące degradacji terenu sporządza się głównie dla celów **zagospodarowania przestrzennego**. Są to m.in.:

- mapa terenów zdegradowanych ze wskazaniem zakresu ograniczeń w ich użytkowaniu oraz sposobu ich rekultywacji,
- mapa terenów potencjalnie zagrożonych migracją zanieczyszczeń,
- mapa przydatności poszczególnych części terenu dla lokalizacji obiektów budowlanych (nowa),
- mapa obszarów zagrożonych podtopieniami (nowa).

Rodzaje map sporządzanych dla potrzeb pozostałych rodzajów dokumentacji geologiczno-inżynierskiej przedstawiono w tabeli 6.1.

W świetle powyższego, opracowania geologiczno-inżynierskie dla potrzeb identyfikacji terenów zdegradowanych i ich rekultywacji podzielono na:

- opracowania studialne, ukierunkowane głównie na identyfikację problemów i ich wzajemnych powiązań,
- opracowania szczegółowe, ukierunkowane głównie na wskazanie rozwiązań dla konkretnych działań (inwestycji, rekultywacji itp.).

Opracowania **studialne**, których odbiorcami są głównie organy administracji publicznej i jednostki samorządu terytorialnego, powinny być opracowywane na potrzeby planowania przestrzennego oraz charakterystyki geologiczno-inżynierskiej w skali kraju/województwa/gminy. Zagadnienia związane z degradacją terenu są w nich jednym z wielu analizowanych elementów. Będą to na przykład:

- dokumentacje geologiczno-inżynierskie wykonywane dla sporządzania planów zagospodarowania przestrzennego,
- opracowania kartograficzne zamawiane przez organy administracji publicznej, np. tematyczne mapy seryjne w skali kraju lub regionu, atlasy geologiczno-inżynierskie dla miast, mapy terenów zdegradowanych i podwyższonego zagrożenia naturalnego, mapy sozologiczne, mapy obszarów zagrożonych podtopieniami, mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi itp.

Opracowania **szczegółowe**, których odbiorcami będzie głównie sektor prywatny, powinny być dostosowane do rodzaju degradacji terenu i opracowywane na potrzeby konkretnych działań (rekultywacji, posadowienia obiektu), a ich skala powinna być dostosowana do skali problemu. Będą to na przykład:

- dokumentacje geologiczno-inżynierskie wykonywane dla potrzeb ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia obiektów różnego typu na terenach zdegradowanych,
- inne opracowania geologiczno-inżynierskie, np. dla celów likwidacji kopalń, zabezpieczenia brzegów morskich, zabezpieczenia osuwisk, skarp i zboczy, dla celów likwidacji i rekultywacji składowisk oraz zakładów przemysłowych i in.

W kontekście dokumentowania geologiczno-inżynierskiego podstawowe różnice pomiędzy tymi dwoma typami opracowań to:

- granice i skala opracowania – opracowania studialne będą wykonywane dla terenów sztucznie ograniczonych: arkusze mapy, granice gminy, granice kraju, granice miasta itp. Opracowania szczegółowe obejmować

Tabela 6.1

Rodzaje map w zależności od celu dokumentowania geologiczno-inżynierskiego wg Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich

Określanie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby posadawiania obiektów budowlanych	Określanie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby posadawiania obiektów budownictwa wodnego	Określanie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby posadawiania obiektów budowlanych inwestycji liniowych	Określanie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji lub podziemnego składowania odpadów	Określanie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby składowania odpadów na powierzchni
<ul style="list-style-type: none"> - mapa głębokości występowania gruntów słabonośnych z naniesioną ich miąższością, - mapa miąższości gruntów antropogenicznych - mapa głębokości do pierwszego zwierciadła wód podziemnych - mapa warunków budowlanych z naniesioną nośnością gruntów i głębokością występowania wód podziemnych - mapa poziomów wodonośnych z naniesioną głębokością ich występowania oraz ich miąższością - mapy przepuszczalności gruntów na różnych głębokościach - mapa z naniesionymi osadami występującymi na głębokości 1 metra od powierzchni terenu lub poniżej dna morskiego - mapa obszarów zagrożonych podtopieniami* - mapa z naniesioną głębokością podłoża nośnego - mapa stropu utworów nieprzepuszczalnych i ich miąższości* 	<ul style="list-style-type: none"> - mapa głębokości do pierwszego zwierciadła wód podziemnych z zaznaczonym kierunkiem przepływu tych wód - mapy przepuszczalności gruntów na różnych głębokościach - mapa występowania złóż kopalin, w tym torfów, w rejonie projektowanego obiektu budownictwa wodnego - mapa stropu utworów nieprzepuszczalnych z naniesioną ich miąższością* - mapa obszarów zagrożonych podtopieniami* 	<ul style="list-style-type: none"> - mapa miąższości gruntów słabonośnych - mapa geologiczno-inżynierska obejmująca strefę wzdłuż trasy projektowanego obiektu o szerokości uzależnionej od występujących warunków geologicznych i przewidywanego oddziaływania na środowisko 	<ul style="list-style-type: none"> - mapa topograficzna z naniesionymi proponowanymi granicami obszaru i terenu górniczego dla podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji lub podziemnego składowania odpadów* - mapa wyrobisk górniczych - mapa strukturalna lub tektoniczna obszaru złoża - mapa z naniesionymi poziomami wodonośnymi, głębokością ich występowania oraz miąższością 	<ul style="list-style-type: none"> - mapa geologiczno-inżynierska podłoża i przedpoła miejsca składowania odpadów, o którym mowa w przepisach o odpadach lub w przepisach o odpadach wydobywczych - mapa głębokości do pierwszego zwierciadła wód podziemnych z naniesionym kierunkiem przepływu wód - mapa rejonów potencjalnie zagrożonych miagracją zanieczyszczeń - mapa obszarów zagrożonych podtopieniami*

Mapy obejmujące zagadnienia związane z degradacją naturalną lub antropogeniczną wyróżniono pogrubioną czcionką.

* dodatkowy rodzaj mapy wg nowego Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714)

będą swoim zakresem teren występowania danego zjawiska wraz ze strefą, na którą ono wpływa;

- zakres problematyki – opracowania studialne będą obejmować obszar o zróżnicowanym charakterze, zarówno tereny zdegradowane, jak i tereny pod tym względem nienaruszone. Opracowania te będą obejmować w zasadzie określenie granic terenów zdegradowanych, identyfikację rodzaju degradacji i wskazanie możliwych kierunków rekultywacji lub ograniczeń. Opracowania szczegółowe będą obejmowały cały teren o konkretnym typie degradacji dla konkretnej inwestycji;

- etap opracowania – opracowania studialne wykonywane są najczęściej jako wydawnictwa seryjne, mające wspomagać proces inwestycyjny i wskazywać kierunki rozwoju na etapie planowania przestrzennego. Opracowania szczegółowe będą dotyczyły etapu projektowania danej inwestycji, mającej powstać na terenie objętym degradacją, a w przypadku rekultywacji, często z już wstępnie zaplanowanym sposobem.

Z tego względu w zależności od rodzaju opracowania zasady tworzenia map i przekrojów geologiczno-inżynierskich będą inne, ponieważ inny będzie ich poziom szczegółowości.

6.1. ZASADY TWORZENIA MAP NA POTRZEBY OPRACOWAŃ STUDIALNYCH

Zasady tworzenia map na potrzeby opracowań studialnych w różnej skali są zawarte w licznych instrukcjach wykonanych na zlecenie Ministerstwa Środowiska lub Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii. Opracowania kartograficzne wykonywane w ramach powyższych opracowań są wydawane najczęściej w skali 1:50 000 (mapy seryjne dla całego kraju) i w skali 1:10 000 (mapy niebędące wydawnictwami seryjnymi). Ich forma nie wyklucza oczywiście przedstawiania ich w innej skali. Obecnie mają one postać cyfrowej bazy danych w systemie GIS (SIP), co pozwala na ich swobodną aktualizację, uzupełnienie o nowe dane, przeprowadzanie analiz przestrzennych i prezentowanie wybranych treści.

Opracowania te można podzielić na dwie grupy:

- opracowania tematyczne, w których mapa wynikowa prezentuje wybrane zagadnienie (Sikorska-Maykowska red., 2007; Grabowski i in., 2008),
- opracowania syntetyczne, przedstawiające kilka zagadnień zwaloryzowanych pod wybranym kątem, np. przydatności dla różnych rodzajów budownictwa, ochrony środowiska, warunków geologiczno-inżynierskich, kierunków rozwoju, itp. (Wysokiński, Szurmak, 1991; Instrukcja..., 1999; Bażyński i in., 2000; Instrukcja..., 2005; Jankowski, 2005; Rokita, Majer, 2007).

Opracowania tematyczne mają głównie charakter identyfikacyjny. Ich celem jest zidentyfikowanie danego zjawiska czy procesu, okonturowanie jego zasięgu i ewentualne pogrupowanie elementów wzajemnie powiązanych (rejonizacja). W opracowaniach syntetycznych dodatkowo dokonuje się waloryzacji prezentowanych elementów pod kątem celu, dla jakiego są opracowywane, np. korzystne/niekorzystne warunki budowlane. Wszystkie mapy powinny stanowić materiał źródłowy dla opracowania mapy geologiczno-inżynierskiej.

6.1.1. Materiały źródłowe

Mapa geologiczno-inżynierska na potrzeby opracowań studialnych (głównie planowania przestrzennego) będzie syntetycznym zestawieniem czynników geologicznych, hydrogeologicznych, geomorfologicznych, geodynamicznych, antropogenicznych, środowiskowych i innych zaobserwowanych, mających wpływ na warunki budowlane na prezentowanym obszarze. Zasady sporządzania takich map zawarto w instrukcjach (Instrukcja..., 1999; Bażyński i in., 2000). Mapę wykonuje się na podstawie waloryzacji środowiska geologicznego, jakiej dokonuje się poprzez nakładanie na siebie poszczególnych pomocniczych map tematycznych. Na mapie wyznacza się obszary o jednakowych, scharakteryzowanych według określonych kryteriów, warunkach geologiczno-inżynierskich.

Mapę taką opracowuje się na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych. Są to między innymi:

- dokumentacje geologiczno-inżynierskie, geotechniczne, hydrogeologiczne, złożowe, badań geofizycznych, archiwalne wiercenia badawcze;
- opracowania kartograficzne, w tym: przeglądowe i szczegółowe mapy geologiczne, mapy hydrogeologiczne, mapy geologiczno-gospodarcze/geośrodowiskowe, mapy sozologiczne, mapy terenów zdegradowanych i podwyższonego zagrożenia naturalnego, mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi, mapy obszarów zagrożonych podtopieniami, mapy i szkice tektoniczne i geomorfologiczne itp.;
- informacje pozyskane z banków danych i rejestrów: bank danych sieci NATURA 2000, bank danych bogactw mineralnych i rejestr obszarów górniczych MIDAS, centralna baza danych geologicznych CBDG, bazy danych na temat obszarów bezpośredniego zagrożenia powodzią OBZP, OKI, rejestr bezpośrednich zagrożeń szkodą w środowisku i szkód w środowisku, państwowy monitoring środowiska PMS, wykaz danych o środowisku i jego ochronie, dokumentacje mierniczo-geologiczne zlikwidowanych zakładów górniczych, wojewódzki bank zanieczyszczeń środowiska, publicznie dostępny wykaz danych o środowisku i jego ochronie, baza danych obiektów topograficznych BDOT, bank danych hydrogeologicznych HYDRO;
- dane uzyskane z interpretacji danych teledetekcyjnych i fotogrametrycznych;
- dane uzyskane z wizji terenowej (weryfikacja danych archiwalnych, uzupełniające prace terenowe w tym kartowanie geologiczne, pomiary geodezyjne, pomiary poziomu wód gruntowych z uwzględnieniem zmian położenia ich zwierciadła, sondowania, obserwacje procesów geologicznych, pomiarów wód, wywiadów w terenie itp.).

Obecnie większość danych, zgodnie z dyrektywą INSPIRE, jest dostępna na tematycznych portalach internetowych. Dodatkowe informacje w rozdziale 17.5.

Dane te, ujednolicone do układu PUGW 1992, zamieszczone są na serwerach WMS (Web Map Service). Można je wyświetlić w dowolnym programie GIS lub przeglądać w internetowych przeglądarkach. Pozostałe dane znajdują się w archiwach Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego, Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej oraz w urzędach.

6.1.2. Metodyka tworzenia map

Proces opracowywania map na potrzeby opracowań podstawowych/poglądowych powinien przebiegać w 5 etapach:

- prace przygotowawcze: analiza mapy podkładowej, zdjęć lotniczych i satelitarnych; zebranie i analiza materiałów archiwalnych oraz wytypowanie miejsc wymagających dodatkowego rozpoznania terenowego (słabo udokumentowanych w materiałach archiwalnych lub miejsc problemowych);

- rozpoznanie terenowe: kartowanie geologiczno-inżynierskie, wiercenia badawcze, sondowania różnego typu, badania geofizyczne, badania laboratoryjne;
- wykonanie mapy dokumentacyjnej, zawierającej lokalizację wszystkich punktów badawczych (wykorzystanych archiwalnych i wykonanych w ramach rozpoznania terenowego) z podziałem na typy, w tym: otwory wiertnicze, sondowania, odsłonięcia naturalne i sztuczne, itp.
- wykonanie map tematycznych: morfogenetycznej, geologicznej, hydrogeologicznej, zagrożeń naturalnych oraz map dostosowanych do charakterystyki dokumentowanego obszaru, np.: mapy gruntów słabonośnych, mapy stopnia i rodzaju degradacji, mapy obszarów o wysokim ryzyku podtopień, mapy szkód górniczych, mapy miąższości gruntów organicznych/nasypowych, mapy stropu utworów danego typu, np. ilów plioceńskich itp. Powyższa lista nie obejmuje wszystkich możliwych typów map tematycznych, są to jedynie przykłady. Treść map tematycznych należy każdorazowo dostosować do charakteru terenu.
- wykonanie mapy warunków geologiczno-inżynierskich.

6.1.3. Treść map

Dla celów opracowań podstawowych/poglądowych na mapie warunków geologiczno-inżynierskich można wydzielić (Instrukcja..., 1999; Majer, Rokita, 2005; 2006; Rokita, Majer, 2007):

A – obszary o dobrych warunkach geologiczno-inżynierskich

Obszary o prostych warunkach gruntowo-wodnych z występowaniem gruntów nośnych (w tym skał, za wyjątkiem fliszu) z wodą gruntową występującą na głębokości poniżej 5 m, brak czynnych i potencjalnych zjawisk geodynamicznych oraz eksploatacji górniczej, brak antropogenicznych czynników przekształcających, brak obszarów prawnie chronionych.

W obrębie obszaru A można wydzielić:

- A₁ – obszar skał z wyjątkiem fliszu,
- A₂ – obszar piasków i żwirów z wodą gruntową poniżej 5 m,
- A₃ – obszar gruntów spoistych z wodą gruntową występującą w przewarstwieniach poniżej głębokości 5 m.

B – obszary o przeciętnych warunkach geologiczno-inżynierskich

Obszary występowania gruntów nośnych z wodą gruntową występującą na głębokości od 2 do 5 m lub wodą występującą w przewarstwieniach na głębokości od 2 do 5 m, brak czynnych i potencjalnych zjawisk geodynamicznych oraz eksploatacji górniczej, brak antropogenicznych czyn-

ników przekształcających, brak obszarów prawnie chronionych.

W obrębie obszaru B można wydzielić:

- B₁ – obszar piasków i żwirów z wodą gruntową na głębokości 2–5 m,
- B₂ – obszar gruntów spoistych z wodą gruntową występującą w przewarstwieniach na głębokości od 2 do 5 m.

C – obszary o niekorzystnych warunkach geologiczno-inżynierskich z zaznaczeniem głównych problemów budowlanych

Obszary występowania gruntów słabonośnych (obszar zalewowy, lessowy, bagienny-zastoiskowy, wydmy, fliszowy, obszar deformacji glacitektonicznych i wietrzeńowych). Woda podziemna występuje na głębokości powyżej 2 m oraz w przewarstwieniach gruntów spoistych powyżej 2 m. Słabo zaznaczające się procesy geodynamiczne (grawitacyjne ruchy masowe, formy krasowe) oraz obszary występowania gruntów nasypowych.

W obrębie obszaru C można wydzielić:

- C₁ – obszar o słabym natężeniu form krasowych,
- C₂ – obszar lessowy,
- C₃ – obszar zalewowy,
- C₄ – obszar bagienny-zastoiskowy,
- C₅ – obszar wydmy,
- C₆ – obszar deformacji glacitektonicznych i wietrzeńowych,
- C₇ – obszar fliszowy z przewagą iłolupków,
- C₈ – obszar piasków i żwirów z wodą gruntową na głębokości od 0,5 do 2,0 m,
- C₉ – obszar gruntów spoistych z wodą gruntową występującą w przewarstwieniach na głębokości 0,5–2,0 m,
- C₁₀ – obszar gruntów antropogenicznych.

D – obszary o złych warunkach geologiczno-inżynierskich z wyszczególnieniem czynników niekorzystnych

Obszar występowania gruntów nienośnych, z wodą na powierzchni lub bardzo płytko (do głęb. 0,5 m), z czynnymi zjawiskami geodynamicznymi (osuwiskami, obrywami, pęczaniem), obszary predysponowane osuwiskowo lub obszary intensywnego krasu wapiennego lub gipsowego, względnie obszary z występowaniem szkód górniczych. Będą to także obszary strefy klifów, krawędzi erozyjnych, skarp i zboczy oraz wydmy ruchomych, a także obszary intensywnie przekształcone antropogenicznie (zdeastowane przez przemysł, hałdy, wysypiska). Wyklucza się możliwość fundamentowania bezpośredniego obiektów wszelkiego typu.

W obrębie obszaru D można wydzielić:

- D₁ – obszar czynnych osuwisk i obrywów,
- D₂ – obszar predysponowany osuwiskowo,
- D₃ – obszar intensywnego krasu wapiennego lub gipsowego,
- D₄ – strefa klifów i krawędzi erozyjnych,
- D₅ – obszar szkód górniczych.

E – obszary z brakiem lub ograniczeniem możliwości budowlanych, obszary prawnie chronione

Obszary prawnie chronione, w tym obszary parków narodowych, rezerwatów, obszary chronionego krajobrazu, obszary sieci Natura 2000, pomniki przyrody itp., na których wykluczono wszelką działalność budowlaną lub działalność budowlana jest ograniczona, ze wskazaniem ograniczeń (typu budownictwa, lokalizacji itp.).

W obrębie obszaru E można wydzielić:

- E₁ – obszar prawnie chroniony o ograniczeniach wynikających ze szczególnych walorów przyrodniczych, na którym zakazana jest wszelka działalność budowlana,
- E₂ – obszar prawnie chroniony, na którym działalność budowlana podlega ograniczeniom (ze wskazaniem tych ograniczeń),
- E₃ – obszar zdegradowany (ze wskazaniem rodzaju degradacji), na którym działalność budowlana wymaga wcześniejszych zabiegów rekultywacyjnych.

Przykład mapy warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego (SUiKZP) przedstawiono na figurze 6.1.

Podobną syntezę warunków geologiczno-inżynierskich przeprowadza się sporządzając mapy warunków budowlanych. Mapy takie mogą charakteryzować się ograniczoną waloryzacją, a ich głównym celem jest przedstawienie występujących na analizowanym terenie problemów dla budownictwa. Przykład takiej mapy, opracowanej na potrzeby atlasu geologiczno-inżynierskiego dla miast przedstawiono na figurze 6.2.

Ze względu na intensywną eksploatację górniczą na terenie Katowic na mapie zaznaczono również występowanie pustek w górotworze, powstałych w wyniku wybierania pokładów węgla. Obecność pustek może powodować przemieszczanie się nadległego górotworu do pustych przestrzeni, co skutkuje powstaniem nieciągłych deformacji lub niecek osiadań.

6.1.4. Przekroje geologiczno-inżynierskie

Celem dokumentowania geologiczno-inżynierskiego na potrzeby opracowań studialnych nie jest określenie parametrów geotechnicznych pod konkretne obiekty, ponieważ na tym etapie nie ma o nich szczegółowych informacji, lecz ogólna charakterystyka obszarów nadających się lub nie pod różne rodzaje budownictwa.

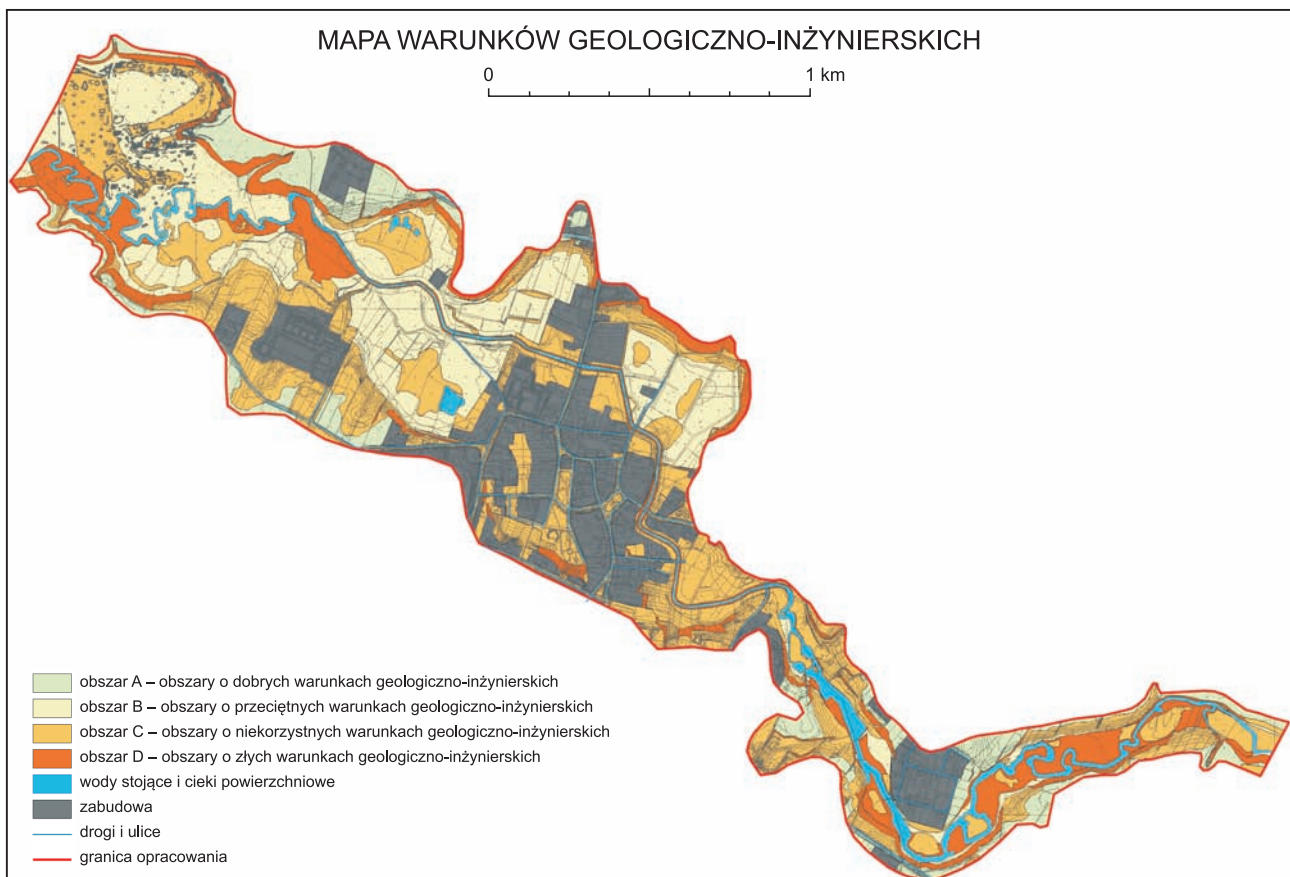


Fig. 6.1. Przykład mapy warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby opracowań planistycznych na etapie SUIKZP (Wysokiński i in., 2005)

6.2. ZASADY TWORZENIA MAP I PRZEKROJÓW NA POTRZEBY OPRACOWAŃ SZCZEGÓŁOWYCH

Treść map geologiczno-inżynierskich i przekrojów na potrzeby opracowań szczegółowych jest ściśle uzależniona od specyfiki analizowanego terenu. Zakłada się, że na etapie tworzenia takich map typ degradacji (teren pogórnicy, osuwisko itp.) jest już znany. Z tego względu zasady tworzenia takich map opisano w rozdziale dotyczącym dokumentowania geologiczno-inżynierskiego w podziale na:

- opracowania dla obszarów przekształconych w wyniku naturalnych procesów geologicznych,
- opracowania dla obszarów przemysłowych,

- opracowania dla obszarów zdegradowanych przez górnictwo,
- opracowania dla obszarów zurbanizowanych.

Zasady tworzenia różnych map i przekrojów na potrzeby opracowań szczegółowych w różnej skali zawierają m.in. instrukcje i wytyczne: Bażyński i in. (1999), Dobak i in. (2009), Frankowski i in. (2009).

W przypadku opracowań szczegółowych, bez względu na rodzaj degradacji analizowanego terenu, dokumentowanie geologiczno-inżynierskie powinno przebiegać etapowo, tak jak to opisano dla opracowań o charakterze studialnym (prace przygotowawcze, rozpoznanie terenowe, wykonanie mapy dokumentacyjnej, wykonanie map tematycznych oraz wykonanie mapy wynikowej).

7. BADANIA ŚRODOWISKOWE GRUNTÓW I WODY

Zanieczyszczenia w gruntach mogą mieć charakter przestrzenny lub punktowy i są efektem działalności ludzkiej ze źródeł ruchomych, ze źródeł o dużej powierzchni lub wielu mniejszych źródeł skupionych blisko siebie (PN-ISO 11074-1:2001).

Zanieczyszczenia przestrzenne związane są zazwyczaj z depozycją atmosferyczną, stosowaniem nawozów i środków ochrony roślin w rolnictwie bądź też wykorzystaniem odpadów stałych i płynnych, a także awariami i katastrofami ekologicznymi.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359) wydziela następujące zanieczyszczenia, których można spodziewać się w środowisku gruntowym:

- metale (arsen, bar, chrom, cyna, cynk, kadm, kobalt, miedź, molibden, nikiel, ołów, rtęć),
- nieorganiczne (cyjanki),
- węglowodorowe (benzyny – węglowodory C_6-C_{12} , olej mineralny – węglowodory $C_{12}-C_{35}$, węglowodory aromatyczne – BTEX, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – WWA),
- węglowodory chlorowane,
- środki ochrony roślin (pestycydy chloroorganiczne, pestycydy niechlorowane),
- pozostałe zanieczyszczenia.

W Polsce najczęstszym zanieczyszczeniem gruntów i wód podziemnych są substancje ropopochodne, które mogą zawierać inne dodatki organiczne (BTEX – lotne związki organiczne występujące w produktach ropopochodnych i węglowodopochodnych oraz WWA – produkty pochodne z przeróbki ropy naftowej i węgla oraz niepełnego spalania paliw). Występują one najczęściej w miejscach eksploatacji ropy naftowej, rafineriach oraz rejonach stref transportu i dystrybucji paliw płynnych (magazyny paliw, stacje benzynowe, rurociągi przesyłowe). Substancje ropopochodne rozlane w miejscu wypadku czy wyciekające z nieszczelnego zbiornika migrują w dół przez strefę aeracji do poziomu wód gruntowych, gdzie mogą tworzyć warstwę wolnego produktu na powierzchni zwierciadła wody.

Częste są przypadki zanieczyszczeń na terenach koksowni lub starych gazowni, gdzie WWA są głównym składnikiem tzw. smoły pogazowej. Związki z grupy WWA infiltrują do warstwy wodonośnej, a następnie jako cięższe od wody migrują głębiej, aż do napotkania warstwy nieprzepuszczalnej (fig. 7.1).

Badania na terenach zanieczyszczonych powinny dać odpowiedź na pytanie o naturę zanieczyszczeń (stabilne, labilne), ich rozprzestrzenienie oraz migrację zanieczyszczeń w środowisku gruntowo-wodnym.

Zazwyczaj badania prowadzone są w trzech etapach (Guidelines for Use..., 1997): analiza materiałów archiwalnych, opracowanie programu badań terenowych oraz proces rekultywacji.

Analiza materiałów archiwalnych. W I etapie zbierane są podstawowe informacje na temat działalności prowadzonej na rozpoznawanym terenie, dane o rozmieszczeniu budynków czy instalacji mogących wpływać na jakość środowiska, informacje o rodzaju i miejscu magazynowania surowców i składowaniu odpadów. Należy również uzyskać podstawowe dostępne dane archiwalne odnośnie płytkiej budowy geologicznej, występowania poziomów wodonośnych i kierunku przepływu wód podziemnych. Istotne są również dane o istnieniu i działaniu wszelkich studni eksploatacyjnych oraz innych otworów obserwacyjnych.

Opracowanie programu badań terenowych. Na podstawie danych uzyskanych w I etapie określamy:

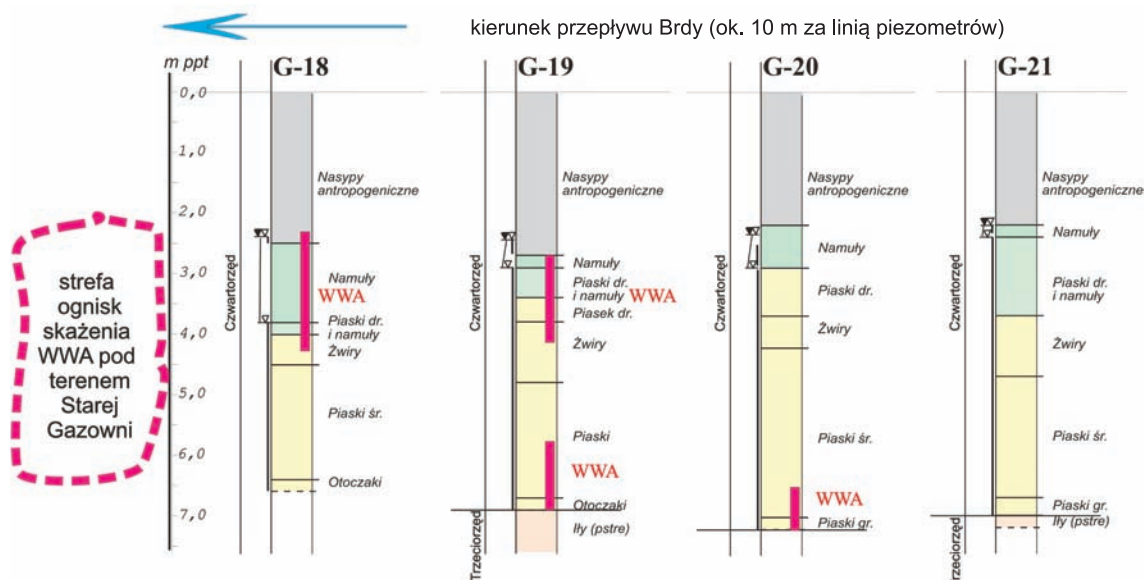
- zakres koniecznych prac geofizycznych w celu określenia występowania potencjalnych ognisk zanieczyszczeń,
- liczbę i rozmieszczenie punktów poboru i badań powietrza glebowego, np. na zawartość lotnych związków aromatycznych.

Wyniki pomiarów geofizycznych i atmogeochemicznych mogą posłużyć do wskazania lokalizacji wiercenia w strefach stwierdzonych anomalii. Pozwala to na zoptymalizowanie zakresu badań (Guidelines for Assessing..., 1997):

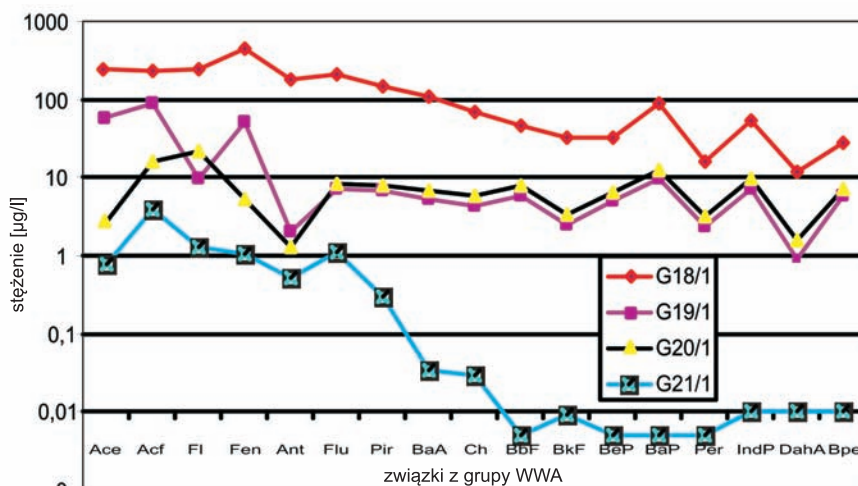
- liczby i rozmieszczenia punktów poboru próbek gruntów,
- liczby i rozmieszczenia punktów pomiarów hydrogeologicznych i poboru próbek wód gruntowych,
- liczby i rozmieszczenia punktów poboru próbek wód powierzchniowych i osadów dennych,
- zakresu koniecznych badań analitycznych pobranych próbek gruntów i wody oraz próbek powietrza gruntowego.

Celem następnie wykonywanych badań hydrogeologicznych jest określenie:

- głębokości występowania i charakteru wód podziemnych,
- wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie,
- miąższości warstwy wodonośnej,



Obecność frakcji smół pogazowych w warstwie wodonośnej obserwowana w czasie wiercenia otworów



Obraz analityczny na podstawie próbek wód pobranych z piezometrów

Fig. 7.1. Zjawisko rozdziału lekkich i ciężkich frakcji smoly pogazowej (na przykładzie związków grupy WWA) w strefie saturacji oraz jego obraz hydrogeochemiczny bazujący na wynikach analiz wody z kilku piezometrów zlokalizowanych nad Brdą w Bydgoszczy (Irmiński, 2003)

- prędkości i kierunku przepływu wód podziemnych,
- ewentualnych możliwych miejsc kontaktu z wodami powierzchniowymi.

Identyfikacja zanieczyszczeń w wodach podziemnych pozwala na weryfikację, czy mamy do czynienia z warstwą wolnego produktu (tzw. lekka niewodna faza ciekła – NAPL) na powierzchni zwierciadła wody, czy należy poszukiwać ciężkich frakcji mogących migrować do spągu warstwy wodonośnej (tzw. ciężka niewodna faza ciekła – DNAPL).

Proces rekultywacji (oczyszczania) terenu. Wyniki uzyskane z badań analitycznych należy odnieść do maksymalnych dopuszczalnych zawartości substancji uznawanych za zanieczyszczenie, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów

jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359). W przypadku przekroczeń zawartości substancji wymienionych w załączniku do Rozporządzenia konieczna jest rekultywacja gruntów mająca na celu przywrócenie wymaganych standardów jakości w zależności od sposobu planowanego użytkowania terenu.

Na podstawie informacji geologicznych i hydrogeologicznych zebranych w trakcie badań terenowych i wyników analiz chemicznych określa się optymalną metodę rekultywacji, remediacji lub sanacji. Ważnym czynnikiem, który wpływa na wybór konkretnej metody, jest dostępność terenu (np. obecność budynków, torów kolejowych, instalacji energetycznych) oraz oczekiwany czas, w jakim teren powinien zostać oczyszczony.

7.1. STRATEGIA BADAŃ

Celem badań geochemicznego stanu środowiska gruntowo-wodnego jest nie tylko dokonanie oceny stopnia zanieczyszczenia substancjami obcymi, ale także możliwość wskazania najlepszej metody oczyszczenia (sanacji) tego środowiska (tab. 7.1).

Opracowanie strategii badań rozpoczyna się zwykle etapem historycznym i diagnozą stanu, co prowadzi do określenia zakresu i metod badań w etapie rozpoznania wstępnego. Następnie, w razie potrzeby, badania techniczne mogą być uzupełnione lub rozszerzone w ramach rozpoznania szczegółowego. Uzyskane wyniki i wnioski pozwalają na dokonanie oceny zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego, a następnie – w odniesieniu do obowiązujących przepisów – postawienie wytycznych do dalszego użytkowania i wskazanie sposobu likwidacji zagrożenia (sanacji). Poszczególne etapy strategii badań środowiska gruntowo-wodnego zobrażowano na figurze 7.2.

Etap historyczny. Dokumentacja tego etapu bazuje na szczegółowej analizie i interpretacji informacji uzyskanych z:

- wywiadu środowiskowego,
- materiałów archiwalnych,
- wizji lokalnej terenu (obiektu),
- informacjach od świadków (może być przydatne przeprowadzenie specjalnej ankiety),
- kwerendy archiwalnej,
- urzędów, mediów itp.,
- danych kartograficznych, teledetekcyjnych i fotogrametrycznych.

Rozpoznanie wstępne. Jest to etap prac o charakterze technicznym, a jego główne zadania są realizowane w terenie. Jeżeli istnieje dostęp do wód podziemnych (ujęcie,

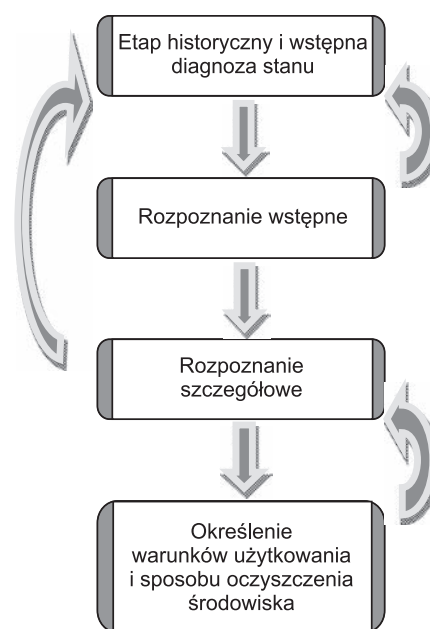


Fig. 7.2. Schemat strategii badań środowiska gruntowo-wodnego na terenach potencjalnie zanieczyszczonych (Irmiński red., 1996)

piezometr), które jako medium mobilne dobrze obrazuje zanieczyszczenie terenu, zaleca się, by pierwszą czynnością było wykonanie polowych pomiarów fizykochemicznych (temperatura, pH, przewodnictwo elektrolityczne właściwe, opcjonalnie zawartość tlenu i potencjał redukcji-oksydacyjny). Pomiary *in situ* powinny być wykonywane metodami akredytowanymi.

Następnie pobiera się próbki środowiskowe. Pobieranie próbek powinna wykonywać osoba odpowiednio przeszkolona.

Tabela 7.1

Zakres działań antropogenicznych definiujących pojęcia związane z oczyszczaniem środowiska naturalnego (*sensu lato*)

Rodzaj oczyszczenia środowiska	Działania antropogeniczne				
	usunięcie lub zredukowanie szkodliwych substancji (tzw. działania dekontaminacyjne)	długotrwale cofnięcie lub zredukowanie rozprzestrzeniania się szkodliwych substancji, bez usunięcia szkodliwych substancji (działania zabezpieczające)	usunięcie lub zredukowanie szkodliwych zmian w fizycznych, chemicznych lub biologicznych właściwościach gleby lub wód	przywrócenie zdolności produkcyjnej glebom poprzez odtworzenie warstwy glebowej i wprowadzenie upraw polowych, zadrzewienie lub zalesienie; także rekultywacja powierzchniowych wód stojących	stworzenie nowej produktywności na terenach zdegradowanych, np. przez przemysł wydobywczy, tzw. rekultywacja w kierunku wodnym lub leśnym
Sanacja					
Rekultywacja					
Remediacja					
Regeneracja					

lona. Pobierający próbki (próbkobiorca) odpowiada za prawidłowe oznakowanie, opakowanie, przechowanie i transport próbek do laboratorium.

Próbki środowiskowe należy pobierać z tych elementów środowiska, które według badań historycznych i wstępnej analizy były i są najbardziej narażone (eksponowane) podczas emisji zanieczyszczeń. Są to zatem próbki gleby, podglebia i głębszego podłoża gruntowego, próbki powietrza gruntowego, próbki wód powierzchniowych i podziemnych, ale także próbki materiałów budowlanych (cegieł, zapraw, tynku, betonu), które w wyniku remontowania lub wyburzeń starych budynków i konstrukcji staną się odpadami.

Rozpoznanie szczegółowe. Osiągany w trakcie kolejnych etapów badawczych coraz dokładniejszy poziom rozpoznania terenu/obiektu (na przykład tzw. *brownfield*, czyli teren poprzemysłowy) umożliwia określenie, czy dane miejsce można wyeliminować z kolejnych etapów rozpoznania, czy też skierować do dalszego badania. Na tym etapie zachodzi zwykle potrzeba wykorzystania innych technik badawczych i identyfikacyjnych zanieczyszczenia, jak np. metod geofizycznych, hydrologicznych i hydraulicznych oraz technik pasywnych. Następnie mogą być one kontynuowane w ramach długoterminowego monitoringu środowiska. Do analizy zanieczyszczeń i interpretacji mogą służyć metody analizy charakterystycznych cech budowy związków chemicznych zwane *fingerprinting* oraz metoda *backtracking*, czyli śledzenie wsteczne (Ertel, Alimi, 2001).

Określenie warunków użytkowania i sposobu oczyszczenia środowiska. Uzyskane wyniki badań stanu środowiska pozwalają na dokonanie porównania z obowiązującymi wymaganiami i standardami jakości, czyli ocenę zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego, a następnie – w odniesieniu do obowiązujących przepisów – opracowanie warunków dalszego użytkowania i wskazanie sposobu likwidacji zagrożenia (sanacji). Przepisy dopuszczają sposób wykorzystania przestrzeni przy danym stopniu zanieczyszczenia, a to oznacza, że badający lub inwestor powinien znać i uwzględnić także prognozę zmian i inne, alternatywne dopuszczalne sposoby zagospodarowania terenu. Projekt sanacji musi zawierać analizę ekonomiczną.

7.2. METODY I ZAKRES BADAŃ

Kluczową rolę dla prawidłowej oceny stanu zanieczyszczenia odgrywają metody oraz techniki badań środowiska gruntowo-wodnego. Ogólnie można podzielić je na metody pośrednie, które zazwyczaj mają charakter nieinwazyjny, oraz metody bezpośrednie, które wiążą się z wykonaniem sondowań lub odwiertów i poborem próbek gruntu oraz wody. Metody bezpośrednie są podstawą do porównania wyników analiz pobranych próbek z kryteriami jakości przyjętymi dla wód i gruntów, zawartymi w unormowaniach prawnych.

Rozwiązania prawne przyjęte w Unii Europejskiej zawierają Ramową Dyrektywę Wodną (RDW 2000/60/WE) oraz Dyrektywę Wód Podziemnych (DWP 2006/118/WE), które mówią o ochronie wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu. RDW jednoznacz-

nie nakreśliła cele dla wód powierzchniowych – dobrego stanu ekologicznego i dobrego stanu chemicznego, a dla wód podziemnych – dobrego stanu ilościowego i dobrego stanu chemicznego. W przypadku wód podziemnych „dobry stan chemiczny” jest dość skomplikowany do ujednoczonego zastosowania. Wynika to m.in. z regionalizacji hydrogeochemicznej, złożoności budowy geologicznej oraz interakcji pomiędzy gruntem (osadami) i przesiąkającymi wodami.

Od grudnia 2006 r. w uzupełnieniu do RDW dyrektywa dotycząca wód podziemnych, zwana też „dyrektywą córką”, wymaga od państw członkowskich Unii Europejskiej:

- ustanowienia wartości progowych (norm jakości), dotyczących wód podziemnych (co miało nastąpić do końca 2008 r.),
- ustalenia metod identyfikowania oraz przeprowadzenia badań trendów zanieczyszczeń, wykorzystując istniejące dane i dane monitoringowe¹.

Do metod pośrednich w badaniach środowiska gruntowo-wodnego, z których korzysta geologia środowiskowa, zalicza się szereg metod geofizycznych oraz metody atmo-geochemiczne.

Metody bezpośrednie (czyli opróbowanie) są najbardziej zbliżone do metod geologiczno-inżynierskich, polegających na poborze próbek gruntu oraz wody. Warto tu dokonać szczególnego rozróżnienia w badaniach gruntu: z punktu widzenia geologiczno-inżynierskiego gleba zwykle nie jest przedmiotem badań, gdyż nie stanowi właściwego podłoża budowlanego. Zaś dla badań skażeń jest ona istotnym medium, które pochłania, kumuluje i transponuje głębiej różne rodzaje zanieczyszczeń.

7.2.1. Badania próbek gruntu (podłoża)

W wielu przypadkach na terenach potencjalnie zanieczyszczonych planowanie i badanie skażeń w warstwie glebowej nie jest konieczne. Dotyczy to terenów przemysłowych i poprzemysłowych, gdzie zabudowa powierzchni oraz utwardzone nawierzchnie radykalnie zmniejszają obszary występowania gleby z jej charakterystycznymi cechami (np. warstwa humusowa). W obowiązujących przepisach wydzielono tereny grup A, B i C ze względu na sposób ich przeznaczenia (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi; Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359). W grupie C, do której należą m.in. tereny przemysłowe, eksploatacyjne, komunikacyjne itp., nie wyróżnia się strefy glebowej 0–0,3 m jak w grupie B, lecz najpłytszą strefę badań ustala się dla przedziału głębokości od 0 do 2 m, stosując jednocześnie bardziej liberalne wartości.

Przegląd metod pobierania próbek gruntów zamieszczono w tabeli 7.2.

Opróbowanie i badanie głębszych warstw podłoża prowadzi się głównie w strefie aeracji, a w strefie saturacji w wyjątkowych przypadkach. Najczęściej bowiem znaczna ilość

¹ Gromadzenie tych danych jest wymagane na mocy RDW; dane uzyskane w latach 2007–2008 nazwane są danymi „poziomu odniesienia”.

Tabela 7.2

Metody pobierania próbek gruntowych (Lehrgang ..., 2004, uzupełnione)

Metoda	Średnica otworu [mm]	Zalety	Wady	Możliwe błędy i utrudnienia	Zastosowanie w fazie badań
Wiercenie ręczne (sonda, świdrer)	15 – 80	metoda bardzo szybka i tania, mobilna, możliwa do stosowania w trudno dostępnych miejscach, grunt nie ulega kompaktacji	nie zawsze reprezentatywna, ograniczony zakres do 4–6 m (maks. 8–10 m) zależnie od rodzaju gruntu, problemy z pokonywaniem przeszkód (gruz, kamienie, korzenie drzew itp.), zastosowanie tylko w strefie aeracji	ucieczka związków lotnych z pobieranego materiału, możliwość kontaminacji bocznej, niedokładności w profilu	etap rozpoznania wstępnego, okonturowanie plamy zanieczyszczenia przy przejawach obserwowanych makroskopowo
Małosrednicowa sonda okienkowa lub sonda rowkowa	35 – 80	metoda szybka, tania i efektywna, możliwa do stosowania w trudno dostępnych miejscach, możliwość obserwacji odcinków profilu przed pobraniem próbki	możliwa kompaktacja gruntu w strefie przy powierzchniowej, możliwe ubytki rdzenia przez jego odłamywanie się i wysuwanie, stosunkowo mała ilość materiału do badań (w sondzie rowkowej), ograniczone zastosowanie w strefie saturacji (zwykle maks. do 2–3 m poniżej zwierciadła wody)	ucieczka związków lotnych z pobieranego materiału, możliwość kontaminacji bocznej, niedokładności w profilu	etap rozpoznania wstępnego, okonturowanie plamy zanieczyszczenia przy przejawach obserwowanych makroskopowo
Sonda okienkowa	80 – 300	dobra jakość i ilość rdzenia, dobra penetracja także poniżej zwierciadła wód gruntowych, stosowana zwykle do sondowania do głęb. 10–12 m	możliwość wymieszania materiału przy wzbijaniu w grunty o niskiej wiązkości, niekorzystne podgrzanie materiału przy wzbijaniu w grunty o dużej wiązkości	rozwlóczenie zanieczyszczenia na większej długości rdzenia niż występuje w rzeczywistości, ucieczka związków lotnych	etap rozpoznania wstępnego, okonturowanie plamy zanieczyszczenia przy przejawach obserwowanych makroskopowo, etap rozpoznania szczegółowego, sanacja terenu
Wiercenie obrotowe rdzeniowane i wiercenie świdrem ślimakowym	65 – 200	efektywne cenowo, znaczna ilość urobku do pobrania próbki	brak zastosowania w miejscach trudno dostępnych, podgrzanie materiału w gruntach wiązłych, możliwość wymieszania materiału sypkiego, najczęściej próbka o całkowicie zaburzonej strukturze	wymieszanie gruntu sypkiego, rozwlóczenie zanieczyszczenia na większej długości rdzenia niż występuje w rzeczywistości, ucieczka związków lotnych, ubytek drobnej frakcji przy opróbowaniu w strefie saturacji	rozpoznanie szczegółowe, okonturowanie skażenia, sanacja terenu
Wiercenie czerpakowe	400 – 2500	duża ilość materiału do badań, duże średnice, możliwość pozyskania także najgrubszych frakcji	próbki całkowicie zaburzone, wymieszanie materiału w przypadku urabiania materiału poniżej zwierciadła wody, brak dokładności w profilu, konieczność utylizacji wydobywanego materiału	wymieszanie materiału w próbec, odgazowanie, ubytek drobnej frakcji przy opróbowaniu w strefie saturacji	rozpoznanie szczegółowe, sanacja terenu (w tym bezpośrednia likwidacja ogniska zanieczyszczenia)
Wiercenie rurowe (sonda z wkładką rurową z PCV)	80 – 200	brak dostępu wody i powietrza do pobranego materiału, ochrona przed ucieczką gazów, możliwość obserwacji dokładnego profilu	metoda pracochłonna, zasobnik rurowy wrażliwy na zniszczenie przez ostre i większe okruchy mineralne	możliwość interakcji pomiędzy urobkiem oraz tworzywem sztucznym (rura, tuba z PCV)	etap rozpoznania szczegółowego
Szurf (wykop badawczy)	dowolne wymiary	możliwość śledzenia dokładnego profilu i położenia warstw, możliwość pobrania próbki dowolnej wielkości i większej liczby próbek z tej samej warstwy, także próbki o nienaruszonej strukturze i znanej orientacji	wymaga miejsca i zastosowania środków bezpieczeństwa (BHP w wykopach ziemnych), często wymaga asekuracji oraz wykonania obudowy wykopu, konieczność utylizacji wydobytego zanieczyszczonego urobku	łatwy ubytek związków lotnych	rozpoznanie szczegółowe, projektowanie metod remediacji, sanacja terenu (w tym bezpośrednia likwidacja ogniska zanieczyszczenia)

zanieczyszczeń migrujących grawitacyjnie (np. z wodą opadową) po dotarciu do strefy zawodnionej ulega rozcieńczeniu i przemieszcza się dalej z wodą podziemną. Tak zachowują się związki metali ciężkich, związki nieorganiczne i część związków organicznych, np. lekkie frakcje węglowodorów. Następnie dzięki procesom retardacji, a potem procesom naturalnego samooczyszczania i rozpadu (NA – *Natural Attenuation*) ciekła chmura lub smuga zanieczyszczeń ulega spowolnieniu, dalszemu rozcieńczeniu i stopniowemu zanikowi. Procesy te trwają w różnym tempie, zwykle jednak bardzo powoli, a w przypadku niektórych trwałych (persystentnych) zanieczyszczeń organicznych (np. POPs – *Persistent Organic Pollutants*) mogą trwać nawet kilkadziesiąt tysięcy lat. Zdolność POPs do transgranicznej i transkontynentalnej migracji naraża człowieka, jako ostatnie ogniwo łańcucha pokarmowego, na trwałe toksyczne oddziaływanie. Przykładowe związki spełniające kryteria przynależności do POPs to m.in.: DDT, HCH, PCB, HCB, PCN, PCDD, PCDF, PCDE.

W sytuacji zanieczyszczenia (lub podejrzenia zanieczyszczenia) środowiska gruntowo-wodnego ciężkimi frakcjami ciekłych związków niewodnych (DNAPL – *Dense Non-aqueous Phase Liquid*) należy przeprowadzić również opróbowanie gruntu w strefie saturacji, ze szczególnym zwróceniem uwagi na strefę kontaktu z poziomem słabo przepuszczalnym. W spągu warstwy wodonośnej mogą gromadzić się, stagnować lub przesuwać grawitacyjnie ciężkie frakcje, uwalniając do otaczających wód frakcje lekkie oraz produkty stopniowego rozpadu. Warto zwrócić uwagę na możliwość przemieszczania się takiego ogniska zanieczyszczeń także w kierunku zupełnie przeciwnym lub ukośnym do ruchu wód podziemnych, o ile panują odpowiednie warunki ukształtowania stropu warstwy słabo przepuszczalnej. Ważne jednak, by w przypadku śledzenia skażeń organicznych i natrafienia na poziom izolujący nie przewiercać tego poziomu bez zastosowania specjalnej techniki uszczelniania.

Z uwagi na zanieczyszczenia dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich obejmuje głównie grunt i wody podziemne.

Badania geochemiczne próbek gruntu wykonuje się w celu oszacowania skali zagrożenia dla wód podziemnych. Na takim założeniu oparte są m.in. obowiązujące w Polsce standardy czystości gleby i ziemi (Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359). Analizując tabelę – załącznik do tego rozporządzenia – można stwierdzić, że na terenach grup B i C po określonych tam dopuszczalnych stężeniach w strefach płytszych (odpowiednio 0–0,3 m oraz 0–2 m) następuje zwykle zaostrożenie wymagań w strefach głębszych (do 15 m), o ile mamy do czynienia z wysokim współczynnikiem wodoprzepuszczalności gruntu – sprzyja on bowiem szybszej infiltracji zanieczyszczeń. Wyraźnie zaznaczono to dla tych związków organicznych, które mają niską lepkość łatwo migrują przez strefę aeracji.

Pożądana wielkość próbki stałej (gleby, gruntu, osadu, betonu itp.) jest uzależniona od rodzaju parametrów, które mają zostać określone na podstawie badań laboratoryjnych (tab. 7.3).

Tabela 7.3

Minimalna oczekiwana wielkość próbki konieczna do oznaczenia wybranych substancji i parametrów (Lehrgang..., 2004)

Oznaczany parametr	Minimalna oczekiwana wielkość próbki w gramach (suchej masy)
Podstawowa analiza rentgenowska	2
Pierwiastki podstawowe, w tym metale ciężkie	6
Rtęć	6
Test wymywania (aniony, pierwiastki, cyjanki itp.)	200
Fenole	40
Oleje mineralne	40
BTEX	40
WWA	40
Węglowodory chlorowane	40
PCB	40
Całkowity węgiel organiczny (TOC)	10
Gęstość	40
Strata prażenia	60
pH	20
Pojemność wymiany jonowej	5
Przewodnictwo el. wł.	40
Uziarnienie (oszacowanie)	150

W przypadku dużej niehomogeniczności materiału lub dużej ilości ziaren o średnicy powyżej 2 mm (szkielet mineralny) próbka pobrana do laboratorium (bez preselekcji) powinna być ok. 2–4-krotnie większa od docelowej, potrzebnej w laboratorium, objętości próbki. Wymagane ilości frakcji drobnej do badań analitycznych zawiera tabela 7.4. Mniejsza próbka nie wyklucza badań, może jednak obniżyć dokładność oznaczenia, powinno to jednak laboratorium odnotować w postaci zastrzeżenia w swoim raporcie z badań.

Tabela 7.4

Zależność objętości pobieranego materiału od uziarnienia (Lehrgang ..., 2004)

Wielkość ziaren w mm	Średnia objętość próbki w litrach
<2	0,5
2–20	1
20–50	2
50–120	5
>120	każdy kawałek może być odrębną próbką

7.2.2. Badania próbek wody podziemnej

Woda podziemna z punktu widzenia badań skażeń środowiska gruntowo-wodnego i remediacji posiada następujące, bardzo istotne cechy:

- stanowi naturalny rozpuszczalnik wielu związków chemicznych,
- transportuje większość substancji migrujących grawitacyjnie ze strefy aeracji do strefy saturacji,
- jest niezbędna do procesów życiowych mikroorganizmów naturalnych i wykorzystywanych w technologiach bioremediacji *in situ*,
- jest eksploatowana do celów konsumpcyjnych i technicznych.

Gdy w wodzie podziemnej znajdują się substancje słabo rozpuszczalne lub hydrofobowe (np. WWA), tworzą w wodzie dość wyraźnie oddzielone skupienia i smugi. Przemieszczają się one wraz z wodą, ale zwykle ze znacznie mniejszą prędkością (retardacja), a w czasie pompowania pojawiają się w próbce wody w różnej ilości.

Przed omówieniem sposobów pobierania wody podziemnej do badań geochemicznych należy wskazać kilka istotnych różnic pomiędzy badaniami terenów skażonych (poprzez badanie jakości wód będących docelowo odbiornikiem mobilnych zanieczyszczeń) oraz opróbowaniem wód realizowanym w ramach monitoringu sieci obserwacyjnej wód podziemnych.

W kontekście ujmowania wód do najważniejszych czynników odróżniających pobieranie próbek wód na terenach skażonych od stałych obserwacji sieci należą:

- opróbowanie, badanie parametrów *in situ* oraz analiz może się odbywać poprzez wykorzystanie tymczasowych otworów badawczych (sondowań lub piezometrów tymczasowych), które z reguły mają małe średnice. Mogą to być otwory 1- do 4-calowe, ale w szczególnych przypadkach stosuje się średnice 5-calowe oraz specjalnie wykonane rury o średnicach 3/8 cala dla każdego z trzech lub siedmiu otworów wewnętrznych;
- bada się każdą warstwę wodonośną, która może podlegać wpływom ogniska zanieczyszczenia, zatem może się zdarzyć, że wydajność otworu z opróbowywanej warstwy jest bardzo niska, co wymaga zastosowania specjalnych technik pompowania;
- stężenia substancji szkodliwych w pobieranej wodzie są zazwyczaj wyraźnie wyższe niż w tradycyjnych ujęciach wód, co nakazuje zachowanie odpowiednich środków bezpieczeństwa w trakcie opróbowania, transportu i analizy;
- otwory badawcze mają szczególną lokalizację względem obiektów i terenów podejrzewanych o zanieczyszczenie wód, powinny być wykonywane w miejscach najbardziej narażonych lub najbardziej podatnych na zanieczyszczenie;
- otwory badawcze mogą mieć szczególną konstrukcję części filtrowej, zależnie od rodzaju poszukiwanych substancji, najczęściej jednak zafiltrowany jest peł-

ny profil w warstwie wodonośnej oraz strefa wahań zwierciadła wody.

Badanie wód podziemnych na terenie lub w sąsiedztwie terenów zanieczyszczonych wykonywane jest w celu:

- prześledzenia warunków do ustalenia wielkości ładunku zanieczyszczeń,
- okonturowania pionowego i poziomego kształtu smugi zanieczyszczeń w wodach,
- ustalenia istnienia lekkiej niewodnej fazy ciekłej (np. cieczy utrzymujących się w strefie wahań zwierciadła wody podziemnej);
- ustalenia istnienia ciężkiej niewodnej fazy ciekłej, tj. cieczy o większej niż woda gęstości właściwej, która tworzy w spągu warstwy wodonośnej wtórne ognisko skażenia wód,
- wstępnego określenia optymalnych (efektywnych) warunków remediacji środowiska gruntowo-wodnego.

Podobnie jak przypadku badań gleb i gruntów, również miejsca wykonania otworów do opróbowania wód powinny zostać zaprojektowane na podstawie rozpoznania historycznego oraz na podstawie konkretnej lokalnej strategii. Podstawą zaplanowania właściwych otworów do badania wód jest podejrzenie lokalizacji zagrożenia oraz ogólna znajomość budowy hydrogeologicznej danego obszaru, a w tym regionalny kierunek przepływu wód podziemnych. Należy dążyć do optymalnej lokalizacji otworu względem znanego lub domniemanego ogniska skażenia oraz odbiornika wód. Na figurze 7.3 pokazano przykłady dobrych i złych lokalizacji otworów badawczych.

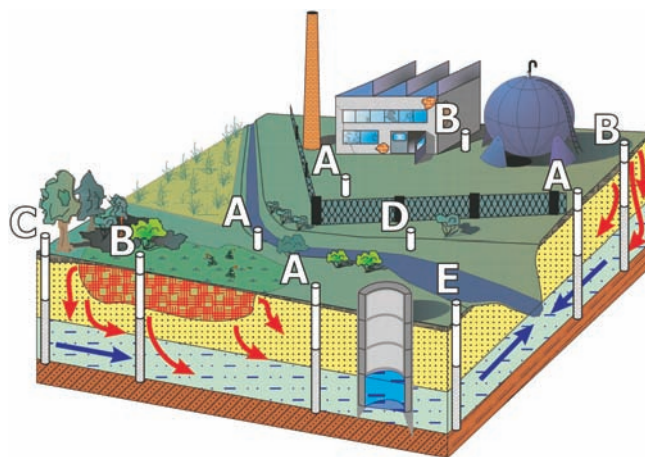


Fig. 7.3. Przykłady właściwej i niewłaściwej lokalizacji otworów badawczych wód podziemnych w przypadku wystąpienia ognisk zanieczyszczeń środowiska gruntowo-wodnego (Irmiński, 1998, zmodyfikowane)

A – lokalizacja właściwa – możliwość kontroli jakości wód na drodze do odbiornika, np. studni, rzeki; B – lokalizacja niewłaściwa – zbyt bliskie położenie otworu wobec ogniska zanieczyszczenia, poprzez otwór i piezometr możliwość przyspieszenia pionowej migracji skażeń; C – lokalizacja właściwa – możliwość oceny jakości wód napływających; D – lokalizacja niewłaściwa – otwór zbyt blisko odbiornika (np. rzeki); E – lokalizacja niewłaściwa – otwór poza drogą migracji do odbiornika, nie umożliwia kontroli wód przed odbiornikiem

W trakcie opróbowania wód w małej odległości od ogniska zanieczyszczenia należy mieć na uwadze, że:

- heterogeniczność podłoża ma bardzo istotny wpływ na dystrybucję zanieczyszczeń w wodzie gruntowej,
- docieranie substancji z ogniska zanieczyszczeń do wód jest uwarunkowane pierwotną dystrybucją w samym ognisku zanieczyszczeń,
- w warstwie saturacji zarówno w profilu poziomym, jak i pionowym można się spodziewać znacznych różnic w stężeniach badanych substancji, szczególnie związków chemicznych o charakterze hydrofobowym.

7.2.2.1. Standardowe metody opróbowania wód podziemnych

Standardowe metody opróbowania wód podziemnych przy badaniu terenów zanieczyszczonych realizowane są głównie w otworach o średnicach od 2 cali wzwyż, przy wykorzystaniu próbników rurowych (czepaków dolnozaworowych) oraz różnego rodzaju pomp: agregatów ssących, pomp perystaltycznych, pomp membranowych oraz pomp wirnikowych zanurzeniowych.

W tabeli 7.5 przedstawiono informacje na temat przydatności różnych rodzajów pomp do badań w zależności od rodzaju badanych substancji i parametrów fizyczno-chemicznych.

Wykonywane dotychczas piezometry i studnie mają najczęściej średnicę 4 cali (110 mm), co gwarantuje możliwość użycia większości popularnych pomp. Zawsze jednak przed przystąpieniem do właściwego pobrania próbki konieczne jest dokonanie tzw. przepompowania otworu w celu usunięcia wody stagnującej i uzyskania wody z warstwy wodonośnej. Ma to swoje uzasadnienie, ale też poważną wadę – może dojść do usunięcia i niezauważenia istotnych przejawów zanieczyszczenia wody (np. tzw. film olejowy lub film biologiczny na powierzchni zwierciadła wody). By temu zapobiec, jeszcze przed instalacją zestawu pompowego lub zanurzenia czepaka należy w trakcie wstęp-

niego pomiaru głębokości zwierciadła dokładnie obejrzyć wyjętą świstawkę oraz dolny odcinek jej przewodu (taśmy, linki itp.). Zanieczyszczone urządzenie trzeba dokładnie oczyścić, by nie spowodować kontaminacji wody w późniejszej fazie badań lub w następnych otworach. Taki test pozwoli uniknąć kłopotliwego zanieczyszczenia próbника lub pompy.

Głębokość zawieszenia pompy i sposób zafiltrowania otworu powinny być udokumentowane każdorazowo w trakcie przygotowania badań danego ujęcia lub piezometru, m.in. w celu uzyskania powtarzalności warunków badawczych w przyszłości. Zwykle pompa powinna znajdować się nie płycej niż 1 m poniżej zwierciadła wody, ale należy mieć na uwadze przewidywany spadek poziomu zwierciadła w trakcie pompowania. W przypadku zafiltrowania jedynie dolnych partii warstwy wodonośnej (jak w klasycznej studni ujęciowej) najbardziej efektywnym miejscem zawieszenia pompy jest najniższy odcinek rury nadfiltrowej. Pozwala to na skuteczne przepompowanie otworu, a następnie na pobranie próbki – będzie to, co oczywiste, próbka mieszana, czyli reprezentująca całą warstwę wodonośną. Gdy filtr nie obejmuje górnej strefy saturacji, może dojść jednak do zafalszowania obrazu stanu geochemicznego wodonośca. W celu pobierania próbek z różnych poziomów w jednej warstwie konieczne jest odpowiednie zawieszenie pompy oraz zastosowanie specjalnych uszczelnień (pakerów).

Na figurze 7.4 przedstawiono wpływ konstrukcji otworów badawczych i studni na zróżnicowanie wyników pomiarów zanieczyszczeń, wynikające z różnej rozpuszczalności i gęstości składników kreozotu (rodzaj oleju impregnacyjnego). Związki o ciężarze właściwym mniejszym niż woda (BTEX) migrują jedynie w strefie powierzchni zwierciadła, zaś te nieco cięższe (fenol, naftalen) stopniowo zanieczyszczają całą strefę wodonośca. W pobliżu ogniska skażenia (piezometr WP1) wody wykazywały wysoki stopień zanieczyszczenia (BTEX, fenole oraz niemal całe spektrum WWA – 15 na 18 oznaczanych związków). W pewnym oddaleniu

Tabela 7.5

Przydatność różnych rodzajów pomp i czepaków do badań próbek wód podziemnych

Analizowane substancje lub parametry	Pompy ssące	Wirnikowe pompy zanurzeniowe	Pompy wyporowe (np. membranowe)	Czepaki (próbniaki stałociśnieniowe)
Parametry fizykochemiczne (temp., przewodn., pH, O ₂ , redox)	–	+	+	+
Mineralizacja ogólna, niektóre związki organiczne	–/+	+	+	+
Mikroelementy organiczne i nieorganiczne (metale ciężkie, środki ochrony roślin)	–/+	–/+	–/+	+
Rozpuszczone gazy, lotne związki organiczne,	–	–/+	–/+	+
Składniki mikrobiologiczne (np. bakterie)	–/+	–/+	–/+	+

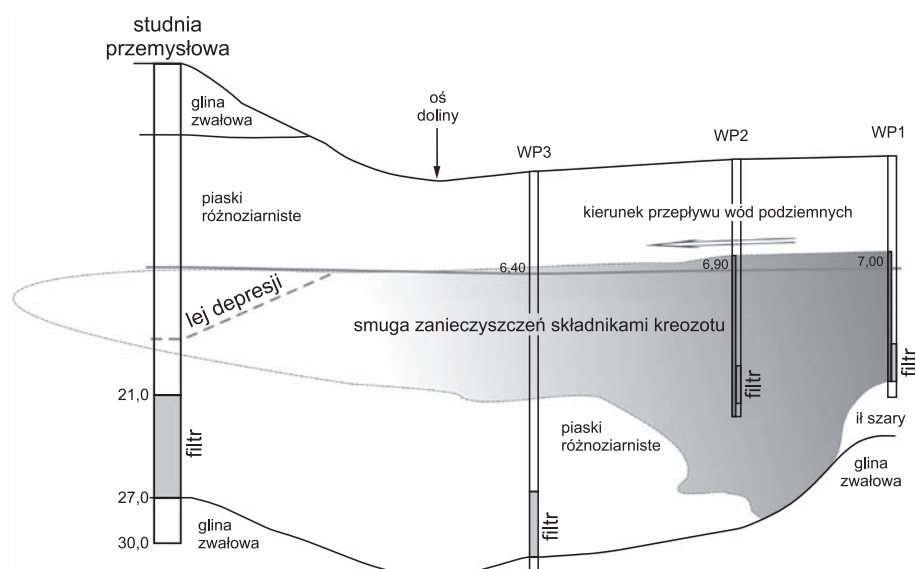


Fig. 7.4. Szkic przekroju doliny, w której migrujące z wodą frakcje kreozotu zanieczyściły studnię eksploatacyjną, choć badanie próbek wody z piezometru WP3 pozornie temu przeczy

poszczególne składniki kreozotu uległy już wyhamowaniu oraz rozdzieleniu i próbka z zafiltrowanej strefy (piezometr WP2) wykazywała jedynie część rzeczywistego ładunku zanieczyszczeń (10-krotnie niższe stężenia, w tym tylko 10 na 18 oznaczanych związków WWA). Natomiast w strefie położonej najdalej (piezometr WP3) próbki wody nie wykazywały aż tak niepokojących zawartości poszukiwanych związków organicznych. Zwracał nawet uwagę brak BTEX i fenolu.

Prowadziło to do błędnej oceny mobilności skażeń. W rzeczywistości fenole jako najbardziej mobilne ze składników kreozotu najszybciej dotarły do ujęcia przemysłowego. Ulegały też zapewne najłatwiej rozcieńczeniu, co sprzyja zwykle ich naturalnej biodegradacji. Wadliwa konstrukcja piezometrów uniemożliwiła rzetelny pobór próbek i cały wykonany system miał niewielkie zastosowanie w monitorowaniu ogniska skażenia.

W tego typu przypadkach najlepszym rozwiązaniem jest wykonywanie piezometrów jako tzw. studni zupełnej, gdzie filtr obejmuje całą miąższość strefy saturacji.

Pobieranie próbek wód podziemnych. Próbkę należy pobierać do naczyń szklanych, zwykle z ciemnobrązowego szkła borowego. W trakcie pobierania wody pojawia się szereg problemów. Oto niektóre z nich i sugerowane rozwiązania.

- Zestaw pompujący (pompa, rury lub węże, wężyki itp.) obniża zawartość związków organicznych w próbce na skutek sorpcji (np. WWA) na ściankach przewodów. Takie straty składnika są najwyższe przy średniej zdolności sorpcyjnej zachodzącej pomiędzy badanym związkiem a tworzywem. Środkiem zaradczym jest stosowanie rur i węży z tworzywa o niskim współczynniku adsorpcji (teflon, twarde pcv, pe, pp) oraz ograniczenie do minimum drogi przepływu wody

z pompy do naczynia laboratoryjnego. Innym, choć dość rzadko spotykanym rozwiązaniem, jest pobieranie próbki wody czerpakiem podczas stałego pompowania. Sposób ten ma jeszcze tę zaletę, że zmniejsza straty związków lotnych rozpuszczonych w wodzie, jednak wymaga specjalnych warunków, by czerpak nie kolidował w otworze z pompą i przewodami.

- Dopływ powietrza do wody wydobywanej ze strefy o warunkach beztlenowych prowadzi do oksydacji szeregu substancji. Przeciwdziała się temu poprzez utrzymywanie końcówki wężyka napełniającego pod powierzchnią wody w butelce, napełnianie po brzozi naczyń laboratoryjnych i szybkie ich zamykanie. O ile naczynie laboratoryjne nie zawiera dodatków konserwujących próbkę (np. H_2SO_4 , HNO_3 , $NaOH$), można je napełniać aż do przelania.
- Niektóre związki chemiczne (np. WWA, fenole) są wrażliwe na dostęp światła i stopniowo ulegają rozpadowi. Rada: naczynia w trakcie napełniania chronić przed słońcem, stosować specjalne butelki z brązowego szkła, a po napełnieniu i opisanie, możliwie szybko przenieść pobraną próbkę do pojemnika izotermicznego, gdzie nie ma dostępu światła.
- Pobieranie próbek wód do badań zawartości lotnych związków organicznych lub gazów (ale także szeregu innych związków, np. półlotnych WWA) wiąże się z problemem ucieczki tych substancji na skutek turbulencji wody wywołanych wirnikiem pompy, podgrzania wody przez pompę, dyfuzji, zmiany temperatury i szybkiej zmiany ciśnienia. By to zminimalizować, należy napełniać naczynia wężykiem w zanurzeniu i wypełniać całkowicie, nie pozostawiając wolnej przestrzeni pod korkiem. Jeśli to możliwe, naczynia czekające na napełnienie przechowy-

wać w cieniu lub w pojemniku izotermicznym, by się nie nagrzewały. W miarę możliwości planować tego rodzaju opróbowanie w chłodnych porach roku, a przynajmniej w najchłodniejszych porach dnia. Rozważyć stosowanie innowacyjnych technik pobierania próbek (patrz dalej), które minimalizują lub eliminują ten problem.

- By uniknąć ryzyka kontaminacji wody ze ścian przewodów i pomp (desorpcja), zawsze stosować zasadę pobierania próbek w kolejności miejsc od najniższych do wyższych koncentracji zanieczyszczeń.

7.2.2.2. Metody opróbowania bezpośredniego

Opróbowanie bezpośrednie nie jest często wykorzystywane w Polsce, ponieważ w małym stopniu, w porównaniu do innych krajów Europy Zachodniej i Ameryki Północnej, zostały rozwinięte badania terenów pod względem stopnia zanieczyszczenia wód podziemnych.

Poniżej przedstawiono charakterystykę kilku metod opróbowania bezpośredniego.

System BAT[®]. Nazwa tego systemu pochodzi o nazwisk twórców urządzenia (Bengt, Arne, Torstensson), którzy pracowali w latach 70. w szwedzkiej firmie BAT Envitech Inc. Urządzenie składa się z sondy o stalowym, stożkowym zakończeniu, prowadzącym i osłaniającym w trakcie wbijania w grunt odcinek filtrowy. Są dwa typy urządzenia o dwóch różnych długościach filtra (3 cm w tzw. sondzie MK 2 oraz 10 cm w tzw. Enviro-Sonde). Wersja z dłuższym filtrem ma dodatkowo rurę osłonową, która po uzyskaniu oczekiwanej głębokości sondy jest podciągana i odsłania filtr. Wówczas przez wewnętrzny kanał przewodu sondy przesuwana jest ku dołowi 35 ml fiolka pozbawiona powietrza i zamknięta membraną. Tam membrana jest nakłuwana tzw. igłą prowadzącą, która drugim ostrym końcem przebija równocześnie membranę zamykającą odcinek filtrowy. W ten sposób podciśnienie z fiolki zasysa porcję wody. Ta fiolka służy do przepłukania układu i po wyjęciu jest zastępowana fiolką, która w analogiczny sposób „nadziewa się” na igłę i zasysa próbkę właściwą. Oczywiście zaletą tej metody jest fakt, że fiolka typu *headspace* jest napełniana w warunkach panujących w warstwie wodonośnej i może być po wydobyciu bezpośrednio skierowana do analizatora w laboratorium.

W praktyce metoda ta ma jednak szereg ograniczeń i mankamentów, co zmniejsza obszar jej stosowania. Ważnym ograniczeniem są warunki litologiczne, które mają znaczący wpływ na zatykanie się odcinka filtrowego w trakcie głębienia otworu, a nawet po otwarciu rury osłonowej (w przypadku wersji Enviro-Sonde). Kolejny problem sprawiają fiolki, w których podciśnienie musi być wywoływane na miejscu w terenie, co nie zawsze się udaje. Nie ma zaś metody sprawdzenia, jaka ilość powietrza pozostała w fiolce, a to ma wpływ zarówno na możliwość napełnienia fiolki, jak też na reakcję tlenu z badanymi składnikami. W przypadku badań zawartości lotnych związków organicznych w wodzie istnieje też uzasadniona wątpliwość, czy wtryskiwana podci-

śnieniowo woda nie traci nadmiernej ilości rozpuszczonych gazów.

Mimo tych kwestii system BAT[®] zyskał znaczne grono zwolenników i był z powodzeniem stosowany m.in. do badań wód zanieczyszczonych związkami ropopochodnymi.

Waterloo Profiler[®]. Jest to sonda oparta na systemie zwanym *direct-push*. W trakcie wbijania żerdzi zakończonych specjalnie zbudowanym stożkiem możliwe jest pobieranie próbek oraz dokonywanie niektórych rodzajów pomiarów *in situ* w warstwie wodonośnej. Stożek sondy posiada 3–4 otwory uformowane tak, by w trakcie wbijania nie napełniały się i nie zatykały zbyt mocno. Po osiągnięciu wymaganej głębokości przez przewód stalowy lub teflonowy wtłaczana jest woda destylowana, by udroźnić kanały w stożku. Następnie tym samym przewodem pompa ssącą odpompowuje wodę, a równocześnie mierzone przewodnictwo właściwe cieczy umożliwia sprawdzenie, czy już zasysana jest woda z warstwy. Po ustabilizowaniu się wskazań konduktometru można pobrać próbki do buteleczki o pojemności 40 ml. Tym sposobem możliwe jest kontynuowanie profilowania i opróbowania gruntu do głębokości ok. 8 m (ze względu na pompę ssącą). Za każdym razem, po głębszym wbiciu stożka, jego otwory są przepłukiwane wodą destylowaną, zwrotnie zaś pobierana jest próbka wody.

Przy zastosowaniu pompek pośrednich możliwe jest profilowanie na znacznie większej głębokości, choć doświadczenia wskazują, że warunki litologiczne odgrywają tu decydującą rolę, gdyż otwory w stożku mogą się zaślepić materiałem ilastym tak bardzo, że przepłukiwanie staje się niewykonalne.

Hydrocone[®]. Ten rodzaj sondy zwany jest także skrótowo MLDPS od nazwy Multilevel Drive-Point Sampler (Köstler i in., 2004). Twórcą systemu jest firma In Situ Technologies Inc. Sonda złożona ze stalowej rury oraz stożka prowadzącego posiada pośredni, o mniejszej średnicy, odcinek filtrowy, który w trakcie wbijania osłonięty jest dodatkową rurą. Na wymaganej głębokości odsłaniany jest około 30-cm odcinek filtra, który łączy się z komorą na próbkę. Przestrzeń ta jest wypełniana argonem pod ciśnieniem równoważącym ciśnienie hydrostatyczne panujące na danej głębokości. Po gwałtownym uwolnieniu gazu przez zawór zwrotny komora na próbkę napełnia się wodą, zaś specjalny czujnik daje sygnał na powierzchnię o napełnieniu się tej przestrzeni. Tym samym możliwe jest, oprócz pobrania próbki, określenie współczynnika filtracji danego odcinka warstwy. Tego rodzaju profilowanie pozwala ustalić uprzywilejowane strefy migracji zanieczyszczeń.

Geoprobe[®]. Ten system należy do grupy tzw. technik *drive-point* i polega, jak poprzednie, na wbijaniu w grunt małosrednicowej rury z odcinkiem filtrowym i stożkiem prowadzącym. Sonda jest najczęściej wwibrowywana, co jednak stwarza ryzyko zaślepienia szczelin filtra osadem, gdyż filtr nie jest osłonięty. Z określonej głębokości (do 8 m) można pobrać pompą ssącą próbkę wody, jednak zasysanie z większej głębokości wiąże się z utratą znacznej ilości związków lotnych, jeśli występują w wodzie. System pozwala na dość szybkie i efektywne prace w terenie.

7.2.2.3. Inne metody opróbowania wód podziemnych

Dość często zdarza się, że w terenie są już gotowe studnie lub piezometry. Zwykle wykonane sposobem tradycyjnym, z długim odcinkiem filtrowym, uniemożliwiają selektywne opróbowanie wód. Znając budowę tych studni, a szczególnie sposób zafiltrowania, można zastosować różnorodne metody, by pobrać próbki wód w specjalny sposób, np. z wybranej głębokości warstwy wodonośnej. Wyróżnia się tu dwie grupy metod: aktywne i pasywne.

Metody aktywne cechują się dużym wydatkiem pompowania. Ma tu zastosowanie cała gama pomp, głównie zanurzeniowych, niekiedy w zestawach po kilka pomp, zaś pompowane otwory mają zwykle średnice części filtrowej większe niż 2 cale.

Metody pasywne bazują na naturalnym przepływie wód przez filtr otworu obserwacyjnego lub na minimalnym wydatku pompowania (*low flow*), co nie ma wpływu na wahania zwierciadła wody. Wykorzystuje się tu próbniki pasywne adsorbujące, próbniki-czerpaki stałościśnieniowe i dolnozaworowe, minipompy (pompy niskich ciśnień) i ewentualnie pompy o niewielkim lub regulowanym elektronicznie wydatku. Wystarczająco mały wydatek oraz zbliżenie warunków do naturalnych panujących w warstwie wodonośnej predestynują do takich badań otwory o małych średnicach, od 3/8 cala do 2 cali.

System pakerowy. Należy do metod aktywnych. Polega na umieszczeniu w otworze jednej lub kilku pomp w wybranych strefach filtra, oddzielonych od siebie i pozostałych przestrzeni elastycznymi przegrodami. Mogą to być gumowe dopasowane kołnierze (fig. 7.5) lub balony napełniane sprężonym powietrzem albo wodą. Dzięki zastosowaniu takich przegród wydatnie skraca się czas pompowania wstępnego, gdyż objętość wody wymagającej wymiany ulega znaczącej redukcji. Zastosowanie pakerów pompowanych (wodą lub powietrzem) daje lepsze rezultaty, gdy są one na tyle długie,



Fig. 7.5. Wirnikowa pompa zanurzeniowa MP-1 Grundfoss z kołnierzowym pakerem podwójnym, dostosowanym do otworu badawczego 5 cali

by również znacząco eliminować przepływ wód przez obrypkę z sąsiednich przestrzeni filtra.

Najczęściej stosuje się paker podwójny (*doppelpacker*), co umożliwia także kolejne opróbowanie wybranych horyzontów poprzez pionowe przesuwanie całego zestawu w otworze.

Metodę pakerową stosuje się również dla otworów małośrednicowych (fig. 7.6), ale wówczas pakery zazwyczaj napełniane są sprężonym gazem, a nie wodą.



Fig. 7.6. Podwójny paker gumowy napełniany sprężonym gazem wraz z minipompą MPP, dostosowaną do 1-calowego otworu badawczego

System pakerowo-osłonowy (*baffle system*) składa się z trzech różnych pomp i należy do metod aktywnych. Jest podobny do systemów pakerowych, jednak zasadniczą różnicą stanowi rura łącząca przestrzenie powyżej i poniżej pakera. Wystając nad poziom pakera na ok. pół metra, spełnia rolę rury osłonowej (*baffle*) dla przestrzeni, w której odbywa się pobieranie próbki przez pompę o małej wydajności. Pompa ta niejako pracuje w „cieniu” takiej osłony. Można posłużyć się pompą ssącą – wówczas pomiędzy osłoną a ścianą filtra znajduje się tylko końcówka przewodu ssącego. Znacznie wyżej nad pakerem umieszczona jest pompa o dużej wydajności, która pobiera wodę zarówno z części górnej, jak i dolnej – poprzez wspomnianą rurę. Paker utrzymujący rurę i zamykający przepływ z dołu całym jej przekrojem jest napełniany wodą z dolnej części filtra przez trzecią pompę zawieszoną najniższej.

Schemat działania systemu pakerowo-osłonowego przedstawiono na figurze 7.7. System ten w istocie wykorzystuje zjawisko opisane prawem Bernoulliego, a dokładniej tzw. paradoks hydrodynamiczny. Za zwężeniem (rura osłonowa) ciśnienie cieczy wzrasta, bo spada prędkość przepływu. Zatem woda zza kołnierza nie jest wysysana i powstają warunki do spokojnej pracy pompy opróbowującej. W takim „cie-

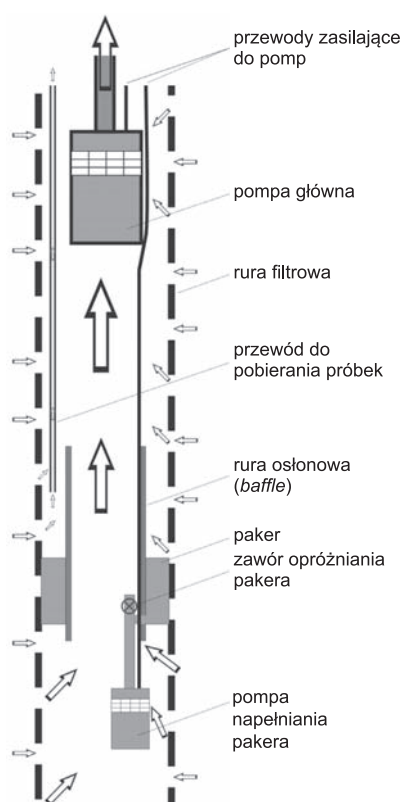


Fig. 7.7. Schemat działania systemu pakerowo-osłonowego (Nilsson i in., 1995)

niu” wytworzonym przez zmianę ciśnienia można pobierać próbki reprezentujące dość dokładnie określony fragment strefy saturacji (w tym przypadku pierścień o wysokości ok. 40 cm).

System pakerowo-osłonowy reprezentuje jednocześnie rodzaj tzw. pompowań separatywnych. Do grupy tej można zaliczyć jeszcze klasyczne pompowanie separatywne (Nilsson i in., 1995) oraz jego odmianę – metodę pompowań symultanicznych (Melzer, 1997). Pompowania te wykorzystują wytwarzanie się linii prądowych w trakcie pompowania wody pompami umieszczonymi w strefie filtra wyżej oraz niżej niż pompa opróbowująca.

Stacjonarne systemy opróbowania punktowego

Słaba przewodność odrębnych horyzontów lub ich mała miąższość nie pozwalają na zastosowanie metod pakerowych, przy których konieczne jest aktywne pompowanie wód. Dlatego dobrym rozwiązaniem badawczym jest szereg stacjonarnych systemów opróbowania punktowego, które można uznać za metody pasywne, gdyż bazują na pobieraniu minimalnej ilości wody z warstw lub wręcz na zanurzonych w wodzie próbnikach pasywnych, adsorbujących w wybranej jednostce czasu określone grupy związków.

System wielopoziomowego monitoringu wód podziemnych Waterloo (Waterloo Multilevel Groundwater Monitoring System®). System ten to kolumna dobranych odcinków filtrowych pooddzielanych pakierami napełnianymi wodą. W odcinkach filtrowych są zainstalowane minipompy lub

końcówki rurek, które mogą być podłączane na powierzchni do pompy ssącej (lub do szeregu takich pomp). Umożliwia to jednoczesny pobór próbek z wielu zafiltrowanych horyzontów, co znacznie eliminuje pionową migrację wód w strefie obsypki w czasie opróbowania. Zależnie od zastanej średnicy otworu możliwe jest zainstalowanie filtrów i opróbowanie najczęściej od 6 do 10 wybranych horyzontów.

W przypadku badania wód na obecność lotnych związków organicznych lub innych gazów zastosowanie pomp ssących stwarza ryzyko częściowej utraty tych substancji.

System Waterloo został opracowany na Uniwersytecie Waterloo w Kanadzie (SOLINST, 1990). Są dwa rodzaje rur CMT (*Continuous Multichannel Tubing*): o średnicy przewodu 43 mm z 7 kanałami oraz o średnicy 28 mm z 3 kanałami o przekroju 3/8 cala każdy. Nie bez znaczenia dla jakości opróbowania jest także kwestia właściwych materiałów: polietylenowa rura, stalowa nierdzewna siatka filtrująca oraz przewody tłoczne – rurki lub wężyki z PE albo jeszcze lepiej z teflonu (fig. 7.8, 7.9). Tworzywa te mają najniższe współczynniki adsorpcji związków organicznych, a w razie wyjątkowo zanieczyszczonych wód wymiana wężyków nie pociąga za sobą dużych kosztów.

Westbay MP System®. Jest to jeden z lepszych systemów umożliwiających pobranie próbki wody do badań zawartości lotnych związków organicznych. Jest to rura z gęsto rozmieszczonymi otworami zaopatrzonymi w wentyle do pobierania próbek. Rura jest wewnątrz pusta, zaś specjalna wsuwana w nią sonda jak „winda” może być zatrzymana na wysokości dowolnego wentyla. Wówczas wentyl mechanicznie otwiera się i do wnętrza sondy, gdzie jest naczynie z nakłutą membraną, może wpłynąć woda (lub być lekko zassana podciśnieniem). Odbywa się to przez teflonową rurkę i igłę. Nadmiar wody wyprowadzany jest z naczynia, zaś całość odbywa się przy właściwym dla danej głębokości ciśnieniu dzięki specjalnemu wentylowi w sondzie. Wentyl ten w trakcie wyjmowania sondy samoczynnie się zamyka, co zapobiega zmianie ciśnienia i próbka w naczyniu nie ulega odgazowaniu. Odrębną kwestią jest upływ czasu pomiędzy poborem próbki i analizą, zaś naczynie (butelka *headspace*) jest kompatybilne z większością automatycznych analizatorów laboratoryjnych (fig. 7.10).

System typu Westbay MP® wymaga zachowania dużej dokładności w pracy polowej oraz czystości w rurze, którą przemieszcza się sonda z naczyniem. W literaturze (Köstler i in., 2004) stawia się niekiedy w wątpliwość trwałość w czasie i szczelność samych wentyli w ścianach rury.

Wielopoziomowy system pakera liniowego MLPS (Multi-Level-Packer-System). Jest to pasywny, półstacjonarny system, wygodny do montażu w otworach o średnicy 5 cali i większej. Wcześniej opisywany w literaturze jako In-Line-Packer-System (Teutsch, Ptak, 1989). Opiera się na wykorzystaniu pakera pełnego (liniowego), który wypełnia całą przestrzeń filtra i rury nadfiltrującej w zabudowanym otworze. Pomiędzy pakierem (który jest napełniony wodą i od góry otwarty) a wewnętrzną ścianą filtra działają minipompy napędzane z powierzchni gazem nieaktywnym chemicznie (fig. 7.11) lub są tam umieszczone końcówki



Fig. 7.8. a – Rura osłonowa zakończona stożkiem gubionym; b – 3-kanalowa rura CMT z polietylenu ma całkowitą średnicę zewnętrzną 28 mm, zaś opróbowanie w każdym otworze może być dokonywane za pomocą specjalnej minipompy napędzanej gazem lub zwyczajnej rurki teflonowej z wkręconym zaworkiem kulowym; c – Przygotowanie 3-kanalowej rury CMT w terenie; do wykonania stref filtrowych wykorzystuje się niewielkie arkusze siatki ze stali nierdzewnej, którymi owijane są nacięcia wybranego kanału; d – Rurki z twardego PE przypisane do kolejnych otworów w piezometrze T9 – jednym z wielu wykonanych przy użyciu 3-kanalowych rur CMT; Stara Gazownia, Bydgoszcz, 2007

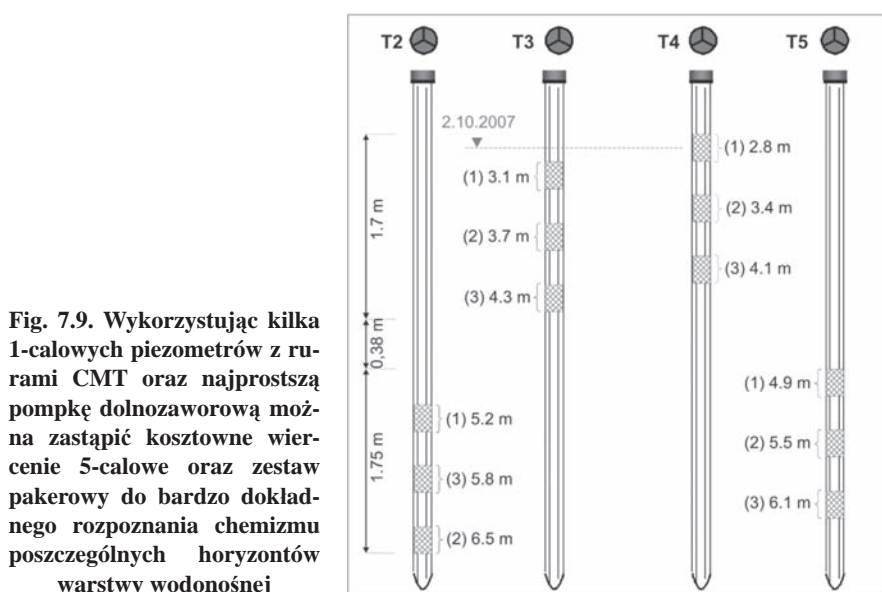


Fig. 7.9. Wykorzystując kilka 1-calowych piezometrów z rurami CMT oraz najprostszą pompkę dolnozaworową można zastąpić kosztowne wiercenie 5-calowe oraz zestaw pakierowy do bardzo dokładnego rozpoznania chemizmu poszczególnych horyzontów warstwy wodonośnej





Fig. 7.10. Buteleczki typu *headspace* przed zamknięciem teflonowym kapturkiem i włożeniem do sondy systemu Westbay MP® mogą być częściowo napełnione odczynnikami konserwującym. Potem już bez otwierania trafią wprost do analizatora w laboratorium

wężyków próbkobiorczych (w sytuacji zastosowania pompy ssącej). W celu wyeliminowania wpływu migracji pionowej w obsypce rury filtrowej wszystkie punkty próbkobiorcze uruchamiane są jednocześnie i mają taką samą, niewielką wydajność.

W otworze badawczym na terenie Starej Gazowni w Bydgoszczy badania chemizmu zanieczyszczonych poziomów wodonośnych przeprowadzono przy użyciu pakera liniowego oraz pompy MP-1 Grundfoss z podwójnym pakierem kołnierzowym (fig. 7.12). Na figurze 7.13 przedstawiono wyniki badania zawartości BTEX i naftalenu w próbkach wód pobranych na tych samych głębokościach różnymi metodami – najpierw systemem pakierowym pompą MP-1 Grundfoss z podwójnym pakierem kołnierzowym, a następnie po zainstalowaniu pakera liniowego (MLPS) z minipompami imw Weiss napędzanymi azotem. Wyraźnie widać, że metoda standardowa mimo pionowych uszczelnień (pakierów kołnierzowych) uśrednia chemizm próbek.

Największą zaletą MPP (*Mini Pleasure Pomp*) jest fakt niewielkiej zmiany warunków ciśnienia podczas wydoby-

wania na powierzchnię wody podziemnej, co umożliwia niezwykle rzetelne opróbowanie wód, szczególnie do badań zawartości związków lotnych, np. BTEX.

Próbniki pasywne (*passive samplers*) należą do pasywnych metod badania wód podziemnych. Dzięki postępowi technologii materiałowej oraz nanotechnologii wciąż opracowuje się nowe membrany i sorbenty, w efekcie czego szczególnie próbniki sorpcyjne przeżywają intensywny rozwój. Zalety próbników pasywnych to:

- niewielkie rozmiary próbki i możliwość montażu w każdym otworze,
- próbka daje obraz średni z długiego, dowolnie wybranego okresu,
- próbka oddaje chemizm warstwy, a nie mieszaniny wód z kolumny otworu badawczego,
- zaadsorbowanie poszukiwanej (mierzonej) substancji nie stwarza ryzyka wzajemnej kontaminacji próbek,
- próbnik daje najbardziej wiarygodne wyniki, szczególnie dla związków lotnych, bo zachodzą jedynie minimalne straty i ubytki gazów.

Ponadto warto zwrócić uwagę na dodatkowe korzyści stosowania metody próbników pasywnych:

- metoda nie wymaga transportowania i instalowania ciężkiego sprzętu oraz zasilania w energię elektryczną,
- nie ma ograniczeń w głębokości opróbowania,
- nie ma problemu rzutu zanieczyszczonych wód w czasie pompowania, przed i podczas opróbowania,
- nie ma konieczności filtrowania próbek,
- wydatek otworu i ewentualny niski współczynnik filtracji warstwy wodonośnej nie mają istotnego znaczenia dla opróbowania,
- niewielka objętość pobranej próbki to jednocześnie mały problem z transportem, chłodzeniem i przechowywaniem, opróbowanie nie sprawia kłopotu,
- nie ma obawy o ubytki badanych związków organicznych w trakcie opróbowania (turbulencja, wchłanianie w ścianki rur, osiadanie na ściankach naczyń itp.).



Fig. 7.11. a – Paker liniowy wraz minipompami przygotowywany do montażu w otworze badawczym; b – Faza montażu pakera liniowego z zamocowanymi minipompami oraz próbnikami pasywnymi w otworze badawczym 5 cali nad Brdą. Projekt PROMOTE Bydgoszcz (Irmiński, Wróblewska, 2008)

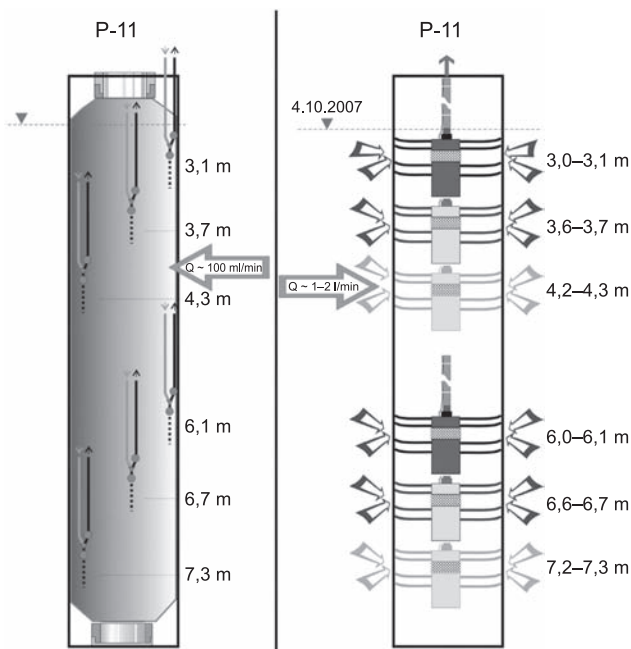


Fig. 7.12. Schemat zabudowy otworu badawczego do porównania sposobu badań chemizmu wybranych horyzontów wodonośnych przy użyciu systemu pakera liniowego oraz systemu pakierowego (pompa MP-1 Grundfoss z podwójnym pakierem kolnierzymym). Projekt PROMOTE, Bydgoszcz (Irmiński, Wróblewska, 2008)

W uproszczeniu próbniki pasywne można podzielić na:

- **próbniki pasywne równowagowe** – dane na temat stężenia badanych substancji są adekwatne dla końca okresu ekspozycji,
- **próbniki pasywne nierównowagowe (akumulujące)** – dane na temat stężenia dotyczą całego okresu ekspozycji (są skumulowane).

Podział ten wynika głównie z cech specjalnej ściany próbnika – półprzepuszczalnej membrany, ale również

z właściwości fazy chłonnaej, czyli sorbentu znajdującego się wewnątrz.

Na figurze 7.14 przedstawiono różne typy próbników pasywnych. W dolnej części rysunku podano wykaz związków badanych w wodzie przy poborze próbki danym rodzajem próbnika oraz zalecany czas ekspozycji próbnika w wodzie podziemnej.

Czas ekspozycji jest zależny od rodzaju sorbentu, ale głównie od rodzaju i powierzchni czynnej membrany. Zwykle zatem próbniki, które są pozostawiane w otworze tylko na kilka dni, muszą mieć znacznie większe rozmiary, zaś próbniki o długim czasie ekspozycji (i bardzo dużej pojemności sorpcyjnej) mogą być znacznie zminiaturyzowane, co stwarza dodatkowe ułatwienia w ich stosowaniu (fig. 7.15).

7.2.2.4. Polowe badania fotometryczne

Fotometria (kolorymetria) jest obecnie najbardziej popularną metodą polowych pomiarów wód poza rutynowymi pomiarami temperatury, odczynu pH, przewodnictwa elektrycznego właściwego, potencjału redox oraz zawartości tlenu. Analiza w terenie wykonywana jest w pobranej próbce wody za pomocą niewielkich urządzeń, które pozwalają oznaczyć obecnie do 150 substancji².

Zasada pomiaru zawartości badanej substancji w wodzie polega na przeprowadzeniu procesu chemicznego w probówce pomiarowej, który prowadzi do charakterystycznego zabarwienia cieczy, a następnie pomiaru stopnia adsorbancji (osłabienia wiązki światła o określonej długości fali). Jako źródło światła pomiarowego wykorzystane są specjalnie wykonane i wyselekcjonowane diody świecące LED o długościach fal od 380 nm (podczerwień) do 810 nm (ultrafiolet).

² Jest to liczba krzywych wzorcowych w pamięci urządzenia, np. fotometru LF300, jednak jest możliwość tworzenia i dodawania własnych wzorców.

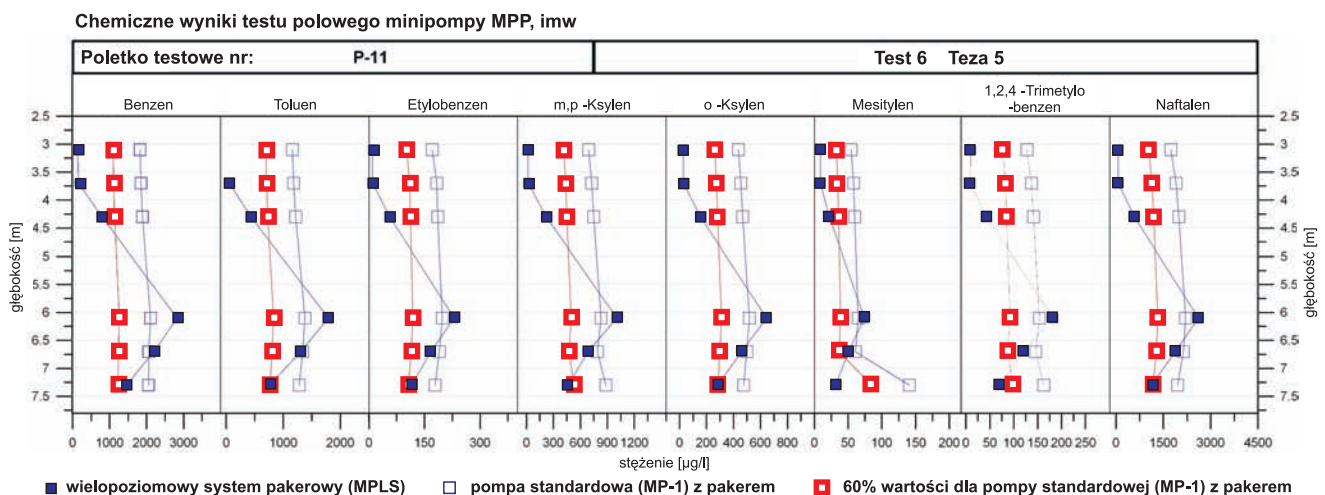


Fig. 7.13. Chemiczne wyniki testu minipompy (MPP) firmy imw Weiss wykonanego w ramach procedury weryfikacji technologii środowiskowych ETV w projekcie PROMOTE na terenie Starej Gazowni w Bydgoszczy (Irmiński, Wróblewska, 2008)









Próbniki równowagowe				Próbniki akumulujące			
Próbniki dyfuzyjne (Diffusion Samplers)		Próbniki czerpakowe (Equilibrated Grab Samplers)		Próbniki dyfuzyjne (Diffusion Samplers)			
Regenerated-Cellulose Dialysis Membrane (Dialysis) Sampler	Rigid Porose Polyethylene (RPP) Sampler	Snap Sampler™	Hydra Sleeve™ Sampler	GORE™ Module Sampler	Semi-Permeable-Membran-Device	Ceramic Dosimeter & Toximeter	POCIS Polar Organic Chemical Integrative Samplers
							
BTEX, węglowodory chlorowane	aniony, kationy, metale śladowe, zw. eksplozywne, lotne związki org.	org. zw. lotne, dioksyny, aniony, metale, w tym Cr(VI)	org. zw. lotne, dioksyny, aniony, metale, w tym Cr(VI)	organiczne związki lotne i słabo lotne	zw. hydrofobowe, słabo lotne związki organiczne	WWA, BTEX, węglowodory chlorowane,	pestycydy, hormony, farmaceutyki
min. 2 tyg.	1-14 dni	min. 1-2 tyg.		0,4 – 4 godz.	2 – 4 tyg.	tyg. - miesiące	2 dni – 8 tyg.

Fig. 7.14. Rodzaje próbników pasywnych (Irmiński, 2009)

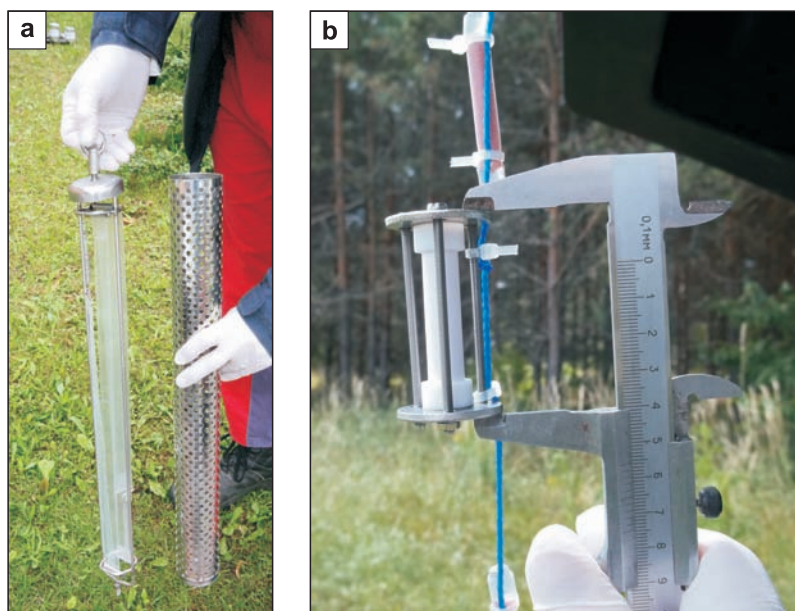


Fig. 7.15. a – Próbnik typu SPMD to rozpięta na stelażu taśma z sorbentem osłonięta perforowaną rurą ze stali nierdzewnej, całość osiąga długość ok. 80 cm; b – Niewielkie rozmiary wielu próbników, np. dozymetrów ceramicznych, umożliwiając ich montaż w każdym otworze

W celu podwyższenia dokładności pomiarów stosuje się też specjalne filtry interferencyjne.

7.3. IDENTYFIKACJA PRÓBEK, ZABEZPIECZENIE, TRANSPORT I SKŁADOWANIE

Niniejszy rozdział odnosi się do postępowania zarówno z pobranymi próbkami wód, jak i próbkami gruntu.

Naczynie na próbkę powinno zostać oznakowane (niezmywalnym wodą pisakiem lub etykietą z trwałym napisem) natychmiast po pobraniu próbki.

W przypadku pobierania próbek stałych (gleba, grunt, beton itp.) do badań związków lotnych i półlotnych (np. BTEX, WWA, Hg) dobrą praktyką jest, po zakręceniu korkiem lub pokrywką, odwracanie napełnionego naczynia i transport w tej pozycji do laboratorium. Zwykle stosuje się naczynia szklane – słoiki i butelki z ciemnego szkła, jednak nie zawsze pobierający próbki zwracają należytą uwagę na rodzaj materiału, z którego składa się zamknięcie (korek, zakrętka, wieczko). Zamykając próbki stałe w słoikach stosuje się zwykle podkładki polietylenowe lub lepiej teflonowe (większy koszt), ale najczęściej używa się warstwę pośredniczącą w postaci folii aluminiowej (stroną lśniąca skierowaną do próbki). Folię aluminiową nie można stosować przy zamykaniu próbek zawierających węglowodory chlorowane, gdyż wchodzi one w reakcję z gliną i następuje perforacja podkładki.

W przypadku próbek ciekłych (woda) jest nieco łatwiej, gdyż zwykle zamknięcia (korek lub zakrętka) mają mały przekrój i użycie podkładki teflonowej nie jest tak kosztowne. Ewentualne podkładki z PVC, PE lub PP w zakrętkach również mogą być stosowane, o ile czas od pobrania do analizy jest krótki. Na tej niewielkiej powierzchni kontaktu materiałów sorpcja związków organicznych będzie wówczas najmniejsza. W skrajnych przypadkach, np. przy badaniu zawartości związków lotnych oraz przy badaniach mikrobiologicznych, najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie naczyń szklanych z doszlifowanym szklanym korkiem. Po odpowiednim napełnieniu naczynia i zwilżeniu szlifowanej powierzchni korka wodą wciskamy go lekko obracając. Następnie należy zabezpieczyć korek sprężynową zawleczką. Do badania zawartości krzemionki, boru, fluoru, sodu i potasu należy stosować naczynia z tworzyw sztucznych (np. PE), gdyż butelki ze szkła są nieodpowiednie.

Gdy analiza laboratoryjna nie może się odbyć natychmiast po pobraniu próbek, należy je zakonserwować. Brak odpowiedniego zabezpieczenia (zakonserwowania) prowadzi najczęściej do niepożądanych przemian fizykochemicznych i biologicznych w pobranym materiale.

Stosuje się różne metody konserwacji próbek:

- zakwaszanie próbki z uwagi na składniki kationowe,
- alkaliczowanie próbki z uwagi na składniki anionowe,
- dodawanie specjalnych reagentów i rozpuszczalników,
- schładzanie próbki (2–5°C),
- zamrażanie próbki (–18°C) – dla próbek stałych.

W praktyce polowej najczęściej stosuje się połączenie schładzania i zakwaszania (w zależności od badanych parametrów).

Próbki umieszcza się w pojemnikach izotermicznych lub ich odmianach z wbudowanym akumulatorowym agregatem chłodzącym. W celu kontroli temperatury transportu powinno się stosować termometr z funkcją zapamiętywania temperatury maksymalnej i minimalnej lub tak zwany datalogger mierzący temperaturę w określonym przedziale czasu. Dzięki temu, po dotarciu próbek do laboratorium, uzyskamy pewność, czy rzetelnie pobrane i troskliwie zapakowane do wysyłki próbki nadają się jeszcze do analizy i uzyskania wiarygodnych wyników. W pewnych przypadkach (długi transport i próbki stałe) można zastosować opakowania izotermiczne z dodatkiem zestalonego CO₂.

Próbki w opakowaniach szklanych, szczególnie próbki wód, należy pakować z przekładkami, by naczynia nie uderzały o siebie podczas transportu. Najlepiej stosować specjalne kształtki styropianowe (fig. 7.16). Likwiduje to ryzyko pęknięcia naczynia i utraty próbki, ale także zmniejsza ewentualne straty substancji (wytrząsanie związków lotnych) bądź niepożądane zmiany w próbce (wzmoczona sorpcja).

Pojemniki zbiorcze, szczególnie zawierające wkłady chłodzące, **należy wyraźnie oznakować**, by bez potrzeby ich nie otwierać (nie ogrzewać, nie wstrząsać), np. w celu weryfikacji zawartości przed dotarciem do celu.

Przy sporadycznym opróbowywaniu wód pobiera się próbki podwójne w celu przechowania wtórników w okresie badań. Nie dotyczy to oczywiście sytuacji rutynowego pobierania próbek kontrolnych oraz badań specjalnych (po-



Fig. 7.16. Specjalne pojemniki na butelki laboratoryjne gwarantują dobre zabezpieczenie antywstrząsowe i termiczne próbek w czasie transportu

równawcze analizy międzylaboratoryjne, testowanie najlepszych technologii ETV³ itp.). W próbkach wody przechowywanych przez próbkobiorcę w warunkach różnych od laboratoryjnych zachodzą z czasem zjawiska, które czynią je bezwartościowymi, nawet jeśli zapewnione będzie znaczące obniżenie temperatury.

Nieco inaczej jest z próbkami stałymi, szczególnie pochodzącymi z wstępnego homogenizowania i kwartowania próbek w terenie. Słoiki z takim materiałem najlepiej przechowywać w pomieszczeniach bez dostępu światła, w dość niskiej, stabilnej temperaturze. Główną przyczyną takiego różnego traktowania próbek stałych i ciekłych jest brak homogeniczności materiałów stałych, nieodtwarzalność i brak powtarzalności. W sytuacji awaryjnej (np. problemów technicznych w laboratorium) w większości przypadków można bowiem pobrać taką samą próbkę wody, zachowując wszystkie, odnotowane wcześniej warunki⁴.

7.4. ROLA OSÓB POBIERAJĄCYCH PRÓBKĘ

Przedstawiony opis środowiskowych metod badań gruntów i wód zmierza do wniosku, że podstawowym etapem, na którym najłatwiej może dojść do błędu, jest etap planowania oraz pobierania próbek. Każdy błąd i nieprawidłowość popełnione w tej części badań skutkują fałszywymi wynikami, nawet jeśli analizy próbek wykonano z największą staran-

nością. Zatem najważniejszą osobą w zespole badającym zanieczyszczony teren jest pobierający próbkę.

W Polsce od lat w przepisach prawnych i publikacjach podkreślana jest konieczność wykonywania analiz próbek środowiskowych przez akredytowane laboratoria. Dużo rzadziej natomiast mówi się o roli osób pobierających próbki i prawidłowym szkoleniu tego rodzaju specjalistów.

Jak ważny jest należyty wybór miejsc, metod oraz sposobu poboru próbek gruntów i wód może świadczyć poniższa lista konsekwencji, mająca źródło w błędach popełnianych przez osoby pobierające próbki:

- niedoszacowanie ryzyka zanieczyszczeń z powodu ucieczki lotnych związków organicznych z próbki lub niekorzystnych przemian zachodzących w próbce;
- przeszacowanie ryzyka zanieczyszczeń wynikające z niewłaściwego pobrania próbki i zanieczyszczenia badanego profilu, co fałszuje wynik badań;
- niedokładne i niepełne oznaczenia laboratoryjne wynikające z pobrania zbyt małej objętości próbki;
- błędna interpretacja przestrzenna wyników badań wynikająca z nieprawidłowości w zlokalizowaniu miejsca i głębokości pobrania próbki (słaba orientacja przestrzenna, niewłaściwe narzędzia do pobierania próbek);
- szkody środowiskowe wynikające z rozprzestrzenienia zanieczyszczenia, np. przebicie horyzontów izolujących, niewłaściwa likwidacja otworu lub pozostawienie otworu, zrzut silnie zanieczyszczonych wód z przepompowania otworu itp.;
- szkody w infrastrukturze podziemnej, np. przebicie izolacji, przecięcie kabli, uszkodzenie rur itp.;
- narażenie zdrowia i życia pobierającego próbki przez złe rozpoznanie terenu i brak zabezpieczeń, np. praca w wykopie bez asekuracji, trafienie narzędziem w przewód elektryczny, brak rękawiczek jednorazowych itd.

³ ETV – *Environmental Technology Verification*. Program badawczy rozwijany w Unii Europejskiej w celu ustalenia zasad metodycznej oceny urządzeń, technik i technologii oferowanych na rynku, przeznaczonych do badań środowiskowych, monitoringu i remediacji. Metodologię ETV kształtowano w latach 2005–2008 w ramach projektu PROMOTE (6 PR UE), którego polskimi partnerami był Państwowy Instytut Geologiczny oraz firma SLANDII Sp. z o.o.

⁴ Przy badaniu substancji hydrofobowych w wodach może być to niemożliwe, jeśli smuga zanieczyszczeń uległa przemieszczeniu na skutek lokalnych zmian w kierunku przepływu wód podziemnych.

8. ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA POTRZEBY REKULTYWACJI TERENÓW ZDEGRADOWANYCH

8.1. ETAPY PRAC GEOLOGICZNYCH

Zakres prac geologicznych przy dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych obejmuje następujące etapy:

- Prace przygotowawcze i projektowe (fig. 8.2),
- Prace dokumentacyjne (fig. 8.3),
- Prace monitoringowe (fig. 8.6).

Na etapie prac przygotowawczych zaleca się, w czasie rozpoznania wstępnego, przeprowadzić szczegółową analizę istniejących danych geologicznych i środowiskowych. Na podstawie wyników analizy danych archiwalnych, wizji lokalnej oraz wywiadu środowiskowego podejmowana jest decyzja o konieczności podjęcia prac projektowych, a w konsekwencji wykonawczych i dokumentacyjnych.

Na terenach objętych degradacją antropogeniczną zazwyczaj zbiór danych archiwalnych jest bardzo obszerny. W tym przypadku wykonywanie prac dokumentacyjnych może być nieuzasadnione lub obejmować tylko elementy, które wymagają dokumentacji uzupełniającej istniejący zbiór danych.

Na terenach objętych degradacją naturalną, w przeciwieństwie do degradacji antropogenicznej, zbiór danych archiwalnych jest zazwyczaj bardzo mały. W tym przypad-

ku wykonywanie prac dokumentacyjnych jest konieczne w celu rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich oraz wskazania możliwości zagospodarowania terenu i kierunków rekultywacji. Do każdego przypadku powinno się podchodzić indywidualnie, a dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich powinno być uzależnione od wyników szczegółowej analizy danych archiwalnych oraz proponowanych kierunków rekultywacji i zagospodarowania terenu.

Na określenie zakresu prac geologicznych przy dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych ma wpływ:

- liczba i przydatność danych archiwalnych,
- dostępność terenu,
- rodzaj i stopień degradacji,
- kierunek rekultywacji,
- sposób zagospodarowania.

Analiza przekształceń środowiska w ujęciu warunkujących je różnych czynników, w odniesieniu do różnorodnych przyczyn degradacji, pozwoliła na uporządkowanie tej zależności w formie diagramu – figura 8.1. Informacje wykorzystane do tworzenia diagramu mają charakter nieostrej, a kryteria stanowią katalog otwarty. Zaproponowany sposób

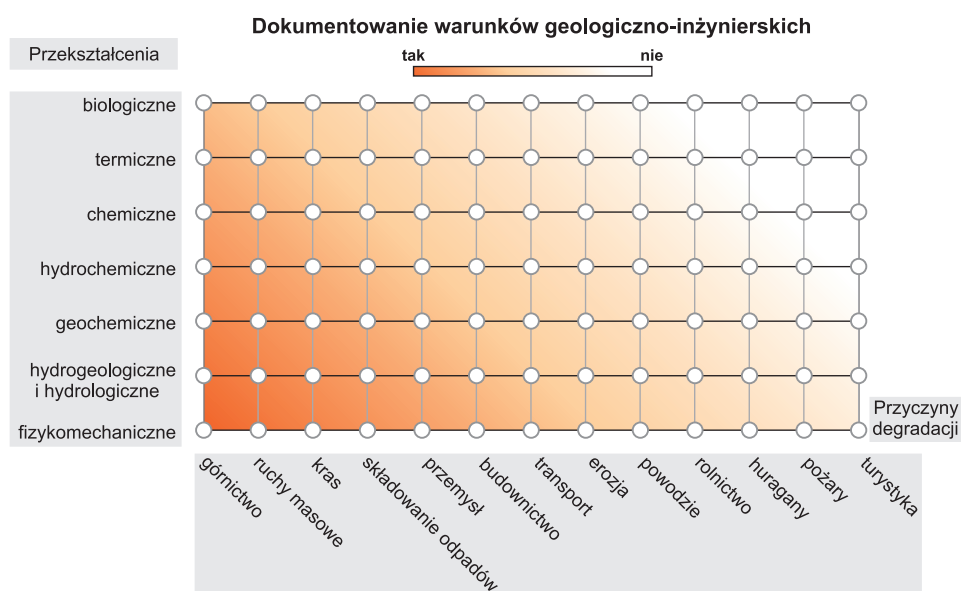


Fig. 8.1. Diagram ogólnej oceny zasadności dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych

ogólnego ujęcia procesu degradacji terenu daje możliwość pewnej oceny wrażliwości środowiska na oddziaływanie antropogeniczne, w odniesieniu do zmian warunków geologiczno-inżynierskich. Skutki degradacji terenu śledzone z wykorzystaniem zaproponowanego diagramu mogą wskazać na potrzebę rozważań zmian w środowisku warunków inżynierskich, które wymagają ich dokumentowania.

Diagram wskazuje na pewne strefy (obszary z typami przekształceń terenu oraz przyczynami jego degradacji), dla których dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich wydaje się być z zasady konieczne lub uzależnione od potrzeb inwestora.

Autorzy zalecają opracowanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej w każdym praktycznie przypadku, niezależnie od przyczyny degradacji, rodzaju przekształceń i kierunku rekultywacji.

Zaproponowane zdefiniowanie zagadnień degradacji terenu może być pomocne przede wszystkim w przypadku ogólnych rozważań i dyskusji dotyczących planowania strategicznych działań w zakresie odzyskiwania i rewitalizowania konkretnych obszarów. Wykorzystanie zaproponowanego diagramu może być także pomocne przy kierunkowaniu rozważań w ramach procesu decyzyjnego dotyczącego potrzeb dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na obszarach zdegradowanych, a dotychczas niewykorzystywanych i niezagospodarowanych.

Kolejnym, ważnym etapem przy rozważaniach dotyczących konieczności wykonywania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz jej zakresu dla terenów zdegradowanych, powinna być analiza najczęściej spotykanych rodzajów degradacji oraz najczęściej odnotowywanych negatywnych skutków degradacji.

Ze względu na zróżnicowany charakter wyżej wymienionych czynników zalecenia do prowadzenia prac projektowych i dokumentacyjnych na terenach zdegradowanych podano w rozdziałach 9–15. Podane zalecenia stanowią

poradnik i nie wyczerpują szerokiej tematyki dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych. Szczegółowy zakres prac geologiczno-inżynierskich powinien być dostosowany do problematyki dokumentowania, oddzielnie dla każdego terenu zdegradowanego. Zalecenia do dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich terenów zdegradowanych podano dla najczęściej spotykanych form degradacji terenu.

8.2. STOPIEŃ ZŁOŻONOŚCI WARUNKÓW GRUNTOWYCH

W celu określenia celu i zakresu projektowanych badań geologicznych w przypadku specjalnego (budowlanego) i wodnego kierunku rekultywacji należy ustalić stopień złożoności warunków gruntowych. W tabeli 8.1 zestawiono rodzaje warunków gruntowych, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. z 2012 r. Nr 0 poz. 463).

Określenie warunków gruntowych zgodnie z tym podziałem jest istotne, gdyż w zależności od stopnia ich złożoności wyznacza się odpowiadające im kategorie geotechniczne oraz projektuje zakres prac i badań.

8.3. PRACE PRZYGOTOWAWCZE I PROJEKTOWE

W aktualnych aktach prawnych nie podano definicji terenu zdegradowanego. Według Siuty (1998) **degradacja powierzchni ziemi** to niekorzystna zmiana utworu geologicznego, rzeźby terenu, gleby, warunków wodnych, szaty roślinnej pod wpływem działalności przemysłowej i agrotechnicznej lub innej. Powszechnie za tereny zdegradowane uznaje się tereny nieprzydatne do określonego sposobu za-

Tabela 8.1

Ocena stopnia złożoności warunków gruntowych

Rodzaje warunków gruntowych	Według Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych
Proste	występujące w przypadku warstw gruntów jednorodnych genetycznie i litologicznie, zalegających poziomo, nie obejmujących mineralnych gruntów słabonośnych, gruntów organicznych i nasypów niekontrolowanych, przy zwierciadle wody poniżej projektowanego poziomu posadawienia oraz braku występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych
Złożone	występujące w przypadku warstw gruntów niejednorodnych, nieciąglych, zmiennych genetycznie i litologicznie, obejmujących mineralne grunty słabonośne, grunty organiczne i nasypy niekontrolowane, przy zwierciadle wód gruntowych w poziomie projektowanego posadawiania i powyżej tego poziomu oraz przy braku występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych
Skomplikowane	występujące w przypadku warstw gruntów objętych występowaniem niekorzystnych zjawisk geologicznych, zwłaszcza zjawisk i form krasowych, osuwiskowych, sufozycznych, kurzawkowych, glacitektonicznych, gruntów ekspansywnych i zapadowych, na obszarach szkód górniczych, przy możliwych nieciąglych deformacjach górotworu, w obszarach dolin i delt rzek oraz na obszarach morskich

gospodarowania bez wykonania działań rekultywacyjnych. Degradacja może być skutkiem działalności antropogenicznej dotyczącej, np. eksploatacji złóż, składowania odpadów, zmiany sposobu użytkowania terenu lub skutkiem działania czynników naturalnych (np. procesów i zjawisk geologicznych).

Według ustawy z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. z 1995 r. Nr 16 poz. 78 z późn. zm.) przez grunty zdegradowane rozumie się grunty, których rolnicza lub leśna wartość użytkowa zmalała, w szczególności w wyniku pogorszenia się warunków przyrodniczych, albo wskutek zmian środowiska oraz działalności przemysłowej, także wadliwej działalności rolniczej.

W świetle powyższych definicji autorzy zalecają, aby w przypadku każdej rekultywacji w kierunku wodnym lub specjalnym (np. budowlanym) projektowane obiekty zaliczać do trzeciej kategorii geotechnicznej, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. z 2012 r. Nr 0 poz. 463).

Projektowanie prac geologicznych powinno być uzależnione od oceny przydatności istniejących danych i materiałów archiwalnych, dostępności terenu, rodzaju i stopnia degradacji, kierunku rekultywacji oraz przewidywanego sposobu zagospodarowania terenu. Projektowanie prac geologicznych powinno uwzględniać czynności podane na figurze 8.2.

8.3.1. Rozpoznanie wstępne

Prace projektowe rozpoczynają się od etapu rozpoznania wstępnego. Etap ten obejmuje:

- zebranie i analizę materiałów archiwalnych i literatury,
- sprawdzenie aktualności norm i aktów prawnych,
- wizję lokalną terenu i wywiad środowiskowy,
- określenie stopnia złożoności warunków gruntowych.

Prace projektowe na etapie rozpoznania wstępnego powinny zakończyć się:

- określeniem czy istniejące dane są wystarczające do oceny warunków geologiczno-inżynierskich,

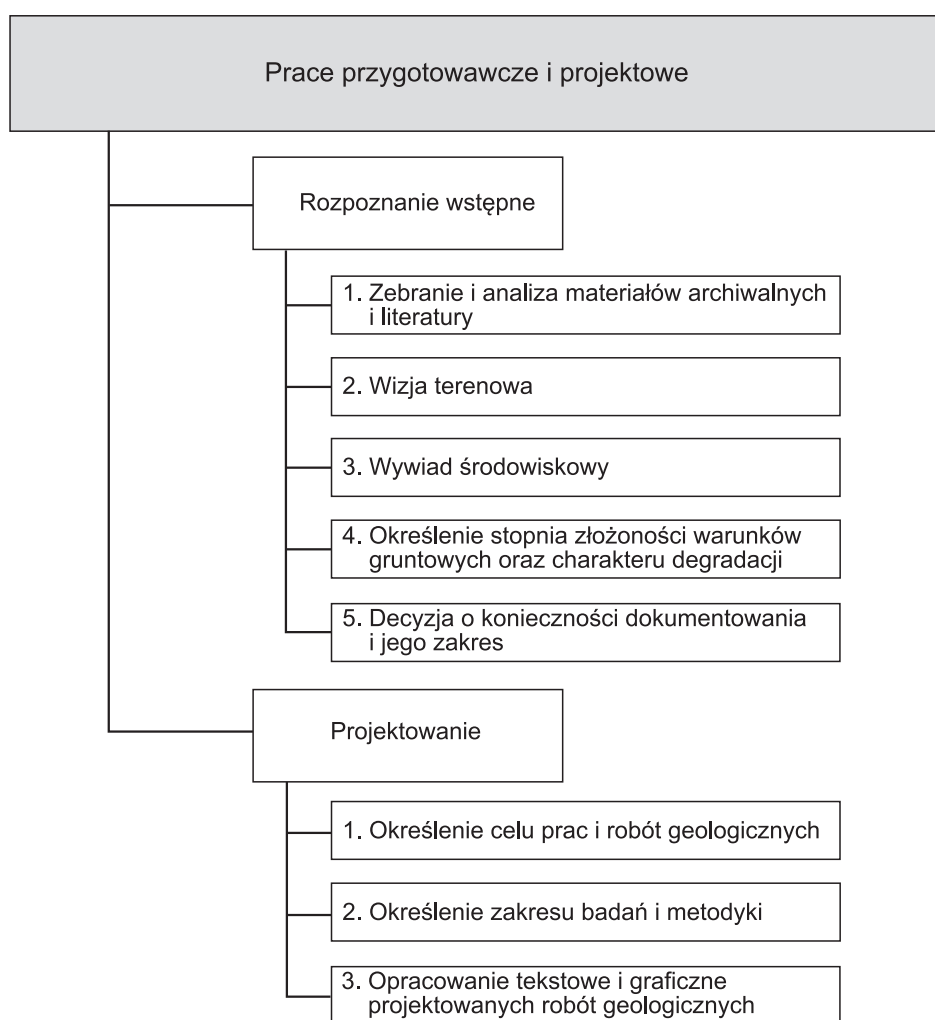


Fig. 8.2. Zakres czynności zalecanych podczas prac przygotowawczych i projektowych

- podjęciem decyzji o konieczności zaprojektowania i wykonania badań uzupełniających w celu opracowania wyników badań geologiczno-inżynierskich.

8.3.1.1. Zebranie i analiza materiałów archiwalnych i literatury

Analiza materiałów archiwalnych powinna obejmować:

- materiały kartograficzne: mapy topograficzne, geomorfologiczne, geologiczne, geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne, geośrodowiskowe, geologiczno-gospodarcze, górnicze i inne;
- archiwalne dokumentacje geologiczne (geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne, złożowe lub inne), geotechniczne, opinie, ekspertyzy;
- dane teledetekcyjne i fotogrametryczne;
- ocenę danych z monitoringu środowiska;
- ocenę danych zawartych w dokumentacji zakładu górniczego, w szczególności:
 - map górniczych,
 - wyników obserwacji deformacji powierzchni;
- archiwalne wiercenia badawcze i sondowania oraz wyniki badań laboratoryjnych;
- wyniki badań geofizycznych;
- opis działalności na rozpatrywanym terenie, w tym dane historyczne;
- przegląd publikacji, które należy uwzględnić przy projektowaniu i dokumentowaniu.

W wyniku analizy materiałów archiwalnych powinniśmy uzyskać następujące informacje:

- o dotychczasowym zagospodarowaniu przestrzennym terenu, ze szczególnym uwzględnieniem czynników powodujących degradację;
- ogólne dane geologiczne, hydrograficzne i hydrogeologiczne, geochemiczne, hydrogeochemiczne regionu, ze szczególnym uwzględnieniem kierunku przepływu wód podziemnych i ich chemizmu oraz związków hydraulicznych;
- topografia i morfologia terenu;
- charakterystyka i rodzaj degradacji;
- charakterystyka elementów degradujących środowisko oraz kierunki rekultywacji;
- rodzaje związków chemicznych, których możemy spodziewać się w środowisku wodno-gruntowym.

8.3.1.2. Wizja lokalna terenu i wywiad środowiskowy

Do najważniejszych celów wizji terenu należą:

- weryfikacja i aktualizacja danych uzyskanych z materiałów archiwalnych;
- weryfikacja i aktualizacja wstępnej interpretacji danych teledetekcyjnych i fotogrametrycznych;
- weryfikacja zgodności obecnej morfologii terenu z istniejącymi podkładami topograficznymi;
- wstępne określenie intensywności, przebiegu i zasięgu procesów geodynamicznych, niekorzystnych zja-

wisk geologicznych oraz procesów i zjawisk antropogenicznych;

- rejestracja odsłoneń naturalnych i sztucznych;
- określenie występowania wód powierzchniowych wraz z ustaleniem maksymalnego zasięgu wód powodziowych w dolinach rzecznych;
- określenie warunków hydrogeologicznych, maksymalnego stanu wód gruntowych, w tym terenów zagrożonych podtopieniami, zgodnie z przeprowadzonym wywiadem środowiskowym;
- sprawdzenie stopnia zagospodarowania terenu wraz z określeniem stanu istniejących obiektów budowlanych;
- weryfikacja poprawności projektowanej lokalizacji badań terenowych ze względu na dostępność terenu, występowanie istniejącej podziemnej infrastruktury technicznej, a także wpływu na środowisko;
- wyznaczenie terenów chronionych;
- wywiad środowiskowy.

8.3.1.3. Określenie stopnia złożoności warunków gruntowych i decyzja o konieczności dokumentowania

Na tym etapie prac zaleca się ustalić stopień złożoności warunków gruntowych zgodnie z obowiązującymi przepisami lub zaleceniami. Decyzję o konieczności zaprojektowania i wykonania uzupełniających badań geologiczno-inżynierskich zaleca się podejmować po analizie wszystkich czynności wykonanych na etapie rozpoznania wstępnego oraz na podstawie oceny przydatności i wystarczalności istniejących danych dla oceny warunków geologiczno-inżynierskich.

8.3.2. Projektowanie

Po podjęciu decyzji o konieczności wykonania badań uzupełniających przystępuje się do projektowania prac i robót geologicznych. Etap ten obejmuje:

- określenie celu prac i robót geologicznych,
- określenie zakresu badań i metodyki,
- opracowanie tekstowe i graficzne projektowanych robót geologicznych.

8.3.2.1. Cel prac i robót geologicznych

Przed projektowaniem prac należy zidentyfikować zjawiska, problemy i stopień degradacji terenu. Cel prac i robót geologicznych oraz ich zakres należy określić w zależności od:

- jakości danych archiwalnych dla oceny warunków geologiczno-inżynierskich,
- stopnia rozpoznania terenu,
- stopnia i typu degradacji,
- kierunku rekultywacji.

W zależności od wyżej wymienionych czynników należy ustalić główne problemy geologiczno-inżynierskie, które mogą lub będą decydować o porekultywacyjnym zagospodarowaniu terenu, a w szczególności o jego warunkach budowlanych.

8.3.2.2. Określenie zakresu badań i metodyki

Zakres badań i metodyki zostały podane w rozdziałach 9–15, w zależności od rodzaju degradacji. Zaleca się określić zakres:

- niezbędnych uzupełniających badań geologiczno-inżynierskich,
- badań środowiskowych,
- badań na potrzeby oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko (OOS).

8.3.2.3. Opracowanie projektowanych robót geologicznych

Opracowanie projektowanych robót geologicznych zaleca się opracować zgodnie z Prawem geologicznym i górniczym z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz.U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981) oraz Rozporządzeniem 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. z 2011 r. Nr 288 poz. 1696) – rozdział 17.3.

8.4. PRACE DOKUMENTACYJNE

Schemat czynności dotyczących dokumentowania geologiczno-inżynierskiego podano na figurze 8.3. Dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich, m.in. na terenach zdegradowanych obejmuje:

- realizację prac, robót i badań określonych na etapie projektowania z uwzględnieniem zmian zakresu badań wraz z uzasadnieniem,
- prace dokumentacyjne – zestawcze.

Treść opracowania geologiczno-inżynierskiego powinna być dostosowana odpowiednio do rodzaju degradacji terenu i kierunku rekultywacji.

Celem opracowania geologiczno-inżynierskiego jest określenie:

- warunków geologiczno-inżynierskich i budowlanych występujących na terenie zdegradowanym,
- przydatności gruntów antropogenicznych na cele budowlane,
- założeń prowadzenia prac rekultywacyjnych,
- sposobu zagospodarowania terenu zdegradowanego z uwzględnieniem kierunku rekultywacji.

Warunki geologiczne, górnicze, hydrogeologiczne oraz środowiskowe na terenie zdegradowanym należy opracować na podstawie wyników z etapu rozpoznania wstępnego oraz wyników zrealizowanych prac i badań.

Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie na terenach zdegradowanych powinno uwzględniać:

- specyfikę terenu zdegradowanego, w tym charakter i skalę degradacji,
- zmiany naturalnych cech fizyczno-mechanicznych gruntów i skał,
- zmiany geochemiczne wód podziemnych i powierzchniowych,

- zmiany w strefie przypowierzchniowej terenu zdegradowanego,
- uaktywnienie i prognozę zmian procesów i zjawisk geologicznych oraz antropogenicznych na terenie zdegradowanym,
- zmiany warunków hydrogeologicznych i hydrologicznych na terenie zdegradowanym,
- wymagania związane z ustaleniem kierunku rekultywacji,
- wymagania związane z przewidywanym sposobem zagospodarowania.

Przy dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych szczególną uwagę należy zwrócić na ocenę i prognozę wystąpienia zagrożeń naturalnych i antropogenicznych w trakcie i po zrehabilitowaniu terenu.

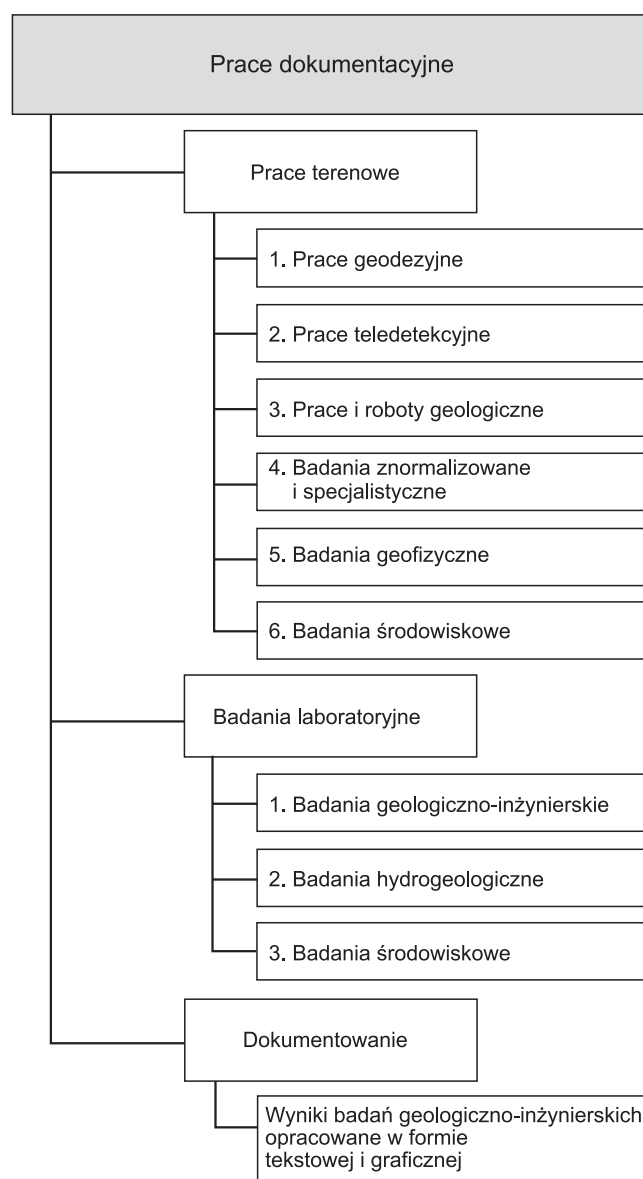


Fig. 8.3. Zakres czynności zalecanych podczas prac dokumentacyjnych

Efektom końcowym prac wykonawczych i zestawczych jest opracowanie wyników badań geologiczno-inżynierskich. W opracowaniu zebrane są wyniki prac, robót geologicznych oraz badań terenowych i laboratoryjnych, a także wyniki analiz i ocen przeprowadzonych na potrzeby rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich w celu rekultywacji terenu zdegradowanego. Podane są również wskazówki i zalecenia geologiczno-inżynierskie i środowiskowe, dotyczące prowadzenia prac rekultywacyjnych i monitoringu elementów środowiska.

8.4.1. Prace terenowe

W opracowaniu projektowanych robót geologicznych należy opisać zakres następujących prac terenowych:

- prace lokalizacyjne,
- prace teledetekcyjne,
- prace geologiczne,
- roboty geologiczne,
- badania znormalizowane,
- badania geofizyczne,
- badania środowiskowe.

Ogólne informacje na temat prac terenowych podano w rozdziale 4. Przykładowy zakres terenowych badań geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych przedstawiono na figurze 8.4.

8.4.1.1. Prace geodezyjne

W graficznej części opracowania projektowanych robót geologicznych, jak i w opracowaniu wyników badań geologiczno-inżynierskich, do wszelkich map powinny być użyte aktualne podkłady topograficzne. Należy je pozyskać z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego. W przypadku, gdy dokumentowany obszar znajduje się na terenie czynnych zakładów górniczych należy pozyskać ponadto mapy wyrobisk górniczych zawartych w dokumentacji miernico-geologicznej.

Podkłady map topograficznych w skali 1:10 000 i mniejszych znajdują się w zasobach Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK). Ośrodek ten uzupełnia i zarządza centralnym zasobem geodezyjnym i kartograficznym. Podkłady topograficzne w większej skali to mapy zasadnicze nazywane Podstawową Mapą Kraju. Mapy zasadnicze znajdują się w zasobach ośrodków geodezyjnych i kartograficznych państwowych jednostek administracyjnych. Należy pamiętać, że mapa zasadnicza jest wykonywana w różnych skalach. Skali 1:500 – 1:1000 używa się dla obszarów wysoko zurbanizowanych (duże zagęszczenie obiektów stanowiących treść mapy, np. gęsta zabudowa lub duża ilość urządzeń podziemnych), 1:1000 – 1:2000 dla obszarów średnio zurbanizowanych, a skali 1:5000 dla zwartych obszarów leśnych i rolnych. Czasami, gdy występuje bardzo duże zagęszczenie obiektów naziemnych i podziemnych wykonuje się nawet mapy w skali 1:250.

Podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego każdy punkt badawczy powinien być opisany współrzed-

nymi (x , y) i rzędną (z) oraz przedstawiony na mapie dokumentacyjnej. Niezależnie od tego czy jest to punkt wykonany na potrzeby opracowania, czy też punkt wykorzystany z materiałów archiwalnych. Ustalanie samych współrzędnych jest ważne już na etapie projektowym, gdzie planuje się położenie punktów badawczych. Wykorzystuje się to na etapie wykonawczym, gdzie dzięki znajomości współrzędnych możliwe jest dokładne ustalenie pozycji punktu w terenie.

Zaprojektowane punkty badawcze mogą być wytyczone samodzielnie, wykorzystując mapy i taśmy miernicze, odnosząc się do punktów charakterystycznych w terenie. Punkty można także wyznaczyć za pomocą dokładnych urządzeń GPS. Można również powierzyć pomiary uprawnionemu do wytyczania wszelkiego rodzaju obiektów na powierzchni ziemi geodecie, wykorzystującemu do tego celu specjalistyczne urządzenia geodezyjne (np.: niwelator, teodolit, tachimetr). W rzeczywistości, często okazuje się, że lokalizacja zaprojektowanych punktów badawczych musi ulec przesunięciu. Powody mogą być różne: niezinventaryzowane lub źle zlokalizowane media, trudne warunki w terenie, czy niustalone prywatne prawa własności (brak możliwości wjazdu). Dlatego też na tym etapie należy określić rzeczywiste/wyjściowe współrzędne i rzędne punktów badawczych.

Podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego z „geodezyjnego” punktu widzenia ważny jest rodzaj zastosowanego układu współrzędnych. Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz.U. z 2000 r. Nr 70 poz. 821) w pracach geodezyjnych i kartograficznych stosuje się państwowy system odniesień przestrzennych.

Rzędne (wartość z) to według § 3 pkt. 2 rozporządzenia, wysokości normalne położenia określa się z pomiarów geodezyjnych nawiązanych do punktów podstawowej osnowy geodezyjnej kraju. Należy ją podawać w odniesieniu do średniego poziomu Morza Bałtyckiego w Zatoce Fińskiej, wyznaczonego dla mareografu w Kronsztadzie (m n.p.m.).

Współrzędne (wartości x i y) to według § 3 pkt. 4 dla map w skali 1:10 000 i mniejszych (np. 1:25 000) należy używać układu współrzędnych płaskich prostokątnych oznaczonych symbolem 1992 (np. dla planów zagospodarowania przestrzennego). Natomiast według § 3 pkt. 3 dla prac geodezyjnych i kartograficznych związanych z mapą zasadniczą, czyli dla map w większej skali niż 1:10 000 (np. 1:2000; 1:1000) należy stosować układ współrzędnych płaskich prostokątnych oznaczonych symbolem 2000.

Informacja o układzie współrzędnych jest bardzo istotna z uwagi na to, że do dnia 31.12.2009 r. mogły być używane inne układy współrzędnych (UWPP 1965, PUWG 1942, układy lokalne). Zatem współrzędne archiwalnych punktów badawczych wykorzystane do celów dokumentowania geologiczno-inżynierskiego (i nie tylko) powinny być przystosowane poprzez przekształcenie do układów obowiązujących. Pozwoli to na zestawienie, porównanie i weryfikację wszystkich dostępnych danych w opracowaniu geologiczno-inżynierskim.

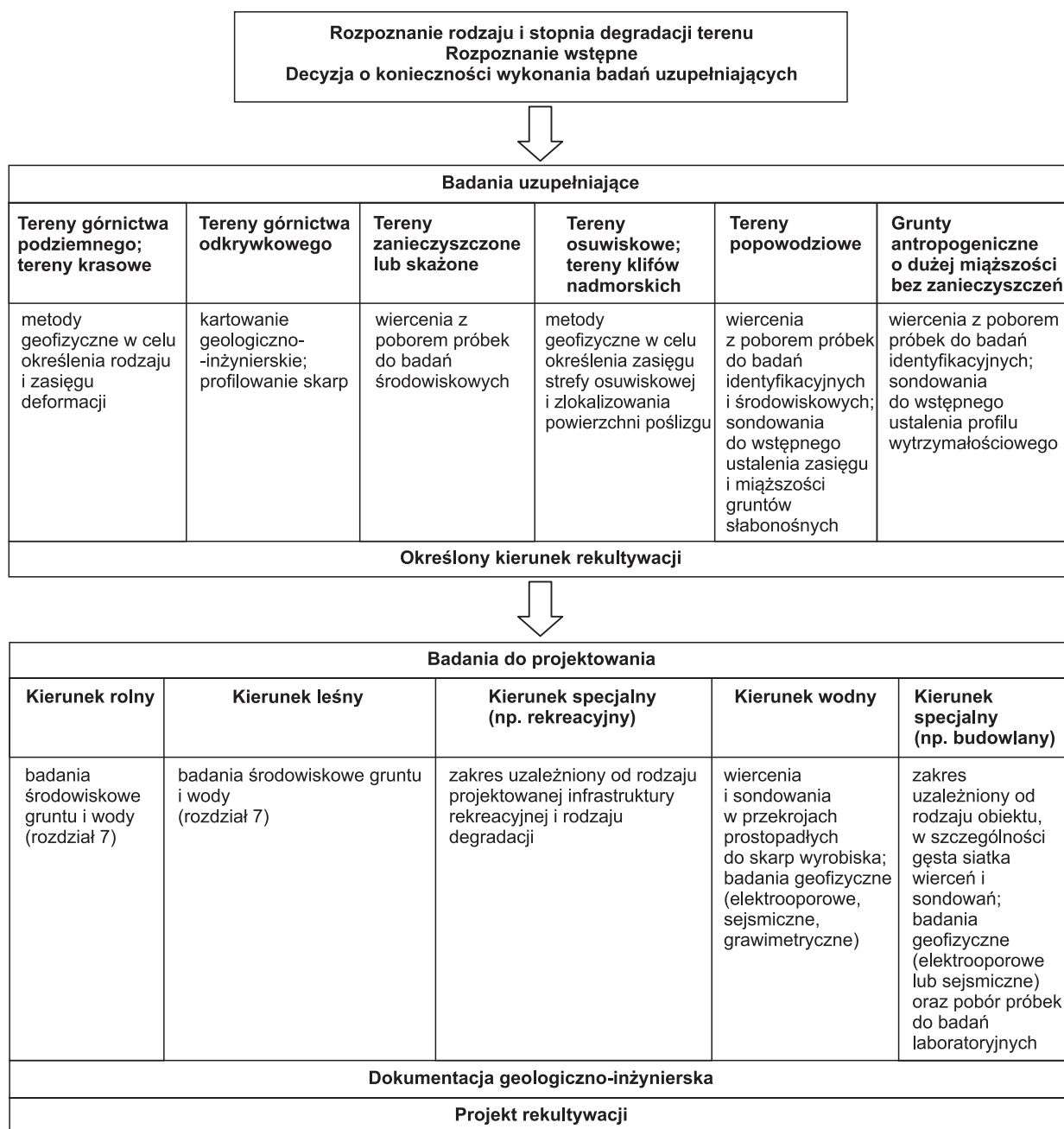


Fig. 8.4. Przykładowy zakres badań geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych w zależności od etapu rozpoznania podłoża i kierunku rekultywacji

8.4.1.2. Prace teledetekcyjne

W badaniu środowiska naturalnego, w tym procesów geologicznych, coraz większe zastosowanie znajdują zdalne metody pozyskiwania informacji. 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. Taki schemat działań pozwala na znaczne ograniczenie kosztów

i koncentrację badań terenowych do obszarów, na których występuje konkretne zjawisko.

Badania powierzchni ziemi i pozyskiwanie informacji o obiektach bez fizycznego kontaktu (bezpośredniej ingerencji w środowisko) realizowane są poprzez wykorzystanie metod teledetekcyjnych. Teledetekcja zajmuje się wykrywaniem i analizowaniem obiektów lub zjawisk na podstawie zdalnego (bezkontaktowego) pomiaru energii promieniowania elektromagnetycznego, które jest przez obiekt odbijane lub emitowane. Obecnie większość informacji pozyskiwanych metodami teledetekcyjnymi dostarczana jest w postaci

cyfrowej. Dane są następnie przetwarzane przez specjalistyczne oprogramowanie i wykorzystywane w procesie interpretacji i analizy szczegółowej. Teledetekcja koncentruje się głównie na określaniu cech jakościowych badanych obiektów czy zjawisk.

Promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez obiekty na powierzchni ziemi rejestrowane jest przez sensory umieszczone na 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.

Podstawowy podział metod teledetekcyjnych wynika z odległości dzielącej urządzenie rejestrujące od powierzchni ziemi (fig. 8.5). Wydzielane są trzy podstawowe metody: satelitarne, lotnicze i naziemne. W każdej z tych grup można dokonywać bardziej szczegółowych podziałów.

Kolejnym modelem 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). W zakresie pasma widzialnego mamy do czynienia z fotografią (np. zdjęcia lotnicze wykonywane przy pomocy standardowej kamery optycznej). Skanery umożliwiają pozyskiwanie informacji ze znacznie szerszego zakresu spektralnego. Z kolei sensory radarowe pozwalają na rejestrację mikrofal i fal radiowych. Pierwsze dwie grupy urządzeń rejestrujących wykorzystują fale odbite od obiektów, radar jest urządzeniem emitującym mikrofałe i następnie rejestrującym sygnał odbijany od obiektu.

Teledetekcja lotnicza. W ostatnich latach rozwijana jest także geofizyka lotnicza, umożliwiająca pozyskiwanie informacji pod powierzchnią ziemi. Rozdzielczość obrazów lotniczych dochodzi do kilkunastu centymetrów. Najczęściej wykorzystywane są kamery fotograficzne zapisujące obrazy w zakresie spektrum widzialnego. Jednakże wykonywane są także fotografie w podczerwieni.

W badaniach wykorzystywane są zdjęcia lotnicze bezpośrednio po rejestracji obrazu lub przetworzone w procesie rektyfikacji (usuwanie zniekształceń spowodowanych różnicami wysokości terenu i nachyleniem zdjęć), tj. fotomapy lub ortofotomapy, które w odróżnieniu od zdjęć źródłowych są materiałami kartometrycznymi, zachowującymi fotograficzny przekaz treści zdjęć. Ortofotomapy generowane są także ze zdjęć satelitarnych, jednakże z punktu widzenia możliwości interpretacji wizualnej, ortofotomapy lotnicze stanowią materiał o wyższej dokładności odwzorowania obserwowanych obiektów.

Dla niektórych obszarów dostępne są archiwalne zdjęcia lotnicze, pochodzące z różnych okresów, na których zarejestrowane zostały 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 są także źródłem do tworzenia trójwymiarowych modeli terenu (Digital Terrain Model). W tym celu wykorzystywane są zdjęcia stereoskopowe wykonywane dla tego samego obszaru (o pokryciu nie mniejszym niż 60%), pod różnym kątem. Numeryczny model terenu umożliwia między innymi 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 modeli 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.

Skaning laserowy i interferometria radarowa. Skaning laserowy to obecnie najnowocześniejsza i najbardziej uniwersalna technologia pozyskiwania informacji przestrzennych. W wyniku pomiaru otrzymujemy chmurę punktów o określonych trójwymiarowych współrzędnych, a także opcjonalnie kolor każdego z punktów. Odległości

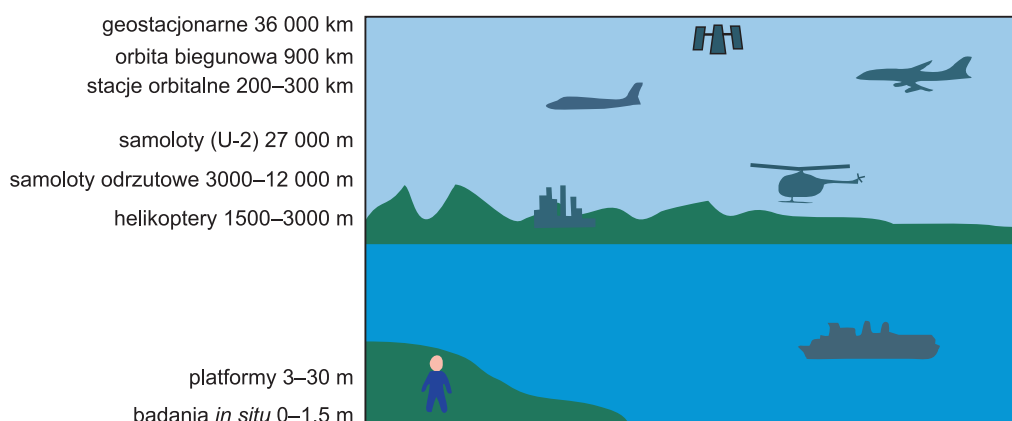


Fig. 8.5. Podział metod teledetekcyjnych

między punktami w chmurze, rzędu kilku milimetrów, pozwalają stworzyć quasi-ciągły realistyczny model obiektu. Model punktowy stanowi bazę do sporządzenia kompletnej dokumentacji technicznej, jak również punkt wyjściowy do stworzenia modelu 3D. Skanowanie laserowe to przede wszystkim nieporównywalna z innymi metodami ilość informacji przestrzennych, pozyskana w krótkim czasie, przy zachowaniu wysokiej dokładności opracowania.

Interferometria jest metodą teledetekcyjną pozwalającą uzyskać informacje o niewielkich pionowych ruchach na powierzchni terenu. Technika ta wykorzystuje różnice fazy sygnałów radarowych, pochodzących z dwóch obserwacji tego samego obszaru. Informacja radarowa rejestrowana jest przez dwie niezależne anteny umieszczone na pokładzie pojazdu latającego. Obrazy interferometryczne powstają poprzez sumowanie wyników rejestracji radarowej wykonanych z przesunięciem czasowym. Metoda ta znajduje zastosowanie, m.in. na obszarach występowania ruchów masowych, osiadania gruntów oraz innych procesów przyrodniczych, podczas których następuje przemieszczenie powierzchni terenu.

Teledetekcja satelitarna. Zasadniczym wyróżnikiem tej grupy metod teledetekcyjnych jest umieszczenie urządzenia rejestrującego poza atmosferą ziemską. Satelity wyposażone w skanery rejestrujące energię elektromagnetyczną odbitą lub emitowaną z powierzchni terenu krążą po orbitach okołoziemskich. Podobnie jak w przypadku teledetekcji lotniczej 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), ale stosowane są także skanery monochromatyczne (np. SPOT). Satelity obserwacyjne mogą mieć bardzo różną rozdzielczość dostarczanych obrazów, w zależności od założonego wykorzystania pozyskiwanych zobrażeń. Satelity meteorologiczne charakteryzują się rozdzielczością przestrzenną od kilkuset metrów do kilku kilometrów (NOAA). Najbardziej popularne satelity pozyskujące obrazy dla celów środowiskowych (LANDSAT, SPOT, IRS, ASTER) posiadają rozdzielczość w przedziale 30–5 m. Rozwój technologiczny i rosnące zapotrzebowanie na obrazy satelitarne spowodowało wysłanie w przestrzeń kosmiczną na początku XXI wieku satelitów o wysokiej rozdzielczości ok. 1 m (IKONOS, QuickBird).

Skanery wysokorozdzielcze są konkurencyjne dla zobrażeń lotniczych. Wynika to między innymi ze stałych kosztów, które w przypadku mobilizacji sprzętu lotniczego są bardzo wysokie i opłacalne dopiero przy dużych projektach.

Istotną zaletą teledetekcji satelitarnej jest też powtarzalność rejestracji. Jest to niezmiernie istotne przy badaniach środowiska naturalnego, gdzie obserwowane są zmiany na przestrzeni czasu. Standardowe czasy rewizyty nad tym samym obszarem to od kilku do kilkunastu dni.

Tak jak wspomniano wcześniej rozwój technologiczny zbliżył możliwości oferowane przez urządzenia satelitarne do tych instalowanych na obiektach latających w atmosferze ziemskiej. Satelita IKONOS pozwala na rejestrację obrazów

stereoskopowych wykorzystywanych później do tworzenia modeli terenu.

Oddzielną grupą w teledetekcji satelitarnej są urządzenia radarowe. Rejestrują one mikrofały i fale radarowe o długości 0,75–100 cm. 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. Skanery radarowe emitują sygnały, które następnie są odczytywane po odbiciu od obserwowanej powierzchni.

W ostatnich latach rozwijana jest także interferometria satelitarna (ERS-1/2). Metody te są bardzo przydatne do śledzenia odkształceń i zmian powierzchni terenu, gdyż dostarczają informację z bardzo dużą precyzją.

Teledetekcja naziemna. Metody teledetekcyjne można też stosować bezpośrednio na powierzchni ziemi, w przypadku obserwacji lokalnych obiektów (naziemna interferometria radarowa, georadar).

Nauką bezpośrednio powiązaną z teledetekcją jest fotogrametria, zajmująca się pomiarami. Obrazy pozyskiwane metodami teledetekcyjnymi są w pewnym stopniu zniekształcone. Wynika to z rzutowania obrazu z jednego punktu (urządzenie rejestrujące). Zarejestrowane obrazy poddawane są procesom fotogrametrycznym, korygującym zniekształcenia. Dzięki tym zabiegom obrazy teledetekcyjne mogą być wykorzystywane do sporządzania map i rejestracji w odpowiednich układach współrzędnych.

8.4.1.3. Prace i roboty geologiczne

Prace geologiczne terenowe o zakresie dostosowanym do lokalnych warunków geologicznych obejmują:

- kartowanie geologiczno-inżynierskie, w tym m.in.:
 - identyfikacja i dokumentowanie naturalnych odsłoneń, wsięków wód itp.,
 - identyfikacja i dokumentowanie form geomorfologicznych z uwzględnieniem form antropogenicznych,
 - identyfikacja i dokumentowanie procesów geodynamicznych (np.: leje i zapadliska, szczeliny i progi terenowe, kras, osuwiska, osiadanie zapadowe w lessach, sufozja, erozja, abrazja itp.),
 - identyfikacja i dokumentowanie zjawisk geologicznych (np. podtopienia itp.),
 - identyfikacja i dokumentowanie zjawisk i procesów antropogenicznych (np. niecki osiadań itp.),
 - wyznaczanie granic geologicznych,
 - pomiary biegu i upadu warstw oraz kierunków spękań;
- kartowanie hydrogeologiczne;
- kartowanie środowiskowe (sozologiczne);
- profilowanie wyrobisk, w tym m.in.:
 - zdjęcie geologiczne profilu wyrobiska,
 - opis profilu wyrobiska.

Ogólne informacje na temat prac terenowych, w tym kartowania geologiczno-inżynierskiego podano w rozdziale 9.

Zakres i metodyka robót geologicznych powinna być dostosowana do stopnia złożoności warunków gruntowych oraz do oceny warunków geologiczno-inżynierskich i kierunku rekultywacji. Przy ocenie warunków geologiczno-inżynierskich, np. dla budownictwa wymagana liczba punktów dokumentacyjnych dla skali dokumentowania 1:10 000, przy występowaniu złożonej budowy geologicznej, odległość między punktami w terenie nie powinna wynosić więcej niż 100 m.

Roboty geologiczne obejmują:

- roboty górnicze, w tym m.in.:
 - powierzchniowe (szurfy, szybiki),
 - podziemne (szyby, sztolnie);
- roboty wiertnicze – wiercenia. Możliwe do stosowania techniki wiertnicze:
 - wiercenie obrotowe świdrem ślimakowym pełnym na sucho bez rur,
 - wiercenie obrotowe świdrem ślimakowym przelotowym umożliwiające w kolumnie świdrow:
 - wbijanie próbnika,
 - wciskanie próbnika,
 - zabudowę piezometrów,
 - rdzeniowanie obrotowe,
 - wiercenie obrotowe na sucho z rurowaniem różnymi narzędziami,
 - wiercenie udarowe na linie z rurowaniem lub wiercenia udarowe młotkiem (pneumatycznym lub udarowym) na linie z rurowaniem,
 - wiercenie rdzeniowane wrzutowe i udarowe na sucho, z płuczką lub z wykorzystaniem sprężonego powietrza,
 - wiercenie świdrami gryzowymi lub skrawającymi;
- badania geologiczno-inżynierskie, w tym m.in.:
 - pobieranie próbek gruntów i skał o naruszonej i nie-naruszonej strukturze zarówno techniką obrotową, udarową i wciskaną do badań laboratoryjnych:
 - kategorii A o klasie jakości 1–5,
 - kategorii B o klasie jakości 3–5,
 - kategorii C o klasie jakości 5,
 - obserwacje w trakcie wiercenia, m.in.:
 - postęp wiercenia,
 - ucieczki płuczki,
 - określenie stopnia spękania skał,
 - określenie wielkości pustek,
 - badania makroskopowe gruntów i skał,
 - wydzielenie odmiennych litologicznie warstw gruntów i skał,
 - określenie miąższości zwietrzliny,
 - ustalenie granic między jednostkami litogenetycznymi,
 - dokumentacja fotograficzna;
- badania hydrogeologiczne, w tym m.in.:
 - obserwacje poziomów wód podziemnych,
 - pobierania próbek wody i powietrza glebowego do badań laboratoryjnych,
 - badanie współczynnika filtracji, np. próbne pompowania, sonda BAT,

- pomiary fizykochemiczne wody (np.: temperatura, pH, przewodność),
- obserwacje wahań zwierciadła wody,
- ocena izolacyjności poziomów wód gruntowych.

Ogólne informacje na temat wierceń i poboru próbek podano w rozdziale 4.3.

8.4.1.4. Badania znormalizowane i specjalistyczne

Przy dokumentowaniu najczęściej wykorzystywane są różne rodzaje sondowań, których celem jest m.in.:

- określenie stanu gruntów naturalnych oraz gruntów antropogenicznych,
- ocena jednorodności podłoża gruntowego,
- ustalenie granic między grupami gruntów o podobnych właściwościach fizyczno-mechanicznych,
- wyprowadzenie parametrów geotechnicznych.

Powszechnie stosowane sondowania to:

- sondowania statyczne MCPT/CPT/CPTU,
- badania presjometryczne PMT,
- badania dylatometryczne DMT i FDT,
- sondowania cylindryczne SPT,
- sondowania dynamiczne DP,
- sondowania wkręcane WST,
- sondowania ścinające FVT.

Zalecane badania specjalistyczne to:

- sonda statyczna z końcówką sejsmiczną SCPT/SCP-TU,
- dylatometr płaski z końcówką sejsmiczną SDMT,
- sonda statyczna z końcówką opornościową RCPTU/CCPTU,
- badania introskopowe.

Zakres i metodyka sondowań specjalistycznych powinna być dobrana w zależności od rodzaju gruntów występujących w podłożu na terenie zdegradowanym oraz potrzeb wynikających z opracowania projektu rekultywacji.

Ogólne informacje na temat badań terenowych znormalizowanych podano w rozdziale 4.4.

8.4.1.5. Badania geofizyczne

Badania geofizyczne powinny być dobrane do modelu budowy geologicznej, rodzaju degradacji terenu oraz występujących na danym terenie procesów i zjawisk antropogenicznych i geologicznych.

Badania geofizyczne powinny być wykonywane w celu:

- uzupełnienia rozpoznania zmienności budowy geologicznej,
- identyfikacji stref anomalnych, np.: rozluźnień, kawern, pustek w górotworze,
- określenia zmian wybranych właściwości fizycznych i mechanicznych górotworu.

Powszechnie stosowane badania geofizyczne to:

- magnetyczne,
- grawimetryczne,
- elektromagnetyczne,
- radiometryczne,

- konduktometryczne,
- sejsmiczne,
- radarowe,
- elektryczne oporowe.

Ogólne informacje na temat badań geofizycznych podano w rozdziale 4.2.

8.4.1.6. Badania środowiskowe

Szczegółowy zakres i metodyki badań środowiskowych wraz z zasadami projektowania tego rodzaju badań podano w rozdziale 7.

Badania środowiskowe wymagają m.in.:

- pobrania próbek środowiskowych (gleby, podglebia, gruntu, wód powierzchniowych, wód podziemnych),
- wykonania zintegrowanych pompowań testowych (IPT),
- wykonania sondowań (np. BAT®, waterloo profiler®, hydrocone®, geoprobe®).

8.4.2. Badania laboratoryjne

Zakres badań laboratoryjnych i dobór metodyki zależy od wielu czynników, m.in. od:

- właściwości fizyczno-mechanicznych skał i gruntów;
- właściwości fizykochemicznych gruntów, skał, wód podziemnych i powierzchniowych;
- rodzaju zanieczyszczenia skał, gruntów i wód;
- zmian właściwości skał, gruntów i wód na skutek procesów i zjawisk antropogenicznych oraz procesów i zjawisk geologicznych;
- zestawu parametrów koniecznych do opracowania projektu rekultywacji.

Badaniami laboratoryjnymi należy objąć pobrane w czasie prac i robót próbki:

- gruntów naturalnych i antropogenicznych,
- skał,
- wód podziemnych i powierzchniowych.

Szczegółowy opis metod badań znajduje się w odpowiednich normach dotyczących badań laboratoryjnych. Ogólne informacje na temat badań laboratoryjnych podano w rozdziale 5.

8.4.3. Dokumentowanie wyników badań

W efekcie wykonanych prac: wizji terenowej, badań terenowych i badań laboratoryjnych należy wykonać tekstowe i graficzne opracowanie wyników badań geologiczno-inżynierskich. Opracowanie powinno zawierać ocenę możliwości oraz uwarunkowania właściwego zrehabilitowania terenu poprzez odpowiednie docelowe zagospodarowanie.

Część opisowa opracowania geologiczno-inżynierskiego, oprócz ogólnych zaleceń znajdujących się § 18 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714), powinna zawierać, m.in.:

- opis procesów i zjawisk antropogenicznych (np. odkształcenia powierzchni terenu, zagrożenia górnicze);
- opis warunków górniczych;
- metodykę i technikę badań geofizycznych i interpretację uzyskanych wyników;
- kryteria wydzielenia anomalii geofizycznych;
- lokalizację anomalii geofizycznych;
- ocenę zagrożenia powierzchni terenu wystąpieniem deformacji, kategoryzacja terenu pod względem intensywności zagrożenia, wariantowa koncepcja likwidacji zagrożenia;
- kierunki rekultywacji i zagospodarowania terenu;
- ocenę przydatności budowlanej i zakres koniecznych prac specjalistycznych;
- wytyczne rekultywacji terenu;
- projekt sieci monitoringu;
- mapy tematyczne, uwzględniające specyfikę dokumentowanego terenu, np.:
 - mapy powierzchni stropu warstw,
 - mapy miąższości,
 - mapy zagospodarowania,
 - mapy hydrogeologiczne,
 - mapy górnicze,
 - mapy przydatności;
- zestawienie współrzędnych wykonanych otworów, sondowań, badań geofizycznych i innych;
- zestawienie parametrów wyprowadzonych i/lub charakterystycznych;
- zestawienia i wykresy statystyczne;
- zestawienie analiz fizykochemicznych wody;
- zestawienie analiz fizykochemicznych gruntów i skał;
- zestawienia i wykresy tematyczne zależne od specyfiki terenu zdegradowanego, np.:
 - zbiorczą charakterystykę eksploatacji kopaliny,
 - zestawienie wyrobisk górniczych;
- zestawienie wykonanych obliczeń, w tym m.in.:
 - zastosowane oprogramowanie,
 - parametry stosowane w obliczeniach,
 - metody obliczeniowe;
- załączniki graficzne w postaci np. modeli obliczeniowych;
- zestawienie i opis wykonanych zdjęć dokumentujących, m.in.:
 - roboty geologiczne,
 - zagospodarowanie terenu,
 - obszary wystąpienia zagrożeń.

8.5. PRACE MONITORINGOWE

Strategiczne założenia systemu monitoringu środowiska gruntowo-wodnego w Polsce opierają się na Państwowym Monitoringu Środowiska. Program Państwowego Monitoringu Środowiska obejmuje obserwacje różnych komponentów środowiska, w tym tak ważnych elementów jak grunty i wody podziemne. Państwowy Monitoring Środowiska (PMŚ) został utworzony ustawą z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz.U. z 2007 r.

Nr 44 poz. 287 z późn. zm.) w celu zapewnienia wiarygodnych informacji o stanie środowiska. Ustawa Prawo ochrony środowiska 10 lat później wzmocniła dodatkowo rangę PMŚ, definiując system, jako obejmujący nie tylko diagnozę stanu środowiska, ale także jego prognozę oraz nałożyła obowiązek systematycznego gromadzenia, przetwarzania i rozpowszechniania danych o środowisku (art. 25 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150, z późn. zm.)). Obowiązek prowadzenia monitoringu, obserwacji zmian i oceny jakości gleby i ziemi w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska wynika z zapisów art. 26 Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150, z późn. zm.). Kryteria oceny określone są w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359).

Monitoring wód (wg Ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne – Dz.U. z 2012 r. Nr 0, poz. 145) ma na celu pozyskanie informacji o stanie wód powierzchniowych i podziemnych dla potrzeb planowania w gospodarowaniu wodami oraz oceny osiągania celów środowiskowych. Badania i oceny stanu wód powierzchniowych oraz stanu wód podziemnych dokonuje się w ramach PMŚ. Polega on na prowadzeniu w wybranych charakterystycznych punktach (stacjach, posterunkach, punktach obserwacyjnych) powtarzalnych pomiarów i badań stanu zwierciadła wód podziemnych oraz ich jakości, a także interpretacji wyników tych badań w aspekcie ochrony środowiska wodnego. Celem monitorowania wód podziemnych jest wspomaganie działań zmierzających do likwidacji lub ograniczenia ujemnego wpływu czynników antropogenicznych na te wody. Monitoring wód podziemnych w Polsce prowadzony jest w sieciach: krajowej, regionalnej i lokalnej. Sieć krajową tworzą wybrane, reprezentatywne punkty (stanowiska) obserwacyjne. Głównym zadaniem monitoringu regionalnego jest rozpoznanie i stała kontrola jakości wód w zbiornikach o znaczeniu regionalnym (JCWPd – jednolite części wód podziemnych), a także w obrębie głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP).

Niezmiernie ważnymi obiektami, dla których są tworzone i prowadzone monitoringu lokalne wód podziemnych, są np. składowiska odpadów. Obiekty te stanowią mogą lub wręcz stanowią znaczący element antropopresji na środowisko gruntowo-wodne, a szczególnie na wody podziemne i wpływają na sposób gospodarowania nimi. Z uwagi na powyższe fakty w grudniu 2002 r. Minister Środowiska wprowadził rozporządzenie w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz.U. z 2002 r. Nr 220 poz. 1858). Dokument ten w sposób szczególny określił zasady dotyczące prowadzenia monitoringu wód podziemnych wokół składowisk odpadów. Zasady te nie dotyczą składowisk odpadów niebezpiecznych oraz składowisk odpadów obojętnych.

Innymi, istotnymi z punktu widzenia jakości i gospodarowania wodami obserwacjami, jest monitoring obiektów

unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 kwietnia 2011 r. w sprawie prowadzenia monitoringu obiektu unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (Dz.U. z 2011 r. Nr 92 poz. 535). Prowadzony jest on w podobnym zakresie jak monitoring składowisk odpadów.

Istnieją także lokalne sieci monitoringu wód podziemnych tworzone dla obserwacji wpływu na środowisko wywieranego przez różnego rodzaju zakłady przemysłowe, a także obiekty uciążliwe i negatywnie wpływające na środowisko (np. magazyny i stacje paliw). Obserwowanie stanu środowiska powodowane jest tu głównie potrzebami, wynikającymi z bieżącego funkcjonowania danego zakładu, a także w związku z uzyskiwaniem przez te podmioty pozwoleń zintegrowanych oraz w ramach przepisów związanych z dyrektywą o emisjach przemysłowych.

Niezmiernie istotny z punktu widzenia przekształceń w środowisku i jego degradacji jest coraz mocniej rozpowszechniany monitoring osuwisk. Prowadzony jest on w zakresie bardziej ilościowym (stany wód podziemnych) i geologiczno-inżynierskim (przemieszczenia pionowe i poziome), niż jakościowym, jednak stanowi podstawowe narzędzie obserwacji degradacji terenu. Podobne obserwacje wykonuje się także w rejonie wałów przeciwpowodziowych.

W ramach monitoringu środowiska terenów zdegradowanych należy mieć na uwadze znacznie szerszą listę substancji niż wynika to z rodzaju skażeń wykrytych lub charakterystycznych dla danego terenu. Powodem zalecaniej ostrożności jest fakt, iż w trakcie oddziaływania procesów naturalnych na zdegradowany teren możliwe jest nadmierne mobilizowanie naturalnie występujących, pozornie nieszkodliwych związków.

Projekty sieci monitoringu oraz analizy danych uzyskane w ramach prac monitoringowych powinny uwzględniać następujące czynniki:

- zagrożenia geogeniczne (np.: nadmierne gromadzenie się glinu w wodach podziemnych z wietrzejących minerałów, głównie skaleni na skutek braku warstwy glebowej i bezpośrednie oddziaływanie kwaśnych opadów atmosferycznych na podłoże geologiczne);
- zjawiska mogące zachodzić w warstwach położonych głębiej i generować zanieczyszczenia;
- zawyżone stężenia substancji na skutek istnienia ogniska zanieczyszczeń w znacznej odległości od obszaru badań;
- nagły spadek stężenia substancji na skutek pojawienia się nowego czynnika antropogenicznego w znacznej odległości od obszaru badań.

Przykład: ognisko zanieczyszczeń – stara hałda, zawierająca zanieczyszczony grunt, emitowała związki organiczne (WWA) identyfikowane w znacznej odległości od jej lokalizacji, z uwagi na występowanie w podłożu słaboprzepuszczalnej warstwy gliny. Po kilku latach obserwacji zarejestrowano w wodach podziemnych wyraźny spadek zawartości WWA, co interpretowano jako pozytywny skutek działania naturalnego samooczyszczania. W niewielkim stopniu obni-

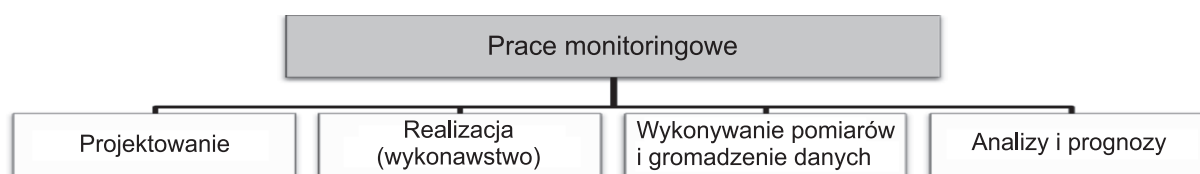


Fig. 8.6. Zakres czynności zalecanych podczas prac monitoringowych

żyło się też zwierciadło wód podziemnych. W wyniku przeprowadzonych analiz okazało się, że przyczyną zmniejszenia się ilości WWA było uruchomienie ujęcia wody, które wpłynęło na zmianę kierunku przepływu wód podziemnych.

Tego rodzaju przykład każe uświadamiać sobie, że program monitoringu terenu zdegradowanego powinien uwzględniać nie tylko skażenia typowo antropogeniczne, ale również powinien kontrolować otoczenie badanego terenu i zmiany dotyczące zagospodarowania w czasie.

Programy monitoringowe są stosowane w celu gromadzenia informacji na temat stanu ilościowego i jakościowego atmosfery, hydrosfery, litosfery oraz rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w czasie i przestrzeni. Monitorowanie określa regularne jakościowe i ilościowe pomiary lub obserwacje zjawisk i obecności np. substancji, przeprowadzane przez określony czas.

Gromadzone dane z sieci monitoringu ułatwiają wybór właściwych działań w przypadku szkodliwego wpływu zanieczyszczeń na życie i mienie człowieka oraz stan środowiska. Pozwalają także na podjęcie działań naprawczych lub usuwanie skutków w już istniejącej sytuacji, np. zagrożenia powodziowego czy ekologicznego.

Generalnie, obowiązują trzy podstawowe zasady prowadzenia monitoringu:

- cykliczność pomiarów,
- unifikacja sprzętu i metodyk wykorzystywanych do pomiarów i obserwacji,
- unifikacja interpretacji wyników.

Zakres prac monitoringowych na terenach zdegradowanych obejmuje następujące etapy (fig. 8.6):

- projektowanie, w tym opracowanie:
 - projektu sieci monitoringu (PSM),
 - programu monitoringu;
- realizacja (wykonawstwo), w tym:
 - zainstalowanie urządzeń do monitoringu powierzchniowego i wglębnego,
 - kontrola wykonanych prac,
 - kontrola zainstalowanych urządzeń;
- pomiary obejmujące, m.in.:
 - pomiary terenowe,
 - automatyczny system gromadzenia danych;
- analizy i prognozy, obejmujące:
 - analizy i oceny danych pomiarowych,
 - prognozy oparte na wynikach analiz i ocen.

9. ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH TERENÓW ZDEGRADOWANYCH PRZEZ OSUWISKA

Badania terenów zdegradowanych przez osuwiska powinny być przeprowadzone zgodnie z ogólnymi zasadami sformułowanymi w rozdziale 8, z uwzględnieniem dodatkowych, niżej przedstawionych zaleceń szczegółowych.

Zakres prac projektowych, badań terenowych, badań geofizycznych i badań laboratoryjnych jest uzależniony od stanu udokumentowania osuwiska, wynikającego z analizy danych archiwalnych.

Niezbędne badania geologiczno-inżynierskie uzupełniające powinny być przedstawione w postaci opracowania projektowanych robót geologicznych.

9.1. ROZPOZNANIE WSTĘPNE

Rozpoznanie wstępne ma decydujący wpływ na ustalenie ilości oraz rodzaju koniecznych do wykonania badań geologiczno-inżynierskich, geofizycznych i innych i przebiega etapami.

9.1.1. Analiza materiałów archiwalnych

Analiza obejmuje materiały archiwalne, takie jak:

- mapy topograficzne, geomorfologiczne, geologiczne, geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne i inne;
- dokumentacje geologiczne, geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne, geotechniczne, ekspertyzy i opinie, katalogi osuwisk, karty otworów geologicznych oraz przekroje;
- wyniki badań geofizycznych – badania te powinny zostać wykonane przed powstaniem opracowania projektowanych robót geologicznych, ponieważ umożliwiają wytypowanie głębszych stref poślizgu;
- dane teledetekcyjne: zdjęcia lotnicze, satelitarne i naziemne;
- inne dane, np. karta ewidencyjna osuwiska, dzienniki obserwacji, dane z SOPO, karta rejestracyjna osuwiska, karta rejestracyjna terenu zagrożonego ruchami masowymi ziemi.

9.1.2. Wizja lokalna terenu

Wizja terenowa powinna być dokonana po wnikliwej analizie materiałów archiwalnych. Jest niezbędna w celu wyjaśnienia problematyki skażeń i rekultywacji badanego terenu oraz ustalenia warunków przeprowadzenia badań terenowych. Podczas wizji lokalnej należy:

- zweryfikować czy dostępne podkłady topograficzne oraz plany geodezyjne są na tyle aktualne i dokładne, aby umożliwić przedstawienie całości terenu, na którym zaprojektowane zostaną badania geologiczne;
- na właściwy podkład topograficzny nanieść:
 - poszczególne formy morfologiczne osuwiska, takie jak: krawędź niszy, koryto, jezior osuwiska a także szczeliny i pofałdowania;
 - elementy hydrograficzne: sączenia, wycieki, źródła, studnie, obszary stagnacji wody, potoki, wody powierzchniowe, maksymalny zasięg wód powodziowych w dolinach;
- przeprowadzić obserwacje szaty roślinnej:
 - występowanie roślinności hydrofilnej, wskazującej strefy sączeń i wypływów wód;
 - „pijany las” czyli przemieszczone drzewa, wskazujące na ruchy osuwiskowe i pełzanie;
 - przemieszczone młode drzewa, krzewy oraz rośliny zielne wskazujące na niedawną aktywność osuwiskową;
 - nieodkształcone drzewa powyżej 25 lat, świadczące o martwych zboczach;
- ocenić stan istniejących obiektów i konstrukcji budowlanych, takich jak: budynki, nawierzchnie drogowe, mosty, przyczółki mostowe, przepusty, studnie, słupy linii telekomunikacyjnych oraz energetycznych (szczeliny, spękania itd.);
- ocenić stan istniejących systemów drenażowych, filtrów oraz innych urządzeń wodnych występujących w strefie i okolicy osuwiska (szczelność, drożność itd.);
- uzupełnić zebrane dotychczas informacje o relacje okolicznej ludności, dotyczące przypuszczalnej genezy, przebiegu, wielkości i stopnia aktywności procesów osuwiskowych;
- porównać własne obserwacje z zebranymi dotychczas materiałami archiwalnymi;
- jeśli wcześniej nie została opracowana Karta Rejestracyjna Osuwiska to należy ją opracować zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (Dz.U. z 2007 r. Nr 121 poz. 840, zał. 2);
- założyć monitoring geodezyjny w miarę potrzeb.

9.2. PROJEKTOWANIE ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Analiza materiałów archiwalnych, informacje uzyskane podczas wizji terenowej oraz wyniki badań geofizycznych i wymagania postawione przez inwestora stanowią podstawę do wykonania opracowania projektowanych robót geologicznych.

Opracowanie projektowanych robót zaleca się wykonać zgodnie z Rozporządzeniem 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. z 2011 r. Nr 288 poz. 1696).

Ustalając harmonogram prac i robót geologicznych trzeba uwzględnić czas niezbędny dla obserwacji osuwiska, który powinien brać pod uwagę okresy, takie jak wiosna – niekorzystna ze względu na roztopy i jesień – niekorzystna ze względu na zwiększoną ilość opadów. Należy również wziąć pod uwagę czas, jaki jest potrzebny na czynności administracyjne.

W opracowaniu projektowanych robót geologicznych należy w zależności od potrzeb i możliwości rozwiązania problemu zaprojektować zakres prac i badań. Podczas planowania wierceń badawczych należy wziąć pod uwagę główną oś osuwiska i przewidywany przebieg przekrojów geologicznych. Zaleca się rozmieszczenie otworów wzdłuż osi osuwiska tak, aby minimum trzy z nich zlokalizowane były powyżej górnej krawędzi osuwiska, trzy w obrębie osuwiska i trzy poniżej dolnej granicy osuwiska. Aby wykonać przekrój geologiczny poprzeczny otwory należy rozmieścić prostopadle do linii otworów w osi, tak aby objąć teren nienaruszony po bokach osuwiska. Otwory na osuwisku powinny być wykonywane do głębokości minimum 3 m poniżej powierzchni poślizgu, a odległość między nimi nie powinna być większa niż 20 m. Dopuszcza się zastąpienie otworów szybkami, bądź wkopami.

W tabeli 9.1 podano zalecany zakres prac i badań dla osuwisk.

9.3. BADANIA TERENOWE

W tabeli 9.2 podano rodzaje badań terenowych zalecanych w celu rozpoznawania osuwisk (Wysokiński, 2011). Tabela została zmodyfikowana przez autorów na potrzeby opracowania.

9.3.1. Prace geodezyjne

Inwentaryzacja geodezyjna obejmuje geodezyjne wytyczenie zasięgu i elementów morfologicznych osuwiska/klifu z naniesieniem ich na mapę sytuacyjno-wysokościową.

9.3.2. Kartowanie geologiczno-inżynierskie

Kartowanie geologiczno-inżynierskie, w przypadku osuwisk obejmuje obserwacje:

- zasięgu osuwiska,
- spadków terenu,

- wód gruntowych,
- przejawów dalszego rozwoju,
- profilowanie odsłoneń,
- pomiary nachylenia warstw (biegu i upadu),
- inwentaryzacja elementów tektoniki (uskoki, nasunięcia itp.),
- inwentaryzacja uszkodzeń budynków i infrastruktury,
- w przypadku klifów nadmorskich: bezpośrednie obserwacje stateczności ogólnej, występowanie procesów osuwiskowych, obserwację ewentualnych przyczyn degradacji (abrazja, infiltracja wód opadowych), profilowanie odsłoneń itp.

9.3.3. Wiercenia badawcze

Przy projektowaniu wierceń należy odpowiednio dobrać techniki wiercenia do warunków istniejących na osuwisku. Technologia wiercenia powinna zostać odpowiednio dobrana do rodzaju gruntów lub skał oraz warunków hydrogeologicznych. Zaleca się:

- w skałach i zwietrzelinach gruzowych projektować wiercenia rdzeniowane, a w przypadku gruntów i zwietrzelin gliniastych wiercenia rdzeniowane na sucho (bez używania płuczki);
- w celu oceny warunków hydrogeologicznych wykonać część otworów rurowanych;
- na obszarze kolumium wiercenia wykonać tylko wtedy, gdy jest to możliwe, nie zagraża zdrowiu i życiu osób wykonujących badania i jest zgodne z zasadami BHP. Jeżeli ze względów bezpieczeństwa nie ma możliwości wykonania wierceń na kolumium, można zastąpić je szurfami, wykopami lub badaniami geofizycznymi.

Wiercenia służą rozpoznaniu budowy geologicznej, wydzieleniu warstw litologicznych, a także pobraniu próbek gruntów i skał oraz identyfikacji powierzchni poślizgu. Podczas wykonywania wierceń obserwuje się ponadto wszelkie przejawy występowania wód gruntowych, ustala poziomy piezometryczne wody gruntowej, pobiera próbki wody do badań laboratoryjnych. Wiercenia wykorzystuje się również do przeprowadzenia sondowań w otworze, a także do zainstalowania urządzeń pomiarowych.

Wiercenia wykonywane są w przekrojach prostopadłych do osuwiska, przynajmniej trzy otwory na przekrój (u podnóża, na zboczu i w koronie osuwiska), z poborem próbek klasy 3 do określenia cech fizycznych i klasy 1 do określenia parametrów mechanicznych. Na obszarze kolumium, jeśli jest możliwe, zaleca się wykonywanie otworów z rdzeniowaniem ciągłym (podwójną rdzeniówką) do głębokości przynajmniej 3 m poniżej powierzchni poślizgu. Wiercenia można wykorzystać do instalacji urządzeń monitoringowych (piezometrów, kolumn inklinometrycznych).

9.3.4. Pobieranie próbek gruntów, skał i wody

Próbki gruntu i skał powinny być pobierane z każdej warstwy różniącej się litologią i konsystencją, nie rzadziej niż co 1 m. Miejsca poboru próbek metodą A powinny

Tabela 9.1

Zalecany zakres prac i badań dla osuwisk

Czynnik	Minimalny zakres prac w zależności od kierunku rekultywacji		Uwagi
	specjalny (budowlany)	leśny	
Lokalizacja i liczba przekrojów geologiczno-inżynierskich równoległych do osi osuwiska	1 przekrój w osi osuwiska, 2 przekroje równoległe do osi osuwiska (dla osuwisk szerszych niż 70 m)	1 przekrój w osi osuwiska	liczba przekrojów zależy od szerokości i powierzchni osuwiska; dla osuwisk o powierzchni większej od 1000 m ² liczbę przekrojów należy odpowiednio zwiększyć
Lokalizacja i liczba otworów badawczych	3 otwory w przekroju równoległym do osi osuwiska: 1 otwór powyżej górnej krawędzi osuwiska, 1 otwór poniżej dolnej granicy osuwiska, 1 otwór w koluwium	3 otwory w przekroju równoległym do osi osuwiska: 1 otwór powyżej górnej krawędzi osuwiska, 1 otwór poniżej dolnej granicy osuwiska, 1 otwór w koluwium	liczba otworów zależy od powierzchni osuwiska; dla osuwisk o powierzchni większej od 1000 m ² liczbę otworów należy odpowiednio zwiększyć
Odległość pomiędzy otworami badawczymi	maks. 25 m	maks. 25 m	odległość między otworami może ulec zwiększeniu lub zmniejszeniu; zmianę odległości należy uzasadnić
Głębokość otworów badawczych	3 m poniżej strefy poślizgu	3 m poniżej strefy poślizgu	
Pobór próbek gruntów i skał do oznaczeń makroskopowych	co 1 m lub co zmianę litologii i konsystencji	co 1 m lub co zmianę litologii i konsystencji	
Pobór próbek gruntów i skał do badań fizycznych	5 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	w uzasadnionych przypadkach	liczba próbek zależy od powierzchni osuwiska; dla osuwisk o powierzchni większej od 1000 m ² liczbę próbek należy odpowiednio zwiększyć
Pobór próbek gruntów i skał do badań wytrzymałościowych	liczba próbek powinna umożliwić wykonanie 3 oznaczeń (serii badań) parametrów wytrzymałościowych dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej (seria = minimum 3 badania przy naprężeniach normalnych)	w uzasadnionych przypadkach	liczba próbek zależy od powierzchni osuwiska; dla osuwisk o powierzchni większej od 1000 m ² liczbę próbek należy odpowiednio zwiększyć
Sondowania	3 sondowania w przekroju równoległym do osi osuwiska: 1 sondowanie powyżej górnej krawędzi osuwiska, 1 sondowanie poniżej dolnej granicy osuwiska, 1 sondowanie w koluwium	w uzasadnionych przypadkach	liczba sondowań zależy od powierzchni osuwiska; dla osuwisk o powierzchni większej od 1000 m ² liczbę sondowań należy odpowiednio zwiększyć
Badania geofizyczne	2 przekroje: 1 przekrój geofizyczny równoległy do osi osuwiska, 1 przekrój geofizyczny prostopadły do osi osuwiska, przechodzący przez niszę osuwiska	w uzasadnionych przypadkach	
Uwagi ogólne: Otwory oraz sondowania w niszy osuwiska i na terenie jezora osuwiska wykonuje się tylko wtedy, gdy jest to możliwe i zgodne z zasadami BHP. Jeżeli ze względów bezpieczeństwa nie ma możliwości wykonania wierceń na koluwium, można zastąpić je szurfami, wykopami lub badaniami geofizycznymi			

uwzględniać dane z wcześniej wykonanych sondowań, tak aby umożliwiły uchwycenie powierzchni poślizgu oraz charakterystykę wszystkich wydzielonych warstw geologiczno-inżynierskich. Próbkę powinny być pobierane zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1997-2:2009. Dodatkowo należy pobrać próbki wody gruntowej do analiz laboratoryjnych, z zachowaniem naturalnego składu chemicznego.

9.3.5. Sondowania

Sondowania stanowią podstawowe źródło informacji o parametrach mechanicznych i fizycznych gruntów budujących teren osuwiska. Umożliwiają rozpoznanie położenia miejsc o najniższej wytrzymałości, tym samym dostarczają danych o położeniu możliwych stref poślizgu. Sondowania

Tabela 9.2

Rodzaje badań terenowych zalecanych w celu rozpoznawania osuwisk (Wysokiński, 2011, zmodyfikowana)

Rodzaj badania	Grunt			
	zwietrzelinowy	skalisty	drobnoziarnisty (spoisty)	gruboziarnisty (niespoisty)
Badania geofizyczne	+	+	+/-	-
Wiercenia rdzeniowe (ciągły rdzeń)	+	+	+/- bez płuczki	+/- bez płuczki
Wiercenia rurowane (poziomy sąceń, próbki)	+/-	-	+	+
Wiercenia świdrem spiralnym	-	n.d.	-	-
Szurfy i doły próbne, szybiki (szczelinowatość, bloczność)	+/-	+	+/-	+/-
Sondowania CPTU/CPT	+/-	n.d.	+	+/-
Sondowania DP	-	n.d.	-	+
Sondowania DMT, FDT	+/-	+/-	+/-	-
Presjometr PMT	+/-	+/-	+/-	+/-
Sondowania FVT	+/-	n.d.	+	-

+ zalecane, - nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby, n.d. - nie dotyczy

często poprzedzają wiercenia, gdyż wyniki badań pomagają wytypować miejsca poboru próbek o nienaruszonej strukturze do badań laboratoryjnych. W przypadku dokumentowania terenów osuwiskowych najbardziej przydatnymi sondowaniami (ze względu na określenie powierzchni poślizgu) są:

- sondowania CPTU/CPT,
- sondowania DP,
- sondowania DMT,
- presjometr PMT,
- sondowania FVT.

Sondowania wykonywane są w przekroju równoległym do osi osuwiska, jako uzupełnienie wierceń, na przykład: CPU/CPT do oceny zasięgu koluwium i uzyskania parametrów dla oceny stateczności lub zaprojektowania zabezpieczenia, FVT do oceny parametrów wytrzymałościowych.

9.3.6. Wykopy badawcze

Tego typu prace dają najlepszy wgląd w warunki grunto-wo-wodne, pozwalają na uzyskanie dokładnych informacji o litologii, układzie warstw, przebiegu i wielkości ewentualnych szczelin i powierzchni zluźnień. Należy jednak pamiętać, że są to odsłonięcia punktowe, a przy dużej zmienności budowy podłoża w strefach osuwiskowych mogą się okazać pomocne jedynie jako uzupełnienie podstawowych badań (wiercenia i sondowania), również ze względu na dużo dłuższy czas i trudność ich wykonania. Przy wykonywaniu wkopów i szybków należy położyć szczególny nacisk na bezpieczeństwo prowadzenia robót, ze względu na zwiększone ryzyko gwałtownego osunięcia się gruntu do wkopu. Wkopy mogą być jedyną formą rozpoznania miąższości i struktury koluwium oraz pobrania próbek gruntów do badań.

9.3.7. Badania geofizyczne

Wiercenia, sondowania i wykopy badawcze dostarczają podstawowych danych o budowie osuwiska. Badania geofizyczne wykonuje się w celu:

- uszczegółowienia danych z wierceń i sondowań,
- prawidłowej interpretacji budowy geologicznej pomiędzy wykonanymi punktami badawczymi,
- określenia zasięgu koluwium, zespołów litologicznych, stopnia zwietrzenia, miąższości zwietrzliny itp.

Najbardziej przydatnymi metodami są: tomografia elektrooporowa, profilowanie georadarowe, sejsmika.

Badania geofizyczne zaleca się podawać w 2 etapach: na etapie rozpoznania wstępnego przed wierceniami i sondowaniami, równoległe do projektowanych przebiegów przekrojów geologiczno-inżynierskich oraz po wykonaniu wierceń i sondowań w celu uszczegółowienia modelu budowy geologicznej.

9.4. BADANIA LABORATORYJNE

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych podano w tabeli 9.3.

9.5. SIEĆ MONITORINGU

W ramach prac terenowych na osuwiskach i w ich sąsiedztwie wykonuje się instalacje do celów monitoringu, powierzchniowe lub wglębne w celu monitorowania ruchów osuwiska, metodami geodezyjnymi lub teledetekcyjnymi.

Repery należy rozmieścić w siatce ustalonej każdorazowo dla monitorowanego obiektu, dodatkowo należy wy-

Tabela 9.3

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych dla osuwisk (Wysokiński, 2011 zmodyfikowana)

Rodzaj badania	Grunt				Minimalny wymagany rodzaj próbki wg PN-EN-1997-2:2009	Minimalna liczba próbek do przebadania w pojedynczej warstwie gruntu
	zwietrzelinowy	skalisty	drobnoziarnisty (spoisty)	gruboziarnisty (niespoisty)		
Wilgotność	+	+/-	+	+	3 klasa jakości, B/3	5
Gęstość objętościowa	+	+	+	+	2 klasa jakości, A/2	3
Rozkład uziarnienia	+/-	n.d.	+	+	4 klasa jakości, B/4	5
Granice konsystencji	+/-	n.d.	+	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość części organicznych	+/-	-	+/-	+/-	4 klasa jakości, B/4	3
Ścisłość edometryczna	+/-	n.d.	+/-	+/-	1 klasa jakości, A/1	3
Wytrzymałość na ściskanie (Rc) i rozciąganie (Rr)	+/-	+	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3 (Rc), 3(Rr)
Parametry wytrzymałościowe	+/-	n.d.	+	+/-	1 klasa jakości, A/1	liczba próbek zależy od metody badania, np. dla badań w aparacie trójosiowego ściskania: 9 próbek (3 serie 3 badań przy różnych naprężeniach normalnych)
Pęcznienie	+/-	+/-	+/-	-	1 klasa jakości, A/1	3

+ zalecane, - nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby, n.d. - nie dotyczy

znaczyć punkty odniesienia położone poza obszarem strefy osuwiskowej.

Pomiary inklinometryczne (fig. 9.1) przeprowadza się w kolumnach inklinometrycznych wykonanych tak, aby dno znajdowało się min. 2 m poniżej powierzchni poślizgu. Kolumnę należy zorientować tak, aby jedna z płaszczyzn rowków pomiarowych do sondy inklinometrycznej odpowiadała kierunkowi przemieszczania się koluwium (druga, analogicznie jest prostopadła).

Piezometry, służące do pomiarów hydrogeologicznych, powinny być instalowane w parach z kolumnami inklinometrycznymi.

9.6. MAPY I PRZEKROJE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Ocena geologiczno-inżynierska obszarów przekształconych w wyniku naturalnych procesów geologicznych, w praktyce dotyczy głównie terenów powstałych osuwisk lub występowania przejawów świadczących o możliwości ich wystąpienia (pełzania, erozji itp). Dotyczy to zarówno obszaru Karpat (flisz karpacki) i Sudetów (flisz karboński), jak również dolin rzecznych oraz klifów nadmorskich. Analizowany obszar powinien obejmować zarówno teren samego osuwiska (analiza lokalna), jak również wstępnie określony obszar struktury geologicznej, w obrębie której osuwisko powstało (analiza globalna). Obszar ten należy określić na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych i wizji lokalnej.

W przypadku terenów osuwiskowych, spośród koniecznych do opracowania map tematycznych (oprócz dokumentacyjnej), należy wymienić:

- mapę geologiczną (litologiczną);
- mapę tektoniczną, z zaznaczeniem biegu i upadu warstw;
- mapę spadków terenu;
- mapę zasięgu osuwiska, w tym jego elementów morfologicznych (na podstawie inwentaryzacji geodezyjnej), wraz z zaznaczeniem terenów predysponowanych do wystąpienia powierzchniowych ruchów masowych;
- mapę wód powierzchniowych (z uwzględnieniem cieków powierzchniowych, wysięków, podcięć erozyjnych).

Poza mapami tematycznymi w zależności od potrzeb można opracować, m.in.: mapę ekspozycji stoków, mapę użytkowania terenu i mapę pokrycia roślinnością.

Mapa wynikowa (geologiczno-inżynierska) powinna być syntetycznym zestawieniem map tematycznych, z ograniczoną waloryzacją, czyli powinna przedstawiać wszystkie istotne dla zaprojektowania zabezpieczenia i rekultywacji terenu elementy (tereny predysponowane, zasięg osuwiska, spadki terenu, przejawy wód gruntowych, istniejąca infrastruktura itp.). Opracowaniom kartograficznym powinny towarzyszyć przekroje geologiczno-inżynierskie, wykonane wzdłuż oraz prostopadłe do struktury osuwiskowej. Na przekrojach, oprócz warstw geologiczno-inżynierskich z przypi-

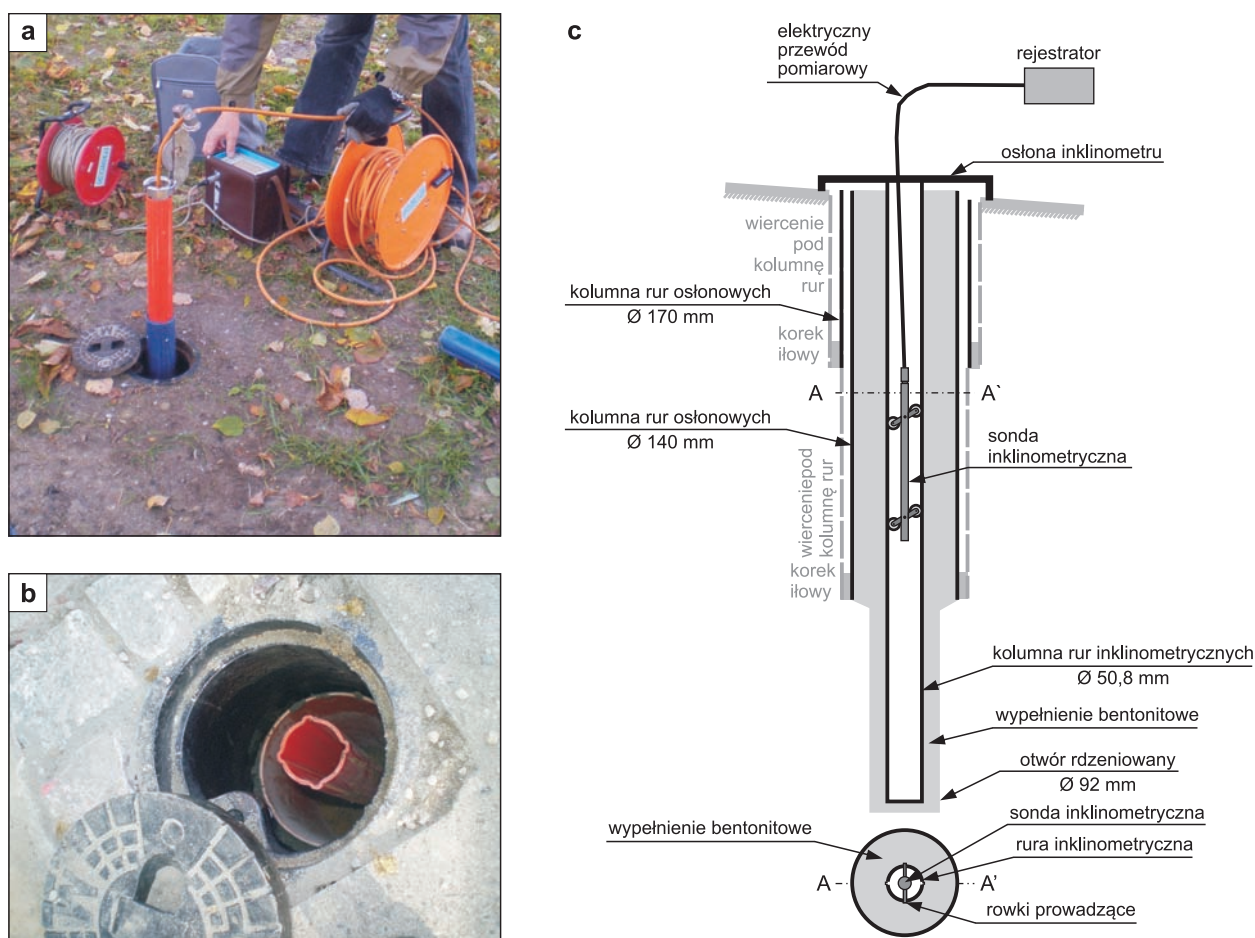


Fig. 9.1. Pomiary inklinometryczne

a – pomiary sondą inklinometryczną, **b** – przykład zabezpieczenia kolumny inklinometrycznej w warunkach miejskich, **c** – schemat konstrukcji inklinometru

sanymi wartościami parametrów fizyczno-mechanicznych, należy nanieść elementy morfologiczne osuwiska. W przypadku występowania skał litych należy uwzględnić również nachylenie warstw i elementy tektoniki (uskoki, nasunięcia itp.).

Przykład mapy geologiczno-inżynierskiej opracowanej dla powstałego w Karpatach osuwiska, wraz z przekrojem geologiczno-inżynierskim, przedstawiono na figurze 9.2 i 9.3.

9.7. DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Przed rozpoczęciem robót i prac geologicznych w rejonie zdegradowanego procesami osuwiskowymi terenie należy wykonać mapę sytuacyjno-wysokościową, w skali dostosowanej do rozmiaru i zasięgu osuwiska oraz stopnia złożoności budowy geologicznej. Zwykle jest to skala 1:500.

W efekcie wykonanych prac: wizji terenowej, badań terenowych, laboratoryjnych, obliczeń dla terenów zdegradowanych procesami osuwiskowymi należy wykonać tekstowe i graficzne opracowanie wyników badań geologiczno-inżynierskich, które powinno ocenić możliwości właściwego

zrekultywowania terenu poprzez odpowiednie zaprojektowanie zabezpieczenia osuwiska.

Mapę sytuacyjno-wysokościową należy uzupełnić o dane geologiczno-inżynierskie uzyskane z badań terenowych i laboratoryjnych. Zakres badań przedstawiono poniżej.

Wynikiem przeprowadzonych prac i badań powinno być opracowanie geologiczno-inżynierskie. Oprócz ogólnych zaleceń znajdujących się w paragrafie 18 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714) część opisowa opracowania, w zależności od potrzeb, powinna zawierać:

- informacje o sposobie użytkowania i stanie zagospodarowania terenu w otoczeniu osuwiska z uwzględnieniem obciążeń dodatkowych (nasypy, zwały, budowle), podcięć lub innych;
- ocenę dotychczas wykonanych prac i badań dla terenu osuwiska;
- rejestr uszkodzeń i zniszczeń obiektów budowlanych i elementów środowiska zlokalizowanych na osuwisku i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;

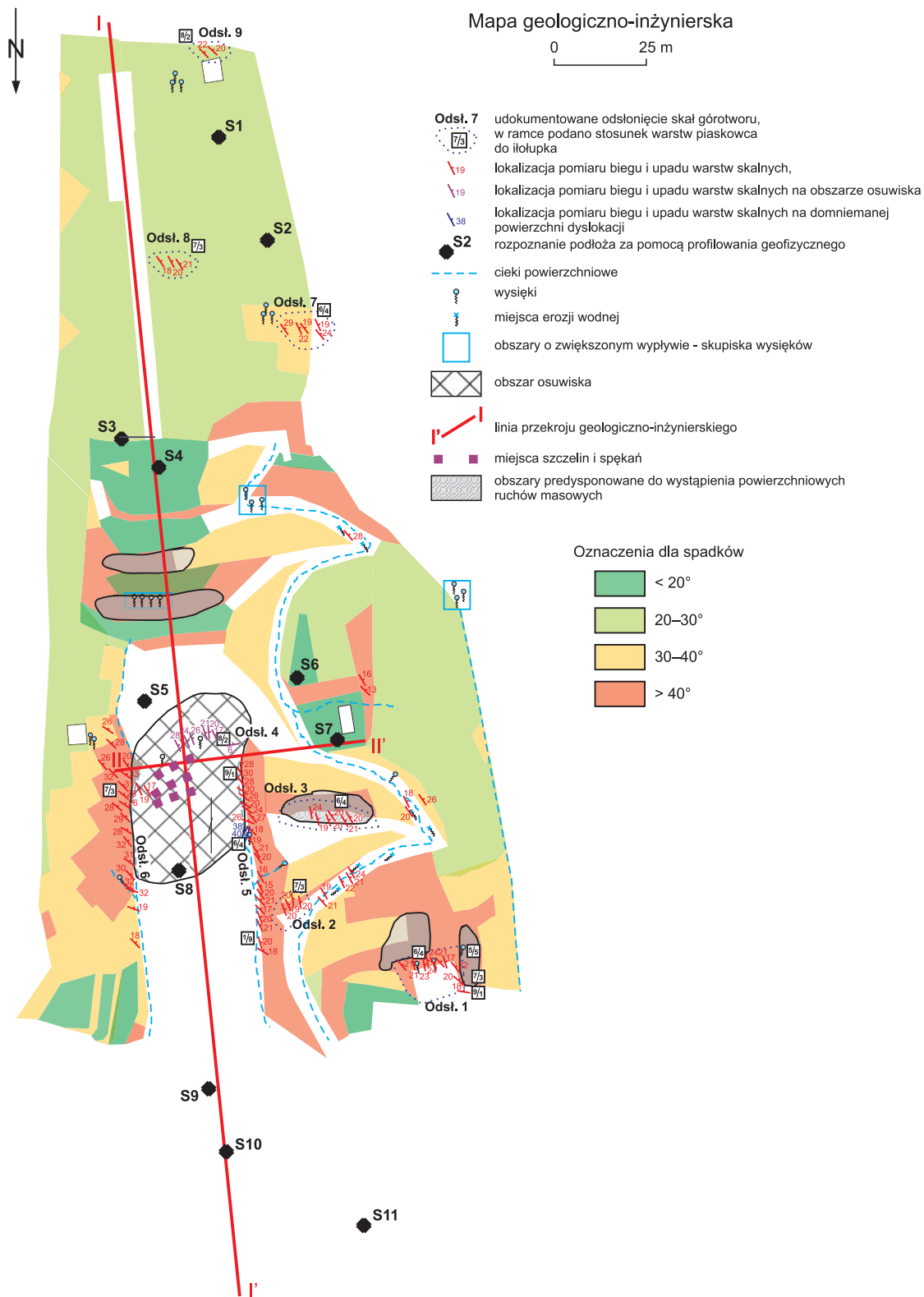


Fig. 9.2. Przykład mapy geologiczno-inżynierskiej obszaru osuwiska (Wysokiński i in., 2007)

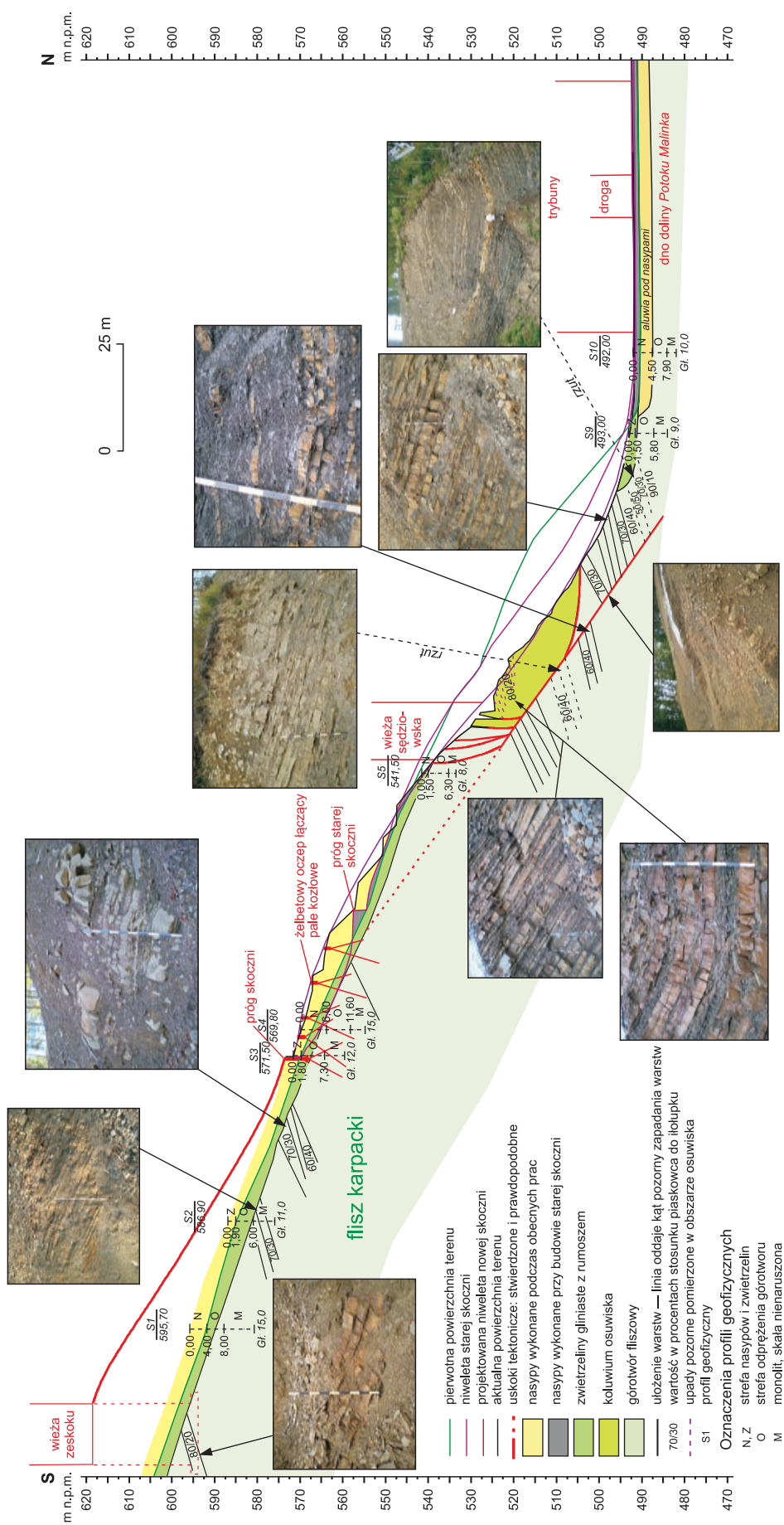


Fig. 9.3. Przykład przekroju geologiczno-inżynierskiego dla obszaru osuwiska w Karpatach (Wysokiński i in., 2007)

- opis procesów geodynamicznych i antropogenicznych występujących na terenie osuwiska i w jego bezpośrednim sąsiedztwie wraz z oceną wpływu na rozwój procesów osuwiskowych;
 - omówienie morfologii terenu, sieci hydrograficznej i dotychczas wykonanych badań w rejonie osuwiska, z naniesieniem na mapę w odpowiedniej skali;
 - model budowy geologicznej i opis warunków hydrogeologicznych na obszarze osuwiska i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
 - kartowanie geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne na obszarze osuwiska i w jego bezpośrednim sąsiedztwie wraz ze szkicem osuwiskowych form morfologicznych, z podaniem wymiarów;
 - dokumentację wyrobisk badawczych i obserwacji terenowych;
 - klasyfikację typu formy osuwiskowej wraz z opisem procesu osuwiskowego;
 - ocenę aktywności procesów osuwiskowych na obszarze ich wystąpienia i na terenach przyległych z charakterystyką faz rozwoju osuwiska;
 - omówienie przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych i parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów i skał;
 - ustalenie położenia pierwszego poziomu wód podziemnych, amplitudy wahań i położenia maksymalnego poziomu zwierciadła wody podziemnej na podstawie badań, wywiadu terenowego, analizy materiałów archiwalnych i innych danych;
 - charakterystykę agresywności wód podziemnych w stosunku do materiałów konstrukcyjnych;
 - analizę wyników badań geofizycznych;
 - charakterystykę wydzielonych na potrzeby sporządzenia opracowania zespołów gruntów i skał (serii litologiczno-genetycznych) wraz z oceną właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał tworzących te zespoły na potrzeby oceny obliczeń stateczności zbocza/skarpy;
 - obliczenia i ocena stateczności zbocza/skarpy;
 - kryteria doboru metod obliczeniowych stateczności zbocza/skarpy;
 - ocenę możliwości zabezpieczenia zbocza/skarpy wraz ze wskazaniem kierunków doraźnego i docelowego zabezpieczenia obszaru objętego procesami osuwiskowymi;
 - propozycje zagospodarowania terenu przekształconego procesami osuwiskowymi, przy uwzględnieniu wysokości i kąta nachylenia zbocza/skarpy;
 - rodzaj zagrożeń geologicznych na etapie wykonywania prac zabezpieczających oraz w przypadku awarii;
 - ocenę ryzyka geologicznego (prawdopodobieństwa) wystąpienia dalszych procesów osuwiskowych na dokumentowanym terenie;
 - zalecenia do prowadzenia monitoringu obszaru objętego procesami osuwiskowymi, i w uzasadnionych przypadkach terenów sąsiednich, ze wskazaniem lokalizacji urządzeń pomiarowych.
- Część graficzna opracowania geologiczno-inżynierskiego, w zależności od potrzeb, powinna zawierać:
- mapę przeglądową w skali 1:25 000 lub mniejszej, z lokalizacją dokumentowanego terenu;
 - mapę dokumentacyjną z lokalizacją formy osuwiskowej;
 - mapę geologiczno-inżynierską obszaru osuwiska w skali 1:500–1:5000, wraz z zaznaczeniem osuwiskowych form morfologicznych i ich wymiarów;
 - przekroje geologiczno-inżynierskie;
 - przekroje modelowe obliczeń stateczności zbocza/skarpy;
 - przekroje geofizyczne.
- Dodatkowe zalecenia odnośnie do badań geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych w wyniku procesów naturalnych zawiera opracowanie pt: Zasady sporządzenia dokumentacji geologiczno-inżynierskich (Bażyński i in., 1999) oraz Instrukcja opracowania mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi (Grabowski i in., 2008).

10. ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH TERENÓW ZDEGRADOWANYCH PRZEZ PROCESY EROZJI NA OBSZARACH WYSTĘPOWANIA LESSÓW I GRUNTÓW LESSOPODOBNYCH

Lessy są gruntami, które charakteryzuje wysoka wrażliwość na działanie wody, skłonność do utraty wytrzymałości, tiksotropii, sufozji i erozji oraz osiadania zapadowego, wywołanego działaniem wody. W przypadku gdy chcemy wykorzystać zdegradowany teren na potrzeby posadawiania obiektów, należy zabezpieczyć podłoże lessowe przed wpływem wód opadowych, gruntowych oraz przemysłowych.

Badania powinny być przeprowadzone etapowo, zgodnie z ogólnymi zasadami sformułowanymi w rozdziale 8, z uwzględnieniem dodatkowych, niżej przedstawionych zaleceń szczegółowych.

10.1. KARTOWANIE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Kartowanie geologiczno-inżynierskie należy wykonać w skali maksymalnie 1:25 000. Przy opracowaniu wyników prac kartograficznych należy uwzględnić:

- strefy erozji,
- intensywność zjawisk erozji,
- strefy napływu wód powierzchniowych i infiltracji,
- rodzaj i rozmiar występujących form erozyjnych.

Należy również szczegółowo scharakteryzować występujące wąwozy (kubatura, ilość wyniesionego materiału w czasie, stadium rozwoju, profil dna, stateczność zboczy) oraz wyżłobienia. Bardzo istotne jest, aby rozpoznać lessy na: lessy aluwialne (dolinne), soliflukcyjne (deluwialne, zboczowe), lessy piaszczyste, lessy gliniaste, lessy typowe. Podział ten ma na celu ułatwienie przeprowadzenia rejonizacji lessów skłonnych do deformacji filtracyjnych. Bardzo istotne na terenach lessowych jest rozpoznanie warunków wodnych, ponieważ wody gruntowe mogą wpływać na zmianę właściwości fizyczno-mechanicznych lessów. W trakcie prac kartograficznych konieczne jest rozpoznanie hydrograficzne terenu.

10.2. PROJEKTOWANIE ROBÓT GEOLOGICZNYCH

W zależności od wielkości i rodzaju zagospodarowania danego terenu, np. pod budownictwo, należy zaprojektować liczbę otworów badawczych. Zaleca się, aby lokalizacja otworów była projektowana według regularnej siatki prostokątnej lub kwadratowej, w której odległość między otworami nie przekroczy 50–500 m, w zależności od celu prac.

Próbki do badań laboratoryjnych lessów należy pobierać do ich spągu. Zaleca się pobierać jak największą liczbę próbek o nienaruszonej strukturze z każdego wydzielonego typu lessu.

W trakcie prowadzonych prac należy identyfikować wszystkie przejawy wód podziemnych (występowanie poziomów wodonośnych w spągu lessów lub występowanie cienkich warstw nawodnionych piasków w obrębie lessów). Jest to ważne ze względu na możliwość kapilarnego podnoszenia się wody, co będzie miało negatywny wpływ na właściwości wytrzymałościowe lessów. W celu określenia zasięgu oddziaływania poziomów wodonośnych powinno się określić laboratoryjnie zdolność kapilarnego podnoszenia się wody w lessach.

W celu określenia właściwości fizyczno-mechanicznych lessów należy zaprojektować odpowiednią liczbę i rodzaj sondowań. Do określenia parametrów geotechnicznych lessów zaleca się stosować sondowania CPTU/CPT, DP, FVT oraz DMT.

Należy zaprojektować i wykonać badania współczynnika filtracji w terenie (na różnych głębokościach) oraz porównać je z wynikami badań w laboratorium. Badanie to pozwoli na ocenę zdolności filtracyjnych lessów. W zależności od potrzeb należy zaprojektować dodatkowe badania, takie jak: próbne obciążenia, badanie struktury lessów, a także badania właściwości fizyczno-mechanicznych w różnych warunkach.

Przy określaniu liczby punktów dokumentacyjnych oraz ich głębokości należy uwzględniać zalecenia podane w tabeli 10.1.

10.3. BADANIA TERENOWE

Zakres i metodyka terenowych badań geologiczno-inżynierskich obszarów, na których występują lessy nie powinna odbiegać od przyjętych zasad i metodyk ich prowadzenia na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. Na tych obszarach, oprócz wyżej opisanego kartowania geologiczno-inżynierskiego, zakres badań terenowych powinien obejmować:

- **wiercenia** rurowane lub rdzeniowane na sucho oraz pobór próbek gruntu i wody do badań laboratoryjnych. Podczas wykonywania wierceń obserwuje się ponadto wszelkie przejawy występowania wód gruntowych, ustala poziomy piezometryczne wody gruntowej;

Tabela 10.1

Zalecany zakres prac i badań dla terenów, na których występują lessy

Czynnik	Minimalny zakres prac w zależności od kierunku rekultywacji		Uwagi
	specjalny (budowlany)	leśny i rolny	
Odległość pomiędzy otworami badawczymi	50–100	100–500	odległość między otworami zależy od kierunku rekultywacji i sposobu zagospodarowania; wybór odległości między otworami należy uzasadnić
Głębokość otworów badawczych	6 m	3 m	głębokość rozpoznania zależy od kierunku rekultywacji i sposobu zagospodarowania
Pobór próbek gruntów do oznaczeń makroskopowych	co 1 m lub co zmianę litologii	co 1 m lub co zmianę litologii	
Pobór próbek gruntów do badań fizycznych	5 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	w uzasadnionych przypadkach	
Pobór próbek gruntów do badań mechanicznych	liczba próbek zależy od rodzaju zaprojektowanych badań mechanicznych oraz sposobu zagospodarowania terenu	w uzasadnionych przypadkach	
Sondowania	min. 30% liczby otworów badawczych; dodatkowe sondowania w miejscach problematycznych	w uzasadnionych przypadkach	wybór miejsc sondowań należy uzasadnić

- **pobieranie próbek gruntów** i wody. Próbkę gruntów powinny być pobierane z każdej warstwy różniącej się litologią, nie rzadziej niż co 1 m. Próbkę powinny być pobierane zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1997-2:2009. Dodatkowo należy pobrać próbki wody gruntowej do analiz laboratoryjnych z zachowaniem naturalnego składu chemicznego;
- **sondowania** dynamiczne lub statyczne, sondy krzyżakowe, zwłaszcza przy ocenie wytrzymałości lub osiadań;
- **polowe badania filtracji**, w celu określenia przepuszczalności gruntów.

10.4. BADANIA LABORATORYJNE

Podstawowe badania wykonywane na próbkach lessów to: wilgotność, zapadowość, rozkład uziarnienia, granice konsystencji, zawartość węglanów, przepuszczalność. Dodatkowo możemy wykonać następujące badania laboratoryjne: gęstość objętościową, gęstość właściwą szkieletu gruntowego, porowatość, ściśliwość edometryczną, wytrzymałość na ścinanie bez odpływu, wytrzymałość na ścisnienie i ścinanie.

Wyniki badań powinny umożliwić ocenę właściwości fizyczno-mechanicznych wydzielonych typów lessu. Należy zwrócić uwagę, że najbardziej skłonne do osiadania są lessy, które nie zostały objęte wtórnymi procesami geochemicznymi, czyli aluwialne, deluwialne i lessy typowe. Bardziej odporne na działanie wody są lessy gliniaste i piaszczyste. Próbkę pobrane do oznaczenia właściwości fizyczno-mechanicznych należy badać w całości, aby jak najdokładniej scharakteryzować geologiczno-inżynierskie właściwości lessów.

Badania zaleca się wykonywać zgodnie z procedurami podanymi w krajowych i zagranicznych normach.

Powyższe parametry powinny być określone dla wszystkich warstw geologiczno-inżynierskich w podłożu. Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych podano w tabeli 10.2.

10.5. DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

W efekcie wizji terenowej, badań terenowych i laboratoryjnych należy wykonać opracowanie geologiczno-inżynierskie, które powinno ocenić możliwości właściwego zagospodarowania terenów, na których występują lessy.

Część opisowa opracowania, oprócz ogólnych zaleceń znajdujących się § 18 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714), powinna zawierać:

- informacje o sposobie użytkowania i stanie zagospodarowania terenu;
- ocenę dotychczas wykonanych prac i badań;
- rejestr uszkodzeń i zniszczeń obiektów budowlanych i elementów środowiska zlokalizowanych na terenie zdegradowanym i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
- opis procesów geodynamicznych i antropogenicznych występujących na dokumentowanym terenie;
- omówienie morfologii terenu, sieci hydrograficznej z naniesieniem na mapę w odpowiedniej skali;
- model budowy geologicznej i opis warunków hydrogeologicznych na dokumentowanym terenie i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
- omówienie przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych dla określenia warunków geologicz-

Tabela 10.2

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych w zależności od typu lessu

Rodzaj badania	Lessy			Minimalny wymagany rodzaj próbki wg PN-EN-1997-2:2009	Minimalna liczba próbek do przebadania w pojedynczej warstwie gruntu
	aluwialne (dolinne)	soliflukcyjne (zboczowe)	typowe (wysoczyznowe)		
Wilgotność	+	+	+	3 klasa jakości, B/3	5
Rozkład uziarnienia	+	+	+	4 klasa jakości, B/4	5
Granice konsystencji	+	+	+	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość węglanów	+	+	+	4 klasa jakości, B/4	3
Gęstość objętościowa	+/-	+/-	+/-	2 klasa jakości, A/2	3
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego	+/-	+/-	+/-	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość części organicznych	+	+/-	-	4 klasa jakości, B/4	3
Porowatość	+/-	+/-	+/-	1 klasa jakości, A/1	3
Ścisłość edometryczna	+	+	+/-	1 klasa jakości, A/1	3
Osiadanie zapadowe	-	-	+	1 klasa jakości, A/1	3
Parametry wytrzymałościowe	+/-	+/-	+	1 klasa jakości, A/1	liczba próbek zależy od metody badania, np. dla badań w aparacie trójosiowego ściskania: 9 próbek (3 serie 3 badań przy różnych naprężeniach normalnych)

+ zalecane, - nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby

no-inżynierskich, hydrogeologicznych i parametrów fizyczno-mechanicznych lessów;

- ustalenie położenia wszystkich poziomów wód podziemnych, sąceń, amplitudy wahań i położenia maksymalnego poziomu zwierciadła wody podziemnej na podstawie badań, wywiadu terenowego, analizy materiałów archiwalnych i innych danych;
- charakterystykę wydzielonych na potrzeby sporządzenia opracowania zespołów gruntów i skał (serii litologiczno-genetycznych) wraz z oceną właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał tworzących te zespoły;
- propozycje zagospodarowania terenu, na którym występują lessy;
- rodzaj zagrożeń geologicznych na etapie zagospodarowania oraz w przypadku awarii;
- ocenę ryzyka geologicznego (prawdopodobieństwa)

wystąpienia niekorzystnych zjawisk i procesów geologicznych i antropogenicznych na dokumentowanym terenie;

- zalecenia do prowadzenia monitoringu i w uzasadnionych przypadkach terenów sąsiednich, ze wskazaniem lokalizacji urządzeń pomiarowych.

Część graficzna opracowania powinna zawierać:

- mapę przeglądową w skali 1:25 000 lub mniejszej, z lokalizacją dokumentowanego terenu;
- mapę dokumentacyjną z lokalizacją terenu zdegradowanego;
- mapę miąższości lessów,
- mapę głębokości do poziomów wody gruntowej,
- mapę warunków geologiczno-inżynierskich z nanieśionymi wszystkimi formami morfologicznymi i zjawami erozji,
- przekroje geologiczno-inżynierskie.

11. ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA TERENACH ZDEGRADOWANYCH PRZEZ KRAS

Poza obszarami osuwisk, szczegółowej oceny warunków geologiczno-inżynierskich wymagają obszary krasowe oraz obszary intensywnej erozji i abrazji. W Polsce występowanie zjawisk krasowych dotyczy głównie skał wapiennych, margli i gipsów. Intensywna erozja dotyczy głównie dolin rzecznych, a procesy abrazji związane są z wybrzeżem morskim.

Na terenach objętych zjawiskami krasowymi występują skomplikowane warunki geologiczno-inżynierskie (ze względu na specyficzne cechy i rozwój form krasowych). Badania na tych terenach wymagają etapowości. Rozpoznanie terenu zdegradowanego przez kras tylko na podstawie wierceń jest niewystarczające. Zagęszczanie otworów nie zwiększa dokładności rozpoznania terenu ze względu na występowanie nagłych i często dużych form krasowych.

Zakres prac projektowych, badań terenowych, badań geofizycznych i badań laboratoryjnych jest uzależniony od stanu udokumentowania wynikającego z analizy danych archiwalnych. Niezbędne badania powinny być przedstawione w postaci opracowania projektowanych robót geologicznych.

Badania powinny być przeprowadzone zgodnie z ogólnymi zasadami sformułowanymi w rozdziale 4, z uwzględnieniem dodatkowych, niżej przedstawionych zaleceń szczegółowych.

Proponuje się projektować i wykonywać badania geologiczno-inżynierskie w trzech etapach.

11.1. ROZPOZNANIE WSTĘPNE. KARTOWANIE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Kartowanie geologiczno-inżynierskie należy wykonać w skali 1:25 000 lub większej. Przy opracowaniu wyników prac kartograficznych należy uwzględnić:

- stopień rozwinięcia krasu,
- intensywność zjawisk krasowych,
- rodzaj i rozmiar występujących form krasowych.

W tym celu wymagane są dokładne obserwacje w terenie:

- zidentyfikowanie powierzchniowych form krasowych, takich jak: leje, doliny, odsłonięcia itp.,
- rozpoznanie form krasowych występujących pod powierzchnią terenu.

Rozpoznanie form krasowych pod powierzchnią terenu nie jest łatwe. W tym celu należy zastosować metody geofi-

zyczne, np. elektrooporowe, które umożliwiają rozpoznanie rzeźby stropu skał, stref z miększą pokrywą zwietrzelinową, płytkie występowanie słupów i strefę przejściową.

Po dokonaniu wstępnego rozpoznania metodami geofizycznymi wykonuje się prace wiertnicze w celu dokładniejszego rozpoznania wydzielonych stref. Ze względu na skomplikowane warunki geologiczno-inżynierskie na terenach krasowych planowany zakres badań jest dość szeroki. Otwory badawcze powinny być wykonane do stropu skały, często nawet do głębokości 2–5 m w skałę, gdy spodziewamy się płytko występujących jaskiń. Liczbę otworów należy ustalić indywidualnie, dla każdego wydzielonego obszaru. W przypadku, gdy teren rozpoznano w stopniu pozwalającym na wydzielenie pewnej regularności w ukształtowaniu stropu skał, wówczas otwory badawcze należy zaprojektować, aby dokładnie rozpoznać budowę podłoża. Podczas projektowania lokalizacji otworów badawczych nie należy trzymać się dokładnie schematu siatki. Odległość między projektowanymi otworami badawczymi nie powinna być większa niż 200–300 m, zaleca się natomiast zagęszczenie otworów.

Bardzo istotne na terenach krasowych jest rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, które pozwala na ocenę możliwości rozwoju zjawisk krasowych, odwodnienia terenu, a także filtracji gruntów.

11.2. ETAP PODSTAWOWY

W kolejnym etapie należy rozszerzyć zakres badań. Zaleca się, aby w zależności od potrzeb: zagęścić liczbę otworów badawczych, wykonać dodatkowo badania, np.: sondowania (min. 30% liczby wierceń), próbną pompowania, próbną obciążenia czy próbną stabilizację (np. iniekcję). Dodatkowo należy pobrać dużą liczbę próbek gruntów i skał w celu oznaczenia właściwości fizyczno-mechanicznych.

11.3. ETAP SZCZEGÓŁOWY

W tym etapie zaleca się bardzo dokładne zagęszczenie otworów badawczych (po kilkanaście pod każdy obiekt) i sondowań (minimum 50% liczby wierceń). W przypadku gdy morfologia stropu skał jest silnie zróżnicowana i strop występuje płytko pod powierzchnią terenu, wówczas należy otwory rozmieścić w odległości 5–10 m.

Podczas wierceń należy pobrać próbki gruntu i skał w celu zbadania właściwości fizyczno-mechanicznych.

11.4. ZALECENIA DO PROJEKTOWANIA I WYKONYWANIA BADAŃ TERENOWYCH

Badania terenowe na obszarach krasowych stanowią duży problem. Z badań wynika (Waltham, Fookes, 2005), że aby z 90% prawdopodobieństwem zinwentaryzować jedną pustkę krasową o średnicy 2,5 m, w masywie skalnym należałoby wykonać 2500 wierceń na hektar! Dlatego też duże zastosowanie w przypadku obszarów krasowych mają badania geofizyczne. Obszary krasowe są szczególnie niebezpieczne dla budownictwa liniowego i kubaturowego i wymagają szczegółowego rozpoznania. Na obszarach krasowych zaleca się rozpoznanie do głębokości przynajmniej 5 m poniżej poziomu posadowienia/podstawy pała w celu potwierdzenia ciągłości ośrodka skalnego. Na obszarach krasowych zakres badań terenowych powinien obejmować:

- **kartowanie geologiczno-inżynierskie**, obejmujące bezpośrednią obserwację powierzchniowych form krasowych, ucieczek wód itp.;
- **badania geofizyczne** (w szczególności mikrograwimetria, tomografia elektrooporowa, georadar) w celu zinwentaryzowania podziemnych form krasowych, ich połączeń, sposobu wypełnienia itp.;
- **wiercenia kontrolne**, wykonywane w celu weryfikacji badań geofizycznych w miejscach stwierdzonych anomalii geofizycznych.

Przy określaniu liczby punktów dokumentacyjnych oraz ich głębokości należy uwzględnić zalecenia podane w tabeli 11.1.

11.5. BADANIA LABORATORYJNE

Podstawowe badania wykonywane na próbkach pobranych z podłoża terenu, na którym występuje kras to: wilgotność, rozkład uziarnienia, granice konsystencji, zawartość węglanów, przepuszczalność. Jeśli wynika to ze sposobu zagospodarowania terenu zdegradowanego, dodatkowo możemy wykonać oznaczenia: gęstości objętościowej, gęstości właściwej szkieletu gruntowego, stopnia zagęszczenia, ścisłości edometrycznej, wytrzymałości na ścinanie bez odpływu, wytrzymałości na ściskanie i ścinanie.

Badania zaleca się wykonywać zgodnie z procedurami podanymi w krajowych i zagranicznych normach.

Powyższe parametry powinny być określone dla wszystkich warstw geologiczno-inżynierskich w podłożu. Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych podano w tabeli 11.2.

11.6. MAPY I PRZEKROJE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

W przypadku obszarów krasowych zilustrowania w formie opracowań kartograficznych wymagają następujące zagadnienia (Bażyński i in., 1999):

- zasięg występowania form krasowych i charakter ich wypełnienia,
- strop i spąg skał podatnych na występowanie zjawisk krasowych,
- kierunki rozwoju form krasowych,
- wodochłonność górotworu (istotne w przypadku budownictwa hydrotechnicznego).

Tabela 11.1

Zalecany zakres prac i badań dla terenów, na których występuje kras

Czynnik	Minimalny zakres prac w zależności od kierunku rekultywacji		Uwagi
	wodny i specjalny (budowlany)	leśny i rolny	
Badania geofizyczne	wykonane w siatce o wymiarach: 200/200 m – etap wstępny; 100/100 m – etap podstawowy; 25/25 m – etap szczegółowy	w uzasadnionych przypadkach	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	100–500 m	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 w skałę, np. w przypadku płytko występujących jaskiń	3 m	głębokość rozpoznania zależy od morfologii stropu skał, płytko występujących jaskiń, kierunku rekultywacji i sposobu zagospodarowania
Sondowania	ustalany indywidualnie	w uzasadnionych przypadkach	w uzasadnionych przypadkach
Pobór próbek gruntów i skał do oznaczeń makroskopowych	co 1 m lub co zmianę litologii	co 1 m lub co zmianę litologii	
Pobór próbek gruntów i skał do badań fizycznych	5 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	w uzasadnionych przypadkach	
Pobór próbek gruntów i skał do badań mechanicznych	liczba próbek zależy od rodzaju zaprojektowanych badań mechanicznych oraz sposobu zagospodarowania terenu	w uzasadnionych przypadkach	

Tabela 11.2

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych dla terenów, na których występuje kras

Rodzaj badania	Grunt		Minimalny wymagany rodzaj próbki wg PN-EN-1997-2:2009	Minimalna liczba próbek do przebadania w pojedynczej warstwie gruntu
	zwietrzelinowy	skalisty		
Wilgotność	+	+	3 klasa jakości, B/3	5
Gęstość objętościowa	+/-	+/-	2 klasa jakości, A/2	3
Rozkład uziarnienia	+	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Granice konsystencji	+/-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość węglanów	+	+	4 klasa jakości, B/4	3
Ścisłość edometryczna	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Wytrzymałość na ściskanie (Rc) i rozciąganie (Rr)	+/-	+	1 klasa jakości, A/1	3 (Rc), 3 (Rr)
Parametry wytrzymałościowe	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	liczba próbek zależy od metody badania, np. dla badań w aparacie trójosiowego ściskania: 9 próbek (3 serie 3 badań przy różnych naprężeniach normalnych)
Przepuszczalność	+/-	+/-	2 klasa jakości, A/2	3
Pęcznienie	+/-	+/-	kategorii A	3

+ zalecane, – nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby, n.d. nie dotyczy

11.7. DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

W efekcie wykonanych prac – wizji terenowej, badań terenowych i laboratoryjnych, należy wykonać opracowanie geologiczno-inżynierskie, które powinno ocenić przydatność terenu, na którym występuje kras do wskazanego sposobu zagospodarowania.

Część opisowa opracowania, oprócz ogólnych zaleceń znajdujących się § 18 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714), powinna zawierać:

- informacje o sposobie użytkowania i stanie zagospodarowania terenu;
- ocenę dotychczas wykonanych prac i badań;
- rejestr uszkodzeń i zniszczeń obiektów budowlanych i elementów środowiska zlokalizowanych na terenie, na którym występuje kras i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
- opis procesów geodynamicznych i antropogenicznych występujących na dokumentowanym terenie;
- omówienie morfologii terenu, sieci hydrograficznej z naniesieniem na mapę w odpowiedniej skali;
- model budowy geologicznej i opis warunków hydrogeologicznych na terenie zdegradowanym i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
- omówienie przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych i parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów i skał;
- ustalenie położenia poziomów wód podziemnych, amplitudy wahań i położenia maksymalnego poziomu zwierciadła wody podziemnej na podstawie badań, wywiadu terenowego, analizy materiałów archiwalnych i innych danych;
- analizę wyników badań geofizycznych;
- szczegółowo omówić istniejące formy krasowe wraz z ich genezą i intensywnością występujących procesów krasowych;
- analizę możliwości dalszego rozwoju krasu;
- charakterystykę wydzielonych na potrzeby sporządzenia opracowania zespołów gruntów i skał (serii litologiczno-genetycznych) wraz z oceną właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał tworzących te zespoły;
- propozycje zagospodarowania terenu;
- rodzaj zagrożeń geologicznych na etapie wykonywania prac;
- ocenę ryzyka geologicznego (prawdopodobieństwa) wystąpienia dalszych, niekorzystnych zjawisk i procesów geologicznych i antropogenicznych na dokumentowanym terenie;
- problematykę dotyczącą posadowienia obiektów;
- miejsca, w których należy poprawić warunki posadowienia i zabezpieczenia budowli,
- problematykę stabilizacji podłoża i odwodnienia terenu;
- uwagi dotyczące warunków posadowienia oraz zalecenia do zabezpieczenia podłoża i budowli przed szkodliwymi czynnikami naturalnymi, jak i antropogenicznymi;

- zalecenia do prowadzenia monitoringu i w uzasadnionych przypadkach terenów sąsiednich ze wskazaniem lokalizacji urządzeń pomiarowych.

Część graficzna opracowania powinna zawierać:

- mapę przeglądową w skali 1:25 000 lub mniejszej, z lokalizacją dokumentowanego terenu;
- mapę dokumentacyjną z lokalizacją terenu badań;
- mapę głębokości do zwierciadła wody gruntowej, z prognozą;
- mapę warunków geologiczno-inżynierskich;
- mapę stropu skał;
- mapę występowania jaskiń;
- przekroje geologiczno-inżynierskie; podczas tworzenia przekrojów geologiczno-inżynierskich należy uwzględnić charakter morfologii stropu skał, miąższość, wykształcenie i klasyfikację pokrywy zwietrzelinowej;
- przekroje geofizyczne.

Dodatkowe zalecenia odnośnie do badań geologiczno-inżynierskich na terenach objętych procesami krasu zawiera opracowanie pt: Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich (Bażyński i in., 1999).

12. ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA TERENACH ZDEGRADOWANYCH PRZEZ POWODZIE I PODTOPIENIA

Badania powinny być przeprowadzone zgodnie z ogólnymi zasadami sformułowanymi w rozdziale 8, z uwzględnieniem dodatkowych, niżej przedstawionych zaleceń szczegółowych.

12.1. ROZPOZNANIE WSTĘPNE

Zakres rozpoznania wstępnego dla terenów zdegradowanych został opisany w rozdziale 8. Poniżej podano wybrane informacje dodatkowe, które należy wziąć pod uwagę przy dokumentowaniu tego typu terenów zdegradowanych.

12.1.1. Analiza materiałów archiwalnych

W ramach analizy materiałów archiwalnych, oprócz wymienionych w rozdziale 8, należy zebrać i przeanalizować, m.in.:

- dane historyczne odnośnie do powodzi i podtopień;
- „Mapę obszarów zagrożonych podtopieniami w Polsce”, w skali 1:50 000 (Nowicki, red., 2007);
- dane archiwalne posiadane przez IMGW;
- dane zgromadzone w Informatycznym systemie osłony kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK):
 - wstępna ocena ryzyka powodziowego dla Polski
 - mapy zagrożeń powodziowych w skali 1:10 000:
 - mapy zagrożenia powodziowego,
 - mapy ryzyka powodziowego,
 - mapy zagrożeń meteorologicznych,
 - mapy innych zagrożeń,
 - georeferencyjna baza danych obiektów topograficznych (GBDOT),
 - numeryczny model rzeźby i pokrycia terenu (NMT);
- studia ochrony przeciwpowodziowej wykonane przez RZGW;
- strategię ochrony brzegów morskich;
- mapy obszarów szkód górniczych;
- plany zagospodarowania przestrzennego;
- plany ochrony infrastruktury krytycznej;
- analizy wpływu urządzeń wodnych na bezpieczeństwo powodziowe;
- informacje o obszarach wydzielonych na podstawie analizy geomorfologicznej.

12.1.2. Wizja lokalna terenu

Wizja terenowa powinna zostać dokonana po analizie materiałów archiwalnych, zwłaszcza dotyczących zasięgu powodzi, terenów zagrożonych podtopieniami oraz informacji na temat procesów i zjawisk antropogenicznych występujących na danym terenie, przed i po powodzi.

Podczas wizji lokalnej na terenach zdegradowanych przez powódź i podtopienia należy przeprowadzić, m.in. następujące obserwacje:

- zmiany przebiegu koryta rzeki,
- miejsca uruchomienia procesów zboczowych,
- miejsca naniesionych i wymytych osadów rzecznych,
- miejsca naniesionych drzew, krzewów oraz innej roślinności, a także pozostałych szczątków organicznych,
- uszkodzeń infrastruktury i mienia ludzkiego,
- obszarów zniszczonej gleby,
- ujęć wód podziemnych, które mogły ulec zanieczyszczeniu poprzez zalanie zanieczyszczonymi wodami,
- miejsc zniszczenia walorów krajobrazowych, przyrodniczych i rolniczych.

12.2. PROJEKTOWANIE ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Analiza materiałów archiwalnych oraz informacje uzyskane podczas wizji terenowej stanowią podstawę do wykonania opracowania projektowanych robót geologicznych. Opracowanie projektowanych robót zaleca się wykonać zgodnie z Rozporządzeniem 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. z 2011 r. Nr 288 poz. 1696).

W opracowaniu projektowym należy odpowiednio zaprojektować zakres prac i badań.

Podczas planowania wierceń badawczych należy wziąć pod uwagę, np.:

- wielkość powierzchni terenu, który został zdegradowany przez powódź lub podtopienia;
- czynniki, które spowodowały degradację terenu;
- możliwe skażenie środowiska – rodzaj substancji.

Przy określaniu liczby punktów dokumentacyjnych oraz ich głębokości należy uwzględnić zalecenia podane w tabeli 12.1.

Tabela 12.1

Zalecany zakres prac i badań dla terenów zdegradowanych przez powódzie lub podtopienia

Czynnik	Minimalny zakres prac w zależności od kierunku rekultywacji		Uwagi
	leśny i rolny	specjalny (budowlany)	
Odległość pomiędzy otworami badawczymi	100–500	20–100	odległość między otworami zależy od kierunku rekultywacji i sposobu zagospodarowania; wybór odległości między otworami należy uzasadnić
Głębokość otworów badawczych	3 m	2–5 m poniżej poziomu posadowienia	głębokość rozpoznania zależy od kierunku rekultywacji, sposobu zagospodarowania oraz głębokości skażenia
Pobór próbek gruntów do oznaczeń makroskopowych	co 1 m lub co zmianę litologii	co 1 m lub co zmianę litologii i wilgotności	
Pobór próbek gruntów do badań fizycznych	w uzasadnionym przypadku	5 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	
Pobór próbek gruntów do badań mechanicznych	w uzasadnionym przypadku	liczba próbek zależy od rodzaju zaprojektowanych badań mechanicznych oraz sposobu zagospodarowania terenu	
Sondowania	w uzasadnionym przypadku	30–50% liczby otworów badawczych; dodatkowe sondowania w miejscach problematycznych	
Pobór próbek gruntów do badań środowiskowych	co 0,5 m	co 0,5 m	liczba próbek zależy od głębokości i rodzaju skażenia
Badania geofizyczne	zalecane badania konduktometryczne i elektrooporowe	zalecane badania konduktometryczne i elektrooporowe	

12.3. BADANIA TERENOWE

Zakres i metodyka terenowych badań geologiczno-inżynierskich terenu zdegradowanego przez powódź i/lub podtopienia nie powinna odbiegać od przyjętych zasad i metod ich prowadzenia na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. Na obszarach popowodziowych zakres badań terenowych powinien obejmować:

- **kartowanie geologiczno-inżynierskie i wizję terenową**, obejmujące w szczególności bezpośrednie obserwacje zasięgu maksymalnego stanu wód, obserwacje uszkodzeń obiektów budowlanych, infrastruktury i budowli wodnych, inwentaryzację urządzeń i infrastruktury melioracyjnej;
- **badania geofizyczne**, wykonuje się w celu uszczegółowienia danych z wierceń i sondowań, określenia zasięgu gruntów nawodnionych oraz poziomu występowania zwierciadła wody podziemnej;
- **wiercenia**, zwłaszcza płytkie wiercenia penetracyjne z pomiarem zwierciadła wody i poborem próbek gruntu, wody i gleby do badań laboratoryjnych. Podczas wykonywania wierceń obserwuje się ponadto wszelkie przejawy występowania wód gruntowych, ustala poziomy piezometryczne wody gruntowej;
- **pobieranie próbek gruntów**, skał i wody. Próbki gruntu i skał powinny być pobierane z każdej warstwy różniącej się litologią i wilgotnością, nie rzadziej

niż co 1 m. Próbki powinny być pobierane zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1997-2:2009. Dodatkowo należy pobrać próbki wody gruntowej do analiz laboratoryjnych z zachowaniem naturalnego składu chemicznego;

- **sondowania**, głównie sondy krzyżakowe, dynamiczne lub statyczne, zwłaszcza przy ocenie wytrzymałości lub osiadań;
- **polowe badania filtracji**, w celu określenia przepuszczalności gruntów.

Przy doborze metody badawczej i zakresu prac terenowych na obszarach objętych powodzią, należy uwzględnić, że będą one w dużej mierze dotyczyły gruntów/osadów niezagęszczonych, mokrych oraz w stanie plastycznym i płynnym, a być może także zanieczyszczonych/skażonych. Jeśli wstępne rozpoznanie i kartowanie terenu wykaże, że doszło lub mogło dojść w wyniku zalewu czy podtopienia do nadzwyczajnego skażenia terenu, należy uwzględnić ewentualną konieczność wykonania badań chemicznych i środowiskowych gruntu i wody (rozdział 7).

12.4. BADANIA LABORATORYJNE

Podstawowe badania wykonywane na próbkach gruntu pobranych z podłoża terenu zdegradowanego to: wilgotność, rozkład uziarnienia, granice konsystencji, zawartość części organicznych, zawartość węglanów, przepuszczal-

Tabela 12.2

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych dla terenów zdegradowanych przez powódzie i podtopienia

Rodzaj badania	Grunt				Minimalny wymagany rodzaj próbki wg PN-EN-1997-2:2009	Minimalna liczba próbek do przebadania w pojedynczej warstwie gruntu
	zwietrzelinowy	skalisty	drobnoziarnisty (spoisty)	gruboziarnisty (niespoisty)		
Wilgotność	+	+/-	+	+	3 klasa jakości, B/3	5
Rozkład uziarnienia	+/-	n.d.	+	+	4 klasa jakości, B/4	3
Granice konsystencji	+/-	n.d.	+	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość części organicznych	+/-	-	+/-	+/-	4 klasa jakości, B/4	3
Przepuszczalność	+/-	+/-	+/-	+/-	2 klasa jakości, A/2	3
Gęstość objętościowa	+/-	+/-	+/-	+/-	2 klasa jakości, A/2	3
Wytrzymałość na ściskanie (Rc) i rozciąganie (Rr)	+/-	+	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3 (Rc), 3(Rr)
Parametry wytrzymałościowe	+/-	n.d.	+	+/-	1 klasa jakości, A/1	liczba próbek zależy od metody badania, np. dla badań w aparacie trójosiowego ściskania: 9 próbek (3 serie 3 badań przy różnych naprężeniach normalnych)
Ścisliwość edometryczna	+/-	n.d.	+/-	+/-	1 klasa jakości, A/1	3

+ zalecane, - nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby, n.d. nie dotyczy

ność. Jeśli wynika to ze sposobu zagospodarowania terenu zdegradowanego, dodatkowo możemy wykonać: gęstość objętościową, gęstość właściwą szkieletu gruntowego, stopień zagęszczenia, ściśliwość edometryczną, wytrzymałość na ścinanie bez odpływu, wytrzymałość na ściskanie i ścinanie.

Badania zaleca się wykonywać zgodnie z procedurami podanymi w krajowych i zagranicznych normach.

Powyższe parametry powinny być określone dla wszystkich warstw geologiczno-inżynierskich w podłożu. Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych podano w tabeli 12.2.

12.5. MAPY I PRZEKROJE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Zasady tworzenia map i przekrojów geologiczno-inżynierskich dla terenów zdegradowanych przez powódź i podtopienia odpowiadają przyjętym zasadom i metodyce ich tworzenia na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. Minimalna najdokładniejsza skala tych prac powinna być dostosowana do wymogów zamawiającego i wykonawcy prac rekultywacyjnych i spełniać przynajmniej wymagania wykonywania map warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb planowania przestrzennego (1:10 000).

Specyfika degradacji w wyniku powodzi i/lub podtopienia wraz z najczęstszymi metodami rekultywacji terenu, wymaga na mapach dotychczasowych warunków geologicz-

no-inżynierskich uwzględniania (w zależności od potrzeb, zgodnie z opracowaniem projektowanych robót geologicznych i wynikami prac dokumentacyjnych):

- miąższości naniesionych osadów;
- zasięgu zdegradowanego terenu na badanym obszarze;
- rodzaju oraz stanu osadów naniesionych (w cięciu dostosowanym do stwierdzonej miąższości);
- głębokości gruntu zdegradowanego/skażonego (w profilu pionowym), poziomu rozmycia;
- zasięgu skażenia, jeśli ono występuje;
- głębokości do zwierciadła wody gruntowej według stanu po procesie degradacji, z prognozą na okres prowadzenia prac rekultywacyjnych;
- mapy warunków geologiczno-inżynierskich dla prowadzenia prac rekultywacyjnych.

Przy sporządzaniu map należy uwzględnić zmienioną topografię terenu popowodziowego. Na mapach geologiczno-inżynierskich, szczególnie dla planowania przestrzennego, należy zamieszczać jak najdokładniej zasięgi wystąpienia powodzi/podtopień na badanym obszarze. Należy również zamieszczać zasięgi wyznaczonych urzędowo stref zalewów wodami o różnym prawdopodobieństwie wystąpienia oraz zasięgi podtopień. Jest to istotne dla podejmowania przyszłych decyzji planistycznych na tym terenie. Należy wykorzystać dane Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej (RZGW), które wyznaczają dla dolin rzecznych właściwe strefy zalewów na podstawie szczegółowych prac mode-

lowych. Są to mapy o dużej dokładności w formie danych przestrzennych – GIS. RZGW mogą udostępnić takie dane na wniosek, zwłaszcza samorządu, który zleca przeprowadzenie prac rekultywacyjnych i wprowadzenie stosownych zmian do miejscowego planu. Często zasięgi wody, np. stuletniej, są już wprowadzone do miejscowych planów. Ważnym zadaniem dla geologa inżynierskiego jest wprowadzenie na mapy najbardziej aktualnych stref.

Przekroje geologiczno-inżynierskie dla terenów zdegradowanych przez powódź i podtopienia, powinny być wykonywane zgodnie z przyjętymi zasadami i metodyką ich tworzenia na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego.

Ponadto należy uwzględnić:

- miąższość oraz rodzaj i stan naniesionych osadów,
- głębokość stwierdzonych zmian w profilu pionowym gleby i gruntu,
- położenie zwierciadła wód gruntowych z okresu badań wraz z prognozą jego stanu na czas planowanych prac rekultywacyjnych,
- aktualną morfologię zdegradowanego terenu wraz z projektowaną morfologią terenu po jego rekultywacji,
- stwierdzone skażenia gruntu w profilach pionowych,
- zasięgi poziome znanych zalewów wodami powierzchniowymi, jak i podtopieniami.

12.6. DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

W efekcie wykonanych prac: wizji terenowej, badań terenowych i laboratoryjnych należy wykonać opracowanie geologiczno-inżynierskie, które powinno ocenić możliwości właściwego zrekultywowania terenu zdegradowanego przez powódzie i podtopienia poprzez odpowiednie zagospodarowanie.

Część opisowa opracowania, oprócz ogólnych zaleceń znajdujących się § 18 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714), powinna zawierać:

- informacje o sposobie użytkowania i stanie zagospodarowania terenu;
- ocenę dotychczas wykonanych prac i badań;
- rejestr uszkodzeń i zniszczeń obiektów budowlanych i elementów środowiska zlokalizowanych na terenie zdegradowanym i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
- opis procesów geodynamicznych i antropogenicznych występujących na dokumentowanym terenie;
- omówienie morfologii terenu, sieci hydrograficznej z naniesieniem na mapę w odpowiedniej skali;

- model budowy geologicznej i opis warunków hydrogeologicznych na terenie zdegradowanym i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
- omówienie przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych i parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów i skał;
- ustalenie położenia pierwszego poziomu wód podziemnych, amplitudy wahań i położenia maksymalnego poziomu zwierciadła wody podziemnej na podstawie badań, wywiadu terenowego, analizy materiałów archiwalnych i innych danych;
- charakterystykę geochemiczną gruntów i wód podziemnych;
- analizę wyników badań geofizycznych;
- charakterystykę wydzielonych na potrzeby sporządzenia opracowania zespołów gruntów i skał (serii litologiczno-genetycznych) wraz z oceną właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał, tworzących te zespoły;
- propozycje zagospodarowania terenu przekształconego przez powódź lub podtopienia;
- rodzaj zagrożeń geologicznych na etapie wykonywania prac rekultywacyjnych oraz w przypadku awarii;
- ocenę ryzyka geologicznego (prawdopodobieństwa) wystąpienia dalszych niekorzystnych zjawisk i procesów geologicznych i antropogenicznych na dokumentowanym terenie;
- zalecenia do prowadzenia monitoringu i w uzasadnionych przypadkach terenów sąsiednich ze wskazaniem lokalizacji urządzeń pomiarowych.

Część graficzna opracowania powinna zawierać:

- mapę przeglądową w skali 1:25 000 lub mniejszej, z lokalizacją dokumentowanego terenu;
- mapę dokumentacyjną z lokalizacją terenu zdegradowanego;
- mapę obszaru powodzi lub podtopień w skali 1:500–1:5000 wraz z zaznaczeniem form morfologicznych;
- mapę miąższości, rodzaju oraz stanu naniesionych osadów;
- mapę miąższości lub głębokości zalegania gruntu zdegradowanego/skażonego (w profilu pionowym);
- mapę głębokości do zwierciadła wody gruntowej wg stanu po procesie degradacji z prognozą na okres prowadzenia prac rekultywacyjnych;
- mapę warunków geologiczno-inżynierskich dla prowadzenia prac rekultywacyjnych;
- przekroje geologiczno-inżynierskie;
- przekroje geofizyczne;
- przekroje geochemiczne.

13. ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA TERENACH ZDEGRADOWANYCH PRZEZ PRZEMYSŁ

Obszary zdegradowane przez oddziaływania przemysłu charakteryzuje przede wszystkim znaczny udział w podłożu gruntów przeobrażonych antropogenicznie, bardzo zróżnicowanych pod względem składu, właściwości fizycznych i mechanicznych, a także chemicznych. Dlatego też metodykę badań terenowych należy każdorazowo dobierać do analizowanego przypadku. Przy doborze metody badawczej i zakresu badań terenowych należy uwzględnić następujące czynniki:

- rodzaj gruntów antropogenicznych:
 - grupa I – grunty powstałe w wyniku niszczenia pierwotnej struktury skał lub gruntów i powtórne go ich zdeponowania: zwałowiska, hałdy, nasypy z makroniwelacji itp;
 - grupa II – odpady stałe technologiczne w produkcji przemysłowej, np. popioły, osady poflotacyjne, a także inne toksyczne, w tym szczególnie niebezpieczne;
 - grupa III – odpady bytowe, rolnicze, budowlane, np. materiał z wysypisk komunalnych, osady z oczyszczalni ścieków, gruzy budowlane;
- kierunek rekultywacji (składowanie, kierunek budowlany, powtórne wykorzystanie, np. jako materiał konstrukcyjny).

Badania powinny być przeprowadzone zgodnie z ogólnymi zasadami sformułowanymi w rozdziale 8, z uwzględnieniem dodatkowych, niżej przedstawionych zaleceń szczegółowych.

Zakres prac projektowych, badań terenowych, badań geofizycznych i badań laboratoryjnych jest uzależniony od stanu udokumentowania wynikającego z analizy danych archiwalnych.

Niezbędne badania uzupełniające powinny być przedstawione w postaci opracowania projektowanych robót geologicznych.

13.1. ROZPOZNANIE WSTĘPNE

Rozpoznanie wstępne ma decydujący wpływ na ustalenie ilości oraz rodzaju koniecznych badań geologiczno-inżynierskich, geofizycznych i innych.

13.2. PROJEKTOWANIE ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Analiza materiałów archiwalnych, informacje uzyskane podczas wizji terenowej oraz wyniki badań geofizycznych i wymagania postawione przez inwestora stanowią podsta-

wę do wykonania opracowania projektowanych robót geologicznych. Opracowanie projektowanych robót zaleca się wykonać zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. z 2011 r. Nr 288 poz. 1696).

W opracowaniu projektowym należy odpowiednio zaprojektować zakres prac i badań.

W tabeli 13.1 podano zalecany zakres prac i badań dla terenów zdegradowanych przez przemysł.

13.3. BADANIA TERENOWE

Zakres i metodyka terenowych badań geologiczno-inżynierskich obszarów zdegradowanych przez przemysł nie powinna odbiegać od przyjętych zasad i metodyk ich prowadzenia na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. Na tych obszarach, oprócz kartowania geologiczno-inżynierskiego, zakres badań terenowych powinien obejmować:

- **wiercenia** rurowane lub rdzeniowane na sucho z poborem próbek gruntu i wody do badań laboratoryjnych. Podczas wykonywania wierceń obserwuje się ponadto wszelkie przejawy występowania wód gruntowych, ustala poziomy piezometryczne wody gruntowej;
- **pobieranie próbek gruntów** i wody. Próbkę gruntów powinny być pobierane z każdej warstwy różniącej się litologią, nie rzadziej niż co 1 m. Próbkę powinny być pobierane zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1997-2:2009. Dodatkowo należy pobrać próbki wody gruntowej do analiz laboratoryjnych z zachowaniem naturalnego składu chemicznego;
- **sondowania** dynamiczne lub statyczne, sondy krzyżakowe, zwłaszcza przy ocenie wytrzymałości lub osiadań;
- **badania środowiskowe**, w celu określenia zasięgu skażenia gruntów i wód podziemnych.

Zaleca się w przypadku gruntów antropogenicznych, każdorazowo określić lub zweryfikować stosowane związki korelacyjne do oceny parametrów geotechnicznych na podstawie zaprojektowanego systemu **węzłów badawczych** (kilka metod badawczych w jednym punkcie, w połączeniu z wierceniem i poborem próbek odpowiedniej klasy do badań laboratoryjnych w celu uzyskania wiarygodnych związków korelacyjnych). Na obszarach występowania gruntów

Tabela 13.1
Zalecany zakres prac i badań dla terenów zdegradowanych przez przemysł

Czynnik	Minimalny zakres prac w zależności od kierunku rekultywacji				Uwagi
	leśny	rolny	specjalny	wodny	
Odległość między otworami badawczymi	200–500	100–200	20–100	20–200	wykonać w przypadku niewystarczającego rozpoznania udokumentowanego w materiałach archiwalnych; liczba wiercen uzupełniających powinna być uzależniona od planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich; wybór odległości między otworami należy uzasadnić
Głębokość otworów badawczych	1 m poniżej strefy przekształceń antropogenicznych	1 m poniżej strefy przekształceń antropogenicznych	2–5 m poniżej poziomu posadowienia i/lub 1 m poniżej strefy przekształceń antropogenicznych	2–5 m w warstwę nieprzepuszczalną i/lub 1,5–3,0 × H (H – wysokość piętrzenia)	głębokość rozpoznania zależy od stopnia przekształceń powierzchniowych, od planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich
Sondowania	w uzasadnionych przypadkach	w uzasadnionych przypadkach	10–50% liczby otworów badawczych	50% liczby otworów badawczych	wykonać w przypadku niewystarczającego rozpoznania udokumentowanego w materiałach archiwalnych; liczba sondowań uzupełniających powinna być uzależniona od planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich; wybór odległości między otworami należy uzasadnić
Pobór próbek gruntów i skał do oznaczeń makroskopowych	co 1 m lub co zmianę litologii	co 1 m lub co zmianę litologii	co 1 m lub co zmianę litologii i konsystencji	co 1 m lub co zmianę litologii i konsystencji	
Pobór próbek gruntów i skał do badań fizycznych	w uzasadnionych przypadkach	w uzasadnionych przypadkach	5 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	5 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	
Pobór próbek gruntów i skał do badań mechanicznych	w uzasadnionych przypadkach	w uzasadnionych przypadkach	min. 9 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	min. 9 próbek dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	liczba próbek zależy od rodzaju zaprojektowanych badań mechanicznych oraz sposobu zagospodarowania terenu
Pobór próbek gruntów, skał i wody do badań środowiskowych	co 0,5 m	co 0,5 m	co 0,5 m	co 0,5 m	liczba próbek zależy od głębokości i rodzaju skażenia
Badania geofizyczne	profilowanie konduktometryczne i sondowania elektrooporowe	profilowanie konduktometryczne i sondowania elektrooporowe	wykonane w siatce o wymiarach w przedziale 20/20 m – 100/100 m	wykonane w siatce o wymiarach w przedziale 20/20 m – 50/50 m	rozpoznanie zasięgu i stopnia skażenia środowiska gruntowo-wodnego; liczba i rodzaj badań geofizycznych zależy od powierzchni terenu oraz budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych
Geologiczno-inżynierska ocena masywu skalnego	w uzasadnionych przypadkach	w uzasadnionych przypadkach	w zależności od przyjętej klasyfikacji (wg Bazyńskiego i in., 1999)	w zależności od przyjętej klasyfikacji (wg Bazyńskiego i in., 1999)	

antropogenicznych, ze względu na ich zmienność wymagane jest zwiększenie zakresu badań w stosunku do zakresu, jaki dla danego zagadnienia inżynierskiego zostałyby wykonane w przypadku podłoża zbudowanego z gruntów rodzimych. Dobór odpowiedniej metodyki badań terenowych powinien uwzględniać w szczególności wykształcenie i rodzaj gruntu antropogenicznego. Spośród badań dodatkowych należy uwzględnić ewentualną konieczność wykonania badań środowiskowych (rozdział 7).

Szczegółowe zalecenia odnośnie do badań geologiczno-inżynierskich na terenach występowania gruntów antropogenicznych różnego typu z uwzględnieniem kierunku rekultywacji zawiera opracowanie pt: Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich (Bażyński i in., 1999). Natomiast szczegółowe zalecenia odnośnie do badań geologiczno-inżynierskich dla potrzeb składowania zawierają instrukcje ITB: nr 411 (Majer, Wysokiński, 2010) i 444 (Wysokiński, 2009).

13.4. BADANIA LABORATORYJNE

Podstawowe badania wykonywane na próbkach gruntów naturalnych, antropogenicznych skalistych to: wilgotność, rozkład uziarnienia, granice konsystencji, podzielność rdzenia wiertniczego RQD, szczelinowatość, charakter i liczba nieciągłości, chemizm gruntów i skał.

Dodatkowo możemy wykonać następujące badania laboratoryjne: gęstość objętościowa, zawartość węglanów, zawartość części organicznych, skład mineralny, ściśliwość edometryczna, wytrzymałość na ściskanie (Rc) i rozciąganie (Rr), wytrzymałość na ścinanie, przepuszczalność, pęcznienie.

Badania zaleca się wykonywać zgodnie z procedurami podanymi w krajowych i zagranicznych normach.

Powyższe parametry powinny być określone dla wszystkich warstw geologiczno-inżynierskich w podłożu. Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych podano w tabeli 13.2.

Tabela 13.2

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych dla terenów zdegradowanych przez przemysł

Rodzaj badania	Grunt naturalny i antropogeniczny		Skała	Woda	Minimalny wymagany rodzaj próbki wg PN-EN-1997-2:2009	Minimalna liczba próbek do przebadania w pojedynczej warstwie gruntu
	drobnoziarnisty (spoiisty)	gruboziarnisty (niespoisty)				
Wilgotność	+	+	+/-	n.d.	3 klasa jakości, B/3	5
Gęstość objętościowa	+/-	+/-	+/-	n.d.	2 klasa jakości, A/2	3
Rozkład uziarnienia	+/-	+/-	n.d.	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Granice konsystencji	+	n.d.	n.d.	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość węglanów	+/-	+/-	-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość części organicznych	+/-	+/-	-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Skład mineralny	+/-	+/-	+/-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Ściśliwość edometryczna	+/-	+/-	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Wytrzymałość na ściskanie (Rc) i rozciąganie (Rr)	n.d.	n.d.	+	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3 (Rc), 3 (Rr)
Parametry wytrzymałościowe	+/-	+/-	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	liczba próbek zależy od metody badania, np. dla badań w aparacie trójosiowego ściskania: 9 próbek (3 serie 3 badań przy różnych naprężeniach normalnych)
Przepuszczalność	+/-	+/-	+/-	n.d.	2 klasa jakości, A/2	5
Pęcznienie	+/-	+/-	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Podzielność rdzenia wiertniczego RQD, SCR, TCR	n.d.	n.d.	+	n.d.	1 klasa jakości, A/1	cały rdzeń
Chemizm gruntów i skał	+	+	+	n.d.		1-3
Chemizm wód powierzchniowych	n.d.	n.d.	n.d.	+		1-3
Chemizm wód podziemnych	n.d.	n.d.	n.d.	+		1-3

+ zalecane, - nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby, n.d. - nie dotyczy

13.5. MAPY I PRZEKROJE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

W przypadku obszarów przemysłowych, w geologiczno-inżynierskich pracach kartograficznych istotne jest określenie zasięgu i rodzaju gruntów antropogenicznych, ich miąższości i pochodzenia. Większość z nich to grunty powstałe jako odpady stałe, bardzo zróżnicowane pod względem właściwości i oddziaływania na środowisko. Będą to między innymi: popioły z elektrowni, osady poflotacyjne i inne specyficzne osady (często skażone chemicznie, toksyczne, w tym szczególnie niebezpieczne). Z tego względu należy również określić ich skład chemiczny (badania geochemiczne) oraz właściwości przepuszczalności podłoża, na którym występują.

Pośród map tematycznych, zalecanych do wykonania w przypadku terenów przemysłowych, należy wymienić m.in.:

- mapę rodzajów i zasięgu gruntów antropogenicznych,
- mapę miąższości gruntów antropogenicznych (fig. 13.1),
- mapę morfologiczną form antropogenicznych,
- mapę prognozowanych osiadań (dla składowisk i zwałowisk),
- mapę geochemiczną z wydzielonymi strefami skażeń i ich stężeń,

- mapę hydrogeologiczną wraz z kierunkami spływu wód,
- mapę podatności na migrację zanieczyszczeń,
- mapę przepuszczalności gruntów.

W przypadku odpadów nieprzydatnych dla budownictwa oraz jako materiał konstrukcyjny (np. do nasypów komunikacyjnych, zapór czy obwałowań) ze względu na ich zanieczyszczenie, pozostaje jedynie ich składowanie. Wówczas osady takie charakteryzuje się przede wszystkim pod kątem oceny stateczności (fig. 13.2) i możliwości rozbudowy, a teren składowiska – pod kątem przepuszczalności warstw podłoża (fig. 13.3).

Na podstawie map tematycznych i danych uzyskanych od producenta odpadów, mapę wynikową zaleca się opracowywać w formie mapy geologiczno-inżynierskiej przydatności terenów pod zabudowę z uwzględnieniem: rodzaju gruntu antropogenicznego, mechanizmu jego powstania, sposobu składowania/zwałowania, stopnia skonsolidowania, wieku oraz stopnia zanieczyszczenia.

W klasyfikacji terenów pod kątem przydatności terenów przemysłowych pod zabudowę zaleca się wydzielić trzy kategorie:

A – tereny o dużej przydatności. Będą to głównie obszary występowania gruntów powstałych w wyniku prac makroniwelacyjnych. Możliwa rekultywacja specjalna (zabudowa, składowanie). Warunkiem zabudowy jest szczególne rozpoznanie warunków geologiczno-inżynierskich, tak

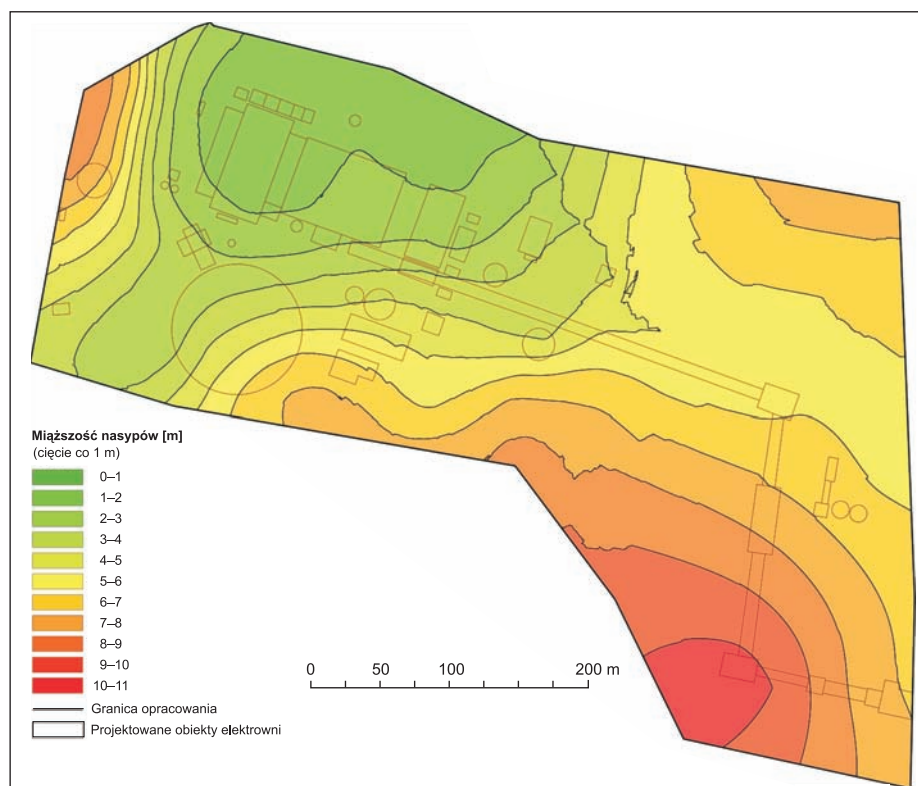


Fig. 13.1. Przykład mapy miąższości nasypów (Łukasik i in., 2011b)

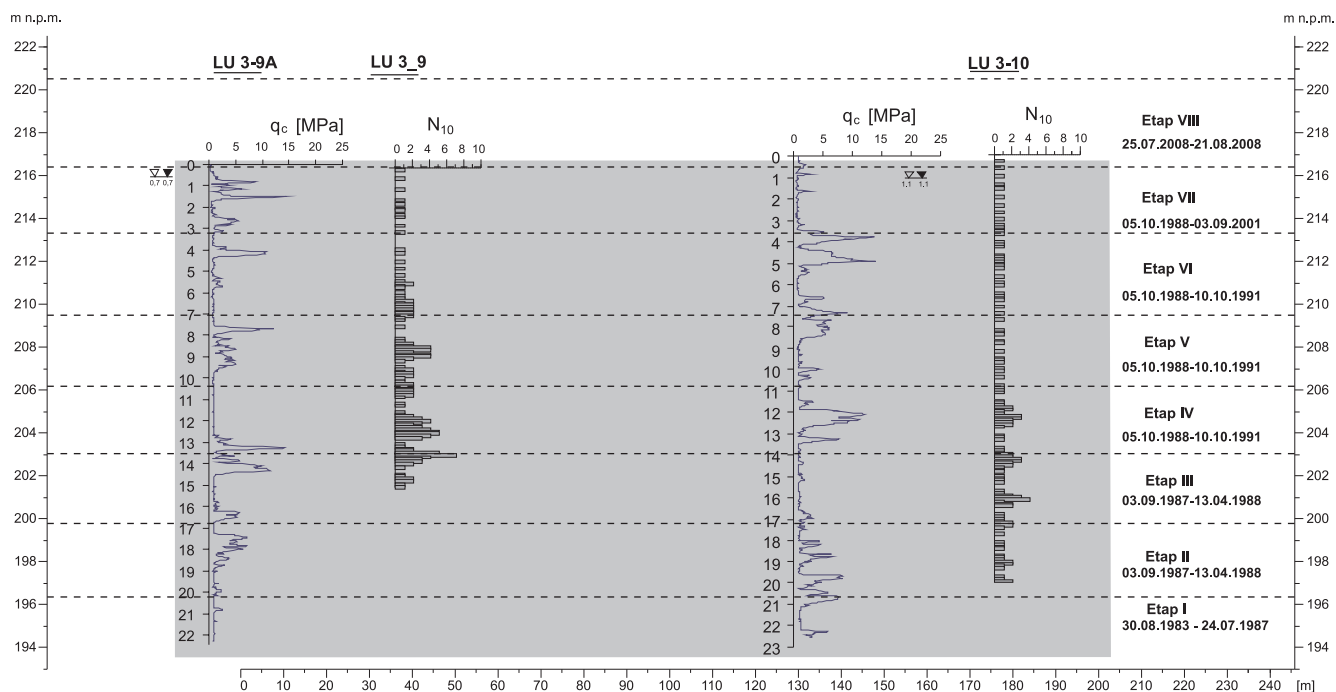


Fig. 13.2. Przykład przekroju geologiczno-inżynierskiego przez składowisko popiołu na potrzeby jego rozbudowy (Wysokiński i in., 2008b)

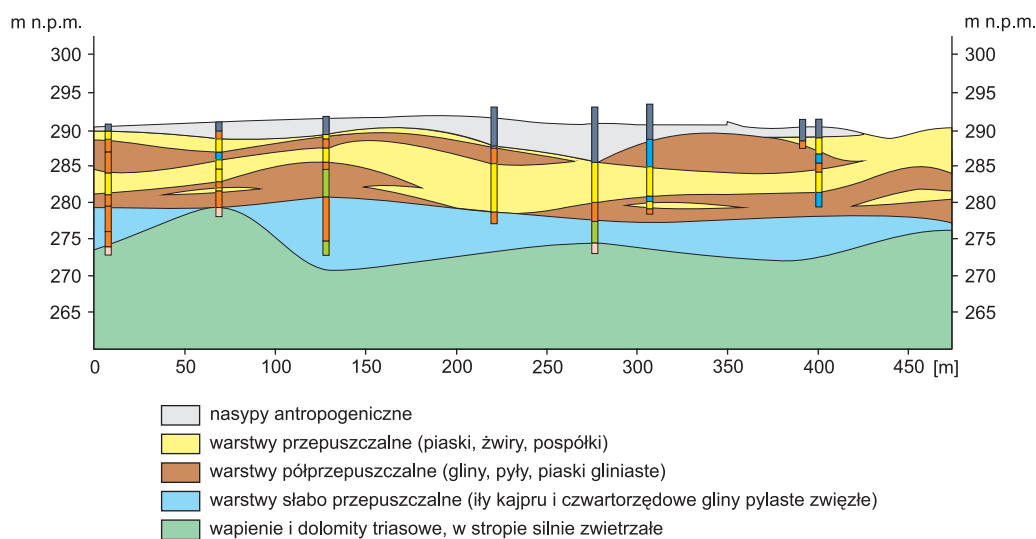


Fig. 13.3. Charakterystyka przepuszczalności gruntów w podłożu składowiska odpadów niebezpiecznych (Łukasik i in., 2005)

jak dla złożonych warunków gruntowo-wodnych w przypadku gruntów rodzimych.

B – tereny o ograniczonej przydatności. Będą to głównie obszary występowania odpadów technologicznych, nieskażonych chemicznie, radioaktywnie, zdeponowanych w formie składowisk, zwałowisk, hałd itp., nie wykazujących wybuchowości i niepodatnych na samozapłon. Możliwa rekultywacja specjalna (zabudowa, składowanie, rekreacja) pod warunkiem szczegółowego rozpoznania warunków geo-

logiczno-inżynierskich, jak dla skomplikowanych warunków gruntowo-wodnych. Możliwe wykorzystanie gruntów antropogenicznych jako materiału konstrukcyjnego.

C – tereny nieprzydatne. Będą to głównie obszary występowania odpadów technologicznych, skażonych chemicznie (ponadnormatywnie), radioaktywnych, wysypiska odpadów komunalnych, itp. nieprzydatne zarówno dla celów budownictwa, jak również do wykorzystania jako materiał konstrukcyjny.

13.6. DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

W efekcie wykonanych prac: wizji terenowej, badań terenowych i laboratoryjnych należy wykonać opracowanie geologiczno-inżynierskie, pozwalające ocenić możliwości właściwego zrehabilitowania zdegradowanego przez przemysł terenu.

Część opisowa opracowania, oprócz ogólnych zaleceń znajdujących się w § 18 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714), powinna zawierać:

- informacje o sposobie użytkowania i stanie zagospodarowania terenu;
- ocenę dotychczas wykonanych prac i badań;
- rejestr uszkodzeń i zniszczeń obiektów budowlanych i elementów środowiska zlokalizowanych na terenie zdegradowanym i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
- opis procesów geodynamicznych i antropogenicznych, występujących na dokumentowanym terenie;
- omówienie morfologii terenu, sieci hydrograficznej z naniesieniem na mapę w odpowiedniej skali;
- model budowy geologicznej i opis warunków hydrogeologicznych na terenie zdegradowanym i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
- omówienie przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych i parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów i skał;
- ustalenie położenia pierwszego poziomu wód podziemnych, amplitudy wahań i położenia maksymalnego poziomu zwierciadła wody podziemnej na podstawie badań, wywiadu terenowego, analizy materiałów archiwalnych i innych danych;
- charakterystykę geochemiczną gruntów i wód podziemnych;

- analizę wyników badań geofizycznych;
- charakterystykę wydzielonych na potrzeby opracowania zespołów gruntów i skał (serii litologiczno-genetycznych) wraz z oceną właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał tworzących te zespoły;
- propozycje zagospodarowania terenu przekształconego przez przemysł;
- rodzaj zagrożeń geologicznych na etapie wykonywania prac rekultywacyjnych oraz w przypadku awarii;
- ocenę ryzyka geologicznego (prawdopodobieństwa) wystąpienia dalszych niekorzystnych zjawisk i procesów geologicznych i antropogenicznych na dokumentowanym terenie;
- zalecenia do prowadzenia monitoringu i w uzasadnionych przypadkach terenów sąsiednich ze wskazaniem lokalizacji urządzeń pomiarowych.

Część graficzna opracowania powinna zawierać:

- mapę przeglądową w skali 1:25 000 lub mniejszej, z lokalizacją dokumentowanego terenu;
- mapę dokumentacyjną z lokalizacją terenu zdegradowanego;
- mapę obszaru objętego degradacją przemysłową w skali 1:500–1:5000 wraz z zaznaczeniem form morfologicznych;
- mapę miąższości, rodzaju oraz stanu gruntów antropogenicznych;
- mapę miąższości lub głębokości zalegania gruntu zdegradowanego/skażonego (w profilu pionowym);
- mapę głębokości do zwierciadła wody gruntowej według stanu po procesie degradacji z prognozą na okres prowadzenia prac rekultywacyjnych;
- mapę warunków geologiczno-inżynierskich dla prowadzenia prac rekultywacyjnych;
- przekroje geologiczno-inżynierskie;
- przekroje geofizyczne;
- przekroje geochemiczne.

14. ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA TERENACH ZDEGRADOWANYCH PRZEZ GÓRNICCTWO

Opracowanie wyników badań geologiczno-inżynierskich terenów pogórnich powinno składać się z części tekstowej i graficznej. Powinno ono określać warunki likwidacji zakładu górniczego, prowadzenia prac rekultywacyjnych oraz zagospodarowania terenu po zakończonej likwidacji kopalni. Treść opracowania i jego zawartość powinna być dostosowana do charakteru badanego obszaru oraz rodzaju zjawisk i zagrożeń, jakie mogą wystąpić na tego typu terenach (w zależności od rodzaju eksploatacji). Pod tym względem wydzielić można trzy grupy obszarów pogórnich: kopalń podziemnych, kopalń odkrywkowych i kopalń otworowych.

Podczas dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich terenów górniczych szczególną uwagę należy zwrócić na:

- zmiany fizyczno-mechanicznych cech gruntów i skał,
- ryzyko i przejawy występowania zjawisk geodynamicznych,
- zmiany warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych.

W celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych, jak również stanu środowiska na terenie likwidowanego zakładu górniczego, należy w pierwszej kolejności poddać dokładnej analizie dostępne dane archiwalne zawarte w dokumentacjach geologicznych i geotechnicznych, dokumentacji mierniczo-geologicznej zakładu górniczego, publikacjach opisujących teren badań oraz zdjęciach lotniczych i satelitarnych. W przypadku braku odpowiedniej ilości danych niezbędne jest przeprowadzenie uzupełniających badań terenowych i laboratoryjnych.

Dodatkowe zalecenia odnośnie do badań geologiczno-inżynierskich na terenach górniczych zawiera opracowanie „Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich” (Bażyński i in., 1999) oraz opracowanie „Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji kopalń” (Dobak i in., 2009).

14.1. ZAKRES PRAC PRZY DOKUMENTOWANIU WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA TERENACH POGÓRNICZYCH (wg Dobaka i in., 2009)

Ze względu na specyfikę terenów górniczych likwidowanych kopalń, projektowanie i wykonywanie badań geologiczno-inżynierskich powinno być podejmowane jedynie

w przypadku, gdy dostępne materiały archiwalne są niewystarczające do oceny warunków geologiczno-inżynierskich. Wymogi i zakres badań, jak również kierunki zagospodarowania terenu, winny być szczegółowo określone indywidualnie dla każdej kopalni.

W myśl Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. z 2012 r. Nr 0 poz. 463), tereny likwidowanych kopalń, na których występują szkody górnicze bądź zagrożenia użytkowania powierzchni (lub zachodzi ryzyko ich wystąpienia) należy zaliczyć do III kategorii geotechnicznej. Projektowany zakres badań musi być adekwatny dla tego typu warunków geologiczno-inżynierskich i umożliwić identyfikację problemów i zjawisk, decydujących o późniejszym wykorzystaniu terenu likwidowanej kopalni, warunkach budowlanych i ewentualnych pracach rekultywacyjnych. W celu prawidłowego określenia rodzaju i charakteru problemów, a w efekcie zaprojektowania odpowiednich badań geologiczno-inżynierskich, należy dokonać szczegółowej analizy dostępnych materiałów archiwalnych i zakresu działań, określonego w planie ruchu likwidowanej kopalni. Na tym etapie prac nieodzowna jest również dokładna wizja lokalna i wykonanie obserwacji terenowych, które w konfrontacji z wnioskami płynącymi z analizy materiałów archiwalnych pozwolą określić prawidłowy zakres badań.

Plan i zakres badań należy przedstawić w opracowaniu projektowym, gdzie powinny się też znaleźć informacje dotyczące:

- wcześniejszych badań wykonywanych na terenie likwidowanego zakładu górniczego,
- uzasadnienia konieczności wykonania badań uzupełniających,
- przewidywanego sposobu wykorzystania wyników badań uzupełniających,
- metodyki wykonania proponowanych badań.

W zależności od charakterystyki badanego terenu należy przeprowadzić:

- Kartowanie powierzchni w celu ustalenia aktualnej rzeźby terenu (zasięg występowania obniżeń, zapadlisk, szczelin, hałd i innych pogórnich przekształceń powierzchni terenu), warunków hydrograficznych (w tym kierunki przepływu wód powierzchniowych, tereny zagrożone podtopieniami i ich wpływ na ujęcia wodne oraz obszary prawnie chronione).

- Analizę warunków hydrogeologicznych w celu ustalenia aktualnego poziomu zwierciadła wód podziemnych i wszelkie jego przejawy w obrębie badanego obszaru (m.in. prognoza zmian warunków hydrogeologicznych w przypadku zatapiania masywu pokopalnianego).
- Określenie stanu zagospodarowania terenu likwidowanej kopalni, włącznie z analizą szkód górniczych, stanu zagospodarowania części podziemnej i określeniem kategorii zagrożeń.
- Pomiarów geofizycznych, których zakres należy określać na podstawie tabeli 14.1.
- Częstotliwość i szczegółowość badań należy zwiększyć w miejscach występowania deformacji nieciągłych, obszarach występowania zjawisk krasowych i pożarowych oraz w strefach płytkiej eksploatacji. W metodach geofizyki powierzchniowej, w przypadku badań rozpoznawczych, odległość pomiędzy punktami pomiarowymi jest większa niż 10 m, a w przypadku badań szczegółowych 2,5–10 m.
- Wykonanie otworów badawczych w celu weryfikacji danych uzyskanych z pomiarów geofizycznych (lokalizacja starych zrobów, kontrola stanu zabezpieczeń w górotworze, lokalizacja zjawisk krasowych).
- Określenie stanu górotworu za pomocą rdzeniowanych otworów wiertniczych (zasięg wierceń powinien być większy niż strefa spękań) i poboru próbek do badań laboratoryjnych. Lokalizację punktów badawczych należy ustalić po wglębnym kartowaniu ociosów chodników i wytypowaniu miejsc występowania stref spękań masywu. Podczas wierceń należy wykonać dokładny opis makroskopowy i dokumentację fotograficzną uzyskiwanego rdzenia, wydzielić warstwy geologiczno-inżynierskie oraz określić parametry konieczne do określenia klasy górotworu na podstawie wskaźnika RMR. Próbkę do badań laboratoryjnych powinny być pobierane w ilości 5 sztuk na każdą wydzieloną warstwę geologiczno-inżynierską.
- Ocenę parametrów fizyczno-mechanicznych na podstawie danych uzyskanych z badań próbek (minimalny zakres oznaczeń zgodny z PN-EN ISO 14689-1:2006) oraz badań specjalistycznych, w tym:
 - badania wytrzymałości na ściskanie w jednoosiowym i trójosiowym stanie naprężenia, przy różnym stopniu nawodnienia próbek,
 - badania wytrzymałości na ścinanie przy różnym stopniu nawodnienia próbek,
 - badania wytrzymałości na rozciąganie,
 - badania zmian strukturalnych skał po nawodnieniu ich wodami o lokalnej mineralizacji,
 - badania zmian szorstkości szczelin po nawodnieniu,
 - badania parametrów deformacji przedkrytycznej i podkrytycznej,
 - badania pęcznienia i skurczu.

Tabela 14.1

Zakres badań geofizycznych w zależności od stopnia zagrożenia powierzchni i warunków geologiczno-górnich (Dobak i in., 2009)

Stopień zagrożenia	Warunki geologiczno-górnice	Zakres badań rozpoznawczych (geofizycznych)
Mały	przy spełnieniu wszystkich poniżej wymienionych warunków: <ul style="list-style-type: none"> – brak zapadlisk, – brak szczelin i progów, – brak zjawisk sufozyjnych, – wyrobiska pionowe i pochyle, mające połączenia z powierzchnią o znanym sposobie likwidacji, – grubość co najmniej 20-krotnie większa niż wysokość wyrobisk górniczych 	badania rozpoznawcze na obszarach planowych inwestycji
Średni	przy wystąpieniu jednego z poniższych warunków: <ul style="list-style-type: none"> – występują zapadliska o średnicy poniżej 3 m, – występują progi, – występują szczeliny, – występują szyby i szybiki o nieznanym sposobie likwidacji, – grubość zwięzłych skał stropowych mniejsza od 20-krotnej, a większa od 10-krotnej wysokości wyrobisk górniczych, – wyrobiska poziome i pochyle o nieznanym sposobie likwidacji 	badania szczegółowe
Duży	przy wystąpieniu jednego z poniższych warunków: <ul style="list-style-type: none"> – występują zapadliska o średnicy powyżej 3 m, – występują progi, – występują szczeliny, – występują zjawiska sufozyjne, – grubość zwięzłych skał stropowych mniejsza od 10-krotnej wysokości wyrobisk górniczych, – występują „biedaszyby”, – występują zjawiska pożarowe w rejonach płytkiej eksploatacji węgla, – występują intensywne zjawiska parasejsmiczne 	badania szczegółowe i monitoringowe

14.1.1. Analiza materiałów archiwalnych

Na tym etapie prac należy zebrać i przeanalizować wszelkie dostępne materiały archiwalne oraz źródłowe, a w szczególności:

- opracowania kartograficzne i geodezyjne, dokumentacje miernicze,
- opracowania uwzględniające zmiany ukształtowania powierzchni terenu (w szczególności mapy obniżeń powierzchni terenu),
- dokumentacje geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne i złożowe,
- dokumentacje geofizyczne i opracowania rejestrujące zjawiska parasejsmiczne,
- dane górnicze opisujące właściwości górotworu oraz przebieg eksploatacji i likwidacji wyrobisk.

14.1.2. Badania terenowe

Zakres badań terenowych powinien być dostosowany do lokalnych warunków geologicznych i górniczych (tab. 14.2). W trakcie tego etapu prac należy wykonać badania geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne i hydrologiczne oraz geofizyczne, w szczególności:

- wizję terenową;
 - powierzchniowe kartowanie geologiczne;
 - wiercenia, sondowania, szurfy;
 - pomiary hydrologiczne i hydrogeologiczne;
 - kontrolę sytuacyjno-wysokościową powierzchni terenu;
 - badania geofizyczne, uszczegóławiające zmienność budowy geologicznej, rozpoznające strefy złuźnień i pustek w górotworze oraz charakteryzujące zmiany wybranych właściwości fizycznych górotworu, powstałych w związku z prowadzonym wydobyciem kopaliny.
- Na obszarach górnictwa podziemnego zakres badań terenowych powinien obejmować:
- **kartowanie geologiczno-inżynierskie**, obejmujące rejestrację wszelkich deformacji terenu (ciągłych i nieciągłych), podmokłości, podtopień, zalewisk, ucieczek wód powierzchniowych oraz innych zjawisk spowodowanych działalnością górniczą, takich jak hałdy, osadniki itp.;
 - **badania geofizyczne**, mające na celu określenie zasięgu stref nieciągłości, lokalizację pustek i stref zwałowych, zmian w ułożeniu warstw, rozluźnień itp.;

Tabela 14.2

Zalecany zakres prac i badań dla terenów zdegradowanych przez górnictwo podziemne (Dobak i in., 2009)

Czynnik – badania terenowe	Minimalny zakres prac	Uwagi
Rejestracja zjawisk wywołanych działalnością górniczą	rejestracja: <ul style="list-style-type: none"> – deformacji terenu (ciągłych i nieciągłych) – stanu składowisk odpadów – zmian hydrografii (podtopienia, zalewiska, zmiana kierunku przepływu cieków) – innych 	
Badania wgłębne – obserwacje	badania: <ul style="list-style-type: none"> – zachowania się ociosów chodników – stanu filarów oporowych – stanu rozluźnienia górotworu – stref spękań i zlustrowań – charakteru wypełnień stref nieciągłości, uskoków – innych niekorzystnych zjawisk 	
Otwory badawcze dołowe i/lub powierzchniowe i inne roboty geologiczno-inżynierskie	w zależności od potrzeb projektowania likwidacji kopalni i jakości danych archiwalnych	zaleca się wykonanie w celu: <ul style="list-style-type: none"> – ustalenia profilu litologicznego – stopnia podzielności skał (wskaźnika RQD) – szczelinowości – stanu zawodnienia – pobrania próbek do badań laboratoryjnych
Badania geofizyczne	w zależności od procesu geodynamicznego i rodzaju wyrobisk górniczych zaleca się wykonać badania: <ul style="list-style-type: none"> – sejsmiczne – grawimetryczne – elektrooporowe – elektromagnetyczne – georadarowe – geotermiczne 	w doborze metod należy kierować się zaleceniami przedstawionymi w pracy Dobaka i in., 2009; zaleca się wykonanie w celu wykrycia: <ul style="list-style-type: none"> – pustek po starych zrobach – zmian w ułożeniu warstw – lokalizacji stref zawałowych – rozluźnień mikrotektonicznych – wymięć sufozcyjnych – pożarów – weryfikacji rzeczywistego stanu zabezpieczeń

- **badania wglębne lub introskopowe**, jeśli są możliwe, w tym bezpośrednie obserwacje chodników, stanu filarów oporowych, stanu rozluźnienia górotworu, stref spękań i charakteru wypełnień nieciągłości oraz innych niekorzystnych zjawisk;
- **badania tradycyjne**, w tym wiercenia w celu weryfikacji wyników badań geofizycznych, ustalenia profilu litologicznego i poboru próbek do badań laboratoryjnych.

W Polsce górnictwo podziemne dotyczy masywów skalnych, zatem zastosowanie różnego typu sondowań na obszarach górnictwa podziemnego w Polsce jest ograniczone jedynie do terenów dawnej eksploatacji rud żelaza z kompleksu osadów ilastych. Przykładem takich terenów są okolice Częstochowy (fig. 14.1), gdzie występują wchodnie pokłady syderytu ilastego i warstw sferosyderytów. Na tym terenie eksploatacja była płytka (ok. 10÷20 m)

i odbywała się głównie przed II wojną światową. W 1970 roku zdecydowano o likwidacji całości górnictwa rud żelaza w Polsce, pomimo że zasoby tych rud nie zostały wyeksploatowane. Kopalnie i tereny górnicze po eksploatacji zostały „porzucone”. Nie dokonano po zakończeniu eksploatacji żadnych zabiegów rekultywacyjnych. W latach 20. ubiegłego wieku zalano wyrobiska i szyby wodą. Była to jedyna metoda likwidacji struktur eksploatacyjnych. Do 2000 r. nie wystąpiła stabilizacja warunków hydrogeologicznych (Razowska, 2000). W terenie widoczne są niecki osiadań o niewielkiej głębokości, niektóre wypełnione wodą oraz rozproszone hałdy o różnym kształcie, objętości i wysokości. Lokalnie materiał z hałd używany jest do wypełniania zagłębień. Materiał ilasty ma konsystencję plastyczną/miękkoplastyczną i nie nadaje się do wbudowania w nasypy, ani inne wykorzystanie, np. przy budowie projektowanej autostrady.

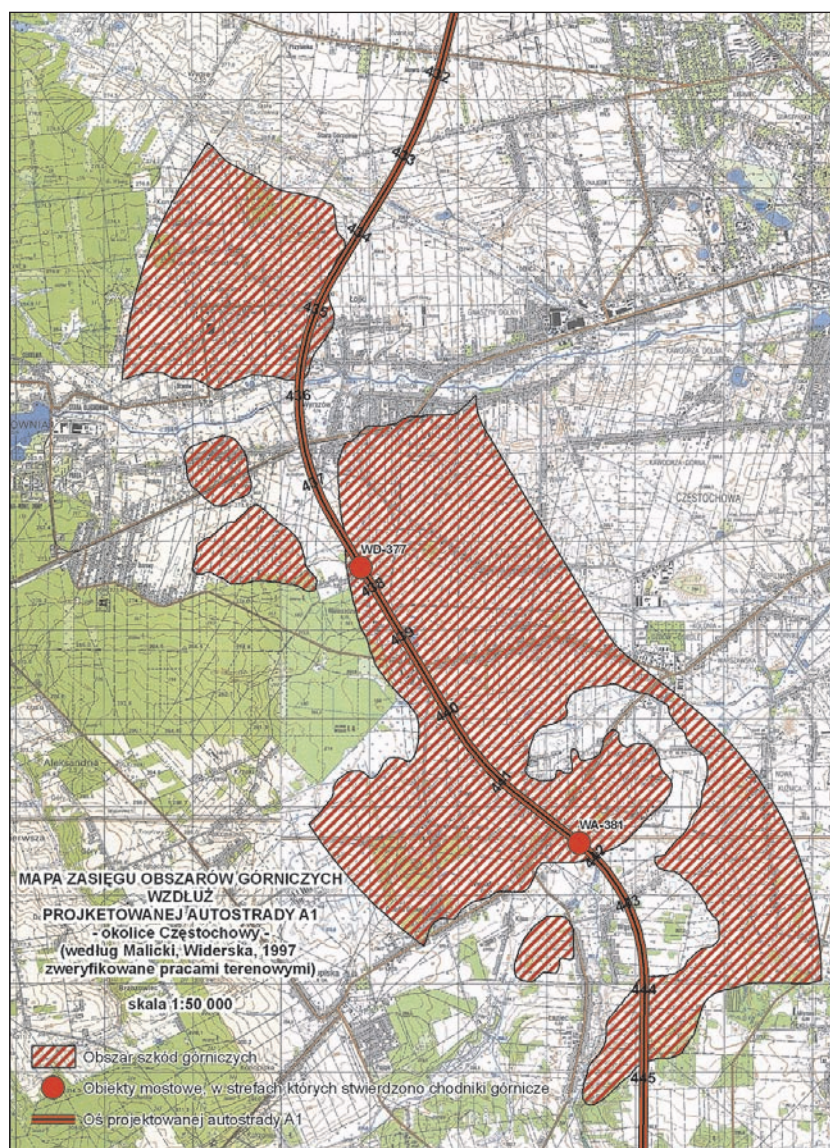


Fig. 14.1. Mapa zasięgu obszarów górniczych wzdłuż projektowanej autostrady A1 (Malicki, Widerska, 1997)

Cechą charakterystyczną terenów dawnej eksploatacji odkrywkowej jest zróżnicowanie sposobu przekształcenia terenu. Największe przekształcenia dotyczą wyrobisk po eksploatacji węgla brunatnego i siarki. Ze względu na specyfikę eksploatacji górniczej metodą odkrywkową, badania terenowe powinny obejmować zarówno teren wyrobiska i obszarów przyległych, jak również zwałowisko zewnętrzne i wewnętrzne (tab. 14.3).

Na obszarach górnictwa odkrywkowego zakres badań terenowych powinien obejmować:

- **kartowanie geologiczno-inżynierskie**, które polega przede wszystkim na zidentyfikowaniu przekształceń środowiska oraz na identyfikacji procesów geodynamicznych na skarpach wyrobiska i w obrębie zwałowisk;
- **wiercenia badawcze**, o głębokości i w ilości uzależnionej od przyjętego kierunku rekultywacji wraz z poborem próbek do badań laboratoryjnych;
- **sondowania**, w tym statyczne lub dynamiczne, w zależności od rodzaju gruntu do celów stratyfikacji

Tabela 14.3

Zalecany zakres prac i badań dla terenów zdegradowanych przez górnictwo odkrywkowe (Dobak i in., 2009)

Czynnik	Minimalny zakres prac				Uwagi	
Wizja terenowa	rejestracja: <ul style="list-style-type: none"> – deformacji terenu (ciągłych i nieciągłych), – stanu składowisk odpadów, – zmian hydrografii (podtopienia, zalewiska, zmiana kierunku przepływu cieków), – innych 				zaleca się wykonanie w celu jakościowej identyfikacji przekształceń środowiska geologicznego oraz czynnych i potencjalnych procesów geodynamicznych	
Kartowanie geologiczno-inżynierskie i środowiskowe	zaleca się przeprowadzić powierzchniowe kartowanie do głębokości 2 m p.p.t.					
Wiercenia	Złożoność warunków geologiczno-inżynierskich	Liczba wierceń na 1 km ² w zależności od kierunku rekultywacji				<ul style="list-style-type: none"> – wykonywane w przypadku niewystarczającego rozpoznania udokumentowanego w materiałach archiwalnych; – liczba wierceń uzupełniających powinna być uzależniona od planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich; – na terenach prowadzonej eksploatacji do głębokości 5–10% większej od głębokości spągu strefy gruntów o strukturze naruszonej robotami górniczymi, rekultywacyjnymi, nasypowymi i antropogenicznymi; – na terenach poza zasięgiem eksploatacji do głębokości, wynikającej z analizy warunków nośności i użytkowania projektowanych obiektów budowlanych i inżynierskich wg PN-EN 1997-2:2009
		rolny	leśny	wodny	specjalny	
	proste	3	1	5–10	5	
	złożone	5	3	10–15	7	
	skomplikowane	7	5	15–20	10	
Sondowania	rodzaj i zasięg głębokościowy powinien być dostosowany do potrzeb i zgodny z zaleceniami PN-EN 1997-2:2009				liczba sondowań uzupełniających powinna być uzależniona od planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich	
Pobór próbek gruntów i skał do badań fizycznych i mechanicznych	liczba i metoda pobory próbek powinna być określona w projekcie w zależności od potrzeb zgodnie z zasadami normy PN-EN 1997-2:2009					
Badania geofizyczne	w zależności od procesu geodynamicznego i rodzaju wyrobisk górniczych zaleca się wykonać badania: <ul style="list-style-type: none"> – grawimetryczne – elektrooporowe – georadarowe – elektromagnetyczne – sejsmiczne 				<ul style="list-style-type: none"> – w doborze metod należy kierować się zaleceniami przedstawionymi w pracy Dobaka i in., 2009; – rodzaj i zakres badań w zależności od potrzeb powinien być ukierunkowany na określenie występowania gruntów zwałowanych, oceny rozluźnienia/zagęszczenia struktury tych gruntów, przestrzennego ułożenia warstw oraz określenia warunków wodnych 	

oraz określenia zasięgu strefy gruntów o naruszonej strukturze.

Zakłada się, że zasięg terenu objętego zagrożeniami występowania powierzchniowych ruchów masowych na skarpcach wyrobisk oraz zwałowisk wynosi:

- od górnej krawędzi wyrobiska na odległość od $0,1D$ do $0,5D$ (D – głębokość odkrywki),
- od górnej krawędzi odkrywki wypełnionej wodą na odległość $2D_k$ (D_k – głębokość końcowa wyrobiska przed zalaniem wodą),
- od podnóża zwałowiska na odległość od $1H$ do $3H$ (H – wysokość zwałowiska).

W przypadku badań na zwałowiskach, dokonując wyboru ilości i metody badań należy uwzględnić następujące elementy:

- kierunek zagospodarowania (w ostatnich latach częstym sposobem zagospodarowywania zwałowisk zewnętrznych są, np. farmy wiatrowe lub stoki narciarskie);
- litologia zwałowisk, która zależy od budowy geologicznej nadkładu wydobywanego złoża (np. w Turowie dominują ropy, w Bełchatowie – piaski);
- sposób zwałowania, np. w przypadku zwałowiska w Bełchatowie zwałowanie odbywa się przez zrzucanie gruntów ze zwałowarki z dużej wysokości, po uprzednim ich transporcie taśmociągami (fig. 14.2, 14.3);

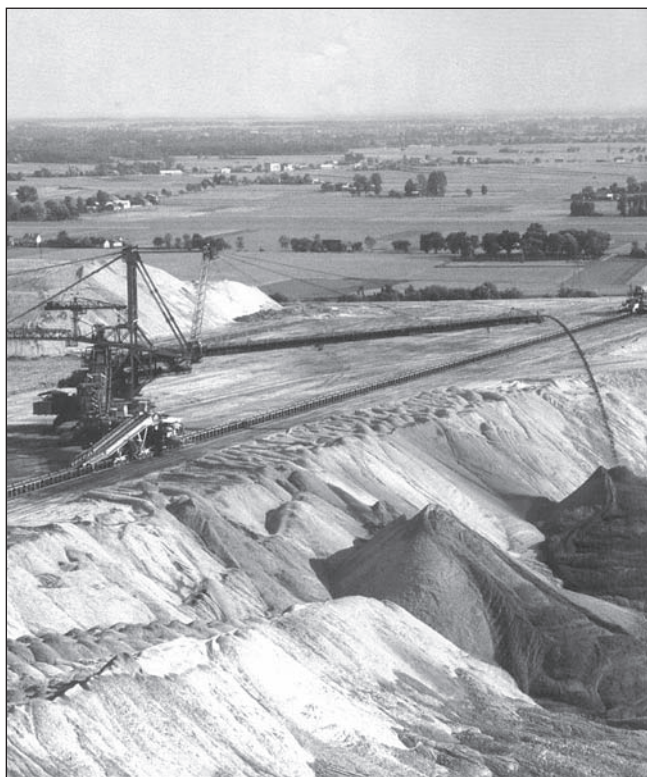


Fig. 14.2. Budowa składowiska zewnętrznego w Bełchatowie (Wysokiński, 2010)

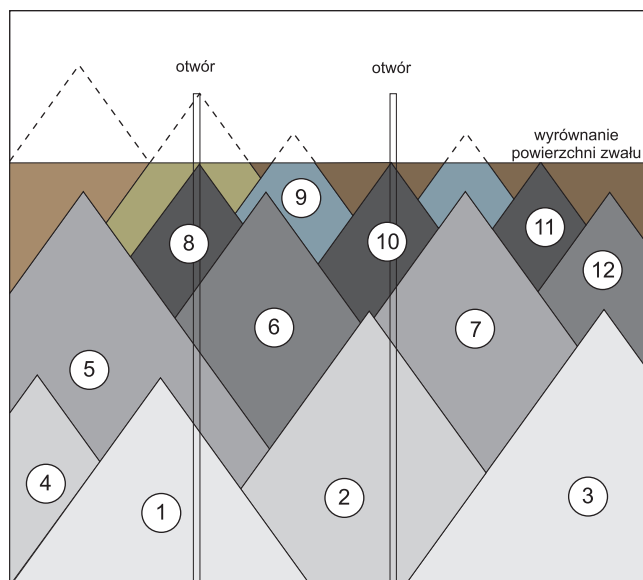


Fig. 14.3. Układ gruntów zwałowiska zewnętrznego w Bełchatowie (Wysokiński, 2007)

- losowość w rozmieszczeniu gruntów o różnej litologii i przepuszczalności, bez ciągłości granic i możliwości interpolacji pomiędzy punktami badawczymi;
- osiadanie zwałowisk w czasie, których całkowitą wielkość szacuje się na 1,5% wysokości zwału, co stanowi w przypadku Bełchatowa około 200 cm. Osiadanie to przebiega w różnym tempie, lecz około 80–85% osiadań całkowitych zachodzi w okresie kilkunastu miesięcy do zakończenia zwałowania (Wysokiński, 2010);
- złożone warunki przepływu wody w gruncie, uwarunkowane losowym rozmieszczeniem gruntów o różnej przepuszczalności (zwierciadła zawieszane na różnych głębokościach);
- zmiany właściwości gruntów w wyniku transportu i zwałowania;
- możliwość wystąpienia procesów geodynamicznych na zboczach w obrębie zwałowiska.

W przypadku terenu odkrywki, dokonując wyboru ilości i metody badań, należy uwzględnić następujące elementy:

- kierunek zagospodarowania (najczęściej obieranym kierunkiem jest kierunek wodny),
- charakter przekształceń zboczy i dna,
- stateczność zboczy (inventaryzacja procesów geodynamicznych),
- badania przepuszczalności utworów dna odkrywki (w przypadku rozpatrywania wodnego kierunku rekultywacji),
- zmianę stosunków wodnych po zaprzestaniu odwadniania wyrobiska.

Rekultywacja i zagospodarowanie terenów po górnictwie otworowym jest bardzo trudne, ponieważ obniżenia powierzchni mogą sięgać nawet kilku metrów (tab. 14.4).

Na obszarach górnictwa otworowego zakres badań terenowych powinien obejmować:

- **kartowanie geologiczno-inżynierskie**, obejmujące bezpośrednią obserwację poeksploatacyjnych deformacji terenu, występujących stref podtopień i zalewisk,
- **badania geofizyczne**, w szczególności w otworach wiertniczych (karotaż) w celu oceny poeksploatacyjnego stanu złoża i jego nadkładu, w szczególności stopnia rozluźnienia i kawernistości górotworu;
- **wiercenia rdzeniowane**, wykonywane do spągu eksploatowanego złoża w celu określenia charakteru nadkładu, stanu ośrodka skalnego po wytopie złoża oraz wpływu tłoczenia wód technologicznych na nadkład;

- **wiercenia penetracyjne**, do głębokości 6 metrów (maksymalna strefa skażenia) z poborem próbek gruntów i wody do oceny stopnia skażenia.

14.1.3. Badania laboratoryjne

Badania laboratoryjne obejmują:

- określenie właściwości fizyczno-mechanicznych skał i gruntów,
- chemizm wód podziemnych i powierzchniowych,
- poziom zanieczyszczenia skał i gruntów.

Szczegółowe zalecenia odnośnie do badań geologiczno-inżynierskich na terenach zdegradowanych przez górnictwo zawiera opracowanie pt. Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji kopalń (Dobak i in., 2009). Zalecenia dotyczące badań laboratoryjnych podano w tabelach 14.5, 14.6 i 14.7.

Tabela 14.4

Zalecany zakres prac i badań dla terenów zdegradowanych przez górnictwo otworowe siarki (Dobak i in., 2009)

Czynnik	Minimalny zakres prac	Uwagi
Kartowanie geologiczno-inżynierskie i środowiskowe	zaleca się przeprowadzić powierzchniowe kartowanie do głębokości 2 m p.p.t.	
Wiercenia głębokie	liczba wierceń uzupełniających powinna być uzależniona od planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich	wykonywane w przypadku niewystarczającego rozpoznania udokumentowanego w materiałach archiwalnych
Wiercenia płytkie do 6 m p.p.t.	20–100	w celu oceny maksymalnego zasięgu strefy skażenia
Sondowania	rodzaj i zasięg głębokościowy powinien być dostosowany do potrzeb i zgodny z zaleceniami PN-EN 1997-2:2009	liczba sondowań uzupełniających powinna być uzależniona od planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich
Pobór próbek gruntów i skał do badań fizycznych i mechanicznych	liczba i metoda poboru próbek powinna być określona w projekcie w zależności od potrzeb zgodnie z zasadami normy PN-EN 1997-2:2009	
Pobór próbek gruntów, skał do badań skażenia środowiska	liczba i metoda poboru próbek powinna być określona w projekcie w zależności od potrzeb zgodnie z zasadami normy PN-EN 1997-2:2009	
Badania geofizyczne	profilowanie geofizyczne (karotaż) w otworach wiertniczych: <ul style="list-style-type: none"> – elektryczne – radiometryczne – akustyczne profilowanie geofizyczne powierzchniowe: <ul style="list-style-type: none"> – sejsmika powierzchniowa (refleksyjna) wysokiej rozdzielczości 	rodzaj i zakres badań w zależności od potrzeb w celu oceny poeksploatacyjnej zmiany zalegania warstw geologicznych, mikrotektoniki, stref zwiększonego wytopu siarki, wykazania wymyć i pustek

Tabela 14.5

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych dla terenów zdegradowanych przez górnictwo podziemne (Dobak i in., 2009)

Rodzaj badania	Skały	Grunty		Woda	Minimalny wymagany rodzaj próbki wg PN-EN-1997-2:2009	Minimalna liczba próbek do przebadania w pojedynczej warstwie gruntu, skały lub warstwie wodonośnej
		drobnoziarnisty (spoisty)	gruboziarnisty (niespoisty)			
Badania parametrów fizyczno-mechanicznych skał ze złoża, nadkładu i otoczenia złoża						
Gęstość objętościowa	+	+/-	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Porowatość	+	+/-	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Nasiąkliwość	+	-	-	n.d.	2 klasa jakości, A/2	3
Graniczna wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie	+	n.d.	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3 w stanie naturalnym i po nasączeniu wodą o chemizmie lokalnym; w warunkach stanu naprężeń nawiązujących do warunków lokalnych, panujących w górotworze
Parametry wytrzymałościowe	n.d.	+	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	liczba próbek zależy od metody badania, np. dla badań w aparacie trójosiowego ściskania: 9 próbek (3 serie 3 badań przy różnych naprężeniach normalnych)
Wytrzymałość rezydualna	+	n.d.	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3-5 w stanie naturalnym i po nasączeniu wodą o chemizmie lokalnym; w warunkach stanu naprężeń nawiązujących do warunków lokalnych, panujących w górotworze
Moduł odkształcenia przedkrytycznego i podkrytycznego	+	n.d.	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3-5 w stanie naturalnym i po nasączeniu wodą o chemizmie lokalnym; w warunkach stanu naprężeń nawiązujących do warunków lokalnych, panujących w górotworze
Ścisłość edometryczna	n.d.	+	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Parametr skłonności do samozapalenia się węgla w pokładach i na składowiskach odpadów	+	n.d.	n.d.	n.d.	3 klasa jakości, B/3	3
Badania chemizmu wód						
Chemizm wód podziemnych	n.d.	n.d.	n.d.	+	n.d.	1-3 długotrwała agresywność w stosunku do odprężonego górotworu i materiałów stosowanej obudowy wyrobisk
Chemizm wód powierzchniowych	n.d.	n.d.	n.d.	+	n.d.	1-3 w rejonach umożliwiających mieszanie się wód wglębnych z wodami powierzchniowymi

+ zalecane, - nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby, n.d. - nie dotyczy

Tabela 14.6

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych dla terenów zdegradowanych przez górnictwo odkrywkowe (Dobak i in., 2009)

Rodzaj badania	Grunty naturalne i antropogeniczne		Woda	Minimalny wymagany rodzaj próbki wg PN-EN-1997-2:2009	Minimalna liczba próbek do przebadania w pojedynczej warstwie gruntu, skały lub warstwie wodonośnej
	drobnoziarnisty (spoisty)	gruboziarnisty (niespoisty)			
Badania parametrów fizyczno-mechanicznych skał ze złoża, nadkładu i otoczenia złoża					
Wilgotność	+	+	n.d.	3 klasa jakości, B/3	5
Rozkład uziarnienia	+	+	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Granice konsystencji	+	–	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Gęstość objętościowa	+	+	n.d.	2 klasa jakości, A/2	3
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego	+/-	+/-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Skład mineralny	+/-	+/-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość części organicznych	+/-	+/-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość węglanów	+/-	+/-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Rozmakanie	+/-	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	5
Pęcznienie	+/-	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	5
Mrozoodporność	+/-	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Parametry wytrzymałościowe	+	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	liczba próbek zależy od metody badania, np. dla badań w aparacie trójosiowego ściskania: 9 próbek (3 serie 3 badań przy różnych naprężeniach normalnych)
Ścisłość i konsolidacja w jednoosiowym lub trójosiowym stanie naprężeń	+/-	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Przepuszczalność	+/-	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Badania chemizmu wód					
Chemizm wód podziemnych	n.d.	n.d.	+	n.d.	1–3
Chemizm wód powierzchniowych	n.d.	n.d.	+	n.d.	1–3

+ zalecane, – nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby, n.d. – nie dotyczy

14.1.4. Mapy i przekroje geologiczno-inżynierskie

Do obszarów zdegradowanych przez górnictwo zalicza się obszary zdegradowane przez górnictwo odkrywkowe, podziemne oraz otworowe. Każdy z typów eksploatacji górniczej generuje inny charakter i skalę przekształcenia terenu. Skala oddziaływań wynikających z określonego typu eksploatacji górniczej zależy od warunków geologiczno-górnicznych terenu, w tym od rodzaju skał, ich właściwości i sposobu występowania, warunków hydrogeologicznych oraz rodzaju i miąższości eksploatowanego złoża (Dobak i in., 2009).

W przypadku likwidacji zakładów górniczych Ustawa Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981, art. 129) nakłada na przedsiębiorcę obowiązek zabezpieczenia lub zlikwidowania wyrobisk górniczych oraz urządzeń, instalacji i obiektów zakładu górniczego, a także rekultywacji terenu po działalności górniczej. Określenie przewidywanego

sposobu likwidacji zakładu górniczego po zakończeniu eksploatacji oraz przewidywanego sposobu rekultywacji gruntów i zagospodarowania terenów po działalności górniczej należy określić już na etapie sporządzania projektu zagospodarowania złoża (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 czerwca 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać projekty zagospodarowania złóż (Dz.U. z 2005 r. Nr 128 poz. 1075)). Z tego względu zakłada się, że na etapie oceny warunków geologiczno-inżynierskich terenów pogórnich kierunek rekultywacji jest znany, a ocena odbywa się na etapie projektu rekultywacji. Zakres dokumentowania geologiczno-inżynierskiego powinien być odpowiednio dopasowany do przyjętego kierunku rekultywacji. W praktyce, jak już wcześniej wspomniano, wyróżnia się 4 kierunki rekultywacji terenów pogórnich: kierunek rolny, kierunek leśny, kierunek wodny (hodowla, rekreacja), kierunek specjalny (składowisko, zabudowa, rekreacja). Bez względu na

Tabela 14.7

**Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych dla terenów zdegradowanych przez górnictwo otworowe siarki
(Dobak i in., 2009)**

Rodzaj badania	Seria złożowa po wytopie siarki	Seria nadkładowa (iły paleogeńskie-neogeńskie)	Woda	Minimalny wymagany rodzaj próbki wg PN-EN-1997-2:2009	Minimalna liczba próbek do przebadania w pojedynczej warstwie gruntu, skały lub warstwie wodonośnej
Wilgotność	+/-	+	n.d.	3 klasa jakości, B/3	5
Rozkład uziarnienia	n.d.	+	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Granice konsystencji	n.d.	+	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Gęstość objętościowa	+	+	n.d.	2 klasa jakości, A/2	3
Porowatość	+	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	5 lub cały rdzeń
Pęcznienie	n.d.	+	n.d.	1 klasa jakości, A/1	5
Parametry wytrzymałościowe	+/-	+	n.d.	1 klasa jakości, A/1	liczba próbek zależy od metody badania, np. dla badań w aparacie trójosiowego ściskania: 9 próbek (3 serie 3 badań przy różnych naprężeniach normalnych)
Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie	+	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3-5
Podzielność rdzenia wiertniczego RQD, SCR, TCR	+	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	cały rdzeń
Badania chemizmu wód					
Chemizm wód podziemnych	n.d.	n.d.	+	n.d.	1-3
Chemizm wód powierzchniowych	n.d.	n.d.	+	n.d.	1-3

+ zalecane, - nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby, n.d. - nie dotyczy

przyjęty kierunek rekultywacji, w pierwszym etapie należy opracować mapę dokumentacyjną na podstawie dokumentacji górniczej i wizji terenowej. Mapa taka powinna zawierać w szczególności:

- granice terenu i obszaru górniczego;
- granice filarów ochronnych;
- obiekty budowlane (istniejące i przeznaczone do likwidacji);
- lokalizację czynnych i zrehabilitowanych składowisk odpadów, osadników;
- lokalizację zwałowisk, hałd;
- lokalizację wszystkich otworów archiwalnych (badawczych na etapie rozpoznania złoża, eksploatacyjnych, monitoringowych, szybów, itp.);
- lokalizację punktów badawczych (w tym badań geofizycznych);
- granice obszarów już zrehabilitowanych.

Zakres i treść tematycznych opracowań kartograficznych będzie się jednak różnić w zależności zarówno od sposobu eksploatacji, jak i od przyjętego kierunku rekultywacji. Przykłady map tematycznych niezbędnych do oceny warunków geologiczno-inżynierskich przedstawiono w tabeli 14.8 i na figurze 14.4.

Elementami szczególnie istotnymi dla terenów pogórnich są istniejące i możliwe deformacje powierzchni terenu (ciągłe i nieciągłe), związane z eksploatacją podziemną kopalni. Deformacje ciągłe wywołane są głęboką eksploatacją górniczą i są stosunkowo łatwe do przewidzenia na podstawie budowy geologicznej złoża i danych dotyczących jego eksploatacji. Deformacje nieciągłe mają formę nagłych zapadlisk, których wystąpienie jest trudne do przewidzenia i związane są głównie z płytką eksploatacją górniczą.

Na podstawie map tematycznych i danych z dokumentacji górniczej, mapę wynikową zaleca się opracowywać w formie mapy rejonizacji geologiczno-inżynierskiej. Proponuje się dokonywać rejonizacji zgodnie z zaleceniami instrukcji (Dobak i in., 2009), biorąc pod uwagę: nośność podłoża, położenie zwierciadła wody, spadki terenu, możliwość wystąpienia procesów geodynamicznych, zanieczyszczenie gruntów, sejsmiczność z uwzględnieniem kategorii terenu górniczego (tab. 14.9).

Opracowaniom kartograficznym powinny towarzyszyć przekroje geologiczno-inżynierskie. Ze względu na duży udział gruntów nasypowych (np. zwałowiska) i duże miąższości, charakterystyka geologiczno-inżynierska tych

Tabela 14.8

Rodzaje map tematycznych w zależności od rodzaju eksploatacji i kierunku rekultywacji

Rodzaj mapy tematycznej	Rodzaj eksploatacji		
	Górnictwo podziemne	Górnictwo odkrywkowe	Górnictwo otworowe
Mapa litologiczno-genetyczna	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)
Mapa stropu i poziomu eksploatacyjnego	W, S (B)	W, S (B)	W, S (B)
Mapa izolinii obniżenia terenu z podziałem na deformacje ciągłe i nieciągłe, wraz z prognozą	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)
Mapa lokalizacji i zasięgu wyrobisk/otworów eksploatacyjnych	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)
Mapa hydroizohips poziomów wodonośnych po zakończeniu odwadniania	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)
Mapa tektoniczna	W, S (B)	W, S (B)	W, S (B)
Mapa zasięgu i miąższości gruntów nasypowych	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)
Mapa zanieczyszczenia gruntów	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)	R, L, W, S (R), S (B)
Mapa kategorii terenów górniczych	W, S (B)	W, S (B)	W, S (B)
Mapa sejsmiczna	W, S (B)	W, S (B)	W, S (B)
Mapa zagrożeń gazowych, radiacyjnych i termicznych	R, L, W, S (R), S (B)	–	–
Mapa spadków skarp wyrobiska	–	W, S (B)	–
Mapa procesów geodynamicznych	W, S (R), S (B)	W, S (R), S (B)	W, S (R), S (B)
Mapa nośności gruntów	S (B)	S (B)	S (B)

Kierunki rekultywacji: R – rolny, L – leśny, W – wodny, S (R) – specjalny (rekreacja), S (B) – specjalny (zabudowa, składowanie)

Tabela 14.9

Kryteria rejonizacji geologiczno-inżynierskiej terenów górniczych likwidowanych kopalń (Dobak i in., 2009)

Kryteria kwalifikacji			Geologiczno-inżynierskie warunki zagospodarowania									
kod	środowisko i procesy		I – niekorzystne			II – utrudnione			III – korzystne			
a ₁	grunty	charakter zmian	naruszona struktura, grunty antropogeniczne, grunty zanieczyszczone									niezmieniona struktura gruntu
a ₂		rodzaj	spoiste	niespoiste	organiczne	spoiste	niespoiste	skaliste	spoiste	niespoiste	skaliste	
a ₃		stan	mpl, pl IL > 0,25	ln, I _D ≤ 0,33	w każdym stanie	tpl, 0,25 ≥ I _t > 0	szg I _D > 0,33	spękane	pzw, tpl I _t ≤ 0,25	zg, szg I _D > 0,33	mało spękane	
b ₁	warunki wodne	min. głęb. zwg	–	< 1 m p.p.t.		–	≤ 2 m p.p.t.		> 2 m p.p.t.			
b ₂		prognozowana odbudowa zwg	> 30 m powyżej aktualnego stanu zwg			30–10 m powyżej aktualnego stanu zwg			< 10 m powyżej aktualnego stanu zwg			
b ₃		hydrografia	stałe podmokłości i obszary bagienne			możliwość okresowych podtopień			poza strefą podmokłości i podtopień			
b ₄		zagrożenie powodziowe	p ≥ 1%									p < 1%
b ₅		jakość wód	agresywne względem betonu i stali									nieagresywne
c ₁	procesy geodyna- miczne	spadki terenu	> 12%			12–5%			< 5%			
c ₂		ruchy masowe (w tym zsuwy, osuwiska, itd.)	rejestrowane w czasie eksploatacji zakładu górniczego oraz prowadzenia prac rekultywacyjnych			prawdopodobne wznowienie lub wystąpienie procesów w przyszłości			nie stwierdzono lub znikome prawdopodobieństwo występowania			
c ₃		deformacje filtracyjne										
D	kontami- nacja	wód i gruntów	zniszczenia powodują pogorszenie (zmianę wartości) parametrów wytrzymałości i/lub odkształcalności skał i gruntów						w granicach naturalnego tła hydrogeochemicznego			
			więcej niż o 15%			do 15%						
E	sejsmiczność	skala MSK-64	VIII i VII intensywność drgań			VI i V intensywność drgań			IV–I intensywność drgań			
F	wpływy górniczne	kategoria terenu górniczego	V			III, IV			O, I, II			
G		kategoria zagospodarowania dla terenów górniczych	C			B lub B ₁ , B ₂ , B ₃			A			

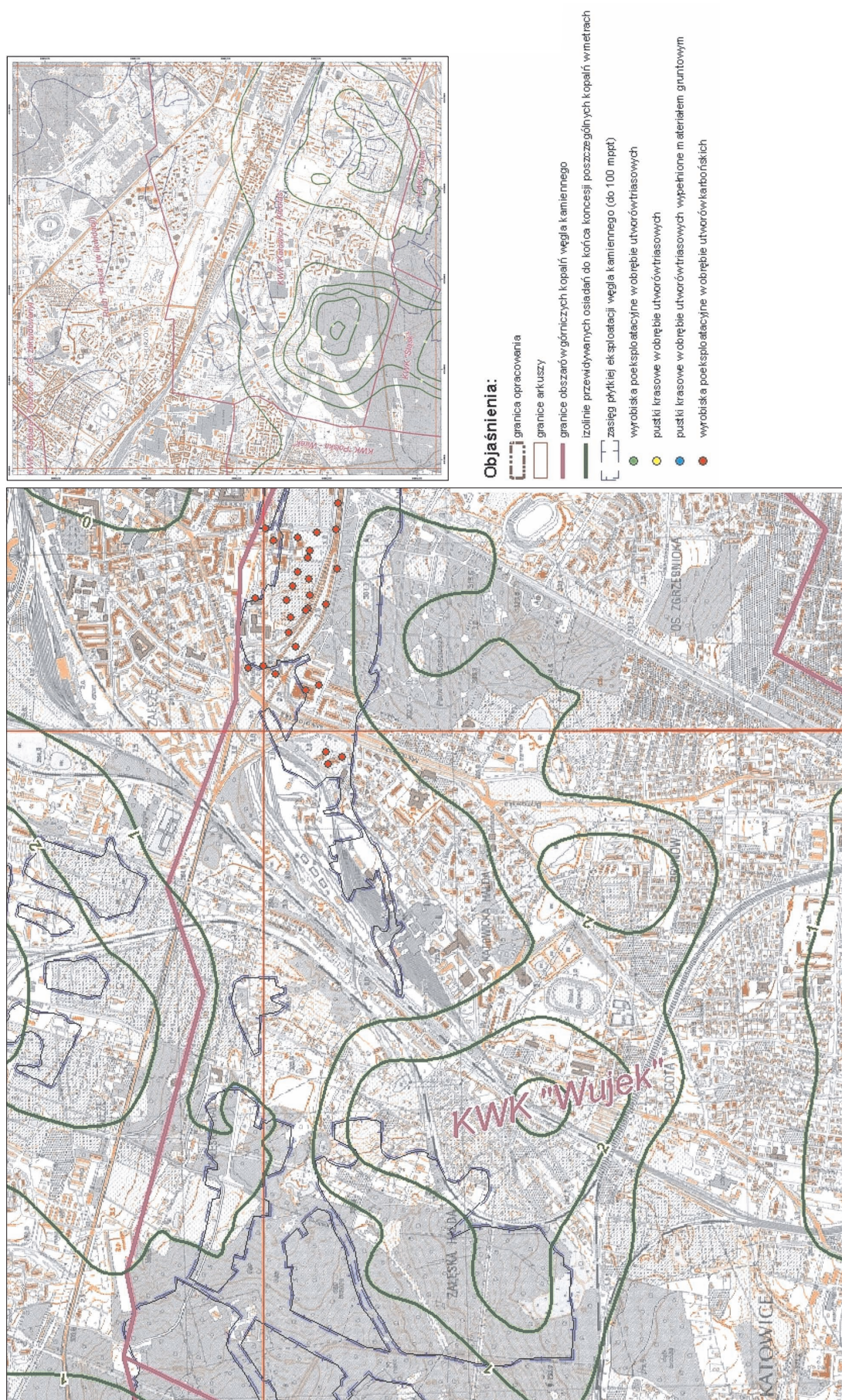


Fig. 14.4. Przykład mapy tematycznej dla obszarów górniczych – mapa izolinii przewidywanych osiadań (Dubaj-Nawrot, Wróbel, red., 2005)

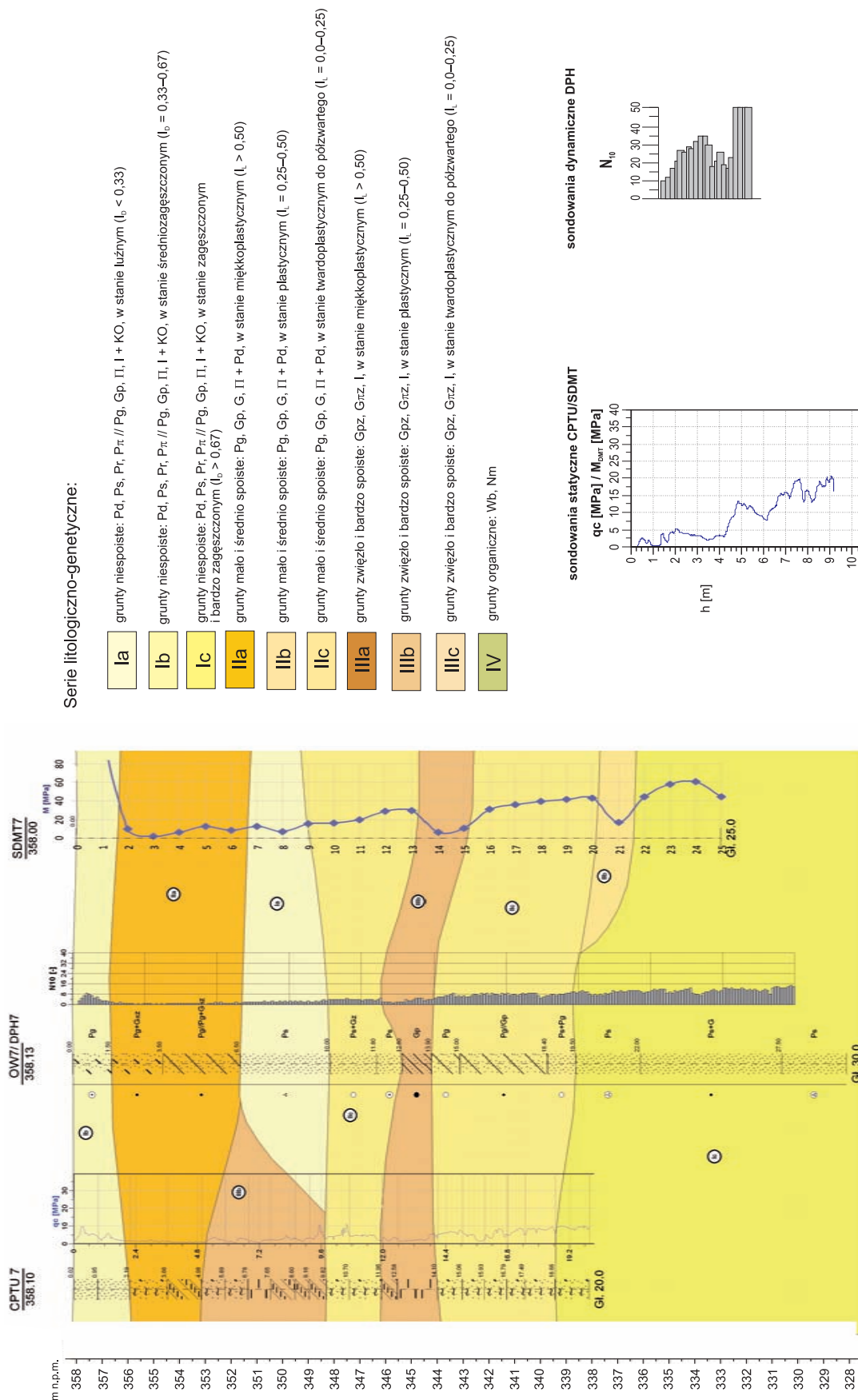


Fig. 14.5. Przykład przekroju geologiczno-inżynierskiego przez zwałowisko zewnętrzne opracowane na potrzeby rozbudowy farmy wiatrowej (Lukasik i in., 2011a)

gruntów, w przypadku specjalnego kierunku rekultywacji, powinna być przeprowadzona jak dla gruntów rodzimych (podział na warstwy, ocena parametrów fizyczno-mechanicznych itp.). Zwałowiska (np. Kamieńsk) ze względu na formę często są wykorzystywane do lokalizacji farm wiatrowych oraz na cele rekreacyjne (stoki narciarskie itp.). Przykład przekroju geologiczno-inżynierskiego dla gruntów zwałowiska zewnętrznego przeznaczonego pod rozbudowę farmy wiatraków (rekultywacja specjalna) przedstawiono na figurze 14.5. Podziału na warstwy powinno się dokonywać na podstawie litologii oraz stanu zwałowanego gruntu z uwzględnieniem profilu wytrzymałościowe-

go określonego na podstawie sondowań, czyli tak jak dla gruntów rodzimych.

14.2. DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Część opisowa opracowania geologiczno-inżynierskiego, oprócz ogólnych zaleceń znajdujących się § 18 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714), powinna zawierać zalecenia podane w opracowaniu Dobaka i innych (2009).

15. ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA TERENACH ZDEGRADOWANYCH PRZEZ SKŁADOWANIE ODPADÓW

Badania geologiczno-inżynierskie prowadzone na obszarach występowania składowisk odpadów powinny mieć na celu rozpoznanie modelu budowy geologicznej terenu zdegradowanego. Degradacja terenu może nastąpić przez formowanie na powierzchni terenu odpadów w formie składowisk, bądź zwałowisk. Formy występowania tych gruntów odpadowych są przeważnie dobrze widoczne w morfologii terenu jako formy wypukłe różnych kształtów lub wypełniające zagłębienia. Degradacja terenu może następować w wyniku zanieczyszczenia związkami chemicznymi gruntów naturalnych, bez widocznej zmiany morfologii na powierzchni terenu. Najczęściej nowe inwestycje są lokalizowane na terenach o naturalnej i niezmienionej powierzchni terenu lub w strefach przylegających do form antropogenicznych. Do nielicznych rozwiązań należą inwestycje posadawiane bezpośrednio na gruntach występujących w formie składowisk i zwałowisk.

Badania geologiczno-inżynierskie na terenach zdegradowanych przez składowiska odpadów powinny być przeprowadzone zgodnie z ogólnymi zasadami sformułowanymi w rozdziale 8, z uwzględnieniem dodatkowych, niżej przedstawionych zaleceń szczegółowych. Niezbędne badania uzupełniające powinny być przedstawione w postaci opracowania projektowanych robót geologicznych.

Badania geologiczno-inżynierskie terenów zdegradowanych przez składowiska odpadów powinny być prowadzone etapami, w nawiązaniu do faz projektowania inwestycji, a przede wszystkim do założeń projektowo-przestrzennych i do projektu budowlanego.

Zalecenia odnośnie do badań geologiczno-inżynierskich na terenach, gdzie występują składowiska odpadów zawierają, m.in. opracowania:

- Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich (Bażyński i in., 1999),
- Zasady budowy składowisk odpadów (Wysokiński, 2009),
- Badania gruntów i kontrola jakości wykonanych z nich przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów (Majer, Wysokiński, 2010),
- Zasady oceny przydatności gruntów spoiстых Polski do budowy mineralnych barier izolacyjnych (Majer, Łuczak-Wilamowska, Wysokiński, Dragowski, 2007),
- Stateczność rekultywowanych składowisk odpadów i migracja zanieczyszczeń przy wykorzystaniu metody obserwacyjnej (Koda, 2011),

- Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych (Garbulewski, 2000),
- Ocena właściwości przesłonowych ilów do budowy składowisk odpadów (Majer, 2005).

15.1. ROZPOZNANIE WSTĘPNE

Rozpoznanie wstępne ma decydujący wpływ na ustalenie ilości oraz rodzaju koniecznych do wykonania badań geologiczno-inżynierskich, geofizycznych i innych.

W pierwszym etapie należy przeprowadzić badania o charakterze rozpoznawczym, pozwalającym na wstępne określenie charakteru degradacji terenu, czynników wpływających na zanieczyszczenie, rozprzestrzenienie terenu zdegradowanego i wstępne określenie zasięgu głębokościowego strefy zanieczyszczonej chemicznie. Istotne jest określenie rodzaju zanieczyszczeń (stałe, ciekłe, gazowe) i określenie, jakimi związkami są spowodowane. Na tym etapie istotne jest wykorzystanie materiałów dotyczących zanieczyszczeń chemicznych, rodzajów prowadzonej gospodarki przemysłowej, warunków składowania odpadów itd. Analiza tych materiałów powinna być wstępną czynnością, pozwalającą określić zakres prac w pierwszym etapie.

W pierwszym etapie należy również pobierać próbki do analiz chemicznych z powierzchni terenu lub otworów wiertniczych. Przewiduje się, że dla wstępnego rozpoznania zagrożeń chemicznych należy wykonać od trzech do pięciu otworów wiertniczych lub sond penetracyjnych na hektar, umożliwiających pobór próbek z otworów. Otwory należy lokalizować tak, aby ewentualnie mogły być wykorzystane do rozpoznania podłoża pod projektowaną inwestycję, w nawiązaniu do jej projektowanego posadowienia, zgodnie z zarysem obiektu budowlanego.

Głębokość wstępnego rozpoznania powinna być określona na podstawie materiałów archiwalnych lub doświadczeń zdobytych w trakcie wykonywania pierwszego otworu. W wyniku tych badań powinno się określić rodzaj zanieczyszczeń, wstępnie zasięg przestrzenny strefy skażonej oraz stężenia zanieczyszczeń. W pierwszym etapie należy też wykorzystać metody geofizyczne, np. konduktometryczne, geoelektryczne lub georadarowe.

15.2. PROJEKTOWANIE ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Analiza materiałów archiwalnych, informacje uzyskane podczas wizji terenowej, wyniki badań etapu wstępnego

go oraz wymagania postawione przez inwestora stanowią podstawę do wykonania opracowania projektowanych robót geologicznych.

Opracowanie projektowanych robót zaleca się wykonać zgodnie z Rozporządzeniem 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. z 2011 r. Nr 288 poz. 1696).

W tabeli 15.1 podano zalecany zakres prac i badań dla terenów zdegradowanych przez składowanie odpadów.

15.3. BADANIA TERENOWE

Zakres i metodyka terenowych badań geologiczno-inżynierskich obszarów zdegradowanych przez składowanie odpadów nie powinna odbiegać od przyjętych zasad i metodyk ich prowadzenia na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego. Przy dokumentowaniu warunków posadowienia w obszarach składowisk odpadów, oprócz badań geologiczno-inżynierskich lub geotechnicznych, należy przeprowadzić kontrolne badania geochemiczne.

Na tych obszarach, oprócz kartowania i standardowych badań geologiczno-inżynierskich, zakres badań terenowych w drugim etapie powinien obejmować:

- badania zanieczyszczeń, jeśli w pierwszym etapie stwierdzono zanieczyszczenia o stężeniach większych niż dopuszczalne w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359);
- badania geochemiczne należy prowadzić wspólnie z badaniami geologiczno-inżynierskimi podłoża, wykorzystując przede wszystkim te same otwory wiertnicze. Zakres badań geochemicznych zależy od rodzaju i występowania skażenia. Od wyników badań geochemicznych będzie zależało dalsze przeznaczenie terenu. Badania nad określeniem stopnia degradacji terenu powinny określić zasięg przestrzenny i stężenie zanieczyszczeń w poziomie i w profilach pionowych. Badania powinny objąć przede wszystkim strefę aeracji, a próbki do badań powinny być pobierane punktowo co 0,3–0,5 m, z uwzględnieniem zmienności litologicznej. W badaniach, poza zmiennością stężeń,

Tabela 15.1

Zalecany zakres prac i badań dla terenów zdegradowanych przez składowanie odpadów

Czynnik	Minimalny zakres prac niezależnie od kierunku rekultywacji	Uwagi
Odległość pomiędzy otworami badawczymi	20–50	wykonać w przypadku niewystarczającego rozpoznania udokumentowanego w materiałach archiwalnych; liczba wierceń uzupełniających powinna być uzależniona od planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich; wybór odległości między otworami należy uzasadnić
Głębokość otworów badawczych	3–5 m w warstwą gruntów słabo przepuszczalnych lub skał	głębokość rozpoznania zależy od: występowania stropu warstw słabo przepuszczalnych (barier geologicznych), parametrów szczelinowości masywu skalnego, stopnia przekształceń powierzchniowych, planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich
Sondowania	50% liczby otworów badawczych	wykonać w przypadku niewystarczającego rozpoznania udokumentowanego w materiałach archiwalnych; liczba sondowań uzupełniających powinna być uzależniona od planowanego sposobu zagospodarowania rekultywowanego terenu oraz złożoności warunków geologiczno-inżynierskich; wybór odległości między otworami należy uzasadnić
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	3 próbki dla każdej wydzielonej warstwy geologiczno-inżynierskiej	liczba próbek zależy od rodzaju zaprojektowanych badań mechanicznych oraz sposobu zagospodarowania terenu
Pobór próbek gruntów, skał i wody do badań środowiskowych	1–5 dla warstw skażonych	liczba próbek zależy od głębokości i rodzaju skażenia
Badania geofizyczne	wykonane w siatce o wymiarach 20/20 m	liczba i rodzaj badań geofizycznych zależy od powierzchni terenu oraz budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych; zalecane profilowanie konduktometryczne i sondowania elektrooporowe

należy określić mobilność występujących zanieczyszczeń, co pozwoli na określenie dynamiki ich przemieszczania;

- szczegółowe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, parametrów warstwy wodonośnej, dynamiki wód (kierunki odpływu, wahania okresowe);
- polowe badania współczynnika filtracji warstw słabo przepuszczalnych;
- określenie chemizmu i stopnia agresywności próbek wody w stosunku do konstrukcji budowlanych.

Wszystkie elementy geochemiczne oraz środowiskowe, w nawiązaniu do obowiązujących standardów, powinny stanowić podstawę do wydzielenia na badanym obszarze stref określających stopień degradacji terenu.

W przypadku wystąpienia warunków umożliwiających zabudowę, konieczne jest określenie zabiegów rekultywacyjnych, bardzo zróżnicowanych, zależnie od miejscowych warunków geologicznych i środowiska. Szczegółowe omó-

wienie metod rekultywacji zależnie od rodzajów degradacji terenu i związków chemicznych przedstawiają Zadroga i Olańczuk-Neyman (2001).

Szczegółowe zalecenia odnośnie do badań geologiczno-inżynierskich na terenach występowania gruntów antropogenicznych różnego typu, z uwzględnieniem kierunku rekultywacji, zawiera opracowanie pt. Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich (Bażyński i in., 1999). Natomiast szczegółowe zalecenia odnośnie do badań geologiczno-inżynierskich dla potrzeb składowania zawierają instrukcje ITB nr 411 (Majer, Wysokiński, 2010) i 444 (Wysokiński, 2009).

15.4. BADANIA LABORATORYJNE

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych próbek gruntów i wód podano w tabeli 15.2. Badania zaleca się wykonywać zgodnie z procedurami podanymi w krajowych

Tabela 15.2

Zalecany zakres i rodzaj badań laboratoryjnych w zależności od typu gruntu dla terenów zdegradowanych przez składowanie odpadów

Rodzaj badania	Grunt naturalny i antropogeniczny		Skała	Woda	Minimalny wymagany rodzaj próbki wg PN-EN-1997-2:2009	Minimalna liczba próbek do przebadania w pojedynczej warstwie gruntu
	drobnoziarnisty (spoisty)	gruboziarnisty (niespoisty)				
Wilgotność	+	+	+/-	n.d.	3 klasa jakości, B/3	5
Gęstość objętościowa	+/-	+/-	+/-	n.d.	2 klasa jakości, A/2	3
Rozkład uziarnienia	+	+	n.d.	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Granice konsystencji	+	n.d.	n.d.	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość węglanów	+/-	+/-	-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Zawartość części organicznych	+/-	+/-	-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Skład mineralny	+/-	+/-	+/-	n.d.	4 klasa jakości, B/4	3
Ścisłość edometryczna	+/-	+/-	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Wytrzymałość na ściskanie (Rc) i rozciąganie (Rr)	n.d.	n.d.	+	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3 (Rc), 3 (Rr)
Parametry wytrzymałościowe	+/-	+/-	n.d.	n.d.	1 klasa jakości, A/1	liczba próbek zależy od metody badania, np. dla badań w aparacie trójosiowego ściskania: 9 próbek (3 serie 3 badań przy różnych naprężeniach normalnych)
Przepuszczalność	+	+	+	n.d.	2 klasa jakości, A/2	5
Pęcznienie	+/-	+/-	+/-	n.d.	1 klasa jakości, A/1	3
Podzielność rdzenia wiertniczego RQD, SCR, TCR	n.d.	n.d.	+	n.d.	1 klasa jakości, A/1	cały rdzeń
Chemizm gruntów i skał	+	+	+	n.d.		1-3
Chemizm wód powierzchniowych	n.d.	n.d.	n.d.	+		1-3
Chemizm wód podziemnych	n.d.	n.d.	n.d.	+		1-3

+ zalecane, - nie wykonuje się, +/- w zależności od potrzeby, n.d. - nie dotyczy

i zagranicznych normach. Zalecany zakres badań powinien być określony dla wszystkich warstw geologiczno-inżynierskich w podłożu w zależności od potrzeb i wymagań rekultywacji.

15.5. DOKUMENTOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie wizji terenowej, badań terenowych i laboratoryjnych należy wykonać opracowanie geologiczno-inżynierskie, które powinno ocenić możliwości właściwego zrehabilitowania terenu poprzez odpowiednie zagospodarowanie.

W efekcie dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich należy określić:

- model budowy geologicznej terenu, w obrębie którego występują zanieczyszczenia, z odpowiednim poszerzeniem zakresu przestrzennego badań;
- zasięg i stężenia zanieczyszczeń na tle budowy geologicznej;
- warunki hydrogeologiczne, a więc położenie i ewentualne wahania zwierciadła wody podziemnej w stosunku do strefy zanieczyszczeń;
- genezę i przyczynę degradacji terenu;
- chemizm wód podziemnych;
- kierunki spływu wód podziemnych;
- warunki przemieszczania się zanieczyszczeń;
- właściwości gruntów lub skał budujących podłoże;
- charakterystykę właściwości filtracyjnych gruntów;
- właściwości sorpcyjne gruntów;
- wydzielenie stref gruntów praktycznie nieprzepuszczalnych i przepuszczalnych;
- cechy chemiczne i fizyczne materiału zanieczyszczającego, postać występowania w gruncie (stała, ciekła, gazowa);
- rozpuszczalność substancji chemicznych w wodzie o określonym pH w warunkach naturalnych;
- mobilność zanieczyszczeń i ewentualne kierunki ich migracji;
- inne specyficzne cechy.

Badania geochemiczne powinny być zaprojektowane przed rozpoczęciem prac terenowych, wykonane i opisane w opracowaniu geologiczno-inżynierskim.

W końcowym etapie prac należy wykonać opracowanie wyników badań geologiczno-inżynierskich terenów zdegradowanych przez składowanie odpadów, które oprócz ogólnych zaleceń znajdujących się w § 18 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714), powinno zawierać:

- informacje o sposobie użytkowania i stanie zagospodarowania terenu;
- ocenę dotychczas wykonanych prac i badań;
- rejestr uszkodzeń i zniszczeń obiektów budowlanych i elementów środowiska zlokalizowanych na terenie zdegradowanym i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;

- opis procesów geodynamicznych i antropogenicznych występujących na dokumentowanym terenie;
- omówienie morfologii terenu, sieci hydrograficznej z naniesieniem na mapę w odpowiedniej skali;
- model budowy geologicznej i opis warunków hydrogeologicznych na terenie zdegradowanym i w jego bezpośrednim sąsiedztwie;
- omówienie przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych i parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów i skał;
- ustalenie położenia pierwszego poziomu wód podziemnych, amplitudy wahań i położenia maksymalnego poziomu zwierciadła wody podziemnej na podstawie badań, wywiadu terenowego, analizy materiałów archiwalnych i innych danych;
- charakterystykę geochemiczną gruntów i wód podziemnych;
- analizę wyników badań geofizycznych;
- charakterystykę wydzielonych na potrzeby sporządzenia opracowania zespołów gruntów i skał (serii litologiczno-genetycznych) wraz z oceną właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał tworzących te zespoły;
- rodzaj zagrożeń geologicznych na etapie wykonywania prac rekultywacyjnych oraz w przypadku awarii;
- ocenę ryzyka geologicznego (prawdopodobieństwa) wystąpienia dalszych niekorzystnych zjawisk i procesów geologicznych i antropogenicznych na dokumentowanym terenie;
- zalecenia do prowadzenia monitoringu i, w uzasadnionych przypadkach, terenów sąsiednich ze wskazaniem lokalizacji urządzeń pomiarowych.

Część graficzna opracowania powinna zawierać:

- mapę przeglądową w skali 1:25 000 lub mniejszej, z lokalizacją dokumentowanego terenu;
- mapę dokumentacyjną z lokalizacją terenu zdegradowanego;
- mapę miąższości, rodzaju oraz stanu gruntów antropogenicznych;
- mapę miąższości lub głębokości zalegania gruntu zdegradowanego/skażonego (w profilu pionowym);
- mapę głębokości do zwierciadła wody gruntowej według stanu po procesie degradacji, z prognozą na okres prowadzenia prac rekultywacyjnych;
- mapę warunków geologiczno-inżynierskich dla prowadzenia prac rekultywacyjnych;
- przekroje geologiczno-inżynierskie;
- przekroje geofizyczne.

Dla przestrzennego zobrazowania rozprzestrzenienia i zmienności stężeń zanieczyszczeń chemicznych należy, wykorzystując punkty badawcze, wykonać przekroje geochemiczne terenu w skali poziomej nie mniejszej niż 1:1000 (fig. 15.1) i ewentualnie mapy geochemiczne w tej samej skali.

Wszystkie wyżej opisane elementy powinny być wzięte pod uwagę przy wyborze metod i technologii rekulty-

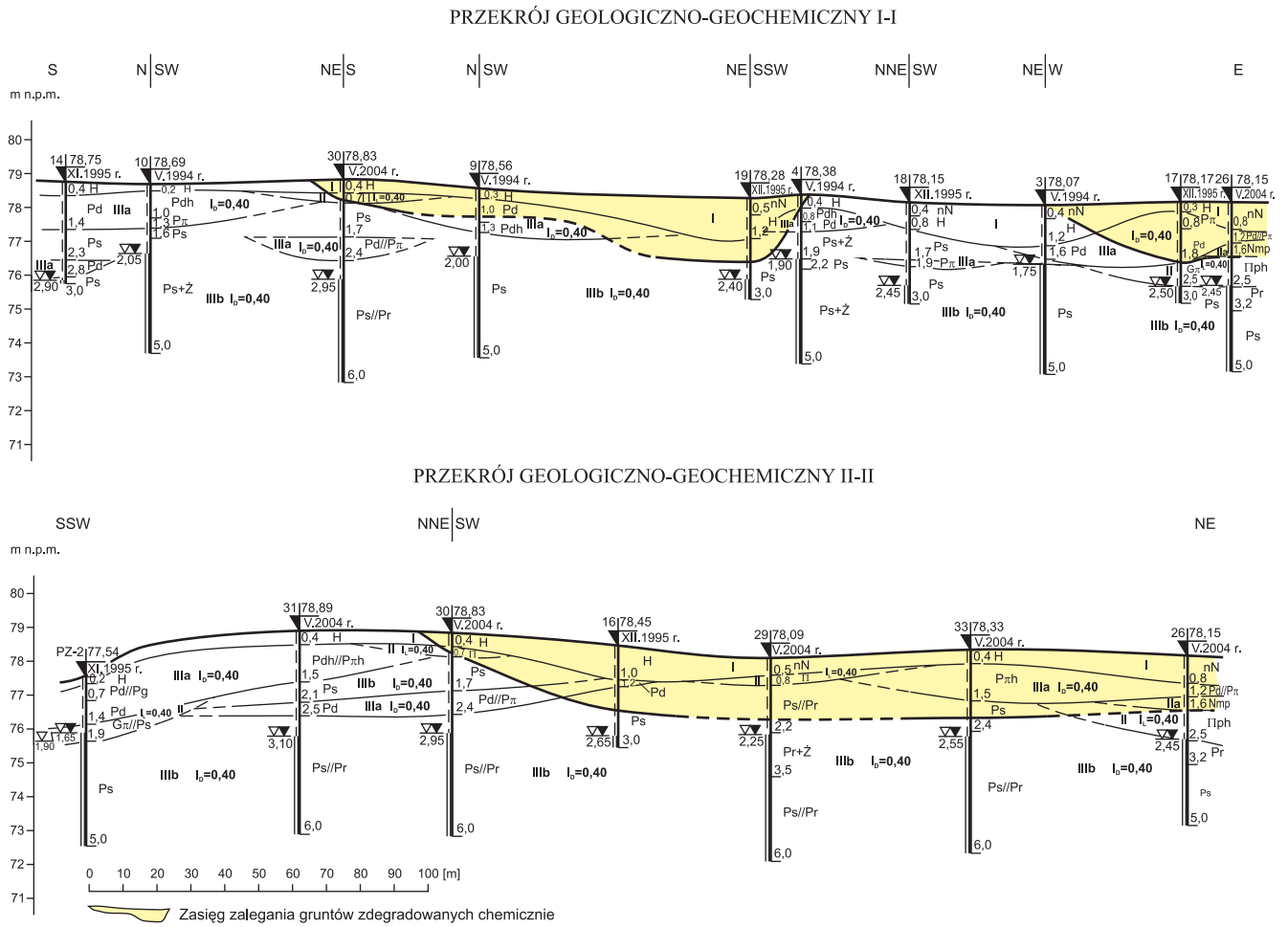


Fig. 15.1. Przykładowe przekroje geologiczno-geochemiczne przez zdegradowany chemicznie teren projektowanego osiedla mieszkaniowego w Łomiankach

wacji. Na podstawie uzyskanych wyników badań należy opracować program rekultywacji terenu lub odstąpić od przewidywanego sposobu zagospodarowania w określonym miejscu. Program rekultywacji musi być uzgodniony

z regionalnym dyrektorem ochrony środowiska. Z przeprowadzonych prac rekultywacyjnych wykonuje się dokumentację powykonawczą, również przekazywaną do regionalnego dyrektora ochrony środowiska.

16. DOŚWIADCZENIA W ZAKRESIE DOKUMENTOWANIA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIEGO NA TERENACH ZDEGRADOWANYCH

W kartografii geologiczno-inżynierskiej dla potrzeb planowania przestrzennego ważne jest określenie zasięgu, formy występowania, miąższości oraz ogólnej charakterystyki litologii i genezy gruntów antropogenicznych (Dragowski, 1999). Ważne jest także wskazanie możliwości negatywnego wpływu na życie ludzi i na środowisko przyrodnicze.

16.1. ATLASY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE AGLOMERACJI W SKALI 1:10 000

16.1.1. Atlas Warszawy

W latach 1998–2000 wykonano pierwszy cyfrowy atlas geologiczno-inżynierski Warszawy w skali 1:10 000 (Frankowski, Wysokiński, red., 2000). Grunty występujące na

terenie Warszawy zostały zaklasyfikowane do poszczególnych serii geologiczno-inżynierskich. Jedną z serii stanowiły antropogeniczne nasypy budowlane i nasypy niebudowlane. Nasypy niebudowlane w Warszawie są bardzo zróżnicowane pod względem składu granulometrycznego i pochodzenia materiału. Grunty te występują w różnych obszarach miasta i cechują się zmienną miąższością. Na terenie Warszawy występują również nasypy budowlane. Są to głównie nasypy drogowe i kolejowe. Liczne nasypy budowlane stanowią podłoże fundamentów obiektów budowlanych. Atlas zawiera między innymi mapę gruntów antropogenicznych (fig. 16.1). Na mapie przedstawiono następujące elementy: obszary występowania gruntów antropogenicznych w odległości do 100 m od otworu badawczego, w którym je stwierdzono, oraz położenie obszarów

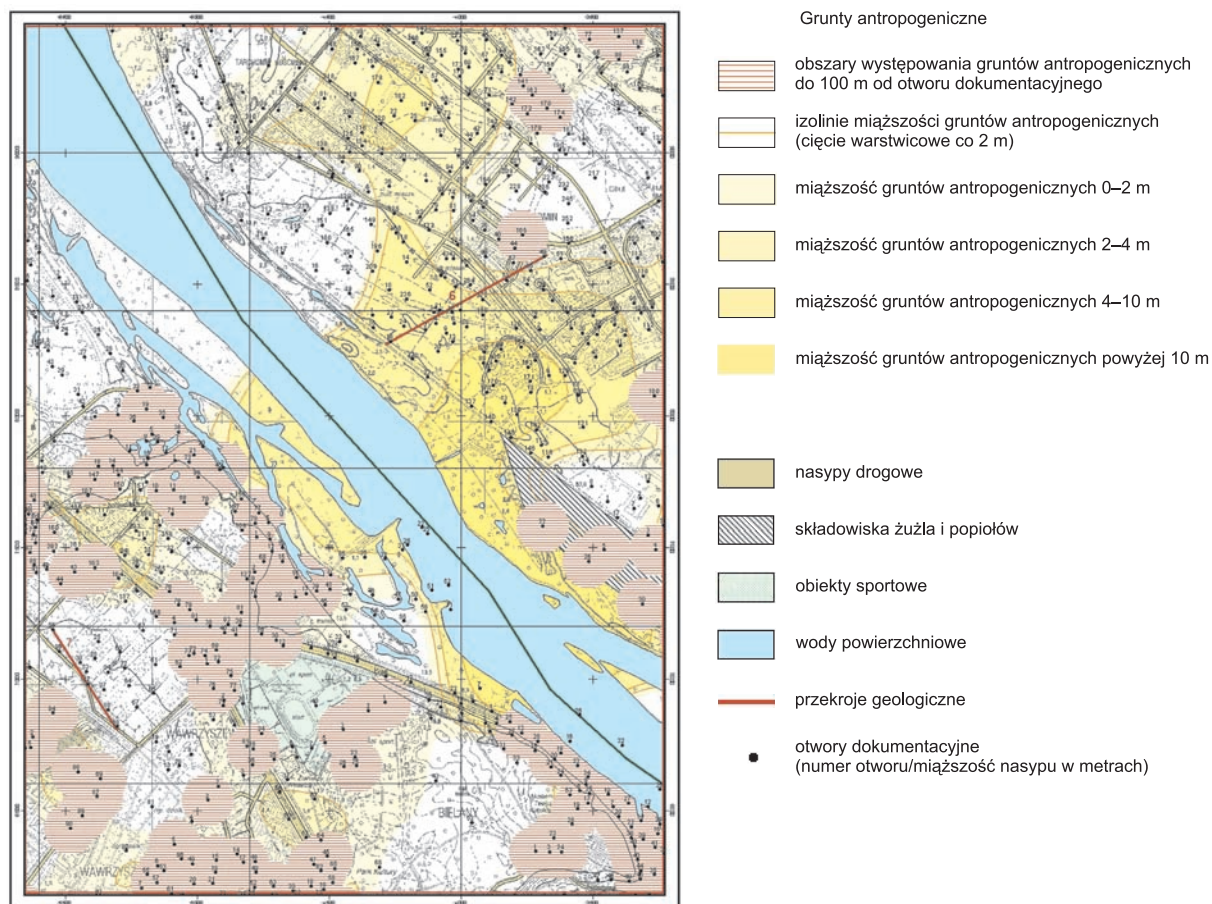


Fig. 16.1. Fragment mapy gruntów antropogenicznych Warszawy, w skali 1:10 000 (Frankowski, Wysokiński, red., 2000)

gruntów antropogenicznych o miąższości do 2 m, 2–4 m, 4–10 m oraz powyżej 10 m.

16.1.2. Atlas aglomeracji katowickiej

Kolejnym cyfrowym zbiorem map jest atlas geologiczno-inżynierski aglomeracji katowickiej, w którym wydzielono serię gruntów antropogenicznych (1), obejmującą nasypy przemysłowe, górnicze, przeróbcze, wtórne (hutnicze, z elektrowni etc.) oraz serię nasypów budowlanych i innych (2). Opracowano mapę gruntów antropogenicznych (fig. 16.2) oraz mapę warunków górniczych, w skali 1:10 000. Na ma-

pie gruntów antropogenicznych przedstawiono zasięgi występowania nasypów przemysłowych (seria 1) oraz obszary występowania nasypów budowlanych i innych (seria 2). Na mapie gruntów antropogenicznych naniesiono także 7 istniejących, czynnych składowisk odpadów niebezpiecznych oraz hałdy. Mapa warunków górniczych przedstawia zasięgi obszarów górniczych kopalń czynnych, zlikwidowanych, w trakcie likwidacji oraz obszary złóż niezagospodarowanych. Ponadto przedstawiono tereny, gdzie była prowadzona płytka (do 100 m) eksploatacja pokładów węgla oraz wielkość prognozowanych osiadań powierzchni terenu do końca koncesji poszczególnych kopalń.



Fig. 16.2. Fragment mapy gruntów antropogenicznych aglomeracji katowickiej, w skali 1:10 000 (Dubaj-Nawrot, Wróbel, red., 2005)

16.1.3. Atlas Poznania, aglomeracji trójmiejskiej i aglomeracji krakowskiej

W atlasach geologiczno-inżynierskich Poznania, aglomeracji trójmiejskiej Gdańsk–Sopot–Gdynia i aglomeracji krakowskiej wydzielono serię nasypów budowlanych i nasypów niebudowlanych. Na mapie gruntów antropogenicznych przedstawiono zasięgi występowania nasypów antropogenicznych zarówno niekontrolowanych, jak i przygotowa-

nych pod budownictwo. Naniesiono także istniejące składowiska odpadów, a także miejsca po wylewiskach odpadów (fig. 16.3).

16.1.4. Atlas aglomeracji wrocławskiej

W Atlasie geologiczno-inżynierskim aglomeracji wrocławskiej wydzielono 7 serii gruntów antropogenicznych: 1 – nasypy niebudowlane, 101 – nasypy budowlane, 2 – mi-



Fig. 16.3. Fragment mapy gruntów antropogenicznych aglomeracji trójmiejskiej, w skali 1:10 000 (Frankowski, Zachowicz, red., 2007)

neralno-organiczne wypełnienia fos, 3 – budowle forteczne i stare fundamenty, 4 – nasypy komunalne, 5 – hałdy (pohutnicze i odpadów paleniskowych), 6 – grunty na obszarach dawnych cmentarzy. Występowanie i miąższość gruntów antropogenicznych przedstawiono na mapie gruntów antropogenicznych (fig. 16.4). Przyjęto pięć przedziałów miąższości: poniżej 1 m, 1–2 m, 2–3 m, 3–5 m i powyżej 5 m. Na mapie zaznaczono także istniejące składowiska i hałdy. Przedstawiono też położenie ważniejszych nasypów kolejowych oraz nasypów drogowych dla dróg o szerokości powyżej 6 m.

16.1.5. Atlas aglomeracji Rybnik– –Jastrzębie-Zdrój–Żory

W Atlasie geologiczno-inżynierskim aglomeracji Rybnik–Jastrzębie-Zdrój–Żory wydzielono dwie serie gruntów antropogenicznych: 1 – nasypy przemysłowe: górnicze, przerobcze, wtórne; 2 – nasypy budowlane i niebudowlane. Dla aglomeracji Rybnik–Jastrzębie-Zdrój–Żory przygotowano między innymi mapę gruntów antropogenicznych (fig. 16.5) oraz mapę warunków górniczych, w skali 1:10 000. Na mapie gruntów antropogenicznych przedstawiono otwory,

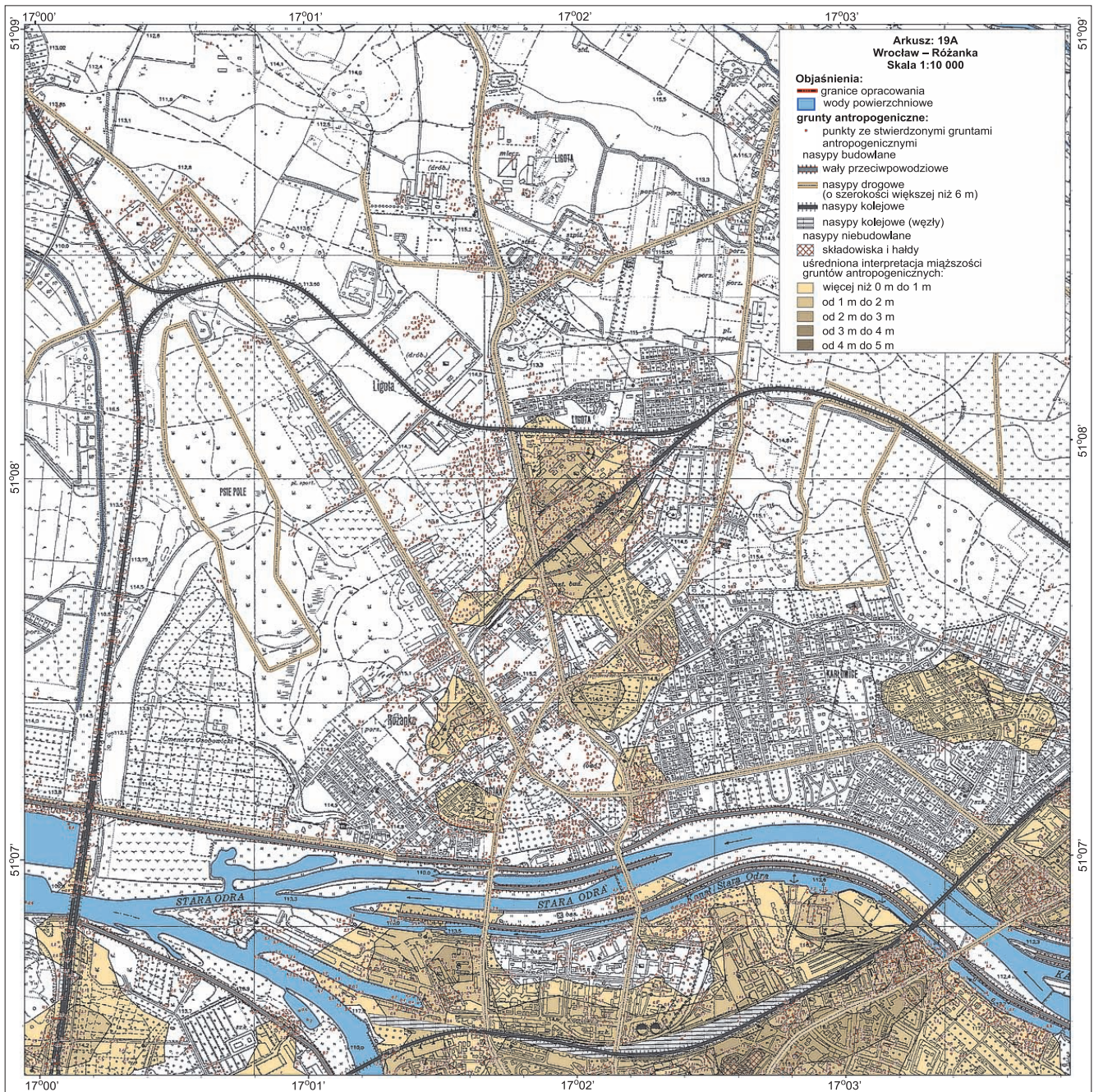


Fig. 16.4. Fragment mapy gruntów antropogenicznych aglomeracji wrocławskiej, w skali 1:10 000 (Goldsztejn, red., 2008)

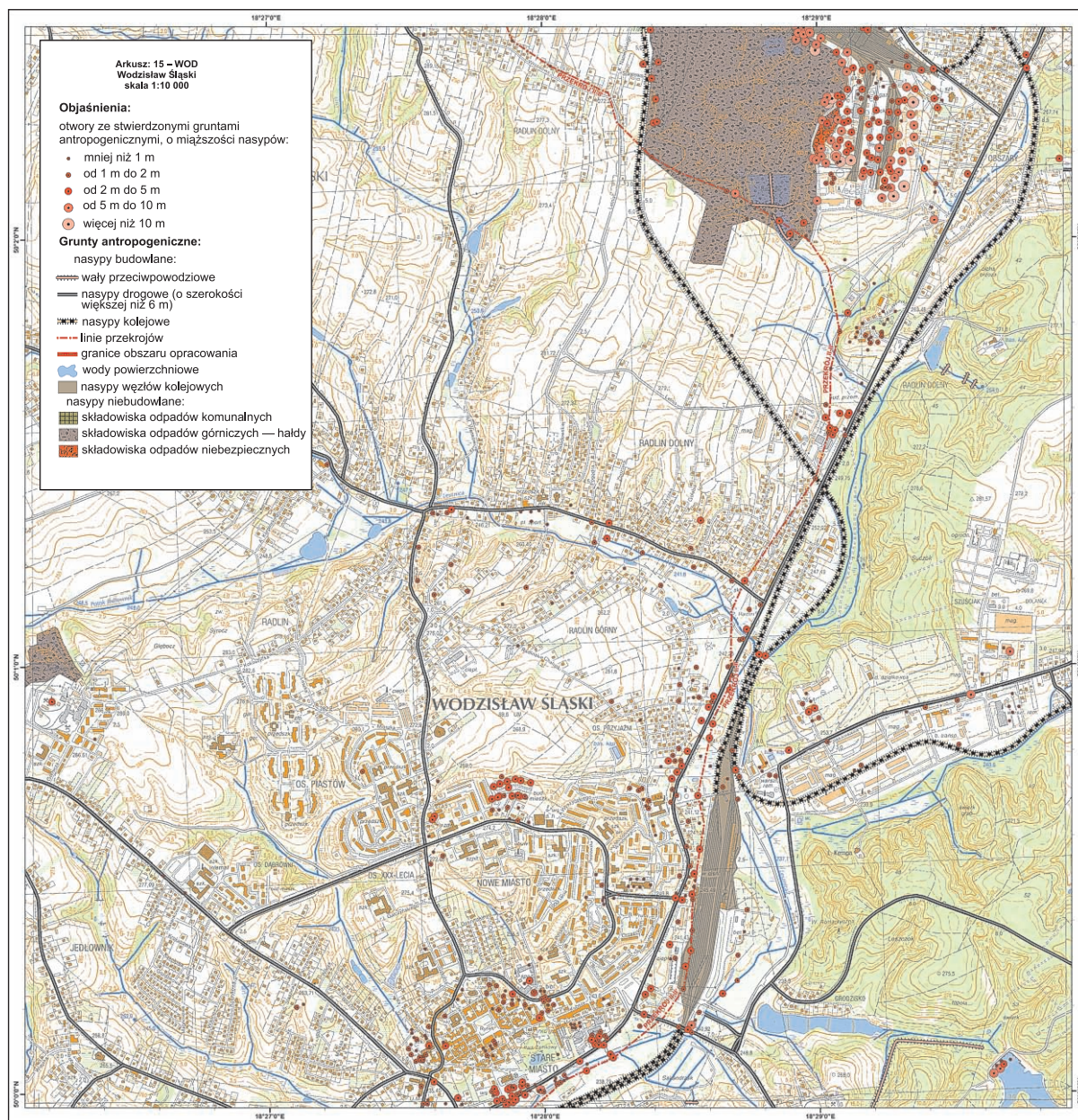


Fig. 16.5. Fragment mapy gruntów antropogenicznych dla aglomeracji Rybnik–Jastrzębie-Zdrój–Żory, w skali 1:10 000 (Dubaj-Nawrot, red., 2009)

w których stwierdzono grнты antropogeniczne z podaniem ich miąższości, nasypy niebudowlane (składowiska odpadów komunalnych, niebezpiecznych i pogórnictwa) oraz nasypy budowlane (przebieg nasypów drogowych, kolejowych i wałów przeciwpowodziowych). Na mapie warunków górniczych przedstawiono zasięgi obszarów górniczych kopalń czynnych, zlikwidowanych, w trakcie likwidacji, obszary złóż niezagospodarowanych. Tereny, gdzie była prowadzona płytko (do 100 m) eksploatacja pokładów węgla oraz wielkość przewidywanych osiadań powierzchni terenu do końca koncesji poszczególnych kopalń. Naniesiono również te otwory, w których stwierdzono pustki i wyrobiska zaciśnięte po eksploatacji pokładów węgla.

16.2. MAPA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIEJ PRZYDATNOŚCI TERENU, MAPA RYZYKA GEOLOGICZNEGO

Z analizy przedstawionych map i atlasów wynika, że potrzeba wyodrębnienia grupy gruntów antropogenicznych była spowodowana ich zróżnicowaniem, znacznym rozprzestrzenieniem i często występowaniem na terenach inwestycyjnych. Wydzielanie gruntów antropogenicznych ze względu na genezę związane jest głównie z obszarami miejskimi i przemysłowymi, obiektami liniowymi (drogi i linie kolejowe), także obszarami składowania odpadów i eksploatacji górniczej. Omówione mapy gruntów antropogenicznych

stanowią ważne źródło informacji przy tworzeniu map ryzyka, a techniki GIS umożliwiają dokładne przedstawienie zasięgu występowania gruntów antropogenicznych zarówno powierzchniowo (2D), jak i w głębinie (3D).

Ważne jest, aby mapy gruntów i procesów antropogenicznych przedstawiały dokładny obszar ich występowania, gdyż pozwoli to na zaplanowanie szczegółowych badań i na ich podstawie wskazanie ograniczeń w zagospodarowaniu terenu. Na tej podstawie będzie możliwe także określenie sposobu rekultywacji całego terenu lub jego poszczególnych części. Posadowienie różnego typu obiektów budowlanych na obszarach występowania gruntów antropogenicznych wymaga na etapie dokumentowania wyznaczenia właściwości tych gruntów. Mapy gruntów i procesów antropogenicznych powinny być opracowane dla obszarów przewidzianych na cele inwestycyjne, wymagających ochrony lub zdegradowanych. Analiza mapy umożliwi właściwe ukierunkowanie działań na wybranym obszarze.

16.3. LIKWIDACJA KOPALŃ I REKULTYWACJA TERENÓW POGÓRNICZYCH W TARNOBRZESKIM ZAGŁĘBIU SIARKOWYM

Po okresie intensywnego rozwoju górnictwa siarki najważniejszym obecnie problemem jest likwidacja nieczynnych kopalń siarki i rekultywacja zdegradowanych terenów pogórnicznych. Są to przedsięwzięcia o dużej złożoności technicznej, czaso- i kosztochłonne.

16.3.1. Likwidacja odkrywkowych kopalń siarki

Po odkrywkowej eksploatacji złóż siarki w rejonie Tarnobrzega pozostały dwa wyrobiska górnicze: Machów – o po-

wierzchni ok. 560 ha i głębokości do 110 m oraz Piaseczno – o powierzchni 160 ha i głębokości do 42 m. Sąsiadujące ze sobą w odległości około 2 km wyrobiska przedziela droga krajowa relacji Tarnobrzeg–Mielec oraz rzeka Wisła. Oba wyrobiska znajdują się w obrębie tych samych formacji geologicznych, a wzajemne powiązanie hydrogeologiczne wyrobisk przesądza o konieczności skojarzonej ich likwidacji (fig. 16.6).

Likwidacja kopalń odkrywkowych siarki jest przedsięwzięciem skomplikowanym i kosztownym, niemającym precedensu nie tylko w polskim, ale i w światowym górnictwie. Na złożoność przedsięwzięcia składa się nie tylko skala robót, ale też konieczność skutecznej likwidacji zagrożenia siarkowodorowego związanego z izolacją neogeńskiego piętra wód złożowych w likwidowanych wyrobiskach.

Program skojarzonej likwidacji wyrobisk poeksploatacyjnych (Kirejczyk, red., 1996) zakładał utworzenie w nich zbiorników wodnych, które wraz ze zrehabilitowanymi terenami pogórnicznymi zostaną zagospodarowane jako tereny rekreacyjne. Na figurze 16.7 przedstawiono lokalizację zbiorników wodnych utworzonych w likwidowanych wyrobiskach Machów i Piaseczno.

16.3.2. Likwidacja wyrobiska kopalni siarki Machów

Do wykonania warstwy izolacyjnej na spągu wyrobiska Machów wykorzystano ility krakowieckie, zgromadzone wcześniej na zwałowisku wewnętrznym, oraz uzyskane bieżąc przy profilowaniu skarp nadkładowych. Zadaniem utworzonej warstwy słabo przepuszczalnej było odizolowanie przyszłego zbiornika od wód podziemnych. Odpowiednia miąższość warstwy miała gwarantować, że zarówno w fazie

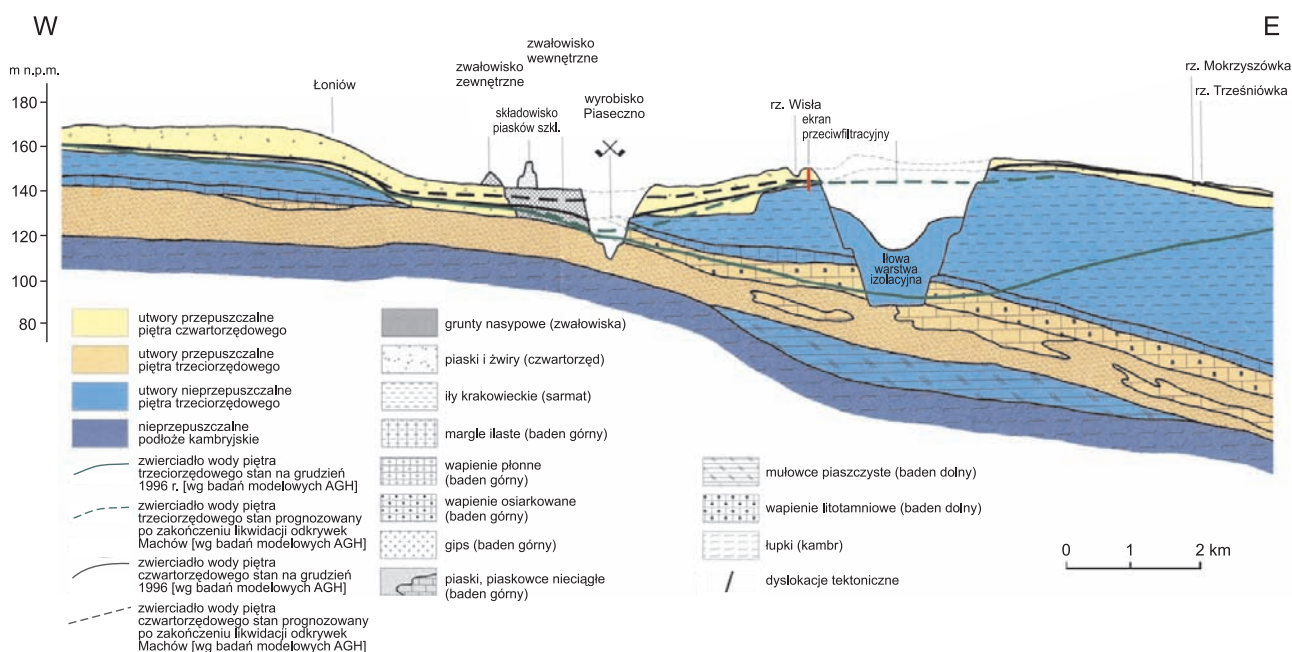


Fig. 16.6. Przekrój hydrogeologiczny przez wyrobiska Machów i Piaseczno (Burchard i in., 2011)

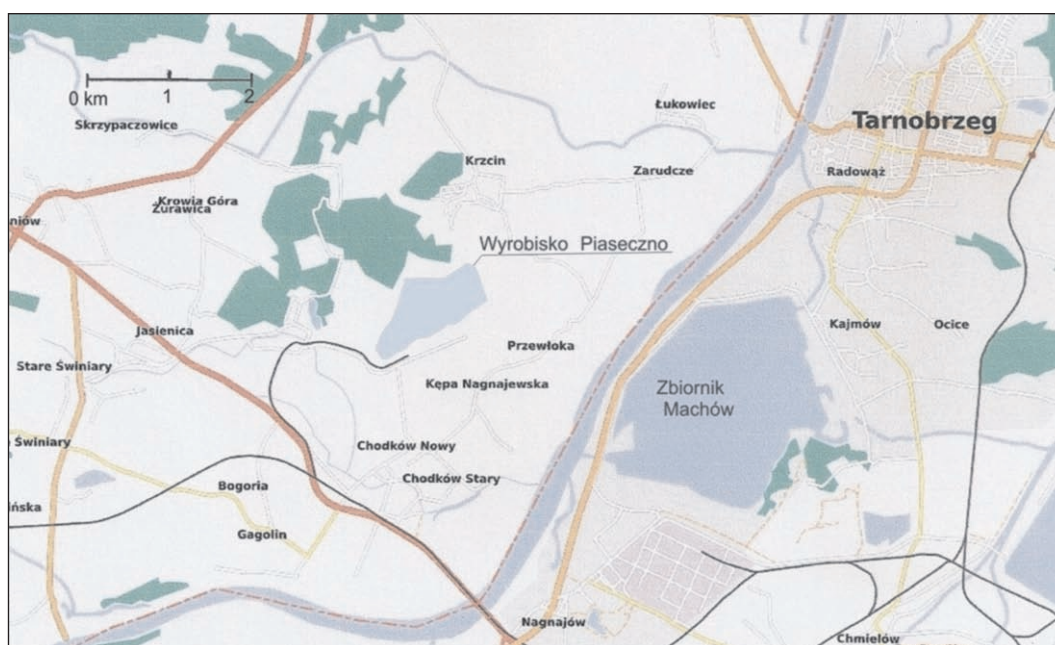


Fig. 16.7. Lokalizacja zbiorników wodnych Machów i Piaseczno

napelniania zbiornika wodą, jak i w czasie dalszej jego eksploatacji, ciśnienie wód złożowych piętra neogeńskiego na spąg tej warstwy, nie spowoduje przenikania zanieczyszczonej siarkowodorem wody do zbiornika. Warstwa izolacyjna, zbudowana z zagęszczonych pod własnym ciężarem ilów, dodatkowo tworzyła podparcie skarp wyrobiska, poprawiające warunki ich stateczności.

Przyjęta technologia likwidacji wyrobiska górniczego pozwoliła na wykorzystanie odpadów przemysłowych (kek porafinacyjny, ziemia zanieczyszczona siarką, popioły, odpady rudy darniowej i odpady z rozbiórki obiektów budowlanych) do częściowego wypełnienia dennej części likwidowanego wyrobiska. Odpady te zostały przykryte ilową warstwą izolującą o miąższości 25 m.

Równocześnie prowadzono likwidację obiektów związanych z kopalnią i przeróbką rudy: osadników odpadów flotacyjnych, składowiska odpadów porafinacyjnych (keku), klarowników wód złożowych i zwałowiska zewnętrznego nadkładu. W miejscach tych obiektów utworzono w ramach prowadzonych prac rekultywacyjnych użytki ekologiczne, które stanowią urozmaicenie rekreacyjnych walorów zbiornika wodnego, powstałego w miejscu zlikwidowanego wyrobiska górniczego.

Skarpy i zbocza wyrobiska zostały uformowane w sposób zapewniający trwałą stateczność w warunkach zalania zbiornika wodą (Rybicki i in., 1993). Ponadto wykonano umocnienia (fig. 16.8), chroniące brzegi przed niekontrolowanymi procesami abrazyjnymi, mogącymi zagrozić obiektom zlokalizowanym w sąsiedztwie zbiornika.

Po wybudowaniu obiektów hydrotechnicznych umożliwiających napełnienie projektowanego zbiornika wodą

z Wisły oraz urządzeń służących do corocznej, częściowej wymiany wody, w 2005 roku rozpoczęto napełnianie zbiornika (fig. 16.9). Woda z Wisły, przy stanach pozwalających na wprowadzenie jej do zbiornika, doprowadzana jest otwartym kanałem do budowli wlotowej. Kanał wlotowy jest ziemną budowlą o przekroju trapezowym (fig. 16.10), szerokości w dnie wynoszącej 14,0 m, nachyleniu skarp 1:2, długości 212 m i głębokości średniej 3,0 m.

Budowla wlotowa wraz z przepustem (fig. 16.11) stanowi element ciągu obiektów do napełniania zbiornika Machów. Łączy ona odcinki otwartego kanału, prowadzące wodę po terenach międzywała i zawała Wisły. Budowla wlotowa na

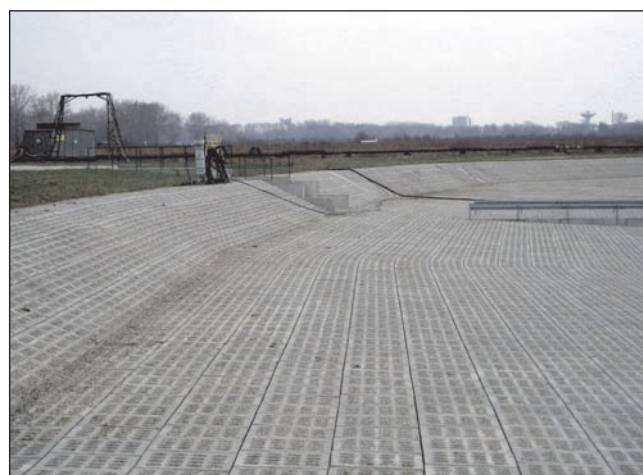


Fig. 16.8. Umocnienie górnej skarpy zbiornika Machów (powierzchnia abrazyjna)



Fig. 16.9. Napełnianie zbiornika Machów wodą z Wisły



Fig. 16.11. Budowla wlotowa



Fig. 16.10. Kanał wlotowy

kanale ujęciowym wbudowana została w korpus wału przeciwpowodziowego. Jest wyposażona w zamknięcia, służące do natychmiastowego odcięcia dopływu wody w przypadku zagrożenia powodziowego lub groźby o charakterze ekologicznym (skażenie wody).

Okresową wymianę wody w zbiorniku zapewnia kanał odprowadzający, wykonany w północnej części obszaru (fig. 16.9). Na odcinku od zbiornika do drogi Tarnobrzeg–Mielec kanał jest stale wypełniony wodą, o rzędnej zwierciadła identycznej jak w zbiorniku. Głębokość wody w kanale wynosi około 1,0 m, przy minimalnym poziomie piętrzenia.

Na obrzeżach zbiornika Machów, nazwanego Jeziolem Tarnobrzeskim, powstały plaże, ścieżki spacerowe, przystanie do uprawiania sportów wodnych wraz z infrastrukturą, służącą potrzebom rekreacji. Po napełnieniu zbiornika Machów, tj. od lipca do września 2010 r. został on warunkowo udostępniony do publicznego użytkowania (kąpielisko, żeglarnia). W roku 2011 sezon rekreacyjny trwał od 1 czerwca do końca września.



Fig. 16.12. Widok zbiornika Piaseczno

16.3.3. Likwidacja i rekultywacja wyrobiska po byłej kopalni siarki Piaseczno

W podobny sposób jak zbiornik Machów zostanie zagospodarowany zbiornik wodny, który powstanie po zlikwidowaniu wyrobiska byłej odkrywkowej kopalni siarki Piaseczno (fig. 16.12). Będzie on miał pojemność około 37 mln m³, maksymalną głębokość 46 m, a jego powierzchnia wyniesie około 160 ha.

Od zakończenia eksploatacji piasków szklarskich (w 1981 r.) jedynym działaniem zapewniającym kontrolę nad wysokością wody wypełniającej wyrobisko pogórnice Piaseczno było utrzymywanie systemu jego odwodnienia. Do roku 2005 nie podejmowano żadnych innych robót likwidacyjnych, poprzestając na pracach porządkowych związanych z wycinką części drzew i krzewów na skarpach odkrywki oraz budową dróg dojazdowych w otoczeniu wyrobiska.

Po zakończeniu robót górniczych (1982 r.) w wyrobisku Piaseczno, w jego dennej części, utworzył się zbiornik wodny zasilany dopływami z utworów czwartorzędowych i neogeńskich. Odprowadzano z niego nadmiar wód w ilościach zapewniających utrzymywanie poziomu wody na rzędnej około 113,0–115,0 m n.p.m. Pompy powierzchniowe, pra-

cupujące zwykle z wydajnością średnią około 17 000 m³/d, stanowiły jeden z elementów systemu drenażowego tej części tarnobrzeskich złóż siarki.

W ostatnich latach dwukrotnie podwyższano napelnienie zbiornika przez okresowe wstrzymanie odbioru napływającej wody. W październiku 1996 r. podniesiono w wyrobisku poziom wody do wysokości 122,0–124,0 m n.p.m., w celu ograniczenia dopływu zanieczyszczonych wód neogeńskich. We wrześniu 2009 r., po ponownym wyłączeniu pomp odwadniających, proces samoczynnego napelniania zbiornika został wznowiony. Napelnienie zbiornika do poziomu wody 138,0 m n.p.m. osiągnięto w styczniu 2012 r.

Program likwidacji wyrobiska Piaseczno (Kirejczyk red., 1997) został zaakceptowany do realizacji przez Ministra Gospodarki w 1998 r. i znalazł odbicie w zmianach miejscowych planów zagospodarowania gmin Łonów i Koprzywnica. Głównym założeniem programu było czasowe i technologiczne skojarzenie likwidacji wyrobiska Piaseczno z likwidowanym od 1994 r. wyrobiskiem Kopalni Siarki Machów. Miał on polegać na: wyprofilowaniu skarp wyrobiska, przebudowie systemu odwadniania, izolacji dna wyrobiska i napelnieniu zbiornika wodą, pochodzącą z dopływów czwartorzędowych lub z Wisły. Roboty likwidacyjne wyrobiska, zaplanowane na lata 1997–2000 uległy opóźnieniu. W tym czasie postęp likwidacji wyrobiska w Machowie był już na tyle duży, że podjęcie skojarzonej likwidacji obu wyrobisk pogórnich stało się niemożliwe.

Ostatecznie, prowadzone od 2005 r. prace zabezpieczające i rekultywacyjne w obrębie wyrobiska Piaseczno (Pantula i in., 2005, 2006, 2007) i na terenach otaczających obejmują:

- izolację odsłoniętych warstw serii chemicznej w likwidowanym wyrobisku,
- wyprofilowanie skarp przyszłego zbiornika wodnego,
- rekultywację terenów przyległych do zbiornika,
- wypełnienie wyrobiska wodą,
- wykonanie systemu melioracyjnego na terenach zagrożonych podtopieniem.

Izolację odsłoniętych warstw serii chemicznej zakończono w 2009 roku. Przykrycie istniejących odsłoneń materiałem słabo przepuszczalnym miało na celu utrudnienie kontaktu wód zbiornikowych z zanieczyszczonymi wodami neogeńskiego piętra wodonośnego.

Skarpy uformowane w piaskach baranowskich i w utworach serii chemicznej, znajdujące się pod wodą, nie wymagały żadnej przebudowy. Skarpy iłowe zostały wyprofilowane w trakcie wykonywania izolacji odsłoniętych warstw serii chemicznej. Kształtowanie skarp zbudowanych z utworów czwartorzędowych rozpoczęto w II półroczu 2009 r. Aktualnie prace związane z kształtowaniem skarp w utworach czwartorzędowych i profilowaniem półki abrazyjnej zostały zakończone w całości na zboczach północnym, wschodnim i południowym. Prace te kontynuowano w roku 2011 na zboczu zachodnim wyrobiska, a ich zakończenie planowano w lipcu 2011. Prace te zostały wstrzymane z uwagi na powstanie dużego osuwiska (w dniu 11 maja

2011 r.) w rejonie południowym zwałowiska wewnętrzznego, tj. w południowo-zachodnim fragmencie zbiornika wodnego.

Przyjęty zadrzewieniowo-łukowy kierunek rekultywacji terenów umożliwi dostosowanie ich do rekreacyjnej funkcji, jaką w przyszłości będzie pełnił zbiornik Piaseczno. Projekt likwidacji wyrobiska pogórnich w Piasecznie przewiduje napelnienie zbiornika wodnego do docelowej wysokości 146,0 m n.p.m. i jej utrzymywanie, przy dopuszczalnym przekroczeniu o około ±0,2 m (Matuszewski, Lewandowski, 1996). Warunkiem przeprowadzenia tego ostatniego etapu prac likwidacyjnych jest wybudowanie systemu melioracyjnego na terenach zagrożonych podtopieniem, położonych na lewym brzegu Wisły (fig. 16.13). System melioracyjny tworzyłoby pięć rowów odwadniających sieci podstawowej wraz z dochodzącymi do nich rowami i drenami sieci szczegółowej oraz przepompownie, umożliwiające zrzut wody do Wisły. Obszary zabudowy mieszkalno-gospodarczej chronione byłyby odrębnie wybudowanym drenażem pierścieniowym.

Realizacja tego zadania, przewidzianego programem likwidacji wyrobiska poeksploatacyjnego w Piasecznie, wydaje się być odległa w czasie i będzie wymagać jednomyślności i zaangażowania w rozwiązanie tej kwestii zainteresowanych podmiotów gospodarczych oraz dużych środków finansowych.

16.3.4. Likwidacja otworowych kopalń siarki

Jedyną aktualnie czynną kopalnią otworową siarki w Polsce jest kopalnia Osiek, zlokalizowana w gminie Osiek, w powiecie staszowskim, w województwie świętokrzyskim. Pozostałe 4 otworowe kopalnie są zlikwidowane, bądź znajdują się w trakcie likwidacji. Zakończona została likwidacja doświadczalnej kopalni Machów-II i kopalni Grzybów. Rozpoczęta w roku 2001 likwidacja kopalni Basznia została wstrzymana. W Tarnobrzeskim Zagłębiu Siarkowym (TZS) w trakcie likwidacji jest kopalnia Jeziórko.

Likwidacja otworowych kopalń siarki polega na likwidacji elementów uzbrojenia powierzchniowego pól górniczych (otwory wiertnicze, rurociągi, sterownie eksploatacyjne, rozdzielnie, rowy, rząpia, pompownie wód, drogi i place itp.) oraz pozostałej infrastruktury kopalń (zbiorniki siarki, place składowe, kotłownie, kompresorownie, magazyny, warsztaty itp.).

W wyniku prowadzonej eksploatacji tereny pól górniczych uległy charakterystycznym dla otworowego górnictwa siarki przekształceniom geomechanicznym, hydrologicznym i chemicznym. Mechaniczne uszkodzenia warstwy glebowej zostały spowodowane pracami instalacyjnymi, budową dróg kopalnianych, rząpi, rowów odwadniających oraz wierceniem otworów i pracą ciężkiego sprzętu.

Typowym następstwem eksploatacji jest osiadanie powierzchni terenu. W powstających nieckach osiadania tworzą się zalewiska. Zmusza to kopalnię do utrzymywania systemu odwadniającego na terenach poeksploatacyjnych.

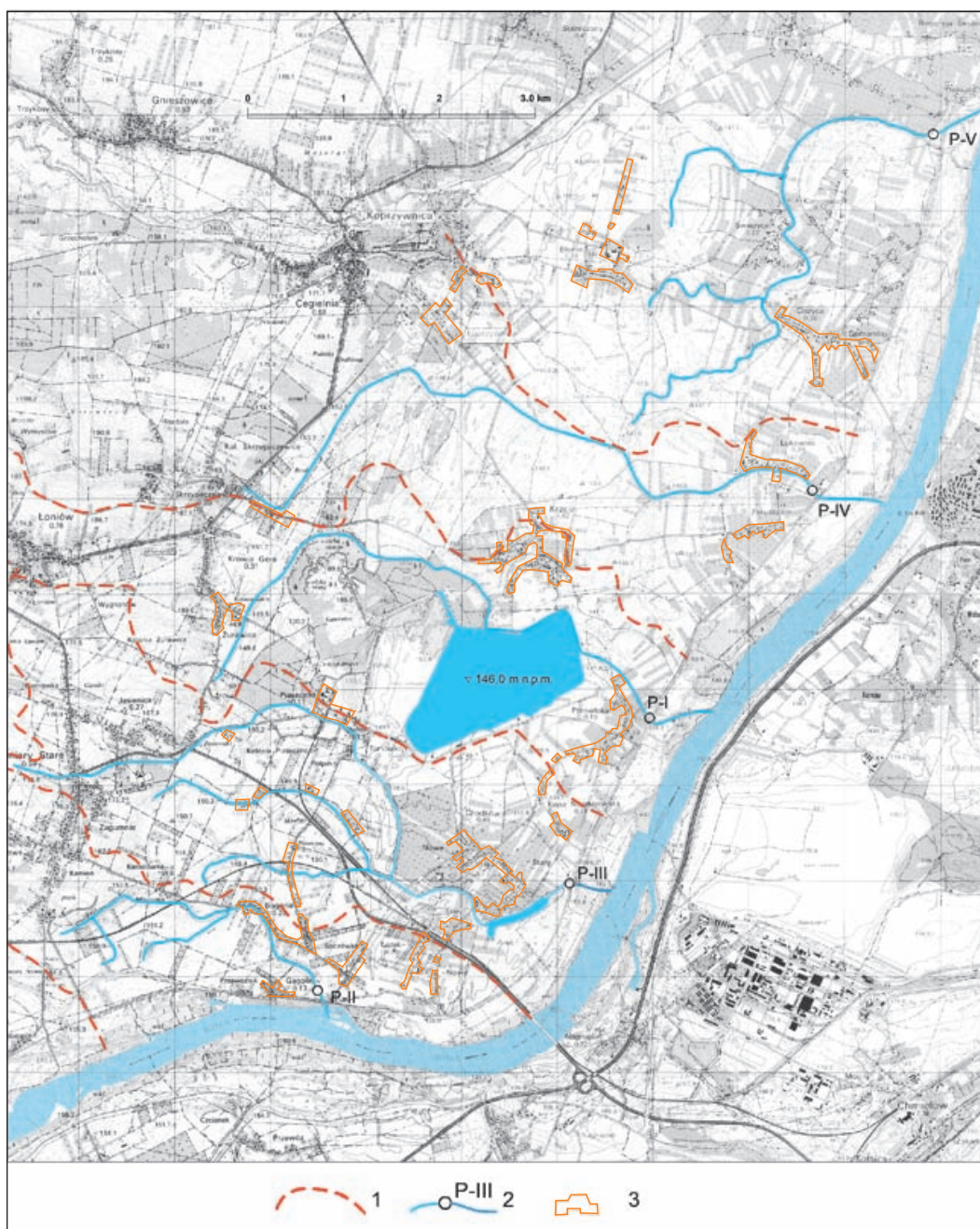


Fig. 16.13. Projektowane trasy rowów melioracyjnych sieci podstawowej oraz rozmieszczenie pompowni wód z odwadniania (Burchard i in., 2009)

1 – granice zlewni cząstkowych; 2 – przepompownie i rowy sieci podstawowej; 3 – zasięg terenów zabudowanych, zagrożonych podtopieniem

Przywrócenie walorów przyrodniczych i zdolności produkcyjnej zdegradowanym terenom poeksploatacyjnym (fig. 16.14) ze względu na złożoność przekształceń środowiska jest procesem bardzo skomplikowanym. Zagadnienie to było przedmiotem badań prowadzonych już od lat 70. przez Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie. W ich wyniku opracowano dwie główne metody rekultywacji, które następnie zastosowano na skalę przemysłową w kopalni siarki Jeziórko.

Pierwsza z nich, neutralizacyjno-użyźniająca polega na zobojętnieniu kwaśnego odczynu gleb odpadami poflotacyjnymi, powstałymi przy produkcji siarki metodą flotacyjno-rafinacyjną oraz uproduktywnieniu gruntów warstwą próchniczą. Druga metoda, reniwelacyjno-izolacyjna wykorzystuje również odpady poflotacyjne do podniesienia rzędnej terenu z równoczesną izolacją i blokadą skażeń chemicznych. Pierwsza metoda stosowana jest na obszarach o najmniejszym stopniu przekształceń geomechanicznych



Fig. 16.14. Tereny pogórnice kopalni siarki Jeziórko przed rekultywacją

i chemicznych (obrzeża pól górniczych). Możliwa jest tu uprawa większości roślin. Druga metoda znalazła zastosowanie w rekultywacji terenów o największych osiadaniach i najsilniejszym skażeniu. Metoda ta przewiduje, że po zakończeniu eksploatacji, demontażu urządzeń i obiektów technologii górniczej (uzbrojenia pola), skażony i zdegradowany teren izoluje się i neutralizuje warstwą odpadów poflotacyjnych. Po zakończeniu neutralizacji i niwelacji terenu wykonywane są zabiegi agrotechniczne, polegające na nawiezieniu warstwy humusu, nawożeniu oraz wykonaniu wysiewów odpowiednich mieszanek traw.

W 1993 r. został opracowany zmodyfikowany program rekultywacji dla Kopalni Siarki Jeziórko, który był podstawą decyzji o zmianie kierunku rekultywacji terenów poeksploatacyjnych z rolnego na leśno-wodno-łąkowy (Gołda i in., 1993). Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych według opracowanego programu zakłada realizację zróżnicowanych zabiegów rekultywacyjnych w zależności od rejonów i stopnia degradacji powierzchni. Do rekultywacji tych terenów wykorzystywane jest wapno poflotacyjne.

Wieloletnia działalność górnicza spowodowała radykalne zmiany w krajobrazie. Został on zdominowany elementami przemysłowymi, a pierwotne walory uległy dewastacji. Docelowo na zreklamowanych terenach pogórnich powstaną lasy z lokalnymi zbiornikami (oczkami) wodnymi otoczonymi roślinnością (fig. 16.15). Będą one stanowić nowe, atrakcyjne formy krajobrazowe, wkomponowane w stan zagospodarowania terenów przyległych. Tereny o małym stopniu przekształceń, szczególnie sąsiadujących z użytkami rolnymi, zagospodarowywane są w kierunku rolnym.

Odrębny problem stanowią tereny zabudowy przemysłowej, które w związku z likwidacją kopalni stały się zbędne wraz z infrastrukturą, znajdującą się na tych terenach. Ostatecznie program likwidacji kopalni dla tych terenów przewiduje alternatywnie utrzymanie dotychczasowego ich użytkowania ze zmienioną działalnością przemysłową, lub po zlikwidowaniu obiektów i wykonaniu rekultywacji, zagospodarowanie leśne.

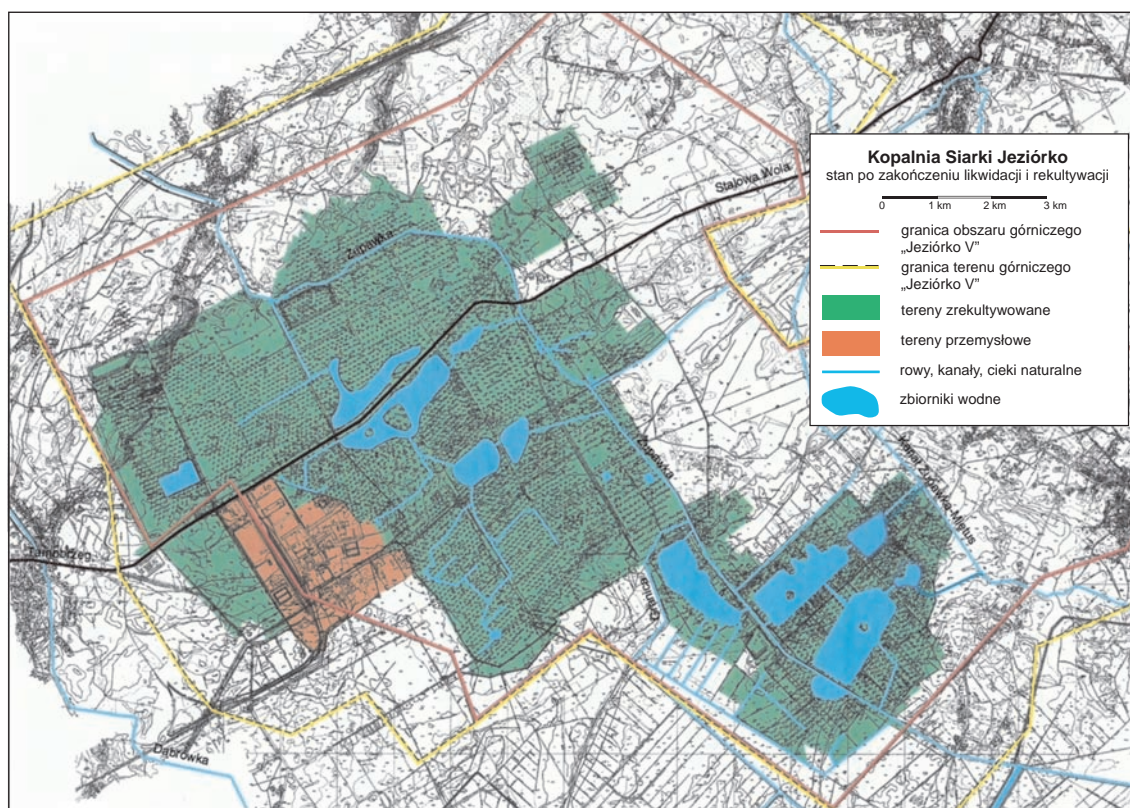


Fig. 16.15. Planowane zagospodarowanie terenów pogórnich kopalni siarki Jeziórko (według KiZPS Siarkopol w likwidacji)

16.4. REKULTYWACJA TERENÓW ZDEGRADOWANYCH CHEMICZNIE NA PRZYKŁADZIE ŁOMIANEK

Dobrym przykładem realizacji badań geologiczno-inżynierskich dla określenia warunków rekultywacji terenu zdegradowanego chemicznie są tereny położone w sąsiedztwie Jeziora Fabrycznego w Łomiankach, pomiędzy ulicami Fabryczną i Wiślaną. Przeprowadzone badania dotyczyły budowy domu komunalnego, osiedla mieszkaniowego oraz warunków zagospodarowania terenu na cele rekreacyjne w postaci założenia parku. W wyniku badań i analiz określono sposoby wykorzystania terenu zdegradowanego, zanieczyszczonego arsenem i chromem, zgodnie z założeniami miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego oraz przygotowano koncepcję rewitalizacji parku wokół Jeziora Fabrycznego.

Na degradację terenu zwrócono uwagę, dokumentując warunki geotechniczne dla projektowanego osiedla mieszkaniowego (Draǳowski, 1994). Przy stwierdzeniu generalnie korzystnych warunków posadowienia budynków dla około 600 mieszkańców, realizację inwestycji uzależniono od szczegółowego rozpoznania stopnia degradacji podłoża i jego zasięgu przestrzennego oraz przedstawienia koncepcji rekultywacji.

Zmiany dotyczą ukształtowania terenu oraz formowania na tym terenie gruntów antropogenicznych. Dotyczą one długiego okresu czasu i wiążą się przede wszystkim z funkcjonującą tu kiedyś garbarnią. Na terenie działki głębiono doły do składowania odpadów. W nieświadomości odpady wywożono na pola uprawne, stanowiące obecnie teren działki budowlanej. Poprzez te wszystkie działania na terenie wykształciła się powierzchniowa warstwa

gruntów nasypowych, często zanieczyszczona arsenem i chromem.

Przeprowadzone w latach 1996-2002 badania i oceny miały charakter kompleksowy (Draǳowski, Cabalski, 1996; Draǳowski i in., 2002). Objęto nimi, łącznie z badaniami archiwalnymi, kilkumetrową strefę podłoża. Systematycznie prowadzone badania stężeń arsenu i chromu oraz innych wskaźników, mających wpływ na mobilność zanieczyszczeń objęły strefę aeracji, a w strefie saturacji także właściwości wód i charakter wykształcenia warstwy wodonośnej.

Koncepcja zagospodarowania terenu między ulicami Wiślaną i Fabryczną, a więc w obrębie terenu, gdzie występują grunty zdegradowane chemicznie, przewiduje realizację osiedla mieszkaniowego o zabudowie jednorodzinnej (54 domy) i 20 domów czterodzinnych. Budynki będą niepodpiwniczone, posadowione na głębokości 0,40–0,50 m, na płycie żelbetowej ocieplonej styropianem. Tylko pod wyższe budynki przyjęto posadowienie na płytkich palach wierconych, aby przejść grunty słabe, nasypowe.

Oceny wyników badań oraz przestrzennej zmienności zdegradowanych gruntów dokonał A. Draǳowski wraz z zespołem Katedry Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego (Draǳowski i in., 2002). Efektem dokonanego rozpoznania było wydzielenie trzech stref w podłożu gruntowym, określających zasięg zanieczyszczeń oraz zmienny stan stężeń w glebach i gruntach (fig. 16.16):

- Strefa I – obejmuje teren, na którym nie stwierdzono skażenia gruntów zarówno na powierzchni, jak i głębiej. Oznaczone stężenia arsenu w glebach i gruntach nie przekraczają 30 ppm, a chromu 250 ppm.
- Strefa II – obejmuje obszar, na którym stwierdzono zanieczyszczenie tylko w przy powierzchniowej, do

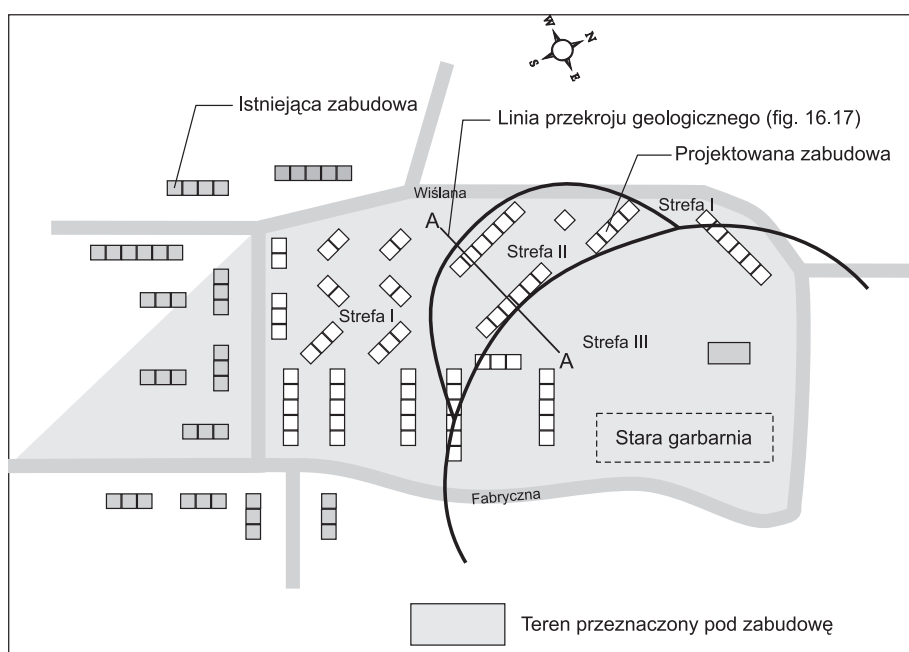


Fig. 16.16. Mapa stref geochemicznych

1 m, warstwie gruntów i gleby, natomiast grunty występujące niżej nie wykazują zanieczyszczenia arsenem i chromem; stężenia arsenu w glebach i gruntach wynoszą 5–101 ppm (średnio około 33 ppm), a chromu 4–157 ppm (średnio około 43 ppm).

- Strefa III – obejmuje obszar, na którym zasięg stwierdzonego skażenia jest głębszy (przekracza głębokość jednego metra), stwierdzone stężenia arsenu w glebach i gruntach wynoszą 10–10 350 ppm (średnio około 1000 ppm), a chromu 20–26 940 ppm (średnio około 1000 ppm).

Istotną formą dokumentującą zmienność, przede wszystkim pionową, zanieczyszczeń były przekroje geologiczno-geochemiczne. Przykładowo fragment przekroju przedstawia figura 16.17.

W nawiązaniu do wydzielonych stref przedstawiono koncepcję zagospodarowania osiedla i określono kierunki

rekultywacji i zagospodarowania terenu dla celów budowlanych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że pomimo stwierdzonych korzystnych warunków podłoża i szczególnego położenia działki w centrum miasta, bez specjalnych zabiegów i rozwiązań technicznych, ze względu na stwierdzoną degradację gleb i gruntów chromem i arsenem w wyznaczonych strefach II i III (fig. 16.16) budowa osiedla jest niemożliwa.

W ramach rekultywacji dla budynku komunalnego przyjęto koncepcję nadbudowy terenu nieskażonymi, kontrolowanymi gruntami niespoistymi (Drağowski i in., 2011). Warstwę tych gruntów, łącznie z warstwą humusową o grubości 0,75 m, ułożono na bentomacie, przykrytej geosyntetyczną warstwą drenazową, umożliwiającą odprowadzenie wód opadowych, tak aby nie dopuścić do ich kontaktu z zanieczyszczonymi gruntami podłoża. Schemat wykonania przedstawiono na figurze 16.18.

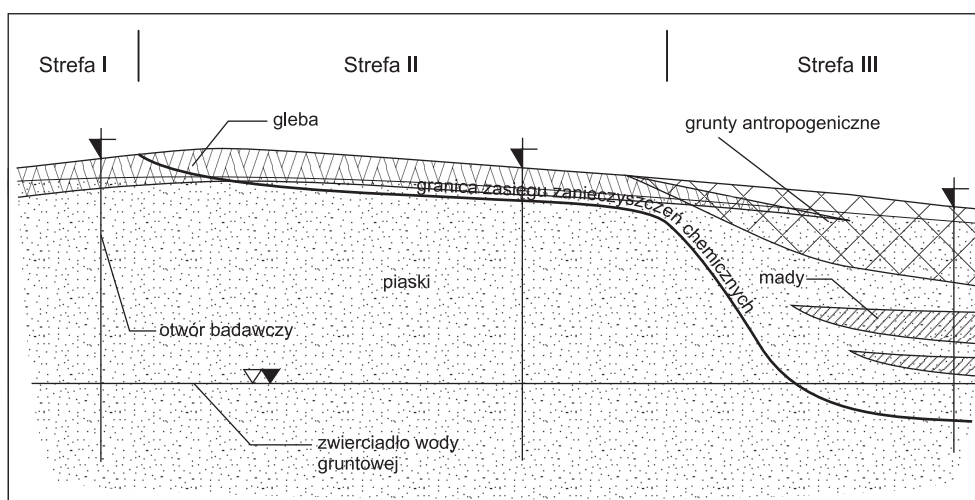


Fig. 16.17. Fragment przekroju geologiczno-geochemicznego; skala 1:100/500

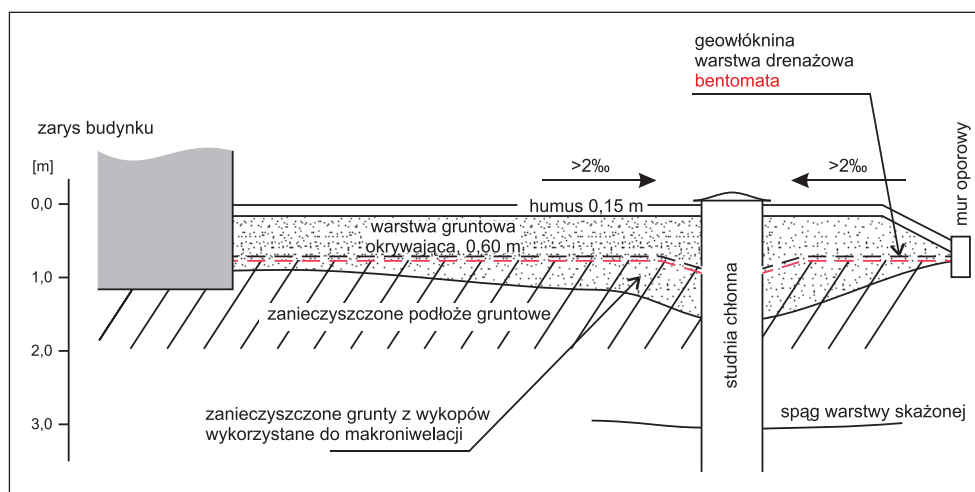


Fig. 16.18. Schemat rekultywacji zabezpieczeń terenu wokół budynku socjalnego w Łomiankach

16.5. REKULTYWACJA TERENÓW ZDEGRADOWANYCH PRZEZ PRZEMYSŁ CHEMICZNY NA PRZYKŁADZIE TARNOWSKICH GÓR

Zakłady Chemiczne (ZCh) w Tarnowskich Górach zajmują powierzchnię około 68 ha. Zostały wybudowane w 1922 roku na terenie przemysłowym, na którym jeszcze przed ich powstaniem, odbywała się nieudokumentowana produkcja hutnicza (czarna metalurgia), karbochemiczna, papiernicza i chemiczna. Zakłady te w czasie swojej działalności gospodarczej były modernizowane, a profil produkcji ulegał zmianom.

Stosowane wówczas technologie nie były nastawione na minimalizację odpadów. Efektem tego jest około 360 tys. ton odpadów poprodukcyjnych, które w różnej formie, w sposób nieuporządkowany, zgromadzono w 10 składowiskach na terenie zakładu oraz w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

Odpady stały się istotnym problemem zarówno ze względu na ich masę, jak i brak środków na właściwe, zgodne z dzisiejszym poziomem znajomości zagadnienia, zagospodarowanie. Istotnym czynnikiem jest też czas, który powodował, że ładunek zanieczyszczeń zgromadzony w odpadach ciągle przechodził do gruntu i wody, powodując powiększanie terenu zdegradowanego.

16.5.1. Koncepcja centralnego składowiska

Z uwagi na tak wielkie zagrożenia istniejące na terenie ZCh zaistniała konieczność zamknięcia i zabezpieczenia tego terenu. Wtedy powstało pytanie, jak w bezpieczny sposób rozwiązać ten problem. W 1997 roku zdecydowano się na rozpisanie międzynarodowego konkursu, na który złożono 9 projektów. Uczestnicy konkursu proponowali: przemieszczenie większości mas odpadów do uprzednio przygotowanych bezpiecznych składowisk; demontaż infrastruktury wraz z obiektami kubaturowymi; drenaż składowisk starych i nowo tworzonych dla przyjmowania odcieków i osuszenie odpadów; odnowienie oczyszczalni ścieków i umożliwienie prowadzenia racjonalnej gospodarki wodno-ściekowej; oczyszczenie koryta rzeki Stoły, jego przełożenie i przykrycie na odcinku przepływu przez teren ZCh; prowadzenie dalszych precyzyjnych i wiarygodnych badań sozologicznych i hydrogeologicznych, bazujących na stworzonej sieci monitoringu.

Za optymalny rodzaj technologii utylizacji uznano wybranie i zgromadzenie odpadów w zabezpieczonych kwaterach wybudowanego składowiska.

16.5.2. Bariera geologiczna

Wymagania ochrony środowiska sprawiają, że składowiska odpadów lokalizuje się na obszarach posiadających naturalną barierę geologiczną. Takie wymaganie zawiera rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U.

Nr 61 poz. 549). Prawo wymaga, aby naturalna bariera geologiczna dla składowiska odpadów niebezpiecznych miała miąższość nie mniejszą niż 5 m, a wartość współczynnika filtracji, była niższa niż $1,0 \times 10^{-9}$ m/s. Ponadto bariera geologiczna powinna mieć rozciągłość poziomą, przekraczającą obszar projektowanego składowiska odpadów. Z dostępnych danych geologicznych wynika, że na znacznej części terenu zakładu bariera geologiczna istniała w przeszłości. Jednak siedemdziesiąt lat przemysłowych przekształceń spowodowało jej zniszczenie. Właściwa lokalizacja składowiska wymagała więc ciągłej bariery geologicznej o właściwościach zgodnych z przepisami prawnymi.

Mimo występujących znacznych miąższości izolacyjnych utworów ilastych między czwartorzędem a triasem, przy wymiarach składowiska ok. 400×400 nie można było przyjąć, że pod tak zaprojektowanym składowiskiem jest bariera geologiczna. Sytuacja ta wymagała zaprojektowania mineralnej warstwy uszczelniającej dno i skarpy składowiska (Wysokiński, 1999).

Ocena bariery geologicznej nie była sprawą łatwą. Po pierwsze trzeba było mieć właściwie udokumentowane warunki geologiczne na terenie zlokalizowanego składowiska i w jego otoczeniu oraz określone warunki hydrogeologiczne, co najmniej w promieniu 3 km od składowiska.

16.5.3. Konstrukcja składowiska

Zbudowane składowisko zajmuje teren częściowo po usuniętych ze zwałowiska odpadach oraz teren po wyburzeniu obiektów zabudowy przemysłowej. Według projektu budowlanego składowisko w Tarnowskich Górach, zgodnie z założeniami, ma za zadanie bezpieczne składowanie odpadów znajdujących się na terenie Zakładów Chemicznych. Zostało zaprojektowane jako nadpoziomowe z podziałem na 5 kwater, które docelowo tworzyć będą jedną bryłę wyniesioną do 17 m powyżej powierzchni terenu (Wysokiński, Majer, 2002). Przyjęte w projekcie budowlanym posadowienie dna składowiska znajdować się będzie, co najmniej 1 m powyżej poziomu wód gruntowych. Równocześnie założono, że pod dnem nie mogą występować odpady. Całkowita powierzchnia składowiska docelowo wynosić będzie około 16,5 ha. Będzie ono otoczone wałem zewnętrznym, którego szerokość korony wynosić będzie 5 m. Obwałowanie podstawowe wykonywane jest z gruntów nieskażonych pochodzących z wykopów. Od strony kwatery skarpa obwałowania pokryta jest łem stosowanym do uszczelnienia podstawy składowiska. Poszczególne kwatery składowiska oddzielone są przez obwałowania technologiczne. Nachylenie skarpy zewnętrznych wynosi 1:2, zaś wewnętrznych 1:3. Wysokość wału powyżej poziomu terenu zmieniać się będzie od 2,1 m do 4,0 m, średnia wysokość obwałowania to 2,5 m. Zaprojektowane spadki dna składowiska nawiązują do naturalnego ukształtowania terenu i zostały przyjęte tak, aby zapewnić skuteczne odwodnienie terenu. Spadki w podłożu składowiska wynikają w pierwszym rzędzie z warunków hydraulicznych dla warstwy drenażowej. Nachylenia skarpy składowiska zaprojektowano z uwzględnieniem wymagań stateczności skarpy

i technologii robót ziemnych z jednej strony, oraz wymagań wynikających z konstrukcji izolacji z drugiej strony.

Podstawowa warstwa uszczelnienia mineralnego kwatery K1 została wykonana z ilów plicieńskich pochodzących z nadkładu KWB Bełchatów. Do budowy uszczelnienia dla kwater K2–K5 wykorzystano lokalne iły triasowe z Miasteczka Śląskiego. Na kwaterze K1 podłożem, z którym sąsiadują iły jest warstwa 40 cm wysiewek dolomitowych o współczynniku filtracji rzędu 10^{-5} – 10^{-6} m/s. Od góry 1,5 m warstwa ilów została przykryta drenażem o miąższości 30 cm, a na nim została ułożona geomembrana. Na kwaterach K2–K5 miąższość mineralnej warstwy uszczelniającej wynosi 1 m; zrezygnowano z drenażu między iłami a geomembraną. Przesłony mineralne na kwaterze K1 i K2–K5 wykonano zgodnie z technologią ustaloną na poletkach doświadczalnych. Dla zapewnienia odpowiedniej jakości formowanych warstw uszczelniających prowadzono badania laboratoryjne i polowe. Na podstawie wykonanych badań i zdobytych doświadczeń ustalono następujące zasady składowania odpadów na składowisku w Tarnowskich Górach:

- obwałowania zewnętrzne należy wykonywać z odpadów stałych (gruz, żużel) zagęszczanych warstwami o miąższości nie większej niż 0,5 m. Badania odbiorcze przeprowadzane są na podstawie oceny modułów podatności podłoża oznaczanych płytą dynamiczną i statyczną oraz sondowaniami dynamicznymi;
- za obwałowaniami głównymi układane są warstwami o miąższości 0,5 m odpady stabilizowane 20% dodatkiem cementu i przykrywane warstwą gruzu o takiej samej miąższości. Odbiór poszczególnych etapów nadbudowy na podstawie badania płytą dynamiczną z poziomu zagęszczonej warstwy gruzu;
- centralna część składowiska jest wypełniana odpadami stabilizowanymi gruzem. Rozbudowa pionowa w tej strefie kwatery polega na ułożeniu 1 m warstwy odpadów i przykryciu jej warstwą zagęszczonego gruzu o takiej samej miąższości. Dalsza rozbudowa pionowa następuje po sprawdzeniu modułów podatności podłoża.

Schemat konstrukcji kwatery K1 przedstawiono na figurze 16.19.

Zachowanie warunków stateczności i nośności wymaga, aby wbudowane odpady miały parametry wystarczające do przeniesienia wszystkich obciążeń. Na podstawie badań i obliczeń modelowych ustalono, że poszczególne strefy na kwaterze powinny się charakteryzować następującymi parametrami:

- strefa obwałowań zewnętrznych
 $\phi = 36^\circ$ $c = 10$ kPa $E_v = 40$ MPa
- strefa odpadów stabilizowanych 20% dodatkiem cementu
 $\phi = 30^\circ$ $c = 20$ kPa $E_v = 40$ MPa
- strefa odpadów stabilizowanych gruzem
 $\phi = 10^\circ$ $c = 20$ kPa $E_v = 10$ MPa.

Rezultatem wykonanych badań jest opracowanie receptury mieszanki odpadów z cementem. Ustalono, że skład mieszanki powinien być następujący – dozowanie na węzle mieszalniczym:

na 1 m ³ odpadu przy wilgotności:	cement:
powyżej 200%	300 kg
150–200%	250 kg
100–150%	200 kg
poniżej 100%	150 kg

Wilgotność mieszanki na wyjściu powinna być niższa niż 75%.

Po wykonaniu całej bryły składowiska do docelowej wysokości zostanie ułożony system izolacji zewnętrznej. Jej celem będzie niedopuszczenie do infiltracji wód opadowych, zapobiegnie pyleniu i erozji powierzchni. Na uszczelnienie zostanie położona warstwa rekultywacyjna.

Zakłady Chemiczne w Tarnowskich Górach stanowią jeden z najważniejszych problemów w Polsce, istotnych z punktu widzenia ekologii, zdrowia ludzi i oddziaływania na środowisko naturalne. Problem, jako nietypowy, wymagał indywidualnego podejścia i wykonania nietypowych analiz w zakresie ochrony środowiska i rekultywacji terenów zdegradowanych.

Analiza podanego przykładu wskazuje, że unieszkodliwienie odpadów niebezpiecznych w postaci ich trwałego składowania wymaga każdorazowo szczegółowej analizy i doboru

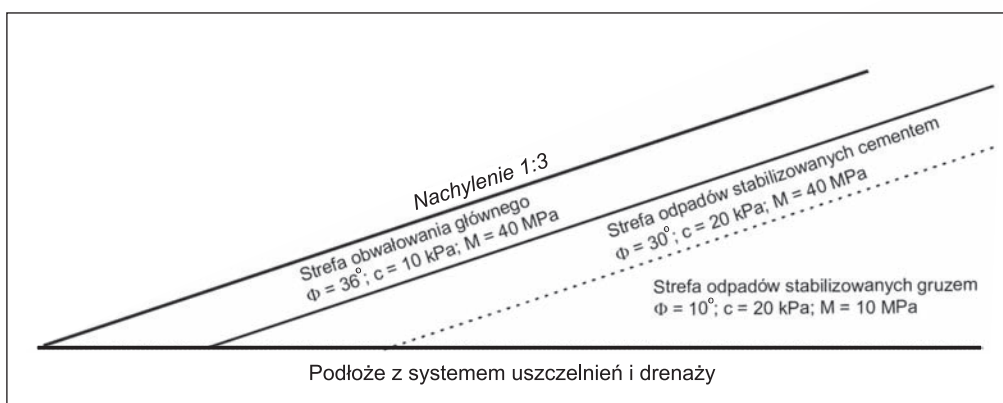


Fig. 16.19. Schemat formowania korpusu kwatery K1

warunków składowania. Konstrukcja składowisk budowanych w określonym miejscu zawsze powinna uwzględniać budowę geologiczną podłoża. Zasadniczym elementem projektowania jest dobre rozpoznanie i ocena warunków hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich. Obecne rozpoznanie zagrożenia środowiska w zakresie wód i gruntów w Tarnowskich Górach jest zdecydowanie lepsze niż kilkanaście lat temu. Jest to wynikiem prac monitoringowych, jak też prac badawczych w trakcie realizacji projektu.

16.6. REKULTYWACJA TERENÓW ZDEGRADOWANYCH PRZEZ PRODUKTY ROPOPOCHODNE NA PRZYKŁADZIE OBIEKTU WOJSKOWEGO

Działalność obiektów związanych z magazynowaniem i dystrybucją paliw niesie ze sobą zagrożenie dla środowiska gruntowo-wodnego w postaci zanieczyszczenia podłoża produktami ropopochodnymi. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym temu zagrożeniu były niedostateczne zabezpieczenia naziemnej i podziemnej infrastruktury paliwowej, które stosowano w przeszłości. Poniżej przedstawiono opis warunków prowadzenia prac rekultywacyjnych na przykładzie jednego z wojskowych magazynów paliw i smarów (MPS), znajdującego się na terenie Polski.

Na przedmiotowym terenie strop utworów paleogeńsko-neogeńskich wykształcony jest w postaci słabo przepuszczalnych mułków i zalega na głębokości 10–20 m p.p.t. Bezpośrednio na nich występują czwartorzędowe piaski i żwiry rzeczne, w obrębie których w strefie przypowierzchniowej (do 3 m gł.) stwierdza się lokalnie nieciągłe przewarstwienia glin pylistych bądź pyłów piaszczystych o miąższości 1,5–2,5 m (fig. 16.20). Przewarstwienia te nie stanowią izolacji pierwszego poziomu wodonośnego przed przenikaniem zanieczyszczeń od powierzchni terenu. Zwierciadło wód podziemnych pierwszego czwartorzędowego poziomu wodonośnego występuje na głębokości 2,0–3,6 m p.p.t. i ma charakter swobodny.

W wyniku działalności obiektu MPS zarówno grunty strefy aeracji, jak i zwierciadło wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego zostały silnie zanieczyszczone produktami ropopochodnymi. W otworach badawczych, wykonanych dla rozpoznania stopnia zanieczyszczenia terenu, stwierdzono obecność wolnego produktu ropopochodnego pływającego na zwierciadle wód podziemnych. Miąższość produktu mierzona w otworach dochodziła w roku 2003 do 120 cm. Prace rekultywacyjne na przedmiotowym obiekcie rozpoczęto w roku 1997, przy czym firma SEGI-AT Sp. z o.o. prowadzi je nieprzerwanie od roku 2003.

Sposób i zakres rekultywacji terenu był uwarunkowany zarówno przez warunki gruntowo-wodne i rozpoznany stopień zanieczyszczenia środowiska, jak i konieczność prowadzenia prac w warunkach bieżącej eksploatacji obiektu. Działania naprawcze polegały na szczypaniu produktu ropopochodnego, występującego w środowisku gruntowo-wodnym w stanie wolnym. Usuwanie wolnej fazy węglowodorów stanowiło wstępny etap rekultywacji, poprzedzający usuwanie węglowodorów w fazie rozpuszczonej oraz węglowodorów rezydualnych w gruntach. Szczypanie na terenie MPS odbywało się w sieci otworów piezometrycznych i studziennych, które odwiercano sukcesywnie w latach 1997–2007. Łącznie na obiekcie wykonano 47 piezometrów technologicznych (o głębokości średnio 5 m) oraz 9 studni depresyjnych (głębokości od 11,5 do 14 m).

Otwory czerpalne (studnie i piezometry technologiczne) zlokalizowane zostały w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł zanieczyszczeń, które stanowią zbiorniki paliwowe, punkty przyjmowania i wydawania paliw oraz trasa przebiegu jednego z obiektów liniowych. W piezometrach

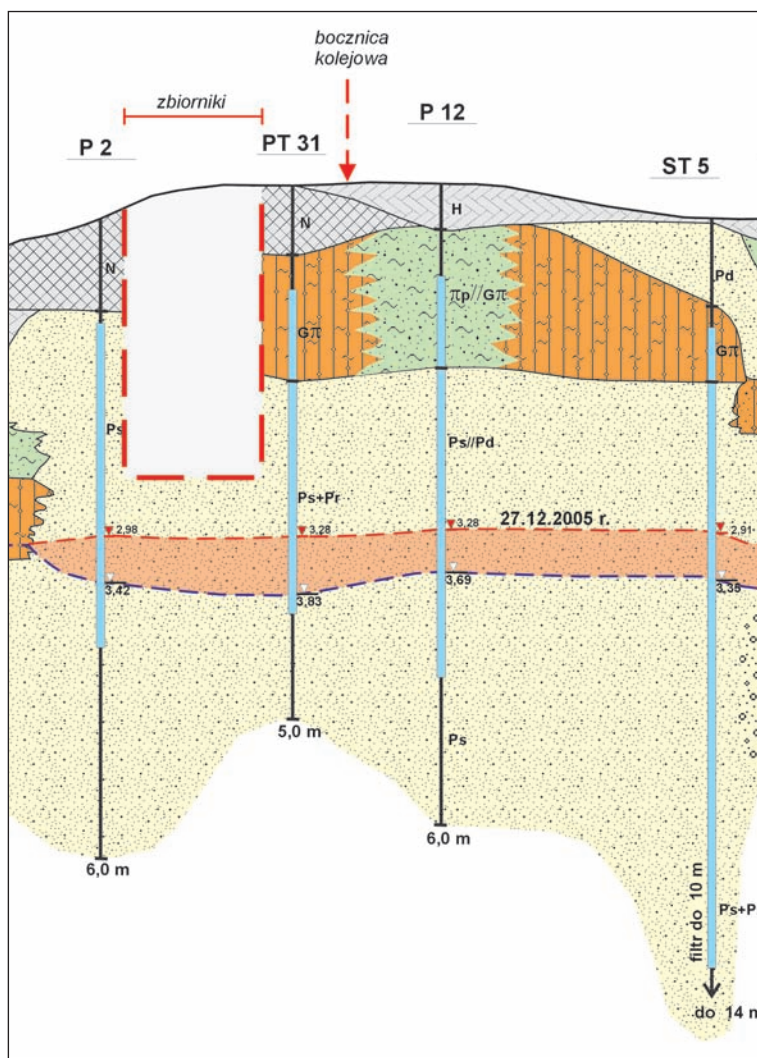


Fig. 16.20. Poglądowy przekrój sozologiczno-hydrogeologiczny przez teren prowadzonych prac



Fig. 16.21. Studnia depresyjna z instalacją wodno-paliwową

umieszczone zostały skimery, tj. urządzenia do selektywnego zbierania węglowodorów. W studniach depresyjnych zainstalowano pompy wodne oraz skimery automatyczne, wyposażone w czujniki do samoczynnego ustawiania skimera w strefie występowania wolnego paliwa oraz automatycznego opróżniania zbiornika na paliwo, po jego całkowitym napełnieniu (fig. 16.21). Eksploatacja studni ma na celu wytworzenie lokalnej depresji, co umożliwia dopływ paliwa do urządzeń szczypania z miejsc trudnodostępnych, tj. spod zbiorników paliwowych. Dodatkowo proces depresjonowania wpływa na zahamowanie migracji zanieczyszczeń naftowych w środowisku wodnym poprzez lokalną zmianę kierunków przepływu wód. Wypompowana woda, z uwagi na obecność węglowodorów w fazie rozpuszczonej, kierowana jest na system oczyszczania (składający się m.in. z kolumny stripingowej oraz filtra węglowego), a następnie wprowadzana ponownie do warstwy wodonośnej.

W wyniku pracy systemów szczypania na obiekcie MPS szczypano w latach 2004–2010 łącznie 1225,46 m³ produktów ropopochodnych. Miąższość wolnego produktu w otworach, wynosiła w roku 2004 maksymalnie 120 cm, średnio 60–40 cm. W roku 2010 po przeprowadzonych zabiegach miąższość wolnego produktu spadła maksymalnie do 10 cm. Najlepsze efekty uzyskano w systemie szczypania automatycznego, tj. w studniach depresyjnych, z których otrzymano blisko 80% całkowitej ilości szczypanego produktu ropopochodnego.

16.7. DOKUMENTOWANIE WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA POTRZEBY REKULTYWACJI STAWU OSADOWEGO ODPADÓW Z PRZERÓBKI RUD URANOWYCH W KOWARACH

Doświadczenia z dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby rekultywacji stawu osadowego odpadów z przeróbki rud uranowych w Kowarach przedsta-

wiono na podstawie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej autorstwa Koszeli i innych (2000).

Staw osadowy zlokalizowany jest w miejscowości Kowary Górne (około 2,8 km od centrum Kowar w kierunku południowym, poniżej drogi państwowej nr 367 Wałbrzych–Kamienna Góra), powiat Jelenia Góra, woj. dolnośląskie. Staw osadowy zlokalizowany jest częściowo na tarasie nadzalewowym rzeki Jedlicy. Rzędne korony stawu wynoszą 575,5–576,0 m n.p.m., a rzędne podstawy 556,8–561,2 m n.p.m. Powstał on w latach 1967–1972, na potrzeby zakładu ZPR-1, produkującego koncentraty uranowe. Powstał w wyniku budowy zapory ziemnej na rzece Jedlicy i zaliczony został do budowli hydrotechnicznych klasy III. Powierzchnia stawu wynosi 1,5 ha. W czasie realizacji dokumentacji staw był częściowo zalany, powierzchnię około 0,5 ha pokrywała woda nadosadowa (głębokość 0,5–1,0 m).

W stawie składowano odpady pochodzące ze wzbogacania rudy uranowej oraz odpady z procesów chemicznych doświadczalnej produkcji preparatów, przemiału skał zgromadzonych na hałdach oraz ścieki socjalne. Łącznie zdeponowano około 300 tys. ton odpadów, w tym około 250 tys. odpadów pouranowych (Machajski, 1999). Wypełnienie stawu osadowego składa się z utworów antropogenicznych, uformowanych w postaci nasypów, w kolejnych etapach budowy zapory lub złożonych w stawie osadowym jako odpady.

W sierpniu i listopadzie 1999 roku przeprowadzono analizy chemiczne wody ze stawu. Wyniki wykazały, że jest to woda pozaklasowa i traktowana jako ściek nie może być odprowadzana bezpośrednio do wód i do gruntu (Steininger i in., 1999).

W ramach prac geologiczno-inżynierskich wykonano następujące czynności:

- wiercenia, podczas których prowadzono pomiary radiologiczne,
- sondowania dynamiczne,
- wykopy badawcze i opis naturalnych odsłoneń,
- prace geodezyjne,
- pomiary inklinometryczne (mające na celu wykrycie przemieszczeń; polegają na pomiarze przestrzennego położenia osi reperów),
- pobieranie próbek gruntów (NW oraz NNS próbnikiem Koersta) i wody,
- badanie współczynnika wodoprzepuszczalności gruntów w otworach *in situ*, metodą zalewania i metodą krzywej wzniosu zwierciadła wody w otworze,
- pomiary promieniowania jonizującego na powierzchni terenu i w otworach,
- badania kierunków migracji i prędkości przepływu wody metodą znacznikową.

W 1999 roku przeprowadzono pomiary natężenia promieniowania jonizującego i emanacji radonu. Wyniki badań wskazują, że największe promieniowanie występuje w południowej części stawu osadowego, gdzie w przeszłości składowany był silnie promieniotwórczy odpad. Roczny równoważnik promieniowania z tej warstwy wynosi od 5,07–39 mSv rozkładu mocy dawki, dlatego planuje się usunięcie

tego gruntu we wstępnej fazie rekultywacji. W północnej części zapory zarejestrowano również wysoką moc równoważnika dawki promieniowania od 4,5 do 10 mSv/rok.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że podłoże stawu osadowego stanowią grunty rodzime i skały (granity i gnejsy oraz ich zwietrzliny) oraz grunty antropogeniczne (zróżnicowane litologicznie). Potwierdzono dopływ wody w wyniku infiltracji ze stawu osadowego do znajdującej się w pobliżu sztolni „Jedlica” oraz do rzeki Jedlicy. Fakt ten może mieć wpływ na pogorszenie jakości wód w rzece. Staw w obecnej formie zagospodarowania stanowi zagrożenie dla środowiska ze względu na promieniowanie jonizujące gruntów i wód, zawartość w najwyższych dopuszczalnych stężeniach niektórych wskaźników zanieczyszczeń, np.: fluoru, siarczanów, potasu, niklu, strontu i boru.

Planowana rekultywacja terenu ma na celu wyeliminowanie lub zmniejszenie czynników zagrażających środowisku, tj.: naruszenie rzeźby terenu, poprawę estetyki krajobrazu, zgromadzenie materiałów podatnych na upłynnienie, wykazujących właściwości promieniotwórcze, skażenia wód podziemnych i powierzchniowych, wyłączenie terenu o powierzchni około 2 ha z jakiegokolwiek działalności gospodarczej. Na potrzeby rekultywacji zaplanowano wykonanie drenażu zewnętrznego i wewnętrznego, wypełnienie stawu materiałem mineralnym, ukształtowanie rzeźby terenu (dopasowanie do istniejącej morfologii), pokrycie terenu glebą, obsianie trawą i zasadzenie drzew.

16.8. DOKUMENTOWANIE WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA POTRZEBY REKULTYWACJI WĄWOZÓW LESSOWYCH W REJONIE KAZIMIERZA DOLNEGO I SZCZEBRZESZYNA

Przedmiotem badań geologiczno-inżynierskich było określenie cech fizyczno-mechanicznych lessów występujących w rejonie wąwozów oraz ocena stateczności zboczy o różnym nachyleniu i rozwoju procesów osuwiskowych. Badania wykonano na terenie Kazimierzowskiego Parku Krajobrazowego i Szczepczeszynskiego Parku Krajobrazowego, gdzie notuje się największe w Polsce zagęszczenia sieci wąwozów lessowych. Punkty badawcze zlokalizowano w wąwozach lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie.

Główną przyczyną zapoczątkowania procesów erozyjnych w badanym rejonie była gospodarcza działalność człowieka, polegająca na usuwaniu naturalnej szaty roślinnej przez wylesianie i zagospodarowanie terenu pod kątem rolniczym. Dodatkowymi czynnikami, które mają wpływ na nasilenie procesu erozji to:

- wykorzystywanie wąwozów przez szlaki komunikacyjne,
- ciężar przejeżdżających pojazdów,
- warunki klimatyczne (wysokość opadów, natężenie, grubość pokrywy śnieżnej),
- morfologia terenu, kąt nachylenia i długość stoków.

Badaniami geologiczno-inżynierskimi objęto 6 wąwozów lessowych, w tym 4 wąwozy w okolicach Kazimierza Dolnego i 2 w okolicach Szczepczeszyna. W wąwozach objętych badaniami występowały strome, prawie pionowe zbocza o kącie nachylenia 70–80°. Głębokość wąwozów wynosiła od około 3 m do ponad 7 m. W celu rozpoznania problemu geologiczno-inżynierskiego stateczności lessów wykonano badania geofizyczne, sondowania sondą CPT, sondą krzyżakową FVT i dylatometrem Marchettiego (DMT). W trakcie badań terenowych pobrano próbki do badań laboratoryjnych.

W czasie prac terenowych wykonywano obserwacje procesów geodynamicznych zachodzących na zboczach wąwozów lessowych. Z przeprowadzonych badań i obserwacji wynika, że na rozwój procesów geodynamicznych w wąwozach lessowych istotny wpływ mają przede wszystkim infiltracja wód opadowych w podłoże lessowe, erozyjne oddziaływanie wód opadowych i roztopowych oraz działalność człowieka – podcinanie maszynami podstawy zboczy podczas wyrównywania dna wąwozu. Po większych opadach atmosferycznych rejestrowano rozmycia dna wąwozów w różnej skali. Ilość materiału wynoszonego z wąwozów jest ściśle związana z wielkością zlewni i natężeniem opadów. Szczególnie groźne są deszcze nawalne, gdyż powodują największe zniszczenia w morfologii terenu i infrastrukturze. Gromadzący się u wylotu wąwozu materiał z rozmycia utworów lessowych powoduje zagrożenia, szczególnie dla ruchu kołowego (fig. 16.22).

W celu zapewnienia bezpieczeństwa niezbędna jest stała pielęgnacja wąwozów. Przy użyciu sprzętu (np. spychaczy) wyrównuje się dna wąwozów i usuwa niebezpieczne fragmenty zbocza, co prowadzi z kolei do wznowienia i przyspieszenia procesu erozji w nowych strefach. W celu zapobiegania wymywaniu materiału stosuje się różnego typu bariery ograniczające odpływ wody i zwiększające retencję wodną zlewni.

Jednym ze sposobów ochrony gleb przed niszczącymi skutkami erozji jest melioracja przeciwerozcyjna, która pole-



Fig. 16.22. Efekt powierzchniowego spływu wód w wąwozie lessowym

ga na spowolnieniu lub zatrzymaniu spływu wód opadowych przez odpowiednią lokalizację przegród piętrzących.

Ochronna funkcja zadarnień polega na zdolności wiązania gruntu przez silnie rozwinięty system korzeniowy oraz jego ochrona przez gęstą masę łodyg i liści. Najbardziej zbliżona do naturalnej ochrona wąwozów polega na zadarnianiu oraz zadrzewianiu skarp i dna wąwozu, a także rozcięć bocznych, jeśli takie istnieją. Najważniejsze jest umocnienie wszystkich powierzchni, którymi okresowo następuje skoncentrowany spływ wód powierzchniowych.

Miejsca szczególnie narażone na rozmywanie można zabezpieczać małymi budowlami hydrotechnicznymi oraz wprowadzeniem trwałej pokrywy roślinnej. Budowle techniczne stosowane do zabezpieczania wąwozu można podzielić na żelbetowe, betonowe, kamiennie-betonowe, ceramiczne, kamienne, drewniane, faszynowe, betonowo-ziemne, faszynowo-ziemne oraz ziemne. Zabezpieczenia mają na celu umocnienie czoła wąwozu, przeciwdziałanie sufozji, osuwiskom i obrywom oraz rozmywaniu liniowemu. Przegrody piętrzące wykonywane są w wąwozach oraz w różnych miejscach spływu wód opadowych. Energia spływającej wody jest wówczas wytracana na takich przeszkodach, co istotnie ogranicza wymywanie cząstek lessu. Zabezpieczenia dna wąwozu drogowego wykonuje się poprzez zastosowanie ażurowych płyt betonowych (fig. 16.23) lub kostki betonowej.

16.9. DOKUMENTOWANIE WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH DO SZTUCZNEGO ZASILANIA PIASKIEM BRZEGU MORSKIEGO

Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie polegało na rozpoznaniu geologicznym występowania kruszywa do sztucznego zasilania brzegu morskiego w obszarze perspektywicznym „Półwysep Helski”, charakterystyce litologicznej i geochemicznej osadów, wyznaczeniu obszarów nagromadzeń piasków odpowiednich do zasilania brzegu wraz z określeniem ilości materiału piaszczystego oraz określeniu warunków i zaleceń sposobu pobierania materiału piaszczystego z dna morskiego.

Granice obszaru perspektywicznego „Półwysep Helski” mają kształt wieloboku zbliżonego do trapezu, a jego powierzchnia wynosi około 33 km². Rejon badań położony jest w płytkowodnej strefie Bałtyku, między 6 a 16 km wybrzeża Półwyspu Helskiego. Odlądowa granica obszaru, prawie równoległa do brzegu, jest oddalona około 3 km od półwyspu. Odmorska granica sięga od 6 do 8 km w głąb morza.

Badania geologiczne w obszarze perspektywicznym „Półwysep Helski” w celu rozpoznania nagromadzeń kruszywa do sztucznego zasilania brzegu obejmowały wykonanie prac rejsowych, badań laboratoryjnych próbek osadów, analizę uzyskanych wyników oraz ich kartograficzne i tekstowe opracowanie. Prace na morzu były poprzedzone zaprojektowaniem przebiegu linii pomiarowych i lokalizacji punktów dokumentacyjnych.



Fig. 16.23. Zabezpieczenie dna wąwozu płytami betonowymi

Prace prowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie wykonano pomiary batymetryczne (w siatce rozrzedzonej), sonarowe i sejsmoakustyczne oraz pobrano część rdzeni osadów w punktach dokumentacyjnych rozmieszczonych w regularnej siatce. Po wstępnej analizie uzyskanych wyników, wyznaczono miejsca poboru pozostałych rdzeni osadów w siatce zagęszczonej oraz wytypowano rdzenie przeznaczone do badań geologiczno-inżynierskich (68 rdzeni osadów, opis makroskopowy, uziarnienie), geochemicznych (metale ciężkie, WWA, PCB) i bakteriologicznych. W drugim etapie pobrano pozostałe rdzenie oraz wykonano pomiary wzdłuż uzupełniających profili batymetrycznych.

Szczegółowe rozpoznanie batymetryczne i geologiczne wykazało, że dno badanego akwenu jest położone na głębokości od 12,5 do 30 m. Generalnie teren jest nachylony z SW na NE. Minimalna głębokość morza występuje na lokalnym wyniesieniu dna w południowo-zachodnim krańcu obszaru, najgłębsza część została odnotowana wzdłuż odmorskiej granicy badanego akwenu. W rzeźbie płycej położonego dna zaznaczają się piaszczyste wały, wydłużone w kierunku NW-SE. Zbocza tych form są łagodnie nachylone, miejscami stoki są asymetryczne. Deniwelacje dna dochodzą tu do

około 5 m, przeważnie wynoszą około 3 m. Drobne struktury sedymentacyjne słabo zaznaczają się w rzeźbie powierzchni dna. Tylko miejscami występują pola riplemarków, różnej wielkości i różnie zorientowanych.

Na badanym obszarze występuje ciągła pokrywa piaszczysta. Jej miąższość, rozpoznana profilowaniem sejsmoakustycznym i sondowaniami, wynosi od 0,7 do ponad 10 m. W budowie geologicznej pokrywy piaszczystej wyróżniają się dwa kompleksy osadowe – dolny i górny (fig.16.24).

Dolny kompleks tworzą oliwkowoszare drobne piaski, zwykle z wyraźną domieszką bardzo drobnych. Osady są słabo wapieniste, bez widocznej makroskopowo fauny, ze śladami laminacji poziomej, miejscami podkreślonej laminami ilastymi lub mułkowo-ilastymi. Na podstawie rozpoznania geofizycznego szacuje się, że miąższość kompleksu wynosi co najmniej kilka metrów.

Górny kompleks jest zbudowany z piasków bezwapienych. Przeważnie są to piaski drobne, w warstwie przy-

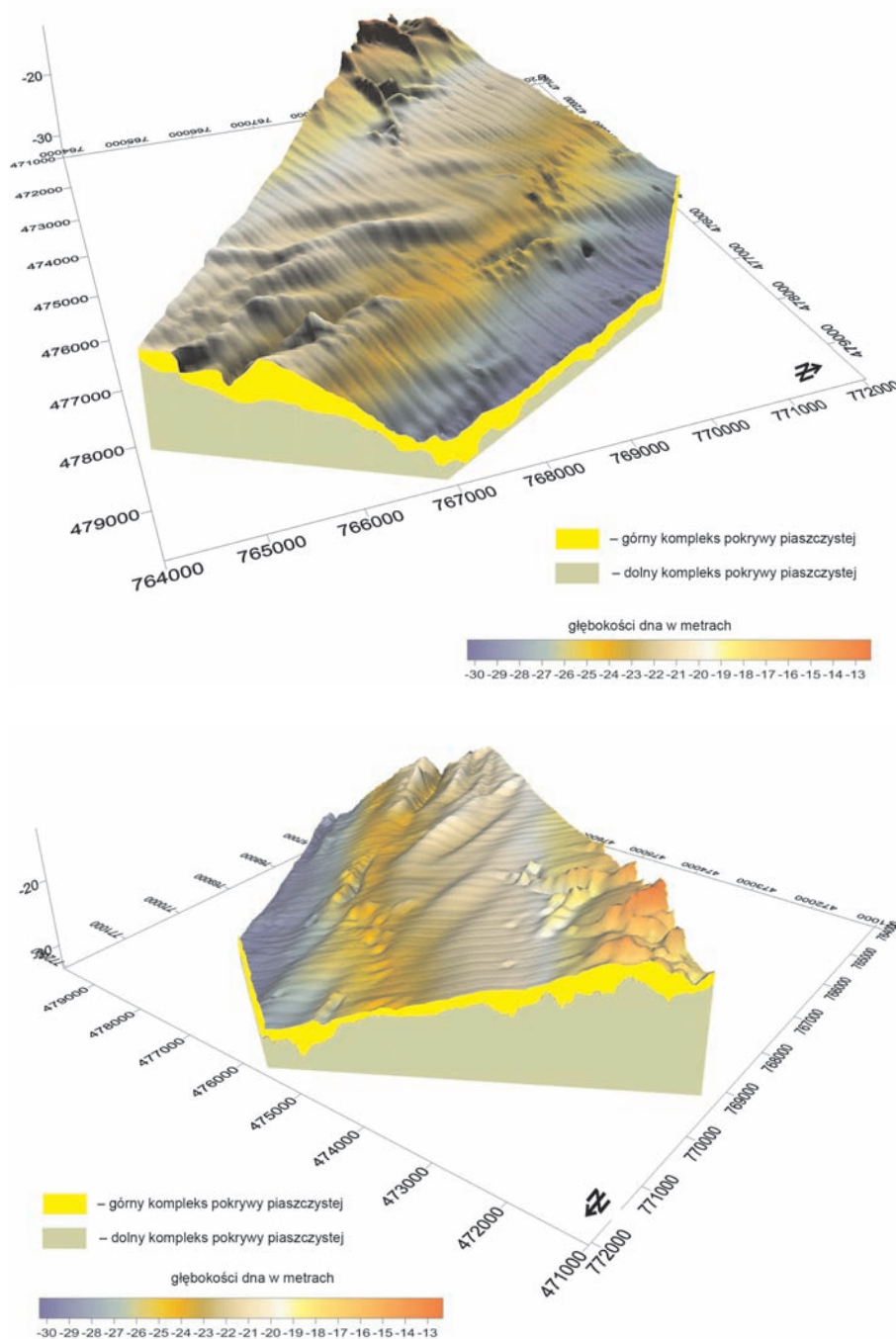


Fig. 16.24. Model budowy geologicznej wraz z modelem terenu (w różnych położeniach) obszaru prac rozpoznawczych „Półwysep Helski” opracowany na podstawie rejestracji sejsmoakustycznych i rdzeni osadów (wg Kramarskiej i Przedzieckiego, 2011)

dennej żółtoszare, niżej szare, o medianie w przedziale 0,15–0,25 mm, zwykle umiarkowanie dobrze i dobrze wysortowane. Miąższość kompleksu górnego waha się od 0,5 do 8,5 m, przeważnie wynosi od 1 do 5 m. Kilkumetrowa miąższość związana jest na ogół z opisanymi wyżej wyniesieniami dna (wałami piaszczystymi). Maksymalna grubość warstwy piasków występuje w najpłytszym miejscu akwenu przy odlądowej granicy obszaru. Pokrywa cieńsza niż 1 m ograniczona jest do niewielkich przestrzeni w zachodniej i północno-wschodniej części obszaru. Lokalnie w podłożu osadów piaszczystych występują utwory panujących tu wcześniej środowisk lądowych – ily lub torfy i namuły.

Podstawą wyznaczenia obszarów nagromadzenia kruszywa piaskowego do zasilania brzegu była interpretacja geologiczna wyników pomiarów geofizycznych, opis rdzeni wiertniczych i wyniki badań laboratoryjnych próbek osadów. W zbadanym obszarze perspektywnym „Półwysep Helski” wyznaczono sześć pól, w których nagromadzenia piasków spełniają określone kryteria. Do wyznaczenia pól złożowych piasków przyjęto następujące kryteria:

- strop złoża stanowi powierzchnia dna morskiego;
- spąg warstwy złożowej wyznaczono na głębokości spągu warstwy piaszczystej o wartości mediany co najmniej 0,20 mm, lub w takiej warstwie na maksymalnej głębokości rozpoznania (maksymalnej głębokości otworu);
- przyjęto wartość 0,5 m jako minimalną miąższość warstwy złożowej;
- w przypadku zalegania warstwy złożowej na podłożu zbudowanym z osadów spoistych pozostawiano pomiędzy spągami złoża a podścielającymi je osadami spoistymi (iłami lub torfem) warstwę osadów okrucowych (warstwę ochronną) grubości 0,3 m;
- granice pól (pionowe granice złoża) w zależności od zagęszczenia punktów dokumentacyjnych i morfologii dna (form rzeźby terenu) poprowadzono liniami prostymi w połowie odległości między otworami pozytywnym a negatywnymi lub w odległości 200 m od otworów pozytywnych lub po skrajnych otworach pozytywnych. Otwór jest uznany za pozytywny jeśli spełnia następujące kryteria: minimalna miąższość warstwy piaszczystej, o medianie co najmniej 0,20 mm, wynosi 0,5 m lub więcej; warstwa występuje bezpośrednio na dnie, bez przykrycia innymi osadami;
- w przypadku występowania wraków w sąsiedztwie pól, granice pól zostały przesunięte na odległość około 200 m od wraków;
- w polu muszą znajdować się co najmniej dwa otwory pozytywne.

Przewaga piasków drobnych o medianie <0,20 mm i tylko lokalne występowanie domieszek osadów grubszych powoduje, że wyróżnione pola mają niewielką powierzchnię

i są rozmieszczone nieregularnie w różnych strefach badanego obszaru.

Badania geochemiczne próbek przeprowadzono dla 12 rdzeni osadów zlokalizowanych w polach nagromadzeń piasków do zasilania plaży, jak również poza polami. Uzyskane wyniki analiz wskazały, że badane osady nie są zanieczyszczone.

Na podstawie badań bakteriologicznych stwierdzono, że stan sanitarny badanych osadów dennych z obszaru poszukiwań piasków do sztucznego zasilania nie budzi zastrzeżeń.

W technologii pobierania z dna morskiego materiału piaszczystego służącego do zasilania brzegu, podobnie jak w przypadku kruszywa żwirowego, powszechnie stosowane są pogłębiarki nasiębiernie ssące ze smokiem wleczonym. Ten typ pogłębiarek jest określany także jako pogłębiarki ssąco-skrawające lub ssąco-refulujące. Pobieranie kruszywa z dna następuje poprzez zasysanie mieszaniny wodno-piaskowej dzięki podciśnieniu w rurze ssącej, a następnie transport urobku do ładowni pogłębiarki. W ładowni następuje sedymentacja urobku, natomiast woda z najdrobniejszą frakcją materiału powraca do morza. Urobek zgromadzony w ładowni jest następnie przesyłany na brzeg poprzez instalację rurociągów refulacyjnych.

W przypadku warstwy złożowej grubszej niż 2 m zaleca się pobieranie materiału piaszczystego tylko do głębokości 2 m poniżej powierzchni dna. Zalecenie to jest podyktowane ostrożnym podejściem, mającym na celu zachowanie równowagi dna. Proponowaną głębokość eksploatacji można uznać za bezpieczną na podstawie eksperymentalnych badań wpływu eksploatacji piasku z dna południowego Bałtyku na strukturę dna i zbiorowisk meio- i makrofauny, przeprowadzonych w latach 2009–2010 pod kierunkiem Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego w ramach akcji COST 638 (Uściniowicz i in., 2010).

W przypadku pól o większej powierzchni, przed przystąpieniem do wydobycia należy podzielić pola na działki wydobywcze. Wielkość działek powinna być tak zaprojektowana, aby ich zasoby odpowiadały planowanej wielkości wydobycia piasku w danym sezonie. Przyjęcie powyższych założeń ułatwi prowadzenie racjonalnego wydobycia kopaliny i kontrolę tego wydobycia.

Eksploatację piasku należy prowadzić podczas ruchu pogłębiarki metodą warstwową i systemem bruzdowym. Podstawowym wymogiem eksploatacji jest prowadzenie systematycznych kursów eksploatacyjnych, położonych kolejno jeden obok drugiego, aż do całkowitego zdjęcia warstwy piasku z danego pola lub jego części.

Gwarancją efektywnego urabiania złoża jest wyposażenie pogłębiarki w odpowiedni system nawigacji satelitarnej, pozwalający pozycjonować pogłębiarkę z dużą precyzją. Konieczna jest rejestracja przebiegu bruzd eksploatacyjnych, głębokości bruzd i ilości wydobytego materiału piaszczystego oraz kontrolne, szczegółowe pomiary batymetryczne eksploatowanego pola lub jego części.

17. FORMALNOPRAWNE PODSTAWY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA POTRZEBY REKULTYWACJI TERENÓW ZDEGRADOWANYCH

W myśl art. 3 pkt. 49 Ustawy Prawo Ochrony Środowiska (POŚ) przez zanieczyszczenie rozumie się emisję, która może być szkodliwa dla zdrowia ludzi lub stanu środowiska, może powodować szkodę w dobrach materialnych, może pogarszać walory estetyczne środowiska lub może kolidować z innymi, uzasadnionymi sposobami korzystania ze środowiska. Przepisy wykonawcze do POŚ określają dopuszczalne progi występowania substancji w środowisku, dopiero po przekroczeniu, których środowisko należy uznać za zanieczyszczone i w związku z tym podjąć działania sanacyjne i przeprowadzić rekultywację. Ocena stanu podłoża (grunty, woda) opiera się na porównaniu uzyskanych wyników badań z wartościami dopuszczalnych stężeń, które są określone w Załączniku do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359).

Standardy jakości powierzchni ziemi wymagają z reguły zapewnienia także odpowiedniej jakości wód podziemnych. Procedury prawne związane z oceną stanu wód podziemnych opierają się na kryteriach wskazanych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23.07.2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (Dz.U. z 2008 r. Nr 143 poz. 896).

17.1. PRAWNA OCHRONA GRUNTÓW NA OBSZARACH ZDEGRADOWANYCH

Zapewnienie jakości gruntów na obszarach przemysłowych, w tym sprawy rekultywacji uregulowano zasadniczo w dwóch aktach prawnych:

- w ustawie z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150, z późn. zm.);
- w ustawie z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (Dz.U. z 2007 r. Nr 75 poz. 493).

Ponadto, cząstkowe regulacje zagadnień dotyczących rekultywacji zostały zawarte:

- w ustawie z dnia 27 lipca 2001 r. o wprowadzeniu ustawy – Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz.U. z 2001 r. Nr 100 poz. 1085).

Standardy jakości gleby lub ziemi zostały określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września

2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359). Standard jakości określa zawartość niektórych substancji w glebie albo ziemi, poniżej których żadna z funkcji pełnionych przez powierzchnię ziemi nie jest naruszona (Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150 art. 103 ust. 3).

Funkcję pełnioną przez powierzchnię ziemi ocenia się na podstawie jej faktycznego zagospodarowania i wykorzystania, chyba, że inna funkcja wynika z planu zagospodarowania przestrzennego.

W przypadku stwierdzenia przekroczenia wartości dopuszczalnej stężenia substancji w badanej glebie lub ziemi istnieje obowiązek jej rekultywacji (Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150 art. 102).

Zgodnie z § 1 ust. 1 ww. Rozporządzenia (Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359), glebę lub ziemię uznaje się za zanieczyszczoną, gdy stężenie co najmniej jednej z substancji określonych w rozporządzeniu przekracza wartość dopuszczalną, określoną w załączniku do rozporządzenia.

W Rozporządzeniu określono dopuszczalne zawartości różnych szkodliwych substancji, przeważnie pochodzenia antropogenicznego. Standardy zostały określone odmiennie dla trzech rodzajów gruntów, według kryterium ich aktualnego i planowanego sposobu użytkowania:

- **grupa A:** nieruchomości gruntowe, wchodzące w skład obszaru poddanego ochronie na podstawie przepisów ustawy Prawo Wodne oraz obszary poddane ochronie na podstawie przepisów o ochronie przyrody;
- **grupa B:** grunty zaliczane do użytków rolnych, z wyłączeniem gruntów pod stawami i rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych;
- **grupa C:** tereny przemysłowe, użytki kopalne, tereny komunikacyjne.

Organy administracji publicznej mogą w drodze decyzji, nałożyć obowiązek przywrócenia środowiska do stanu właściwego, m.in. wskazując, jakie czynności należy podjąć dla przywrócenia środowiska do stanu właściwego, jeżeli podmiot negatywnie oddziałuje na środowisko. Do czynności tych może należeć rekultywacja terenu.

Zakres rekultywacji może być ograniczony, jeżeli podmiot zobowiązany do rekultywacji zanieczyszczonej gleby wykaże, że zanieczyszczenie nastąpiło przed dniem 1 wrze-

śnia 1980 roku – przed wprowadzeniem ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska – działania związane z rekultywacją należy przeprowadzić w węższym zakresie. W tym przypadku nie ma konieczności oczyszczania gleby do wartości dopuszczalnych, określonych w rozporządzeniu o standardach jakości gleby i ziemi.

Ustawa o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie wprowadza do prawa polskiego dyrektywę 2004/35/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 kwietnia 2004 r. w sprawie odpowiedzialności za środowisko w odniesieniu do zapobiegania i zaradzania szkodom wyrządzonym środowisku naturalnemu (Dz.Urz. WE L 143/56 z 30.04.2004; Dz.Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 8, str. 357). Ustawa ta określa zasady odpowiedzialności podmiotów korzystających ze środowiska za zapobieganie i naprawę szkód w środowisku, które zostały wywołane prowadzoną przez te podmioty działalnością.

Organem właściwym w sprawach odpowiedzialności za zapobieganie i naprawę szkód w środowisku jest Regionalny Dyrektor Ochrony Środowiska. Jedynie w przypadku bezpośredniego zagrożenia szkodą w środowisku lub szkody w środowisku w organizmach genetycznie zmodyfikowanych, właściwym organem ochrony środowiska jest minister właściwy do spraw środowiska.

Kryteria oceny, czy w danym przypadku wystąpiła szkoda w środowisku wskazano w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2008 r. w sprawie kryteriów oceny wystąpienia szkody w środowisku (Dz.U. z 2008 r. Nr 82 poz. 501).

Celem uproszczenia legislacji dotyczącej ochrony środowiska naturalnego, Komisja Europejska połączyła siedem obowiązujących aktów prawnych, w tym Dyrektywę w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza z dużych obiektów energetycznego spalania oraz Dyrektywę dotyczącą zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli – IPPC i opracowała projekt Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola) – IED.

Przyjęta w lipcu 2010 r. Dyrektywa ma na celu ochronę zdrowia i środowiska naturalnego poprzez ustanowienie bardziej zrozumiałych i łatwiejszych do wdrożenia przepisów.

Dyrektywa określa główne zasady wydawania pozwoleń dla instalacji oraz kontrolowania ich działania zgodnie ze zintegrowanym podejściem i przy zastosowaniu najlepszych dostępnych technik (dokumentacje referencyjne BAT), tj. technik, które po uwzględnieniu kosztów i korzyści uznano za najskuteczniejsze, jeśli chodzi o zapewnienie wysokiego poziomu ochrony środowiska naturalnego.

Celem nowej Dyrektywy jest ujednoczenie i konsolidacja obowiązujących przepisów wspólnotowych dotyczących emisji przemysłowych, tak aby usprawnić system zapobiegania zanieczyszczeniom powodowanym przez działalność przemysłową oraz ich kontroli, a w rezultacie zapewnić poprawę stanu środowiska na skutek zmniejszenia emisji przemysłowych.

W ramach zapisów Dyrektywy Komisja Europejska ustanowiła kryteria, dotyczące oceny zagrożeń dla środowiska.

17.2. PRAWNA OCHRONA WÓD PODZIEMNYCH NA OBSZARACH ZDEGRADOWANYCH

W polskim prawodawstwie istnieje szereg dokumentów mówiących o ochronie wód przed zanieczyszczeniem. Do podstawowych aktów prawnych regulujących te zagadnienia należą:

1. Ustawa Prawo Ochrony Środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150, z późn. zm.), która „określa zasady ochrony środowiska oraz warunki korzystania z jego zasobów, z uwzględnieniem wymagań zrównoważonego rozwoju”, w tym zasady gospodarowania i ochrony zasobów wodnych;
2. Ustawa Prawo Wodne z dnia 18 lipca 2001 r. z późn. zm. (Dz.U. z 2012 r. Nr 0 poz. 145). Przepisy dotyczące ochrony zasobów wodnych zostały ujęte w III dziale art. 42: „wprowadzający ścieki do wód lub do ziemi są zobowiązani zapewnić ochronę wód przed zanieczyszczeniem, w szczególności przez budowę i eksploatację urządzeń służących tej ochronie, a tam, gdzie jest to celowe, powtórne wykorzystanie oczyszczonych ścieków. Wybór miejsca i sposobu wykorzystania albo usuwania ścieków powinien minimalizować negatywne oddziaływanie na środowisko”.

Szczegółowej oceny stanu wód podziemnych dokonuje się na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (Dz.U. z 2008 r. Nr 143 poz. 896).

Aktem wykonawczym regulującym sposób i zakres oddziaływania określonego typu działalności na środowisko wodne jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 2006 r. Nr 137 poz. 984).

W rozporządzeniu określono miejsce i minimalną częstotliwość pobierania próbek ścieków, metodyki referencyjne analizy i sposób oceny, czy ścieki odpowiadają wymaganym warunkom oraz warunki, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, w tym najwyższe dopuszczalne wartości zanieczyszczeń, oraz warunki, jakie należy spełnić w celu rolniczego wykorzystania ścieków.

W przypadku, kiedy na terenie przemysłowym działalność podmiotów gospodarczych związana jest ze składowaniem odpadów, potencjalne oddziaływanie na środowisko gruntowo-wodne regulowane jest Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz.U. z 2002 r. Nr 220 poz. 1858).

W sposób pośredni, jakość wód podziemnych regulują także przepisy wprowadzające do prawa polskiego dyrek-

tywę 2004/35/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 kwietnia 2004 r. w sprawie odpowiedzialności za środowisko w odniesieniu do zapobiegania i zaradzania szkodom wyrządzonym środowisku naturalnemu (Dz.Urz. WE 143/56 z 30.04.2004; Dz.Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 8 str. 357).

Aktem w tym zakresie jest Ustawa o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (Dz.U. z 2007 r. Nr 75 poz. 493) regulująca zasady odpowiedzialności za zapobieganie szkodom w środowisku i naprawę zaistniałych w nim szkód oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska z 30 kwietnia 2008 r. w sprawie kryteriów oceny wystąpienia szkody w środowisku (Dz. U. z 2008 r. Nr 82 poz. 501).

Organem ochrony środowiska właściwym w sprawach odpowiedzialności za naprawę szkód w środowisku wodnym jest starosta.

17.3. PROJEKT ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Projekt robót geologicznych powinien być sporządzony zgodnie z Prawem geologicznym i górniczym z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz.U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981) oraz Rozporządzeniem 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. z 2011 r. Nr 288 poz. 1696). Projekt robót geologicznych składa się z dwóch części: tekstowej i graficznej.

Część tekstową projektu stanowi opis zamierzonych robót geologicznych:

- informacje dotyczące lokalizacji zamierzonych robót geologicznych, w tym lokalizacji w ramach trójstopniowego podziału terytorialnego państwa, oraz opis zagospodarowania terenu, na którym mają być przeprowadzone te roboty, z uwzględnieniem obiektów i obszarów chronionych;
- omówienie wyników przeprowadzonych wcześniej robót geologicznych i badań geofizycznych, geologicznych i geochemicznych na obszarze zamierzonych prac geologicznych oraz wykaz wykorzystanych materiałów archiwalnych wraz z ich interpretacją oraz przedstawieniem na mapie geologicznej, w odpowiedniej skali, miejsc wykonania tych robót i badań;
- opis budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych w rejonie zamierzonych robót geologicznych wraz z przypuszczalnymi profilami geologicznymi projektowanych wyrobisk;
- przedstawienie możliwości osiągnięcia celu robót geologicznych zawierające:
 - opis i uzasadnienie liczby, lokalizacji i rodzaju projektowanych wyrobisk,
 - przewidywaną konstrukcję otworów wiertniczych lub innych wyrobisk,
 - informacje dotyczące zamykania horyzontów wodonośnych,
 - sposób i termin likwidacji otworów wiertniczych lub wyrobisk oraz rekultywacji gruntów,

- charakterystykę i uzasadnienie zakresu oraz metod projektowanych badań geofizycznych i geochemicznych oraz ich lokalizacji,
- opis opróbowania wyrobisk,
- zakres obserwacji i badań terenowych, a w szczególności:
 - obserwacji poziomów i pomiarów przepływów wód,
 - próbnych pompowań,
 - pomiarów temperatury i ciśnienia w razie występowania gazu ziemnego, ropy naftowej lub wód,
 - badań i pomiarów specjalnych,
- wyszczególnienie niezbędnych prac geodezyjnych,
- zakres badań laboratoryjnych,
- przewidywaną wielkość dopływu wód do wyrobiska lub jego poszczególnych poziomów eksploatacyjnych,
- przewidywaną jakość wody odpompowywanej z wyrobiska,
- sposób odwadniania i odprowadzania odpompowywanej wody z wyrobiska,
- określenie próbek geologicznych podlegających przekazaniu właściwemu organowi administracji geologicznej, wraz ze wskazaniem sposobu i terminu ich przekazania;
- określenie harmonogramu zamierzonych robót geologicznych, w tym terminów ich rozpoczęcia i zakończenia;
- określenie wpływu zamierzonych robót geologicznych na obszary chronione, w tym obszary Natura 2000, o których mowa w ustawie z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody;
- określenie rodzaju dokumentacji geologicznej mającej postać w wyniku robót geologicznych, o której mowa w art. 88 ust. 2 ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze.

Część graficzna projektu powinna zawierać:

- mapę topograficzną w skali co najmniej 1:100 000 z zaznaczeniem obszaru lub miejsc zamierzonych robót geologicznych i usytuowania ich w stosunku do granic miejscowości będącej siedzibą gminy lub punktów osnowy geodezyjnej, a w zależności od celu tych robót – mapę geologiczną, hydrogeologiczną, geologiczno-inżynierską, geofizyczną oraz przekrój geologiczny – jeżeli takie dokumenty zostały już sporządzone;
- wskazanie lokalizacji obszaru miejsc zamierzonych robót geologicznych na:
 - mapie sytuacyjno-wysokościowej sporządzonej w odpowiednio dobranej skali, nie mniejszej niż 1:50 000,
 - mapie geologiczno-gospodarczej przedstawiającej składniki środowiska podlegające ochronie, sporządzonej w odpowiednio dobranej skali, nie mniejszej niż 1:50 000,
 - przekrojach geologicznych.

Opracowany projekt robót geologicznych poza w/w formalnymi wymaganiami powinien być dostosowany do specyfiki terenu zdegradowanego oraz kierunku rekultywacji i sposobu zagospodarowania.

17.4. DOKUMENTACJA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA

Dokumentację geologiczno-inżynierską opracowuje się zgodnie z Prawem geologicznym i górniczym z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz.U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981) oraz Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714).

Zgodnie z ustawą Prawo geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 r. (Dz.U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981) dokumentację sporządza się w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby: zagospodarowania przestrzennego, posadawiania obiektów budowlanych oraz podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji, a także podziemnego składowania odpadów lub na powierzchni. Dokumentacja powinna określać:

- budowę geologiczną;
- warunki geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne podłoża budowlanego lub określonej przestrzeni;
- przydatność badanego terenu do realizacji zamierzonych przedsięwzięć;
- prognozę zmian w środowisku, które mogą powstać na skutek realizacji, funkcjonowania oraz likwidacji zamierzonych przedsięwzięć (pod warunkiem, że nie istnieje obowiązek sporządzenia raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko, zgodnie z odrębnymi przepisami).

Rodzaj i sposób przedstawienia wyników przeprowadzonych prac oraz szczegółowość wykonanych badań i analiz zaleca się skonsultować z odbiorcą wyników prac dokumentacyjnych (np. inwestorem, projektantem). Niemniej jednak są elementy dokumentowania, które powtarzają się dla każdego rodzaju degradacji oraz kierunku rekultywacji.

Podstawowymi elementami każdej dokumentacji geologiczno-inżynierskiej jest część tekstowa i część graficzna. Część tekstowa powinna obejmować:

- stronę tytułową (zawierającą takie dane jak: nazwę i adres podmiotu wykonującego dokumentację; nazwę i adres podmiotu zamawiającego i finansującego wykonanie dokumentacji; tytuł dokumentacji; imię i nazwisko oraz podpis sporządzającego dokumentację, a także numer świadectwa stwierdzenia kwalifikacji lub numer decyzji uznania kwalifikacji; imiona i nazwiska osób wchodzących w skład zespołu, który sporządził dokumentację, oraz ich podpisy; imię, nazwisko i podpis kierownika podmiotu, który sporządził dokumentację; datę sporządzenia);
- kartę informacyjną dokumentacji – zgodnie z załącznikiem nr 6 do Rozporządzenia Ministra Środowiska

z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011r. Nr 291 poz. 1714);

- kopię decyzji zatwierdzającej projekt robót geologicznych;
- część opisową;
- spis literatury i materiałów archiwalnych wykorzystanych przy sporządzaniu dokumentacji.

Zgodnie z Rozporządzeniem część opisowa dla każdej dokumentacji geologiczno-inżynierskiej powinna zawierać:

- opis położenia geograficznego i administracyjnego dokumentowanego terenu;
- ogólne informacje o dokumentowanym terenie dotyczące jego zagospodarowania, infrastruktury podziemnej i stosunków własnościowych;
- informacje o wymaganiach techniczno-budowlanych i kategorii geotechnicznej projektowanej inwestycji;
- opis budowy geologicznej, z uwzględnieniem tektoniki, krasu, litologii i genezy warstw oraz procesów geodynamicznych, w szczególności wietrzenia, deformacji filtracyjnych, pełzania, pęcznienia, osiadania zapadowego i procesów antropogenicznych;
- opis właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał;
- opis warunków hydrogeologicznych;
- ocenę warunków geologiczno-inżynierskich wraz z prognozą wpływu projektowanej inwestycji na środowisko;
- informację o lokalizacji i zasobach złóż kopalin, które mogą być wykorzystane przy wykonywaniu projektowanej inwestycji oraz ich jakości.

Zgodnie z Rozporządzeniem część graficzna dla każdej dokumentacji geologiczno-inżynierskiej powinna zawierać:

- plan sytuacyjny sporządzony w skali od 1:500 do 1:2000 oraz mapę przeglądową z lokalizacją dokumentowanego terenu;
- mapę dokumentacyjną sporządzoną na podkładzie topograficznym, z naniesionymi lokalizacją dokumentowanego terenu, liniami przekrojów geologiczno-inżynierskich i punktami badawczymi;
- mapę geologiczno-inżynierską; mapy tej nie sporządza się w przypadku dokumentacji pojedynczych, niewielkich obiektów budowlanych;
- tabelaryczne zestawienie wyników badań, a także wykresy uzyskane z badań uziarnienia, wytrzymałościowych i odkształceniowych oraz sondowań statycznych i dynamicznych;
- przekroje geologiczno-inżynierskie z naniesionymi wykresami sondowań statycznych i dynamicznych;
- profile otworów wiertniczych, plany wyrobisk i odworowania ich ścian.

Opracowana dokumentacja geologiczno-inżynierska poza w/w formalnymi wymaganiami powinna być dostosowana do specyfiki terenu zdegradowanego oraz kierunku rekultywacji i sposobu zagospodarowania. Powinna ujmować rodzaj, stan i stopień skażenia itp.

W zależności od potrzeb dokumentowania przeprowadza się stosowne analizy i oceny zebranych w czasie dokumentowania wyników prac, badań i robót.

Dostosowuje się również rodzaj załączników graficznych, które najlepiej obrazują problemy dotyczące danego terenu.

17.5. DOSTĘP DO DANYCH ARCHIWALNYCH

Materiały archiwalne mogą udostępnić przedsiębiorstwa i inwestorzy wykonujący wcześniej na danym terenie badania geologiczne. Część materiałów można pozyskać z archiwów jednostek administracyjnych działających na terenie badań.

Wiele materiałów niezbędnych w analizie archiwalnej znajduje się w Centralnym Archiwum Geologicznym (CAG). Jest ono prowadzone w ramach Państwowej Służby Geologicznej przez Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) co reguluje ustawa z dnia 9 czerwca 2011 Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981).

Materiały znajdujące się w CAG wspomagają badania i dokumentowanie geologiczne, prace w planowaniu przestrzennym i w zarządzaniu środowiskiem. Wszystkie informacje o archiwach PIG-PIB są gromadzone w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (CBDG), która jest największym w Polsce zbiorem cyfrowych danych geologicznych. Baza ta zawiera między innymi szczegółowe informacje o otworach wiertniczych, archiwalnych dokumentacjach geologicznych, geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych, geologiczno-środowiskowych i różnego typu badaniach geofizycznych.

Internetowe aplikacje znajdujące się na witrynie CBDG to formularze i przeglądarka geograficzna (GIS), pozwalające szybko i precyzyjnie dotrzeć do szukanych informacji (<http://geoportal.pgi.gov.pl/cbdg>). Bezpłatny internetowy dostęp do danych upraszcza uzyskanie informacji oraz wyszukiwanie interesujących nas opracowań, tj.:

- **dokumentacji:** <http://dokumenty.pgi.gov.pl> (na dzień 01.04.2012)
- **otworów wiertniczych:** <http://otwory.pgi.gov.pl> (na dzień 01.04.2012)
- **Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski (SMGP):** <http://baza.pgi.gov.pl/website/cbdg/parSMGP2.htm> (na dzień 01.04.2012)
- **Map hydrogeologicznych Polski (MhP):** <http://baza.pgi.gov.pl/website/cbdg/parMHP2.htm> (na dzień 01.04.2012)
- **Mapy geologiczno-gospodarczej Polski (MggP):** <http://baza.pgi.gov.pl/website/cbdg/parMGGP2.htm> (na dzień 01.04.2012)

Dane przestrzenne ułatwiają wyszukiwanie potrzebnych informacji zarchiwizowanych w CAG. Internetowy serwis CBDG zawiera aplikację do prezentacji i wyszukiwania danych przestrzennych w postaci przeglądarki graficznej GIS (<http://geoportal.pgi.gov.pl/cbdg/dane/gis> – na dzień 01.04.2012). Umożliwia ona między innymi wyszukiwanie dokumentów, otworów, złóż; wyświetlanie mapy z lokaliza-

cją otworów wiertniczych; wyświetlanie informacji o wskazanym obiekcie. Omawiana przeglądarka zawiera także skorowidz map SMGP, MHP i MGGP/MGP, umożliwiającą wybieranie arkuszy do zamówienia.

Dla dokumentowania geologiczno-inżynierskiego przydatne będą na przykład dane z atlasów geochemicznych (<http://www.mapgeochem.pgi.gov.pl/> – na dzień 01.04.2012) czy informacja przestrzenna o obszarach górniczych (<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/MIDASGIS> – na dzień 01.04.2012).

Bardzo ważne mogą także okazać się informacje zawarte w atlasach geologiczno-inżynierskich aglomeracji miejskich. Są one bogatym zbiorem danych pozyskanych z dokumentacji geologiczno-inżynierskich, geotechnicznych, hydrogeologicznych oraz głównie profili otworów wiertniczych. Mapy tematyczne powstałe na ich podstawie pozwalają ocenić warunki geologiczno-inżynierskie na terenach aglomeracji, między innymi dla potrzeb planowania przestrzennego (http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/atlas_y_gi – na dzień 01.04.2012).

Baza danych geologiczno-inżynierskich (BDGI) i atlas geologiczno-inżynierski aglomeracji miejskich składa się z:

- Bazy danych otworów wiertniczych (p-BDGI) – zbiór danych geologicznych w postaci otworów wiertniczych archiwalnych i uzupełniających dokumentujących rozpoznanie budowy geologicznej w profilu pionowym, w liczbie od 10 000 do 50 000 otworów w zależności od aglomeracji;
- Geobazy danych przestrzennych (a-BDGI i m-BDGI):
 - Geobazy danych przestrzennych archiwalnych (a-BDGI) – geobaza tematyczna GIS zawierająca dostępne, archiwalne warstwy informacyjne geologiczne, górnicze, środowiskowe, topograficzne i inne;
 - Geobazy danych przestrzennych (m-BDGI) – geobaza tematyczna GIS zawierająca warstwy informacyjne będące wynikiem przetwarzania zbiorów danych zawartych w bazach a-BDGI i p-BDGI.

Baza danych geologiczno-inżynierskich (BDGI) i atlas geologiczno-inżynierski są archiwizowane i udostępniane w formie:

- wydruk map i objaśnień Atlasu geologiczno-inżynierskiego,
- nagranie na nośnikach cyfrowych bazy danych BDGI i map Atlasu geologiczno-inżynierskiego,
- udostępnienie p-BDGI, a-BDGI i m-BDGI w internetowej przeglądarce GIS,
- udostępnienie a-BDGI i m-BDGI w formie serwisów WMS.

Wiele danych udostępnianych jest także w postaci serwisów WMS (Web Map Service). Dzięki temu jest możliwe wyświetlenie i wykorzystanie zawartych w warstwach WMS informacji, wykorzystując mapowe portale internetowe, bądź programy GIS. PIG-PIB udostępnia takie serwisy WMS jak:

- Otwory wiertnicze: http://ikar3.pgi.gov.pl/arcgis/services/cbdg_otwory/MapServer/WMServer

- Złoża surowców, obszary i tereny górnicze: http://ikar3.pgi.gov.pl/arcgis/services/cbdg_midass/MapServer/WMS/Server
- Bloki koncesyjne dla węglowodorów: http://ikar3.pgi.gov.pl/arcgis/services/cbdg_bloki/MapServer/WMS/Server
- Badania sejsmiczne 2D i 3D: http://ikar3.pgi.gov.pl/arcgis/services/cbdg_ssm/MapServer/WMS/Server
- Sondowania geoelektryczne: SGE: http://ikar3.pgi.gov.pl/arcgis/services/cbdg_sge/MapServer/WMS/Server
- Osuwiska i tereny zagrożone ruchami masowymi: http://ikar3.pgi.gov.pl/arcgis/services/cbdg_sopo/MapServer/WMS/Server
- Geostanowiska: http://ikar3.pgi.gov.pl/arcgis/services/cbdg_geostanowiska/MapServer/WMS/Server
- Regiony fizycznogeograficzne na podstawie: Kondracki J., 2002 – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa: http://ikar3.pgi.gov.pl/arcgis/services/cbdg_regiony/MapServer/WMS/Server
- BankHYDRO – Obiekty hydrogeologiczne: http://epsh2.pgi.gov.pl/GeoServices/obiekty_hydro/wms
- Monitoring wód podziemnych (MWP) – Punkty monitoringowe: http://epsh2.pgi.gov.pl/GeoServices/punkty_mon/wms
- Arkusze map, MWP, GZWP, JCWPd* (WMS zbiorczy): <http://epsh2.pgi.gov.pl/GeoServices/geometrie/wms>
- Obszary zagrożone ryzykiem podtopień: http://epsh2.pgi.gov.pl/GeoServices/obszary_zagrozone/wms
- Mapa hydrogeologiczna Polski (MHP) – Kompozycja (WMS zbiorczy): http://epsh.pgi.gov.pl/wms_mhp_kompoz_wydajnos/wmservice.aspx
- Geologiczne warunki budowy nowoprojektowanych odcinków dróg i linii kolejowych: <http://ikar3.pgi.gov.pl/arcgis/services/gi/MapServer/WMS/Server>

Istotnym elementem standaryzującym i harmonizującym geologiczną informację przestrzenną znajdującą się w zasobach PIG-PIB jest projekt IKAR (<http://ikar2.pgi.gov.pl/cms/> – na dzień 01.04.2012). IKAR jest odpowiedzią Państwowego Instytutu Geologicznego na inicjatywę Unii Europejskiej jaką jest dyrektywa INSPIRE. IKAR udostępnia wyżej wymieniane geologiczne dane geoprzestrzenne poprzez internetowe serwisy i usługi sieciowe oparte na nowoczesnych technologiach oraz spełniające najnowsze standardy. Tworzy on jednolity system kartografii integrujący nowe i istniejące rozwiązania w zakresie kartografii geologicznej, hydrogeologicznej, geośrodowiskowej i geologii złożowej.

Dla dokumentowania geologiczno-inżynierskiego przydatne są również następujące informacje archiwalne:

- mapy topograficzne w różnych skalach, ortofotomapy, mapy sozologiczne w skali 1:50 000, mapy hydrograficzne w skali 1:50 000 możliwe są do przejrzania na portalu CODGiK (<http://www.geoportal.gov.pl/> – na dzień 01.04.2012);
- zasięg obszarów NATURA 2000 jest bardzo istotny dla obszarów zdegradowanych (<http://natura2000.gdos.gov.pl/natura2000/pl/jednostki.php> – na dzień 01.04.2012).

[gdos.gov.pl/natura2000/pl/jednostki.php](http://natura2000.gdos.gov.pl/natura2000/pl/jednostki.php) – na dzień 01.04.2012). Natura 2000 jest systemem ochrony zagrożonych składników różnorodności biologicznej kontynentu europejskiego, powinien być zatem ujęty w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej;

- informacja o zarejestrowanych i zinventaryzowanych naturalnych zagrożeniach geologicznych na terenie całego kraju, ze szczególnym uwzględnieniem osuwisk oraz innych zjawisk geodynamicznych. Opracowanie takie jest dostępne na stronach Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (<http://www.geozagrozenia.agh.edu.pl/> – na dzień 01.04.2012).

17.6. STOSOWANIE NORM

Polska Norma (PN) – jest normą o zasięgu krajowym, przyjętą w drodze konsensu i zatwierdzoną przez krajową jednostkę normalizacyjną (Polski Komitet Normalizacyjny), powszechnie dostępną, oznaczoną – na zasadzie wyłączności – symbolem PN. Do 31 grudnia 1993 roku stosowanie PN było obowiązkowe i pełniły one rolę przepisów. Nieprzestrzeganie postanowień PN było naruszeniem prawa. Od 1 stycznia 1994 roku stosowanie PN jest dobrowolne, przy czym do 31 grudnia 2002 istniała możliwość, przez właściwych ministrów w pewnych przypadkach, nakładania obowiązku stosowania PN. Od 1 stycznia 2003 stosowanie PN jest już całkowicie dobrowolne.

Przywoływanie PN w rozporządzeniach ministrów nie skutkuje nałożeniem obowiązku stosowania PN, ponieważ jest to niezgodne z regułami legislacyjnymi – akt prawny niższego rzędu nie może zmieniać postanowień aktu wyższego rzędu.

Szczególną rolę w normalizacji europejskiej pełnią Europejskie normy zharmonizowane. W Polsce pokutuje całkowicie błędne przekonanie o tym, że ich stosowanie na terenie UE jest obowiązkowe. Europejskie normy zharmonizowane wspomagają legislację w ramach tzw. Nowego Podejścia, ale ich stosowanie jest całkowicie dobrowolne. (<http://www.pkn.pl/informacje-podstawowe-o-pn> – 14 marca 2012)

Istotny problem stanowi proces wycofania normy. Wycofanie normy nie można utożsamiać z unieważnieniem normy, które było działaniem właściwym jedynie dla poprzedniego systemu normalizacji. Unieważnienie normy powodowało bezpośredni skutek prawny polegający na zakazie stosowania – pod groźbą sankcji karnych – normy unieważnionej. Powodowało także wycofanie normy ze zbioru norm, który obejmował wyłącznie normy prawnie usankcjonowane. Norma wycofana mogła mieć już znaczenie tylko archiwalne.

W normalizacji, u której podstaw leży dobrowolne stosowanie normy wycofanie normy oznacza wyłączenie jej ze zbioru norm aktualnych ze względu na dezaktualizację jej treści. Wycofanie normy nie oznacza ani jej unieważnienia, ani zakazu stosowania. Z tego wynika, że norma wycofana powinna być dostępna tak długo, dopóki istnieje jakiegokolwiek powołanie się na nią.

LITERATURA

- AL TABBAA A., WALSH S., 1994 – Geotechnical properties of a clay contaminated with an organic chemical. The 1st International Congress on Environmental Geotechnics: 599–604.
- ALTLASTEN Handbuch. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1989.
- BARAŃSKI M., SZCZEPAŃSKI T., 2007 – Zastosowanie metod sejsmiki powierzchniowej do oceny modułu G gruntu. *Czasopismo Techniczne*, 1-Ś/2007: 17–25.
- BARZCZYŃSKA M., BOGDANOWICZ E., CHUDY Ł., KARZYŃSKI M., KONIECZNY R., KRAWCZYK M., MIERKIEWICZ M., ORDAK A., RATAJ C., SASIM M., SIUDAK M., SZTOBRYN M., 2002 – Zagrożenia naturalne. IMGW, Warszawa.
- BAŻYŃSKI J., DRĄGOWSKI A., FRANKOWSKI Z., KACZYŃSKI R., RYBICKI S., WYSOKIŃSKI L., 1999 – Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BAŻYŃSKI J., FRANKOWSKI Z., WYSOKIŃSKI L., 2000 – Atlasy geologiczno-inżynierskie dla miast. Instrukcja wykonywania techniką komputerową. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- BESTYŃSKI Z., 2011 – Metody geofizyczne w geologii inżynierskiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **446**: 175–182.
- BOHATKIEWICZ J. (red.), 2008 – Podręcznik dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych. GDDKiA, Kraków.
- BOLDT–LEPPIN B., KOZICKI P., HAUG M.D., KOZICKI J., 1994 – Use of organophilic clay to control seepage from underground gasoline storage tanks. First International Congress on Environmental Geotechnics: 141–146. Edmonton, Alberta.
- BORECKA A., 2007 – Właściwości gruntów zwałowych z KWB Turów oraz próba ich oceny na podstawie sondowań statycznych. Rozprawa doktorska. Arch. AGH, Kraków.
- BORECKA A., RYBICKI S., 2004 – Właściwości fizykomechaniczne gruntów zwałowych z nadkładu KWB Turów. XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, Geotechnika i Budownictwo Specjalne, t. 1: 15–24. Zakopane.
- BURCHARD T. i in., 2009 – Ekspertyza określająca warunki techniczno-ekonomiczne wariantowego sposobu zabezpieczenia terenów w zasięgu leja depresji w zależności od różnych poziomów docelowego lustra wody w wyrobisku Piaseczno. SIGMA BP, Tamobrzeg.
- BURCHARD T., HAŁADUS A., KIREJCZYK J., KULMA R., PANTULA Z., 2011 – Analiza zmian środowiskowych w rejonie likwidowanych wyrobisk „Machów” i „Piaseczno”.
- CAMPANELLA R.G., 2008 – Geo-environmental site characterization. Geotechnical and Geophysical Site Characterization: 3–15. Huang & Mayne, London.
- CIEŚLIŃSKI Z., JAWOROWSKI P., SZCZEPAŃSKA E., 1994 – Problemy ochrony i rekultywacji środowiska. UMK, Toruń.
- CONE Penetration Testing, 2007 – A synthesis of highway practice. National Cooperative Highway Research Program Synthesis, 368. Transportation Research Board, Washington.
- CYMERMAN R., MORZE A., TYSZKO L., 2000 – Problemy rekultywacji gruntów zniekształconych budową instalacji liniowych naziemnych i podziemnych. *Inżynieria Ekologiczna*, **1**: 94–99.
- De SANTIAGO BUEY C., PARDO de SANTAYANA CARILLO F., 2011 – Four case-studies of Spanish landslides. International Workshop on Landslides ELGIP.
- DEMBICKI E. (red.), 1981 – Stateczność pojedynczych fundamentów blokowych oraz słupowych z płytami poprzecznymi. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, Poznań.
- DOBĄK P., DRĄGOWSKI 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. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- DRĄGOWSKI A., 1994 – Ocena warunków geotechnicznych dla projektowanego osiedla mieszkaniowego w Łomiankach przy ul. Fabrycznej i Wiślanej. Progeo, Warszawa.
- DRĄGOWSKI A., 1998 – Algorytm wyboru lokalizacji składowisk na przykładzie województwa warszawskiego. Mat. VIII Międzynarodowej Konf. nt. Budowa bezpiecznych składowisk odpadów: 67–78. Grupa Konsultingowo-Projektowa Abrys, Wisła.
- DRĄGOWSKI A., 1999 – Procesy i zjawiska antropogeniczne. W: Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DRĄGOWSKI A., CABALSKI K., 1996 – Wstępna ocena możliwości zabudowy obszarów przyległych do strefy skażenia w rejonie ulicy Fabrycznej w Łomiankach. Progeo, Warszawa.
- DRĄGOWSKI A., CABALSKI K., RADZIKOWSKI M., 2002a – Badania bezpośrednie procesów samouszczelniania się składowisk mokrych na przykładzie składowiska w Przeworsku. *Prz. Geol.*, **50**: 975–979.
- DRĄGOWSKI A., CABALSKI K., RADZIKOWSKI M., 2002b – Raport oddziaływania na środowisko projektowanej budowy osiedla mieszkaniowego w Łomiankach pomiędzy ulicami Wiślaną i Fabryczną. Progeo, Warszawa.
- DRĄGOWSKI A., CABALSKI K., RADZIKOWSKI M., 2011 – Problematyka rekultywacji terenów zdegradowanych chemicznie w badaniach geologiczno-inżynierskich na przykładzie doświadczeń z rejonu Łomianek. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **446** (2): 453–458.
- DUBAJ-NAWROT J. (red.), 2009 – Atlas geologiczno-inżynierski aglomeracji Rybnik–Jastrzębie Zdrój–Żory w województwie śląskim. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- DUBAJ-NAWROT J., WRÓBEL R. (red.), 2005 – Baza danych geologiczno-inżynierskich wraz z opracowaniem atlasu geologiczno-inżynierskiego aglomeracji katowickiej. Ministerstwo Środowiska, Katowice.

- DULEWSKI J., 2009 – Materiały III Międzynarodowej Konferencji Innowacyjne Rozwiązania Rewitalizacji Terenów Zdegradowanych.
- DYNOWSKA I. 1994 – Reżim odpływu rzeczny, plansza 32.3, mapa 1. Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, 1993-1995. Główny Geodeta Kraju, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa.
- ERTEL T., ALIMI H., 2001 – Charakterisierung von organischen Schadstoffen in Boden und Grundwasser. TerraTech Nr 5, Stuttgart.
- FAL B., PUNZET J. 1994 – Maksymalny odpływ jednostkowy, plansza 32.3, mapa 3. Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, 1993–1995. Główny Geodeta Kraju, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa.
- FAJKLEWICZ Z., MIKOŚ T., RADOMIŃSKI J., 2006 – Geofizyczne poszukiwania form antropogenicznych, w tym starych wyrobisk górniczych w Złotym Stoku. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWroc.*, **32**: 63–73.
- FERNANDEZ F., QUIGLEY R.M., 1988 – Viscosity and dielectric constant controls on the hydraulic conductivity of clayey soils permeated with water-soluble organics. *Can. Geotech. J.*, **25**: 582–589.
- FRANKOWSKI Z., MITRĘGA J., 1998 – Warunki lokalizacji składowisk odpadów niebezpiecznych. Mat. VIII Międzynarodowej Konf. nt. Budowa bezpiecznych składowisk odpadów: 89–99. Grupa Konsultingowo-Projektowa Abrys, Wisła.
- 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., WYSOKIŃSKI L. (red.), 2000 – Atlas geologiczno-inżynierski Warszawy. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- FRANKOWSKI Z., ZACHOWICZ J. (red.), 2007 – Atlas geologiczno-inżynierski aglomeracji trójmiejskiej Gdańsk–Sopot–Gdynia. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- FUKUOKA H., SASSA K., WANG G., SASAKI R., 2006 – Observation of shear development in ring–shear apparatus with a transparent shear box. *Landslides*, **3**: 239–251.
- GARBULEWSKI K., 2000 – Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych. SGGW, Warszawa.
- GARLICKI S., TRACZ M., 1995 – Ocena wpływu autostrad na środowisko. XLI Konf. Nauk. Kom. Inż. Lądowej i Wodnej PAN i Kom. Nauki PZITB: 57–70. Kraków–Krynica.
- GODLEWSKI T., 2009 – Wykonywanie i interpretacja badań polowych według PN–EN 1997-2. XXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji: 67–108. Wisła.
- GOGOLIK S., 2006 – Zastosowanie testów SCPTU i SDMT do wyznaczania prędkości fali poprzecznej w osadach poflotacyjnych. *Zesz. Nauk. P.Białost.*, **Budownictwo**, **29**: 49–58.
- GOLDSZTEJN J. (red.), 2008 – Atlas geologiczno-inżynierski aglomeracji wrocławskiej. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- GOŁDA T. i in., 1993 – Świadectwo autorskie o dokonaniu wyznaczenia pt. Sposób hydromechanicznego namywania terenów, zwłaszcza poeksploatacyjnych w górnictwie otworowym siarce, nr 285582. Warszawa.
- GORDOŃ J., STARZEWSKA-SIKORSKA A., MICHALISZYN B., KRZYŻAK J., 2009 – Technologie rewitalizacji i zagospodarowania terenów zdegradowanych, w tym przemysłowych. Inst. Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Katowice.
- GÓRSKI J., LISZKOWSKA E., 1998 – Ochrona środowiska geologicznego w otoczeniu dróg intensywnego ruchu. Główne problemy i propozycje ich rozwiązania. W: Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. Kiekrz k. Poznań.
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z., 2008 – Instrukcja opracowania mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GUIDELINES for Assessing and Managing Contaminated Gasworks Sites in New Zealand, 1997. Ministry for the Environment.
- GUIDELINES for Use at Contaminated Sites in Ontario, 1997. Ministry of the Environment (MOE).
- GWOREK B. (red.), 2004 – Technologie rekultywacji gleb. Monografia. Inst. Ochrony Środowiska, Warszawa.
- INSTRUKCJA opracowania i komputerowej edycji mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, 1999. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- INSTRUKCJA opracowania mapy geośrodowiskowej Polski w skali 1:50 000, 2005. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- INSTRUKCJA sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach, 1999. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- IRMIŃSKI W. (red.), 1996 – Podręcznik badań starych składowisk – ocena, podstawy badawcze. Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ, Warszawa.
- IRMIŃSKI W., 1998 – Identyfikacja i badania starych składowisk zlokalizowanych w różnych warunkach geologicznych na obszarze środkowej części zlewni rzeki Pilicy – implikacje geozologiczne. Praca doktorska. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- IRMIŃSKI W., 2003 – Integrale Grundwasseruntersuchung in Bydgoszcz (Bromberg) – Anwendung auf Gaswerks – standorten und gaswerksspezifische Parameter (multim. present.) INCORE Final Conference, Stuttgart.
- IRMIŃSKI W., 2009 – Badania skażeń wód podziemnych na terenach zanieczyszczonych przez przemysł przy wykorzystaniu próbników pasywnych. X Międzynarodowa Konf. Analityka w służbie hydrogeologii, geologii i ochrony środowiska. Państw. Inst. Geol., Warszawa [referat].
- IRMIŃSKI W., WRÓBLEWSKA M., 2008 – Technology test runs under ETV conditions – Advice for improved field application of ETV system. PROMOTE – Efficiency control and performance verification of improved approaches for soil-groundwater protection and rehabilitation. Final Report, DECHEMA, Frankfurt.
- IZDEBSKA-MUCHA D., 2005 – Wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na wybrane geologiczno-inżynierskie właściwości gruntów spoistych. *Prz. Geol.*, **53**, 9: 766–769.
- IZDEBSKA-MUCHA D., SZYSZKO C., TRZCIŃSKI J., 2011 – Właściwości geologiczno-inżynierskie i mikrostrukturalne glin lodowcowych zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **446** (2): 459–468.
- JANKOWSKI A.T., 2005 – Wytyczne techniczne GIS-4: Mapa zoologiczna Polski 1:50 000 w formie analogowej i numerycznej. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- JAROSZEWSKI W., MARKS L., RADOMSKI A., 1985 – Słownik geologii dynamicznej. Wyd. Geol., Warszawa.

- JÓZEFACIUK C., 1995 – Splukiwanie potencjalne gleby, plansza 23.3, mapa 3. Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, 1993–1995. Główny Geodeta Kraju, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa.
- KARCZEWSKA A., 2008 – Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław.
- KASZTELEWICZ Z., ZAJĄCZKOWSKI M., 2010 – Wpływ działalności górnictwa węgla brunatnego na otoczenie. *Polityka Energetyczna*, 12, 2.
- KIREJCZYK J. (red.), 1996 – Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania wyrobiska Piaseczno. OBR PS Siarkopol, Tarnobrzeg.
- KIREJCZYK J. (red.), 1997 – Aktualizacja programu likwidacji wyrobiska górnictwa w Piasecznie w skojarzeniu z zaktualizowanym programem likwidacji Kopalni Siarki Machów. OBR PS Siarkopol, AGH Kraków, Hydroprojekt Warszawa.
- KODA E., 2011 – Stateczność rekultywowanych składowisk odpadów i migracja zanieczyszczeń przy wykorzystaniu metody obserwacyjnej. SGGW, Warszawa.
- KOŁODZIEJCZYK U., NADOLNA M., WĘCLEWSKI S., ASANI A., STASZCZUK A., SZYMAŃCZYK A., BOHATKIEWICZ J., DRACH M., HELMANN-GRUBBA M., SLADKOWSKI W., KIELBASA K., SCHEFFS D., 2009 – Ekologiczne zagrożenia odwodnienia pasa drogowego. GDDKiA, Warszawa.
- KORZENIOWSKA E., MOTAK E., RAWICKI Z., 1995 – Wpływ zanieczyszczeń olejowych na stan techniczny podłoża gruntowego i budynku. *Prz. Bud.*, 10: 13–15.
- KORZENIOWSKA-REJMER E., 2001 – Wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na charakterystykę geotechniczną gruntów stanowiących podłoża budowlane. *Inż. Morska Geotech.*, 2: 83–86.
- KORZENIOWSKA-REJMER E., IZDEBSKA-MUCHA D., 2006 – Evaluation of the influence of oil pollution on particle size distribution and plasticity of clay soils. *Eng. Protection Environ. Pol. Acad. Sci.*, 9, 1: 89–103.
- KÖSTLER B., BARCZEWSKI B., KLAAS N., 2004 – Literaturstudie – Stand des Wissens bezüglich der Beprobung von Grundwasser bei Altlasten. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Stuttgart.
- KOSZELA J., DZIDOWSKA K., HAW Z.M., KOSZELA-MAREK E., KUPIS R., MUSKAŁA M., 2000 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla potrzeb rekultywacji stawu osadowego odpadów z przeróbki rud uranowych w Kowarach. PWroc., Wrocław.
- KOWALCZAK P., 2001 – Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji w dorzeczu Warty. *Bezpieczeństwo Narodowe*, 1: 201–212.
- KOWALSKI A., 2012 – Zagospodarowanie terenów pogórnich w Wałbrzychu na przykładzie galerii handlowej Victoria. XXXV Zimowa Szkoła Mechaniki Górnotworu i Geoinżynierii. *Geotech. Bud. Spec.*: 167–176.
- KRAMARSKA R., PRZEZDZIECKI P., 2011 – Rozpoznanie geologiczne kruszywa do sztucznego zasilania brzegu morskiego w obszarze perspektywicznym. Półwysep Helski. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddział Geologii Morza, Gdańsk.
- KUCHARSKI R., 1999 – Rekultywacja wód podziemnych i gruntów zanieczyszczonych produktami naftowymi w rejonie Warszawa-Rembertów. W: Współczesne problemy hydrogeologii, t. IX: 182–186.
- LAMBOR J., 1962 – Gospodarka wodna na zbiornikach retencyjnych. Arkady, Warszawa.
- LAMBOR J., 1971 – Hydrologia inżynierska. Arkady, Warszawa.
- LEHRGANG IV FÜR PROBENNEHMER, 2004 – Probenahme von Böden bei Altlasten. Inst. für Wasserbau Uni. Stuttgart.
- LENART S., BIZJAK K.F., 2010 – Special Laboratory Test for Landslides Modelling – The Case of Stože and Lokavec Landslides. Proc. of the 4th IASME/WSEAS Intern. Conf. on Geology and Seismology. *Water and Geoscience*: 138–143.
- ŁUCZAK-WILAMOWSKA B., 1997 – Pliocene clays of the Polish Lowland: The perspective insulating material of waste deposits. Proc. of the Intern. Symp. on Engineering Geology and the Environment. IEAG, Greece.
- ŁUKASIK S., GNIWEK A., KRYSZAK K., TOMASZEWSKI A., 2005 – Nadzór geotechniczny i badania jakości przesłony mineralnej okrywy na terenie kwatery K2 składowiska odpadów niebezpiecznych w Tarnowskich Górach. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- ŁUKASIK S., WYSOKIŃSKI L., GODLEWSKI T., CHADA K., WSZĘDYRÓWNY-NAST M., JAŚKIEWICZ K., WITOWSKI M., GNIWEK A., SOBIECH J., 2011 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla rozbudowy farmy wiatrowej na zwalisku Kamieńsk. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- ŁUKASIK S., WYSOKIŃSKI L., GODLEWSKI T., SOKOŁOWSKA M., RYŻYŃSKI G., WSZĘDYRÓWNY-NAST M., JAŚKIEWICZ K., CHADA K., WITOWSKI M., 2011 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska na potrzeby budowy nowego bloku energetycznego 460 MW w Elektrowni Turów. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- MACHAJSKI J., 1999 – Inwentaryzacja stanu zapory w aspekcie robót wzmocnieniowo-rentomowych stawu osadowego Kowary. Rap. Ser. SPR 13/99. Bibl. Inst. Geotech. i Hydrotech. PWroc., Wrocław.
- MAIER U., EBERHARD Ch., KLENK I.L., GRATHWOHL P., 2000 – Stationäre Fahnen – Mechanismen der Quervermischung im Grundwasser. 2. Symp. Natural Attenuation. DECHEMA e.V., Frankfurt.
- MAJER E., 2005 – Ocena właściwości przesłonowych ilów do budowy składowisk odpadów. Rozprawa doktorska. Arch. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- MAJER E., ŁUCZAK-WILAMOWSKA B., WYSOKIŃSKI L., DRĄGOWSKI A., 2007 – Zasady oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy mineralnych barier izolacyjnych. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- MAJER E., ROKITA M., 2005 – Zasady ustalania i ocena warunków budowlano-gruntowych na potrzeby planów zagospodarowania przestrzennego. Sprawozdanie roczne z wnioskami. Bibl. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- MAJER E., ROKITA M., 2006 – Zasady ustalania i ocena warunków budowlano-gruntowych na potrzeby planów zagospodarowania przestrzennego i ochrony środowiska. Sprawozdanie roczne. Bibl. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- MAJER E., WYSOKIŃSKI L., 2008 – Nowa metoda budowy izolacji mineralnych dużych składowisk odpadów. *Konf. Nauk. Kom. Inż. Lądowej i Wodnej PAN oraz Kom. Nauki PZITB* Badawczo-projektowe zagadnienia w budownictwie, T. 6: 441–457. Wyd. P.Biał., Białystok.
- MAJER E., WYSOKIŃSKI L., 2010 – Badania gruntów i kontrola jakości wykonanych z nich przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów. ITB Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 411/2010. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- MALICKI W., WIDERSKA A., 1997 – Inwentaryzacja i analiza materiałów geologicznych z obszarów dawnej eksploatacji rud żelaza rejonu częstochowskiego. Część IV: Inwentaryzacja istniejących spowodowanych działalnością górnictwem odesktałceń

- powierzchni oraz zmian w środowisku przyrodniczym. Przeds. Geol., Częstochowa.
- MASŁOWSKA M., MICHAŁOWSKA M., JURYS L., KAULBARSZ D., ZALESZKIEWICZ L., OLSZAK I., 2006 – Budowa geologiczna klifów wybrzeża polskiego na odcinku od Orłowa do Ustki. *Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddział Geologii Morza, Gdańsk*.
- MATUSZEWSKI J., LEWANDOWSKI R., 1996 – Studium programowo-przestrzenne likwidacji wyrobiska Piaseczno. Hydroprojekt Warszawa Sp. z o.o., Warszawa.
- MAYNE P.W., COOP M.R., SPRINGMAN S., HUANG A-B., ZORNBERG J., 2009 – GeoMaterial Behavior and Testing. *Proc. 17th Int. Conf. Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Vol. 4 (ICSMGE, Alexandria, Egypt): 2777–2872*. Millpress/IOS Press Rotterdam.
- MEEGODA N.J., RAJAPAKSE R.A., 1993 – Long-term and short-term hydraulic conductivities of contaminated clays. *ASCE Environ. Eng. J.*, **119**, 4: 725–743.
- MELZER P., 1997 – Vorstellung der SPR-Methode und Beispiel für den Einsatz bei der Grundwassergüteüberwachung. Vortrag MVV Fachseminar für Anwender: Tieforientierte Grundwasserprobenahmen. Mannheim.
- MICHELS J., TRACK T., GEHRKE U., SELL D., 2011 – Leitfaden – Biologische Verfahren zur Bodensanierung. Umweltbundesamt, Berlin.
- MŁYNAREK Z., TSCHUSCHKE W., WIERZBICKI J., 2003 – Wykorzystanie metody sondowania statycznego i badania dylatometrycznego do oceny parametrów geotechnicznych odpadów kopalnianych. *Sem. ITB Nowoczesne metody badań gruntów: 23–35*. PKiN, Warszawa.
- MUCHOWSKI J., SZTYK Z., 1975 – Rola procesów erozji wewnętrznej w rozwoju morfologicznym zboczy lessowych. Aktualne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. Wyd. Geol. UW, Warszawa.
- NILSSON B., JAKOBSEN R., ANDERSEN L.J., 1995 – Development and testing of active groundwater samplers. *J. Hydrol.*, **171**: 223–238.
- NOWACKI J., NABORCZYK J., PIETRASZ J., SALA A., 1999 – Instrukcja obserwacji i badań osuwisk drogowych. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa.
- NOWICKI Z. (red.), 2007 – Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami w Polsce. Informator państwowej służby hydrogeologicznej. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- OSTAFICZUK S., 1998 – Tło neotektoniczne skarpy płockiej. *Konf. Nauk.-Tech. Przemieszczenia skarpy płockiej*. Płock.
- PAMUKCU S., HIJAZI H.M., FANG H.Y., 1990 – Study of possible reuse of stabilized petroleum contaminated soils as construction material. *Petrol. Contamin. Soils*, **3**: 203–214.
- PANTULA Z., BURCHARD T., KIREJCZYK J., 2007 – Aneks nr 1 do projektu technicznego prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno”. Etap II – Uporządkowanie, profilowanie skarpy wyrobiska i izolacja wychodni serii chemicznej (Zadanie II). PUP SIGMA BP Sp. z o.o. w Tarnobrzegu.
- PANTULA Z., BURCHARD T., KIREJCZYK J., KICIŃSKI C., 2005 – Projekt techniczny prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno”. Etap I – Uporządkowanie, profilowanie skarpy wyrobiska i izolacja wychodni serii chemicznej. PUP SIGMA BP Sp. z o.o. w Tarnobrzegu.
- PANTULA Z., BURCHARD T., KIREJCZYK J., KICIŃSKI C., 2006 – Projekt techniczny prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno”. Etap II – Rekultywacja wyrobiska byłej kopalni. PUP SIGMA BP Sp. z o.o. w Tarnobrzegu.
- PIERSZALIK R., 2010 – Badania introskopowe przy użyciu sondy ABS – możliwości badawcze oraz uwagi dotyczące użytkownika. *Prz. Górn.*, **11**: 74–77.
- PISARCZYK S., 2001 – Gruntoznawstwo inżynierskie. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- PLAN zagospodarowania przestrzennego województwa śląskiego, 2004. Katowice.
- POPRAWA D., RĄCZKOWSKI W., MROZEK T., 2000 – Prezentacja niektórych możliwości niwelowania skutków zjawisk osuwiskowych. *Konf. Prognozowanie i przeciwdziałanie skutkom ruchów osuwiskowych*. Warszawa.
- PRIEBE-PIECHOWSKA M., 1997 – Wprowadzenie do rekultywacji środowiska gruntowo-wodnego. Politechnika Szczecińska, Katedra Geotechniki, Szczecin.
- RAJCHEL B., 2011 – Próba wykorzystania georadaru do badań płytkich zmian antropogenicznych w podłożu. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **446**: 225–232.
- RAZOWSKA L., 2000 – Zmiany hydrogeochemiczne w rejonie częstochowskim spowodowane zatopieniem kopalń rud żelaza. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **390**: 35–96.
- ROZNIK statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, 2010. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- ROZNIK statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, 2011. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- RODZOCH A., KUŚMIERZ A., SAWICKA-SIARKIEWICZ H., BORZYSZKOWSKI J., BESTYŃSKI Z., DOBKOWSKA A., GÓRKA J., KRUK L., LEŚNIAK J., OFICJALSKA H., PACHOLEWSKI A., TKACZYK A., 2006 – Zasady sporządzania dokumentacji określających warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem dróg krajowych i autostrad. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- ROKITA M., MAJER E., 2007 – Zasady ustalania i ocena warunków budowlano-gruntowych na potrzeby planów zagospodarowania przestrzennego i ochrony środowiska: Sprawozdanie końcowe. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- RUDZKI M., – Zastosowanie metody tomografii elektrooporowej do lokalizacji struktur krasowych. *Geofizyka Toruń Sp. z o.o.* www.geofizyka.pl
- RÜHLE E., MOJSKI J.E., 1968 – Mapa Geologiczna Polski w skali 1:2 000 000. Inst. Geol., Warszawa.
- RYBICKI S. i in., 1993 – Ekspertyza określająca rodzaj materiału i niezbędną miąższość warstwy uszczelniającej oraz docelową geometrię skarpy i zboczy zapewniającą ich stateczność w warunkach zalewania wodą wyrobiska kopalni Machów. AGH, Kraków.
- SIKORSKA-MAYKOWSKA M. (red.), 2007 – Instrukcja opracowania mapy terenów zdegradowanych i podwyższonego zagrożenia naturalnego w skali 1:10 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SIUTA J., 1998 – Rekultywacja gruntów. *Poradnik*. Inst. Ochrony Środowiska, Warszawa.
- SMALLWOOD A.R.H., MORLEY R.S., HARDINGHAM A.D., DITCHFIELD C., CATLEMAN J., 1997 – Quantitative risk assessment of landslides: Case histories from Hong Kong. *Proc. Int. Symp. on Engineering Geology and the Environment, Athens, Greece: 1055–1060*. A.A. Balkema.
- SOLINST-Produktinformation, 1990 – Model 401; Waterloo Multilevel Groundwater Monitoring System. Solinst Canada Ltd. Glen Williams, Ontario.

- SOMBROEK W., 1995 – Soil degradation and contamination: A global perspective. Proc. Vth Int. Conf. on Contaminated Soil. The Netherlands, Maastrichts.
- SRIVASTAWA R.K., PANDEY V.D., 1997 – Geotechnical evaluation of oil contaminated soil. Proc. of GREEN 2. The Second Int. Symp. on Geotechnics Related to the Environment, Kraków, Poland. Wyd. Thomas Telford, London.
- STEININGER M., GNACH T., JAMUŁA E., NOWAKOWSKA M., ZAŁUSKI W., 1999 – Monitoring wód w rejonie osadnika „Kowary” w 1999 r. Rap. Ser. SPR Ne 93/1999. Bibl. Inst. Chem. i Tech. Nafty i Węgla, Wrocław.
- STELMACH K., BZÓWKA J., 2010 – Wybrane metody geofizyczne w geologii inżynierskiej i geotechnice. *Inż. Bud.*, **10**: 545–548.
- STOPYRA M., RAK Z., STASICA J., 1998 – Możliwość badań struktury górotworu z wykorzystaniem metody opartej na intryroskopii w podczernieniu. *Cuprum*, **8**: 137–150.
- TARNAWSKI M., 2007 – Zastosowanie presjometru w badaniach gruntu. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- TEUTSCH G., PTAK T., 1989 – The In-Line-Packer-System: A modular multilevel sampler for collecting undisturbed groundwater samples. W: Contaminant Transport in Groundwater (H.E. Kobus, W. Kinzelbach, red.). Proceedings, International Association for Hydraulic Research: 455–456. Rotterdam.
- TRACK T., MICHELS J., 1999 – Resümee des 1. Symp. Natural Attenuation – Möglichkeiten und Grenzen naturnaher Sanierungsstrategien. DEHEMA e.V., Frankfurt.
- UŚCINOWICZ S. i in., 2010 – Wpływ eksploatacji piasku z dna południowego Bałtyku na strukturę dna w zbiorniku meio- i makrobentosu. *Centr. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- VRANA B., GANS O., DRAXLER A., HUMER F., KRALIK M., HORAKOVA S., SILHAROVA K., 2011 – Evaluation and harmonisation of sampling techniques for trend monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the Danube river (poster). IV Int. Passive Sampling Workshop, Kraków.
- 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.
- WERNO M., JUSZKIEWICZ-BEDNARCZYK B., DEMBSKI B., 1994 – Analiza migracji wód zanieczyszczonych ze składowiska odpadów poflotacyjnych Żelazny Most. *Mat. Sem. Geotechniczne aspekty składowania odpadów*: 65–70.
- WERNO M., JUSZKIEWICZ-BEDNARCZYK B., ZAWISZA W., INEROWICZ M., 1985 – Podłoże gruntowe obciążone cyklicznie. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., 1995 – Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych. ITB Instrukcja 337. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., 1996 – Projektowanie i wykonywanie badań do lokalizacji składowisk odpadów komunalnych. Instrukcja nr 340. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., 1997 – Modernizacja i rekultywacja składowiska odpadów komunalnych. *Mat. Konf. Nauk.-Tech. Geotechnika w budowie składowisk odpadów*. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., 1998 – Zabezpieczenie skarpy płockiej i jej uwarunkowania. *Mat. Konf. Nauk.-Tech. Przemieszczenia skarpy płockiej*. Płock.
- WYSOKIŃSKI L., 2004 – Degradacja i stopień zanieczyszczenia gruntów w Polsce. *Mat. Konf. Nauk.-Tech. Zagospodarowanie gruntów zdegradowanych – badania, kryteria oceny, rekultywacja*: 143–150. Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., 2007 – Problemy posadowienia elektrowni wiatrowych na zwałowisku zewnętrznym. Sesja Jubileuszowa z okazji 70-lecia urodzin prof. dr. hab. inż. Lecha Wysokińskiego: 192–210. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., 2008 – Rekultywacja terenów przemysłowych na przykładzie rejonu bełchatowskiego. 54. *Konf. Nauk. Kom. Inż. Łądowej i Wodnej PAN i Kom. Nauki PZITB*: 411–418. Krynica-Zdrój.
- WYSOKIŃSKI L., 2009 – Zasady budowy składowisk odpadów. ITB Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 444. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., 2010 – Rekultywacja terenów kopalni odkrywkowych i ich wykorzystanie budowlane. *Prz. Geol.*, **58**, 9/2: 912–917.
- WYSOKIŃSKI L., 2011 – Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń. Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 424. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., GODLEWSKI T., 2008 – Studium warunków geotechnicznych dla projektowanej inwestycji Muzeum Historii Polski na Trasie Łazienkowskiej (rejon wcięcia Jazdów) w Warszawie. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., ŁUKASIK S., 1996 – Projektowanie i wykonywanie badań do lokalizacji składowisk odpadów komunalnych. ITB Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 340. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., ŁUKASIK S., MAJER E., 2003 – Badania gruntów do budowy przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów. ITB Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 339. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., ŁUKASIK S., WSZĘDYRÓWNY-NAST M., SOKOŁOWSKA M., GAWRYLUK A., GNIWEK A., KACZYŃSKI Ł., 2008a – Ocena stateczności odpadów paleniskowych Lubień BOT Elektrowni Bełchatów S.A. Dokumentacja geotechniczna. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., MAJER E., 2002 – Problemy budowy składowiska odpadów niebezpiecznych w Tarnowskich Górach. *Prz. Geol.*, **50**, 9/2: 959–965.
- WYSOKIŃSKI L., ROKITA M., RYŻYŃSKI G., SOKOŁOWSKI J., 2008b – Dokumentacja charakteryzująca warunki geologiczne i hydrogeologiczne dla celów opracowania STEŚ budowy drogi ekspresowej S-6 odc. Lębork (wraz z obwodnicą Lęborka) – Chwaszczyno – Wielki Kack wraz z wariantem południowym Strzebielino – Obwodnica Trójmiejska (węzeł Matarnia/węzeł Owczarnia). Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., SZURMAK M., 1991 – Wykonywanie map warunków budowlanych dla obszarów miejskich. ITB Instrukcja 302. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., ŚWIECA M., ŁUKASIK S., MAJER E., ROKITA M., WARCHAŁ T., TOMASZEWSKI A., MAJER K., GNIWEK A., KRYSZAK K., 2005 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska w ramach opracowania studium zagospodarowania doliny rzeki Sierpienicy w okolicach Sierpca. Inst. Tech. Bud., Warszawa.
- ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L., 1999 – Osuwiska we fliszu karpackim. Geologia – Modelowanie – Obliczenia stateczności. Inst. Bud. Wodnego PAN, Gdańsk.
- ZADROGA B., OLAŃCZUK-NEYMAN K., 2001 – Ochrona i rekultywacja podłoża gruntowego. *Aspekty geotechniczno-budowlane*. Wyd. PGd., Gdańsk.
- ZIĘTARA T., 1995 – Rozmieszczenie osuwisk, plansza 23.3, mapa 4; Rozmieszczenie osuwisk w Karpatkach, plansza 23.3, mapa 5 Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, 1993–1995. Główny Geodeta Kraju, Inst. Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa.

Strony internetowe:

www.apageo.com
www.apvandenbergh.com
www.cbidgp.pl/uploads/Dulewski.pdf
www.emgsp.pgi.gov.pl
www.epsh.pgi.gov.pl
http://gmes.cbk.waw.pl/
www.gig.eu
www.geofizyka.pl,
www.geoportal.pl
www.geoportal.pgi.gov.pl

www.geozagrozenia.agh.edu.pl
www.ikar2.pgi.gov.pl
http://maps.geoportal.gov.pl/
http://www.kazgw.gov.pl/
www.kzgw.gov.pl
www.natura2000.gdos.gov.pl
http://www.psh.gov.pl/artykuly_i_publicacje/publikacje/mapa-obszarow-zagrozonych-podtopieniami.html
http://www.psh.gov.pl/wydarzenia/mapa-obszarow-zagrozonych-podtopieniami1.html
www.roctest-group.com

AKTY PRAWNE

Uwaga: aktualność podanych aktów prawnych należy każdorazowo sprawdzić.

Zaleca się korzystać ze strony **Internetowy System Aktów Prawnych** <http://isip.sejm.gov.pl>

DYREKTYWY

Dyrektywa Rady 96/61/WE z dnia 24 września 1996 r. dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli (Dz.Urz. L.257 z 10.10.1996 r. str. 26) – **Dyrektywa IPPC**

Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. (Dz.Urz. UE L.00.327.1, 22.12.2000 r.) – **Ramowa Dyrektywa Wodna**

Dyrektywa 2004/35/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 kwietnia 2004 r. w sprawie odpowiedzialności za środowisko w odniesieniu do zapobiegania i zaradzania szkodom wyrażonym w środowisku naturalnym (Dz.Urz. WE L 143/56 z 30.04.2004 r.; Dz.Urz. UE rozdz. 15 t. 8)

Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia

12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu (Dz.Urz. UE L.372 z 27.12.2006) – **Dyrektywa Wód Podziemnych**

Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (Dz.Urz. UE L.288/27 z 6.11.2007 r.) – **Dyrektywa powodziowa**

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola) (wersja przekształcona) (Dz.Urz. UE L.334 z 17.12.2010 r.) – **Dyrektywa IED**

USTAWY

Ustawa z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz.U. z 2007 r. Nr 44 poz. 287 z późn. zm.)

Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. z 2010 r. Nr 243 poz. 1623 z późn. zm.)

Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. z 1995 r. Nr 16 poz. 78 z późn. zm.).

Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2008 r. Nr 25 poz. 150 z późn. zm.).

Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U. 2010 r. Nr 185 poz. 1243 z późn. zm.)

Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz.U. z 2012 r. Nr 0 poz. 145)

Ustawa z dnia 27 lipca 2001 r. o wprowadzeniu ustawy Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz.U. z 2001 r. Nr 100 poz. 1085 z późn. zm.)

Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. z 2003 r. Nr 80 poz. 717 z późn. zm.)

Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (Dz.U. z 2007 r. Nr 75 poz. 493 z późn. zm.)

Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981)

UCHWAŁY

Uchwała Nr 239 Rady Ministrów z dnia 13 grudnia 2011 r. w sprawie przyjęcia Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030 (M.P. z 2012, Nr 0, poz. 252)

ROZPORZĄDZENIA

- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz.U. z 2000 r. Nr 70 poz. 821)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz.U. z 2000 r. Nr 55 poz. 498)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 r. w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (Dz.U. z 2002 r. Nr 220 poz. 1858)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. z 2003 r. Nr 61 poz. 549)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 czerwca 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać projekty zagospodarowania złóż (Dz.U. z 2005 r. Nr 128 poz. 1075)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. z 2006 r. Nr 137 poz. 984)
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. z 2007 r. Nr 61 poz. 417 z późn. zm.)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (Dz.U. z 2007 r. Nr 121 poz. 840 zał. 2)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2008 r. w sprawie kryteriów wystąpienia szkody w środowisku (Dz.U. z 2008 r. Nr 82 poz. 501)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 czerwca 2008 r. w sprawie rodzajów działań naprawczych oraz warunków i sposobu ich prowadzenia (Dz.U. z 2008 r. Nr 103 poz. 664)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (Dz.U. z 2008 r. Nr 143 poz. 896)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 kwietnia 2011 r. w sprawie prowadzenia monitoringu obiektu unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (Dz.U. z 2011 r. Nr 92 poz. 535)
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. z 2010 r. Nr 7 poz. 466)
- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 15 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących innych dokumentacji geologicznych (Dz.U. z 2011 r. Nr 282 poz. 1656)
- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 15 grudnia 2011 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania informacji geologicznej (Dz.U. z 2011 r. Nr 282 poz. 1657)
- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16 grudnia 2011 r. w sprawie kwalifikacji w zakresie geologii (Dz.U. z 2011 r. Nr 275 poz. 1629)
- 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. z 2011 r. Nr 288 poz. 1696)
- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie korzystania z informacji geologicznej za wynagrodzeniem (Dz.U. z 2011 r. Nr 292 poz. 1724)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291 poz. 1714)
- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. w sprawie podziemnych składowisk odpadów (Dz.U. z 2011 r. Nr 278 poz. 1771)
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. z 2012 r. Nr 0 poz. 463)

NORMY

Uwaga: aktualność podanych norm należy każdorazowo sprawdzić.

Zaleca się korzystać ze strony **Polskiego Komitetu Normalizacyjnego** <http://www.pkn.pl>

- 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-EN 1997-1:2008 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 1998-1:2005 Eurokod 8: Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym. Część 1: Reguły ogólne, oddziaływania sejsmiczne i reguły dla budynków (oryg.)
- PN-EN 1998-5:2005 Eurokod 8: Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym. Część 5: Fundamen-

ty, konstrukcje oporowe i inne zagadnienia geotechniczne (oryg.)

- PN-G-07800:2002 Górnictwo odkrywkowe. Rekultywacja. Ogólne wytyczne projektowania
- PN-ISO 710-1:1999 Umowne znaki do stosowania na mapach wielkoskalowych, planach i przekrojach geologicznych. Zasady ogólne
- PN-ISO 11074-1:2001 Jakość gleby – Terminologia – Część 1: Terminy i definicje związane z ochroną i zanieczyszczeniem gleby
- PN-ISO 11074-2:2001 Terminologia – Część 2: Terminy i definicje związane z pobieraniem próbek
- PN-ISO 11074-4:2005 Jakość gleby – Terminologia – Część 4: Terminy i definicje związane z rekultywacją gleb i terenów

BADANIA POŁOWE

- PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe (NORMA WYCOFANA, ZASTĄPIONA PRZEZ PN-EN 1997-2:2009)

- PN-EN ISO 22475-1:2006 Rozpoznanie i badania geotechniczne – pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiaru wód gruntowych – Część 1: Techniczne zasady wykonania (oryg.)
- PN-EN ISO 22476-2:2005 Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 2: Sondowanie dynamiczne (oryg.)
- PN-EN ISO 22476-3:2005 Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 3: Sonda cylindryczna SPT (oryg.)
- PN-EN ISO 22476-12:2009 Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 12: Badanie sondą stożkową (CPTM) o końcówce mechanicznej (oryg.)
- PN-G-02305-5:2002 Wiercenia małośrednicowe i hydrogeologiczne. Wiertnice. Wymagania bezpieczeństwa
- PN-G-04301:1996 Skąły zwięzłe. Pobieranie i przygotowanie próbek do badań własności mechanicznych i technologicznych

BADANIA LABORATORYJNE GRUNTÓW

Opis i klasyfikacja gruntów

- PN-B-02480:1986 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów (NORMA WYCOFANA, ZASTĄPIONA PRZEZ PN-B-02481:1998)
- PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis
- PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów – Część 2: Zasady klasyfikowania
- PN-ISO 11259:2001 Jakość gleby. Uproszczony opis gleby.

Oznaczenie wilgotności

- PKN-CEN ISO/TS 17892-1:2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 1: Oznaczenie wilgotności
- PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
- ASTM D2216:1998 Test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil, rock, and soil-aggregate mixtures
- ASTM D2974-07a Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils
- ASTM D4542-95(2001) Test methods for pore water extraction and determination of the soluble salt content of soils by refractometer
- BS 1377-2:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests
- DIN 18 121:1998 Soil, investigation and testing – Water content – Part 1: Determination by drying in oven
- NF P 94-050:1995 Soils: Investigation and testing. Determination of moisture content. Oven drying method
- SN 670 340:1959 Essais; Teneur en eau/Versuche; Wassergehalt
- SS 0271 16:1989 Geotechnical tests – Water content and degree of saturation

Oznaczenie gęstości objętościowej gruntu

- PKN-CEN ISO/TS 17892-2:2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 2: Oznaczenie gęstości gruntów drobnoziarnistych
- PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
- BS 1377-2:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests

- DIN 18 125-1:2010 Soil, investigation and testing – Determination of density of soil – Part 1: Laboratory tests
- NF P 94-053:1991 Soils. Investigation and testing. Determination of density of fine soils. Cutting curb, mould and water immersion methods. Sols: Reconnaissance et Essais – Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire – Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau
- SN 670 335:1960 Versuche; Raumgewicht; Sandersatz-Methode/Essais; Poids spécifique apparent; Methode du sable
- SS 0271 14:1989 Geotechnical tests – Bulk density

Oznaczenie gęstości właściwej szkieletu gruntowego

- PKN-CEN ISO/TS 17892-3:2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 3: Oznaczenie gęstości właściwej – Metoda piknometru
- PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu

- ASTM D854-02 Test method for specific gravity of soils
- ASTM D4404:84 (1998) Determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion porosimetry
- BS 1377-2:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests
- DIN 18124:2011 Soil, investigation and testing – Determination of density of solid particles – Capillary pycnometer, wide mouth pycnometer, gas pycnometer
- DIN 66137-2:2004-12 Bestimmung der Dichte fester Stoffe – Teil 2: Gaspycnometrie
- NF P 94-054:1991 Sols: Reconnaissance et Essais – Détermination de la masse volumique des particules solides des sols – Méthode du pycnomètre à eau.
- SN 670 335:1960 Versuche; Raumgewicht; Sandersatz-Methode/Essais; Poids spécifique apparent; Methode du sable
- SS 0271 15:1989 Geotechnical tests – Grain density and specific gravity

Oznaczenie składu granulometrycznego

- PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczenie składu granulometrycznego
- PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
- ASTM D422-63 (1998) Test method for particle size analysis of soil
- ASTM D2217-85 (1998) Wet preparation of s samples for particle size analysis and determination of soil constants
- BS 1377-2:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests
- DIN 18 123:2011 Soil, investigation and testing – Determination of grain-size distribution
- NF P 94-056:1996 Sols: Reconnaissance et Essais – Analyse granulométrique – Méthode par tamisage à sec après lavage (in French)
- SN 670 810c:1986 Granulats minéraux et sols; Analyse granulométrique par tamisage/Mineralische Baustoffe und Lockergesteine; Siebanalyse
- SN 670 816:1964 Matériaux pierreux; Sédimentométrie par la méthode de l'aréomètre/Gesteinsmaterialien; Schlammversuch nach der Araeometermethode
- SS 0271 23:1992 Geotechnical tests – Particle size distribution – sieving

SS 0271 24:1992 Geotechnical tests – Particle size distribution – sedimentation, hydrometer method

XP P 94-041:1995 Sols: Reconnaissance et Essais – Identification granulométrique – Méthode de tamisage par voie humide (in French)

Oznaczenie granic konsystencji (Atterberga)

PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 12: Oznaczenie granic Atterberga

PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu

BS 1377-2:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests

DIN 18 122:1997 Soil, investigation and testing Consistency limits Part 1: Determination of liquid limit and plastic limit

NF P 94-051:1993 Soils. Investigation and testing. Determination of Atterberg's limits. Liquid limit test using Casagrande apparatus. Plastic limit test on rolled thread

NF P94-052-1:1995 Sols: Reconnaissance et Essais – Détermination des limites d'Atterberg – Partie 1: Limite de liquidité – Méthode du cône de pénétration

SN 670 345:1959 Essais; Limites de consistance/Versuche; Konsistenzgrenzen

SS 0271 20: 1990 Geotechnical tests – Cone liquid limit

SS 0271 21: 1990 Geotechnical tests – Plastic limit

Oznaczenie stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych

PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu

BS 1377-4:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 4: Compaction related tests

NF P 94-059:2000 Sols: Reconnaissance et Essais – Détermination des masses volumiques minimale et maximale des sols non cohérents

Oznaczenie zawartości części organicznych

PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu

BS 1377-3:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 3: Chemical and electrochemical tests

NF P 94-055:1993 Sols: Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d'un sol – Méthode chimique

SS 0271 05:1990 Geotechnical tests – Organic content – Ignition loss method

SS 0271 07:1990 Geotechnical tests – Organic content – Colorimetric method

XP P94-047:1998 Sols: Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur pondérale en matière organique – Méthode par calcination

Oznaczenie zawartości węglanów

BS 1377-3:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 3: Chemical and electrochemical tests

DIN 18129:2011 Soil, investigation and testing – Determination of lime content

NF P 94-048:1996 Sols: Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur en carbonate – Méthode du calcimètre

Oznaczenie zawartości siarczanów

BS 1377-3:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 3: Chemical and electrochemical tests; Clause 5 Determination of the sulfate content of soil and groundwater

BS 812-118:1988 Testing aggregates. Methods for determination of sulfate content

Oznaczenie wartości pH

BS 1377-3:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 3: Chemical and electrochemical tests

Oznaczenie zawartości chlorków

BS 1377-3:1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes – Part 3: Chemical and electrochemical tests

Laboratoryjna sonda krzyżakowa

BS 1377-7:1990 Methods of test for soils for civil engineering purposes – Part 7: Shear strength tests (total stress)

NF P 94-072:1995 Sols: Reconnaissance et Essais – Essai scissométrique en laboratoire

Penetrometr stożkowy

PKN-CEN ISO/TS 17892-6 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 6: Badanie penetrometrem stożkowym

PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu

SS 0271 25:1991 Geotechnical test methods. Undrained shear strength. Fall cone test Cohesive Soil

Ściskanie jednoosiowe

PKN-CEN ISO/TS 17892-7 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 7: Badanie na ściskanie gruntów drobnoziarnistych w jednoosiowym stanie naprężenia

NF P 94-077:1997 Sols: Reconnaissance et Essais – Essai de compression uniaxiale

Ściskanie bez konsolidacji i bez odpływu

PKN-CEN ISO/TS 17892-8 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 8: Badanie w aparacie trójosiowego ściskania gruntów nieskonsolidowanych bez odpływu wody

PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu

NF P 94-070:1994 Sols: Reconnaissance et Essais – Essais à l'appareil triaxial de révolution – Généralités, définitions

NF P 94-074:1994 Sols: Reconnaissance et Essais – Essai à l'appareil triaxial de révolution – Appareillage – Préparation des éprouvettes – Essais (UU) non consolidé non drainé – Essai (CU + u) consolidé non drainé avec mesure de pression interstitielle – Essai (CD) consolidé drainé.

Badanie trójosiowego ściskania z konsolidacją

PKN-CEN ISO/TS 17892-9 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 9: Badanie w aparacie trójosiowego ściskania gruntów nasyconych wodą

PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu

ASTM D5311-92(2004) Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil
 BS 1377-8:1990 Methods of test for soils for civil engineering purposes – Part 8 Shear strength tests (effective stress)
 NF P 94-070:1994 Sols: Reconnaissance et Essais – Essais à l'appareil triaxial de révolution – Généralités, définitions
 NF P 94-074:1994 Sols: Reconnaissance et Essais – Essai à l'appareil triaxial de révolution – Appareillage – Préparation des éprouvettes – Essais (UU) non consolidé non drainé – Essai (CU + u) consolidé non drainé avec mesure de pression interstitielle – Essai (CD) consolidé drainé.

Badania bezpośredniego ścinania z konsolidacją

PKN-CEN ISO/TS 17892-10 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 10: Badanie metodą bezpośredniego ścinania
 PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
 ASTM D 3080-98 Test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions
 BS 1377-7:1990 Methods of test for soils for civil engineering purposes – Part 7: Shear strength tests (total stress)
 NF P94-071-1:1994 Sols: Reconnaissance et Essais – Essai de cisaillement rectiligne à la boîte – Partie 1: Cisaillement direct
 SS 0271 27:1991 Geotechnical tests – shear strength – Direct shear test, CU– and CD– tests – Cohesive soils

Badanie ścisłości gruntu

PKN-CEN ISO/TS 17892-5 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 5: Badanie edometryczne przy przyroście obciążenia
 PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
 ASTM D2435-96 Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils
 BS 1377-5:1990 Methods of test for soils for civil engineering purposes – Part 5: Compressibility, permeability and durability tests
 NS 8017:1991 Geotechnical testing – Laboratory methods – Determination of one-dimensional consolidation properties by oedometer testing – Method using incremental loading
 SS 0271 26:1991 Geotechnical tests – Compression properties – Oedometer test, CRS-test – Cohesive soil
 SS 0271 29: 1992 Geotechnical tests – Compression properties – Oedometer test, incremental loading – Cohesive soil
 XP P94-090-1:1997 Sols: Reconnaissance et Essais – Essai oedométrique – Partie 1: Essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers
 XP P 94-091:1995 Sols: Reconnaissance et Essais – Essai de gonflement à l'oedomètre – Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes

Badanie zagęszczalności gruntu

PN-B-04481:1988 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
 PN-EN 13286-2:2010 Mieszanki niezwiązane i związane hydraulicznie – Część 2: Metody badań laboratoryjnych gęstości na sucho i zawartości wody – Zagęszczanie metodą Proktora
 PN-EN 13286-47:2007 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym – Część 47: Metoda badania do określe-

nia kalifornijskiego wskaźnika nośności, natychmiastowego wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego

AASHTO T193 Standard Method of Test for the California Bearing Ratio
 AASHTO T 99: Standard Method of Test for Moisture-density Relations of Soils Using a 2.5-kg (5.5-lb) Rammer and a 305-mm (12-in.) Drop
 AASHTO T 180: Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop
 ASTM D698-07e1 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))
 ASTM D1557-09 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))
 ASTM D1883-07e2 Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils
 BS 1377-4:1990 Methods of test for soils for civil engineering purposes – Part 4: Compaction related tests
 NF P 94-078:1997 Sols: Reconnaissance et Essais – Indice CBR après immersion – Indice CBR immédiat – Indice Portant Immédiat – Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR
 NF P 94-093:1999 Sols: Reconnaissance et Essais – Détermination des références de compactage d'un matériau – Essai Proctor normal – Essai Proctor modifié
 SS 0271 09:1994b Geotechnical tests – Compaction properties – Laboratory compaction

Badanie przepuszczalności gruntu

PKN-CEN ISO/TS 17892-11 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 11: Badanie filtracji przy stałym i zmiennym gradiencie hydraulicznym
 BS 1377-5:1990 Methods of test for soils for civil engineering purposes – Part 5: Compressibility, permeability and durability tests
 DIN 18 130-1:1998 Soil. Investigation and testing. Determination of the coefficient of water permeability. Part 1 Laboratory tests
 ISO/DIS 17313 Soil quality – Determination of hydraulic conductivity of saturated porous materials using flexible wall permeameter. ISO/TC 190/SC 5

Oznaczenie kapilarności biernej

PN-B-04493:1960 Grunty budowlane. Oznaczanie kapilarności biernej

BADANIA LABORATORYJNE SKAŁ

Opis i klasyfikacje skał

PN-EN ISO 14689-1:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie skał – Część 1: Oznaczanie i opis
 BS 5930:1981 Code of practice for site investigation Section 8 Description and classification of rock for engineering purposes
 ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, Part I Site Characterization (1981)

Oznaczanie wilgotności

ISRM Part 1, Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties; Section 1 Suggested method for determination of the water content of a rock sample

Gęstość i porowatość

PN-EN 1936:2010 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości

ISRM Part 1, Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties; Section 2 Suggested method for porosity/density determination using saturation and calliper techniques

ISRM Part 1, Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties; Section 3 Suggested method for porosity/density determination using saturation and buoyancy techniques

Badanie odkształcalności

PN-EN 14146:2005 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie dynamicznego modułu sprężystości (pomiar podstawowej częstotliwości rezonansowej)

PN-EN 14579:2005 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie prędkości rozchodzenia się dźwięku

PN-EN 14580:2006 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie statycznego modułu sprężystości

ISRM Suggested Methods For Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties; Test 1 Suggested Method for Determination of the Swelling Pressure Index of Zero Volume Change

ISRM Suggested Methods For Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties; Test 2 Suggested Method for Determination of the Swelling Strain Index for a Radially Confined Specimen with Axial Surcharge

ISRM Suggested Methods For Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties; Test 3 Suggested Method for Determination of the Swelling Strain Developed in an Unconfined Rock Specimen

ISRM Suggested Methods For Determining Unconfined Compressive Strength and Deformability

Badania wytrzymałościowe

PN-EN 1926:2007 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie jednoosiowej wytrzymałości na ściskanie (oryg.)

PN-EN 12372:2010 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie pod działaniem siły skupionej

PN-EN 13161:2008 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie przy stałym momencie (oryg.)

PN-G-04302:1997 Skały zwięzłe – Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie metodą poprzecznego ściskania

PN-G-04303:1997 Skały zwięzłe – Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie z użyciem próbek foremnych

PN-G-04304:1997 Skały zwięzłe – Oznaczanie wytrzymałości na ścinanie proste

PN-G-04305:1997 Skały zwięzłe – Oznaczanie wytrzymałości na zginanie z użyciem próbek foremnych

PN-G-04306:1998 Skały zwięzłe – Oznaczanie wytrzymałości na zginanie z użyciem próbek w postaci krążka

PN-G-04307:1998 Skały zwięzłe – Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie z użyciem próbek nieforemnych

PN-G-04308:1997 Skały zwięzłe – Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie metodą odbojnościową

ASTM D 2938:1991 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens

ISRM Suggested Method for Determining Point Load Strength; revised version has been published in International Journal for Rock Mechanics. Min. SCI. & Geomech. Abstr. Vol 22, No. 2, pp. 51–60, 1985

ISRM Suggested Method for Determining Shear Strength, Part 2: Suggested Method For Laboratory Determination of Direct Shear Strength

ISRM Suggested Method for Determining Tensile Strength of Rock Materials, Part 2: Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by the Brazil Test

ISRM Suggested Methods For Determining Unconfined Compressive Strength and Deformability

ISRM Suggested Method for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression