

1/2 (B₂)

POLITECHNIKA SZCZECIŃSKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I ARCHITEKTURY

KATEDRA GEOTECHNIKI

ROMAN RACINOWSKI, JANUSZ HAURYŁKIEWICZ

ZARYS GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ

DLA STUDENTÓW
KIERUNKU BUDOWNICTWO

Opracowanie dedykujemy pamięci naszego Nauczyciela,
Wychowawcy wielu roczników inżynierów budownictwa,
Twórcy Zakładu Geotechniki na Politechnice Szczecińskiej
– Profesorowi dr. hab. inż. ADAMOWI RADZIKOWSKIEMU
(1909 – 1991)

Autorzy

SZCZECIN 2001

(wykresy)

IVb-40

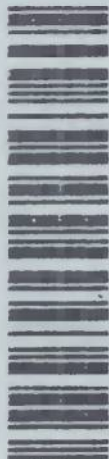


RECENZENT
Józef Wojtanowicz

B-V. 5925

OPRACOWANIE REDAKCYJNE
Jolanta Orkisz

Biblioteka Główna
Politechniki Szczecińskiej
B-V. 5925



011-005925-00-0

WYDANO ZA ZGODĄ
REKTORA POLITECHNIKI SZCZECIŃSKIEJ

ISBN 83-88764-45-4

WYDAWNICTWO UCZELNIANE POLITECHNIKI SZCZECIŃSKIEJ
70-311 Szczecin, al. Piastów 50, tel. (091) 449-47-60

Wydanie I. Nakład 200 + 39 egz. Ark. wyd. 12,8. Ark. druku 12.
Papier offsetowy kl. III, 80 g, B1.

Druk: „ZAPOL”, 71-062 Szczecin, al. Piastów 42, tel. (091) 434-10-21

13/2002

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	7
1. ZAGADNIENIA WPROWADZAJĄCE	9
2. INŻYNIERSKA ANALIZA KOMPONENTÓW ŚRODOWISKA GEOLOGICZNEGO	13
3. BUDOWLANA CHARAKTERYSTYKA RZĘBY	17
3.1. Typ genetyczny rzeźby	17
3.1.1. Strefa niżowa	17
3.1.2. Strefa wyżyna	18
3.1.3. Strefa górską	18
3.2. Typy morfometryczne rzeźby	19
3.3. Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	22
4. CHARAKTERYSTYKA GRUNTÓW BUDOWLANYCH	23
4.1. Klasyfikacja gruntów	23
4.2. Grunty skaliste	24
4.2.1. Skały magmowe	25
4.2.2. Skały osadowe	25
4.2.3. Skały metamorficzne	27
4.2.4. Grunty skaliste w Polsce	27
4.2.5. Budowlane cechy gruntów skalistych	29
4.3. Geneza i wiek gruntów nieskalistych	30
4.3.1. Grunty przedczwartorzędowe	30
4.3.2. Grunty czwartorzędowe	33
4.4. Rodzaje gruntów nieskalistych	38
4.4.1. Grunty nieskaliste mineralne	38
4.4.2. Grunty nieskaliste organiczne	40
4.4.3. Grunty nasytowe	41
4.5. Konsolidacja i konsystencja gruntu	42
4.6. Ułożenie przestrzenne warstw gruntowych	43
4.7. Warstwy i pakiety gruntowe oraz orientacyjne wielkości obciążeń bezpiecznych	48
5. WODY PODZIEMNE	51
5.1. Rodzaje i typy wody podziemnej	51
5.2. Rodzaje zwierciadła wody podziemnej i ich głębokość	53
5.3. Ruch wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	54
5.4. Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	56
6. PROCESY GEODYNAMICZNE	59
6.1. Procesy endogeniczne	59
6.1.1. Trzęsienia ziemi	59
6.1.2. Pionowe ruchy skorupy ziemskiej	61
6.2. Procesy egzogeniczne	62
6.2.1. Wietrzenie	62
6.2.2. Powierzchniowe ruchy masowe	64
6.2.3. Procesy wywołane wodami podziemnymi	66
6.2.4. Procesy wywołane powierzchniowymi wodami płynącymi	70
6.2.5. Procesy w zbiornikach wodnych	73
6.2.6. Procesy w strefie brzegowej morza	73
6.2.7. Procesy wywołane działaniem wiatru	76

6 7.	CECHY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE RÓŻNYCH GENETYCZNIE OBSZARÓW STREFY NIŻOWEJ	79
	7.1. Wprowadzenie	79
	7.2. Treści faktograficzne zestawień tabelarycznych	81
7 8.	OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA STREFY WYŻYNNEJ	97
	8.1. Obszary wyniesień	97
	8.1.1. Rzeźba	97
	8.1.2. Grunty	99
	8.1.3. Wody podziemne	100
	8.1.4. Procesy geodynamiczne	100
	8.2. Obszary krasowe	100
	8.3. Obszary lessowe	101
	8.3.1. Rzeźba	101
	8.3.2. Grunty	101
	8.3.3. Wody podziemne	102
	8.3.4. Procesy geodynamiczne	102
	8.4. Obszary kotlin i dużych dolin rzecznych	103
	8.4.1. Kotliny	103
	8.4.2. Duże doliny	103
9.	PODSTAWOWE WIADOMOŚCI O CECACH GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH STREFY GÓRSKIEJ	105
	9.1. Pasma górskie	105
	9.2. Kotliny śródgórskie	108
	9.3. Doliny śródgórskie	109
9 10.	MELIORACJE GEOTECHNICZNE	111
	10.1. Wprowadzenie	111
	10.2. Melioracja geotechniczna rzeźby terenu	111
	10.2.1. Wyrównywanie	111
	10.2.2. Tarasowanie	112
	10.2.3. Wykopy	112
	10.2.4. Nasypy	112
	10.3. Melioracje geotechniczne gruntu	115
	10.3.1. Melioracje geotechniczne za pomocą wymiany gruntu	115
	10.3.2. Melioracja geotechniczna gruntu za pomocą dodawania składników	117
	10.3.3. Oddziaływanie pola fizycznego	118
	10.3.4. Zabiegi wzmacniające podłoże a rodzaj budującego je gruntu	125
	10.4. Melioracja geotechniczna właściwości wodnych	126
	10.4.1. Melioracje podstawowe	127
	10.4.2. Melioracje szczegółowe	128
	10.5. Melioracje geotechniczne zapobiegające rozwojowi procesów geodynamicznych	131
	10.5.1. Wietrzenie	131
	10.5.2. Spływy zboczowe gruntu	132
	10.5.3. Osuwiska	132
	10.5.4. Obrywy	137
	10.5.5. Proces ablacji deszczowej	137
	10.5.6. Erozja boczna i denna	137
	10.5.7. Abrazja	137

10.5.8. Akumulacja w korytach i zbiornikach wodnych	140
10.5.9. Zatapianie i podtapianie	140
10.5.10. Sufozja	143
10.5.11. Przebicie hydrauliczne	143
10.5.12. Tikсотopia	143
10.5.13. Procesy wydymotwórcze	143
11. GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE BADANIA TERENOWE	145
11.1. Wprowadzenie	145
11.2. Terenowe badania podstawowe	145
11.2.1. Wykopy badawcze	145
11.2.2. Wiercenia	146
11.2.3. Szyby	146
11.2.4. Sztolnie	146
11.2.5. Sondowanie	147
11.2.6. Obciążenia próbne	147
11.3. Terenowe badania specjalne	148
11.3.1. Metody elektrooporowa	148
11.3.2. Metody sejsmiczne	149
11.3.3. Metody radiometryczne	152
11.3.4. Inne metody geofizyczne	154
12. PROJEKTOWANIE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH BADAŃ TERENOWYCH	155
12.1. Wprowadzenie	155
12.2. Wpływ skali opracowania i budowy geologicznej na projektowanie badań terenowych	156
12.3. Wpływ obiektów budowlanych na projektowanie badań terenowych	158
12.3.1. Lekkie budownictwo odosobnione	158
12.3.2. Lekka zabudowa dużej powierzchni	158
12.3.3. Drogi kołowe i linie kolejowe	158
12.3.4. Ciężkie budowle odosobnione	160
12.3.5. Ciężka zabudowa dużej powierzchni	160
12.3.6. Obiekty oddziałujące termicznie	160
12.3.7. Obiekty oddziałujące dynamicznie	160
12.3.8. Obiekty oddziałujące biochemicznie	160
12.3.9. Trasy podziemne	161
12.3.10. Nabrzeża, place składowe	161
12.3.11. Zbiorniki powierzchniowe	161
12.3.12. Kanały	161
12.3.13. Budowle piętrzące	162
12.4. Projektowanie geologiczno-inżynierskich badań terenowych	162
12.5. Projektowanie geotechnicznych badań terenowych	163
13. DOKUMENTOWANIE BADAŃ GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH	167
14. PORÓWNAWCZA WALORYZACJA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA TERENÓW BUDOWLANYCH	171
14.1. Zadania waloryzacji	171
14.2. Waloryzacja metodą metryczną	171
14.3. Przykład	173

14 15. ODDZIAŁYWANIE BUDOWNICTWA NA ŚRODOWISKO	175
15.1. Zagadnienia ogólne	175
15.2. Zmiany użytkowania terenu	176
15.3. Zmiany naturalnych zasobów wodnych	177
15.3.1. Zagadnienia ogólne	177
15.3.2. Cieki	179
15.3.3. Powierzchniowe zbiorniki wodne	180
15.3.4. Wody podziemne	181
15.4. Zmiany naturalnych właściwości wody	182
15.4.1. Zmiana jakości wód powierzchniowych	182
15.4.2. Zmiana jakości wód podziemnych	182
15.5. Budownictwo a topoklimat	183
15.5.1. Wpływ klimatu na warunki geotechniczne	183
15.5.2. Wpływ budownictwa na topoklimat	183
16. UWAGI PODSUMOWUJĄCE	189
LITERATURA	191

PRZEDMOWA

Brak podręczników z zakresu geologii inżynierskiej dla studentów kierunku budownictwo stanowił decydujący motyw do opracowania książki, w której znalazłyby się podstawowe wiadomości o środowisku geologicznym. W konstrukcji książki nawiązano do wcześniejszych opracowań Autorów, jakie ukazały się w Wydawnictwach Politechniki Szczecińskiej w roku 1984 i 1985 („Geologia w planowaniu i projektowaniu budownictwa na terenach nizinnych”) oraz w roku 1991 („Wprowadzenie do geologii inżynierskiej terenów nizinnych”).

Treści zawarte w książce rozszerzają informacje podane w opracowaniu R. Racinowskiego, R. Coufala „Geologia inżynierska” Wyd. Politechniki Szczecińskiej 1999, które wykorzystane jest w trakcie ćwiczeń laboratoryjnych.

Książka pomyślana jest jako szeroko pojęte wprowadzenie w podstawową problematykę geologiczno-inżynierską. Szczególnie powinna być ona pomocna we właściwym odczytaniu i zrozumieniu treści zawartych w dokumentacjach geologiczno-inżynierskich. Zaprezentowane w obecnej wersji książki wiadomości stanowią rozszerzenie treści przekazywanej na wykładach z „geologii inżynierskiej”. Uważa się, że praktyczne aspekty mechaniki gruntów, fundamentowania – geotechniki w ogóle – muszą być ściśle umiejscowione w środowisku geologiczno-inżynierskim, o którym inżynier budownictwa powinien mieć na tyle wystarczające wiadomości, aby był świadomy skutków podejmowanych decyzji lokalizacyjnych, projektowych, wykonawczych, eksploatacyjnych oraz mógł eliminować ewentualne awarie wynikające z natury środowiska geologicznego. Bez specjalnego podkreślenia wprowadzono do tekstu liczne nowe sugestie związane z unifikacją badań wynikającą z międzynarodowej współpracy w zakresie geologii inżynierskiej i geotechniki.

Podane w formie ogólnej podstawowe informacje o środowisku geologiczno-inżynierskim mogą być przełożone przez inżyniera budownictwa na konkretne fakty, które powinien brać pod uwagę w swojej pracy zawodowej. W książce celowo podano treści związane z problematyką „melioracji geotechnicznej”. Starano się przez to wykazać, że po odpowiednio przeprowadzanym uzdatnieniu podłoża, pod zabudowę przeznaczane mogą być tereny słabsze pod względem budowlanym. Zwrócono też uwagę, że dzięki odpowiednim zabiegom technicznym w znacznym zakresie można ograniczać naturalne procesy geodynamiczne powodujące awarie budowli.

Ze względu na interdyscyplinarne treści geologiczne i inżyniersko-budowlane, Autorzy zastosowali w książce wiele uproszczeń, starając się zaakcentować i wykazać związki, jakie zachodzą między budownictwem a środowiskiem geologicznym w Polsce, głównie na obszarze Niziny Polskiej. Wiadomości dotyczące budowlanej problematyki projektowej, wykonawczej i technologicznej stanowią treści przedmiotów realizowanych w ramach różnych specjalności na kierunku studiów budownictwo.

Autorzy bardzo dziękują Prof. dr hab. inż. Włodzimierzowi Kiernożyckiemu – Dziekanowi Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Szczecińskiej za życzliwość i sfinansowanie wydawnictwa. Wyrażamy wdzięczność Prof. dr hab. inż. Zygmuntowi

Meyerowi – Kierownikowi Katedry Geotechniki Politechniki Szczecińskiej za mobilizującą inspirację do napisania niniejszego opracowania, a Prof. dr. hab. inż. Ryszardowi Coufalowi za cenne uwagi merytoryczne w trakcie pisania książki. Specjalne podziękowania składamy Prof. dr. hab. Józefowi Wojtanowiczowi za twórczą krytykę oraz sugestie dotyczące treści książki. Za pomoc w opracowaniu graficznym dziękujemy Panu Bogusławowi Paprockiemu.

1. ZAGADNIENIA WPROWADZAJĄCE

Współczesne planowanie i projektowanie budownictwa lądowego i wodnego nie może obejść się bez rozpoznania właściwości geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych terenu przewidywanej zabudowy. Właściwości te bowiem określają zarówno wzajemne relacje między budowlą a środowiskiem geologicznym, jak i relacje między podłożem a budowlą, które to elementy stanowią system **konstrukcja – podłoże**. Dokładność rozpoznania dostosowana jest do stopnia szczegółowości etapu planowania budownictwa.

Na etapach początkowych potrzebne jest **rozpoznanie geologiczno-inżynierskie** na tyle szczegółowe, by można było oszacować w wielu aspektach dany teren jako dobry, dostateczny lub nieprzydatny na potrzeby konkretnego rodzaju budownictwa, ewentualnie by można było dokonać podziału danego terenu na części dobre, dostateczne lub nieprzydatne, a także by określić parametry procesów interakcji budowli ze środowiskiem geologicznym. Na etapach dalszych potrzebne jest **rozpoznanie geotechniczne** precyzujące parametry mechanicznych modeli poszczególnych składników podłoża i parametry procesów współpracy konstrukcji z podłożem oraz określające warunki bezpiecznej dla budowli a przyjaznej dla środowiska realizacji zadania budowlanego i eksploatacji obiektu. Wymienione dwie grupy zadań wyznaczają też z grubsza kompetencje geologii inżynierskiej i geotechniki, których metodyka projektowania i wykonywania została szczegółowo omówiona przez J. Bazińskiego, A. Dragowskiego, Z. Frankowskiego, R. Kaczyńskiego, S. Rybickiego, L. Wysokińskiego w „Zasadach sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich” wydanej przez Ministerstwo Środowiska w 1999 roku. Przedstawione są tam prace i roboty geologiczne oraz ich dokumentowanie, jak również szczegółowe przepisy prawne, odpowiednie normy i instrukcje, na podstawie których wykonywane są te opracowania.

Opracowania geologiczno-inżynierskie regulowane są przez przepisy „Prawa geologicznego i górniczego” (Dz.U., r 27, poz. 97, z dnia 04. 02. 1994) oraz związane z tym Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa jak również Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji (dawniej Budownictwa) i obligatoryjnie obowiązujące szczegółowe Normy Budowlane. Na opracowania geologiczno-inżynierskie składają się treści związane z pracami terenowymi, pracami geologiczno-górniczymi, kartowaniem geologiczno-inżynierskim, badaniami polowymi i laboratoryjnymi, badaniami hydrogeologicznymi, badaniami oddziaływania budowli na środowisko, pracami dokumentacyjnymi.

Opracowania geologiczno-inżynierskie składają się z części tekstowej i pliku map wykonywanych na szczegółowych podkładach geodezyjnych (łącznie z wykorzystaniem geodezji satelitarnej). Wymagają one wyjściowych informacji o cechach konstrukcyjno-budowlanych inwestycji i przeznaczeniu budowli. Realizowane są na kanwie podstawowej wiedzy z geologii, geomorfologii, hydrogeologii i innych nauk pokrewnych. Szczególnie ważne są tu wiadomości z gruntoznawstwa oraz wiedza o naturze procesów geodynamicznych (naturalnych i antropogenicznych).

Zakres prowadzonych badań i forma dokumentacji geologiczno-inżynierskiej uzależnione są od rodzaju budownictwa. Zależności te regulowane są przez odpowiednie rozporządzenia, instrukcje i wytyczne. Są one inne dla budownictwa powszechnego, inne dla budownictwa wodnego, budownictwa liniowego, wyrobisk górniczych, składowisk odpadów komunalnych i przemysłowo-wydobywczych itd. Charakter opracowań wynika również z cech właściwych danemu obszarowi w skali regionu geologicznego Polski oraz złożoności cech geologicznych terenu inwestycji. Złożoność ta wynika z charakteru rzeźby terenu, rodzaju i sposobu ułożenia warstw gruntowych w podłożu, występowania wody podziemnej i jej wpływu na podłoże budowli, czynnych i potencjalnych procesów geodynamicznych występujących na danym terenie, które wpływają na projektowanie, realizację i eksploatację obiektu budowlanego.

Wyniki badań geologiczno-inżynierskich dają odpowiedź nie tylko na wąsko pojętą problematykę nośności podłoża gruntowego, ale podają również prognozy oddziaływania prac budowlanych na środowisko i informacje o skutkach eksploatacji inwestycji na otoczenie.

Dokumentacje geologiczno-inżynierskie wykonywane są też w celu wyjaśnienia przyczyn awarii budowlanych związanych z przekształceniem pierwotnych komponentów środowiska geologicznego oraz w celu wskazania optymalnych sposobów likwidacji tych zmian w podłożu budowlanym.

Do potrzeb racjonalnego gospodarowania przestrzennego oraz uzyskania wstępnej informacji o cechach budowlanych terenu wydawane są przez Państwowy Instytut Geologiczny w różnych skalach mapy geologiczno-inżynierskie. Do szczegółowych map geologicznych Polski w skali 1:50 000 dołączane są „Szkice geologiczno-inżynierskie” w skali 1:100 000. Sporządzane są specjalne Mapy Geologiczno-Gospodarcze w skali 1:50 000. Dla większych miast oraz ośrodków przemysłowo-górniczych opracowywane są „Atlasy geologiczno-inżynierskie” w skalach większych niż 1:25 000.

Opracowania geologiczno-inżynierskie wykonywane przez przyrodników bardzo ściśle związane są z badaniami geotechnicznymi realizowanymi przez techników. Sprzężenie zwrotne między tymi opracowaniami jest zrozumiałe. Bez opracowań geologiczno-inżynierskich geotechnik nie może racjonalnie ocenić zmienności warunków budowlanych podłoża i przewidywać w nim rozwoju korzystnych lub niekorzystnych procesów geodynamicznych. Z kolei geolog nie potrafi przeprowadzić analiz bezpieczeństwa podłoża ze względu na stany graniczne, czy też opracować optymalnych technicznych sposobów poprawy podłoża gruntowego i technicznego zabezpieczenia lub likwidacji negatywnych procesów geodynamicznych.

Celem niniejszego opracowania skupiającego się na problematyce geologiczno-inżynierskiej jest:

- uświadomienie studentom budownictwa, architektury, inżynierii środowiska, jak istotna jest znajomość środowiska geologicznego przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych ingerujących w to środowisko,
- dostarczenie materiału pomocniczego do przybliżonego, lecz szybkiego rozwiązania zagadnienia budowlanego w aspekcie geologicznym (ocena warunków geologiczno-

inżynierskich, potrzeby ich poprawy, zakresu dodatkowego rozpoznania, porównawczej waloryzacji różnych terenów lub różnych rozwiązań zagadnień geotechnicznych).

W zależności od posiadanych danych i od specyfiki zadania budowlanego, niniejsze opracowanie może być wykorzystane w określony sposób i w odpowiednim zakresie. W każdym jednak wypadku zaleca się zaznajomienie z rozdziałami 2 – 6 po to, aby w sposób właściwy rozumieć terminologię w rozdziałach dalszych i aby zdać sobie sprawę z tego, jakie komponenty środowiska geologicznego i w jakim zakresie są uwzględnione w opracowaniach geologiczno-inżynierskich. Rozdziały te stanowią jednak przede wszystkim podstawowy blok wiadomości, na którym oparte są rozdziały późniejsze. Poszczególne rozdziały 3 – 6 poświęcone są kolejno każdemu z czterech najważniejszych dla budownictwa komponentów środowiska geologicznego: rzeźbie, gruntem, wodom podziemnym i procesom geodynamicznym.

Czytelnik powinien sobie też uświadomić, jakie elementy środowiska geologicznego nie uwzględnione w książce wymagać będą indywidualnego potraktowania i analizowania przy planowaniu, projektowaniu, wykonywaniu i użytkowaniu obiektu budowlanego. Zakłada się, że Czytelnik rozszerzać będzie swoją znajomość geologii inżynierskiej na podstawie nowych informacji zawartych w specjalistycznych podręcznikach i czasopismach naukowo-technicznych.

W rozdziałach 7 – 9 przedstawione są trzy ważne dla Polski strefy środowiska geologicznego – nizinowa, wyżynna i górська – każda z nich opisywana jest pod kątem wymienionych wyżej czterech komponentów środowiska geologiczno-inżynierskiego. Z powodu naturalnej sytuacji geograficznej Polski, gdzie dominują warunki nizinowe, rzeźba, grunty, wody podziemne i procesy geodynamiczne na Nizinie są przedstawione znacznie szczegółowiej aniżeli dla środowiska wyżynnego lub górskiego.

Rozdział 10 referuje bardzo pobieżnie całość stosowanych w geotechnice światowej technicznych środków poprawy najważniejszych dla budownictwa czterech komponentów środowiska geologicznego: rzeźby, gruntów, wody podziemnej, procesów geodynamicznych. Ilustrowany obfitym materiałem rysunkowym powinien dać inżynierowi szerokie możliwości wyboru określonej liczby wariantów geotechnicznej melioracji środowiska.

Rozdziały 11 – 13 poświęcone są badaniom geologiczno-inżynierskim: jakie są ich rodzaje i przeznaczenie, jak się powinno podchodzić do ich planowania i projektowania i co się otrzymuje w ich wyniku. Przedstawiono też w sposób skrótowy formy dokumentowania rezultatów badań geologiczno-inżynierskich, ze względu na charakter ich wykorzystania w problematyce budowlanej. Ta część książki powinna uprzytomnić Czytelnikowi, że schematyzacja opisu środowiska geologicznego, aczkolwiek konieczna i cenna, nie może nigdy być podstawą do ostatecznych wniosków i konkretnych decyzji dotyczących określonego wycinka środowiska geologiczno-inżynierskiego, o którym nie wiadomo bez szczegółowych badań terenowych i laboratoryjnych, w jakim stopniu odpowiada schematowi.

Rozdział 14 dostarcza materiału przydatnego do porównywania rozmaitych wariantów rozwiązania zagadnienia geologiczno-inżynierskiego. Z reguły bowiem inżynier dostrzeże w analizowanym przez siebie problemie budowlanym, w szczególności w problemie geotechnicznym, perspektywę konkurujących rozwiązań, które nie poddają się rozstrzygnięciu

samej intuicji inżynierskiej. Dlatego zaprezentowano tu nową, a bardzo silną z racji ogólności zastosowań nie tylko w geologii, metodę metryczną oceny wariantów rozwiązania problemu. Podany przykład konkurujących lokalizacji łatwo przenieść na zagadnienia nawet bardzo odległe.

W rozdziale 15 zasygnalizowano możliwe skutki oddziaływania budownictwa na niektóre komponenty środowiska (zmiana jego użytkowania, zmiana zasobów i jakości wody, zmiany topoklimatyczne) i odwrotnie – oddziaływania klimatu na budownictwo.

Końcowy rozdział 16 podnosi podstawowe problemy, jakie powinny ukierunkowywać działalność inżyniera budownictwa, aby ingerencja techniczna w środowisko przyrodnicze była przyjazna dla środowiska życia człowieka.

Po zapoznaniu się z treścią niniejszej książki czytelnik może rozszerzyć zakres swoich wiadomości w zależności od konkretnych potrzeb lub zainteresowań, studiując literaturę uzupełniającą, której spis podany został na końcu opracowania.

2. INŻYNIERSKA ANALIZA KOMPONENTÓW ŚRODOWISKA GEOLOGICZNEGO

Pod pojęciem **środowiska** pewnego systemu, rozumie się "zbiór wszystkich obiektów (także ich atrybutów i relacji między atrybutami), które nie zostały zaliczone do rozważanego systemu" (Encyklopedia PWN, 1997) lub za T. Bartkowskim (1981) zbiór czynników oddziałujących na podmiot środowiska. Podmiotami tymi mogą być organizmy żywe, w tym człowiek i wtedy mówi się o środowisku biotycznym. Podmiotem oddziaływania mogą być też obiekty nieożywione (środowisko abiotyczne) lub nawet procesy (środowisko procesów). Podmioty środowiska mogą być pojedyncze (elementarne, cząstkowe) lub też mogą tworzyć zbiory (kompleksy), które łączone są w populacje hierarchiczne. Można mówić o **środowisku geograficznym**, które rozumiane jest jako sfera wzajemnego przenikania się skał (litosfery), wód (hydrosfery), powietrza (atmosfery) oraz organizmów (biosfery). Sfera ta stanowi podstawę życia i działalności człowieka. Środowisko geograficzne pod działaniem czynników przyrodniczych oraz ludzi (czynnik antropogeniczny – antropopresja) ulega w czasie określonym przekształceniom.

Rozwijając sformułowania M. Książkiewicza (1979) można wyrazić pogląd, że **środowisko geologiczne** obejmuje całą skorupę ziemską wraz z oddziałującymi na nią czynnikami geologicznymi rozwijającymi się we wnętrzu Ziemi oraz czynnikami geologicznymi działającymi na jej powierzchni, pod wpływem atmosfery, hydrosfery, biosfery. Czynniki geologiczne są więc siłami powodującymi rozwój *procesów geologicznych*, czyli zjawisk (lub zespołu zjawisk) wywołujących na powierzchni skorupy ziemskiej lub w jej wnętrzu przekształcenia fizyczne lub chemiczne. Natomiast zjawisko geologiczne stanowi obserwowane przez człowieka fakty, które rejestrowane mogą być za pomocą dostępnych mu metod i środków.

Środowiskiem geologiczno-inżynierskim W. C. Kowalski (1988) nazywa tę część środowiska geologicznego, która poddawana jest technicznej działalności człowieka i ulega przekształceniom nie tylko w wyniku naturalnych procesów geologicznych, ale też przez świadomą lub nieprzemyślaną inżynierską działalność człowieka.

Środowisko geologiczno-inżynierskie w swej przestrzeni dzielone jest na mniejsze części. Podział na jednostki przestrzenne starano się dostosować do propozycji W. C. Kowalskiego (1988). Stosuje on następujący podział przestrzeni geologiczno-inżynierskiej:

- nadregiony – cechują się podobnym stylem budowy geologicznej,
- regiony – mają wspólny styl budowy geologicznej,
- nadrejon – cechują się podobnymi profilami geologicznymi,
- rejon – wykazują identyczność profili geologicznych,
- podrejon – charakteryzują się różnym nasyceniem wodą,
- obszary – wykazują odrębności oddziaływania zjawisk geologicznych,
- wycinki terenu – cechują się różnym urzeźbieniem.

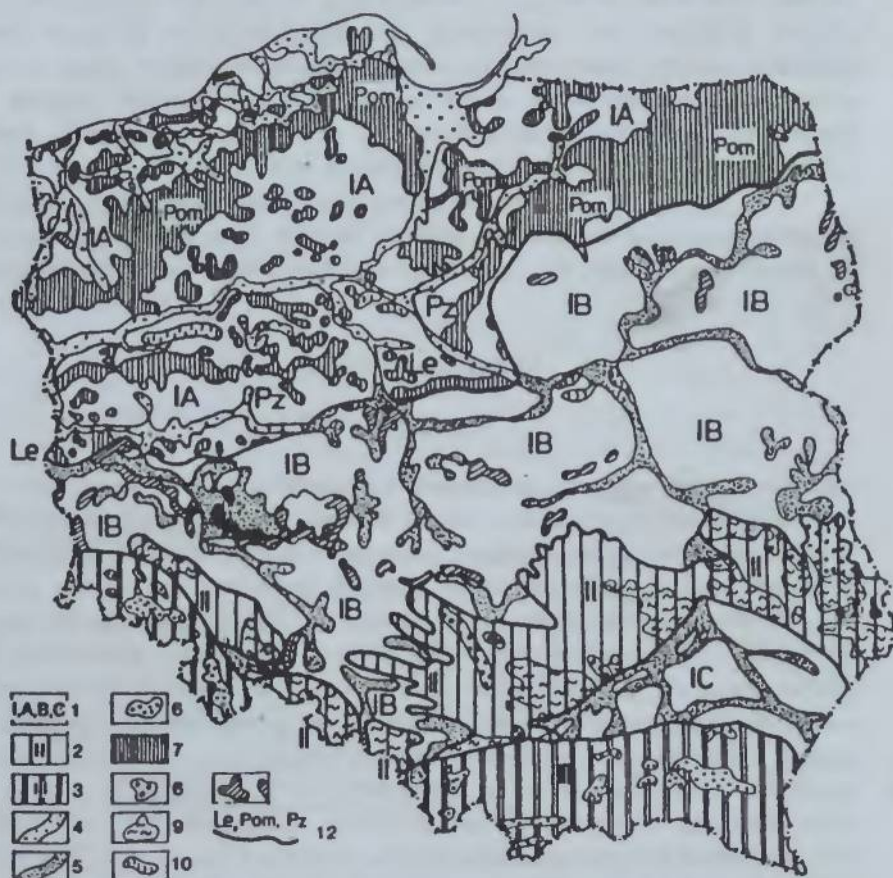
W książce ograniczono się do ogólnej charakterystyki jednostek zawartych w klasach od nadrejonów do wycinków terenu.

Zazwyczaj zakłada się, że dla jednostek geologiczno-inżynierskich wystarczy ocena czterech komponentów środowiska, a mianowicie: rzeźby terenu, gruntów, wód podziemnych, procesów geodynamicznych. Niekiedy dodaje się komponent piąty – możliwości melioracji geotechnicznej. Komponenty te mają różne cechy w podstawowych strefach geograficznych Polski czyli w strefie nizowej, wyżynnej i górskiej.

Granice stref przyjęto zgodnie z podziałem fizjograficznym Polski zastosowanym przez T. Bartkowskiego (rys. 2.1). Uznano, że dla celów ogólnoinżynierskich przedstawiony na mapie schemat w pełni adaptowany może być przy omawianiu zagadnień geologiczno-inżynierskich.

W opracowaniu skoncentrowano się głównie na zagadnieniach właściwych dla Nizy Polskiego. Wydzielone w tej strefie jednostki określono jako **obszary geologiczno-inżynierskie** stanowiące przypowierzchniowy wycinek przestrzeni skorupy ziemskiej charakteryzujący się z punktu widzenia geologiczno-inżynierskiego podobnymi cechami budowlanymi. Cechy tych obszarów zaprezentowano w rozdziale 7.

W opracowaniu tylko fragmentarycznie omówiona została problematyka geologiczno-inżynierska strefy wyżynnej i górskiej Polski, której szkic zaprezentowano w rozdziałach 8 i 9. Ważniejsze cechy geologiczno-inżynierskie tych stref przedstawiono w formie opisowej.



Rys. 2.1. Strefy warunków urbanizacji w Polsce (za T. Bartkowskim 1974 - uproszczone):
 1 - główne strefy warunków niżowych na obszarach: A - młodoglacjalnym, B - staroglacjalnym północnym, C - staroglacjalnym południowym; 2 - strefy warunków wyżynnych; 3 - strefa warunków górskich; 4 - formy wklęsłe pradoliny obszarów młodoglacjalnych; 5 - formy wklęsłe pradoliny obszarów staroglacjalnych; 6 - wielkie formy wklęsłe śródgórskie (kotliny); 7 - obszary o rzeźbie krasu powierzchniowego; 8 - obszary rzeźby krasu powierzchniowego; 9 - obszary rzeźby lessowej; 10 - obszary pagórków wydmy; 11 - obszary wielkich form wypukłych; 12 - strefy marginalne fazy leszczyńskiej (Le), poznańskiej (Pz) i pomorskiej (Pom) ostatniego zlodowacenia

3. BUDOWLANA CHARAKTERYSTYKA RZEŻBY

Charakter rzeźby w poważnym stopniu rzutuje na właściwości budowlane tak w skali makroregionu jak i mikroregionu. Przykładem oddziaływania w skali makroregionalnej są wysokości bezwzględne wpływające w sposób istotny na regionalne zróżnicowanie klimatu, co z kolei rzutuje na projektowaną głębokość posadowienia i na konstrukcję budowli. Wymienić tu można zagadnienia dotyczące głębokości przemarzania podłoża, obciążenia budowli śniegiem, dynamicznego oddziaływania wiatru. W obrębie czynników mikroregionalnych wpływających bezpośrednio na zaprojektowanie, wykonanie i eksploatację obiektu budowlanego przyjęto na Niżu Polskim następujące cechy rzeźby: typ genetyczny, typ morfometryczny oraz deniwelacje i spadki powierzchni terenu.

W przypadku terenów strefy wyżynnej i górskiej sygnalizuje się tylko przeglądowo typ morfometryczny oraz deniwelacje i nachylenie powierzchni. Na zagadnienia te zwraca się uwagę w rozdziałach 8 i 9.

3.1. Typ genetyczny rzeźby

3.1.1. Strefa niżowa

W strefie niżowej cecha ta informuje o pochodzeniu i rodzaju formy powierzchni terenu. Wyróżniono tu trzy zasadnicze typy rzeźby terenu: wysoczyzny, równiny i doliny.

Wysoczyzny. Są to formy terenu zbudowane z osadów plejstoceniowych, wznoszących się w sposób wyraźny nad obniżeniami dolinnymi, od których odgraniczone są wyraźnymi krawędziami lub stromymi stokami. Ze względu na ich genezę można mówić o wysoczyznach pochodzenia lodowcowego (glacialnych) i rzeczniolodowcowego. Wysoczyzny lodowcowe powstały w wyniku bezpośredniej akumulacji lodowcowej. Są to wysoczyzny moreny czołowej i moreny dennej lub wysoczyzny obszarów zaburzonych glacialnie. Te ostatnie utworzone zostały w wyniku statycznego i dynamicznego nacisku lodolodu na podłoże, po którym się on przemieszczał. Do wysoczyzn rzeczniolodowcowych (fluwioglacjalnych = glacialfluwalnych) zalicza się obszary kemowe i sandrowe, które powstały w efekcie akumulacji materiału mineralnego przez płynące wody między bryłami rozpadającego się lodolodu lub wody wypływające na zewnątrz czoła lodolodu. W obrębie wysoczyzn wyodrębniać się mogą w sposób wyraźny pojedyncze formy innego pochodzenia. Na przykład, w obrębie wysoczyzny moreny dennej znajdować się mogą pojedyncze formy kemowe (lub ozy) czy też równiny torfowo-bagiennie, a w obrębie wysoczyzn sandrowych formy wydymowe.

Równiny. Są to płaskie, zwykle poziome formy terenu, pod względem wzniesienia nad poziom morza układające się niżej od wysoczyzn. Na Niżu Polskim występują rozległe terasy jeziornolodowcowe (limnoglacialne = glaciallimniczne), które określa się jako równiny zastoiskowe (równiny limnoglacialne). Równiny stanowiły dna jeziorzysk znajdujących się na przedpolu lodolodu. Równiny te są niekiedy tak rozległe, że traktuje się je jako odrębne obszary geologiczno-inżynierskie.



terasy rzeczniolodowcowe (kempowe lub sandrowe)

Doliny. Są to wklęsłe formy terenu wcięte w wysoczyzny plejstocenijskie lub równiny. W niniejszym opracowaniu za doliny przyjęto jedynie obszary dużych form. Małe doliny – suche lub z ciekami w dnie wyłączono z rozważań. Tak więc do obszarów dolinnych zaliczono typowe doliny rzeczne z wyraźnie wykształconym płaskim dnem, a także pradoliny, doliny marginalne – stanowiące obniżenia, którymi odprowadzane były wody wzdłuż krawędzi lądolodu. Przy przejściu w obszar wysoczyzn, zbocza dolin mają zazwyczaj wyraźnie zaznaczone terasy rzeczniolodowcowe (sandrowe lub kempowe). Zasadniczym elementem dolin rzecznych są obszary teras nadzalewowych będące dawnymi akumulacyjnymi poziomami den rzecznych, które obecnie znajdują się kilka lub kilkanaście metrów powyżej współczesnego dna doliny. Właściwe dna doliny stanowią obszary teras zalewowych będących terenami współcześnie zalewanymi przez wody powodziowe.

W obrębie wysoczyzn lub dolin znajdować się mogą większe tereny zajęte przez formy odbiegające swym pochodzeniem od zasadniczego typu genetycznego rzeźby. I tak występować mogą obszary równin bagiennie-torfowych, czy też rozległe obszary pól wydmych. W opracowaniu formy te potraktowano jako obszary innej morfogenetycznej.

Przyjęto, że na Nizie Polskiej typ genetyczny rzeźby stanowi podstawę wydzielenia odrębnych jakościowo obszarów geologiczno-inżynierskich. Wyodrębniono następujące obszary: wysoczyzny moreny czołowej, wysoczyzny moreny dennej, wysoczyzny zaburzone glacitektonicznie, wysoczyzny kempowe, wysoczyzny sandrowe, równiny zastoiskowe, terasy nadzalewowe, terasy zalewowe, pola wydmy, równiny bagiennie-torfowe.

3.1.2. Strefa wyżynna

Polska strefa wyżynna z punktu widzenia geomorfologicznego identyfikowana jest z regionem o rzeźbie z deniwelacjami w strefie krawędziowej i dolinnej 50 – 100 m. Odmienny wiek i charakter podłoża gruntowego oraz inne procesy geodynamiczne powodują, że w strefie wyżynnej Polski w sposób zasadniczy rzeźba różni się od typowej dla strefy niżowej. Dominują tu rozległe wzniesienia położone na wysokościach rzędu 180 – 300 m n.p.m. (a czasem i wyżej), które zbudowane są z gruntów skalistych. W odróżnieniu od wysoczyzn strefy niżowej, te formy wypukłe na wyżynach określane są jako wyniesienia. Wyraźnie wyodrębniające się stoki wyniesień łączą je z otaczającymi dolinami i kotlinami. Lokalnie występować może pasmowy układ wyniesień charakterystyczny w zasadzie tylko dla strefy górskiej. Taki typ rzeźby spotykany jest w regionie świętokrzyskim oraz częściowo na Roztoczu.

3.1.3. Strefa górska

Strefa górska wyróżnia się od omówionych poprzednio stref znacznymi wysokościami bezwzględными, znacznymi deniwelacjami oraz dużymi nachyleniami powierzchni terenu. Strefa ta uformowana została w wyniku złożonych procesów górotwórczych (orogenicznych), które spowodowały silne zdeformowanie potężnego kompleksu mas skalnych oraz wypiętrzenie górotworu. Późniejsze zróżnicowane regionalnie tektoniczne ruchy pionowe spowodowały wyniesienie jednych części górotworu i obniżenie drugich. Uformowane

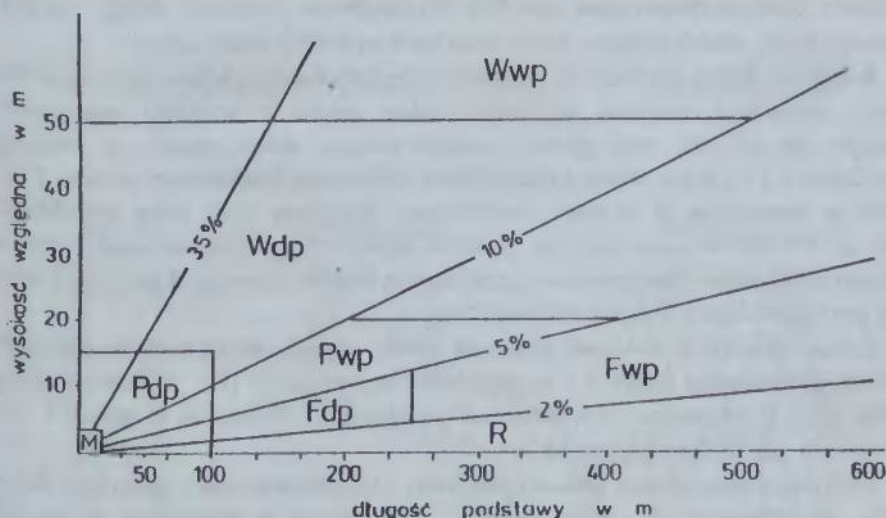
denudacja - ogół procesów prowadzących do
 permianu. Nymogu stałowego pier sił
 grawitacji i jakim jest związanie powierzchni
 ziemi. "kropka drogi kamieni"

zostały systemy pasem górskich, kotlin oraz szerokich dolin. Silne zróżnicowanie lokalnych
 baz erozyjnych wywołało energiczne procesy erozji wgłębnej i uformowanie głębokich dolin.
 W wyniku intensywnego procesu denudacji następowało niszczenie stoków i zboczy. Obecny
 charakter ich profili uzależniony jest od intensywności i cykliczności pionowych ruchów
 tektonicznych oraz odporności i układu zdeformowanych kompleksów skalnych budujących
 poszczególne pasma górskie.

3.2. Typy morfometryczne rzeźby

Cecha ta informuje o ogólnym charakterze rzeźby na danym terenie morfogenetycznym.
 Poniżej skoncentrowano się tylko na morfometrycznej ocenie rzeźby terenów strefy niżowej.
 Cechy morfometryczne rzeźby strefy wyżynnej i górskiej podane zostały tylko w sposób
 opisowy w rozdziale 8 i 9.

Dla strefy niżowej odrębnie przedstawiono cechy wysoczyzn i dolin. Typologię
 odnoszącą się do wysoczyzn przyjęto wg A. Basalykasa (za L. Kozackim et al. 1970). Opiera
 się ona na wysokościach względnych form rzeźby terenu, spadkach powierzchni terenu oraz
 długości podstawy elementu danej formy. W uproszczeniu można wydzielić rzeźbę o typie
 równinny, falistym, pagórkowatym i wzgórzowym (rys. 3.1).



Rys. 3.1. Cechy morfometryczne obszarów wysoczyznowych wg A. Basalykasa (za L. Kozackim et al. (1970)). W procentach podane jest nachylenie powierzchni terenu: M - mikrorzeźba nierozpatrywana, R - równina; Rzeźba: Fdp - falista drobnopromienna, Fwp - falista wielkopromienna, Pdp - pagórkowata drobnopromienna, Pwp - pagórkowata wielkopromienna, Wdp - wzgórz drobnopromiennych, Wwp - wzgórz wielkopromiennych, □ - pola nie opisane nie są typowe dla obszarów wysoczyznowych

Typ równinny charakteryzuje się wysokościami względnymi mniejszymi od 2 m i nachyleniem powierzchni poniżej 2%. **Typ falisty** obejmuje tereny, na których wysokości względne dochodzą do 25 m, a spadki powierzchni terenu są mniejsze od 5%. **Typ pagórkowaty** zajmuje teren mający wysokości względne dochodzące do 20 m, a nachylenie powierzchni najczęściej do 35%, podstawa poszczególnych form jest zazwyczaj większa od 100 m. **Typ wzgórzowy** charakteryzuje się wysokościami względnymi mogącymi przekraczać nawet 50 m, spadki powierzchni terenu mieszczą się zazwyczaj w przedziale 10 – 35%, a podstawa poszczególnych form jest większa od kilkuset metrów.

Należy zwrócić uwagę, że podane powyżej poszczególne charakterystyki ilościowe klasyfikacji uzasadnić można:

- wzrostem człowieka (w liczbach całkowitych 2 m),
- rozróżnialnym wzrokowo minimalnym nachyleniem (2%),
- zróżnicowaniem wysiłku przy pokonywaniu spadków powierzchni terenu przez człowieka ciągnącego wózek (do 5%), konia w zaprzęgu (do 10%), piechura z plecakiem (do 35%),
- wysokości względne 20 (25) m i 50 m są zwyczajowymi określeniami deniwelacji rzeźby takiego terenu, który nazywa się pagórkami lub wzgórzem.

W przypadku **dolin** rozpatrzono odrębnie cztery cechy, podając dla nich w sposób jakościowy dane morfometryczne (rys. 3.2). Uwzględniono szerokość doliny, wskaźnik głębokości doliny, spadek podłużny doliny, charakter koryta cieków w dnie doliny.

Szerokość doliny określano na podstawie odległości między górnymi jej krawędziami. Przyjęto następującą typologię szerokości: *doliny wąskie* o przekroju poprzecznym mniejszym od 0,5 km, przy górnej krawędzi wcięcia; *doliny szerokie* o przekroju poprzecznym 0,5 – 2,0 km; *doliny bardzo szerokie* o przekroju poprzecznym powyżej 2 km. Granice te uzasadnione są łatwością organizowania przeprawy przez rzekę, wypełniającą dolinę do 0,5 km w czasie powodzi (łączność akustyczna i wzrokowa między dwoma brzegami) oraz trudnościami przeprawy i praktycznym brakiem łączności akustycznej i wzrokowej przy zalaniu doliny o szerokości ponad 2 km.

Z kolei rozpatrzono **wskaźnik głębokość doliny**, opierając się na stosunku szerokości przekroju poprzecznego doliny (L) do głębokości tego przekroju (H). Wydzielono *doliny głębokie*, gdy L:H jest mniejsze od 5; *doliny dość głębokie*, gdy L:H mieści się w zakresie 5 – 20; *doliny płytkie*, gdy L:H jest większe od 20.

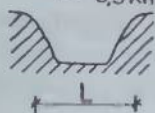
Dalej rozpatrzono spadek podłużny dna doliny. Wyodrębniono dna o nachyleniu *dużym* > 0,5‰, *umiarkowanym* 0,5 – 0,2‰, *małym* < 0,2‰. Granice te uzasadnione są dla rzek przeciętnej wielkości w Europie, charakteryzujących się wyraźnym występowaniem nurtu wody (prądu wody), gdy spadek przekracza 0,5‰ i słabością nurtu, gdy spadek dna doliny jest mniejszy od 0,2‰.

W dnie doliny rozróżniono **charakter koryta cieków** płynącego w jej dnie. Wydzielono tu dna dolin z *korytami prostymi*; dolinami z *korytami meandrującymi* (zakolowymi) oraz *doliny z korytami roztokowymi*, gdy ciek rozdziela się na szereg koryt oddzielonych od siebie łachami śródkorytowymi.

SZEROKOŚĆ DOLIN

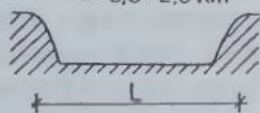
wężkie

$L < 0,5 \text{ km}$



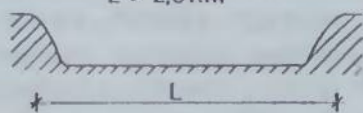
szerokie

$L = 0,5 - 2,0 \text{ km}$



bardzo szerokie

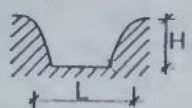
$L > 2,0 \text{ km}$



GŁĘBOKOŚĆ DOLIN

głębokie

$L/H < 5$



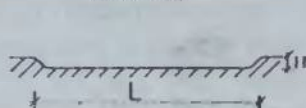
dość głębokie

$L/H = 5 - 20$



płytke

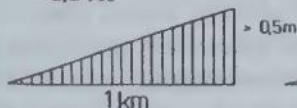
$L/H > 20$



SPADEK PODŁUŻNY DŃ DOLINY

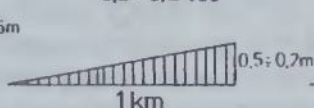
duży

$> 0,5\text{‰}$



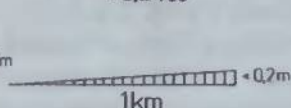
umiarkowany

$0,5 - 0,2\text{‰}$



mały

$< 0,2\text{‰}$

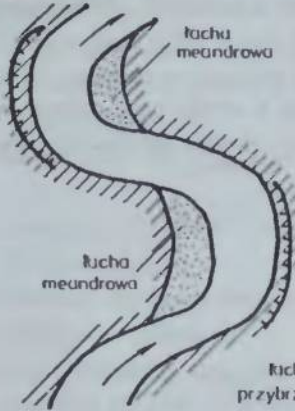


CHARAKTER KORYTA

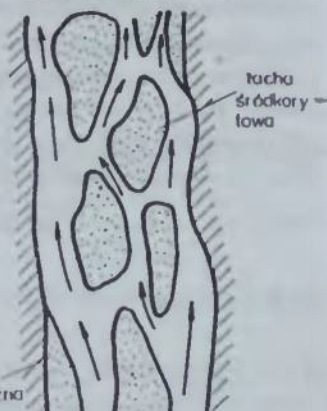
prosty



meandrujący



rozłokowy



Rys. 3.2. Cechy morfometryczne obszarów dolinnych

3.3. Deniwelacje i spadki powierzchni terenu

Deniwelacje (wysokości względne) informują o różnicy wysokości bezpośrednio na terenie planowanych robót inżynierskich. Deniwelacje pogrupowano w szereg klas. W niniejszym opracowaniu przyjęto następujące przedziały klas deniwelacji przypadające na 0,01 km² (1 ha): < 0,5 m; 0,5 – 1,0 m; 1,0 – 2,0 m; 2,0 – 5,0 m; 5,0 – 10 m; > 10 m. Granice te są przykładem intuicyjnego stosowania zasady podziału logarytmicznego. Wyodrębnione klasy informują o możliwości stosowania różnego sprzętu technicznego przy wyrównywaniu terenu, sposobie racjonalnego rozplanowania rozwiązań inżynierskich i właściwego zaprojektowania poszczególnych zadań technicznych (place składowe, budynki, trasy rurociągów wodociągowo-kanalizacyjnych).

Spadki powierzchni terenu wyrażone w procentach informują o nachyleniu powierzchni bezpośrednio na terenie planowanych prac inżynierskich. Spadki określa się z reguły w pewnych przedziałach wielkości. W opracowaniu przyjęto następujące wartości graniczne klas: 2%, 5%, 10%, 20%. Rozszerzając je dla strefy wyżynnej i górskiej o wielkości 20%, 30%, 40%. Granice te uzasadnione są trudnościami transportu na budowie, usytuowaniem obiektów budowlanych oraz możliwością wystąpienia procesów geodynamicznych. Gdy nachylenie powierzchni jest 2 – 5%, człowiek nie może przez dłuższy czas pchać tacek lub japońskich z betonem, piaskiem itp. Przy nachyleniu 5 – 10% trzeba profilować jezdnie i drogi dojazdowe, aby miały mniejszy spadek podłużny. Istnieją także trudności z budową obiektów usytuowanych równolegle do spadku powierzchni terenu. Przy nachyleniu 10 – 20% zawodzi transport kołowy, istnieją poważne trudności z kompleksowym rozplanowaniem lokalizacji i wykonaniem długich budynków, jak również dużych i ciężkich obiektów przemysłowych. Spadki powierzchni terenu w poważnym stopniu rzutują też na optymalne przeprowadzenie sieci wodociągowo-kanalizacyjnej oraz projektowanie szeroko pojętej melioracji miejskiej. Przy nachyleniach powyżej 20% obok zasygnalizowanych problemów inżynierskich dochodzi konieczność odpowiedniego trasowania dróg kołowych oraz zabezpieczenia powierzchni terenu przed rozmywaniem jej wodami opadowymi oraz pochodzącymi z rozmarzającego podłoża gruntowego. Na stromych stokach (o nachyleniu > 40%) grunty przemieszczają się w wyniku powierzchniowych ruchów masowych (spływy lub osuwiska). Wietrzejące grunty skaliste grawitacyjnie staczają się jako „lawiny kamieniste” lub jako obrywy gruzowe.

grunt bud

grunty nad

- gr. nadzw. me

- masypone

autnospemine

- masypone

4. CHARAKTERYSTYKA GRUNTÓW BUDOWLANYCH

4.1. Klasyfikacja gruntów

Grunt budowlany to zewnętrzna część skorupy ziemskiej stanowiąca sferę oddziaływania technicznego człowieka, która współdziała z budowlą, może stanowić integralny jej element lub jest tworzywem budowy ziemnej.

Wydziela się grunty naturalne, których szkielet powstał w wyniku procesów przyrodniczych oraz grunty antropogeniczne, które utworzone zostały w efekcie bytowej, gospodarczej i przemysłowej działalności człowieka. Grunty naturalne zalegające na miejscu swego powstania określane są jako grunty rodzime, są to grunty skaliste, nieskaliste mineralne, nieskaliste organiczne. Jeżeli podłoże budowlane utworzone zostało przez człowieka z gruntów naturalnych lub antropogenicznych określane jest jako grunt nasypowy.

Na jakość budowlaną podłoża gruntowego wpływa szereg czynników. Część z nich ma naturę ogólnogeologiczną (np. geneza, wiek gruntów, przestrzenne ułożenie warstw gruntowych), inne zależą od litologicznego charakteru gruntu (rodzaj gruntu, jego twardość, spękanie czy też skonsolidowanie i konsystencja). Kompleksowa ocena tych cech wyrażona może być za pomocą wskaźnika, jakim jest nośność podłoża (gruntu), czyli obciążenie jakie może przenosić w sposób bezpieczny dla budowli i podłoża dany grunt. Należy tu jednak zwrócić uwagę, że charakter podłoża gruntowego ulega poważnym zmianom w czasie. Dlatego też nie można w sposób bezkrytyczny opierać się tylko na samej nośności podłoża wyliczonej dla danej konstrukcji, ale przewidywać należy oddziaływanie na ten wskaźnik innych cech podłoża w zmienionych warunkach środowiskowych.

Uproszczoną klasyfikację budowlaną gruntów wg polskiej normy PN-86/B-02480 zestawiono w tabeli 4.1. Klasyfikacja ta oparta jest na kryteriach fizycznych i mechanicznych właściwości gruntów, wykorzystuje w dalszym podziale: uziarnienie, skład mineralny, zawartość szczątków roślinnych oraz genezę gruntów. Wyróżnia się tu grunty rodzime i nasypowe. W skład gruntów rodzimych wchodzi:

- grunty skaliste, do których zaliczane są skały magmowe, metamorficzne i zdiagenezowane skały osadowe;

- grunty nieskaliste mineralne, obejmujące rozkruszone i osadzone w sposób naturalny produkty wietrzenia gruntów skalistych;

- grunty nieskaliste organiczne, są to powstałe w sposób naturalny utwory, które zawierają powyżej 2% części organicznych (roślinnych).

Wśród gruntów nasypowych wydziela się: nasypy budowlane, uformowane w sposób celowy i kontrolowany przez człowieka dla dalszych jego działań technicznych, oraz nasypy niebudowlane utworzone przez człowieka w sposób niekontrolowany.

Tabela 4.1. Orientacyjny podział gruntów budowlanych (według normy PN-86/B-02480)

A. GRUNTY RODZIME			Uwagi
GRUNTY SKALISTE	skaliste twarde		dalszy podział na podstawie spękania i relacji z wodą
	skaliste miękkie		
GRUNTY NIESKALISTE MINERALNE	kamieniste		
	gruboziarniste		
	drobnoziarniste	niespoiste (sympkie) $I_p < 1\%$	dalszy podział według uziarnienia, stopnia zagęszczenia i stopnia wilgotności
		spoiste mało spoiste $1\% < I_p < 10\%$ średnio spoiste $10\% < I_p < 20\%$ zwięzłe spoiste $20\% < I_p < 30\%$ bardzo spoiste $30\% < I_p$	dalszy podział według uziarnienia, stopnia plastyczności, konsolidacji, aktywności
GRUNTY NIESKALISTE ORGANICZNE	grunt próchniczny		
	namul		
	torf		
	gytia		
B. GRUNTY NASYPOWE			
Nasypy budowlane			dalsze rozróżnienie jest według pochodzenia nasypów i rodzaju materiału nasypowego
Nasypy niebudowlane			

* I_p – wskaźnik plastyczności, czyli różnica między granicą płynności i granicą plastyczności; w przybliżeniu określa zawartość frakcji ilowej (cząstki $< 0,002$ mm).

4.2. Grunty skaliste

W wyniku złożonych **zjawisk tektonicznych**, czyli procesów powodujących deformacje pierwotnego układu warstw skalnych, następuje zakłócenie ich wyjściowego układu. Szczególnie silnie proces ten zachodził w czasie **ruchów górotwórczych (orogenicznych)**. Zaburzenia w układzie warstw, czyli dyslokacje tektoniczne mogą mieć charakter **deformacji ciągłych** (*falchy, antyklinoria, synklinoria*). Są też **deformacje nieciągłe** czyli *uskoki, rowy tektoniczne, zręby*. Nieciągłe deformacje tektoniczne charakterystyczne są dla starszych gór, które określane są jako **masywy**. Warstwy skalne mogą też mieć bardzo

złożony układ warstw typu plaszczowin. Są to ogromne masy skalne przesunięte na wiele kilometrów ze swego pierwotnego miejsca zalegania. Nakładające się na siebie obalone fałdy bywają poprzecinane szeregiem uskoków i nasunięć. Plaszczowinowe deformacje warstw skalnych są charakterystyczne dla młodych pasm górskich (rys. 4.1).

Na obszarach o zaburzonym tektonicznie układzie warstw poważnemu obniżeniu ulega jakość podłoża budowlanego. Następuje bowiem w przestrzeni zakłócenie układu warstw skalnych i silne ich wewnętrzne splekanie. Powoduje to, że w obrębie tak zdeformowanego podłoża gruntowego nie można przyjmować jednakowych rozkładów naprężeń. Zagadnienie to jest szczególnie ważne w przypadku budownictwa hydrotechnicznego w strefie wyzynnej i górskiej.

Skąły ze względu na genezę dzieli się na magmowe, osadowe i metamorficzne. Często skały magmaowe i metamorficzne określa się jako skały krystaliczne.

4.2.1. Skały magmowe

Skały magmowe powstały w wyniku krzepnięcia stopu glinokrzemianowego (magmy). Krzepnięcie to zachodziło powoli na znacznej głębokości pod powierzchnią Ziemi. Powstawały wtedy magmaowe skały głębinowe o wyraźnych dużych minerałach (np. granity, sienity, dioryty, gabra). Magma mogła też krystalizować blisko powierzchni Ziemi lub na jej powierzchni. Gwałtowne obniżenie temperatury nie sprzyjało pełnej krystalizacji minerałów, tak że są one w skałe słabo widoczne gołym okiem lub niewidoczne. Skały te nazywane są magmaowymi skałami wylewymi. Przykładem ich są ryolit, trachit, andezyt, bazalt, melafir.

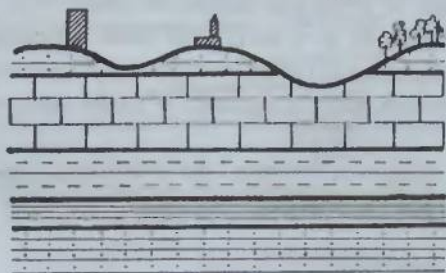
W podłożu skały magmowe występują w postaci intruzji, czyli nieforemnych ciał geologicznych znajdujących się w odmiennych genetycznie i wiekowo kompleksach skalnych. Mogą to być olbrzymie kopuły czyli batolity. Intruzje te mogą mieć też charakter żył, soczewek, czy też są to lakolity o formach „grzybów” lub loppolity mające formy „lejków”.

Podłoże zbudowane ze skał magmowych przenosić może duże obciążenia. Pewnym mankamentem jest splekanie tych skał, bowiem w trakcie krystalizacji płynna masa magmowa zmniejsza swoją objętość.

4.2.2. Skały osadowe

Skały osadowe powstały na powierzchni Ziemi w wyniku mechanicznego i chemicznego rozdrabniania istniejących już skał, a dalej transportu i osadzania składników mineralnych w zbiornikach sedymencyjnych. Są to skały okruczowo-łłaste (zwiry, piaski, pyły, ility). Oddzielne okruczki i cząstki w wyniku diagenezy, czyli procesu komprymacji i zlepiania, przechodzą w skały spojone lepszczem (zlepierce, brekcje, piaskowce, mułowce, iłowce, łupki ılłaste, ıłołupki). W zbiornikach wodnych formowały się skały osadowe biochemiczne. Powstawały one ze szkielecików obumarłych organizmów i wytrącania się z wody różnych substancji chemicznych (wapienie, kreda, opoka, gezy, węgle). W niektórych zbiornikach z wodnych roztworów rzeczywistych wytrącały się związki chemiczne tworzące skały osadowe chemiczne (dolomity, wapienie, anhydryty, gipsy, sole chlorkowe).

układ płytowy ①



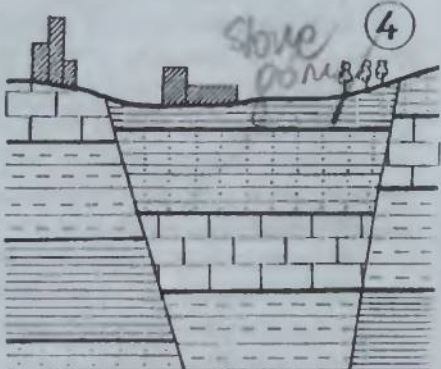
monoklinowy ②



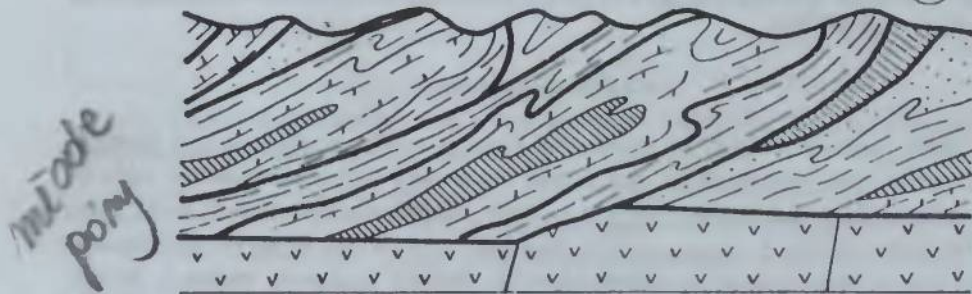
③



④



⑤



Rys. 4.1. Podstawowe układy warstw skalnych: 1 – układ płytowy, 2 – układ monoklinalny, 3 – układ faldowy, 4 – układ uskokowy, 5 – układ płaszczowinowy

układ płytowy — poziomy układ warstw
 monoklinalny — układ warstw pod pewnym kątem

Skały osadowe tworzą najczęściej układy warstwowe, przy czym im warstwa starsza, tym głębiej leży pod powierzchnią terenu. Taki poziomy układ warstw nazywany jest płytowym, jeżeli zapadają pod pewnym kątem, jest to układ monoklinalny. Gdy układ warstw jest wklęsły, mówi się o strukturach nieckowych. W przypadku gdy warstwy skalne mają układ wypukły, określane są jako wały.

4.2.3. Skały metamorficzne

Skały te powstają z istniejących już skał, w przypadku gdy pod powierzchnią ziemi oddziałuje na nie podwyższone ciśnienie i temperatura oraz dochodzą obce substancje chemiczne. Charakterystycznymi skałami przeobrażonymi są gnejsy, łupki krystaliczne, kwarcyty, marmury. Specyficznymi skałami płytkiego metamorfizmu są zielenice będące przeobrażeniami kompleksami starszych skał osadowych.

4.2.4. Grunty skaliste w Polsce

W Polsce grunty skaliste powstały w dawnych dziejach geologicznych, a obecnie na powierzchni występują głównie w strefie górskiej i wyżynnej. Uprozczone zestawienie występowania gruntów skalistych w podłożu budowlanym na tle stratygrafii, która informuje o wieku i następstwie warstw skalnych zamieszczono w tab. 4.2.

Tabela 4.2. Wiek i rozprzestrzenienie gruntów skalistych w podłożu budowlanym Polski

Era	Okres i czas trwania w mln. lat p.n.e.	Rodzaj skał i miejsce ich powierzchniowego występowania	Ważniejsze wydarzenia geologiczne
1	2	3	4
KENOZOICZNA	Czwartorzęd (Q) < 1,8	Brak gruntów skalistych	Patrz tabela 4.4.
	Trzeciorzęd (Tr) 1,8 – 65	Wyżyny: piaskowce, wapienie, gipsy. Sudety: bazalty. Karpaty: skały fliszowe (piaskowce, łupki ilaste), wapienie, andezyty.	Patrz tabela 4.4.
MEZOZOICZNA	Kreda (K) 65 – 142	Niż (lokalnie) i wyżyny: wapienie, margle, kreda, opoki, mułowce. Sudety: zlepieńce, piaskowce, iłowce, mułowce. Karpaty: piaskowce, łupki margle, wapienie.	Po początkowym, krótkim czasie lądowym następuje wielki zalew morski obejmujący prawie całą Polskę. W efekcie górotwórczych ruchów alpejskich następuje wypiętrzenie Tatr i Pienin.

Tabela 4.2. c.d.

	2	3	4
MEZOZOICZNA	Jura (J) 142 – 206	Niż (lokalnie), wyżyny, G. Świętokrzyskie: piaskowce, mułowce, wapienie, margle. Karpaty (Tatry, Pieniny): piaskowce, łupki, margle, wapienie.	Zaznacza się wielki zalew morski obejmujący prawie całą Polskę. W wyniku górotwórczych ruchów kimeryjskich (staroalpejskich) formuje się wał na osi Kielce-Wolin (tzw. wał środkowopolski). Na obszarze tym stosunkowo płytko pod powierzchnią terenu występują grunty skaliste. Na zachód od wału utworzyła się niecka szczecińsko-lódzko-miechowska.
	Trias (T) 206 – 248	Wyżyny (lokalnie): zlepieńce, piaskowce, mułowce, ilowce, wapienie, dolomity. Karpaty (Tatry): piaskowce, łupki, wapienie, dolomity; Sudety: zlepieńce, piaskowce, łupki, wapienie.	Początkowo okres jest lądowy, później następuje zalew morski. Tworzą się dolomity kruszczońskie.
PALEOZOICZNA	Perm (P) 206 – 290	Wyżyny (lokalnie): zlepieńce, piaskowce, porfiry, melaufiry. G. Świętokrzyskie: zlepieńce, piaskowce, łupki, wapienie, dolomity. Sudety: zlepieńce piaskowce, ilowce, łupki, wapienie.	Jest to schyłkowa część górotwórczości hercyńskiej. Towarzyszy temu silny wulkanizm lądowy (ryolity, melaufiry). Perm jest okresem lądowym. W wysychających w gorącym klimacie zbiornikach wodnych tworzą się złoża soli i gipsu. Formują się osadowe złoża miedzi. W osadach permskich występują lokalnie na Niżu niewielkie złoża ropy naftowej i gazu ziemnego.
	Karbon (C) 290 – 354	Wyżyny (lokalnie): zlepieńce, piaskowce, łupki, margle. G. Świętokrzyskie: łupki, wapienie. Sudety: zlepieńce, piaskowce, łupki, granity, sjenity, melaufiry.	W początkowej części okresu dominują warunki lądowe. W ciepłym i wilgotnym klimacie tworzą się złoża węgla kamiennego. Górotwórcze ruchy hercyńskie (waryscyjskie) powodują wydźwiganie G. Świętokrzyskich i Sudetów. W Sudetach procesowi temu towarzyszą zjawiska plutoniczne (intruzje granitowe) i wulkaniczne.
	Dewon (D) 354 – 417	G. Świętokrzyskie: zlepieńce, łupki, wapienie, dolomity. Sudety: zlepieńce, łupki, wapienie, kwarcyty, gabra.	Początkowa część okresu jest lądowa, po czym następuje wielki zalew morski. Zaznacza się końcowa faza górotwórczości kaledońskiej. Wypiętrzeniu podlegają G. Świętokrzyskie i Sudety.

Tabela 4.2. c.d.

	2	3	4
PALEOZOICZNA	Sylur (S) 417 – 443	G. Świętokrzyskie: zlepienie, piaskowce, łupki. Sudety: łupki, kwarcyty, zieleńce, gabra.	W początkowej części okresu fałdowaniu ulegają Góry Świętokrzyskie. Następuje zalew morski. W końcowej części okresu wypiętrzeniu ulegają Sudety. Towarzyszą temu intruzje magmowe.
	Ordowik (O) 443 – 495	G. Świętokrzyskie: piaskowce kwarcytowe, łupki. Sudety: wapienie, łupki, kwarcyty, zieleńce	Okres przeważnie morski. Pod jego koniec następuje sfałdowanie i wydźwignięcie Sudetów.
	Kambr (Cm) 495 – 545	G. Świętokrzyskie: piaskowce kwarcytowe, łupki. Sudety: łupki ilaste, łupki krystaliczne, wapienie	Wielki zalew morski. Początek górotwórczych ruchów kaledońskich zaznaczający się w G. Świętokrzyskich
PREKAMBR	przed 545	G. Świętokrzyskie (lokalnie): łupki ilaste i słabo zmetamorfizowane łupki krystaliczne; Sudety: gnejsy, amfibolity, granulity, łupki krystaliczne, kwarcyty, granity, gabra	Silne ruchy górotwórcze. Zjawiska intruzji magmowych oraz silny metamorfizm. Formuje się sztywna skorupa ziemską.

Dla Sudetów charakterystyczne są skały metamorficzne oraz głębinowe i wylewne skały magmowe. Ponadto występują zlepienie piaskowce, mułowce, wapienie. W polskich Tatrach skały magmowe i metamorficzne zajmują stosunkowo mało miejsca, dominują tu skały wapienne. Dla pozostałej części Karpat charakterystyczne są skały fliszowe, stanowiące niższe kompleksy wzajemnie przewarstwiających się piaskowców i łupków ilastych. W mniejszym stopniu występują tu wapienie i lokalnie wylewne skały magmowe. W Górach Świętokrzyskich decydujące znaczenie mają skały osadowe (piaskowce, łupki, zlepienie, wapienie). Cała strefa wyżynna Polski zbudowana jest głównie z różnowiekowych skał węglanowych (wapienie, margle, kreda, węglanowe opoki) o zmiennych właściwościach fizyczno-mechanicznych. Na terenie Wyżyny Śląskiej spotykane są też zdiagenezowane skały okrzemkowo-ilaste (piaskowce, łupki). Na Wyżynie Krakowskiej w wielu miejscach występują wylewne skały magmowe. W Niece Nidziańskiej na powierzchni występują gipsy. W północnej części kraju grunty skaliste blisko powierzchni występują stosunkowo rzadko. Są to wapienie, margle, ilowce. Mogą to być wychodnie lokalnych skał podłoża, albo są to porwaki (kry) lodowcowe, czyli olbrzymie masy skalne przyniesione na obecne miejsce przez lądolód.

4.2.5. Budowlane cechy gruntów skalistych

Zasadniczo wszystkie grunty skaliste są bardzo dobrym podłożem budowlanym. Ze względu na wytrzymałość dzieli się je na dwie grupy:

V
Grunty skaliste twarde (ST) reprezentowane są głównie przez skały magmowe i metamorficzne, które mają wytrzymałość na ściskanie > 5 MPa. **Grunty skaliste miękkie (SM)** złożone są głównie ze skał osadowych oraz niektórych łupków metamorficznych. Wytrzymałość gruntu na ściskanie jest < 5 MPa.

Czynnikiem obniżającym jakość podłoża skalnego jest jego **spękanie**. Wyróżnia się *skały lite (l)*, które nie mają otwartych szczelin; *skały mało spękané (ms)* mające szczeliny o szerokości mniejszej od 1 mm, występują rzadziej niż co 1 m; *skały średnio spękané (ss)* mające szczeliny szersze od 1 mm, występujące rzadziej niż co 1 m; *skały bardzo spękané (bs)* mające szczeliny o szerokości większej od 1 mm, które występują gęściej niż co 1 m.

Oceniając wartość budowlaną gruntów skalistych, wskazane jest przeprowadzać ich badanie pod kątem odporności na procesy wietrzenia fizycznego i chemicznego. W pierwszym przypadku rozpatruje się podatność rozpadu skały pod wpływem zmiany temperatury i zamarzania w niej wody (tzw. **zamrozu**). W drugim przypadku ocenia się podatność skał na ługujące działanie wodnych roztworów naturalnych oraz ścieków. Rozpatruje się tu również podatność na skrasowienie.

Orientacyjne wielkości obciążeń bezpiecznych dla podłoży uformowanych z gruntów skalistych przedstawiono w tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Orientacyjne obciążenia bezpieczne w MPa dla głównych typów podłoży zbudowanych z gruntów skalistych (wg normy PN-59/B-03020)

Skąły	Nie spękané	Mało spękané	Bardzo spękané
Magmowe i metamorficzne	4,0	2,0	1,0
Piaskówce silnie spojone, wapienie skaliste	2,0	1,0	0,6
Piaskówce słabo spojone, iłolupki, margle	1,0	0,5	0,3

4.3. Geneza i wiek gruntów nieskalistych

Podłoża budowlane uformowane z gruntów nieskalistych mineralnych i organicznych w Polsce są zasadniczo związane z erą kenozoiczną. Charakter tych gruntów na tle stratygrafii zestawiono w tab. 4.4.

4.3.1. Grunty przedczwartorzędowe

Wśród gruntów przedczwartorzędowych w Polsce występują podłoża zbudowane ze skał masywnych, czyli gruntów skalistych oraz grunty mineralne nieskaliste i organiczne. Sporadycznie w podłożu budowlanym występują morskie i jeziorzyskowe piaski i iły jurajskie. Są to grunty dobrze skonsolidowane.

Częściej spotykane są nieskaliste grunty trzeciorzędowe reprezentowane przez piaski, iły i węgiel brunatny.

Tabela 4.4. Wiek i pochodzenie gruntów nieskalistych mineralnych oraz organicznych w Polsce

Jednostki stratygraficzne (symbol i czas w latach od chwili obecnej)		Osady	Ważniejsze wydarzenia geologiczne
1		2	3
CZWARTORZĘD PLEJSTOCEN	HOLOCEN (Q_H) < 12 tys. lat.	Grunty pochodzenia bagienno-organicznego (torfy, namuły, gytie, kreda jeziorna). Osady współczesnej akumulacji jeziornej, rzecznej, wydymowej, eolicznej.	Tworzy się obecny układ dolinny. Formuje się obecny zarys brzegów Bałtyku. Tworzą się współczesne gleby. Na środowisko intensywnie oddziałuje człowiek (antropopresja).
	Złodowacenie północnopolskie (Q_P^4) 12 – 110 tys. lat	Na obszarze objętym lądolodem: gliny lodowcowe, piaski ze żwirami, osady zastoiskowe. Na pozostałym terenie kraju tworzą się lessy, piaski wydymowe, osady zwietrzelinowe. W dolinach osadzają się utwory piaszczysto-gliniaste.	Kilkakrotne zmiany postępu lądolodu zaznaczone w terenie bardzo wyraźnymi ciągami moren czołowych. Powstają stożki sandrowe. Maksymalny zasięg złodowacenia przebiega wzdłuż linii Leszno – Augustów. Wody odprowadzane są ku północnemu zachodowi pradolinami przebiegającymi równolegle do czoła lądolodu. Podłoże ulega dalszym deformacjom glaciektonicznym
	Interglacjał eemski (Q_P^{3-4}) 110 – 130 tys. lat.	Piaski i gliny pochodzenia rzeczno- i zboczowego. W zagłębieniach jeziornych powstają torfy i namuły. Lokalnie występują osady pochodzenia morskiego (iły elbląskie)	Ocieplenie klimatu. Początkowo erozja, późniejsza akumulacja rzeczna. Wody pra-Bałtyku zalewają obszar dolnej Wisły.
	Złodowacenie środkowopolskie (Q_P^3) 130 – 320 tys. lat.	Na obszarze objętym lądolodem: gliny lodowcowe, piaski ze żwirem, osady zastoiskowe. W pozostałej części kraju formują się osady zwietrzelinowe, lessy oraz piaszczyste i gliniaste utwory dolinne.	Kilkakrotne nasuwanie się lądolodu na obszar Polski, poprzedzielane jest okresami ocieplenia. Lądolód dochodził do Sudetów i częściowo wchodził na strefę wyżynną Polski. Czołowo lodowcowe formy terenu zaznaczają się w morfologii południowej części Niżu Polskiego. W podłożu występują deformacje glaciektoniczne. Wody pradolinami odprowadzane były zasadniczo w kierunku zachodnim.
	Interglacjał mazowiecki (Q_P^{2-3}) 320 – 430 tys. lat	W dolinach piaski i gliny. Lokalnie osady zastoiskowe oraz utwory organiczne (torfy, gytie)	Ocieplenie klimatu z okresowymi oziębieniami, w czasie których następowały krótkotrwałe nasunięcia lądolodu. Początkowo silna erozja rzeczna, a następnie akumulacja dolinna
	Złodowacenie południowopolskie (Q_P^2) 430 – 640 tys. lat.	Glina lodowcowa, piaski ze żwirami. Miejscami iły zastoiskowe. Utwory te na powierzchni terenu występują zasadniczo tylko na południu kraju.	Największy zasięg lądolodu, który pokrył cały obszar Polski. Okres ten poprzedzielany był ociepleniami klimatu. Wody odpływały siecią dolinną ku południowemu-wschodowi częściowo ku zachodowi.

Tabela 4.4. c.d.

		1	2	3	
TRZECIORZĘD	CZWARTORZĘD	PLEISTOCEN	Interglacjał augu- stowski (Q_p^{1-2}) 640 – 680 tys. lat	Lokalnie rzeczne osady piaszczyste i gliniaste.	Formuje się układ rzek spływających do pra-Bałtyku.
			Zlodowacenie najstarsze (Q_p^1) 680 – 950 tys. lat	Piaski, gliny, iły – głównie akumulacji rzecznej i jezior- zyskowej. Lokalnie w głębszym podłożu gliny lodowcowe.	Stopniowy zanik śródlądowego jeziorzyska. Oziębienie klimatu. Łądołód obejmuje północno-wschodnią część Polski
			Preglacjał (Q_p^0) 0,95 – 1,87 mil. lat	Ilaste, gliniaste, piaszczyste osady jeziorzyskowe. Żwirry, piaski, mułki, iły pochodzenia rzeczno- go. W osadach dominują składniki lokalne.	Na terenie środkowej Polski znajduje się zanikający zbiornik jeziorzyskowy. Występują intensywne pionowe ruchy neotektoniczne, szczególnie na obrzeżeniu pasm górskich i przy krawędziach strefy wyzynnej. Zaznaczają się cykliczne oziębienia i ocieplenia klimatu. Formuje się nowy układ sieci dolinnej o ukierunkowaniu północno-zachodnim.
	NEOGEN	Pliocen (Pl) 1,8 – 5,3 mil. lat	Osady śródlądowego zbiornika wodnego: mułki, iły z węglem brunatnym, piaski, żwirry.	Morze ustępuje z terenu Polski, pozostawiając w części środkowej olbrzymi zbiornik jeziorzyskowy. Do zbiornika tego spływają rzeki z południa i północy. Zaznacza się ostatnia faza górotwórczości alpejskiej, powodująca kolejne wydźwignięcie strefy górskiej i wyzynnej. Pod koniec pliocenu następuje oziębienie klimatu.	
		Miocen (M) 5,3 – 23,8 mil. lat	Osady pochodzenia morskiego i jeziorzyskowego: piaski, iły (np. poznańskie, krakowieckie), węgiel brunatny, gips.	Główny etap fałdowania i wypiętrzania Karpát. Powstaje Zapadlisko Przedkarpacie. Dalszy etap blokowego wydźwigniania Sudetów, towarzyszy temu wulkanizm bazaltowy. W środkowej Polsce wzdłuż osi Zielona Góra – Brześć następuje obniżenie (depresja centralnej Polski), w której stagnują wody jeziorzyskowe. W wysychających ciepłych zbiornikach wodnych tworzą się złoża węgla brunatnego, siarki, gipsu, soli.	
		PALEOGEN	Oligocen (O) 23,8 – 39,7 mil. lat	Osady pochodzenia morskiego: piaski glaukonitowe i lyszczkowe (np. piaski szczecińskie), iły (np. iły septariowe), mułki.	Fałdowanie i wypiętrzanie Karpát. Wydźwignianie i przecinanie uskokami Sudetów. Na terenie Polski zalew morski.
			Eocen (E) 39,7 – 54,8 mil. lat	Jeziorzyskowe piaski, mułki, iły (np. iły toruńskie). Patrz tab. 4.2.	Na południu Polski morze. Na północy panują zasadniczo warunki lądowe jeziorzyskowe
			Paleocen (Pc) 54,8 – 65 mil. lat		Polska pokryta jest morzem.
	KREDA (K)		Lokalnie piaski, iły, mułki	Patrz tab. 4.2.	
	JURA (J)		Lokalnie: morskie mułki, iły, piaski	Patrz tab. 4.2.	

Piaski trzeciorzędowe są pochodzenia morskiego lub jeziorzyskowego. Charakteryzują się bardzo zróżnicowanym uziarnieniem (od piasków gruboziarnistych do piasków pylistych). Zasadniczo są to piaski zagęszczone lub bardzo zagęszczone. W składzie mineralnym charakterystyczne jest występowanie obok dominującego kwarcu znacznych ilości łyszczyków lub glaukonitu (np. piaski eoceńskie i oligoceńskie) nadających tym piaskom zabarwienie szare lub zielonkawe. Jedną z odmian tych piasków są oligoceńskie „piaski szczecińskie”. Trafiają się jednak często czyste piaski kwarcowe (głównie miocene), niekiedy przewarstwione są one wkładkami węgla brunatnego lub iłami. W wyniku zaburzeń glacictonicznych grunty te mogą znajdować się na wtórnym złożu i przeławiczone są czwartorzędowymi osadami innej genezy.

Iły trzeciorzędowe wykazują dobre skompymowanie, tak że często tekstura ich sprawia wrażenie „złupkowaconej” (szczególnie gdy są suche). Grunty te charakteryzują się dużą zawartością frakcji iłowej (powyżej 30 – 40%) i małym udziałem frakcji piaskowej. Zwykle grunty te trudno i powoli rozmakają w wodzie. Znaczna ilość składników ilastych powoduje, że grunty te chłoną dużą ilość wody. Konsekwencją tego jest ich zdolność do znacznego pęcznienia. I odwrotnie, w okresie długotrwałej suszy iły trzeciorzędowe mają tendencję do silnego kurczenia się. Podobnie jak i trzeciorzędowe grunty piaszczyste tak i iły bardzo często znajdują się na wtórnym złożu. Pod wpływem dynamicznego i statycznego nacisku łądolodu materiał ten jest wyciskany z podłoża i wprowadzany w młodsze osady wieku czwartorzędowego.

Charakterystycznymi iłami trzeciorzędowymi są eoceńsko-oligoceńskie *ilty toruńskie*, brunatne bezwapienne osady z przewarstwieniami węgla brunatnego i piasku. Tego wieku są też *ilty septariowe*, o zabarwieniu szarozielonym z kulistymi konkrecjami żelazisto-węglanowymi (tzw. septarie) oraz różnej wielkości kryształkami gipsu (ilty te znane są z okolic Szczecina). Wieku miocenońskiego są *ilty poznańskie* o zabarwieniu szarozielonkawym lub pstrym (zielono-czerwonym). Iły miocenne związane są z formacją burowęglową. Tworzą one różnej miąższości przewarstwienia z węglem brunatnym oraz piaskami. W Zapiadlisku Przedkarpacim występują miocenne *ilty krakowieckie* zawierające w swoim składzie gipsy i siarkę. Na Nizu Polskim występują również iły plioceńskie

Węgiel brunatny jest charakterystyczny dla kompleksu osadów trzeciorzędowych. Szczególnie duże złoża różnych odmian węgla brunatnego (lignit, gagat, itd) powstały w miocenie. Osady te znajdują się na różnych głębokościach. Bardzo często zalegają na wtórnym złożu w wyniku wyciśnięcia ich z podłoża przez nacisk łądolodu.

4.3.2. Grunty czwartorzędowe

Młodsza część ery kenozoicznej, czyli czwartorzęd dzieli się na plejstocen i holocen. W **plejstocenie** zaznacza się wielokrotne oziębienie klimatu, są to okresy **glacjalne**, w czasie których na teren Polski wkracza kilkakrotnie łądolód skandynawski. Między glacialami występują ocieplenia, są to okresy **interglacjalne**, klimat w tym czasie był podobny do dzisiejszego. Mniej więcej 12 tys. lat temu rozpoczyna się najmłodsza część czwartorzędu czyli **holocen**, trwający do chwili obecnej. Cechuje się on coraz to większym wpływem człowieka na środowisko geologiczne. Podłoże budowlane na Nizu Polskim stanowią głównie

osady czwartorzędowe. Miąższość tych utworów jest zmienna, zazwyczaj jednak większa od 50 m, jednak miejscami przekraczać może 200 m. W strefie wyżynnej pokrywa osadów czwartorzędowych jest cieńsza i waha się od kilkudziesięciu centymetrów do kilkunastu metrów.

W strefie górskiej utwory czwartorzędowe mają grubość zazwyczaj poniżej 1 m, jednak w kotlinach i obniżeniach dużych dolin przekraczają miąższość kilkunastu metrów.

Osady czwartorzędowe wykazują znaczne zróżnicowanie litologiczne i facjalne. Pojęcie **litologii** obejmuje całokształt charakterystyki materiału osadowego (w tym jego genezę i cechy petrograficzne). Przez **fację** rozumie się zróżnicowanie osadów jednej genezy i wieku, ale uformowanych w różnych warunkach dynamicznych środowiska sedymentacyjnego.

Poniżej podano tylko podstawowe informacje o ważniejszych odmianach genetycznych osadów.

Osady lodowcowe (glacialne)

Osady powstałe w wyniku akumulacji lodowcowej dzieli się na dwie grupy osadów: utwory moreny czołowej oraz utwory moreny dennej.

Osady moreny czołowej formowane były w efekcie wytapiania materiału mineralnego w strefach krawędziowych (marginalnych) lądolodu, budując dzisiejsze formy moren czołowych. Występuje tu słabo wysortowany materiał składający się z głazów, żwirów, pospółek, piasku, a częściowo gruntów spoistych (osady gliniaste). Utwory te określa się jako **osady zwałowe**. W ułożeniu poszczególnych pakietów występuje tak w pionie, jak i poziomie duże zróżnicowanie. Zasadniczo osady te nie wykazują regularnego uławicenia i warstewkowania.

Osady moreny dennej w klasycznym modelu składają się z trzech kompleksów. W dole znajdują się *osady moreny lokalnej*, składające się głównie z miejscowego materiału podłoża, przez które przemieszczał się lądolód. W środkowej części występuje typowy osad moreny dennej **głina zwałowa (morenowa = lodowcowa)**. Jest to wytopiona z lądolodu nie wysegregowana mieszanina składników (kamienisto-żwirowo-piaszczysto-pyłowo-iłowych), które porwane zostały przez lądolód na całej jego trasie. Gliny zwałowe są nie warstwowanymi gruntami, zazwyczaj średnio spoistymi z domieszką żwirów, kamieni i dużych głazów (tzw. *narzutniaki = erratyki*). W frakcji iłowej glin zwałowych wśród minerałów ilastych dominują składniki z grupy illitu i kaolinitu. W górnej części moreny dennej występuje *kompleks osadów ablastycznych*. Są to głównie wytopione z górnej części lądolodu okruchy, stanowiące zazwyczaj źle sortowane piaski z przewarstwieniami pospółki i żwirów. W postaci domieszki znajdować się tu mogą glazy narzutowe.

Na Niziu Polskim w podłożu występować może szereg poziomów osadów glacialnych związanych z akumulacją tego materiału przez lądolody różnego wieku. Poziomy te mogą być poprzedzielane osadami interglacialnymi mineralnymi lub organicznymi.

Osady rzecznotodowcowe (fluwioglacjalne = glacyfluwalne)

Utwory rzecznotodowcowe powstały w efekcie akumulacji materiału mineralnego transportowanego wodami lodowcowymi w otwartych i zamkniętych szczelinach lądolodu, jak również płynących między bryłami martwego lodu w czasie jego rozpadu i zaniku.

W efekcie tej akumulacji powstają pagórkowate *formy kemowe* (m.in. kemy – wzgórza o kształcie kopulastym i ozy – wały długie niekiedy ponad 10 km). Wody z lądolodu przez bramy (wrota) lodowcowe wypływały również na zewnątrz, powodując formowanie się stozkowatych form określanych jako *sandry*. Cechą charakterystyczną wszystkich osadów fluwioglacjalnych jest dominacja wśród nich warstewkowanego i dobrze wysortowanego materiału piaszczystego z przeławiczeniami pospólek i żwirów. Jako przewarstwienia występować mogą też grunty spoiste, domieszkę stanowią kamienie i głazy skandynawskie.

Osady kemowe bardzo często charakteryzują się konsekwentną w pionie zmianą materiału pod względem uziarnienia. W spągu profilu występują pyły piaszczyste, piaski pylaste lub piaski drobne. Materiał ten ku stropowi przechodzi stopniowo w piaski średnie i grube z przeławiczeniami pospółki i żwiru. Osady te charakteryzują się warstewkowaniem poziomym lub przekątnym. W górnej części kompleksu osadów kemowych w formie soczewek lub płaszcza pokrywowego występować mogą grunty gliniaste. Niekiedy w przekrojach kompleksu osadów kemowych mogą one wykazywać nie tylko poziomy, ale ukośny układ poszczególnych ławic. Miejscami występują też deformacje układu warstw typu mikrofaldów lub mikrouskoków.

Osady sandrowe reprezentowane są głównie przez piaski średnie lub drobne, przewarstwione materiałem kamienisto-żwirowym. Miejscami w postaci soczewek występować mogą grunty spoiste. Generalnie utwory sandrowe wykazują warstewkowanie poziome lub przekątne.

Osady jeziornolodowcowe (limnoglacialne = glacialimiczne) i jeziorzyskowe

Z obecnością lądolodu na Nizu Polskim wiążą się osady pochodzenia limnoglacialnego, które powstały w przylodowcowych jeziorach zastoiskowych. Zbiorniki te występowały w zakłębieniach terenu ograniczonych z jednej strony czołem lądolodu, z pozostałych uprzednio uformowanymi wysoczyznami plejstoceniowymi. Charakterystycznymi osadami zastoiskowymi są utwory wstęgowe (warwowe). Złożone są one z cienkich, na przemian ciemnych warstewek materiału pylastego i ilastego oraz nieco grubszych i jaśniejszych warstewek materiału drobnopiaszczystego lub grubopylastego.

W niektórych regionach kraju występują osady związane z dużymi płytkimi zbiornikami wodnymi czyli jeziorzyskami (rozlewiskami), które reprezentowane są przez utwory typu gliniastego i drobnopiaszczystego z wyraźną laminacją.

Wśród minerałów ilastych w osadach limnoglacialnych i jeziorzyskowych dominują składniki z grupy illitu i kaolinitu.

Osady zaburzone glaciektogenicznie

Są to w zasadzie osady uformowane pierwotnie przez lodowiec, wody lodowcowe lub zastoiskowe, które łącznie z zalegającymi w głębszym podłożu utworami przedczwartorzędowymi zostały przemieszczone z miejsca swojego pierwotnego zalegania na wtórne złoża. Osady takie charakteryzują się bardzo skomplikowanym układem poszczególnych ławic, które są zróżnicowane pod względem uziarnienia. Wyodrębnić tu można różne odmiany deformacji, np. faldów stojących, faldów obalonych, formy uskokowe, oderwane od podłoża porwaki. Obok gruntów mineralnych, jako **porwaki (kry lodowcowe)** występować

mogą "egzotyki" gruntu skalistego (głównie wapienie i kreda) oraz węgiel brunatny. Przedczwartorzędowe osady ilaste obok typowych minerałów z grupy illitu i kaolinitu zawierają bardzo często minerały z grupy smektytu.

Geneza kompleksu zaburzonych glacictonicznie osadów nie jest do końca wyjaśniona. Zazwyczaj wiąże się powstanie takich układów gruntowych z oddziaływaniem na podłoże masy lądolodu będącego w ruchu. Brane są też pod uwagę cechy hydrogeologiczne podłoża, które w momencie wkraczania lądolodu było silnie nawilgotnione. Rozpatruje się też możliwości oddziaływania impulsów tektonicznych na liniach głębokich uskoków, czy też ruchów pionowych w płytszych warstwach skorupy ziemskiej wywołanych przez proces halokinezy (nacisk wysadów solnych czyli diapirów).

Osady rzeczne (fluwialne)

Na znacznym obszarze kraju występują układające się w planie w sposób liniowy osady pochodzenia rzeczne. Na Niżu Polskim w wielu przypadkach osady typowo rzeczne kontaktują się bocznie z utworami pochodzenia fluwioglacjalnego, budującymi wyższe poziomy terasowe pradolin lub dolin marginalnych. Osady rzeczne wykazują bardzo wyraźne zróżnicowanie w zależności od wieku i położenia w przekroju poprzecznym doliny, dlatego też odrębnie mówi się o osadach teras nadzalewowych i osadach teras zalewowych.

Osady teras nadzalewowych strefy niżowej i wyżynnej Polski zbudowane są głównie z plejstocenijskich piasków średnich i drobnych z przewarstwieniami żwirów oraz gruntów mało spoistych. Niekiedy w formie przeławień lub soczewek występują grunty średnio spoiste. Materiał ten charakteryzuje się zazwyczaj warstwowaniem poziomym lub ukośnym. Osady teras nadzalewowych w strefie górskiej reprezentowane są głównie przez osady kamienisto-żwirowe z domieszką głazów. Bardzo często materiał ten przemieszany jest z utworami gliniastymi. Osady kontaktują się bocznie ze stokowymi utworami deluwialnymi i koluwalnymi.

Osady teras zalewowych powstały w holocenie. Są to piaszczyste lub gliniaste grunty mineralne z przeławieniami gruntów organicznych (torfy, namuły). W rejonie współczesnego lub dawnego koryta cieku występują osady **facji korytowej**, złożone głównie z materiału piaszczystego. W strefie górskiej w facji tej występują głazy, kamienie i żwiry. Poza strefą korytową występują osady zaliczane do **facji powodziowej**. Złożone są one z materiału gliniastego i piaszczystego z domieszką części organicznych. W miejscach dawnych starorzeczy występują różnej miąższości torfy i namuły organiczne. W strefie górskiej facja powodziowa reprezentowana jest przez osady kamienisto-żwirowe przemieszane z gliną.

Osady wiatrowe (eoliczne)

Rozległe tereny w Polsce zbudowane są z czwartorzędowych osadów pochodzenia eolicznego. Generalnie wydzielić tu można osady wydymowe i osady lessowe.

Od przełomu plejstocenu i holocenu, aż do chwili obecnej, w wyniku oddziaływania wiatru na suche podłoże piaszczyste zachodzi przewiewanie tego materiału. Formują się osady wydymowe, są to dobrze wysortowane piaski średnie i drobne, tworzące pojedyncze formy wydymowe lub całe pola wydymowe. Miejsca, z których został wywiany piasek, tworzą

misły deflacyjne, a w nich (w sprzyjających warunkach wilgotnościowych) powstawać mogą grunty organiczne. Osady wydmore powstają głównie na powierzchniach sandrowych, terasach rzecznych oraz brzegu morza.

Inną odmianą osadów eolicznych są lessy, które zalicza się do pyłowych gruntów makroporowatych. Oznacza to, że występują w nich stosunkowo znaczne pory, które czasami są większe od cząstek budujących szkielet gruntowy. Lessy polskie tworzyły się w okresach glacialnych w pewnej odległości od lądolodu. W czasie burz pyłowych wywiewany z den dolinnych materiał osadzany był na zboczach dolin i wierzchołkach wyniesień. Występowanie lessów koncentruje się głównie w strefie wyżynnej oraz u podnóża Karpat i Sudetów. Podstawowymi składnikami lessów polskich jest materiał mineralny o średnicach 0,05 – 0,01 mm; frakcja ilowa występuje w zmiennych udziałach, zazwyczaj poniżej 10%. Lessy zawierają węglany, głównie CaCO_3 , w ilości od kilku do kilkunastu procent.

Osady bagienno-torfowe

W wyniku akumulacji jeziornej lub w rejonach podmokłych następuje w holocenie akumulacja typu jeziorno-bagiennego. Obok gruntów mineralnych wytrąconych z zawiesiny wodnej tworzą się grunty organiczne. Są to przede wszystkim torfy i namuły, powstałe w wyniku biochemicznego przekształcania obumarłych szczątków trzin, traw, turzyc i mchów porastających brzegi zbiorników wodnych. Na dnie jezior akumulowane są też szczątki obumarłego planktonu lub węglanu wapnia wytrąconego z roztworów wodnych. Tworzą się wtedy gytie oraz kreda jeziorna. Niekiedy w podłożu budowanym występują osady organiczne związane z ciepłymi okresami plejstocenu (interglacjami), są to utwory znacznie lepiej skompresowane od analogicznych osadów holocenicznych.

Osady morskie

Na Nizinach Polskich fragmentarycznie występują czwartorzędowe osady morskie. Są to ilaste grunty związane z okresem interglacialnym (eemskim) poprzedzającym ostatnie zlodowacenie. Występują one w rejonie dolnej Wisły. Współcześnie na brzegu morskim występować mogą holoceniczne podłoża utworzone z gruntów różnej genezy (morskie, jeziorne, eoliczne), które najczęściej budują obszary mierzejowo-wydmore. Są to przeważnie utwory piaszczyste z przelawieniami gruntów mało spoistych oraz soczewkami torfów lub namułów. W gruntach tych jako domieszki występują zazwyczaj muszelki mięczaków.

Osady innej genezy

Z czwartorzędem wiąże się również i inne osady, które mają różne znaczenie w trakcie Projektowania, wykonania i eksploatacji budowli.

Na powierzchniach gruntów skalistych wystawionych na procesy wietrzenia powstają utwory zwietrzelinowe. Mogą to być bloki skalne określane jako gołoborza lub piargi. Częściej spotyka się zwietrzeliny kamienisto-gliniaste, które rozwijają się na podłożu zbudowanym głównie z gruntów skalistych miękkich. Są to tak zwane osady eluwialne.

U podnóża zboczy wysoczyzn i wyniesień, szczególnie, gdy są one zbudowane z gruntów spoistych, występują osady deluwialne, które powstały w efekcie powierzchni-

poziome spłukiwanie materiału ze stoku - delunio

wego spłukiwania materiału ze stoku. Są to słabo skonsolidowane i faliste laminowane grunty gliniasto-piaszczyste.

Miejscami występują też osady koluwalne, które uformowane zostały w wyniku zsuwania się po stokach całych bloków lub brył gruntu, z którego zbudowany jest stok. Grunty takie nawiązują swoimi cechami do materiału wyjściowego, jednak mają wewnątrz szczeliny, spękania i wolne przestrzenie (kawerny). Podłoże to pod wpływem obciążenia budowlą wykazuje duże różnicowanie odkształceń. Ponadto przez system spękań i szczelin przesączać się może woda opadowa powodująca lokalnie zmianę konsystencji gruntów spoistych.

Pospolitym osadem, który jest usuwany w trakcie prac budowlanych jest grunt tworzący współczesną warstwę glebową. Materiał ten powinien być przechowywany w odpowiednim miejscu i wykorzystany na potrzeby rekultywacji rolniczej.

4.4. Rodzaje gruntów nieskalistych

W niniejszym opracowaniu rodzaje gruntów nieskalistych mineralnych, organicznych i nasypowych omówiono zgodnie z tradycyjnymi klasyfikacjami prezentowanymi przez normy polskie (np. PN-86/B-02480, PN-81/B-03020), podając jednocześnie stosowane tam symbole.

4.4.1. Grunty nieskaliste mineralne

Grunty tej grupy dzielone są na kamieniste, które zawierają głównie składniki o średnicach większych od 40 mm; grunty gruboziarniste, w których dominuje materiał o średnicach 40 – 2 mm; oraz grunty drobnoziarniste charakteryzujące się szkieletem mineralnym o średnicach zasadniczo mniejszych od 2 mm.

Na obszarze Niżu Polskiego spotyka się głównie grunty drobnoziarniste oraz w mniejszych ilościach grunty gruboziarniste. **Grunty kamieniste** charakterystyczne są dla strefy wyżynnej i górskiej Polski.

Grunty gruboziarniste

Jeżeli grunty te zawierają powyżej 50% materiału o średnicy ponad 2 mm nazywane są **żwirami (Ż)**, natomiast gdy udział tych składników jest rzędu 50 – 10%, a resztę stanowi piasek, grunt określany jest jako **pospółka (Po)**. W przypadku gdy w gruntach gruboziarnistych występuje więcej niż 2% cząstek drobniejszych 0,002 mm w stosunku do masy składników o średnicach mniejszych od 2 mm, mówi się odpowiednio o **żwirach gliniastych (Żg)** i **pospółkach gliniastych (Pog)**.

Na Niżu Polskim grunty gruboziarniste złożone są głównie z okruchów skał krystalicznych (granitów, gnejsów, ryolitów, z domieszką łupków krystalicznych), w mniejszym udziale występują wapienie, piaskowce oraz kwarcy i krzemienie. W miarę zmniejszania się średnicy frakcji wzrasta udział kwarcu, który przeważać może nad pozostałymi okruchami szkieletu gruntu gruboziarnistego. Charakter petrograficzno-mineralny gruntów gruboziarnistych nie rzutuje na właściwości budowlane podłoża.

Grunty drohnoziarniste

Grunty te ze względu na uziarnienie oraz wynikające z tego właściwości fizyko-mechaniczne podłoża dzieli się na grunty niespoiste (sympkie) oraz grunty spoiste.

Grunty niespoiste (sympkie). Grunty sympkie złożone są zasadniczo ze składników o średnicach 2,0 – 0,05 mm, które przylegają do siebie, ale nie przyciągają się wzajemnie siłami spójności (kohezji). W zależności od wielkości ziaren w gruncie wydziela się: **piaski grube (Pr)** charakteryzujące się głównie ziarnami o średnicach 2,0 – 0,5 mm; **piaski średnie (Ps)** z ziarnami mieszczącymi się zasadniczo w przedziale wielkości 0,5 – 0,25 mm; **piaski drobne (Pd)**, w których dominuje frakcja 0,25 – 0,05 mm; **piaski pylaste (Pπ)**, które obok frakcji piaskowej zawierają 10 – 30% frakcji pyłowej (cząstki 0,05 – 0,002 mm). ✓

Na Nizu Polskim czwartorzędowe grunty niespoiste mają szkielet złożony z przeszło 85% ziaren kwarcu, w udziale do 10% występują inne minerały skał krystalicznych (głównie skalenie). Zazwyczaj w ilościach mniejszych od 5% występują okruchy pochodzące z rozdrobnienia innych skał osadowych (wapienie, mułowce, piaszkowce). W zależności od wieku i genezy piasków ich skład mineralny ulega poważnym wahaniom. I tak piaski trzeciorzędowe zawierać mogą znaczny udział łyszczyków lub glaukonitu, który nadaje piaskom zielonawy odcień (np. piaski oligoceńskie). Niekiedy piaski składają się prawie wyłącznie z kwarcu (niektóre piaski kredowe i miocene). Skład mineralny piasków nie wpływa na właściwości budowlane podłoża gruntowego.

Grunty spoiste. Grunty spoiste stanowią naturalną mieszaninę frakcji piaskowej (2,0 – 0,05 mm), pyłowej (0,05 – 0,002 mm) i ilowej (< 0,002 mm), z ewentualną domieszką frakcji zwirowej i kamienistej. Poszczególne składniki w gruncie związane są ze sobą strukturalnymi siłami spójności (kohezji). W zależności od udziału frakcji ilowej (cząstek drobniejszych od 0,002 mm), zawartości frakcji piaskowej oraz cech minerałów ilastych wydzielane są grunty: mało spoiste, średnio spoiste, zwięzłe spoiste i bardzo spoiste. ✓

Grunty mało spoiste (ms) zawierają 2 – 10% frakcji ilowej: są to **piaski gliniaste (Pg)**, **pyły piaszczyste (πp)**, **pyły (π)**. **Grunty średnio spoiste (ss)** mają 10 – 20% części ilastych, wśród nich wydziela się **gliny piaszczyste (Gp)**, **gliny (G)**, **gliny pylaste (Gπ)**. **Grunty zwięzłe spoiste (zs)** mają udział frakcji ilowej 20 – 30%, grupują się tu: **gliny piaszczyste zwięzłe (Gpz)**, **gliny zwięzłe (Gz)**, **gliny pylaste zwięzłe (Gπz)**. **Grunty bardzo spoiste (bs)** zawierają > 30% frakcji ilowej, wydziela się tu **ity piaszczyste (Ip)**, **ity (I)**, **ity pylaste (Iπ)**. Dla gruntów średnio-, zwięzło- i bardzo spoistych przymiotnik piaszczysty dodaje się, gdy zawartość frakcji piaskowej jest > 50%, a pylasta(y), gdy zawartość frakcji pylastej jest > 50%.

Charakter mineralny szkieletu gruntów spoistych na Nizu Polskim wyraźnie zmienia swoje cechy w zależności od wielkości i rodzaju składników. We frakcji piaskowej gruntów spoistych charakterystyczny jest skład mineralny właściwy dla gruntów sympkich (kwarc z domieszką skałeni oraz niewielkimi udziałami okruchów wapiennych). W obrębie frakcji pyłowej i ilowej obok kwarcu występuje bezpostaciowa krzemionka (opal), krystaliczne i bezpostaciowe składniki węglanowe (głównie węglan wapnia), tlenki i wodorotlenki żelaza oraz mieszanina minerałów ilastych. Minerały ilaste mają zazwyczaj średnice cząstek

26
mniejsze od 5 μm (0,005 mm). W gruntach spoistych dominują trzy grupy minerałów ilastych kaolinit, illit, smektyt. Udział składników poszczególnych grup mineralnych w istotny sposób wpływa na właściwości fizyko-mechaniczne podłoża zbudowanego z gruntów spoistych.

J Minerały z grupy kaolinitowej ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) są uwodnionymi glino-krzemianami. Tworzą silnie związaną sieć krystaliczną o charakterze cztero- lub ośmiościanów. Błaskowate cząstki kaolinitu o pokroju sześciobocznym mają zazwyczaj wymiary 5 – 1 μm . Nasiąkliwość kaolinitów dochodzi do 100% masy suchego materiału.

Minerały z grupy illitu ($\text{KAl}_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) są również uwodnionymi glino-krzemianami, przy czym w osłabioną sieć krystalograficzną wchodzi kationy potasu lub sodu. Wymiary poszczególnych cząstek mineralnych zmieniają się w znacznym zakresie od < 1 μm do 20 μm . Nasiąkliwość illitów przekracza może o 100% masę suchego minerału.

Minerały z grupy smektytu ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), są uwodnionymi glino-krzemianami, których powiązania sieci krystalizacyjnej są poważnie osłabione. Następować może wymiana cząstek glinu przez cząstki magnezowe, zaś krzemu przez cząstki glinowe. Minerały te silnie absorbują kationy wapnia, sodu, potasu. Najbardziej typowym przedstawicielem tej grupy mineralnej jest montmorillonit. Cząstki minerałów mają wielkości zmieniające się od poniżej 1 μm do powyżej 20 μm . Nasiąkliwość smektytu jest bardzo duża i przekracza może o 500% masę suchego minerału. Konsekwencją występowania w gruntach spoistych smektytu jest zjawisko silnego pęcznienia (lub kurczenia się) gruntu, rozwoju wysadzin mrozowych, podatności na proces tiksotropii. Minerały z tej grupy charakterystyczne są przede wszystkim dla ilastych gruntów trzeciorzędowych (oligocenских, miocenских, pliocenских).

J 4.4.2. Grunty nieskaliste organiczne 29

Grunty te zawierają w swym szkielecie powyżej 2% roślinnych szczątków organicznych. Wśród tej grupy gruntów wydziela się grunty próchniczne, namuły, gytie, torfy.

Grunty próchniczne (H) zawierają 2–5% części organicznych pochodzących z wegetacji roślinnej oraz z obecności mikroflory i mikrofauny. Cechy fizyko-mechaniczne tych gruntów zbliżone są do typowych gruntów nieskalistych mineralnych.

Namuły (Nm) składają się zwykle z 5–30% roślinnej substancji organicznej. Cechują się powstawaniem w środowisku wodnym, zmiennym składem szczątków roślinnych i różnym stopniem ich rozłożenia. Pozostała część szkieletu gruntowego stanowi materiał mineralny, typowy głównie dla gruntów spoistych (rzadziej sypkich).

Torfy (T) zawierają powyżej 30% roślinnych części organicznych (drewno, trzciny, turzycę, trawy, mchy), o różnym stopniu rozłożenia.

Namuły i torfy pod wpływem obciążenia ulegają odkształceniu i wypieraniu. Po odwodnieniu, gdy są wystawione na oddziaływanie czynników atmosferycznych, podlegają szybkiemu procesowi utleniania (murszeniu) powodującemu spopielenie szkieletu orga-

nicznego gruntów. W efekcie następuje zdecydowana zmiana cech wyjściowych podłoża gruntowego.

Niekiedy w podłożu budowlanym jako grunt nieskalisty występują licznie zgromadzone luźne okruchy węgla, które same zaliczane są do gruntów skalistych. W niektórych częściach Nizy w podłożu budowlanym występuje węgiel brunatny (WB). Jest to osad trzeciorzędowy charakteryzujący się znacznym stopniem uwęglenia szkieletu gruntowego. Grunty te wystawione na bezpośrednie oddziaływanie czynników atmosferycznych ulegają szybko procesowi utleniania, łącznie ze zjawiskiem samozapalenia.

Na Wyżynie Śląskiej w podłożu budowlanym występować może węgiel kamienny (WK). Jest to skała karbońska, której głównym składnikiem są zwęglone na drodze biochemicznej i geochemicznej szczątki roślinne. Pod wpływem czynników atmosferycznych samoistnie podlegają utlenieniu i samozapaleniu.

Niezależnie od wymienionych powyżej gruntów organicznych w szeregu miejsc na Nizy Polskim występują gytie (Gy), które stanowią materiał utworzony na dnie zbiorników wodnych. Powstał on z przemieszania obumarłych szczątków planktonu z piaszczysto-pylasto-ilastym materiałem mineralnym oraz wytrąconym z roztworu wodnego węglanem wapnia. Zazwyczaj gytie zawierają więcej niż 5% węglanu wapnia. S. Markowski (1980) dzieli gytie na: A – organiczne (glonowe, grubo detrytusowe, drobno detrytusowe), B – węglanowe (kreda jeziorna, gytia wapienna, gytia detrytusowo-wapienna, gytia ilasto-wapienna), C – mineralne bezwapienne (ilaste, piaszczysto-ilaste, okrzemkowo-ilaste). W niniejszej pracy jako gytie traktuje się utwory zaliczane do grupy A i C. Natomiast materiał grupy B określany jest jako kreda jeziorna.

4.4.3. Grunty nasypowe

Jeżeli człowiek uformował podłoże z gruntów mineralnych lub organicznych, określa się je jako podłoże nasypowe zbudowane z gruntów naturalnych. Nasypy formowane mogą też być z gruntów pochodzenia antropogenicznego (np. odpady gospodarczo-komunalne, odpady przemysłowe).

Grunty nasypowe traktowane są jako nasyp budowlany (nB), gdy zostały celowo i w sposób kontrolowany wykonane przez człowieka dla spełnienia określonego zadania budowlanego i mają dzięki temu parametry zgodne z założeniami tego zadania. Jeśli nasyp powstał w efekcie przypadkowego ich nagromadzenia określany jest jako nasyp niebudowlany (nN). Działalność inżynierska człowieka na obszarach zbudowanych z nasypów niebudowlanych wymaga szczegółowych badań w celu określenia rodzaju materiału, z którego zbudowany jest nasyp, oraz właściwości, jakimi się to podłoże cechuje (szczególnie jak jest ono skompresowane, jakie ma właściwości chemiczne, biologiczne, które mogą wpływać na wykonanie i eksploatację budowli).

4.5. Konsolidacja i konsystencja gruntu

Bardzo istotną cechą podłoża budowlanego jest jego skonsolidowanie (skomprimowanie, upakowanie). Znacznie wyższymi walorami budowlanymi charakteryzuje się podłoże, którego grunty były w swej historii obciążone łądołodem, nadległymi warstwami gruntowymi, czy też obiektami budowlanymi. Grunty uprzednio skonsolidowane charakteryzują się większymi wartościami **modułów ścisłości** niż osady młode, zmniejszające znacznie swą objętość pod wpływem obciążenia.

Istnieje wyraźna zależność między wiekiem i genezą gruntów, a ich konsolidacją. I tak za grunty dobrze skonsolidowane uważa się spoiste i sypkie grunty trzeciorzędowe i starsze. Gruntami dobrze skonsolidowanymi są plejstoceny osady lodowcowe i wodnolodowcowe. Słabiej skonsolidowane są plejstoceny utwory rzeczne. Za słabo skonsolidowane uważa się grunty uformowane w efekcie procesów eolicznych, limnicznych, deluwialnych.

Konsolidację czwartorzędowych gruntów sypkich wyrazić można za pomocą **stopnia zagęszczenia (I_D)**; wyraża on w pewien sposób stosunek zagęszczenia gruntu w stanie naturalnym do zagęszczenia maksymalnego, jaki może on osiągnąć. *Grunty luźne (I_n)* mają $I_D < 0,33$, *średnio zagęszczone* $I_D = 0,33 - 0,67$, *zagęszczone* $I_D = 0,67 - 0,80$, *bardzo zagęszczone* $I_D = 0,80 - 1,0$. Stopnie zagęszczenia bada się zasadniczo w terenie za pomocą specjalnych sond. I tak w przypadku sondy lekkiej (SL) uważa się, że jeżeli końcówka sondy wraz z żerdzią zagłębia się w grunt 10 cm przy ilości 1 – 5 uderzeń 10 kg młota spadającego z wysokości 0,5 m, to piasek jest w stanie luźnym. Jeżeli ilość uderzeń młota wynosi odpowiednio 5 – 22 – grunt jest średnio zagęszczony, 22 – 50 – grunt jest zagęszczony, powyżej 50 – grunt jest bardzo zagęszczony.

Obserwuje się, że holocenyjskie piaski rzeczne i wydmy są zazwyczaj luźne (I_D jest mniejsze od 0,3), plejstocenyjskie osady rzeczne mają $I_D = 0,3 - 0,4$. Osady fluwioglacjalne nie obciążone w swej historii łądołodem charakteryzują się wartościami $I_D = 0,5 - 0,6$, jeżeli były obciążone łądołodem wartość I_D wrasta do 0,7 – 0,8. Zwraca uwagę fakt, że w przypowierzchniowej części podłoża w sposób sztuczny następować może zmniejszenie badanego terenowo stopnia zagęszczenia. Podobnie w przypadku nawodnionej warstwy piasków zaznaczać się może pozorne podwyższenie zagęszczenia, które związane jest z oddziaływaniem ciśnienia hydrostatycznego na wbijaną końcówkę sondy.

W przypadku gruntów spoistych za normą PN-81/B-03020 wydzielić można cztery grupy **konsolidacji gruntów**: A – *grunty spoiste morenowe skonsolidowane przez obciążenie łądołodem*; B – *spoiste grunty morenowe nieskonsolidowane łądołodem oraz spoiste grunty innej genezy skonsolidowane przez łądołód*; C – *grunty spoiste innej genezy nieskonsolidowane przez łądołód*; D – *ity niezależnie od genezy*.

Na podstawie ustalonych grup konsolidacji można z tabel zawartych w normie PN-81/B-03020 odczytać dla nich normowe parametry geotechniczne (kąta tarcia wewnętrznego, spójność, moduł ścisłości), które są potrzebne do wyliczenia bezpiecznych obciążeń podłoża budowlanego.

Należy jednak zwrócić uwagę, że w przypadku gruntów spoistych ich wartość budowlana w poważnym stopniu zależy od wilgotności osadu. Znajduje to odbicie w **kon-**

systemy gruntu, którą charakteryzuje się za pomocą **stopnia plastyczności (I_L)**. Grunty suche, z których nie można uformować kulki, znajdują się w **konsystencji zwartej (zw)**, jeżeli kulka daje się uformować, ale nie można jej rozwałeczkować, grunt ma **konsystencję półzwartą (pzw)**, wartości I_L są mniejsze od zera. Grunty, z których można uformować kuleczkę i ukształtować z niej wałeczek, znajdują się w **konsystencji plastycznej**, dla której wartości I_L mieszczą się w przedziale 0 – 1. Wydziela się tu **stan twardoplastyczny (tpl)**, gdy $I_L = 0 - 0,25$; **stan plastyczny (pl)** gdy $I_L = 0,25 - 0,5$; **stan miękoplastyczny (mpl)**, gdy $I_L = 0,5 - 1,0$. W przypadku, gdy grunt rozplywa się w rękę i nie można z niego ukształtować kuleczki, ani wałeczka, ma on **konsystencję płynną (pl)**, a I_L jest większe od 1,0.

4.6. Ułożenie przestrzenne warstw gruntowych

Układ przestrzennego zalegania **warstw gruntowych** czyli **ławic** jest jednym z podstawowych czynników rzutujących na wartość budowlaną terenu. Najkorzystniejsze z punktu widzenia budowlanego jest podłoże jednorodne, składające się z gruntów o jednakowych właściwościach fizyko-mechanicznych. Taki typ podłoża występuje w przyrodzie stosunkowo rzadko.

Poziome warstwowanie gruntu obserwuje się, gdy naprzemianlegle ułożone są warstwy o różnych cechach litologicznych (rys. 4.2). Często w podłożu występują mniej regularne, soczewkowate przeławicenia różnych rodzajów gruntu, które w przekrojach geologicznych mogą mieć charakter ząbających się przewarstwień. Zazwyczaj podłoże gruntowe ma zdeformowany układ ławic, wyrażający się nieforemnymi skupieniami przestrzennymi współzalegających gruntów czy też ukośnym w stosunku do poziomu układem warstw. Ułożenie takie może być odbiciem złożonej sedymentacji osadów (np. utwory moreny czołowej), oddziaływaniem szeregu procesów geologicznych po osadzeniu się gruntów. Szczególnie istotne jest zaburzenie pierwotnego układu warstw wywołane procesami glacictektonicznymi. W wyniku dynamicznego i statycznego oddziaływania lądolodu na powierzchnię, po której się on przemieszczał, nastąpiło wyciśnięcie z głębokiego podłoża, przesunięcie i przemieszanie osadów różnego wieku i genezy. W podłożu zaburzonym glacictektonicznie w znacznym udziale występuje materiał trzeciorzędowy ułożony w formie fałdów, łusek lub nieregularnych porwaków.

Należy też zwrócić uwagę, że poszczególne ławice gruntu bardzo rzadko bywają jednorodne. Najczęściej są one **warstewkowane** czyli **laminowane**, np. poziomo, skośnie, krzyżowo, spływowo (rys. 4.3). Warstwy ilów trzeciorzędowych mają ślady złupkowacenia wraz z różnokierunkowym układem siatki spękań. To ostatnie zjawisko często obserwuje się w przesuszonych gruntach czwartorzędowych, na przykład wśród glin zwalowych i ilów wstęgowych.

Chcąc liczbowo ująć zróżnicowanie układu warstw w podłożu budowlanym, posłużyć się można opracowanym przez W. Kowalskiego (1971) **współczynnikiem zmienności poziomej (Wzp)**, który na podstawie zróżnicowania układu warstw gruntowych w sąsiadujących ze sobą profilach geotechnicznych wylicza się ze wzoru (rys. 4.4):

$$Wzp = \left[\left(\frac{m'_1}{m''_1} + \frac{m'_2}{m''_2} + \dots + \frac{m'_n}{m''_n} \right) \cdot \frac{1}{n} \right] \cdot \frac{35}{L}$$

gdzie:

m' , m'' – jest największą i najmniejszą miąższością tej samej grupy rodzaju gruntu (w m); w przypadku braku w sąsiadujących profilach analogicznej warstwy gruntu, przyjmuje się umownie wartość 0,2 m,

1,2,...,n – kolejne grupy rodzaju gruntu w analizowanych dwóch profilach geotechnicznych,

n – liczba grup rodzaju gruntu,

L – odległość między sąsiadującymi profilami geotechnicznymi.

Do wyliczeń przyjmowane są następujące grupy gruntów: 1) piaski i żwiry, 2) pyły i pyły piaszczyste, 3) pozostałe grunty spoiste o stopniu plastyczności $I_L < 0,25$, 4) pozostałe grunty spoiste o stopniu plastyczności $I_L > 0,25$, 5) torfy i namuły, 6) nasypy i grunty próchniczne. Zagadnienie związane z klasyfikacją gruntów omówiono w punkcie 4.4, zaś związane z konsolidacją i konsystencją gruntów w tym i stopniem plastyczności zaprezentowano w punkcie 4.5.

Jeśli w sąsiadujących profilach występują tylko warstwy gruntów nieskalistych mineralnych, przyjmuje się następujące rodzaje zmienności układu warstw gruntowych w podłożu:

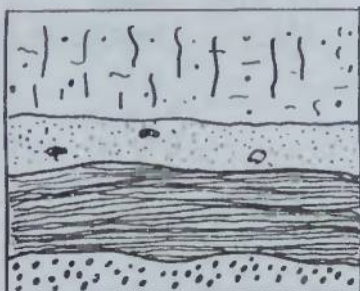
- | | |
|------------|---|
| Wzp: 1 – 3 | – podłoże o małej zmienności |
| 3 – 10 | – podłoże o przeciętnej zmienności |
| 10 – 30 | – podłoże o dużej zmienności |
| > 30 | – podłoże o skomplikowanym układzie warstw. |

Jeżeli w profilach występują obok nieskalistych gruntów mineralnych grunty organiczne, sygnalizuje się to w indeksie wskaźnika Wzp_{org} . W takim przypadku przyjmuje się następujące klasy zmienności układu warstw w podłożu:

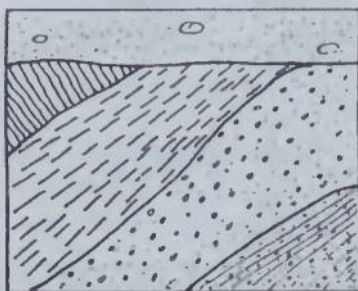
- | | |
|-----------------|---|
| $Wzp_{org} < 1$ | – podłoże o małej zmienności |
| 1 – 2 | – podłoże o przeciętnej zmienności |
| 2 – 6 | – podłoże o dużej zmienności |
| > 6 | – podłoże o skomplikowanym układzie warstw. |

W przypadku budownictwa specjalnego stosować można bardziej szczegółowy podział gruntów na grupy. Na przykład rozdzielając grunty niespoiste (sympkie) według stopnia zagęszczenia, a grunty spoiste na podstawie ich konsolidacji.

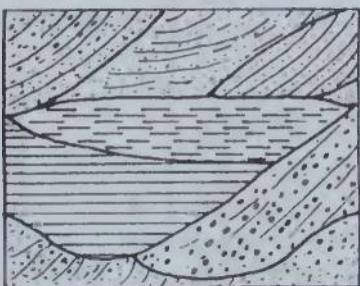
Uławicenie poziome



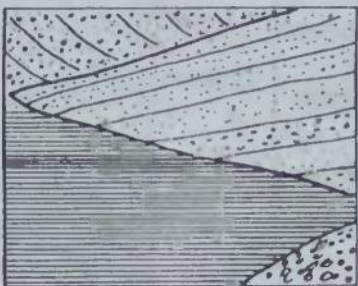
Uławicenie skośne



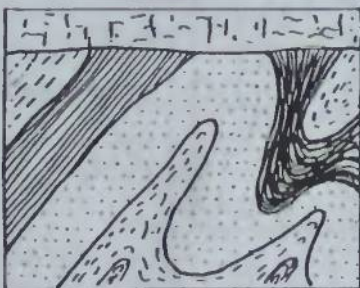
Uławicenie soczewkowe



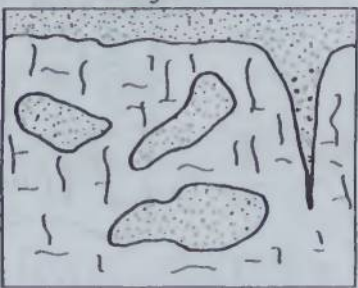
Uławicenie klinowate



Uławicenie zaburzone
fałdowo

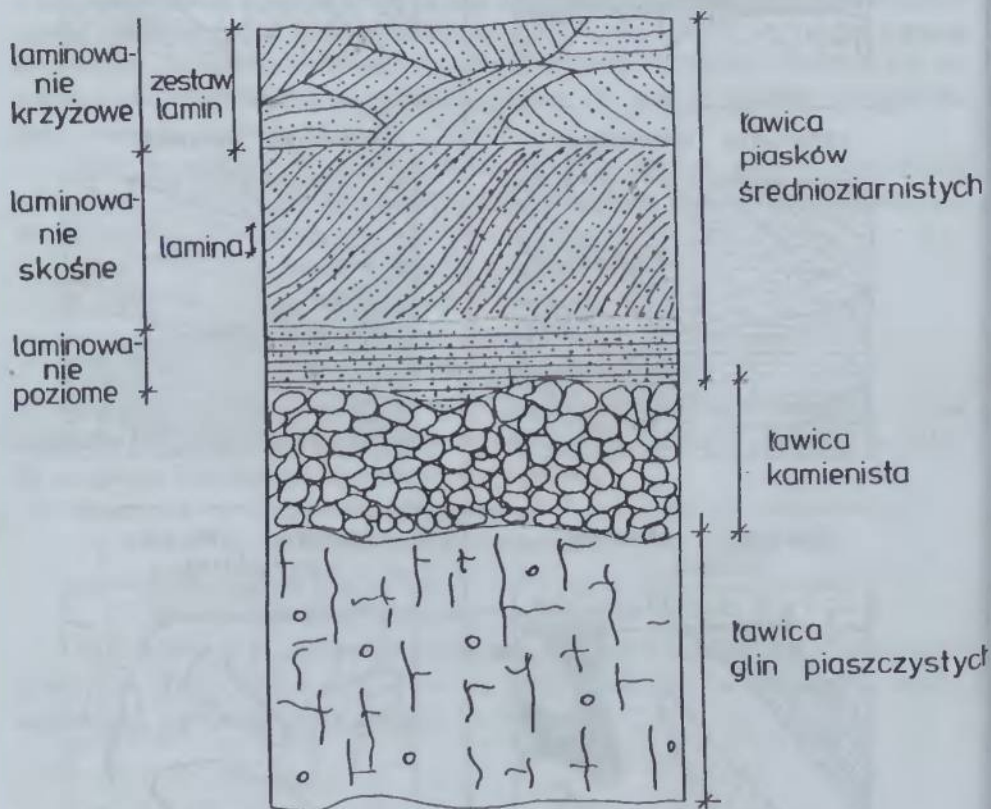


Uławicenie zaburzone
nieregularnie

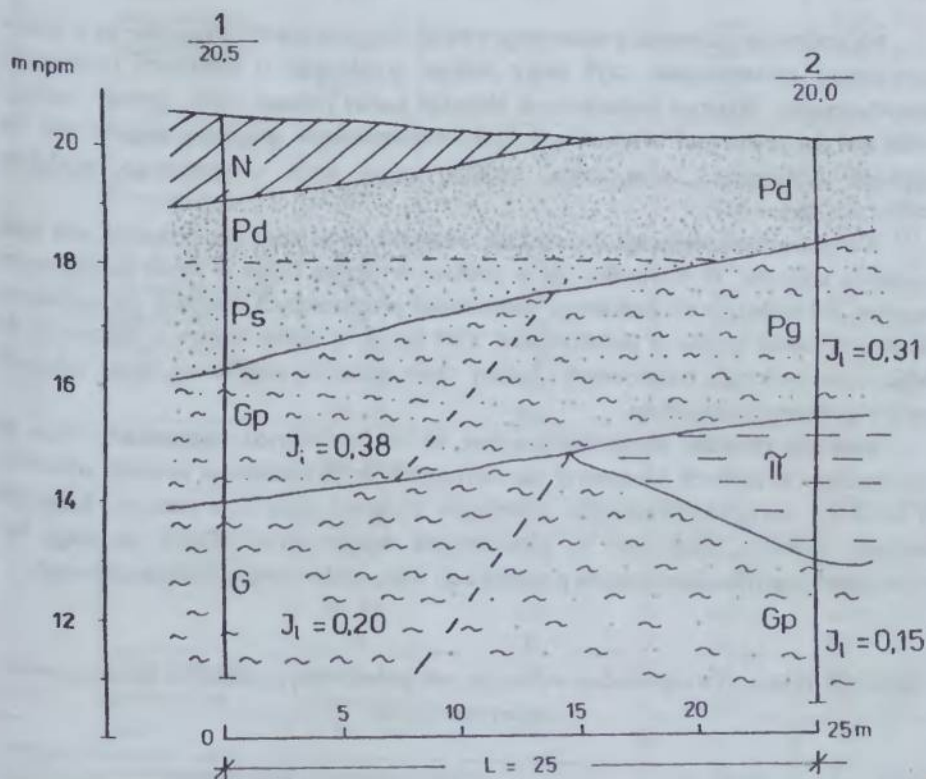


Rys. 4.2. Podstawowe typy uławicenia podłoża gruntowego

PODZIAŁ ŁAWIC I LAMIN			
Ławice (lub zestaw lamin)		Laminy	
> 100 cm	– bardzo grube	> 3 cm	– bardzo grube
100 – 30 cm	– grube	3 – 1 cm	– grube
30 – 10 cm	– średnie	1 – 0,3 cm	– średnie
10 – 3 cm	– cienkie	0,3 – 0,1 cm	– cienkie
< 3 cm	– bardzo cienkie	< 0,1 cm	– bardzo cienkie



Rys. 4.3. Podstawowe typy ławic i lamin w podłożu gruntowym



Mięgkości gruntów:	m'	m''	$\frac{m'}{m''}$
N	1,5	0,2	7,5
Pd, Ps	2,7	1,7	1,6
Gp, Pg ($J_l > 0,25$)	3,1	2,3	1,3
Π	2,3	0,2	11,5
G, Gp ($J_l < 0,25$)	3,0	2,5	1,2

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2$$

$$\sum \frac{m'}{m''} = 23,1$$

$$\frac{35}{L} = \frac{35}{25} = 1,4$$

$$W_{zp} = \left[\left(\sum \frac{m'}{m''} \right) \cdot \frac{1}{n} \right] \cdot \frac{35}{L} = \left[(23,1) \cdot 0,2 \right] \cdot 1,4 = 6,5$$

Rys. 4.4. Przykład obliczenia współczynnika zmienności poziomej W_{zp} za pomocą wzoru W. Kowalskiego (1971)

4.7. Warstwy i pakiety gruntowe oraz orientacyjne wielkości obciążeń bezpiecznych

Na podstawie rozpoznania terenowego i badań laboratoryjnych wyznaczane są w podłożu **warstwy geotechniczne**, czyli strefy podłoża gruntowego o zbliżonych parametrach geotechnicznych. Warstwa geotechniczna obejmuje grunty jednego wieku, genezy i rodzaju cechujące się podobnymi własnościami fizyko-mechanicznymi (stopniem zagęszczenia lub stopniem plastyczności, wilgotnością, kohezją, kątem tarcia wewnętrznego, modułami ścisłości, itp.).

Warstwom tym przypisuje się wielkości naprężeń, jakie mogą one przenosić, gdy będą obciążone budowlą. W przypadku gdy w podłożu występują różne w sensie geologicznym warstwy, ale cechujące się podobnymi wielkościami przenoszonych obciążeń, dla uproszczenia projektowania można je **pakietyzować**, czyli łączyć w zbiory warstw o zbliżonych do siebie właściwościach budowlanych. Pakiety takie stanowią uogólniony obraz zalegania warstw gruntowych w podłożu.

Ustalanie obciążeń bezpiecznych opiera się na konkretnych wyliczeniach, które są obowiązujące w zapisach normowych lub wytycznych do projektowania pewnych obiektów. W tabeli 4.5. zasygnalizowano tylko orientacyjne wielkości, jakie może przenosić konkretna warstwa gruntowa, nazywając je **obciążeniami bezpiecznymi**. Cechy te mogą być wykorzystywane tylko jako wstępna przesłanka do oceny budowlanej podłoża gruntowego.

Tabela 4.5. Orientacyjne odpowiedniki wybranych cech geotechnicznych niektórych osadów czwartorzędowych w Polsce

Wiek	Osady	Orientacyjne cechy geotechniczne			
		Rodzaj gruntu	Skompymowanie (zagęszczenie lub konsolidacja)	Wilgotność lub konsystencja	Obciążenie bezpieczne w kPa
HOLOCEN	Torf	T	nieskompymowany	m	0 – 50
	Namul	Nm, T	nieskompymowany	m	0 – 50
	Gytia	Gy	nieskompymowany	m	0 – 50
	Kreda jeziorna	(Gy)	nieskompymowany	m	0 – 50
	Mady (iły, mulki z domieszką piasków)	PsH, PdH, PgH, GpH	ln C	m, w pl, mpl	50 – 100 0 – 50
	Piaski rzeczne (terasa zalewowa)	Ps Pd, P π	ln ln	m, w m, w	120 – 200 100 – 150
	Piaski eoliczne (wydmowe)	Ps, Pd	ln	mw	150 – 200

Tabela 4.5. (cd.)

PLEJSTOCEN	Piaski rzeczne (terasa nadzalewowa)	Ps, Pd Ps, Pd	ln szg	w, mw w mw	120 – 200 150 – 250 300 – 400
	Mułki jeziorne	Pπ Pg, Πp, Π	ln C	mw pl mpl	150 – 250 120 – 200 200 – 300
	Mułki zastoiskowe	Π//Pd	C	pl tpl	50 – 100 100 – 200
	Iły warwowe	I//Π	C	mpl pl	0 – 50 50 – 100
	Piaski i żwiry wodnolodowcowe (sandrowe)	Ż, Po Pr, Ps Pd	szg szg szg	mw mw mw	250 – 500 250 – 400 250 – 350
	Piaski i żwiry kemów	Ż, Po Pr, Ps Pd, Pπ	szg szg szg	mw mw mw	250 – 500 250 – 400 200 – 300
	Mułki kemów	Pd, Pπ Πp, Π	szg C C	mw pl tpl	200 – 300 80 – 150 150 – 250
	Piaski i żwiry moreny czołowej	Ż, Po Pr, Ps Pd, Pπ Pg	szg szg szg B	mw mw mw tpl	250 – 500 300 – 400 250 – 350 200 – 300
	Gliny zwałowe (lodowcowe)	Pg, Gp, G, Gpz (+Ż)	B	tpl pzw	200 – 300 300 – 450
	Less	Π, Πp, Gπ	C	pl, tpl	30 – 80 80 – 150

5. WODY PODZIEMNE

Wodami podziemnymi nazywa się tu wszystkie rodzaje wody występujące pod powierzchnią terenu, w każdym ich stanie skupienia: stałym (lód), ciekłym i gazowym (para wodna). Wszystkie one mają znaczenie w budownictwie, ale przeważa zdecydowanie rola fazy ciekłej i ją przede wszystkim ma się na myśli, gdy mowa jest o wodzie podziemnej.

Charakter wody podziemnej na terenach niżowych pozostaje w bezpośrednim związku z rzeźbą i właściwościami hydrogeologicznymi gruntów. Wpływ na tę cechę mają też warunki klimatyczne i okresowa zmienność stanów meteorologicznych. Coraz większy wpływ na charakter wody podziemnej ma człowiek, który z jednej strony poprzez zwiększony pobór wody lub odwadnianie podłoża powoduje osuszanie gruntów, z drugiej zaś poprzez tworzenie zbiorników retencyjnych i sztucznego spiętrzania wody powodować może zwiększenie wilgotności gruntu.

W przekroju zlewni prostopadle do rzeki wyróżnia się na ogół trzy strefy różniące się funkcją wody podziemnej: 1. strefę zasilania (alimentacji) wody podziemnej, 2. strefę spływu, 3. strefę drenażu wody podziemnej przez ciek, w której to strefie najczęściej woda podziemna kontaktuje się z wodą powierzchniową (rys. 5.1).

W podłożu gruntowym przypowierzchniowa warstwa, przez którą infiltrują wody opadowe określana jest jako **strefa aeracji (napowietrzania)**. Wody infiltracyjne dochodząc do warstwy gruntu nieprzepuszczalnego wypełniają w pełni pory w gruncie przepuszczalnym tworząc **warstwę wodonośną**, jest to **strefa saturacji (pełnego nasycenia wodą)**.

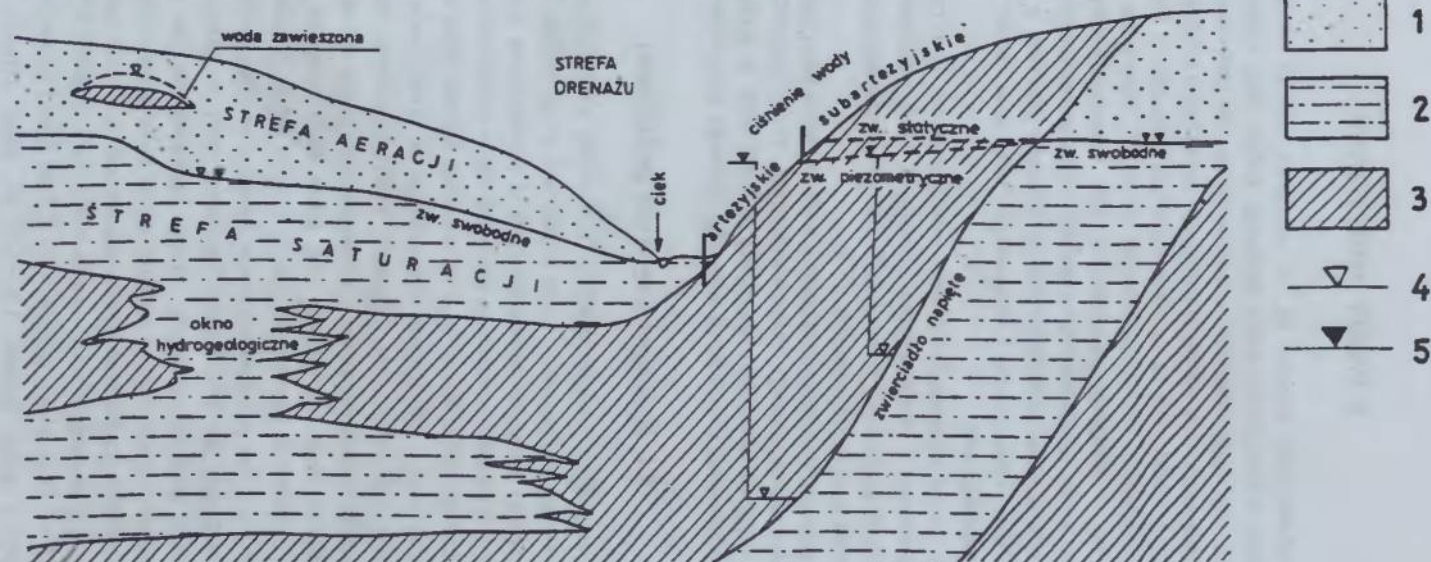
5.1. Rodzaje i typy wody podziemnej

W gruntowym podłożu budowli woda w fazie ciekłej występuje jako **woda związana fizycznie** (higroskopowa i błonkowa), woda kapilarna i woda wolna. *Woda higroskopowa* (adhezyjna) jest mocno związana elektrostatycznie z powierzchnią cząstki gruntowej, nie przemieszcza się i praktycznie nie odgrywa znaczącej roli w problematyce budowlanej. *Woda błonkowa* otacza każdą cząstkę gruntową z jej powłoką higroskopijną i w gruncie spoistym jest główną postacią wody, oddziałującą niekorzystnie na konsystencję gruntu, powodując jego uplastycznienie lub upłynnienie. Ruchem wody błonkowej kierują głównie pola elektryczne, termiczne i chemiczne, a pole grawitacyjne praktycznie nie ma na nią wpływu.

Woda kapilarna może występować tam, gdzie woda związana pozostawiła jeszcze wolne przestrzenie wypełnione powietrzem, ale jej ruchem steruje przede wszystkim napięcie powierzchniowe wody, które jest nieskuteczne w porach o średnicy większej niż ok. 0,5 mm, dlatego istotne znaczenie ma podciąganie kapilarne wody w gruntach mało spoistych, piaskach pylistych i piaskach drobnych. Wody kapilarnej nie ma tam, gdzie nie ma powietrza, bo napięcie powierzchniowe generuje się na styku wody ciekłej z powietrzem. Za W.C. Kowalskim (1988) przyjmować można następujące wielkości wzniosu (podniesienia) kapilarnego wody w podłożu gruntowym: żwiry 0,01 – 0,05 m; piaski średnie 0,15 – 0,35 m; piaski drobne 0,35 – 1,0 m; piaski pyliste 1,0 – 1,5 m; piaski gliniaste i gliny piaszczyste 3,0 – 4,0 m; pyły i gliny pyliste 1,5 – 4,0 m; gliny zwięzłe i ility 3,5 – 8,0 m.

STREFA ZASILANIA
BEZPOŚREDNIEGO

STREFA SPŁYWU



Rys. 5.1. Charakter zasilania wód podziemnych oraz rodzaje zwierciadła wody podziemnej: 1 – grunty przepuszczalne; 2 – grunty przepuszczalne w pełni nasycone wodą; 3 – grunty nieprzepuszczalne; 4 – nawiercone zwierciadło wody podziemnej, 5 – ustabilizowane zwierciadło wody podziemnej

Woda wolna (zwana często grawitacyjną) sterowana jest głównie siłą ciężkości i polem naprężeń mechanicznych i występuje tam, gdzie nie ma wody związanej, sama zaś jest zawsze przykryta warstwą wody kapilarnej. Woda wolna ma rozliczne formy występowania: w strefie aeracji – sączeniowa, zawieszona, w strefie saturacji – przypowierzchniowa (zaskórna), gruntowa, wgłębna.

Woda sączeniowa występuje w soczewkach, warstewkach lub laminach z gruntów niespoistych osadzonych w podłożu zbudowanym z gruntów spoistych. Przesącza się ona do wykopów i do otworów wiertniczych w bardzo zróżnicowanej ilości.

Woda zawieszona gromadzi się na skupieniach materiału spoistego znajdującego się w podłożu uformowanym z gruntów niespoistych w strefie aeracji. Tworzy ona soczewkowatego kształtu ciała wodne spływające przez krawędzie spoistych skupień. Zwierciadło wody zawieszonej ulega sezonowym zmianom stosownie do panującej sytuacji meteorologicznej.

Woda przypowierzchniowa (zaskórna) występuje tak płytko pod powierzchnią terenu, że niekiedy brak nad nią strefy aeracji. Jest ona bardzo ściśle związana z warunkami hydrometeorologicznymi: w okresie suszy jej zwierciadło obniża się, w okresie opadów się podnosi. W czasie mrozów woda ta częściowo zamarza.

Woda gruntowa jest wodą wolną w gruntach przepuszczalnych w strefie saturacji, nad którą strefa aeracji ma miąższość przynajmniej 2 m. Jej poziom w mniejszym stopniu podlega wpływom czynników meteorologicznych niż poziom wody zaskórnej. Temperatura wody gruntowej najczęściej odpowiada średniej rocznej temperaturze danej miejscowości.

Wodą wgłębną zazwyczaj nazywa się wodę wolną w gruntach przepuszczalnych (niespoistych) przykrytych grubą pokrywą gruntów słabo przepuszczalnych (spoistych). Wody wgłębne zasilane są wodą gruntową, wodą zaskórną lub wodą powierzchniową przez okna hydrogeologiczne w nakładzie gruntów spoistych.

Znajdujące się w podłożu gruntowym wody wolne w poważnym stopniu utrudniają bezpośrednie posadowienie budowli. Wody kapilarne i wody sączeniowe zmieniają w sposób istotny konsystencję gruntów spoistych. Zmniejsza się wtedy ich spójność (kohezja), kąt tarcia wewnętrznego, wzrasta odkształcalność itp. Grunty te charakteryzują się niższymi wielkościami obciążenia bezpiecznego.

5.2. Rodzaje zwierciadła wody podziemnej i ich głębokość

Zwierciadłem (lustrem) wody podziemnej nazywa się powierzchnię ograniczającą od góry wodę wolną. Terminu tego nie używa się w stosunku do wody związanej lub kapilarnej. W warunkach naturalnych wyróżnia się zwierciadło swobodne i zwierciadło napięte (naporowe, pod ciśnieniem).

Poziom zwierciadła swobodnego pozostaje pod wpływem tylko ciśnienia atmosferycznego, tak że zwierciadło ustabilizowane znajduje się na poziomie, na którym jest zwierciadło nawiercone (odkopane). Zwierciadłem swobodnym charakteryzują się wody zawieszane, zaskórne i gruntowe. W ciągu roku wykazuje ono pewne wahania, przy czym im jest ono głębiej położone, tym bardziej zmiany te są opóźnione w stosunku do okresów wzmożonych opadów lub okresów suszy.

Zwierciadło napięte (pod ciśnieniem, naporowe) formuje się wtedy, gdy woda wolna na swej powierzchni poddana jest ciśnieniu większemu niż atmosferyczne. Po nawierceniu (odkopaniu) takiego zwierciadła następuje **wznios wody**, który teoretycznie powinien stabilizować się na poziomie odpowiadającym zwierciadłu swobodnemu wody w miejscu zasilania, tworząc tak zwane **zwierciadło statyczne**. W rzeczywistości w wyniku oporów, jakie musi pokonać woda podziemna przepływająca przez podłoże gruntowe, poziom ten jest niższy i woda stabilizuje się na poziomie **zwierciadła piezometrycznego**, czyli na poziomie określonym faktycznym ciśnieniem wody naporowej.

Zwierciadłem napiętym charakteryzuje się głównie woda wglębna, ale niekiedy też i pozostałe rodzaje wody wolnej, aczkolwiek na znacznie mniejszych obszarach. Zwierciadło napięte wyznaczone jest przez spąg warstwy nieprzepuszczalnej przykrywającej od góry warstwę wodonośną. Charakterystyka wody naporowej wymaga określenia nie tylko zwierciadła napiętego, ale i zwierciadła piezometrycznego. Wahania poziomu piezometrycznego są odbiciem złożonych zmian zachodzących w środowisku geologicznym. Poważny wpływ ma tu nie tylko naturalne wahanie zasilania wodą opadową, ale również sztuczne wzbogacanie lub zubożanie warstwy wodonośnej przez człowieka.

Sączenia wody w gruntach spoistych też mają zazwyczaj wodę pod pewnym ciśnieniem, dlatego przy nawierceniu (odkopaniu) lustro jej stabilizuje się nieco wyżej niż poziom nawiercony.

Do potrzeb budowlanych ważne jest ustalenie *miąższości warstwy suchej*, która informuje o głębokości zalegania wody wolnej pod powierzchnią terenu. W terenie, gdzie pierwsza woda podziemna jest wodą wglębną o zwierciadle napiętym, miąższość warstwy suchej odnosi się do poziomu zwierciadła piezometrycznego tej wody podziemnej. Nie uwzględnia się jednak na ogół wody sączeniowej i wody zawieszanej.

Linie łączące punkty o jednakowej głębokości zwierciadła wody poniżej powierzchni terenu noszą nazwę **hydroizobat**. Zwyczajowo przyjmuje się w budownictwie lądowym głębokości hydroizobat 0,5 m, 2 m i 5 m.

Uzasadnieniem tych granic jest możliwość korzystnej lokalizacji i łatwego rozwiązania infrastruktury podziemnej (magazyny, garaże, tunele, wodociągi, kanalizacje, ciepłociągi itp.), gdy woda wolna występuje głębiej niż 5 m p.p.t., pojawianiem się trudności rozwiązania posadowienia budowli podpiwniczonych, gdy woda wolna występuje płycej niż 2 m p.p.t., i nieprzydatnością terenu do zabudowy do stałego pobytu ludzi, gdy woda jest płycej niż 0,5 m p.p.t.

W pracach budowlanych istnieje czasem konieczność osuszenia podłoża gruntowego. Wykonuje się to w sposób celowy obniżając poziom wody podziemnej przez jej wypompowywanie. Wytworzony w sposób sztuczny obniżony poziom wody określa się jako **zwierciadło dynamiczne**.

5.3. Ruch wody podziemnej i przepuszczalność podłoża

Przemieszczanie się wody podziemnej zachodzi wskutek występowania w masie wodnej gradientów (spadków) głównie czterech pól: pola energii mechanicznej (M), pola

elektrycznego (E), pola temperatur (T) i pola stężeń (S) roztworu (woda podziemna nigdy nie jest czystym związkiem H_2O). Gdyby występowało każde z tych pól z osobna, woda podziemna płynęłaby w kierunku spadku energii, spadku potencjału elektrycznego, spadku temperatury, wzrostu stężenia roztworu. Gdy występują wszystkie pola, ruch wody wyznaczony jest wypadkowym oddziaływaniem tych pól. W warunkach naturalnych dominujący wpływ na ruch wody podziemnej mają: dla wody związanej – pole T, dla wody wolnej i kapilarnej – pole M; chociaż współdziałają i pozostałe pola, jednak ich wpływ naturalny jest na ogół do pominięcia. Natomiast w warunkach interwencji człowieka przeważający wpływ może mieć pole E (elektroosmoza, elektroforeza) lub pole S (składowiska odpadów, nawożenie, chemiczna ochrona roślin) i to dla wszystkich rodzajów wody.

Do potrzeb budownictwa zastosowanie geologii obejmuje jedynie wpływ pola energii mechanicznej na ruch wody wolnej. Podstawą analiz obliczeniowych jest równanie Bernoulliego pozwalające wyznaczyć gradient energii i (zwany też spadkiem hydraulicznym) oraz uogólnione wzory Darcy na obliczanie prędkości v filtracji wody przez grunt i prędkości rzeczywistej u przepływu wody:

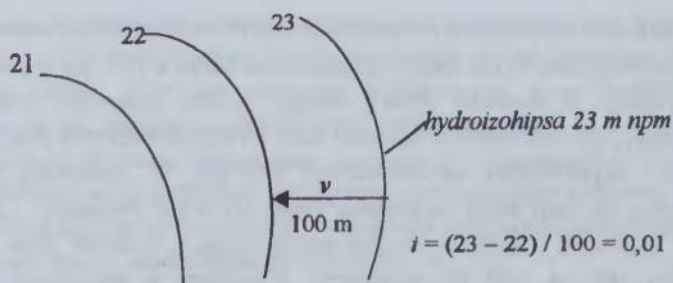
$$v = k(i - i_0), \quad u = v / n_e. \quad (5.1)$$

We wzorach tych k jest współczynnikiem wodoprzepuszczalności (filtracji) gruntu [m/d], i_0 – bezwymiarowym gradientem początkowym (ruch wody zaczyna się dopiero wtedy, gdy gradient i przekroczy wartość i_0), n_e – porowatością efektywną gruntu (dotyczącą przestrzeni dostępnych dla przepływu wody wolnej). Prędkość filtracji v jest wielkością umowną wyznaczaną w założeniu przepływu wody nie tylko przez pory efektywnie dostępne, ale przez cały przekrój gruntowy (razem z ziarnami i kamieniami) i dlatego w zagadnieniach, gdzie ważny jest czas przepływu wody, należy posługiwać się prędkością rzeczywistą u .

W problematyce budowlanej często konieczna jest znajomość kierunku i prędkości przepływu wody podziemnej. Do tego celu bardzo przydatna jest *mapa hydroizohips*. **Hydroizohipsy**, są to linie łączące punkty o jednakowej rzędnej zwierciadła swobodnego nad poziomem morza. W przypadku wody naporowej konstruowane są *mapy hydroizopiez*. **Hydroizopiezy** są to linie łączące punkty o jednakowej rzędnej zwierciadła piezometrycznego nad poziomem morza. Przykład wykorzystania mapy hydroizohips do omawianego celu podaje rys. 5.2. Kierunek przepływu wody przyjmuje się jako prostopadły do hydroizohips, zaś spadek hydrauliczny i wstawia się do wzorów (5.1), aby obliczyć prędkości przepływu wody.

Wielkości k , i_0 oraz n_e są parametrami układu szkielet grunty – ciecz i dla powszechnie występującej wody wolnej mają dla różnych gruntów w przybliżeniu wartości podane w tabeli 5.1 (przedziały wartości dotyczą przeciętnie stwierdzanych stanów zagęszczenia lub konsolidacji).

Liczne grunty wykazują silną anizotropię filtracyjną: zazwyczaj współczynnik filtracji w kierunku poziomym jest dużo większy niż w kierunku pionowym.



Rys. 5.2. Wyznaczanie kierunku i gradientu przepływu wody podziemnej

Tabela 5.1. Orientacyjne wartości współczynnika filtracji (k), początkowego gradientu hydraulicznego (i_0) oraz porowatości efektywnej (n_e) dla niektórych rodzajów gruntów podłoża budowlanego

Grunt	k [m/d]	i_0	n_e
Dobrze przepuszczalny – żwir, pospółka, piasek gruby i średni	> 25	0	0,2 – 0,6
Średnio przepuszczalny – piasek średni i drobny	25 – 10	0	0,2 – 0,5
Mało przepuszczalny – piasek drobny, torf słabo rozłożony	10 – 1	0	0,1 – 0,4
Słabo przepuszczalny – piasek pylasty, grunt mało spoisty, torf średnio i silnie rozłożony	$1 - 10^{-2}$	$< 0,5$	0,05 – 0,1
Bardzo słabo przepuszczalny – grunt średnio, zwięzły i bardzo spoisty	$< 10^{-2}$	0,5 – 30	0,01 – 0,05

5.4. Agresywność środowiska gruntowo-wodnego

Poważny wpływ na wartość budowlaną podłoża mają właściwości chemiczne środowiska gruntowo-wodnego. Dotyczy to zarówno obecności szkodliwych składników w wodzie wolnej, jak i występowania niektórych związków chemicznych w gruntach spoistych zawierających jedynie wodę związaną i wodę kapilarną. Na podstawie stężenia niektórych związków chemicznych wyróżnia się środowiska: *nieagresywne, słabo, średnio i silnie agresywne*.

Wyznaczenie chemicznego charakteru środowiska następuje na podstawie oznaczenia zawartości SO_4^{2-} , Mg^{2+} , NH_4^+ , CO_2 agresywnego, a także twardości przemijającej, kwasowości wymiennej oraz pH.

Ze względu na rodzaj oddziaływania roztworów wodnych na beton wyróżnia się następujące typy agresywności:

- **lugująca i amonowa** – powodują wmywanie i rozpuszczanie składników betonu,

– **kwaśna i węglanowa** – powodują wymywanie z betonu składników łatwo rozpuszczalnych w wodzie,

– **siarczanowa** – powoduje pęcznienie i pękanie betonu,

– **magnezowa** – powoduje utratę wiążących właściwości betonu.

Podane tu charakterystyki agresywności środowiska sformułowane zostały głównie w świetle oddziaływania na beton. W konkretnym zagadnieniu budowlanym należy jednak przeanalizować wpływ środowiska na każdy materiał budowlany w nim umieszczany (szczególnie konstrukcje metalowe). Należy też podać przykładowo, że elementy drewniane powinny być usytuowane poniżej najniższego (w okresie ich eksploatacji) poziomu wody podziemnej lub powierzchniowej, gdyż okresowe ich poddawanie wpływowi powietrza atmosferycznego powoduje ich szybkie (3 – 10 lat) butwienie. Jednak ta zasada zawodzi w przypadku wód bogatych w tlen.

6. PROCESY GEODYNAMICZNE

Pod pojęciem procesów geodynamicznych rozumie się wszystkie zjawiska zachodzące w podłożu gruntowym, które przekształcają jego pierwotną powierzchnię, układ warstw i właściwości fizyko-mechaniczne i chemiczne gruntów i wody podziemnej.

Charakterystyka procesów geodynamicznych stanowi ważną część oceny geologiczno-inżynierskiej terenu. Wiąże się to z faktem, że projektowany obiekt inżynierski zlokalizowany może być w obszarze o różnym stopniu natężenia procesów geodynamicznych, co rzutuje na specyfikę rozwiązań konstrukcyjnych. Równocześnie prace budowlane lub eksploatacja obiektu wywołać może rozwój procesów geodynamicznych, które pierwotnie w danym terenie nie były stwierdzane.

Procesy geodynamiczne pozostają w bardzo ścisłym powiązaniu z omówionymi poprzednio komponentami środowiska geologiczno-inżynierskiego, a więc z rzeźbą terenu, podłożem gruntowym i wodami podziemnymi.

Na podłoże budowlane oddziałują procesy endogeniczne i egzogeniczne. Procesy endogeniczne wywołane są czynnikami i siłami działającymi we wnętrzu Ziemi. Do obecnie postrzeganych przez człowieka procesów endogenicznych należą wulkanizm i trzęsienia ziemi. W skali czasu historycznego widoczne są pionowe ruchy skorupy ziemskiej (ruchy neotektoniczne, ruchy izostatyczne, halokineza). Natomiast w skali czasu geologicznego mówi się o procesach górotwórczych, poziomych ruchach poszczególnych części skorupy ziemskiej.

W problematyce budowlanej w sposób bezpośredni brane są pod uwagę procesy egzogeniczne, które wywołane są przez zespół czynników działających w przy-powierzchniowej i powierzchniowej części skorupy ziemskiej.

6.1. Procesy endogeniczne

W Polsce procesy endogeniczne przejawiają się na małą skalę, tak że w typowej działalności inżynierskiej nie są brane pod uwagę. Niemniej przy budownictwie specjalnym (np. ciężkim budownictwie wodnym i energetycznym w strefie górskiej) oraz planowaniu zagospodarowania hydrotechnicznego terenów nadmorskich (na dziesiątki lub na setki lat) lub problematyce ekologicznej są rozpatrywane.

6.1.1. Trzęsienia ziemi

Do zjawisk występujących niekiedy w Polsce należą trzęsienia ziemi (zjawiska sejsmiczne). Procesy te wywołane są przemieszczaniem ogromnych mas materii geologicznej we wnętrzu Ziemi głównie do głębokości 60 km, (maksymalnie do 200 – 700 km). Z miejsca ogniska trzęsienia ziemi, czyli **hipocentrum** fale sejsmiczne dochodzą do powierzchni Ziemi, a w miejscu najsilniejszych drgań na tej powierzchni, czyli w **epicentrum**, występują katastrofalne drgania ziemi. Na globie wydziela się obszary narażone na częste trzęsienia ziemi, są to **tereny sejsmiczne**, obszary gdzie zjawiska sejsmiczne występują sporadycznie,

które określa się jako **tereny pansejsmiczne** oraz obszary, na których w zasadzie nie ma trzęsień ziemi czyli **tereny asejsmiczne**.

Ocenę trzęsień ziemi przeprowadza się za pomocą skali intensywności (I) trzęsienia ziemi, której współtwórcami byli: Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), oraz skali wielkości, czyli magnitudy (M) trzęsienia ziemi opracowanej przez Richtera..

Skala intensywności (MCS) jest 12 stopniowa i oparta jest na wielkości przyspieszenia (relacji amplitudy do kwadratu okresu drgań), odzwierciedlając odczucie i skutki drgań ziemi:

I – Nieodczuwalne dla ludzi ($< 2,5 \text{ mm/s}^2$);

II – Odczuwalne przez ludzi na wyższych piętrach ($2,5 - 5 \text{ mm/s}^2$);

III – Podobne do wstrząsów odczuwalnych w pociągu, w mieszkaniach kołyszą się przedmioty ($6 - 10 \text{ mm/s}^2$);

IV – Drżą okna, naczynia i drzwi, na parkingach przesuwają się samochody ($11 - 25 \text{ mm/s}^2$);

V – Odczuwalne na zewnątrz budynków, kołyszą się drzwi, ludzie w mieszkaniach budzą się ($26 - 50 \text{ mm/s}^2$);

VI – Pękają szyby w oknach, obrazy spadają ze ścian, przesuwają się meble, mogą dzwonić małe dzwony ($51 - 100 \text{ mm/s}^2$);

VII – Trudno jest ustać na nogach, odpadają tynki z budynków, powstają szczeliny w ścianach, na jeziorach tworzą się fale ($101 - 250 \text{ mm/s}^2$);

VIII – Prowadzenie samochodów jest utrudnione, wałą się kominy i słabe ściany, w gruncie powstają szczeliny ($251 - 500 \text{ mm/s}^2$);

IX – Niszczone są słabe budynki, pękają rury podziemne, powstają duże szczeliny w ziemi ($501 - 1000 \text{ mm/s}^2$);

X – Większość budowli jest zniszczona, wyginają się szyny kolejowe, uszkodzone są groble i zapory, powstają olbrzymie osuwiska, ziemia ulega silnemu spękaniu ($1001 - 2500 \text{ mm/s}^2$);

XI – Pozostają tylko nieliczne domy, zniszczeniu ulegają trasy komunikacji kolejowej i drogowej, podziemna sieć rurociągów ulega całkowitemu zniszczeniu ($2501 - 5000 \text{ mm/s}^2$);

XII – Powierzchnia ziemi fałduje, przekształca się sieć rzeczna, przemieszczają się wielkie masy gruntu ($> 5000 \text{ mm/s}^2$).

Obecnie większe zastosowanie ma ocena trzęsień ziemi za pomocą aparaturowego określenia jej **wielkości, czyli magnitudy (M)**, która oceniana jest tzw. **stopniami w skali Richtera**. Magnituda stanowi logarytm największego poziomego odchylenia mierzonego w mikronach zapisanego na seismografie odległym o 100 km od epicentrum. Kolejna w szeregu wartość (stopień) magnitudy cechuje się 60 razy większą energią od niższej wartości (stopnia) magnitudy. Ponieważ w praktyce trudno jest dokładnie spełnić wymogi pomiaru aparaturowego, dlatego też odczuwalna przez ludzi intensywność (I) trzęsienia ziemi za pomocą prostego wzoru regresji przeliczana może być na wielkość trzęsienia ziemi (M):

$$M = 0,6I + 1,3$$

$$M = 0,6I + 1,3$$

$$M = 0,6 \text{ MCS} + 1,3$$

I odwrotnie, mając informację o wielkości (magnitudzie), za pomocą tego przeliczenia określić można intensywność, czyli zorientować się w skutkach trzęsienia ziemi

$$I = \frac{M - 1,3}{0,6}$$

Pod względem sejsmiczności Polskę dzieli się na trzy części. Część Polski położoną na wschód od linii Łeba – Leżajsk traktuje się jako obszar asejsmiczny. Natomiast część położoną na zachód od tej linii jako pansejsmiczny. Na południu kraju, Karpaty uważa się jako potencjalny obszar sejsmiczny. Podział ten związany jest z wgłębnymi strukturami tektonicznymi Polski, które warunkują zjawiska sejsmiczne. Na wschodzie kraju w podłożu występuje sztywne krystaliczne podłoże platformy wschodnioeuropejskiej. Na zachodzie znajdują się mniej sztywne struktury wgłębne związane górotwórczością paleozoiczną (kaledońska i hercyńska). Karpaty należą do młodych gór powstałych w czasie orogenezy alpejskiej i tu struktury wgłębne podlegają jeszcze dalszym wgłębnym przekształceniom.

W Polsce na początku XX w trzęsienia ziemi o intensywności 3 – 5 MCS dały się odczuć w pasie ciągnącym się od Szczecina, przez Wolin, Kołobrzeg, Koszalin po rejon Łeby. W latach trzydziestych i pod koniec XX w słabe trzęsienia ziemi wystąpiły w Lublinie, Warszawie, Płocku, Białymstoku, Wrocławiu. Słabe trzęsienia ziemi systematycznie występują na Podhalu. Ostatnie z nich o intensywności około 5 MCS było w roku 1995.

6.1.2. Pionowe ruchy skorupy ziemskiej

W całej Polsce rejestrowane są nieznaczne przemieszczenia skorupy ziemskiej. określane jako **ruchy neotektoniczne**. Są one końcowym efektem trzeciorzędowych ruchów górotwórczych na południu kraju. Na Niżu Polskim mają one amplitudę od –1,5 mm/rok do +0,5 mm/rok. W strefie wyżynnej, w lokalnych kotlinach dochodzą do 2 mm/rok, natomiast w strefie górskiej miejscami przekraczać mogą tę wielkość. W problematyce budownictwa ogólnego ruchy neotektoniczne nie są brane pod uwagę. Jednak w przypadku ciężkiego budownictwa hydrotechnicznego oraz budowli specjalnych (np. elektrownie), w których znajdują się urządzenia wrażliwe nawet na nieznaczne ruchy skorupy ziemskiej, zagadnienia te muszą być uwzględnione na etapie projektowania i realizacji tych obiektów.

Na polskim wybrzeżu Bałtyku zaznaczają się pionowe ruchy skorupy ziemskiej określane jako **izostatyczne**. Są to ruchy obniżające, stanowiące rekompensatę wydzwigania odciążonej od lądolodu Skandynawii. Mimo niewielkich, ale systematycznych przemieszczeń, wielkość tych ruchów uwzględniana jest przy prognozowaniu rozwoju brzegów morskich i ich ochronie. Nieznaczne bowiem obniżenie powierzchni lądu (podwyższenie poziomu morza) powoduje w konsekwencji znaczne zwiększenie szerokości pasa przejściowego znajdującego się na styku lądu z morzem.

W niektórych rejonach Polski poważny wpływ na intensywność rozwoju ruchów pionowych ma zjawisko **halokinezy**. Wywołane jest ono naciskiem nadległych kompleksów skalnych na znajdujące się w głębokim podłożu warstwy soli kamiennej, gipsu, anhydrytu, które ulegają uplastycznieniu i wyciskane są ku górze w nadległe skały osadowe. Formują się wtedy **wysady (diapiry) solne**, które przemieszczając się ku górze powodują zdeformowanie

pierwotnego, poziomego układu młodszych kompleksów skalnych. W przypadku projektowania rozległych i bardzo głębokich wykopów (np. kopalnie odkrywkowe węgla brunatnego) znajdujących się nad diapirami należy liczyć się z tym, że w efekcie odciążenia nastąpi gwałtowne wyzwolenie energii. Może ono mieć nawet efekt lokalnego trzęsienia ziemi naruszającego stateczność ścian wyrobiska i deformującego dno wykopu.

6.2. Procesy egzogeniczne

Procesy egzogeniczne wywołane są działaniem siły ciężkości Ziemi, promieniowaniem słonecznym, całokształtem zjawisk hydro-meteorologicznych, działaniem biosfery oraz celową i niekontrolowaną działalnością człowieka. Procesy te pozostają w bardzo ścisłym związku z omawianymi już komponentami środowiska geologiczno-inżynierskiego i mają najczęściej charakter nieodwracalny. Ważniejsze z punktu widzenia inżynierskiego procesy egzogeniczne zostały poniżej przedstawione tylko w sposób opisowy. Wieloma z nich w sposób szczegółowy zajmuje się mechanika gruntów, hydrologia oraz specjalne działy budownictwa lądowego i wodnego.

6.2.1. Wietrzenie

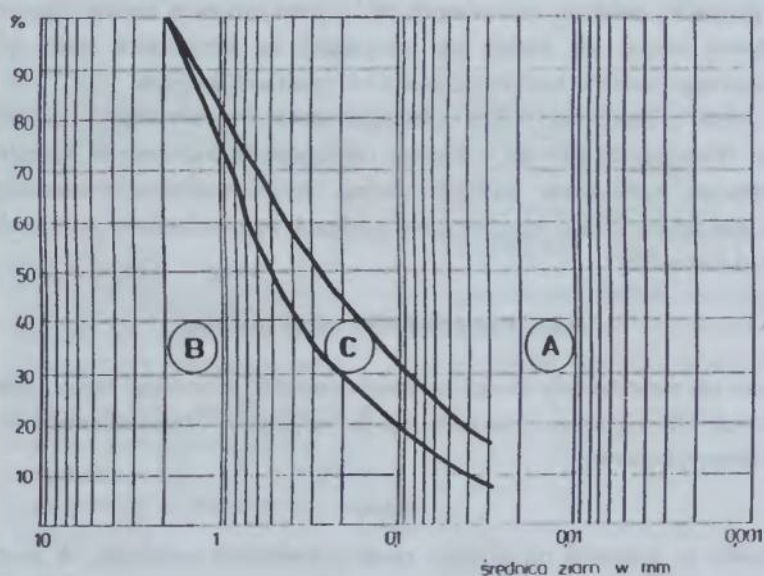
Wietrzenie stanowi proces fizycznego i chemicznego przekształcania cech podłoża gruntowego. Produktami wietrzenia są **osady eluwialne**, mogą to być rumosze kamieniste, (piargi, gołoborza), piaski lub materiał gliniasty.

Proces **wietrzenia fizycznego (mechanicznego)** rozwija się w efekcie zróżnicowanej rozszerzalności cieplnej poszczególnych minerałów znajdujących się w skale. Pod wpływem wahań temperatury zmieniają swoją objętość, powodując rozpad ziarnisty lub łuszczenie się skały. Poważnym czynnikiem niszczącym jest zamarzająca woda w porach i spękaniach (zamróz) powodująca blokowe lub ziarniste rozkruszanie skał.

Wietrzenie chemiczne rozwija się pod wpływem substancji chemicznych znajdujących się w wodach opadowych lub podziemnych. Następuje przekształcanie pierwotnych właściwości chemicznych skał. Twarda lita skała przekształca się w glinę zwietrzelinową składającą się z bardzo drobnych cząsteczek będących minerałami ilastymi (np. kaolinitem, illitem, smektytem).

Proces wietrzenia brany jest głównie pod uwagę wtedy, gdy podłoże zbudowane jest z gruntów skalistych, a zjawisko to spowodować może obniżenie wartości budowlanej podłoża lub stanowi zjawisko zagrażające właściwej eksploatacji budowli. Szczególnie podatne na wietrzenie są karpackie *skały fliszowe* (naprzemianległe ławice piaskowców i łupków ilastych), które pod wpływem czynników atmosferycznych bardzo szybko przechodzą w kamienisto-gliniastą zwietrzelinę.

Grunty nieskaliste mineralne nie podlegają typowemu wietrzeniu. Ujemne oddziaływanie czynników atmosferycznych obserwuje się głównie w podłożu zbudowanym z gruntów spoistych. Pod wpływem nawilgotnienia lub wysychania zmienia się ich konsystencja (od zwartej przez plastyczną do płynnej). Pod wpływem zamarzającej wody znajdującej się w gruncie formują się **wysadziny** (rys. 6.1). Zjawisko to jest szczególnie niepożądane w budownictwie drogowym (powstają **przełamy drogowe**) oraz kanalizacji (następują deformacje i pękanie rurociągów).



Podatność gruntów na pęcznienie mrozowe

A - występuje pęcznienie mrozowe, B - brak pęcznienia mrozowego,
C - pęcznienie mrozowe występuje w określonych warunkach

Wysadzinowość gruntu	Pochodzenie gruntu	Średnica średnia d mm	Zawartość frakcji w procentach		Kapilarność przy porównaniu odpowia- dającej wilgotności równej granicy płynności
			< 0,062 mm	< 0,125 mm	
Niewysadzinowy	osadzony w wodzie	> 0,1	< 33	< 55	< 10 m
	— II —	—	15	22	
Wysadzinowy, jedynie gdy jest wysoki poziom wody grunto- wej i powolne zamar- zanie	morenowy	0,1 - 0,07	30 - 50	—	1,0 - 1,75 m
	osadzony w wodzie	0,08 - 0,05	30 - 50	—	1,25 - 2,5 m
	morenowy	—	15 - 25	22 - 36	
	osadzony w wodzie	< 0,05	> 50	—	około 2,0 m
Normalnie wysadzi- nowy, przy zwierciadle wody gruntowej na głębokości 15 m w gruncie pochodzenia wodnego lub 10 m w gruncie morenowym	morenowy	—	> 25	> 36	

Kryterium podziału gruntów wysadzinowych

Rys. 6.1. Charakterystyka gruntów wysadzinowych (za G. Beskowem, 1935)

W przypadku obiektów budowlanych płytko posadowionych zmiany objętości gruntu pod wpływem mrozu lub zmiany ich konsystencji są przyczynami awarii w wyniku nierównomiernego osiadania budowli lub nawet ich wysadzania ku górze.

W wielu przypadkach proces wietrzenia może być wywołany sztucznie przez człowieka. Występuje to głównie w strefach oddziaływania budownictwa specjalnego, np. pod chłodniami, kotłowniami, wielkimi piecami. Proces wietrzenia chemicznego może zachodzić pod składowiskami odpadów lub w miejscach wprowadzania w podłoże aktywnych substancji chemicznych.

6.2.2. Powierzchniowe ruchy masowe

Proces ten zachodzi, gdy nastąpi naruszenie naturalnej równowagi stoku i masy gruntu pod wpływem siły ciężkości przemieszczane są ku dołowi. Wyodrębnia się tu spływy, osuwiska (zsuwy) i obrywy.

Spływy

Zjawisko to występuje na zboczach nawet o niewielkim nachyleniu. W procesie tym brak jest wyraźnej granicy między warstwą spływającą (spełzającą) a gruntem pozostającym na miejscu. W wyniku tego procesu u podnóża stoku gromadzi się płaszcz **osadów deluwialnych**, których właściwości cech fizyko-mechaniczne są znacznie gorsze od gruntów wyjściowych (słaba komprymacja, znaczna porowatość). Materiał deluwialny powoduje m.in. szkody w uprawach rolnych, zamulanie przepustów drogowych oraz systemów odwadniających trasy komunikacyjne.

Osuwiska

Z osuwiskiem mamy do czynienia wtedy, gdy przemieszczanie mas gruntu następuje wzdłuż wyraźnie zaznaczonej *powierzchni poślizgu (powierzchni ścinania)* rozgraniczającej przesunięte masy gruntu od pozostającego na miejscu podłoża. Na rysunku 6.2. przedstawiono szereg typów osuwisk formujących się w wyniku działania różnych naturalnych czynników sprawczych. W klasycznym osuwisku wyróżnia się w górnej części spękania brzeżne, stanowiące przyszlą granicę osuwiska, niszę osuwiskową i znajdującą się poniżej rynną osuwiskową oraz jezor osuwiskowy. Zsunięty ku dołowi materiał określany jest jako **osad kołuwialny**.

Zsuwy rozwijają się na stromych zboczach dolin i stokach górskich zbudowanych z gruntów o różnej przepuszczalności. Szczególnie silnie rozwijają się one w Karpatach na stokach zbudowanych z fliszowych gruntów skalistych. Procesy osuwiskowe występują również w strefie niżowej Polski na zboczach zbudowanych, głównie z gruntów spoistych (szczególnie ilów trzeciorzędowych oraz ilów zastoiskowych) lub zbudowanych z przewarstwiających się gruntów spoistych z piaszczystymi. Szczególnie podatne na ten proces są obszary, w których podłożu występują zaburzone glaciektogenicznie iły trzeciorzędowe.



(a)



(b)

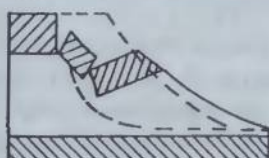
Osuwiska poślizgowe

Poślizg wielkich bloków gruntu w wyniku momentalnej utraty wytrzymałości (a) lub w efekcie spelzwywania przechodzącego w ścięcia (b)



Osuwiska wypierania

Przemieszczanie wielkich bloków gruntu w wyniku spelzwywania i wypierania warstwy gruntu słabego



Osuwiska wypływania

Przemieszczanie bloków warstwy górnej gruntu wskutek wypływania rozluźnionych gruntów zbocza lub jego wewnętrznej części



Osuwiska spływania

Spelzwywanie osadów powierzchniowych wywołane nadmiarem wody w stropie podłoża gruntowego



Osuwiska zapadania

Przemieszczanie gruntów w postaci bloków przechodzące w spłynięcia błotne w strefach nadmiernego zawilgotnienia, towarzyszy temu proces zapadania



Osuwiska rozrzedzenia

Nagłe rozrzedzenie podatnych gruntów i przemieszczenie ich w postaci spęźnieć błotnych

Rys. 6.2. Przykłady różnych rodzajów osuwisk (za L. A. Mołokowem, 1972 - zmieniłem)

Generalnie osuwiska powstają w efekcie nadmiernego nawodnienia gruntów (zwiększenie ich masy, obniżenie spójności międzywarstwowej oraz między poszczególnymi cząstkami gruntu). Sprzyja temu podcinanie podstawy stoku w wyniku działania erozji rzecznej lub abrazji morskiej. Na rozwój zjawisk osuwiskowych wpływa niewłaściwe zagospodarowanie stoku przez człowieka. Dotyczy to szczególnie przeciążenia jego górnej części budowlami lub nasypami, podcinaniem podstawy stoku, oddziaływaniem na stok drgań wywołanych przez pojazdy lub urządzenie mechaniczne a także kierowaniem na stok odcinków z drenów, wylewisk, uszkodzonych kanalizacji.

Przemieszczane ku dołowi masy gruntu nazywane są **kołowiami**. Cechują się one zdecydowanie gorszymi właściwościami budowlanymi niż grunty znajdujące się na pierwotnym złożu. Dotyczy to głównie bryłowego spękania mas gruntu i trudnych do określenia zmian w układzie warstw gruntu.

Zsuwy wywołują poważne awarie budowlane w górnej przykrawędziowej części stoku („rozluźnienie” podłoża budowlanego), niszczenie konstrukcji budowlanych na stoku oraz niszczenie obiektów inżynierskich znajdujących się u podstawy stoku, które wraz z masami gruntu przemieszczają się ku podstawie zbocza.

Obrywy

Obrywy występują wtedy, gdy materiał budujący stoki odrywa się od pierwotnego podłoża i bardzo szybko ruchem rotacyjnym po stoku lub w powietrzu przemieszcza się ku dołowi. Zjawisko to typowe jest dla strefy górskiej na stromych stokach zbudowanych z gruntów skalistych, które poddane są procesowi silnego wietrzenia.

Zjawisko to w klasycznej formie nie występuje na Niziu Polskim. Na proces ten narażone są jedynie strome ściany klifów podcinane wodami morskimi, oraz strome zbocza dolin podcinane przez rzeczna erozję boczną.

6.2.3. Procesy wywołane wodami podziemnymi

W podłożu gruntowym rozwija się szereg zjawisk geodynamicznych wywołanych przez znajdujące się tam w różnej formie wody podziemne.

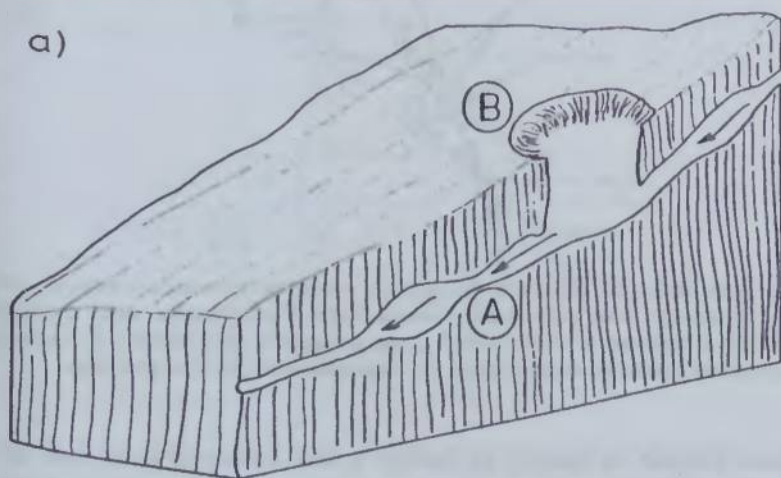
Kras

W gruntach skalistych nieodpornych na działanie słabych roztworów chemicznych (głównie agresywnego CO₂, kwasu węglowego) znajdujących się w wodach opadowych i podziemnych rozwija się proces **krasu**. Polega on na ługowaniu i rozpuszczaniu mineralnych składników skał. Rozwija się głównie w skałach wapiennych oraz gipsach. W efekcie w kompleksie skalnym tworzy się szereg złożonych systemów wolnych przestrzeni (kominy, pieczary, chodniki, tunele itp.). Do rozwoju krasu przyczynia się również człowiek wprowadzając w podłoże substancje chemiczne ługujące grunty skalne. Niewidoczne z powierzchni pustki w podłożu gruntowym są w strefie wyżynnej powodem wielu awarii budowlanych związanych z katastrofalnym zapadaniem się fundamentów.

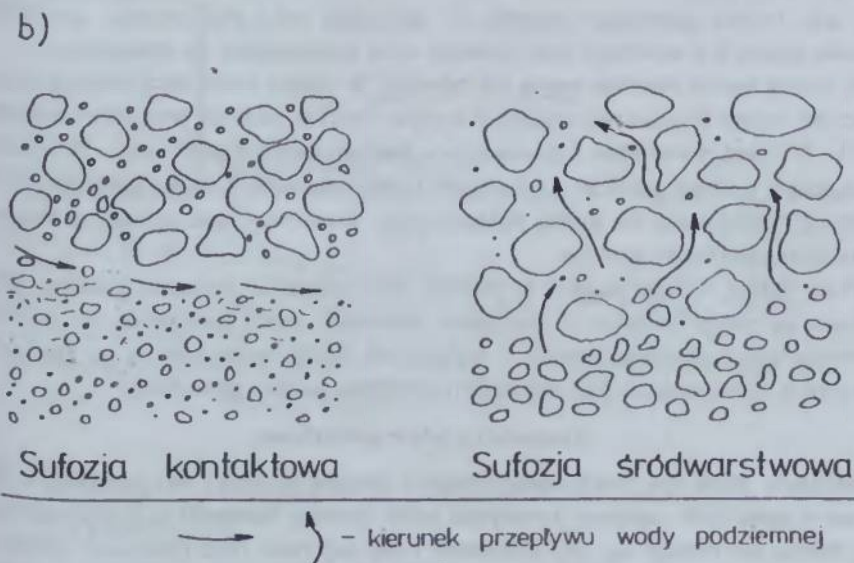
Sufozja

W podłożach zbudowanych z gruntów pyłowych lub drobno warstewkowanych gruntów piaszczysto-pyłowych, przy odpowiednim spiętrzeniu wody podziemnej i wzroście prędkości jej przepływu pojawia się zjawisko **sufozji**. Jest to proces polegający na ługowaniu,

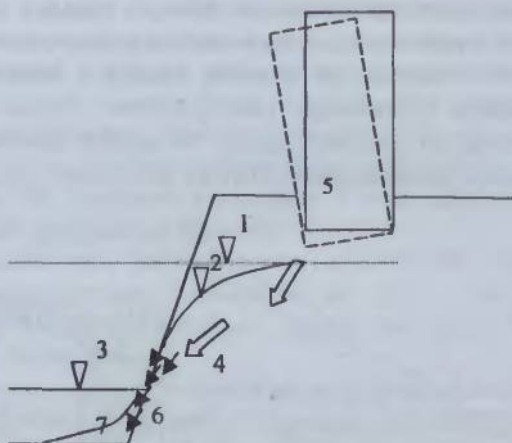
ale głównie mechanicznym wymywaniu drobnych cząstek i ziaren mineralnych szkieletu gruntowego. W wyniku tego zjawiska w podłożu gruntowym zaczynają pojawiać się wolne przestrzenie, które układają się w system kanałów i kawern (rys. 6.3a, b). Następuje osłabienie podłoża budowlanego, które gwałtownie zapada się nawet pod wpływem obciążenia nadległymi warstwami gruntu. W terenach zabudowanych doprowadza to do nierównomiernego osiadania obiektów i awarii budowlanych (rys. 6.4).



Korytarz /A/ i kocioł sufozyjny /B/



Rys. 6.3.a, b. Przykład zjawiska sufozji i jej skutków w podłożu gruntowym: a – w skałach litych, b – w gruntach niespoistych



Rys. 6.4. Sufozja jako przyczyna przechyłki budowli: 1 – pierwotne zwierciadło swobodnej wody podziemnej, 2 – zwierciadło wody podziemnej obniżone wskutek pompowania wody z wykopu, 3 – zwierciadło wody w wykopie, 4 – trasa cząstek gruntu usuwanych spod budowli, 5 – budowla, 6 – rejon sufozji piasku ze skarpy wykopu, 7 – rejon odkładania piasku wypłukanego

Szczególnie podatne na sufozję są pyłowe grunty makroporowate, czyli lessy, występujące w strefie wyżynnej Polski oraz na przedpolu Sudetów i Karpat. Na Niziu Polskim proces sufozji rozwija się przeważnie na obszarach związanych z osadami pochodzenia limnoglacialnego, a częściowo kemowego. Proces ten zaznacza się szczególnie w obrębie zboczy, gdy istnieją sprzyjające warunki do spiętrzania wód podziemnych, powodując zwiększenia spadku hydraulicznego oraz prędkości wody przesączającej się przez grunt.

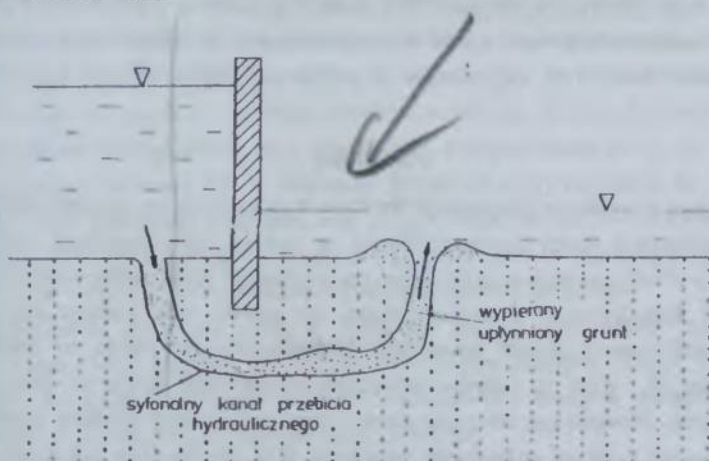
Na rozwój sufozji poważny wpływ ma człowiek. W efekcie awarii sieci wodociągowo-kanalizacyjnej następuje sztuczne zwiększenie dopływu wody w podłoże, przez które zaczyna ona szybko filtrować, wymywając z gruntu drobne składniki szkieletu gruntowego. W wyniku wprowadzania w podłoże głębokich fundamentów następować może sztuczne spiętrzanie wód podziemnych i zwiększenie ich spadku hydraulicznego, towarzyszy temu podziemne rozmywanie szkieletu mineralnego gruntów.

Proces sufozji rozwija się też w podłożu zbudowanym z drobnych piasków, gdy prowadzone są zabiegi związane z obniżaniem zwierciadła wody podziemnej. W wyniku intensywnego wypompowywania wody z wykopu lub studni wynoszone są na zewnątrz również drobne ziarna mineralne, co powoduje rozrzedzenie podłoża gruntowego.

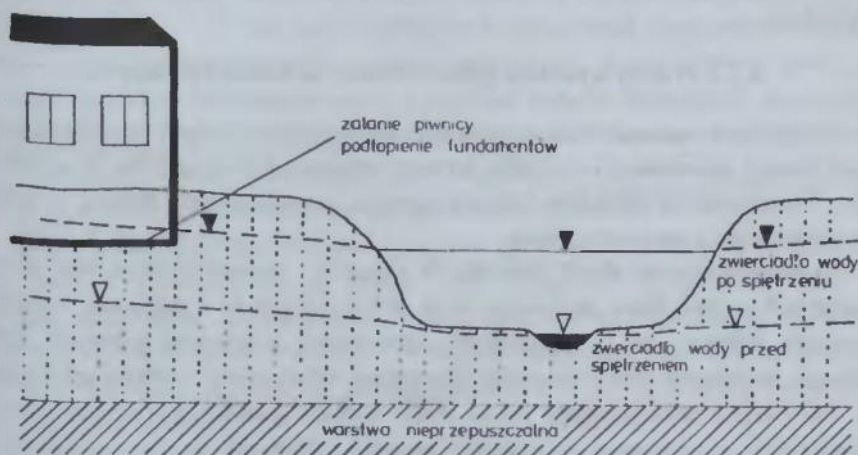
Kurzawka i przebiecie hydrauliczne

Znajdująca się w warstwach zbudowanych z piasków drobnych lub pylastych woda podziemna o zwierciadle napiętym wywoływać może zjawisko **kurzawki** czyli **upłynnienia gruntu**. Proces ten rozwija się, gdy podziemne wody naporowe (pod ciśnieniem) przerwą znajdującą się w ich stropie warstwę gruntu nieprzepuszczalnego i wypłyną do miejsc odciążonych (np. wykopów fundamentowych, tuneli, chodników podziemnych). Zjawisko to

rozwijac się może również, jeżeli w efekcie podwyższonego ciśnienia wody powierzchniowej w sztucznym zbiorniku, następuje zwiększona jej infiltracja pod przegradzającą ją zaporą. Wyływająca po drugiej stronie zapory woda wraz z rozmytym gruntem powoduje rozrzedzenie podłoża. Jest to określane jako przebiecie hydrauliczne (rys. 6.5) powodujące katastrofalne awarie zapór.



Schemat przebiecia hydraulicznego podłoża w wyniku spiętrzenia wody powierzchniowej jazem



Schemat zatapiania i podtapiania terenów budowlanych

Rys. 6.5. Przykłady zjawisk geodynamicznych w podłożu gruntowym wywołanych spiętrzeniem wód powierzchniowych

Tiksotropia

W podłożach zbudowanych z gruntów bardzo spoistych, w których znajdują się minerały ilaste z grupy smektytu rozwijać się może proces **tiksotropii**. Polega on na tym, że pod wpływem wibracji spowodowanej pracą sprzętu mechanicznego, grunty mające konsystencję twardoplastyczną lub plastyczną ulegają upłynnieniu. Na proces ten szczególnie podatne jest podłoże zbudowane z ilów trzeciorzędowych. W efekcie tego zjawiska grunt w sposób katastrofalny traci swą nośność i podziemne części budowli nierównomiernie osiadają.

Podtapianie

Bardzo niekorzystne dla eksploatacji obiektów budowlanych jest zjawisko **podtapiania**. W efekcie spiętrzenia wody powierzchniowej w ciekach lub zbiornikach następuje jej infiltracja w podłoże gruntowe, powodując podwyższenie zwierciadła wody podziemnej (rys. 6.5). W konsekwencji, w strefie drenażu lub spływu wód podziemnych następuje podtapianie podziemnych części konstrukcji budowlanych. Wywołuje to zmianę stanu gruntów spoistych, które z twardoplastycznych przechodzić mogą w plastyczne lub miękkoplastyczne. Następować też może zmniejszenie zagęszczenia gruntów sypkich. Obok obniżenia nośności podłoża gruntowego występuje silne zawilgocenie podziemnych części budowli, a nawet niekiedy „zalanie” piwnic wodą. Zjawisko podtapiania wywołane może też być w sposób niezamierzony spiętrzeniem wody sączeniowej, przez podziemne części obiektów budowlanych, które usytuowane są na stoku prostopadle do kierunku spływu wód podziemnych.

6.2.4. Procesy wywołane powierzchniowymi wodami płynącymi

W efekcie okresowego, skoncentrowanego spływu wód opadowych po stoku rozwija się proces **abłacji deszczowej**, w wyniku którego następuje liniowe rozcinanie powierzchni terenu. Początkowo są to złobiny i bruzdy erozyjne, rozwijające się z czasem w wąwozy, a następnie „suche”, nieckowate doliny.

Intensywne procesy abłacji zachodzą na zboczach i stokach górskich oraz zboczach i krawędziach wyzyn, które zbudowane są ze skał podatnych na rozmywanie. Szczególnie intensywnie zaznacza się na krawędziach zbudowanych z utworów pyłowych, głównie lessowych. W terenach tych obserwujemy dendrytowy układ szybko rozwijających się wąwozów. Na obszarze Niżu Polskiego proces abłacji zachodzi głównie na zboczach wysoczyzn plejstocенskich zbudowanych z gruntów spoistych. Zaznacza się on również na nie utrwalonych skarpach wykopów, przekopów i nasypów.

Proces abłacji występuje nie tylko po intensywnych opadach deszczu, ale zaznacza się również wczesną wiosną w czasie topnienia pokrywy śnieżnej i rozmarzania podłoża gruntowego. Wtedy wody spływając w sposób skoncentrowany po stokach i skarpach powodują ich liniowe rozcinanie.

Wody płynące ciekami wywołują proces erozji rzecznej, czyli niszczenia brzegów i dna koryta rzecznego. W efekcie erozji wgłębnej, której intensywność potęguje się wraz ze wzrostem prędkości płynięcia wody, następuje wcinanie się cieku w podłoże.

Ponieważ w dnie koryta rzeka wcina się w podłoże zbudowane z gruntów o różnej twardości, profil podłużny koryta jest niewyrównany. Zjawisko wyrównywania profilu cieku określane jest jako erozja wsteczna. Uważa się, że erozja ta rozpoczyna swą działalność od dołu rzeki, idąc stopniowo w stronę jej źródeł. Ze względu na lokalne ruchy tektoniczne i zmienne przepływy, zasada ta w szeregu przypadków odbiega od założeń teoretycznych.

Rozmywany materiał dennej, czyli rumowisko, transportowany jest przez przesuwanie, toczenie, saltację (skokowo) lub w zawiesinie. Prędkości wody potrzebne do uruchomienia rumowiska i jego transportu oraz osadzania przedstawiono na rys. 6.6. Odkładane w dnie rumowisko rzeczne charakteryzuje się różnym typem warstewkowania (rys. 6.6), które zależy od siły przepływu wody w cieku i wielkości (masy) rumowiska rzecznego.

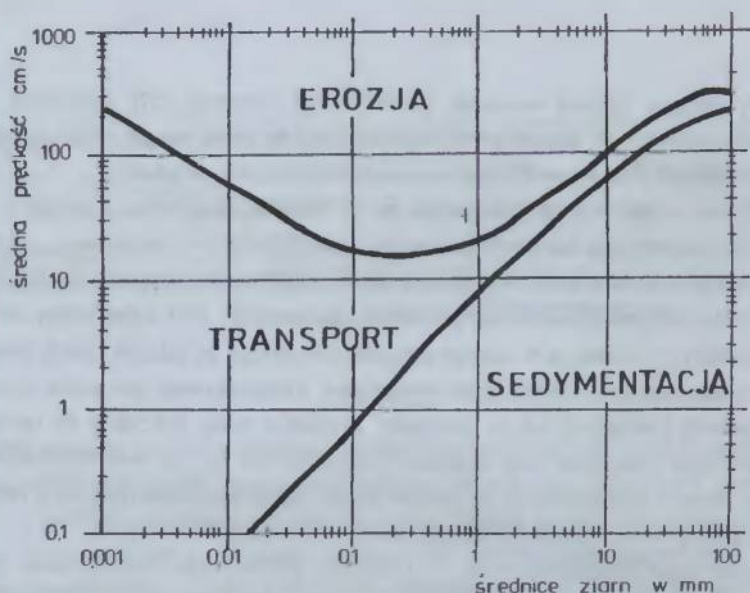
Różnicowanie prędkości wody w przekroju poprzecznym koryta cieku powoduje rozwój procesu erozji bocznej. W efekcie podmywania brzegów koryta, rzeka zaczyna płynąć zakolami (rzeka meandruje). Materiał z podcinanych brzegów wklęsłych odkładany jest poniżej na przeciwnych wypukłych brzegach koryta.

Erozja rzeczna obok bezpośrednich skutków niszczących wywołuje rozwój innych procesów geodynamicznych. Na przykład w wyniku podcinania zboczy doliny następuje rozwój powierzchniowych ruchów masowych. Natomiast depozycja (odkładanie się) transportowanego rzekami rumowiska powoduje zamulanie przepływowych jezior i sztucznych zbiorników wodnych oraz torów żeglugowych. Występować mogą awarie funkcjonowania urządzeń hydrotechnicznych (zastawki, przepusty). Transportowane przez ciek rumowisko powoduje ścieranie elementów konstrukcji budowli znajdujących się w wodzie (np. przyczółków i filarów mostowych). W efekcie niewłaściwego zagospodarowania hydrotechnicznego cieków systemem przegród człowiek powodować może rozwój erozji wstecznej i wgłębnej oraz niekontrolowaną akumulację rumowiska w dnie doliny.

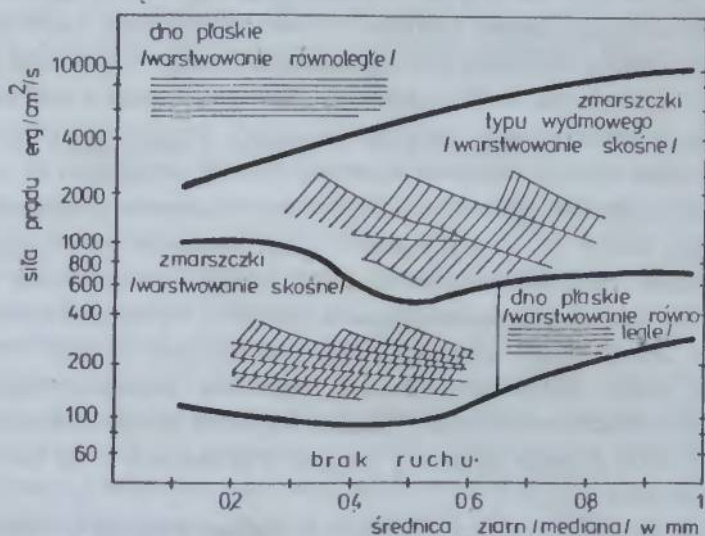
Groźnym dla człowieka jest proces zatapiania (powodzi). Występujące z koryta wody cieku zalewają obszar terasy zalewowej. Obok bezpośrednich skutków związanych z zalaniem dna doliny, podmywaniem zboczy, niszczeniem przyczółków mostowych, niszczeniem wałów przeciwpowodziowych, występują negatywne zjawiska towarzyszące. Na przykład w dnie doliny rozwijają się procesy bagienne, a na zboczach doliny zaznaczać się może proces podtapiania.

W okresach mroźnych zim niszczące zjawiska dynamiczne występują w efekcie spływu rzekami kier lodowych, które w wyniku spiętrzenia w miejscach zatorów lodowych wywierają duże naciski na konstrukcje mostowe i techniczne zabezpieczenia brzegów rzeki, doprowadzając w konsekwencji do niszczenia tych obiektów.

Na niekorzystne działanie wód rzecznych wpływa gospodarcza działalność człowieka. Obserwuje się, że w wyniku zwężania terasy zalewowej przez wały przeciwpowodziowe,



Zależność między średnicą ziaren a prędkościami prądu wody, przy których następuje erozja, transport i sedymentacja (wg F. Hjølströma, 1935)



Zależność między mikromorfologią dna a siłą przepływu i wielkością poruszanego materiału (za J. R. L. Allenem, 1970)

Rys. 6.6. Prędkości wody na wysokości 1 m nad dnem powodujące erozję, transport i sedymentację rumowiska w ciekach oraz powierzchnia dna cieków przy różnej sile prądu wody w cieku

następuje silna akumulacja aluwii w obszarze międzywału. W konsekwencji tereny poza wałami znajdować się mogą znacznie niżej niż zwierciadło wody w rzece, są to tak zwane **poldery**. W przypadku wystąpienia wysokich stanów wody w cieku i przerwania wałów przeciwpowodziowych następuje groźne w skutkach zalanie dna doliny rzecznej i kosztowne techniczne odwodnienie terenów znajdujących się na zawału.

W rejonach zurbanizowanych złe usytuowanie wylotów kanałów burzowych powodować może zjawisko wdzierania się nimi od strony rzeki spiętrzonych wód powodziowych i zalewanie znacznych części terenów miejskich.

6.2.5. Procesy w zbiornikach wodnych

Dynamiczne oddziaływanie fal na brzeg zbiorników wodnych (jezior, sztucznych zalewów) powoduje procesy niszczenia brzegów, czyli **abrazję**. Formują się wysokie strome nadbrzeża określane jako **klify**. Na ich zboczach rozwijają się zjawiska powierzchniowych ruchów masowych, występują procesy zmywów powierzchniowych oraz ablacji deszczowej. Zjawisko niszczenia brzegów potęgowane jest w przypadku naturalnych i sztucznych zbiorników, gdy falowaniu towarzyszy szybka zmiana położenia zwierciadła wody (napelnianie i spuszczenie wody w zbiornikach elektrowni szczytowo-pompowych). Średnio-okresowe lub długookresowe zmiany położenia zwierciadła wody w zbiornikach rzutują na rozwój lub zanik procesu podtapiania terenów sąsiadujących.

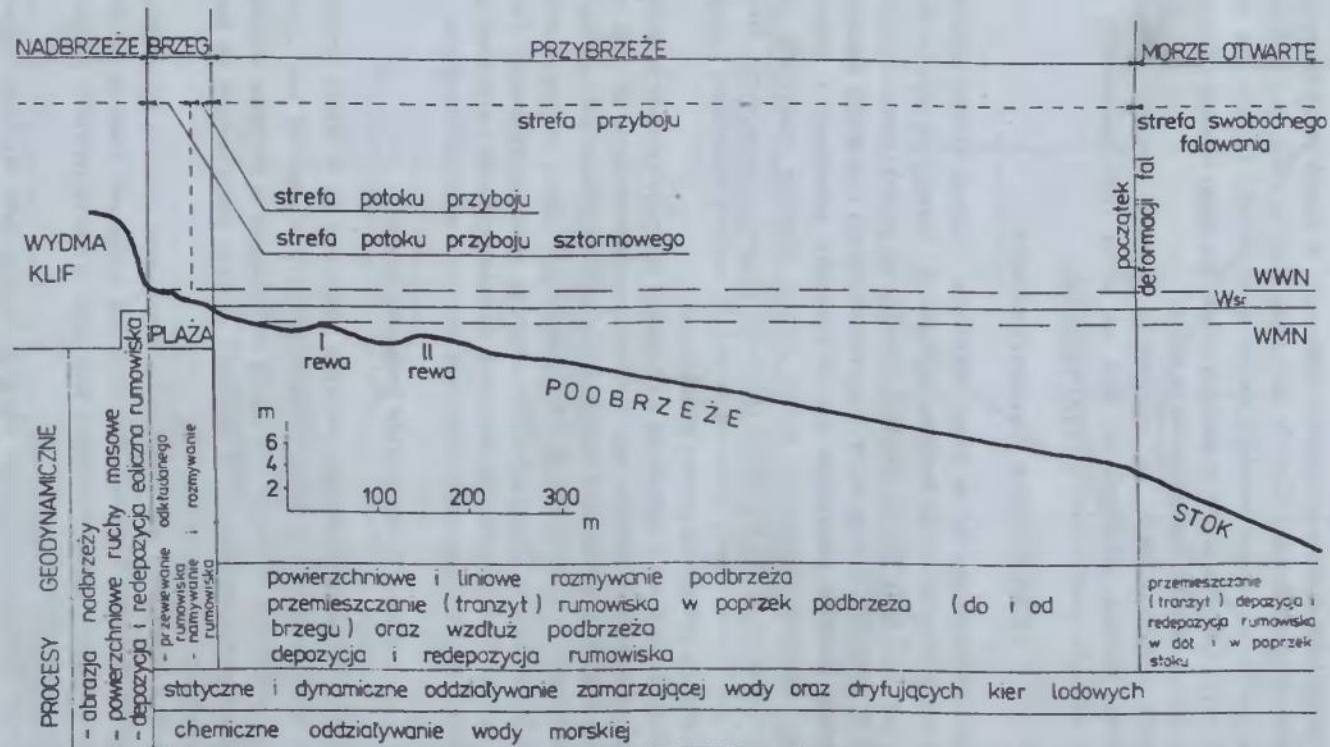
W zbiornikach śródlądowych naturalnych i sztucznych następuje akumulacja materiału pochodzącego z rozmywanych brzegów oraz rumowiska doprowadzanego do nich przez cieki. W strefach o słabej dynamice wód następuje osadzanie rumowiska oraz obumarłych szczątków organicznych – tworzą się namuły. Obok osadów mineralnych na dnie zbiorników powstają gytie i kreda jeziorna. Brzegi zbiorników wodnych zarastają roślinnością. Tworzą się tu torfy lub namuły. W efekcie procesu akumulacji następuje spłykanie i stopniowy zanik zbiorników jeziornych oraz skracanie czasu eksploatacji sztucznych zbiorników wodnych.

6.2.6. Procesy w strefie brzegowej morza

Procesy morfodynamiczne szczególnie wyraźnie zaznaczają się w strefie brzegowej morza. Podział strefy brzegowej polskiego Bałtyku oraz rozwijające się tam zjawiska geodynamiczne przedstawiono na rys. 6.7. [Na rozwój zachodzących tu procesów decydujący wpływ ma falowanie wywołane wiatrem.] W zależności od stanu morza zmienia się energia oddziałująca na strefę brzegową morza (rys. 6.8).

W wyniku długookresowego oddziaływania zdeformowanych morskich fal wiatrowych na ląd, kształtuje się łukowaty (zatoczkowaty) zarys linii brzegowej. Linia ta w wyniku sezonowych zmian dynamiki morza w mniejszej skali ulega przeformowywaniu, przyjmując kształt sierpowaty, sinusoidalny lub prosty.

Pod wpływem falowania wiatrowego następuje kształtowanie wybrzeży klifowych (niszczonych-abrazyjnych) oraz mierzejowo-wydmowych („akumulacyjnych”).



Rys. 6.7. Podstawowe procesy geodynamiczne działające w strefie brzegowej polskiego Bałtyku (WWN – poziom morza najwyższy, Wsr – poziom morza średni, WMN – poziom morza najniższy)

RUCH WODY	FALE OSCYLACYJNE	ZALAMANIE FALI	FALE TRANSLACYJNE, PRĄDY PRZYBOJOWE, PRĄDY WSTECZNE	UDERZENIE FALI	NAPŁYW, SPŁYW	WIATR
STREFA	PLYTKOWODNA	ZALAMANIA FALI	PRZYBOJU	PRZEJŚCOWA	NAMYWU	PLAŻA
PROFIL						
ZIARNA OSADU	Grubsze	Najgrubsze	Grubsze	O dwu frakcjach	Grubsze	Rozwiewane
PROCES	Depozycja	Erozja	Transport	Erozja	Depozycja i erozja	
SORTOWANIE	Lepsze	Gorsze	Mieszane	Stabe	Lepsze	
ENERGIA	Rosnąca	Wysoka	Stopniowo zmienna	Wysoka		

Cechy litodynamiczne strefy brzegowej (wg J.C. Ingle, 1966)

Stany morza wg skali Beauforta	WPLYW WIATRU NA MORZE	ŚREDNIE ELEMENTY FALOWANIA			
		WYSOKOŚĆ FALI (h) m	DŁUGOŚĆ FALI (L) m	OKRES FALI (T) s	SIŁA FALI $E = \frac{1}{2} \rho g h^3 : 8$ kN/m ²
1	Lekko pomarszczone				
2	Lekko szalowane, małe krótkie fale	0,6	22	3,7	0,45
3	Zalamywanie grzbietów, przybój z poszumem	0,9	29	4,3	1,01
4	Fale umiarkowane, białe grzbień, czasem piana	1,4	35	4,7	2,45
5	Fale większe, grzywacz, piana	1,8	40	5,0	4,05
6	Piętrzenie się morza, pasma piany zwiewnej	2,3	46	5,4	6,61
7	Różnie wysokość grzbień, łaczenie tal uderzenia przyboju	2,9	53	5,8	10,51
8	Wysokie wały, przewalające grzywy	3,5	60	6,2	15,31
9	Wały i góry wodne długie i wysokie, wiatr rozpyla grzbień tal, grzmiennie morza	4,1	69	6,6	21,01
	WG K. ŁOMNIEWSKIEGO, 1969	wg A. MARSZA, 1966			g - ciężar 1 m ³ wody morskiej

Rys. 6.8. Niektóre cechy litodynamiczne i hydrodynamiczne strefy brzegowej polskiego Bałtyku zestawione wg różnych autorów

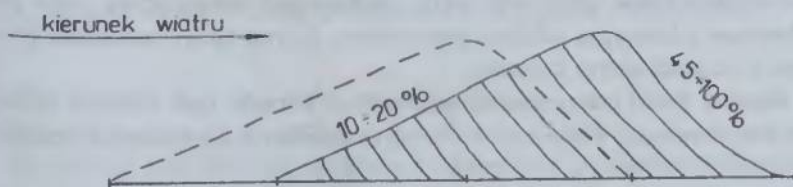
W podbrzeżu zachodzi transport rumowiska, które przemieszczane jest równolegle i poprzecznie do brzegu. W strefach o słabszej dynamice wód morskich następuje deponowanie rumowiska, efektem czego jest zamulanie torów wodnych i dojść do portów. Na proces abrazji jak i depozycję rumowiska w znacznym stopniu wpływa człowiek przez hydrotechniczną zabudowę strefy brzegowej.]

[Odkładane na brzegu (na plaży) rumowisko piaszczyste w wyniku przewiewania stanowi tworzywo dla wałów wydm nabrzeżnych.] Jest to na wybrzeżu morskim bardzo pożądany proces, w efekcie którego następuje naturalne zjawisko odtwarzania zniszczonego nadbrzeża. Jednocześnie wydmy nadbrzeżne spełniają rolę naturalnych wałów przeciwpowodziowych chroniących lądowe zaplecze przed zalaniem ich spiętrzonymi wodami sztormowymi.

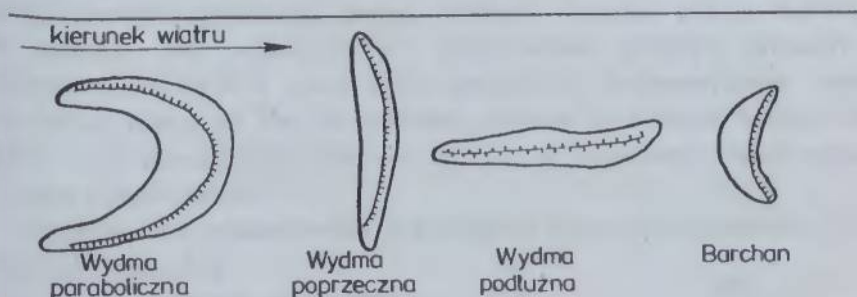
[Transportowane w podbrzeżu rumowisko powoduje silne ścieranie znajdujących się w strefie przyboju elementów konstrukcji hydrotechnicznych.] W okresach zimowych niekorzystne oddziaływanie na budowle morskie wywiera zamarzająca na nich woda fal morskich. Złodzenie tych konstrukcji w sposób dodatkowy obciąża statycznie te obiekty. Katastrofalne w skutkach są również dla budowli morskich naciski boczne spiętrzonych kier lodowych dryfujących w okresie zimowym wzdłuż brzegu morskiego. Niszczone są wtedy falochrony i mola. [Należy też odnotować, że woda Bałtyku oddziałuje agresywnie na morskie konstrukcje metalowe i betonowe.]

6.2.7. Procesy wywołane działaniem wiatru

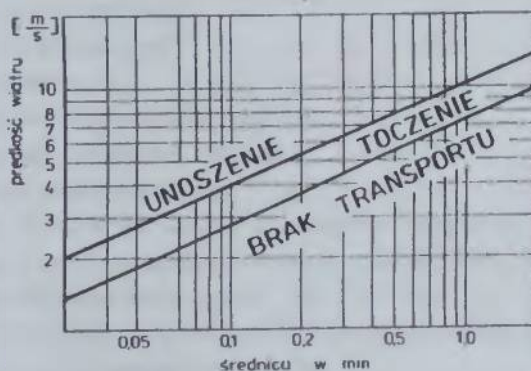
[Zjawiska geodynamiczne wywołane działaniem wiatru określane są jako **eoliczne**. Procesy te rozwijają się na suchym, nie porośniętym roślinnością podłożu piaszczystym. Na procesy te szczególnie narażone są tereny zbudowane z piasków fluwiogłacialnych (np. sandry) oraz piasków rzecznych (np. terasy nadzalewowe).] Ziarna piasku przemieszczane są po powierzchni terenu lub w zawiesinie powietrznej zgodnie z kierunkiem wiatru (rys. 6.9). [W efekcie transportu oraz akumulacji materiału piaszczystego rozwija się **proces wydymotwórczy**.] Formują się pojedyncze wydmy o różnych kształtach lub całe ich zespoły określane jako pola wydymowe. Profil poprzeczny wydmy, z wyjątkiem wału wydymowego podłużnego, jest asymetryczny, zbocza dowietrzne są bardziej łagodne od zboczy zawietrznych. [Zjawisko wywiewania piasku nazywa się **deflacją**.] W miejscach, z których wywiewany jest piasek, tworzą się zagłębienia określane jako **misy deflacyjne**. Z chwilą obniżenia się misy deflacyjnej do poziomu menisków kapilarnych wody podziemnej następuje zanik procesu eolicznego i w miejscu tym mogą tworzyć się grunty organiczne, które są później przysypywane nanoszonym przez wiatr piaskiem.



Przesuwanie się wydmy



Podstawowe kształty wydmy



Zależność między średnicą ziarn i prędkością wiatru a rodzajem transportu (za L Pernarowskim, 1959)

Rys. 6.9. Typy morfologiczne wydmy i prędkości wiatru powodujące rozwiewanie, transport i depozycję piasku

Niszczenie naturalnej pokrywy na wydmach śródlądowych jest zjawiskiem szkodliwym, gdyż uruchomione przez wiatr piaski zasypują obszary już zagospodarowane przez rolnictwo lub osadnictwo. Natomiast na wybrzeżu morskim procesy wydmywawcze są celowo ukierunkowywane, gdyż wały wydm nadbrzeżnych zabezpieczają nisko położone zagospodarowane rekreacyjne, rolniczo, przemysłowo, lądowe tereny nadmorskie przed ich zatapianiem w okresach silnych sztormów.

Na obszarze Polski praktycznie nie ma znaczenia korazja, czyli niszczące (ścierające) działanie transportowanego wiatrem piasku twardych naturalnych lub sztucznych przeszkód.

7. CECHY GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE RÓŻNYCH GENETYCZNIE OBSZARÓW STREFY NIŻOWEJ

7.1. Wprowadzenie

Na obszarze Nizy Polskiego wydzielono 10 obszarów geologiczno inżynierskich. Jako obszar **geologiczno-inżynierski** przyjęto przypowierzchniowy wycinek przestrzeni skorupy ziemskiej charakteryzujący się z punktu widzenia inżynierjno-budowlanego zbliżonymi cechami urzeźbienia powierzchni terenu, podobnymi walorami podłoża budowlanego i właściwościami wód podziemnych oraz oddziaływaniem podobnych procesów geodynamicznych. Obszary te w sposób istotny nawiązują do morfogenetycznego charakteru strefy niżowej, dlatego też przy ich wydzielaniu stanowiły one kryterium wiodące. Z tego względu nazwy poszczególnych obszarów nawiązują do terminologii i treści pojęciowej stosowanej w geomorfologii.

Wydzielono i scharakteryzowano pod względem geologiczno-inżynierskim 10 typowych obszarów (rys. 7.1):

- obszar wysoczyzny moreny czołowej,
- obszar wysoczyzny moreny dennej,
- obszar wysoczyzny zaburzonej gładitektonicznie,
- obszar wysoczyzny kemowej,
- obszar wysoczyzny sandrowej,
- obszar równiny zastoiskowej,
- obszar pól wydmyowych,
- obszar terasy nadzalewowej dolin rzecznych,
- obszar terasy zalewowej doliny rzecznej,
- obszar równiny bagiennie-torfowej.

Chcąc w miarę szczegółowo omówić poszczególne komponenty środowiska geologiczno-inżynierskiego, a treści te przekazać w sposób możliwie krótki i przejrzysty, zaprezentowano je w formie zestawień tabelarycznych (tab. 7.1 – 7.10).

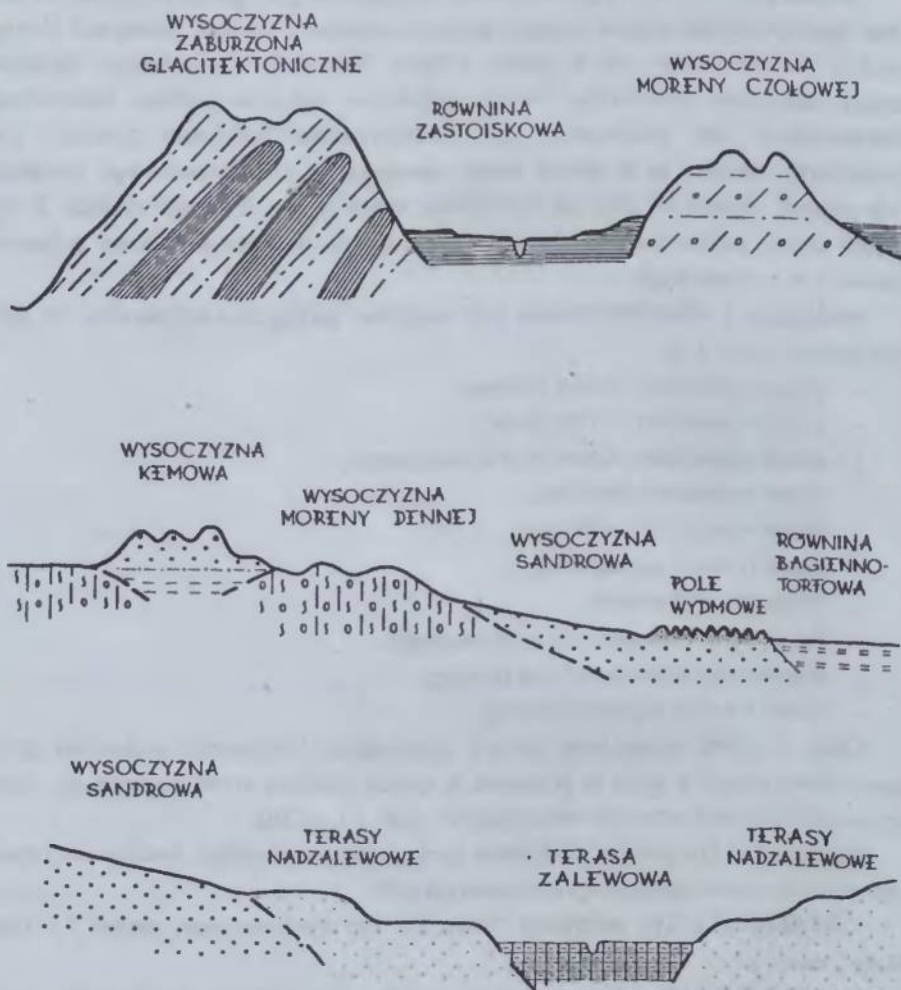
Poszczególne komponenty środowiska geologiczno-inżynierskiego bonitowano i kwalifikowano na podstawie poniżej zaprezentowanych cech.

I. RZEŹBA (I.1. Typ genetyczny rzeźby. I.2. Typ morfometryczny rzeźby. I.3. Deniwelacje i spadki powierzchni terenu.)

II. GRUNTY (II.1. Wiek i geneza gruntów. II.2. Ułożenie przestrzenne warstw gruntowych. II.3. Rodzaj gruntu. II.4. Konsolidacja i konsystencja gruntu. II.5. Orientacyjna wartość bezpiecznych obciążeń podłoża gruntowego).

III. WODY PODZIEMNE (III.1. Typ wody podziemnej. III.2. Rodzaj zwierciadła wody podziemnej. III.3. Charakter ruchu wody podziemnej. III.4. Agresywność środowiska gruntowo-wodnego).

IV. PROCESY GEODYNAMICZNE (IV.1. Rodzaj procesu geodynamicznego. IV.2. Natężenie procesu geodynamicznego).



Rys. 7.1. Schematyczne przekroje przez podstawowe obszary geologiczno-inżynierskie na Niziu Polskim

Wymienione cechy mają określone wartości dla konkretnego obszaru geologiczno-inżynierskiego. Dla jednych cech (np. typu genetycznego rzeźby, genezy gruntów) wartości te mają charakter jakościowy, dla innych cech (np. deniwelacji, obciążeń bezpiecznych podłoża gruntowego) charakter ilościowy. Do potrzeb klasyfikacyjnych dogodne jest wyrównywanie pewnych przedziałów wartości cech ilościowych, tak zwanej klasy danej cechy. Warto tu jednak zasygnalizować pewne ogólne prawidłowości delimitacji:

A. Granice przedziałów klas danej cechy przeważnie ustalane są na podstawie przesłanek praktycznych, na ogół oderwanych od granic klas innych cech i zazwyczaj bez uwzględnienia jakiegokolwiek teorii klasyfikacji.

B. Analiza teoretyczna przyjętych klas pozwala stwierdzić, że przedziały te są mniejsze przy małych wartościach cech, a znaczne przy wartościach większych.

C. Matematycznym wyrazem powyższej prawidłowości jest hipoteza psychologii, głosząca, że człowiek wyznacza granice przedziałów cechy ilościowej „x” w ten sposób, że dąży do podzielenia na równe przedziały nie samej wartości „x”, lecz jej logarytmu, przy podstawie zbliżonej do 2 (to jest $\log_2 x$, lub $\ln x$).

D. Obiektywne pomiary różnych cech pozwalają wykryć, że w przyrodzie występowanie niektórych cech zagęszcza się w przedziałach wyznaczonych przez zasadę podziału według funkcji logarytmu naturalnego.

7.2. Treści faktograficzne zestawień tabelarycznych

Duża zmienność komponentów środowiska geologiczno-inżynierskiego oraz różnorodny zakres oddziaływania na nie czynników technicznych powoduje, że w zestawieniach tabelarycznych istnieją daleko posunięte uproszczenia oraz schematyzacja czynników i zjawisk właściwych danemu obszarowi geologiczno-inżynierskiemu.

Zamieszczone w tym rozdziale tabele mają spełniać dwojaką rolę. W pierwszym rzędzie mają stanowić pomoc przy identyfikacji geologiczno-inżynierskiej jakiegoś obszaru na podstawie szczegółowej mapy geologicznej lub wizji terenowej. Z drugiej strony, mając podaną informację o charakterze morfogenetycznym danego obszaru, wykorzystując tabele uzyskać można ogólne wiadomości o podstawowych właściwościach geologiczno-inżynierskich tego terenu.

Uzyskane informacje mogą być wykorzystane we wstępnej ocenie (bonitacji) terenu dla wybranego typu budownictwa, a dalej, ze względu na specyfikę zadania inżynierskiego mogą być pomocne przy ustalaniu danych wyjściowych do racjonalnego projektu wstępnych badań terenowych.

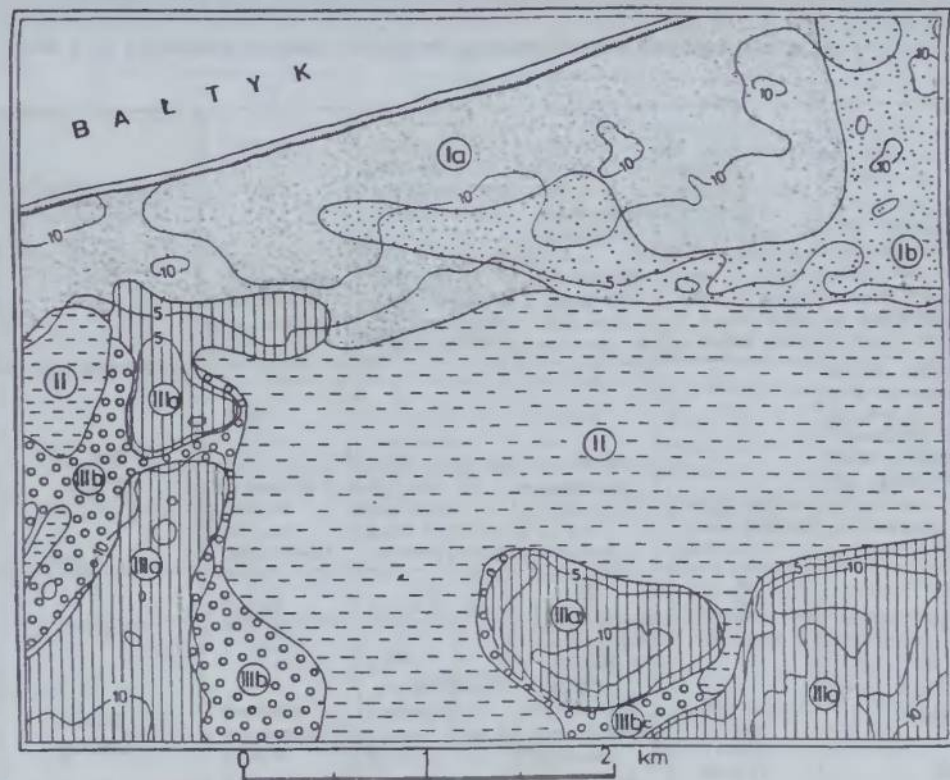
Korzystając z tabel należy uwzględnić poniższe uwagi.

1. Charakterystyki podane w ostatnich kolumnach tabel dotyczą jednostki geomorfologicznej nadrzędnej i nie należy odnosić ich do podrzędnych form lub mikroform powierzchni terenu. Na przykład w tabeli 7.5. dotyczącej obszaru sandrowego w wierszu „Rodzaj gruntu” nie podaje się gruntów organicznych, mimo wskazania na możliwość

występowania takich utworów w podłożu budowlanym. Podobnie w wierszu „Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych” podano wartości nie odnoszące się do luźnych piasków wydmych, mimo że w ostatnim wierszu tabeli zasygnalizowano możliwość zalegania takich gruntów na wysoczyźnie sandrowej.

2. W przypadku stwierdzenia w obrębie obszaru nadrzędnego form podrzędnych, orientacyjną charakterystykę geologiczno-inżynierską można przyjmować z tabel omawiających te tereny jako główne. I tak w podanym powyżej przykładzie jako uzupełniające będą treści zawarte w tabeli 7.10, gdzie omawiany jest obszar równin bagienny-torfowych oraz w tabeli 7.7, w której scharakteryzowany jest obszar pól wydmych.

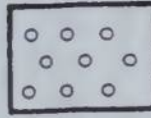
Oceniając w sensie przeglądowym interesujący wycinek terenu pod względem geologiczno-inżynierskim podaje się jego kwalifikację budowlaną wynikającą z jego głównych cech budowlanych, to znaczy rzeźby, gruntów, wód podziemnych, procesów geodynamicznych. W sposób syntetyczny cechy są zestawione w tabelach 7.1 – 7.10. Na tej podstawie przeprowadza się w sposób kompleksowy bonitację i kwalifikację budowlaną terenu. Przykład takiej waloryzacji budowlanej przedstawiono na rys. 7.2 i rys 7.3 a, b. Na tej podstawie powinny być przeprowadzone szczegółowe terenowe i laboratoryjne badania geotechniczne, które pozwolą na optymalną lokalizację budowli, jej zaprojektowanie, wykonanie i eksploatację.



Rys. 7.2. Mapa bonitacji i kwalifikacji budowlanej wycinka terenu

Oznaczenie i symbol rejonu	Nazwa rejonu	Rzeźba	Grunty	Wody podziemne	Procesy geo- dynamiczne	Bonitacja i kwalifikacja
		1. typ morfologiczny 2. deniwelacje 3. nachylenie	1. geneza i wiek 2. Wzp 3. rodzaj gruntów 4. konsolidacja i konsystencja 5. q_{fn}	1. rodzaj wody 2. miąższość warstwy suchej 3. rodzaj zwierciadła 4. charakter środowiska gruntowo-wodnego	rodzaj procesu i jego natężenie	
1	2	3	4	5	6	7
 1a	POLE WYDMOWE	1. pagórkowaty 2. do 14m 3. lokalnie przekracza 50%	1. eoliczne (holocen) 2. Wzp = 1-3 3. Ps (z Pd) 4. $I_p = 0.2-0.3$ 5. $q_{fn} = 140 \text{ kPa}$	1. gruntowe 2. 1-6 m 3. swobodne 4. zasadniczo nieagresywne	aktywny proces przewiewania piasków	W stanie naturalnym obszar dostateczny. Po uprzednim wyrównaniu terenu i zagęszczeniu gruntów obszar dobry dla różnych typów budownictwa lekkiego. W czasie prac budowlanych i eksploatacji obiektów należy dbać o zachowanie zwartej pokrywy roślinnej. Ciąg komunikacji pieszej i kolbowej wymagają utwardzenia.
 1b	POLE WYDMOWE NA WYSOCZYŹNIE MORENY DENNEJ	1. falisty 2. 2-13m 3. zasadniczo 2% (lokalnie > 10%)	1. eoliczne (holocen) do 3m na glaci- nych (plejstocen) 2. Wzp = 3-10 3. jak w 1 i IVa 4. — II — Lokalnie są Nm do 0.5m grubości 5. q_{fn} jak w 1 i IVa	1. możliwość są- czeń wody 2. zasadniczo powyżej 5m 3. — 4. zasadniczo nieagresywne	W stopniu aktywny proces przewiewania piasków. Lokalnie występuje nadmierne uwilgotnienie i akumulacja organiczno-bagienna.	W stanie naturalnym obszar dostateczny. Po zagęszczeniu gruntów sypkich i lokalnym osuszeniu gruntów spoistych teren dobry dla różnego typu budownictwa. Enklawy terenu z gruntami organicznymi wymagają uziarnienia geotechnicznego.

Rys. 7.3 a. Objasnienie bonitacji i kwalifikacji budowlanej terenu przedstawionej na rys. 7.2

1	2	3	4	5	6	7
 II	DNO PRADOLINY	1. równinny 2. do 1m 3. < 3%	1. organiczno-bagienna (holocen) 2. Wzp = 1-2 3. T. Nm 4. - 5. $q_{fn} < 20$ kPa grunty nośne (Ps-szg.) na głębokości 3-8m ppt	1. zaskórne 2. 0,5-2,0m 3. swobodne 4. agresywne	Po nadmiernym obciążeniu osiadanie i wypieranie gruntu	W stanie naturalnym teren dla budownictwa nieprzydatny Konieczność uzdatnienia gruntów Teren nadaje się tylko pod zabudowę specjalistyczną (magazyny, składowiska, obiekty sportowo-parkowe). Wskazane zagospodarowanie jako parki i ogrody.
 IIIa	WYSOCZYŻNA MORENY	1. falisty 2. 2-13m 3. 3-10%	1. glacialne (plejstocen) 2. Wzp 3-10 3. Pg, Gp 4. B, twpł 5. $q_{fn} \sim 250$ kPa	1. możliwe 2. paw 3m 3. - 4. nieagresywne	Tylko na zboczach o większym nachyleniu proces ablacji	Teren nadaje się do wszelkiego rodzaju zabudowy z reguty bez wstępnego uzdatniania
 IIIb	DENNEJ	1. równinny 2. < 5m 3. < 5%	1. fluwiogłazne (plejstocen) 2. Wzp 3-6 3. Ps miejscami przykryte 1m warstwą Nm 4. szg 5. $q_{fn} \sim 200$ kPa	1. zaskórne 2. ok 2m 3. swobodne 4. zasadniczo nieagresywne	Zasadniczo nie występują	W stanie naturalnym teren dla budownictwa dostateczny Po wstępnym osuszeniu lub wymianie gruntów teren dobry pod niską zabudowę

Rys. 7.3.b Objaśnienie bonitacji i kwalifikacji budowlanej terenu przedstawionej na rys. 7.2

z Antropizacji nie lodowca mapo-
maksymalny młeczet utworzył
wzmocnienie

Tabela 7.1. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru wysoczyzny moreny czołowej

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEŻBA	Typ genetyczny	Wysoczyzny powstałe w wyniku akumulacji lodowcowej (glacialnej) przy krawędzi topniejącego lądolodu
	Typ morfometryczny	Pagórkowaty, wzgórzowy
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	W strefach krawędziowych deniwelacje są > 10 m, a spadki $> 15\%$. Na wierzchołkach deniwelacje mogą być < 5 m, a nachylenie $< 10\%$.
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Grunty powstałe z wytopienia materiału znajdującego się w strefie krawędziowej topniejącego lądolodu. Wiek form plejstoceński: północnopolski (bałtycki) lub środkowopolski
	Ułożenie przestrzenne gruntów	Bardzo duża zmienność przestrzennego zalegania różnych rodzajów gruntów. Wartości W_{zp} przekraczać mogą 30
	Rodzaj gruntu	Występować mogą wszystkie rodzaje nieskalistych gruntów mineralnych. Charakterystyczna jest znaczna ilość glazów
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Grunty sypkie mają $I_D = 0,5 - 0,7$. Grunty spoiste mają konsolidację typu B. Wielkość I_L jest zazwyczaj $< 0,25$
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	Przeważnie ponad 150 kPa, w lokalnych podmokłych zagłębieniach z dnami zbudowanymi z gruntów spoistych 80 - 150 kPa
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Mimo silnego naturalnego odwodnienia, lokalnie występować mogą różne typy wód podziemnych. Spotykane są też wody zawieszane oraz sączeniowe
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	Ze względu na możliwość występowania różnych typów wód podziemnych stwierdza się tu zwierciadło swobodne i napięte. Miąższość warstwy suchej jest zasadniczo większa niż 5 m, jednak lokalnie może być mniejsza od 0,5 m. W strefach krawędziowych występować mogą wypływy wody podziemnej na powierzchnię
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Wody podziemne stosunkowo szybko spływają w kierunku krawędzi, zasilając cieki powierzchniowe. Podłoże gruntowe ma bardzo zmienną przepuszczalność (od bardzo dobrej do bardzo słabej).
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Zasadniczo środowisko jest nieagresywne
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Na zboczach rozwijają się procesy ablacji deszczowej, zmywów powierzchniowych, sufozji, powierzchniowych ruchów masowych. W lokalnych zagłębieniach bezodpływowych następować może okresowe uplastycznianie, a nawet upłynnianie gruntów spoistych oraz występuje rozwój procesów organiczno-bagiennych. W wyniku skomplikowanego układu warstw gruntu w podłożu może następować lokalne okresowe spiętrzanie wód podziemnych

Tabela 7.2. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru wysoczyzny moreny dennej

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEŻBA	Typ genetyczny	Wysoczyzny utworzone w wyniku akumulacji lodowcowej (glacialnej)
	Typ morfometryczny	Równiny lub falisty (wyjątkowo pagórkowaty)
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	Na wierzchołach deniwelacje zasadniczo < 5 m, a spadki $< 5\%$. W strefach krawędziowych deniwelacje mogą być > 10 m, a spadki $> 15\%$
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Grunty powstałe w wyniku powierzchniowego wytapiania materiału zawartego w łodołdzie (tzw. glina zwalowa). Na Nizu wiek gruntów jest głównie północnopolski (bałtycki), jak również środkowopolski
	Ułożenie przestrzenne gruntów	Najczęściej obszary te charakteryzują się małą zmiennością układu gruntu. Typowym osadem są gliny zwalowe (lodowcowe), niekiedy przeławiczone lub przykryte utworami piaszczysto-żwirowymi. W _{zp} jest rzędu 3 – 10.
	Rodzaj gruntu	Dominują głównie piaski gliniaste, gliny piaszczyste, gliny. Jako domieszka występują tu żwiry i glazy. W formie przewarstwień są pospółki lub różnoziarniste piaski z domieszką żwirów
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Najczęściej występują grunty spoiste o konsolidacji typu B (wyjątkowo A). Wielkość I_L jest zazwyczaj $< 0,25$. Przewarstwienia gruntów sypkich mają przeważnie $I_D > 0,5$
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	Zazwyczaj > 150 kPa. Jednak lokalnie w obniżeniach terenu przy znacznym zwilgotnieniu 80 – 150 kPa
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Ze względu na słabo przepuszczalne podłoże mogą w nim występować wody związane fizycznie i wody kapilarne. Wody wolne są w formie <u>sączy</u> . Poniżej gliny zwalowej może występować <u>woda wglębna</u>
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	Sączenia wody są na różnej głębokości p.p.t. Zalegające poniżej glin zwalowych wody wglębne mają zazwyczaj zwierciadło napięte. Miąższość warstwy suchej jest znaczna i przekracza często 5 m
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Grunt jest zasadniczo słabo przepuszczalny $k_{10} < 10^{-2}$ m/dobę
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Zazwyczaj środowisko nieagresywne
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Na wierzchołach procesy geodynamiczne rozwijają się w małym stopniu. W strefie krawędziowej występować może zjawisko ablacji <u>deszczowej, zmywów powierzchniowych, sufozji, powierzchniowych ruchów masowych</u> . W wyniku okresowego nadmiernego nawilgocenia gliny zwalowe ulegają uplastycznieniu. W trakcie zamarzania gruntu tworzą się <u>wysadliny</u> . W efekcie osuszania następuje kurczenie się gruntu i powstają spękania. W obniżeniach powierzchni terenu zachodzą niekiedy procesy organiczno-bagiennie

Wymiana gruntu w miejscu wypiętrzenia gruntu op.

Tabela 7.3. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru wysoczyzny zaburzonej glaciektonicznie

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEŻBA	Typ genetyczny	Wysoczyzny powstałe w wyniku wyciśnięcia i wypiętrzenia przez lądolód osadów znajdujących się w podłożu
	Typ morfometryczny	Falisty, pagórkowaty, wzgórzowy
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	W strefach krawędziowych deniwelacje są > 10 m, a spadki > 15%. Na wierzchołkach deniwelacje mogą być < 5 m, a nachylenia < 10%.
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Występują różnej genezy osady trzeciorzędowe oraz utwory plejstoceny – środkowopolskie i południowopolskie (krakowskie). Utwory pokrywowe mogą być wieku północnopolskiego (bałtyckiego)
	Ułożenie przestrzenne gruntów	Bardzo duża zmienność układu osadów różnego wieku, genezy i rodzaju. Wartości W_{zp} przekraczać mogą 30. Występują często deformacje glaciektoniczne ciągłe (faldy) i nieciągłe (uskoki) oraz kliważ (spękania).
	Rodzaj gruntu	Znajdują się wszystkie rodzaje nieskalistych gruntów mineralnych oraz trzeciorzędowe węgle brunatne.
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Grunty sypkie mają $I_D = 0,7 - 0,8$. Konsolidacja gruntów spoistych jest typu A, B, D. Wartości I_L są zazwyczaj mniejsze od 0,25, lokalnie jednak osiągać mogą wyższe wartości.
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	Na wierzchołkach przeważnie > 150 kPa, lokalnie 80–150 kPa. Na zboczach ze spadkiem powierzchni > 15% lokalnie obniżają się nawet < 30 kPa. W miejscach występowania gruntów organicznych konieczna jest wymiana gruntu.
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Występować mogą wody podziemne różnego typu. Obok wód gruntowych i wgłębnych w gruntach spoistych są wody sączeniowe. Często spotykane są lokalne wody zawieszone. Duże znaczenie mają wody kapilarne.
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	W zależności od typu wody występuje zwierciadło swobodne lub napięte. Zwierciadło piezometryczne układu się na różnych poziomach. Mięszkość warstwy suchej wykazuje bardzo dużą zmienność.
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Wody podziemne mają złożony charakter stagnowania lub płynięcia. Podłoże ma zróżnicowaną wodoprzepuszczalność (od bardzo dobrej do bardzo słabej).
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Istnieje możliwość lokalnej silnej agresji siarczanowej związanej z występowaniem gruntów ilastych oraz kwasowej i siarczanowej w przypadku zalegania węgla brunatnych.
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Na zboczach rozwijają się bardzo silne zjawiska powierzchniowych ruchów masowych, ponadto występują procesy zmywów powierzchniowych, ablacji deszczowej, sufozji. Ilaste grunty trzeciorzędowe wykazują duże zmiany objętości w zależności od stopnia ich nawilgocenia, w trakcie zamarzania w gruncie tym tworzą się wysadziły. Podłoże gruntowe narażone jest na zjawisko kurczawki i liskotropii.

lokalnie
duże
agresywność

obciąż. $W_{max} < 30 \text{ kPa}$

Tabela 7.4. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru wysoczyzny kemowej

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEŻBA	Typ genetyczny	Formy powstałe w wyniku akumulacji wodnolodowcowej (fluwioglacjalnej) wewnątrz lądolodu lub między bryłami topniejącego lodowca.
	Typ morfometryczny	Pagórkowaty, rzadziej wzgórzowy.
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	Na zboczach deniwelacje > 5 m, a spadki > 15%. Na spłaszczeniach wierzchowinowych deniwelacje < 2 m, a spadki < 5%.
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Grunty powstałe przez akumulację materiału mineralnego transportowanego wodami płynącymi szczelinami lodowcowymi lub przestrzeniami między bryłami martwego lodu. W stropie częste są eluwia glin. Wiek osadów plejstoceński – północnopolski (bałtycki) lub środkowopolski.
	Ułożenie przestrzenne gruntów	W zasadzie podłoże jest o przeciętnej zmienności układu warstw. Wielkość W_{zp} jest rzędu 3 – 10. Bardzo często obserwuje się konsekwentną zmianę charakteru gruntów w pionie od osadów pylastych w spagu formy kemowej do piaszczysto-żwirowych w jej stropie.
	Rodzaj gruntu	W spagu formy dominują grunty pylaste (pyły, pyły piaszczyste, piasek pylasty), w stropie dominują piaski różnoziarniste, pospółki, żwir. Niekiedy osady te przykryte mogą być gliną zwalową (piaski gliniaste, gliny piaszczyste z domieszką żwiru).
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Grunty sypkie mają $I_D = 0,5 - 0,7$. Grunty spoiste mają konsolidację typu C lub B, wartość I_L zazwyczaj jest mniejsza od 0,25.
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	Z reguły > 150 kPa. Rzadko 80 – 150 kPa, w mocno nawilgotnionych spagowych gruntach pylastych.
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Woda gruntowa i kapilarna. Rzadziej woda zawieszona.
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	Na wierzchowinach zwierciadło swobodne położone głębiej niż 5 m p.p.t. U podstawy formy kemowej około 2 m p.p.t.
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Podłoże zbudowane z gruntów o dobrej i średniej przepuszczalności (grunty piaszczysto-żwirowe) oraz słabej przepuszczalności (grunty pylaste). Wody podziemne są szybko drenowane z kemu.
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Zasadniczo środowisko nieagresywne.
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Zasadniczo brak czynnych i potencjalnych procesów geodynamicznych. W minimalnym stopniu występują zmywy powierzchniowe oraz procesy przewiewania materiału piaszczystego w przy-powierzchniowej części kemu.

mun. zmywy
powierzchni.

Tabela 7.5. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru wysoczyzny sandrowej

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEZBA	Typ genetyczny	Wysoczyzny powstałe w wyniku akumulacji wodnolodowcowej (fluwioglacjalnej) zachodzącej na zewnątrz czoła lądolodu. Sandry tworzą niekiedy najwyższe terasy pradolin
	Typ morfometryczny	Równinny. Niekiedy powierzchnia może być zwymioną
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	Zasadniczo deniwelacje $< 0,5$ m, a spadki $< 5\%$
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Grunty osadzone przez wody wypływające na zewnątrz lądolodu. Wiek tego materiału jest plejstoceni i związany ze zlodowaceniem północnopolskim (bałtyckim) lub środkowopolskim.
	Ułożenie przestrzenne gruntów	W zasadzie podłoże ma mało zróżnicowany układ warstw. Wartość W_z jest poniżej 10
	Rodzaj gruntu	Przeważają piaski średnie i drobne z domieszką żwiru. Miejscami występują przewarstwienia pospółki lub żwiru. Rzadziej są przewarstwienia gruntów mało lub średnio spoistych z domieszką żwiru.
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Grunty sypkie charakteryzują się wartościami $I_D = 0,5 - 0,6$
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	Zazwyczaj ponad 150 kPa, tylko lokalnie 80 - 150 kPa
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Woda gruntowa, miejscami przypowierzchniowa. Lokalnie mogą być wody zawieszone.
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	Zwierciadło swobodne położone jest z reguły głębiej niż 5 m p.p.t.
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Podłoże dobrze i średnio przepuszczalne $k_{10} > 10$ m/dobę
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Zasadniczo środowisko nieagresywne
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Powierzchnia sandrów nieutrwalona roślinnością narażona jest na procesy wydmotwórcze. W przypadku płytkiego występowania wód podziemnych rozwijają się mogą procesy organiczno-bagiennie

=> Wygodny!

Osady warwowe - wstęgowe

Tabela 7.6. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru równiny zastoiskowej

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEŻBA	Typ genetyczny	Równina utworzona w wyniku akumulacji zastoiskowej (jeziornolodowcowej = limnoglacialnej)
	Typ morfometryczny	Równinny
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	Zasadniczo deniwelacje $< 0,5$ m, a spadki $< 2\%$. W strefach krawędziowych spadki mogą wynosić 5 – 10%
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Grunty powstałe w jeziorach zastoiskowych u czoła topniejącego lądolodu. Wiek osadów plejstoceński – głównie północnopolski (bałtycki), czasem środkowopolski
	Ułożenie przestrzenne gruntów	W zasadzie podłoże charakteryzuje się małą wartością $W_{22} = 1 - 3$, jednak sam grunt wykazuje duże zróżnicowanie w wyniku naprzemianległego występowania lamin ilastych i pylastych (tzw. osady warwowe = wstęgowe)
	Rodzaj gruntu	Dominuje materiał pylasty lub piaszczysto pylasty laminowany materiałem ilastym lub materiał piaszczysto pylasty laminowany pyłem
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Materiał sypki jest słabo zagęszczony ($I_p < 0,3$), a utwory spoiste mają konsolidację typu C. Konsystencja wykazuje bardzo silne zmiany w zależności od nawilgotnienia wiążące się ze zmiennymi stanami pogodowymi
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	W warunkach stałego odwodnienia na terenach płaskich ponad 150 kPa. W warunkach długotrwałego kontaktu z wodą 80 – 150 kPa, a nawet miejscami sezonowo 30 – 80 kPa. Podobnie na zboczach przy stałym odwodnieniu
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Ze względu na specyficzne uziarnienie i uwarstwienie podłoża występują wody związane fizycznie i kapilarne oraz wody sączeniowe. Poniżej osadów warwowych występować może woda wgłębna
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	Sączenia występować mogą na różnej głębokości. Zalegające pod osadami warwowymi wody wgłębne mają zwierciadło napięte. Zazwyczaj miąższość warstwy suchej dochodzi lub przekracza 5 m
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Grunt jest zasadniczo słabo przepuszczalny $k_{10} < 10^{-2}$ m/dobę
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Zazwyczaj środowisko nieagresywne
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Pod wpływem nawilgotnienia następuje <u>szybko</u> zmiana konsystencji i upłynnienie gruntu. W strefach o większym nachyleniu zachodzi zjawisko zmywów powierzchniowych i ablacji deszczowej. W przypadku zwiększenia spadku hydraulicznego sączeń wody podziemnej rozwija się proces sufozji. W rejonie skarp rozwijać się mogą powierzchniowe ruchy <u>masowe</u>

20 letni
od wody

Tabela 7.7. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru pola wydumowego

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEŹBA	Typ genetyczny	Formy powstałe w wyniku działania akumulacyjnego wiatru (akumulacja eoliczna). Formy te najczęściej występują na obszarach sandrowych, terasach rzecznych, mierzejowym brzegu morskim
	Typ morfometryczny	Pagórkowaty
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	Deniwelacje > 5 m, spadki > 15%
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Grunty akumulacji eolicznej, wiek holoceniński
	Ułożenie przestrzenne gruntów	Grunty charakteryzują się małą zmiennością ułożenia warstw, W_{zp} jest rzędu 1–3. Sporadycznie w formie przewarstwień w obrębie osadów wydumowych występować mogą grunty organiczne (torfy, namuły), wtedy występuje duża zmienność układu warstw $W_{ZPor} = 2 - 6$
	Rodzaj gruntu	Dominują bardzo dobrze wysortowane piaski średnie i drobne.
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Piaski wydumowe cechują się $I_D < 0,3$. Przewarstwienia organiczne są słabo skonsolidowane.
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	Przeważnie 80 – 150 kPa. Lokalnie ponad 150 kPa
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Woda kapilarna, woda gruntowa
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	Zwierciadło swobodne wody gruntowej położone jest głębiej niż 5 m pod kulminacją powierzchni wydym
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Podłoże jest dobrze i średnio przepuszczalne, $k_{10} > 10$ m/dobę
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Zasadniczo środowisko nieagresywne. Agresja występować może w przypadku przewarstwień organicznych
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Suche, nie pokryte roślinnością powierzchnie wydym narażone są na proces przewiewania piasku (proces wydymotwórczy). W przypadku obciążenia i wibracji podłoże gruntowe ulega zagęszczeniu. Obecność przewarstwień gruntów organicznych powodować może nierównomierne osiadanie obiektów budowlanych

Tabela 7.8. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru terasy nadzalewowej dolin rzecznych

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEŻBA	Typ genetyczny	Forma utworzona pod wpływem akumulacyjnej i erozyjnej działalności wód rzecznych
	Typ morfometryczny	Równinny
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	Deniwelacje < 0,5 m, spadki < 2%. W strefie krawędziowej ku terasie zalewowej deniwelacje mogą być > 10 m, a spadki > 15%
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Grunty powstałe w wyniku akumulacji rzecznej (osady fluwialne). Wiek osadów głównie plejstoceński
	Ułożenie przestrzenne gruntów	Podłoże charakteryzuje się małą zmiennością układu warstw $W_{zp} = 3 - 10$
	Rodzaj gruntu	Terasę nadzalewową budują głównie piaski średnie i drobne z domieszką żwirów. Czasem w formie przewarstwień występować mogą piaski pylaste, pyły piaszczyste i pyły.
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Grunty sypkie mają $I_p = 0,3 - 0,4$. Grunty spoiste mają konsolidację typu C, $I_L < 0,25$.
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	Przeważnie ponad 150 kPa, ale miejscami jest rzędu 80 - 150 kPa
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Woda gruntowa. Czasami zawieszona i kapilarna
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	Zwierciadło swobodne położone jest zazwyczaj 2 - 5 m p.p.t. lub głębiej
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Podłoże gruntowe jest średnio lub mało przepuszczalne $k_{10} = 1 - 25$ m/dobę. Wody spływają w stronę terasy zalewowej
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Środowisko jest zazwyczaj nieagresywne
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Na krawędziach rozwijać się może proces ablacji deszczowej i zmywów powierzchniowych. Krawędzie podcinane mogą być w efekcie erozji bocznej cieków, dając początek powierzchniowym ruchom masowym. Płaskie powierzchnie terasy nadzalewowej narażone są na procesy wydmytówcze. W przypadku dużego spadku hydraulicznego zwierciadła wody podziemnej, rozwijać się może proces sufozji. Jeżeli nastąpi spiętrzenie wody w ciekach, ulega podwyższeniu zwierciadło wody podziemnej. Powoduje to podtapianie podziemnych części istniejących obiektów budowlanych. Pod wpływem wibracji następuje wyraźne zmniejszanie objętości gruntów podłoża

Tabela 7.9. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru terasy zalewowej dolin rzecznych

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEŻBA	Typ genetyczny	Forma utworzona pod wpływem erozyjnej i akumulacyjnej działalności rzeki.
	Typ morfometryczny	Równinny
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	Deniwelacje < 0,5 m, spadki < 2%
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Grunty powstają w wyniku akumulacji rzecznej, a częściowo organiczno-bagiennej. Osady wieku holoceniowego.
	Ułożenie przestrzenne gruntów	Grunty charakteryzują się dużą zmiennością ułożenia w poziomie i pionie. W rozłożeniu poziomym są osady facji korytovej złożonej z gruntów o grubszym ziarnie oraz facji powodziowej stanowiące grunty mineralne o drobniejszych składnikach, przewarstwionych miejscami gruntami organicznymi. W rozkładzie pionowym pod warstwą współczesnych aluwów i gruntów organicznych występują piaski drobne i średnie przechodzące w piaski grube i pospółki. W_{2F} jest zazwyczaj 2–6 lub nawet powyżej.
	Rodzaj gruntu	Terasę zalewową budują głównie piaski i grunty mało- oraz średnio spoisłe. Poza nimi typowymi są tu grunty organiczne (torfy, namuły). Grunty rodzime nadbudowane mogą być gruntami nasypowymi
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Grunty sypkie mają $I_D < 0,3$. Grunty spoisłe mają konsolidację typu C, a I_L jest zazwyczaj > 0,5. Grunty organiczne są nieskonsolidowane
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	Na gruntach mineralnych przeważnie 30–80 kPa, jednak lokalnie 80–150 kPa. Na gruntach organicznych mniej niż 30 kPa
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Zasadniczo wody przypowierzchniowe
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	Zwierciadło swobodne pozostaje w związku hydraulicznym z lustrem wody w cieku. Miąższość warstwy suchej jest rzędu 0,5 m. W przypadku występowania w stropie terasy zalewowej gruntów organicznych, zalegająca pod nimi woda podziemna ma zwierciadło napięte stabilizujące się na poziomie lustra wody w cieku
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Podłoże gruntowe ma zmienną przepuszczalność od $k_{10} > 25$ m/dobę (pospółki) poprzez $k_{10} = 10$ m/dobę (piaski) do $k_{10} < 10^{-2}$ m/dobę (grunty spoisłe i organiczne). Zasadniczo ruch wody podziemnej skierowany jest w stronę cieku i zgodnie z jego spadkiem
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Środowisko jest zasadniczo słabo lub silnie agresywne
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Decydującymi procesami jest erozja i akumulacja rzeczna oraz zatapianie (powodzie). Ze względu na słabą konsolidację grunty pod wpływem nawet małych obciążeń ulegają znacznym odkształceniom (głównie zjawisko to zachodzi w gruntach organicznych). Osuszanie gruntów organicznych powoduje spopicienie ich szkieletu roślinnego

Tabela 7.10. Podstawowe cechy geologiczno-inżynierskie obszaru równiny bagiennie-torfowej

KOMPONENTY	CECHY	CHARAKTERYSTYKA
RZEZBA	Typ genetyczny	Forma utworzona w wyniku akumulacji organicznej (roślinnej)
	Typ morfometryczny	Równinny
	Deniwelacje i spadki powierzchni terenu	Deniwelacje < 0,5 m i spadki < 2%
GRUNTY	Geneza i wiek gruntów	Grunty powstałe w wyniku akumulacji substancji roślinnej w środowisku wilgotnym. Osady są wieku holocenńskiego.
	Ułożenie przestrzenne gruntów	Z punktu widzenia inżynierskiego grunty charakteryzują się małą zmiennością. $W_{ZF\text{ org}} < 2$, w częściach brzegowych obszaru zmienność jest większa i $W_{ZF\text{ org}}$ może być rzędu 2 – 6
	Rodzaj gruntu	Podstawowymi gruntami są torfy i namuły (rzadziej grunty próchniczne). Często w formie przewarstwień lub soczewek występuje gytia lub kreda jeziorna. Często grunty rodzime przykryte są gruntami nasypowymi
	Konsolidacja i konsystencja gruntów	Grunty nieskonsolidowane.
	Orientacyjna wartość obciążeń bezpiecznych	Przeważnie < 30 kPa, ale lokalnie 30 – 80 kPa, gdy są grunty nasypowe o miąższości > 3 m
WODY PODZIEMNE	Typ wody podziemnej	Wody przypowierzchniowe
	Rodzaj zwierciadła wody podziemnej i jego głębokość p.p.t.	Zwierciadło swobodne położone jest zazwyczaj na głębokości mniejszej od 0,5 m p.p.t.
	Charakter ruchu wody podziemnej i przepuszczalność podłoża	Grunt jest bardzo wodochłonny, ale słabo przepuszczalny, $k_{10} < 10^1$ m/dobę
	Agresywność środowiska gruntowo-wodnego	Podłoże gruntowo-wodne jest zasadniczo silnie agresywne
PROCESY GEODYNAMICZNE	Rodzaj procesu i jego natężenie	Ze względu na dużą porowatość grunt ulega procesom odkształcenia (znaczne osiadanie i wypieranie) pod wpływem nawet niewielkich nacisków. W wyniku zamarzania wody tworzą się wysadziny. Po osuszeniu szkielet organiczny gruntów ulega spopieleniu

8. PODSTAWOWE WIADOMOŚCI O CECHACH GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH STREFY WYŻYNNEJ POLSKI

Odmienne cechy rzeźby, charakteru podłoża gruntowego oraz procesów geodynamicznych powodują, że strefa wyżynna Polski w sposób zasadniczy różni się pod względem geologiczno-inżynierskim od strefy Niżu Polskiego. W obrębie strefy wyżynnej innymi cechami geologiczno-inżynierskimi charakteryzują się *wyniesienia*, *obszary krasowe*, *obszary lessowe*, jak również *obszary kotlin i dużych dolin* (rys. 8.1).

8.1. Obszary wyniesień

8.1.1. Rzeźba

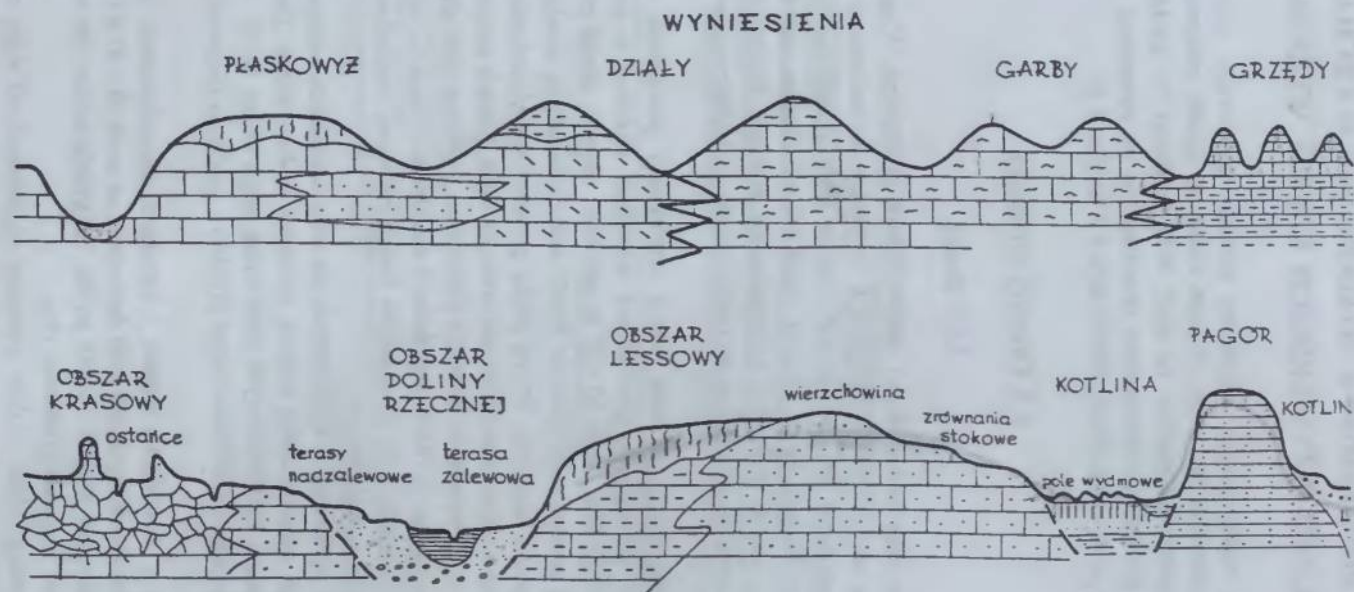
Wyniesienia mają bardzo długą i złożoną historię geologiczną. W uproszczeniu uważa się, że ich geneza jest tektoniczno-denudacyjna. Oznacza to, że osadzone w wodach morskich osady po ich zeskaleniu (diagenezie) oraz lokalnie skały krystaliczne uległy pionowemu, tektonicznemu wydzwignięciu na znaczną wysokość nad poziom morza. Teren ten pod wpływem długotrwałych procesów egzogenicznych podlegał niszczeniu czyli denudacji (degradacji). Zaczątki dzisiejszego zarysu rzeźby zaczęły się kształtować w trzeciorzędzie lub wcześniej.

Rozległe wyniesienia o mniej więcej wyrównanej powierzchni wierzchowinowej określane są jako płaskowyże. Opadają one wyraźnymi zboczami w stronę otaczających obniż. Deniwelacje te są rzędu 20–80 m, natomiast długość, kształt profilu i nachylenie stoków wykazują znaczne zróżnicowanie. Spadki stoku mieszczą się zasadniczo w przedziale 10–15%, a czasem i większym. Prawie płaska powierzchnia wierzchowinowa płaskowyży poprzecinana bywa szeregiem suchych, nieckowatych dolin, których nachylenie dna i wysokość zboczy wyraźnie wzrasta ku krawędzi płaskowyżu. Nieliczne ciekі płyną dolinami typu erozyjno-akumulacyjnego, o różnej głębokości i szerokości. Doliny te wcięte są w grunty skaliste, na których znajdują się akumulacyjne terasy: zalewowa i nadzalewowe zbudowane z gruntów mineralnych nieskalistych.

Wydłużone wyniesienia o spłaszczonych lub lekko wypukłych wierzchowinach, między którymi występują szerokie doliny rzeczne, określane są jako działy. Deniwelacje między dnami dolin a liniami wododziałowymi przekraczać mogą nawet 100 m. Stoki działów są długie i charakteryzują się zróżnicowanym profilem i spadkami (zazwyczaj mniejszymi od 10%).

Wyniesienia o stosunkowo wąskich i wypukłych wierzchowinach określane są jako garby. W stosunku do lokalnych den dolin deniwelacje są rzędu 30–80 m (czasem większe). Stoki mają zróżnicowaną długość i kształt profilu. Nachylenie stoków jest zazwyczaj < 10%, w niektórych jednak miejscach przekracza 15%.

Gęsty „rusztowy” układ wąskich wyniesień oddzielonych od siebie niezbyt szerokimi dolinami określa się jako grzędy.



Rys. 8.1. Schematyczne przekroje przez podstawowe obszary geologiczno-inżynierskie w strefie wyżynnej Polski

W niektórych częściach strefy wyżynnej spotyka się izolowane wyniesienia o różnych deniwelacjach, zmiennym profilu, długości i nachyleniu stoku – formy te nazywane są **pagórami**. Mogą one mieć charakter wzgórz wypowych (typu stołowego, kopulastego czy też stożkowatego) otoczonych dookoła rozległymi płaskimi dnami dolin lub kotlin.

Niekiedy wyniesienia opadają w stronę obniżen ostrych krawędziami czyli **progami**, które charakteryzują się znacznymi deniwelacjami (rzędu kilkudziesięciu metrów) i spadkami (powyżej 10%). Krawędzie te mogą mieć pochodzenie tektoniczno-denudacyjne lub strukturalno-denudacyjne (wtedy określane są jako **kuesty**). Formy te są typowe dla Wyżyny Śląskiej, Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej i Rostocza.

8.1.2. Grunty

Wyniesienia strefy wyżynnej zbudowane są z osadowych gruntów skalistych, głównie mezozoicznych, rzadziej trzeciorzędowych. Jedynie w regionie świętokrzyskim grunty skaliste są starsze i uformowane zostały w erze paleozoicznej (sporadycznie w prekambrze).

Podłoże budowlane reprezentowane jest najczęściej przez grunty skaliste miękkie, średnio lub bardzo spękan. Są to głównie wapienie, margle, kreda, opoki, miejscami występują dolomity. W regionie Niecki Nidziańskiej w podłożu występują gipsy. W regionie świętokrzyskim i częściowo w zachodniej części strefy wyżynnej występują piaskowce, zlepieńce oraz łupki. Na Wyżynie Śląskiej miejscami na powierzchni lub blisko niej w podłożu zalega węgiel kamienny. Tylko lokalnie w rejonie Wyżyny Krakowsko-Śląskiej występują grunty będące skałami magmowymi (riolity, diabazy, bazyalty).

Generalnie w podłożu budowlanym zaznacza się poziomy układ warstw skalnych. Wyjątkiem jest region świętokrzyski, a częściowo śląsko-krakowski, gdzie układ warstw zakłócony jest poprzez deformacje nieciągłe (uskokowe), rzadziej deformacje fałdowe.

Grunty skaliste podłoża wykazują różną odporność na wietrzenie fizyczne i chemiczne. W efekcie w przypowierzchniowej części podłoża występują pokrywy gruntów zwietrzelinowych, bardzo często przemieszanych z osadami lodowcowymi. Są to zazwyczaj typowe wietrzliny kamieniste, wietrzliny kamienisto-gliniaste, na których zalega cienka warstwa gruntów piaszczysto-gliniastych, pyłowych lub gliniastych, bardzo często z domieszką żwirów.

Generalnie obciążenia bezpieczne gruntów skalistych w zależności od ich spękania wahają się w granicach 2 – 0,3 MPa. Podłoża zbudowane z gipsów mają nośność znacznie niższą. Natomiast jeśli w podłożu budowlanym występuje węgiel kamienny, teren taki nie nadaje się pod zabudowę

W wielu przypadkach na gruntach skalistych znajdują się niewielkie płyty gruntów pochodzenia lodowcowego lub wodnolodowcowego (rzadziej zastoiskowego). Są to zazwyczaj piaski średnie, piaski gliniaste, gliny piaszczyste z domieszką żwirów. Niekiedy spotyka się występujące gniazdowo ility i piaski trzeciorzędowe. Cechy budowlane tych gruntów nawiązują do przedstawionych w rozdziale 4 i 7.

Na obszarze wyniesień lub przy ich krawędziach często występują rozległe powierzchnie z pokrywą lessową, których charakterystyka przedstawiona jest w podpunkcie 8.4. Spotykane są też piaski eoliczne powstałe z przewiania starszych osadów plejstoceniskich.

Spot Sfo swobodnie infiltruje ->
zalewają wykopy i tunele

8.1.3. Wody podziemne

Ze względu na silne spękanie podłoża skalnego wody opadowe swobodnie infiltrują w głąb. Zwierciadło szczelinowych wód podziemnych znajduje się na głębokości kilkunastu lub kilkudziesięciu metrów. Jednak w strefie przypowierzchniowej zaznacza się intensywne sączenie zbierającej się w szczelinach wody infiltracyjnej. Wody te w poważnym stopniu utrudniają podziemne prace budowlane zalewając wykopy i tunele.

Środowisko gruntowo-wodne nie jest agresywne w stosunku do podziemnych części budowli. Jednak w przypadku infiltracji w podłoże wód zanieczyszczonych mogą one być szkodliwe dla budowli.

8.1.4. Procesy geodynamiczne

Wystawione na działanie czynników atmosferycznych podłoże zbudowane z gruntów skalistych podlega procesowi wietrzenia. Pogłębia się ono w efekcie wietrzenia mrozowego. Na gruntach skalistych podatnych na rozpuszczanie rozwija się wietrzenie chemiczne. Ze względu na łatwość infiltracji wód powierzchniowych w podłoże istnieje poważne niebezpieczeństwo zanieczyszczenia wód podziemnych nadając im cechy agresywności. Na stokach zbudowanych z gruntów zwietrzelinowych rozwijają się zmywy powierzchniowe lub liniowe. Powstają bruzdy erozyjne lub nawet wąwozy, a przy podstawie stoków narastają stożki osadów deluwialnych.

8.2. Obszary krasowe

Na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej oraz częściowo Śląskiej i Lubelskiej występują obszary o rzeźbie typu krasu wapiennego, zaś w Niece Nidziańskiej krasu gipsowego.

Na małych wycinkach terenu jest zdecydowanie nierówna powierzchnia. Widoczne są tu różnej głębokości (od kilku do kilkunastu metrów) i szerokości (od kilku do kilkuset metrów) zakłębłości i wypukłości terenu. Mogą to być drobne stożkowate lub walcowate żłobki, lejki lub studnie krasowe, czy też większe zagłębienia określane jako wertepy oraz doliny krasowe. W niektórych bezodpływowych zagłębieniach gromadzi się woda powierzchniowa, nadając im cechy jezior krasowych. W wypreparowanych przez proces krasu skałach znajdują się różnej długości, zazwyczaj suche doliny. Dno ich ma nierówny falisty profil podłużny. W dolinach takich występować mogą wywierzyska, czyli wypływy strumieni wód podziemnych z podłoża skalnego. Niektóre ciekły stopniowo zanikają na powierzchni, bowiem ich wody uciekają w głąb szczelinami krasowymi.

Często silnie urozmaiconą rzeźbą skarasowatej powierzchni maskowana jest przez przykrywające ją młodsze grunty nieskaliste pochodzenia glacialnego, fluwioglacjalnego, jeziornego, eolicznego.

Ponad wyrównaną powierzchnią krasową wznosić się mogą ostre formy wysokich ostańców krasowych czyli fragmenty bardziej odpornych na kras pierwotnych skał budujących dany teren.



W głębi podłoża gruntowego znajduje się złożony układ jaskiń, pieczar, chodników, studni i szczelin krasowych. Przez system tych pustek skalnych przepływają grawitacyjnie lub pod ciśnieniem duże ilości wód podpowierzchniowych tworzących skomplikowany układ podziemnych rzek, strumieni i żył wodnych.

Pod wpływem własnego nadkładu skalnego lub dodatkowego obciążenia, czy też działania czynników dynamicznych następuje często zapadanie się pewnych partii podłoża skalnego, powodując w sposób gwałtowny i katastrofalny formowanie się różnej wielkości form zapadliskowych.

Wykorzystanie obszarów krasowych jest szczególnie niekorzystne dla realizacji budownictwa hydrotechnicznego, przemysłowego, mieszkaniowego. Uzdatnianie budowlane skrasowiałego podłoża wymaga specjalnych i kosztownych zabiegów geotechnicznych, za pomocą których następuje w sposób sztuczny wypełnianie pustek w podłożu skalnym. Obszary o potencjalnej możliwości rozwoju zjawisk krasowych muszą być szczególnie starannie chronione przed wprowadzaniem w podłoże wód opadowych oraz zanieczyszczonych wód powierzchniowych.

8.3. Obszary lessowe

8.3.1. Rzeźba

W strefie wyżynnej i na przedpolu strefy górskiej występują obszary lessowe. Utwory te zalegają zasadniczo w strefie wysokościowej 150 – 300 m n.p.m. Na Niżu obszary lessowe występują tylko w sposób „punktowy”. Charakterystyczną cechą tych obszarów jest stosunkowo płaska lub lekko falista powierzchnia wierzchowinowa, urozmaicona jedynie szerokimi nieckowatymi, suchymi dolinami. Przeciwnieństwem tej rzeźby są krawędzie obszarów lessowych, bardzo silnie porożcinane gęstą siecią wąwozów. Charakterystyczną cechą lessów jest ich zdolność a zarazem podatność do tworzenia w stanie suchym stromych pionowych ścian.

8.3.2. Grunty

Lessy są pochodzenia eolicznego i formowane były głównie w górnej części plejstocenu. Są to najczęściej grunty pylaste, piaski pylaste, rzadziej gliny pylaste lub piaski gliniaste. Grunty te charakteryzują się cienkim liniowym, falistym lub soczewkowatym laminowaniem. Lessy są gruntami makroporowatymi, co oznacza, że pory występujące w osadzie są większe od cząstek mineralnych budujących szkielet gruntowy. W kompleksach gruntów lessowych występować mogą przewarstwienia gleb kopalnych. Cechują się one zazwyczaj nieco lepszą konsolidacją od lessów typowych. Lessy traktuje się jako grunty nieskonsolidowane i zalicza do kategorii C wg normy PN 81/B-03020. Niekiedy wśród lessów występują różnej wielkości konkracje węglanowe określane jako „kukielki lessowe”.

Lessy są gruntami zapadowymi, gdyż pod wpływem nadmiernego nawilgotnienia następuje naruszenie ich pierwotnej makroporowatej struktury. Pory ulegają zmniejszeniu

i grunt zmniejsza swą objętość. Efekt ten ulega pogłębieniu, gdy podłoże jest dodatkowo obciążone budowlą. Następuje wtedy dodatkowe zjawisko tak zwanego **dosiadania**.

Zasadniczo obciążenia bezpieczne dla obszarów lessowych szacować należy na 150 – 80 kPa. Jednak w miejscach podmokłych są one mniejsze i wynoszą 80 – 30 kPa.

8.3.3. Wody podziemne

Ze względu na znaczną porowatość wody opadowe dość szybko infiltrują w głąb podłoża i migrują w nim pionowo oraz w formie wód sączeniowych pod powierzchnią terenu zgodnie z jej spadkiem.

Zasadniczo w lessach wody wolnej nie ma. Znajduje się ona dopiero w osadach piaszczystych podścielających utwory lessowe. Ponad nimi występuje bardzo wyraźna strefa podsiąku kapilarnego. W samych jednak utworach lessowych są wody sączeniowe, przemieszczające się cienkimi laminami lub przewarstwieniami piasków pylastych znajdujących się w obrębie kompleksu lessowego. Wokół tych sąceń powstawać mogą aureole wód kapilarnych. Generalnie środowisko gruntowo-wodne jest nieagresywne.

8.3.4. Procesy geodynamiczne

Na obszarach lessowych występuje wiele procesów geodynamicznych typowych tylko dla tego podłoża gruntowego.

W wyniku naruszenia naturalnej struktury gruntu pod wpływem wilgoci następuje lokalne zmniejszanie objętości gruntu. Konsekwencją tego zjawiska jest tworzenie się na obszarach wierzchołlin płaskich zagłębień bezodpływowych, tak zwanych **wymoków**. Są to miejsca, w których okresowo zaznacza się nadmierne nawilgotnienie gruntu lub może stagnować woda powierzchniowa.

Ze względu na cechy uziarnienia i dużą porowatość silnie nawilgotnione lessy w okresach mrozów mają charakter gruntów silnie wysadzinowych.

Po okresie opadów na stokach zbudowanych z lessów zaznaczają się intensywne spływy powierzchniowe. Powoduje to u podstawy stoków lessowych formowanie się miększych pokryw gruntów deluwialnych.

Szczególnie niepożądane skutki wywołuje liniowy spływ wód opadowych i pochodzących z rozmarzającego gruntu. Rozwija się wtedy intensywny proces **abłacji deszczowej**. Formują się prawie momentalnie **żłobki erozyjne**, które przekształcają się szybko w **wąwozy**. Z czasem przybierają one gęsty układ dendrytowy. Proces ten szczególnie intensywnie rozwija się w strefach krawędziowych obszarów lub na kontakcie z obniżeniami dolinnymi.

W efekcie szybkiego spływu podziemnego wód sączeniowych w podłożu następuje rozwój procesu **sufozji śródwarstwowej**. W wyniku podziemnego mechanicznego wypłukiwania mineralnych cząstek szkieletowych w podłożu gruntowym tworzy się sieć pustek (kanały, kawerny). Powoduje to, że nawet pod wpływem samego ciężaru nadległych warstw następuje zapadanie gruntu. Na powierzchni formować się mogą rozległe **kotły sufozyjne**.

8.4. Obszary kotlin i dużych dolin rzecznych

8.4.1. Kotliny

W wielu częściach strefy wyżynnej występują rozległe obniżenia terenu odgraniczone od wyniesień stromymi krawędziami mającymi w planie prosty przebieg. Obszary te określane są jako **kotliny (padoly, obniżenia)**. Są to formy o złożonej genezie. Charakteryzują się płaską powierzchnią dna, która częściowo może być zabagniona, względnie występują na niej rozległe pola wydmowe. W płytkim podłożu pod piaskami lub gruntami organicznymi występować mogą słabo skonsolidowane grunty spoiste. W dna kotlin wcięte są meandrujące lub rozłokowe koryta cieków.

Ponad dnami kotlin wznoszą się często piaszczyste *terasy nadzalewowe*, których powierzchnia jest zwydmiona. Wyższe partie krawędziowe kotlin wypreparowane mogą być w przedczwartorzędowych gruntach skalistych lub w piaszczystych, zwirowych lub gliniasto-ilastych utworach różnego wieku i genezy (lodowcowej, wodnolodowcowej, rzecznej). Często z obrzeżeniem kotlin wiąże się występowanie gruntów lessowych.

W związku ze zróżnicowaną budową geologiczną poszczególnych kotlin zwierciadło wody podziemnej znajdować się może na różnych głębokościach. Jednak zasadniczo w dnach kotlin występują wody przypowierzchniowe lub gruntowe. Bardzo często są to wody o cechach wykazujących agresywność.

Procesy geodynamiczne w poszczególnych kotlinach wykazywać mogą znaczne odrębności. Na zboczach kotlin rozwijają się procesy związane z powierzchniowymi ruchami masowymi (spływy, zsuwy) i ablacją deszczową. W dnach dolin występują zjawiska zatapiania, erozji rzecznej, procesów wydmych, a w miejscach zabagnionych zjawiska związane z obecnością torfów i namulów.

8.4.2. Duże doliny

Zróżnicowanie litologiczne i tektoniczne strefy wyżynnej powoduje, że doliny erozyjno-akumulacyjne mają zmienną szerokość, asymetryczne przekroje poprzeczne, zmienny spadek dna.

Zaznaczają się wyraźnie *terasy zalewowe*, niekiedy o kilku poziomach wysokościowych. Zbudowane są one z różnej miąższości gruntów organicznych oraz nieskalistych gruntów mineralnych (piaski, gliny, pyły), przechodzą one w głąb w piaski, piaski ze zwirowami i zwirowy zalegające na skalistym podłożu. Koryta rzeczne mają przebieg prosty lub zakolowy (rzadko rozłokowy). W obrębie teras zalewowych stwierdza się występowanie *starorzeczy*, czyli odciętych części dawnych zakoli (meandrów) rzecznych.

W niektórych dolinach terasy zalewowe nadbudowane są przez utwory związane z przemysłowo-gospodarczą działalnością człowieka (tak zwane *mady antropogeniczne, mady przemysłowe*), są to wybitnie nietypowe grunty o cechach agresywnych w stosunku do betonu i metali.

Woda podziemna o charakterze wody przypowierzchniowej (zaskórnej) występuje płytko pod powierzchnią terasy zalewowej, pozostając w związku hydraulicznym z wodami cieku.

Terasy nadzalewowe (jedna lub więcej) położone są na różnych wysokościach w stosunku do dna doliny. Tworzą one rozległe poziomy morfologiczne zbudowane głównie ze średnio zagęszczonych gruntów piaszczystych, rzadziej słabo skonsolidowanych (typ C) gruntów mało spoistych. W obrębie teras nadzalewowych występują wody gruntowe, których zwierciadło położone jest zazwyczaj głębiej niż 2 – 5 m p.p.t.

Często zbocza dolin mają budowę asymetryczną. Z jednej strony zbocza tworzą akumulacyjno-erozyjny system teras nadzalewowych, natomiast po drugiej stronie doliny znajduje się zbocze zbudowane ze skalistych gruntów przedczwartorzędowych.

Zachodzące w dolinach procesy są zasadniczo analogiczne jak w strefie niżowej Polski.

9. PODSTAWOWE WIADOMOŚCI O CECHACH GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH STREFY GÓRSKIEJ

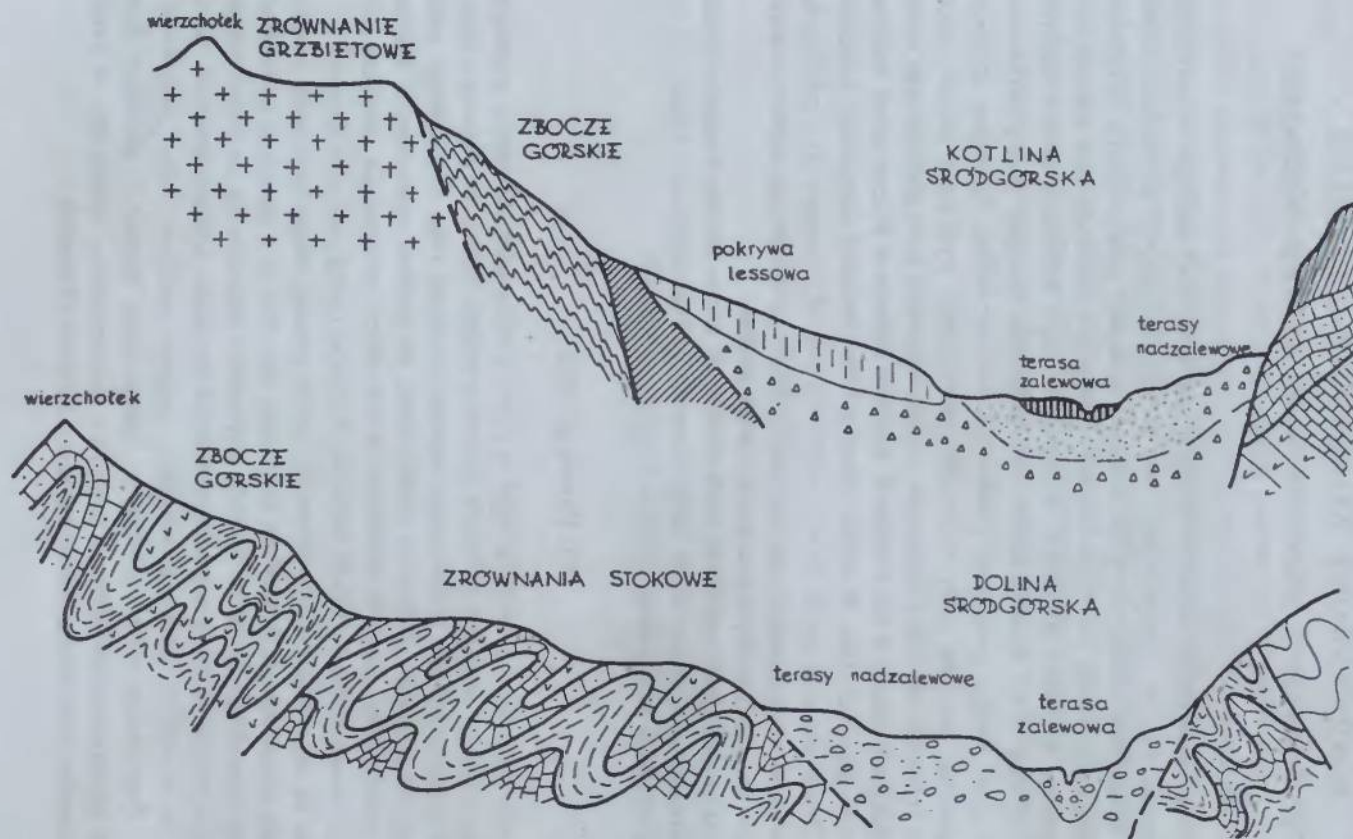
Strefa górska wyróżnia się od omówionych poprzednio stref znacznymi wysokościami bezwzględными, dużymi deniwelacjami oraz dużymi nachyleniami powierzchni terenu. Strefa ta uformowana została w wyniku złożonych **procesów górotwórczych (orogenicznych)**, które spowodowały silne zdeformowanie potężnych kompleksów mas skalnych oraz ich wypiętrzenie w postaci górotworu. Występują tu ciągłe deformacje warstw skalnych, wyrażone poprzez różne systemy fałdów oraz deformacje nieciągłe, czyli poprzesuswane względem siebie wzdłuż powierzchni uskokowych warstwy skalnej. Późniejsze, zróżnicowane regionalnie, pionowe ruchy tektoniczne spowodowały wyniesienie jednych części górotworu i obniżenie drugich. Uformowane zostały kompleksy pasm górskich oraz kotlin. Zmienne położenie lokalnych baz erozyjnych wywołało intensywne procesy erozji wgłębnej i uformowanie głębokich dolin. W wyniku silnego procesu denudacji następowało niszczenie stoków. Obecny charakter profili zboczy uzależniony jest od intensywności i cykliczności pionowych ruchów tektonicznych oraz odporności i układu przestrzennego zdeformowanych kompleksów skalnych budujących poszczególne pasma górskie.

Charakter geologiczno-inżynierski strefy górskiej jest bardzo złożony. Poniżej w sposób bardzo uproszczony ograniczono się do zasygnalizowania podstawowych cech właściwych dla pasm górskich, kotlin śródgórskich oraz dolin śródgórskich (rys. 9.1).

9.1. Pasma górskie

Charakterystycznymi dla strefy górskiej są pasma górskie, które od wąskich **grzbietów** przechodzą długimi o zmiennym nachyleniu stokami w rozległe kotliny lub głębokie o różnej szerokości doliny. Grzbiety górskie mają zmienną szerokość oraz zróżnicowany profil poprzeczny. W przebiegu podłużnym charakteryzują się profilem wyrównanym, falistym zębatym, poszarpanym. Niektóre kulminacje tworzą płaskie powierzchnie określane jako **równie grzbietowe (stoliwa)**, które ku kotlinom lub dolinom opadają stromymi zboczami.

Stoki są najbardziej istotnym elementem rzeźby górskiej. Mogą mieć profil wklęsły, wypukły lub niewyrównany. Deniwelacje są tu rzędu 100 – 600 m, a nachylenie powierzchni zmienia się w granicach 10 – 80%. W wielu przypadkach obserwuje się, że pewne odcinki profilu poprzecznego stoku są spłaszczone, tworząc tak zwane **poziomy zrównań**. Są to szerokie, o niewielkim spadku powierzchnie nadające profilowi stoku „schodkowy” charakter. Powierzchnie stoku porożcinane bywają siecią wąskich i głębokich dolin erozyjnych lub erozyjno-denudacyjnych o dużym i niewyrównanym spadku dna. W strefie górskiej odmienne cechy mają grunty występujące w Sudetach i Karpatach.



Rys.9.1. Schematyczne przekroje przez podstawowe obszary geologiczno-inżynierskie w strefie górskiej Polski

W Sudetach podłoże uformowane jest głównie ze skał krystalicznych i silnie zdiagenezowanych skał osadowych. Zasadniczo najstarsze geologicznie podłoże zbudowane jest ze skał metamorficznych (gnejsy, łupki krystaliczne, marmury, kwarcyty, zieleńce). Występujące w Sudetach podłoże utworzone ze skał magmowych reprezentowane jest przez granity, a w mniejszym stopniu przez gabra, melafiry riolity i bazalty. Sporadycznie występują sjenity i dioryty. Najczęściej skały krystaliczne stanowią grunty skaliste twarde i z wyjątkiem skał magmowych wylewnych są mało lub średnio spękane. Podłoża zbudowane ze skał osadowych reprezentowane są głównie przez piaskowce, zlepieńce, wapienie krystaliczne, łupki ilaste, mułowce. W szeregu kompleksów skalnych znajdują się drobne intruze lub żyły skał magmowych, wokół których występują aureole skał przeobrażonych. Zazwyczaj są to grunty skaliste twarde, mało lub średnio spękane. Układ warstw skalnych jest poważnie zaburzony przez system uskoków, wzdłuż których następuje znaczne przesunięcie warstw skalnych. Na skałach tych występuje zazwyczaj stosunkowo cienka pokrywa gruntów zwietrzelinowych (kamienista, gliniasto-kamienista lub rumoszowa).

Ze względu na nieprzepuszczalne lub słabo przepuszczalne podłoże większość wód opadowych spływa powierzchniowo lub pod cienką warstwą zwietrzeliną ku obniżeniom.

Konsekwencją występowania w podłożu budowanym twardych gruntów skalistych, jest fakt, że procesy geodynamiczne zachodzą tu na stosunkowo małą skalę. Jednak na stromych zboczach następować mogą obrywy i grawitacyjne przemieszczanie materiału głazowego. W przypadku podłoża zbudowanych z wapieni krystalicznych i marmurów występować mogą zjawiska krasowe. Lokalnie na mułowcach zaznaczać się mogą powierzchniowe ruchy masowe.

W Karpatach Wewnętrznych (Tatry, Pieniny) podstawową rolę w podłożu odgrywają skały węglanowe. Są to głównie wapienie masywne i wapienie zdolomityzowane. Tylko miejscami występują łupki ilaste i zlepieńce. W Tatrach pewne partie zbudowane są ze skał krystalicznych głównie granitoidów, granitognejsów i łupków krystalicznych. Natomiast w Pieninach lokalnie występują andezyty. Układ warstw skalnych zaburzony jest przez deformacje mieszane typu fałdowo-uskokowego. Podłoża zbudowane ze skał węglanowych traktuje się jako grunty skaliste miękkie, średnio i bardzo spękane.

Ze względu na silne spękanie skał wapiennych zaznacza się stosunkowo znaczna infiltracja wód opadowych w podłoże i formowanie się podziemnych wód szczelinowych. Zwierciadło tej wody znajduje się głęboko pod powierzchnią terenu, nawiązując do linii lokalnego drenazu wody podziemnej.

Wapienie narażone są na procesy wietrzenia fizycznego i chemicznego. Niektóre odmiany wapieni podatne są na rozwój procesów krasowych. Ze względu na znaczne nachylenie stoków obserwuje się zjawisko powierzchniowych spływów gruntów zwietrzelinowych. Na stromych stokach występuje proces obrywów lub staczania się kamienistej zwietrzeliny ku dołowi. Na obszarze tym zaznaczają się stosunkowo często słabe procesy sejsmiczne (trzęsienia ziemi).

Karpaty Zewnętrzne charakteryzują się podłożem gruntowym zbudowanym ze skał fliszowych. Są to naprzemianległe ułożone piaskowce, łupki ilaste, czasem z przewarstwieniami margli i zlepieńców. Lokalnie występują „egzotyki”, czyli duże kompleksy obcych skał

wśród masywu skał fliszowych. Kompleks skał fliszowych ułożony jest w formie skomplikowanych układów fałdowych, poprzercinanych siecią różnie zorientowanych uskoków. Generalnie skały fliszowe stanowią grunty skaliste miękkie, które są bardzo spękane. Grunty skał fliszowych pokryte są stosunkowo grubą pokrywą gruntów wietrzelinowych i rumoszem, najczęściej gliniasto-kamienistym, niekiedy kamienistym.

Ze względu na występowanie na powierzchni tego obszaru słabo przepuszczalnej zwietrzliny infiltracja wód opadowych jest bardzo ograniczona. Dodatkowym ograniczeniem infiltracji wgłębnej w górotworze jest występowanie w jego wnętrzu nieprzepuszczalnych przewarstwień zbudowanych z łupków ilastych. Zazwyczaj woda opadowa spływa powierzchniowo lub na granicy gruntów wietrzelinowych i gruntów skalistych.

Grunty fliszowe podatne są bardzo na proces wietrzenia mechanicznego, w wyniku którego formują się pokrywy gliniaste lub kamieniste. Na stokach następuje rozwój bardzo silnych zmywów powierzchniowych i formowanie się u podstawy stoków utworów deluwialnych. W przypadku skoncentrowanego spływu wody opadowej na stoku następuje jego liniowe rozcinanie. Tworzą się bruzdy erozyjne, wąwozy, jary i strome doliny o poprzecznym V-kształtnym przekroju. Ze względu na fałdowy układ warstw skał fliszowych i znaczne nachylenie stoków Karpaty Zewnętrzne są szczególnie narażone na rozwój procesów osuwiskowych. Zjawisku temu sprzyja naturalne przeciążanie masywu skalnego na stoku po intensywnych opadach atmosferycznych oraz podcinanie podstawy stoku przez lokalne ciekі. Proces ten w sposób sztuczny wspomaga człowiek przez przeciążanie stoku budowlami, niewłaściwą gospodarką wodną na stoku, podcinaniem stoku celem przeprowadzenia szlaków komunikacyjnych oraz wywołując wibrację spowodowaną przejazdem pociągów lub ciężkich samochodów. Jęzory koluwalne wkraczające w dna dolin powodują lokalnie zmianę biegu koryta cieków. Na obszarze tym rejestrowane są słabe trzęsienia ziemi, dlatego też w przypadku ciężkiego budownictwa wodnego (np. zapory) problematyka sejsmiczna uwzględniana jest na etapie projektowania i wykonawstwa tych prac.

9.2. Kotliny śródgórskie

Kotliny stanowią rozległe formy wklęsłe o płaskich dnach ograniczonych przebiegającymi mniej więcej prosto w planie, stromymi stokami góorskimi. Regionalnie formy te określane są jako *zapadliska*, *depresje*, *rowy*. Koryta cieków przecinają dna kotlin łącząc się w większe systemy hydrograficzne.

W podłożu kotlin na głębokości rzędu 10–30 m p.p.t., występują grunty skaliste. Na skałach tych w dnie kotlin zalegają grunty mineralne nieskaliste. Są to najczęściej grunty kamieniste, żwirowe i piaszczyste przykryte utworami gliniastymi. Niekiedy znajdują się tu też wkładki gruntów organicznych. Generalnie grunty mineralne są słabo skompresowane. Grunty piaszczyste są luźne lub średnio zagęszczone, natomiast grunty spoiste należą do grupy C.

Ponad dnem kotlin wznosić się mogą stożki napływowe lokalnych cieków spływających do kotlin. Kotliny systemem kilku poziomów teras akumulacyjno-erozyjnych

przechodzą w stoki górskie. Terasy te najczęściej zbudowane są z gruntów zwirowo-kamienistych przemieszanych ze średnio zagęszczonymi gruntami piaszczystymi i gruntami spoistymi o konsolidacji typu C.

W wyższych partiach kotlin zbocza wypreparowane są w gruntach skalistych, które nadbudowywane są utworami pyłowymi i gliniastymi. Nadaje to tym rejonom cechy analogiczne do omówionych w rozdziale 8.3. obszarów lessowych.

W obrębie niektórych kotlin w różnych sytuacjach wysokościowych występują grunty pochodzenia glacialnego, fluwioglacjalnego i limnoglacialnego. Są to gliny zwałowe, piaski ze żwirami, wstęgowe iły zastoiskowe. Cechy tych gruntów są analogiczne jak w strefie nizinowej Polski (por. rozdz. 4 i 7).

W dnach kotlin wody podziemne występują stosunków płytko, nawiązując do poziomu wody w znajdujących się tu ciekach. Na wyższych poziomach terasowych występują wody gruntowe. Miąższość warstwy suchej jest zazwyczaj większa od 2–5 m. Wody te nie są agresywne w stosunku do konstrukcji budowlanych.

Najwyraźniej procesy geodynamiczne rozwijają się w dnach kotlin, które w okresach nawałnych opadów są zalewane wodami powodziowymi. Towarzyszy temu podpiętrzanie wód podziemnych i możliwość występowania w strefach krawędziowych kotlin zjawiska podtapiania obiektów budowlanych. W niektórych miejscach na krawędziach kotlin zaznaczają się zjawiska powierzchniowych ruchów masowych. W Karpatach na obszarach kotlin bierze się pod uwagę możliwość występowania słabych zjawisk sejsmicznych.

9.3. Doliny śródgórskie

W strefie górskiej doliny są bardzo zróżnicowane pod względem morfogenetycznym i morfometrycznym. Obok małych dolin erozyjnych o V-kształtym profilu poprzecznym i dużych spadkach dna, występują rozległe doliny typu erozyjno akumulacyjnego.

Budowa geologiczna strefy górskiej powoduje, że doliny mają zmienny przebieg, różną szerokość, zmienne nachylenie dna oraz zróżnicowaną wysokość i nachylenie zboczy. W układzie sieci dolinnej występują często odcinki przełomowe, charakteryzujące się zwężeniami dolin. W terenach ujść małych dolinek do doliny głównej, w związku ze zmniejszeniem się spadku, tworzą się rozległe formy stożków napływowych zbudowane głównie z materiału kamienistego zwirowego.

W dużych rzecznych dolinach śródgórskich zaznacza się wyraźnie terasa zalewowa, czasem wielopoziomowa, która zbudowana jest w sąsiedztwie koryta z otoczków, żwirów. Natomiast w miarę oddalania się do niego, w rejonie zasięgu wód powodziowych, terasa zalewowa zbudowana jest ze słabo skompresowanych piasków i glin z dużą ilością materiału zwirowo-kamienistego.

Powyżej dna doliny (równi zalewowej), występuje system teras nadzalewowych, sięgających nawet do wysokości 50 m ponad poziom terasy zalewowej. Najczęściej jest to układ asymetryczny, gdyż terasy te znajdują się tylko po jednej stronie doliny. Terasy nadzalewowe zbudowane są z gruntów kamienisto-żwirowych z przewarstwieniami lub

przeławiczeniami gliniastymi. Bardzo często poziomy teras nadzalewowych łączą się z jezorami osuwiskowymi (kołowami).

W podłożu terasy zalewowej woda podziemna zalega płytko, nawiązując do poziomu wody w cieku. Natomiast na terasie nadzalewowej występuje typowa woda gruntowa o swobodnym zwierciadle.

W dolinach rzecznych bardzo często zaznaczają się procesy zatapiania wodami powodziowymi rozległych powierzchni terasy zalewowej (równi zalewowej). Szybko płynąca woda, niosąca duże ilości zawiesiny i transportująca bardzo grube rumowisko (głazy, kamienie, otoczaki) powoduje silną erozję wgłębną oraz boczną. Efektem tej działalności jest podcinanie zboczy doliny i rozwój powierzchniowych ruchów masowych (szczególnie procesów osuwiskowych). Odkładany po okresie powodzi gruby materiał kamienisty i glazowy oraz kłody drzew, w łóżysku wody powodziowej w sposób poważny zmienia pierwotny przebieg koryta cieku. Duże prędkości erozyjne wody i transportowane rumowisko stanowią poważne zagrożenie dla przepraw mostowych przecinających doliny górskie. W Karpatach silne zmywy powierzchniowe i duża ilość transportowanego rumowiska w znaczący sposób skracają czas eksploatacji sztucznych zbiorników wodnych.

10. MELIORACJE GEOTECHNICZNE

10.1. Wprowadzenie

Ocena terenu oparta tylko na analizie stwierdzonych cech środowiska geologicznego, nie stanowi zwykle obiektywnej oceny inżynierskiej, nawet jeśli uwzględnia się prognozy przebiegu zmian tych cech. Są bowiem liczne sposoby, za pomocą których można radykalnie poprawić charakter podłoża budowlanego. Zastosowany tu termin **melioracje geotechniczne**, oznacza ogół zabiegów geotechnicznych polepszających cechy środowiska geologicznego w aspekcie budowlanym

Warto zaznaczyć, że jeżeli istnieją możliwości poprawy naturalnych cech środowiska, to znacznej obniżce ulegają koszty związane z badaniami terenowymi, projektowaniem budowli, jej wykonaniem oraz eksploatacją. Ekonomia całokształtu inwestycji budowlanej wymaga zatem wnikliwego rozważenia, czy nie dałoby się danego środowiska zmeliorować geotechnicznie.

Poniżej przedstawione zostały wybrane zabiegi geotechniczne mające polepszyć walory inżynierskie terenu i przystosować go dla określonego typu budownictwa. Zaprezentowane tu zabiegi traktować należy w sposób ogólny, jako czynności polepszające z punktu widzenia budowlanego dany teren, a nie czynności odnoszące się do konkretnego obiektu budowlanego.

10.2. Melioracja geotechniczna rzeźby terenu

Rzeźba terenu często rzutuje w sposób istotny na właściwości budowlane. Wpływa bowiem bezpośrednio lub pośrednio na powstawanie i przebieg różnych procesów geodynamicznych. Zagospodarowanie budowlane pewnego terenu wymaga zwykle, aby jego powierzchnia miała określoną rzędną lub określony spadek (względnie jedno i drugie). Spełnienie tego warunku uzyskuje się przez wyrównywanie, tarasowanie, wykopy lub nasypy. Meliorację geotechniczną rzeźby realizuje się z wykorzystaniem sprzętu do robót ziemnych (koparki, spychacze i inny), transportu (taśmociągi, samochody i inny) i do zagęszczania gruntu (walce, ubijaki, wibratory). Sporadycznie stosuje się nietypowe sposoby tych zabiegów, na przykład odstrzeliwanie odpowiednio założonych ładunków wybuchowych, hydromonitory do odpajania gruntu, pulpociągi do transportu mieszanki wodno-gruntowej, refulacyjne formowanie nasypów.

10.2.1. Wyrównywanie

Wyrównywanie wykonywane jest w celu nadania powierzchni terenu spadku o określonej wartości. Gdy spadek ten ma być zerowy, wyrównywanie ma charakter poziomy

i nazywa się **niwelowaniem terenu**. Niwelowanie ma na celu wytworzenie powierzchni przydatnej do użytkowania (zabudowa stała lub tymczasowa, transport, komunikacja, składowiska, obiekty sportowe).

Jeżeli spadek ma być większy od zera, wyrównywanie rzeźby nazywane jest **profilowaniem zbocza** i prowadzi do wytworzenia skarpy o określonym nachyleniu. Profilowanie stosowane jest zwykle przy formowaniu powierzchni nieużytkowej, np. zagospodarowaniu terenów zielonych, przy ochronie terenu przed nadmiernym wsiąkaniem wody opadowej, rekultywacji terenów wyrobisk.

10.2.2. Tarasowanie

Tarasowanie stosuje się w przypadku występowania długich i stromych zboczy, gdy niwelowanie powierzchni do jednego poziomu wymagałoby dużych prac ziemnych (rys. 10.1). Tarasowanie stosowane jest w celu uformowania powierzchni przeznaczonych pod zabudowę osiedlową, lokalizację rozległych zakładów przemysłowych. Prace te wykonywane są głównie w strefie górskiej i wyżynnej. W mniejszym zakresie tarasowanie wykonywane jest w strefie niżowej, głównie podczas budowy dróg kołowych oraz linii kolejowych.

10.2.3. Wykopy

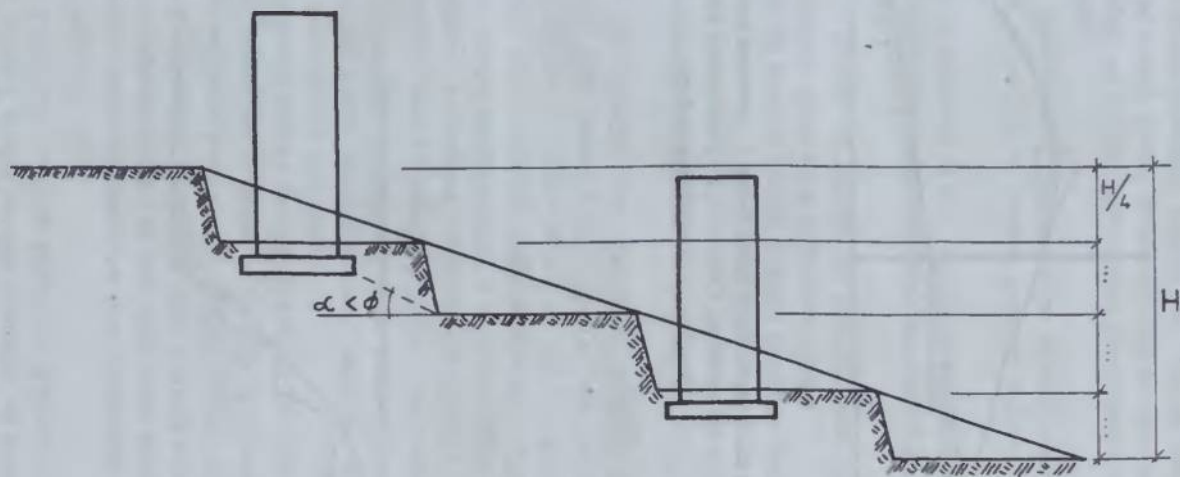
Wykopy jako środek melioracji geotechnicznej rzeźby, wykonuje się w celu obniżenia powierzchni terenu (rys. 10.2.). Zwykle związane jest to z przeprowadzaniem dróg kołowych i linii kolejowych. Wykopy stosowane są przy budowie kanałów lub formowaniu dna zbiorników wodnych.

Wykopy tymczasowe wykonuje się dla posadowienia budowli, umieszczania w gruncie różnego rodzaju rurociągów oraz innych instalacji podziemnych. Wykopy takie po wykonanych pracach są zasypywane i nie zalicza się ich do zabiegów korekcyjnych rzeźby terenu.

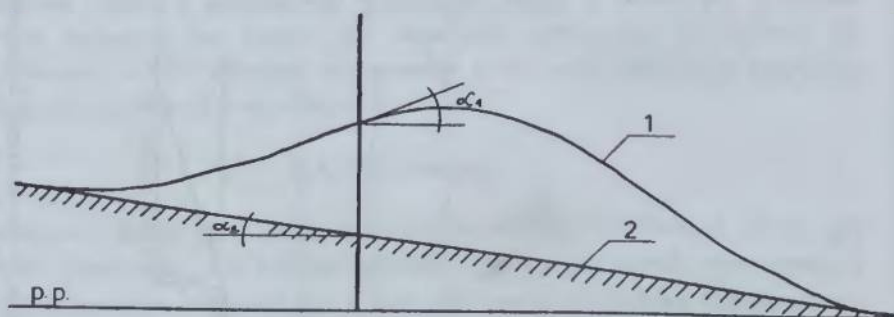
10.2.4. Nasypy

Nasypy wykonywane są w celu podwyższenia powierzchni terenu i poprowadzenia nimi dróg kołowych, linii kolejowych lub kanałów (rys. 10.3). Nasypami są też wały przeciwpowodziowe, zapory ziemne i tym podobne budowle ziemne.

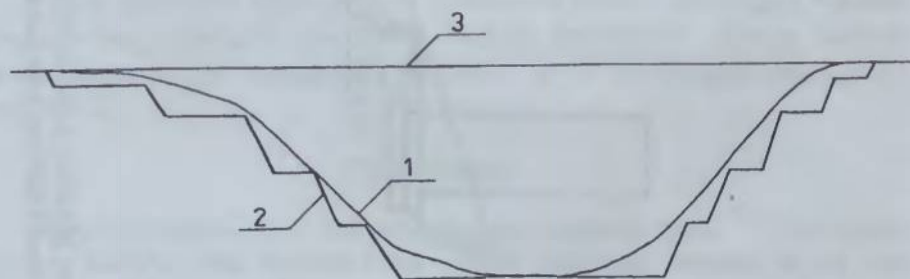
Zabieg ten stosuje się również do podwyższenia rzędnej powierzchni dużego terenu, na przykład terasy zalewowej rzeki, przygotowując ten teren do zabudowy. Nasypy takie są nie tylko środkiem melioracji geotechnicznej rzeźby, ale i zabiegiem poprawiającym właściwości gruntowe, stosunki wodne oraz zapobiegającym rozwojowi procesów geodynamicznych.



Rys. 10.1. Tarasowanie zbocza jako zabieg poprawiający charakter rzeźby terenu: H – wysokość zbocza, α – kąt nachylenia do poziomu prostej łączącej stopę skarpy tarasu z najbliższą krawędzią wyższego fundamentu, Φ – kąt tarcia wewnętrznego gruntu budującego zbocze



Rys. 10.2. Wykop jako zabieg poprawiający rzeźbę terenu: 1 – pierwotna powierzchnia terenu o spadku większym lub odwrotnym niż potrzebny, równym α_1 , 2 – powierzchnia terenu o spadku potrzebnym równym α_2 , po wykonaniu wykopu



Rys. 10.3. Nasyp jako zabieg poprawiający rzeźbę terenu: 1 – pierwotna powierzchnia terenu o dużym spadku, 2 – wcięcia w podłoże gruntowe, 3 – powierzchnia terenu po wykonaniu nasypu

10.3. Melioracje geotechniczne gruntu

Właściwości budowlane gruntu można poprawić za pomocą szeregu metod. Celem ich stosowania jest zwykle zwiększenie wytrzymałości i zmniejszenie ścisłości gruntu lub zmniejszenie jego wodoprzepuszczalności. Oprócz celu, metody melioracji geotechnicznej różnią się w zależności od rodzaju gruntu, do którego mają być stosowane. Czasem przyjęcie tej czy innej metody zależy od rodzaju budownictwa planowanego na danym terenie i od możliwości wykonawczych.

Zabiegi melioracji geotechnicznej gruntów można sklasyfikować na podstawie stopnia i sposobu oddziaływania na podłoże w miejscu przyszłej budowy, wyróżniając poniższe sposoby.

1. Grunt wymienia się całkowicie na inny, odpowiadający celowi budowy.
2. Grunt miejscowy wzbogaca się dodatkowymi składnikami (np. cementem, wapnem, szkłem wodnym, asfaltem).
3. Grunt miejscowy poddaje się stałemu lub tymczasowemu oddziaływaniu określonego pola fizycznego (naprężeń, temperatury, elektrostatycznego).

W praktyce stosuje się również łączenie różnych sposobów melioracji geotechnicznej podłoża gruntowego.

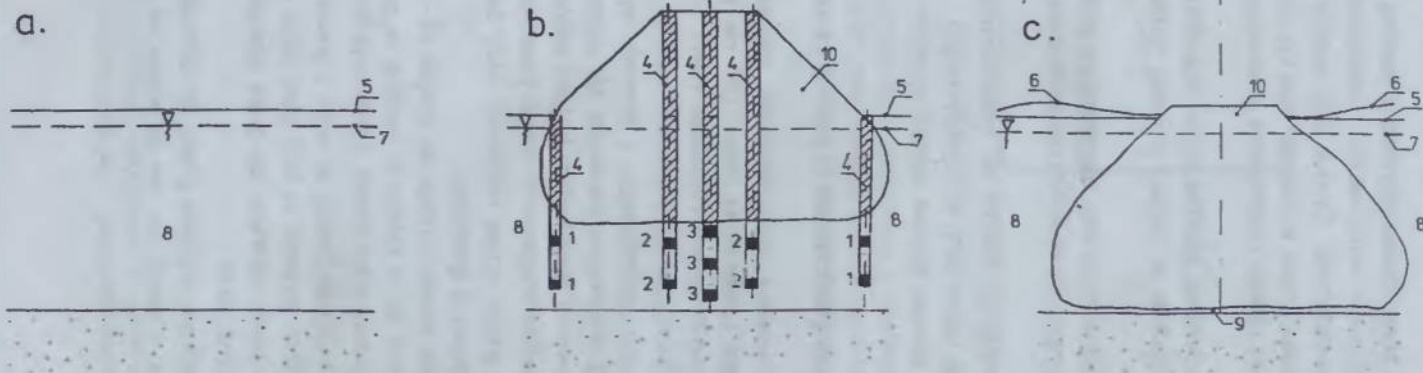
10.3.1. Melioracje geotechniczne za pomocą wymiany gruntu



Wymiana gruntu jest opłacalna przy głębokości zalegania gruntu podlegającego wymianie do około 3 m pod powierzchnią terenu (ale nie poniżej zwierciadła wody podziemnej). Wymienia się zwykle grunty organiczne (torfy, namuły, gytie) lub grunty mineralne spoiste w stanie plastycznym lub miękkoplastycznym. Wymieniane grunty słabe wykopuje się za pomocą sprzętu mechanicznego, a powstały wykop zapelnia się gruntem mocnym (zwykle niespoistym), wałowanym warstwami lub ubijanym. Sposób ten jest dość często stosowany przy posadowieniu bezpośrednim budowli najróżniejszych typów. W przypadku dysponowania odpowiednio wyspecjalizowanymi pracownikami i posiadania odpowiedniego sprzętu, wymianę gruntu można realizować także bez wykonywania wykopu. Prace takie prowadzi się następującymi sposobami:

1. Na powierzchnię gruntu słabego usypuje się kolejno 30 – 100 cm warstwy tłucznia kamiennego, a następnie wtłacza się je kolejno w podłoże za pomocą ciężkich ubijaków. Grunt słaby jest częściowo wypierany przez tłuczeń, a częściowo wchodzi w jego pory.
2. Na powierzchni gruntu słabego formuje się nasyp z gruntu mineralnego o wysokości na tyle dużej, aby swym ciężarem wypierał na boki spod siebie grunt słaby. To usuwanie gruntu słabego spod nasypu czasem ułatwiane jest przez odstrzelenie ładunków wybuchowych założonych pod nasypem (rys. 10.4).

Jeśli nie wykonuje się wykopu, wymiana gruntu jest opłacalna do znacznie większych głębokości niż 3 m (np. 10 m) i sposób ten jest niezależny od głębokości występowania zwierciadła wody podziemnej.



Rys. 10.4. Wymiana gruntu za pomocą wybuchów: a – pierwotne złożu torfu, b – nasyp mineralny zawieszony wśród nieskonsolidowanych torfów z umieszczonymi pod nim ładunkami wybuchowymi, c – nasyp po odpaleniu ładunków, 1, 2, 3 – ładunki wybuchowe zakładane w otworach wiertniczych, odpalane w kolejności numeracji, 4 – otwór wiertniczy zasypany po umieszczeniu ładunków, 5 – poziom porównawczy, na rys. a i b – powierzchnia terenu, 6 – powierzchnia terenu po wybuchu i wyrzuceniu torfu na boki, 7 – zwierciadło wody podziemnej, 8 – torfy nieskonsolidowane, 9 – cienka warstwa torfu pozostała po wybuchu sprasowana uderzeniem wybuchu i po opadnięciu nasypu, 10 – nasyp mineralny

10.3.2. Melioracja geotechniczna gruntu za pomocą dodawania składników

Dodawanie składników do podłoża gruntowego prowadzi się przez iniekcje (zastrzyki) lub przez mieszanie.

Iniekcje

Iniekcją (zastrzykiem) nazywa się wprowadzanie w podłoże pod ciśnieniem pewnych substancji zmniejszających porowatość i powodujących **agregatyzację iniekcyjną i zeskalenie (petryfikację) gruntu**.

Kolmatację prowadzi się w celu zmniejszenia przepuszczalności gruntu. Wykonuje się ją przez wprowadzanie do podłoża wodnej zawiesiny pyłasto-ilastej, która osadza się w porach gruntu uszczelniając podłoże gruntowe.

W celu zmniejszenia przepuszczalności podłoża i częściowej jego petryfikacji prowadzi się jego **iłowanie**. Polega ono na wprowadzaniu w podłoże pod ciśnieniem zawiesiny ilowej z domieszką cementu. Do wzmocnienia gruntów gruboziarnistych, kamienistych i spękanych gruntów skalistych stosowana jest **cementacja**. W tym celu w grunt wprowadza się pod ciśnieniem zawiesinę cementową, która po stwardnieniu wiąże ze sobą szkielet gruntowy.

Sylikatyzacja jednoroztworowa wykonywana jest przez wprowadzanie w podłoże pod ciśnieniem roztworu krzemianu sodowego lub potasowego (szkło wodne) z domieszką kwasu fosforowego. W efekcie działania tej substancji następuje zeskalenie gruntu.

Podobny efekt uzyskuje się, za pomocą **sylikatyzacji dwuroztworowej**. Polega to na wprowadzaniu w podłoże najpierw kwasu krzemowego lub szkła wodnego, po czym doprowadza się roztwór chlorku wapnia. Stykając się ze sobą, związki te twardnieją, powodując petryfikację podłoża gruntowego.

Nieco innym sposobem jest **bituminizacja**, która polega na wprowadzaniu w grunt emulsji bitumicznej (w normalnej lub podwyższonej temperaturze). W efekcie szybkiej koagulacji emulsji następuje wypełnienie pustek gruntowych i zmniejszenie porowatości podłoża.

Prowadzone są też zastrzyki ze sztucznych żywic organicznych, które są substancjami wiążącymi i po wprowadzeniu jej do podłoża powodują petryfikację gruntu. Do zeskalenia podłoża gruntowego stosowane są też i inne materiały, na przykład popioły lotne, wapno, chlorek wapnia, chlorek żelaza, mieszaniny ługu posulfitowego.

Iniekcje stosowane są do dużych głębokości, nawet do przeszło 100 m. Z reguły podane powyżej zabiegi odbywają się z otworów wiertniczych i zależnie od rodzaju gruntu, zastosowanej substancji i wielkości ciśnienia powodują uzdatnianie podłoża w promieniu 0,5 do 5,0 m od otworu.

Mieszanie

Mieszanie polega na wprowadzeniu pionowo w grunt mieszadła obrotowego (śmigłowe, łopatowe, spiralne itp.), z równoczesnym doprowadzaniem roztworu wiążącego (zwykle wapna lub cementu) przez żerdź mieszadła, w przestrzeń roboczą mieszadła. Mieszadło nie powoduje powstania otworu, jak ma to miejsce w przypadku wiercenia,

występuje tylko wymieszanie gruntu podłoża z dodaną substancją. Sposób ten stosowany jest głównie do wzmacniania podłoża zbudowanych z namulów i torfów do głębokości 20 m. Metodą tą wzmacniane mogą być również podłoża utworzone z innych gruntów.

Opisane powyżej zabiegi iniekcji i mieszania wykorzystywane są do wytworzenia słupów pracujących oddzielnie (rys. 10.5a), formują się z nich słupy pracujące wspólnie jako podziemne przepony, przegrody (rys. 10.5b), względnie jako podziemny blok monolityczny (rys. 10.5c).

10.3.3. Oddziaływanie pola fizycznego

Oddziaływanie pola fizycznego na grunt podlegający wzmacnianiu ma bardzo liczne odmiany. Zwykle stosuje się fizyczne pola: naprężeń mechanicznych (konsolidowanie, zagęszczanie), temperatur (spiekanie, zamrażanie), elektrostatyczne (elektrokineza).

Konsolidowanie i zagęszczanie

Konsolidowanie dotyczy gruntów organicznych lub spoistych, zaś zagęszczanie gruntów niespoistych. Grunty odmiennie reagują na przykładane pola naprężeń. Grunty spoiste oddają wodę powoli, czasem przez wiele lat. Grunty niespoiste zdolne są oddać wodę praktycznie natychmiastowo. Konsolidowanie gruntu spoistego oznacza zawsze jego odwodnienie, a czas konsolidacji proporcjonalny jest do kwadratu długości drogi, po której woda musi być z gruntu odfiltrowana. Dlatego też dążąc do skrócenia czasu konsolidacji, wprowadza się w grunt spoisty pionowe dreny z tektury, tekstylne (geowłóknina) lub formuje się pionowe słupy piaskowe, z których woda będzie mogła szybko być odpompowana.

Konsolidowanie i zagęszczanie gruntów podłoża realizować można za pomocą szeregu sposobów, z których najczęściej stosowane podano poniżej.

- Wstępne obciążenie podłoża za pomocą grawitacyjnego działania nasypu lub specjalnej płyty (rys. 10.6).

- Wałowania kolejno usypywanych 20 – 40 cm warstw gruntu za pomocą walców lub samochodów dowożących grunt. Do prawidłowego uwałowania nie wystarczy jednak jednorazowy przejazd takiego pojazdu; niektóre grunty wymagają nawet do 30 przejazdów.

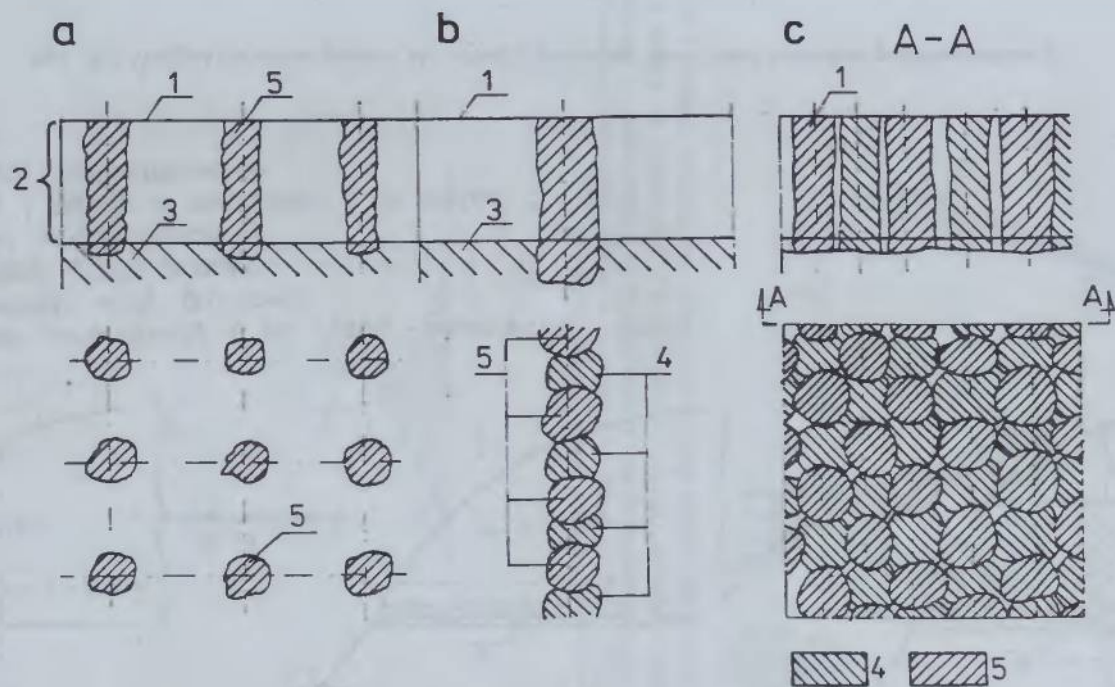
- Ubijanie podłoża uderzeniami ubijaków na sucho (w przypadku gruntów spoistych) lub na mokro przy podłożu zbudowanym z gruntów sypkich (rys. 10.7).

- Wibrowanie wgłębne gruntu niespoistego, za pomocą buławy wibracyjnej, od dołu do góry (rys. 10.8) lub płytą wibracyjną przesuwaną po powierzchni podłoża gruntowego.

- Eksplozja odpowiednio dobranych i celowo umieszczonych w podłożu ładunków wybuchowych (rys. 10.9).

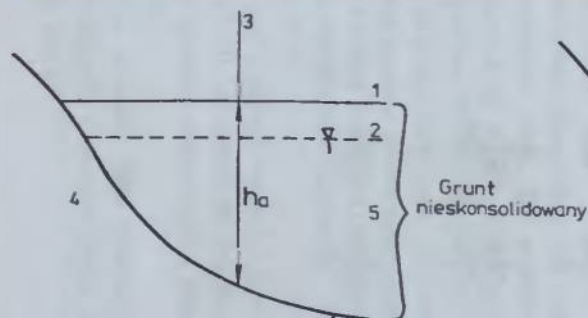
- Wbijanie pali prefabrykowanych lub wbijanie rury i formowanie pala w podłożu gruntowym (rys. 10.10). Utworzone w ten sposób w podłożu pale piaskowe, żwirowe lub kamienne pełnią w gruntach organicznych i spoistych wspomnianą uprzednio rolę przyspieszającą konsolidację.

- Odwadnianie gruntów mało przepuszczalnych filtrami próżniowymi (tzw. igłofiltrami lub igłostudniami). Odpompowywana z podłoża woda odprowadzana jest poza osuszany teren (rys. 10.11).

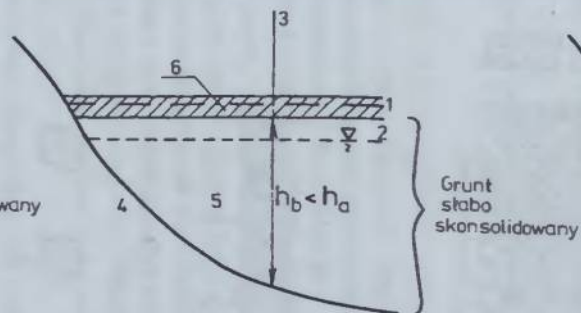


Rys. 10.5. Systemy iniekcji i mieszania (a – punktowy, b – liniowy, c – powierzchniowy): 1 – powierzchnia terenu, 2 – pionowy zasięg gruntu słabego, 3 – warstwa mocna, 4 – słupy wykonane w pierwszej kolejności, 5 – słupy wykonane w drugiej kolejności

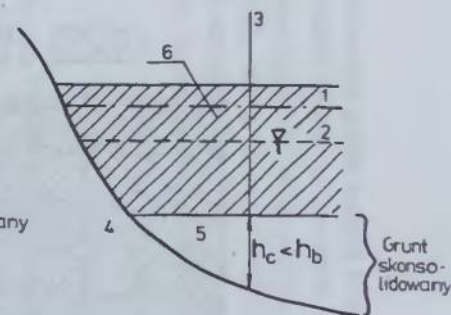
a. Stan pierwotny



b. Stan po wykonaniu pierwszej warstwy nasypu

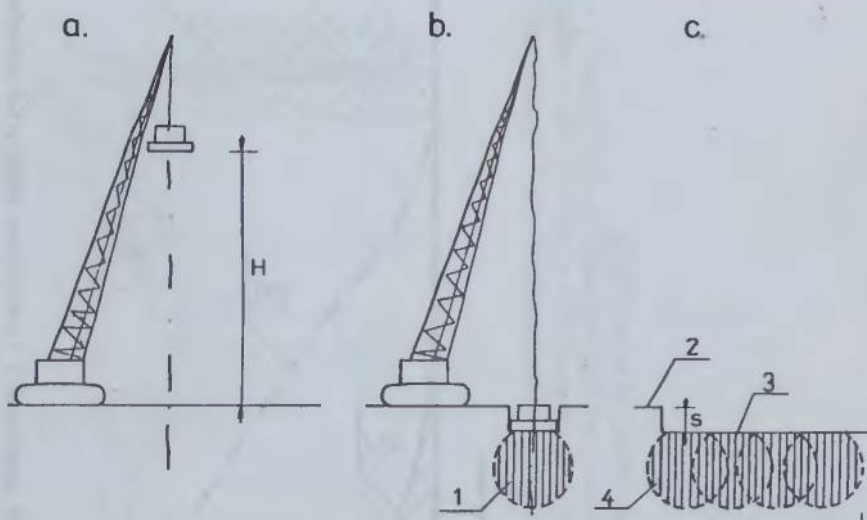


c. Stan końcowy

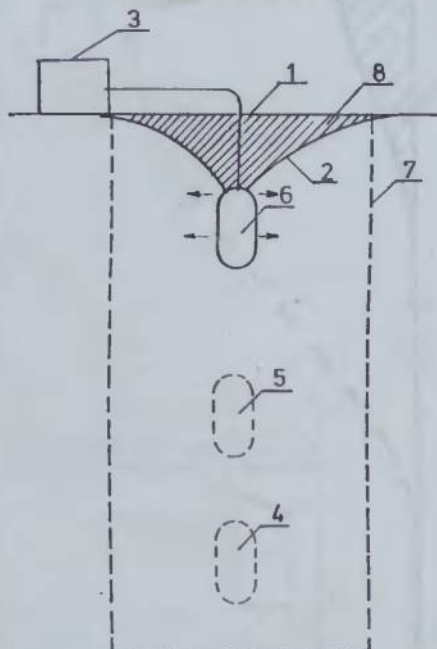


- 1.- Poziom porównawczy a na rys. „a”- powierzchnia terenu
- 2.- Zwierciadło wody gruntowej
- 3.- Ustalony profil pionowy
- 4.- Piaski wodnolodowcowe
- 5.- Torfy i namuły o miąższości h w profilu 3 (a,b,c)
- 6.- Nasypy niekontrolowane

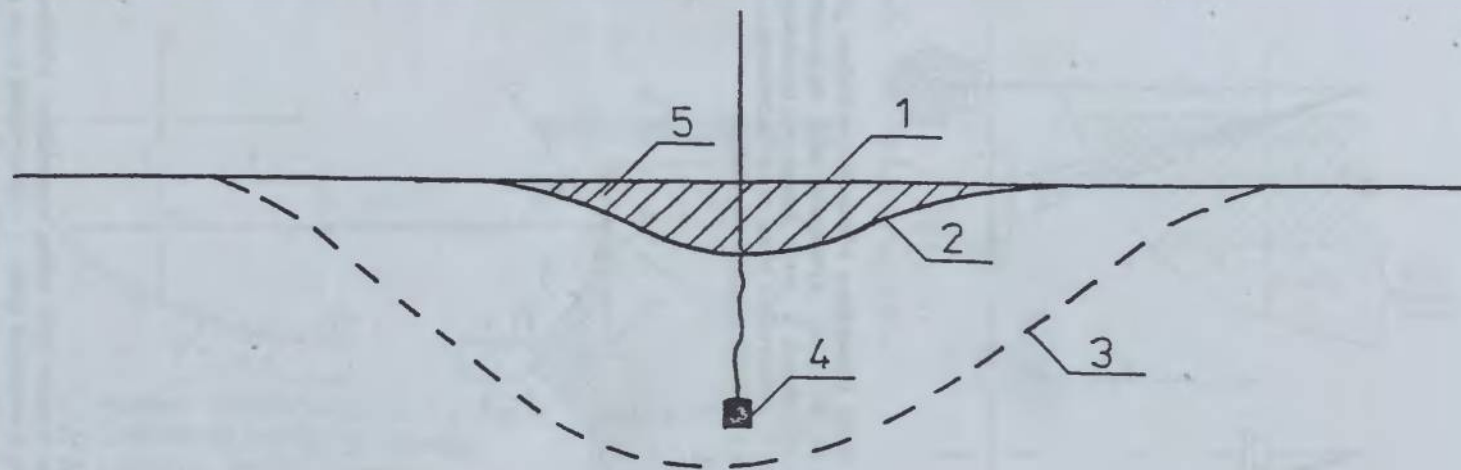
Rys. 10.6. Wstępne obciążenie podłoża jako zabieg poprawiający właściwości budowlane podłoża gruntowego



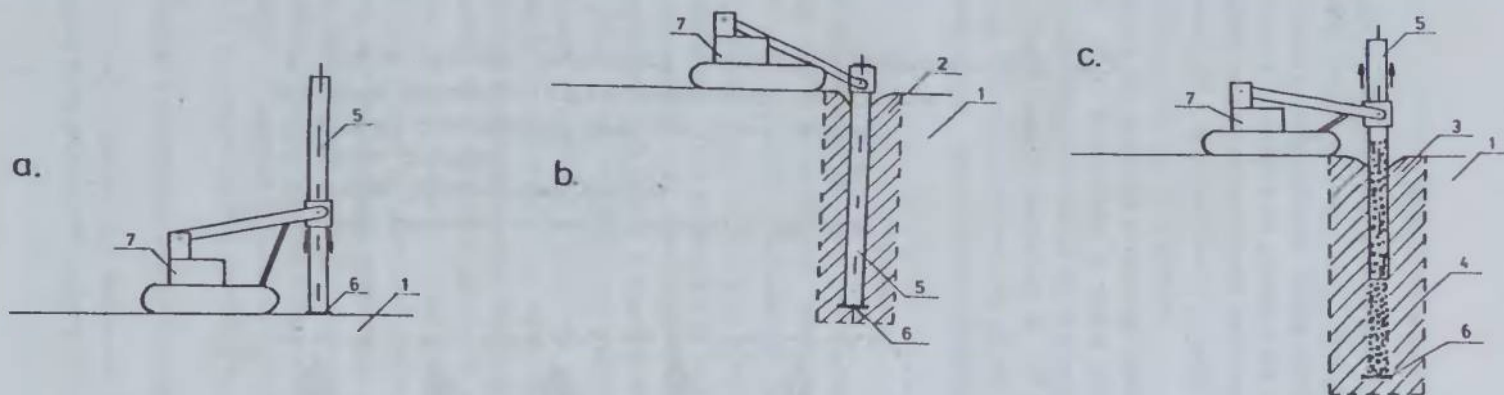
Rys. 10.7. Ubijanie podłoża jako zabieg poprawiający właściwości budowlane gruntu: a – podnoszenie ubijaka na wysokość $H = 10 - 30$ m, b – wytwarzanie strefy zagęszczenia pojedynczym uderzeniem; c – warstwa ubita po serii uderzeń, 1 – strefa zagęszczona pojedynczym uderzeniem, 2 – pierwotna powierzchnia terenu, 3 – powierzchnia terenu po ubiciu obniżona o $s = 0,2 - 1,0$ m, 4 – warstwa ubitego gruntu po serii uderzeń



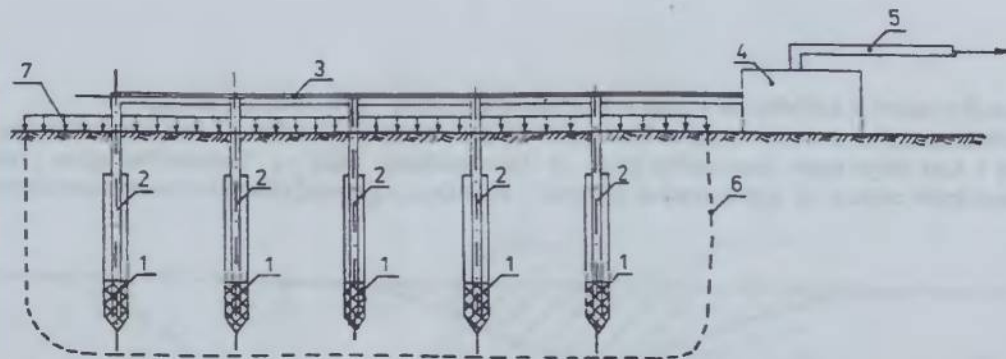
Rys. 10.8. Zagęszczenie wibracyjne wgłębne jako zabieg poprawiający właściwości budowlane podłoża gruntowego: 1 – pierwotna powierzchnia terenu; 2 – powierzchnia terenu po zagęszczeniu podłoża; 3 – silnik wibratora; 4, 5, 6 – kolejne położenie wibratora; 7 – granica strefy zagęszczonej, 8 – ewentualne wypełnienia lejka wibracyjnego materiałem zagęszczonym powierzchniowo



Rys. 10.9. Zagęszczenie eksplozywne jako zabieg poprawiający właściwości budowlane podłoża gruntowego: 1 – powierzchnia terenu przed wybuchem, 2 – powierzchnia terenu po wybuchu, 3 – granica strefy zagęszczenia, 4 – ładunek wybuchowy, 5 – ewentualne wypełnienia leja eksplozywnego materiałem zagęszczonym powierzchniowo



Rys. 10.10. Zagęszczenie gruntu sypkiego palami zwirowymi: a – początek wciskania rury, b – koniec wciskania rury, c – formowanie trzonu pala zwirowego i strefy zagęszczonej, 1 – grunt niezagęszczony, 2 – grunt zagęszczony wciskaniem rury z butem, 3 – grunt zagęszczony dodatkowo przez wibrowanie rury wyciąganej, 4 – formowany przez wibrację zagęszczony trzon pola zwirowego, 5 – rura stalowa, 6 – płyta stalowa lub żeliwna, 7 – katar wciskający rurę w grunt i wyciągający ją potem z gruntu



- 1 - filtr
- 2 - żerdź perforowana w obszarze zamkniętym płaszczem
- 3 - przewód podciśnieniowy zbiorczy
- 4 - pompa próżniowa
- 5 - przewód odprowadzający wodę poza obszar osuszany
- 6 - granice osuszonego i przez to wzmocnionego obszaru gruntu
- 7 - ciśnienie atmosfery zmobilizowane wytworzeniem podciśnienia w rejonie filtrów

Rys. 10.11. Wzmacnianie gruntu za pomocą odwodnienia iglofiltrami próżniowymi

Spiekanie i zamrażanie

Spiekanie gruntów ma szczególne zastosowanie do podłoży zbudowanych z gruntów pyłowych pochodzenia eolicznego (lessy) oraz limnoglacialnego (osady zastoiskowe) lub fluwioglacialnego (niektóre osady kemowe). Zabieg spiekania polega na tym, że w podłoże, przez otwory wiertniczne wprowadza się powietrze lub gazy o temperaturze $400 - 800^{\circ}\text{C}$. W wyniku tego działania następuje uformowanie się trwałego szkieletu gruntowego. W szeregu przypadków równoległe z doprowadzaniem gorących gazów wprowadza się w podłoże sole mineralne, co polepsza efekt petryfikacji gruntu.

Zamrażanie gruntu jest sposobem okresowego zeskalania podłoża w wyniku obniżenia temperatury poniżej 0°C . Zamarzająca w porach woda powoduje czasową petryfikację podłoża. Obniżenie temperatury prowadzone jest za pomocą specjalnego systemu rur, którymi przepływa roztwór chlorku magnezu oziębionego do -20°C . Wykorzystuje się też zamrożony do stanu płynnego azot. Metoda ta stosowana jest głównie w budownictwie podziemnym, gdy w podłożu występują grunty nawodnione uniemożliwiające wykonanie określonych prac budowlanych.

Elektrokineza

Elektrokineza wykonywana jest przez wprowadzanie w podłoże gruntowe elektrod i wytworzenie między nimi pola elektrycznego. Wtedy woda porowa zaczyna przemieszczać się ku katodzie (tak zwane **zjawisko elektroosmozy**), zaś drobne cząstki stałe naładowane przeciwnie niż woda, przez dostatecznie duże pory przemieszczają się ku anodzie (tak zwane **zjawisko elektrokataforezy**). Woda gromadząca się przy rurze wiertniczej, spełniającej rolę katody, jest odpompowywana poza teren uzdatnianego podłoża. Tak więc w wyniku **elektroosmozy** następuje osuszanie gruntu, a jego faza stała ulega koagulacji. Powstałe żele, będące związkami glinu i żelaza, wypełniają pory gruntowe, wytwarzając w nim powiązania koloidalne, zwiększające wytrzymałość i szczelność podłoża. **Elektrokataforeza** powoduje natomiast skupianie się cząstek stałych przy rurze spełniającej rolę anody, co również polepsza cechy budowlane podłoża gruntowego, zmniejszając jego porowatość.

Trzeba stwierdzić, że w warunkach naturalnych zjawisko elektroforezy jest bardzo słabe, gdyż pory gruntu są mało drożne dla cząstek gruntowych. Z tego też powodu łączy się zazwyczaj zabiegi elektrokinezy z zabiegami iniekcijnymi (np. sylikatyzacją dwuroztworową – co określane jest jako **cebertyzacja**), dostarczając do podłoża cząstki o wymiarach koloidalnych, łatwo przenikających przez pory gruntowe. Wtedy przy zabiegu wzmacniającym podłoże gruntowe, równoległe zachodzi elektroosmoza i elektrokataforeza. Proces ten rozwija się, gdy nastąpi odwodnienie spowodowane przez elektroosmozę i zaczynają istnieć sprzyjające warunki do formowania się żelu wypełniającego pory gruntowe.

10.3.4. Zabiegi wzmacniające podłoże a rodzaj budującego je gruntu

W zależności od rodzaju gruntu, jego właściwości fizyko-mechanicznych oraz rodzaju budownictwa stosuje się różne zabiegi geotechnicznej melioracji podłoża gruntowego.

Poprawa nośności gruntów skalistych polega głównie na likwidacji szczelin i pustek występujących w podłożu. Podstawowymi zabiegami wzmacniającymi są iniekcje cementowe lub łożenie. Uszczelnianie drobnych spękań prowadzi się przez wprowadzanie w nie mas piaszczystych, żużlowych oraz związków bitumicznych.

Poprawa właściwości podłoża kamienistego lub gruboziarnistego polega na zmniejszeniu wodoprzepuszczalności oraz podwyższeniu nośności gruntu. Podstawowymi zabiegami są tu cementacja, łożenie z domieszką cementu, sylikatyzacja dwuroztworowa, bituminizacja na gorąco, zamrażanie gruntu.

Podłoża zbudowane z gruntów piaszczystych poddawane jest zabiegom melioracji geotechnicznej mających na celu zmniejszenie wodoprzepuszczalności, zagęszczenie gruntu w celu podwyższenia nośności podłoża, zmniejszenie tendencji do przemieszczania ziaren piasku (np. przewiewania, rozmywania), likwidację kurzawek. Podwyższenie walorów budowlanych podłoża przeprowadza się przez sylikatyzację, bituminizację, zamrażanie, kolmatację, zastrzyki z żywic syntetycznych, poprawę uziarnienia (wymianę gruntu), zagęszczenia wibracyjne, ubijanie, wałowanie, zagęszczanie palami, obniżanie poziomu wody podziemnej, certyfikację (w przypadku piasków drobnych i pylastych).

Skomplikowanych zabiegów melioracji geotechnicznej wymaga *uzdatnienie podłoża zbudowanego z gruntów spoistych*. Czynności te mają na celu: podwyższenie nośności podłoża przez poprawę jego konsystencji (osuszanie), ułatwienie spływu powierzchniowego i zmniejszenie infiltracji wód powierzchniowych w podłoże, zmniejszenie pęcznienia gruntu, zmniejszenie rozmywania gruntów pyłowych. Najczęściej stosowanymi zabiegami geotechnicznymi są: wymiana gruntu, sylikatyzacja, zastrzyki z żywic syntetycznych, elektroosmoza, metody elektrokataforezy, spiekanie lub zamrażanie gruntu, poprawa uziarnienia, wstępne obciążenie gruntu, a częściowo: wałowanie, ubijanie (na sucho), zagęszczanie tłuczniami i palami.

Grнты organiczne poddawane są zabiegom mającym na celu ich skompresowanie, podwyższenie odporności gruntu na ściskanie i wypieranie. Poprawę jakości budowlanej podłoża uzyskuje się przez wymianę, wstępne obciążenie gruntu, zmniejszenie ilości wody w podłożu. W szczególnych przypadkach dodatkowymi zabiegami są zamrażanie gruntu oraz częściowo metody elektrokinetyczne.

10.4. Melioracja geotechniczna właściwości wodnych

W odróżnieniu od geotechnicznej melioracji rzeźby i gruntów, gdzie zabiegi przeważnie ograniczone są do terenu, który trzeba uzdatniać, melioracje wodne zazwyczaj muszą obejmować znacznie większy obszar.

Z punktu widzenia technicznego melioracje geotechniczne właściwości wodnych podłoża budowlanego układu się w trzy grupy:

- zabiegi odwadniające, gdy w podłożu jest za dużo wody;
- zabiegi uszczelniające, gdy terenowi budowlanemu szkodziłby przepływ wody podziemnej;
- zabiegi nawadniające, gdy teren ma za mało wody.

Tradycyjnie przyjęto rozróżniać *melioracje podstawowe*, obejmujące zabiegi na terenie ulepszanym i na obszarze otaczającym teren ulepszany oraz *melioracje szczegółowe* obejmujące zabiegi na terenie ulepszanym. Zasadą jest łączenie obu typów melioracji, gdyż praktyka dowodzi, że melioracje szczegółowe są nieskuteczne, jeśli nie wynikają z melioracji podstawowych.

10.4.1. Melioracje podstawowe

Melioracje podstawowe są zasadniczo typu odwadniającego i wiążą się z ochroną przeciwpowodziową oraz aktywizacją odbiorników. Podział na te dwa typy nie jest ostry, gdyż aktywizacja odbiorników sprzyja ochronie przeciwpowodziowej.

Ochrona przeciwpowodziowa

W celu ochrony przeciwpowodziowej wykonuje się **wały przeciwpowodziowe**. Wały te otaczają teren chroniony. Sypane są z materiału słabo przepuszczalnego o znacznym skompymowaniu. Wysokość wałów przeciwpowodziowych zależy od klasy chronionego terenu. Jednak generalnie wały wykonywane są do wysokości co najmniej 0,5 m ponad poziom wody powodziowej.

Przeciwdziałanie skutkom powodzi prowadzi się też za pomocą **zbiorników retencyjnych**, których celem jest przechwycenie fali powodziowej w rzece, powyżej terenu chronionego. Zgromadzoną wodę oddaje się stopniowo do cieków spłaszczając falę powodziową.

Zbliżone działanie mają **poldery zatapiane**. Są to obszary specjalnie przeznaczone do zatapiania w czasie powodzi, które zlokalizowane są powyżej terenu chronionego. Po ustąpieniu wód powodziowych, poldery wykorzystywane są gospodarczo jako łąki.

Niekiedy wykonywane są **kanały ulgi (kanały odciążające)**, których zadaniem jest przechwycenie wód powodziowych i poprowadzenie ich w ten sposób, aby omijały teren chroniony.

Aktywizacja odbiorników

W ramach tych działań wykonywana jest **regulacja koryta cieków** za pomocą ostróg, tam i kierownic, tak aby przepływ wody był skoncentrowany, a nie rozproszony (zagadnienie to omawiane jest w punkcie 10.5). Przeprowadza się też **skracanie nurtu rzeki** meandrującej za pomocą przekopów. Dzięki temu prędkość przepływu wzrasta, a zwierciadło wody w rzece ulega obniżeniu. Niekiedy skuteczne jest też czyszczenie koryta rzeki z osadów mułowych i roślinności. Dzięki temu zabiegowi wzrasta prędkość wody w cieku i obniża się w korycie jej zwierciadło. W wielu przypadkach prowadzi się **pogłębianie koryta** za pomocą pogłębiarek. Równocześnie wydobyty z rzeki osad odkładany jest na teren przeznaczony do załadowienia (porównaj punkt 10.2.4).

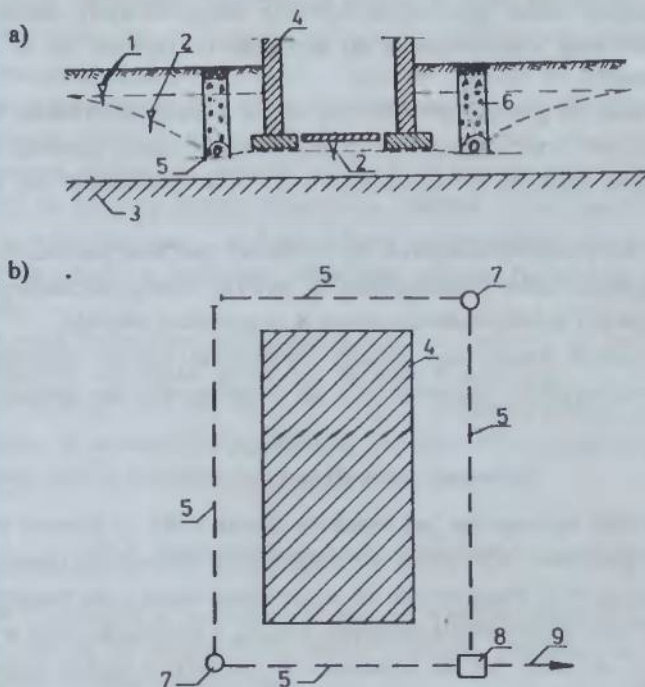
10.4.2. Melioracje szczegółowe

Poniżej zwrócono jedynie uwagę na wody wolne, znajdujące się w wodoprzepuszczalnym podłożu gruntowym. Czynności związane z poprawą własności wodnych podłoża budowlanego usystematyzować można w trzy grupy:

- zabiegi, których celem jest obniżenie zwierciadła wody podziemnej (zabiegi odwadniające),
- zabiegi uszczelniające podłoże przed filtracją wody podziemnej oraz infiltracją wody powierzchniowej,
- zabiegi związane ze sztucznym wprowadzaniem w podłoże gruntowe wód wolnych (sztuczne zasilanie, nawadnianie).

Zabiegi odwadniające

W celu trwałego obniżenia poziomu wody w podłożu gruntowym stosuje się z reguły **drenaż poziomy** (wyjątkowo **drenaż pionowy**), wykonany ze specjalnych sączków drenarskich obsypanych materiałem żwirowym jako filtrem (rys. 10.12).



Rys. 10.12. Trwałe obniżenie zwierciadła wody w pobliżu budynku za pomocą drenażu poziomego wokół budowli: a – przekrój pionowy, b – rzut poziomy, 1 – pierwotne zwierciadło wody podziemnej, 2 – obniżone zwierciadło wody podziemnej, 3 – warstwa nieprzepuszczalna, 4 – budynek chroniony, 5 – dren, 6 – zasypka filtrująca chroniąca dren, 7 – studzienka kontrolna, 8 – studzienka zbiorcza z ewentualnym zespołem pompowym ciśnieniowym, 9 – rurociąg odprowadzający wodę poza obszar osuszany

Zależnie od przestrzennego ukształtowania sieci drenarskiej drenaż ma różny układ. Jeżeli sączki są rozmieszczone w przybliżeniu równomiernie na obszarze meliorowanym, określa się to jako **drenaż systematyczny**. System ten stosowany jest, gdy występują w podłożu nadmiernie nawodnione piaski. Nawodnienie to pochodzi z gromadzenia się w podłożu wód opadowych, lub dopływu do niego wody podziemnej z większych głębokości. **Drenaż opaskowy** stosowany jest wtedy, gdy zawodnienie pochodzi z bocznego dopływu obcych wód podziemnych. Sączki ułożone są w ten sposób, że oddzielają teren chroniony od poziomego dopływu do niego wody podziemnej. **Drenaż nadbrzeżny** wykonywany jest w przypadku, gdy zawodnienie wynika z infiltracji bocznej z cieku lub zbiornika wodnego w podłoże. Sączki prowadzi się na terenie chronionym równolegle do rzeki (lub zbiornika) w niewielkiej odległości od niej. **Drenaż okólny** stosowany jest przy rozmaitych przyczynach zawodnienia. Dotyczy on zawsze pojedynczej budowli lub niewielkiej ilości budynków. Sączki tworzą wtedy pierścień okalający dany obiekt lub grupę obiektów.

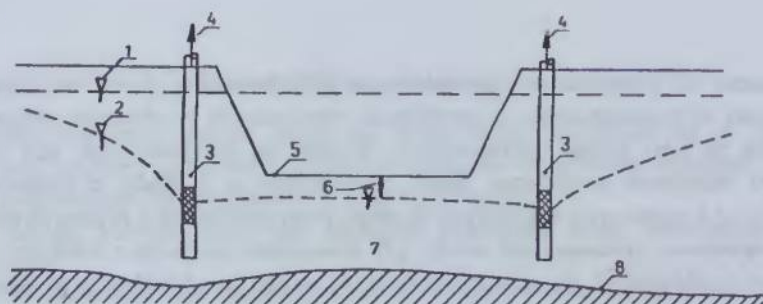
Rzadziej niż drenaż stosowane są **rowy opaskowe**, przechwytyjące przed terenem chronionym obce wody powierzchniowe (lub przypowierzchniowe). Stosowane bywa też wyrównywanie powierzchni terenu do odpowiedniego spadku, gwarantującego zmniejszenie infiltracji wody w podłoże przez zwiększenie jej spływu powierzchniowego.

W przypadku okresowego (niekiedy stałego) odwadniania podłoża stosowane jest pionowe osuszanie za pomocą **studni depresyjnych**. Ze studni tych wykonanych najczęściej sposobem wiertniczym, za pomocą odpowiednio wydajnych pomp wyprowadza się z podłoża wodę wolną poza osuszany teren (rys. 10.12, rys. 10.13). W wyniku pompowania tworzy się wokół studni dynamiczne zwierciadło wody podziemnej, które jest obniżone w stosunku do poziomu pierwotnego. Strefa o obniżonym zwierciadle wody podziemnej wokół studni nosi nazwę **leja depresji**. Po zaprzestaniu pompowania następuje stopniowy ruch wody podziemnej ku górze. W przypadku wodochłonnych gruntów organicznych zamiast studni depresyjnych stosowane są sączki pionowe, o których wspomniano już w punkcie opisującym uzdatnianie gruntów (p.10.3.3.).

Zabiegi uszczelniające podłoże przed filtracją

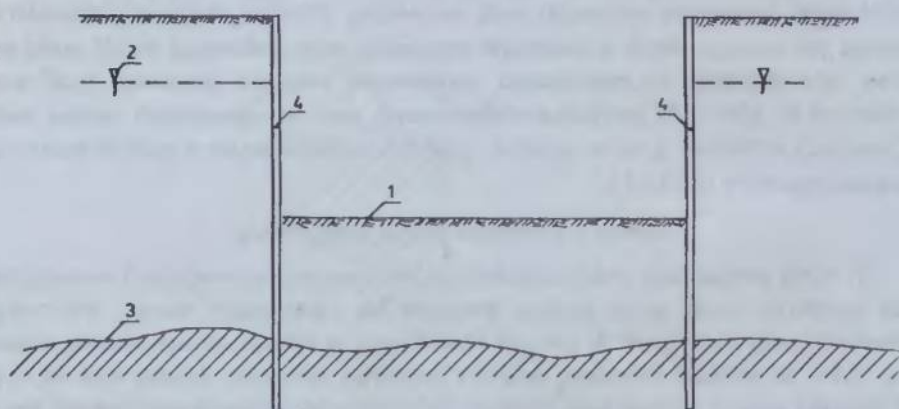
W wielu przypadkach zachodzi konieczność wykonania prac związanych ze zmniejszeniem przepływu wody przez podłoże gruntowe lub ograniczenie zasięgu spiętrzonego zwierciadła wody podziemnej. W tym celu wykonywane są różnego rodzaju **ścianki szczelne** (rys. 10.14), na przykład drewniane, metalowe, betonowe, żelbetowe. Wykonywane też mogą być **pionowe ekrany wodoszczelne** zrobione z zastosowaniem cieczy tiksotropowych. Jest to zawiesina pęczniejącego ilu bentonitowego (smektytu), wprowadzona w wąską i głęboką szczelinę wykonaną mechanicznie w podłożu gruntowym. Po kilku godzinach zawiesina ta ulega zestaleniu, tworząc trwały, nieprzepuszczalny ekran.

W celu ograniczenia infiltracji wód powierzchniowych w głąb podłoża stosowane jest uszczelnianie za pomocą **ekranów poziomych**. Wykonane są one z nasypów uformowanych z gruntów słabo przepuszczalnych (grunty spoiste, niektóre grunty antropogeniczne). Stosowane są też uszczelnienia ze specjalnych folii czy też geowłóknin.



- 1 - pierwotne (statyczne) zwierciadło wody podziemnej
- 2 - dynamiczne zwierciadło obniżonej wody podziemnej
- 3 - studnia wiercona z filtrem
- 4 - odprowadzenie wody ze studni do przewodu zbiorczego
- 5 - dno wykopu
- 6 - osuszona miąższość gruntu pod dnem wykopu
- 7 - warstwa wodoprzepuszczalna
- 8 - warstwa wodoni przepuszczalna

Rys. 10.13. Okresowe (tymczasowe) obniżenie zwierciadła wody podziemnej w rejonie wykopu fundamentowego za pomocą wierconych studni depresyjnych



- 1 - dno wykopu
- 2 - zwierciadło wody podziemnej
- 3 - warstwa wodoni przepuszczalna
- 4 - ściana szczelna stalowa zabita pod strop warstwy nieprzepuszczalnej, uniemożliwiająca dopływ wody do wykopu

Rys. 10.14. Ograniczenie przepływu wody podziemnej do wykopu za pomocą ścianek szczelnych

Zabiegi sztucznego zasilania podłoża wodą

Niekiedy zachodzi konieczność zwiększenia ilości wody w podłożu gruntowym, aby wykorzystać ją do celów konsumpcyjno-gospodarczych. Stosuje się wtedy *sztuczne zasilanie* wodami powierzchniowymi doprowadzanymi rurociągami do specjalnych **basenów infiltracyjnych**, przez których dno następuje infiltracja do warstwy wodonośnej.

W szeregu przypadków sztuczne zasilanie podłoża odbywać się może za pomocą studni chłonnych, czyli pionowych otworów studziennych, do których doprowadzane są wody powierzchniowe lub przypowierzchniowe wody wolne, znajdujące się w płytkim podłożu gruntowym.

Zasygnalizowane powyżej zabiegi są szeroko stosowane w praktyce rolnej, komunalnej i górnictwie. W niniejszym opracowaniu zagadnienia te nie są omawiane.

10.5. Melioracje geotechniczne zapobiegające rozwojowi procesów geodynamicznych

Jak już wielokrotnie wspomniano, procesy geodynamiczne rzutują w poważny sposób na lokalizację, projektowanie, wykonanie i eksploatację obiektów budowlanych. W przypadku stwierdzenia potencjalnych lub czynnych procesów geodynamicznych, przeprowadza się szereg działań mających na celu korektę rzeźby terenu, wzmocnienie podłoża budowlanego lub poprawę warunków wodnych. Poniżej ograniczono się do skróconego przedstawienia podstawowych czynności, jakie wykonywane bywają w celu zapobiegania lub likwidowania niektórych zjawisk geodynamicznych.

10.5.1. Wietrzenie

W celu ograniczania tempa wietrzenia mechanicznego gruntów skalistych specjalne zabiegi ochronne wykonywane są bardzo rzadko. Polegają one na uszczelnianiu skal mleczkiem cementowym, czasem sztucznymi żywicami. Grunty skaliste podatne na wietrzenie chemiczne niekiedy po ich uszczelnieniu, dodatkowo izolowane są ekranami z bituminów lub tworzyw sztucznych przed wpływami agresywnych roztworów wodnych.

W przypadku gruntów nieskalistych, w celu zapobieżenia skutkom wietrzenia, zalecane jest szybkie wykonywanie prac inżynierskich w wykopach, posadawianie obiektów poniżej granicy przemarzania podłoża gruntowego, izolowanie podłoża od wpływu sztucznie podwyższonej lub obniżonej temperatury oraz oddziaływania agresywnych substancji chemicznych.

W celu zapobieżenia powstawaniu wysadzin mrozowych stosowane są specjalne systemy odwadniania podłoża, wymiana gruntów wysadzinowych (spoistych) na niepodatne na to zjawisko (grunty sypkie), izolowanie podłoża od infiltrujących wód powierzchniowych oraz podsiąku wód kapilarnych od dołu.

10.5.2. Spływy zboczowe gruntu

Podstawowym zabiegiem jest przeprowadzanie prac mających na celu zmniejszenie nachylenia stoków (np. poprzez jego tarasowanie), pokrywanie zboczy roślinnością lub trwałą warstwą izolacyjną. W wielu przypadkach przeprowadzane są też zabiegi mające na celu zmniejszanie nawilgotnienia przypowierzchniowej części podłoża gruntowego.

10.5.3. Osuwiska

Zasadniczo zabiegi przeciwoślusiskowe tradycyjnie dzieli się na hydrotechniczne i mechaniczne. Pierwsze zmierzają do poprawy parametrów wytrzymałościowych gruntu osuwiskowego przez jego osuszanie. Drugie mają na celu dokonanie korzystnych zmian dla równowagi zbocza przez zmniejszenie obciążenia masywu osuwiskowego. Z reguły zabiegi hydrotechniczne są znacznie tańsze od mechanicznych i dlatego od nich rozpoczyna się geotechniczne melioracje przeciwoślusiskowe.

Zabiegi hydrotechniczne

Osuszanie masywu osuwiskowego uzyskuje się przez zastosowanie systemu drenów kamiennych (rys. 10.15), z których rowem zbiorczym przyskarpowym woda odprowadzana jest poza teren osuwiska. Niekiedy na dnie drenu kamiennego umieszcza się sączki ceramiczne. Dren kamienny może też spełniać funkcję zabezpieczenia mechanicznego, jeśli umieści się go dostatecznie głęboko pod powierzchnię poślizgu masy osuwiska. Rzadziej osusza się osuwiska rowami otwartymi, systemem drenazowym z sączków ceramicznych, sztolniami, studniami.

Poza osuszaniem samego masywu osuwiskowego należy odciąć też od niego dopływ tak zwanych „wód obcych” systemem rowów opaskowych (rys. 10.16a), warstw izolacyjnych (rys. 10.16b), roślinnością, itp.

Zabiegi mechaniczne

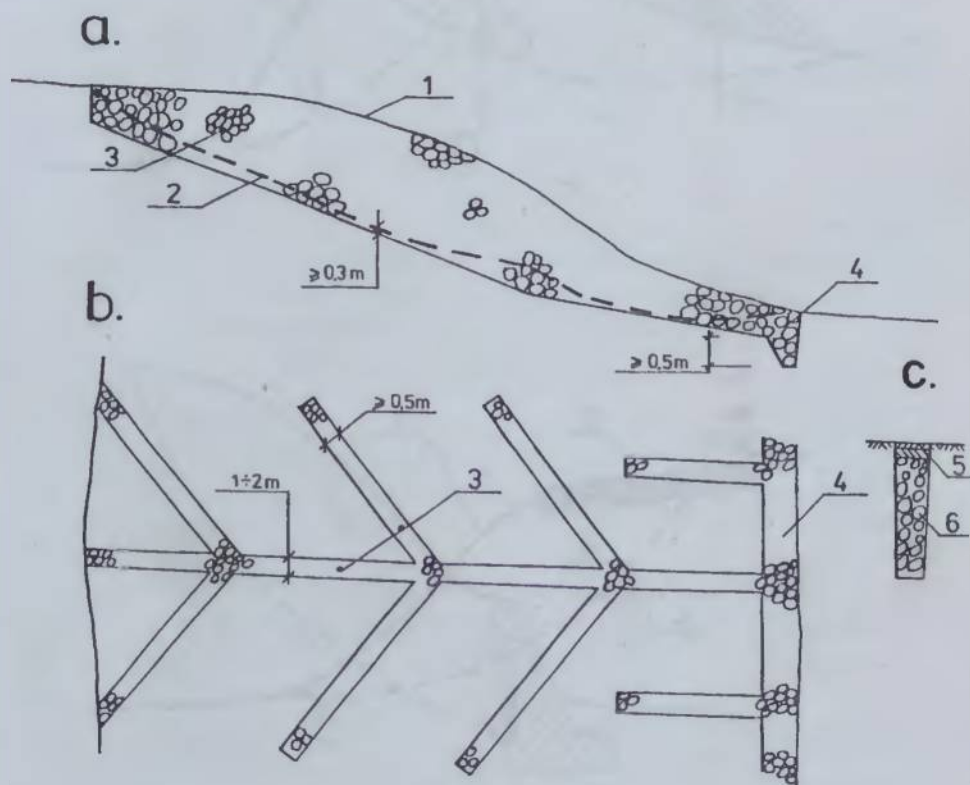
Najprostszym sposobem zabezpieczającym przed zsuwami jest wykonanie prac ziemnych zmniejszających nachylenie stoku lub jego odciążenie przez „schodkowe” starasowanie powierzchni.

Przeciwoślusiskowe zabezpieczenia mechaniczne mają postać przeciwważących bankietów. Bankiety te dostarczają moment siły G_b względem środka obrotu „O”. Moment ten przeciwstawia się momentowi wywracającemu od ciężaru G_s osuwającego się masywu gruntowego (rys. 10.17a). Wykonywane są też często ściany oporowe różnych typów, ale zawsze posadowione poniżej powierzchni poślizgu (rys. 10.17b).

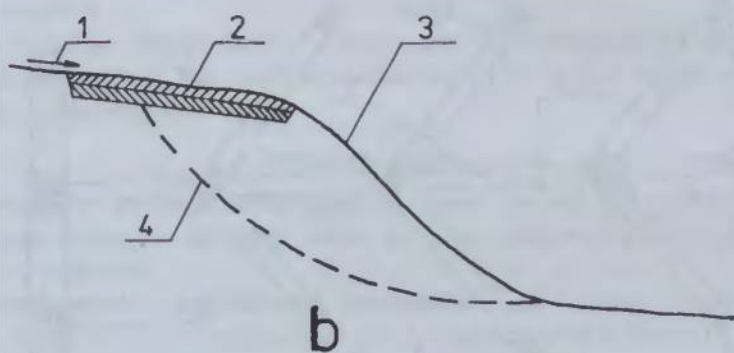
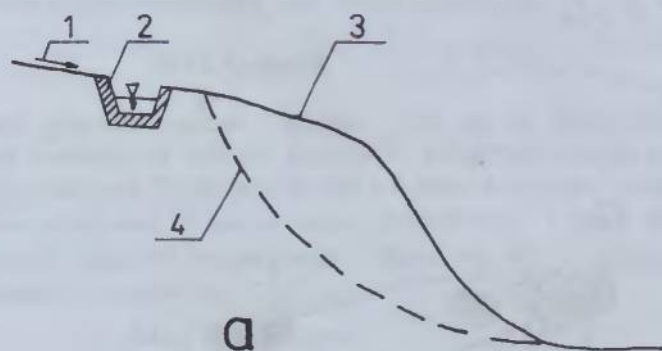
Jako zabezpieczenie przeciwoślusiskowe traktowane są siatki pali różnych rodzajów (najczęściej wkręcanych, w celu uniknięcia wstrząsów podłoża gruntowego), które łączą masyw osuwiska z nieruchomym podłożem.

Zarówno wymienione powyżej jak i inne zabiegi przeciwoślusiskowe w swych szczegółach muszą być określone odpowiednimi obliczeniami lub przynajmniej uzasadnione technicznie, geotechnicznie lub sozologicznie. Na przykład palisada wg rys. 10.18 ma

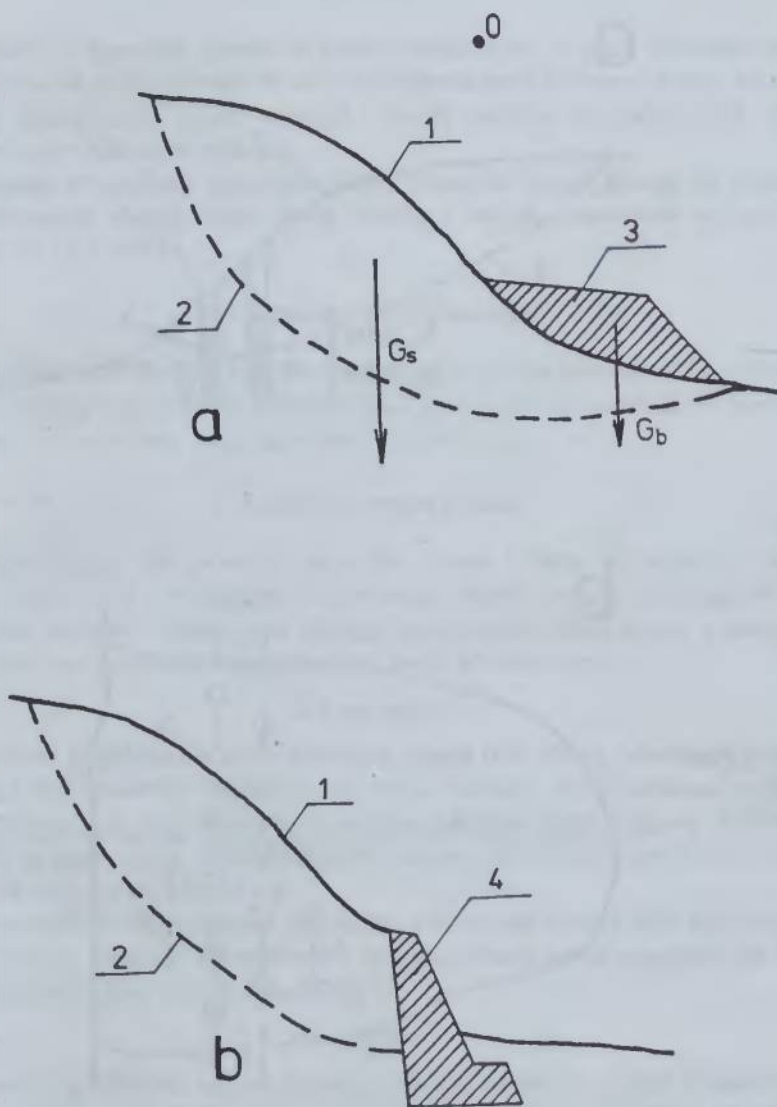
parametry konstrukcyjne b , d , l_1 , l_2 , h_n , h_p , które powinny wynikać z odpowiednich obliczeń. Niektóre zabiegi w pewnych sytuacjach są nieskuteczne, a nawet szkodliwe. Na przykład jeśli masa osuwiskowa utworzona jest z gruntu spoistego w stanie miękkoplastycznym, palisada nie powstrzyma procesu osuwiskowego i konieczne jest uprzednie osuszenie gruntu drenami kamiennymi oraz odcięcie wód obcych za pomocą rowów, drenów lub izolacji powierzchni terenu.



Rys. 10.15. Drenaż kamienny formowany w osuwiskach tworzących się w gruntach spoistych: a – podłużny przekrój pionowy drenu; b – rzut poziomy drenu; c – przekrój poprzeczny drenu, 1 – powierzchnia zbocza, 2 – powierzchnia poślizgu osuwiska, 3 – dren kamienny, 4 – rów zbiorczy przy-skarpowy, 5 – darń, 6 – kamienie

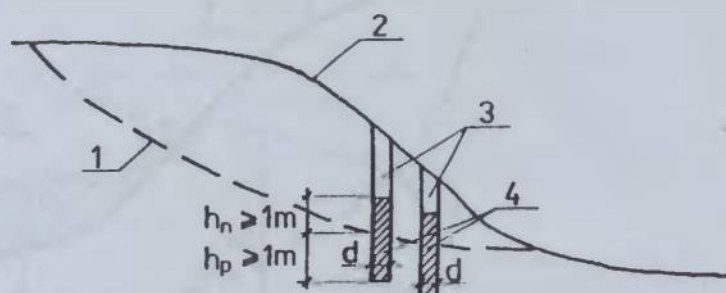


Rys. 10.16. a) ochrona obszaru osuwiskowego przed wodą „obcą” za pomocą rowu opaskowego. (1 – spływ powierzchniowy wody; 2 – rów opaskowy wyłożony gliną; 3 – powierzchnia zbocza; 4 – potencjalna powierzchnia poślizgu), b) ochrona obszaru osuwiskowego przed wodą „obcą” za pomocą warstwy izolacyjnej (1 – spływ powierzchniowy; 2 – pakiety warstw izolacyjnych; 3 – powierzchnia zbocza; 4 – potencjalna powierzchnia poślizgu)

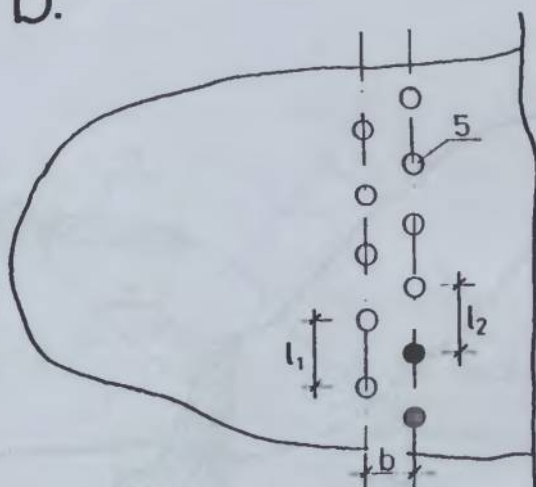


Rys. 10.17. Mechaniczne zabezpieczenie obszaru osuwiskowego za pomocą bankietu (a) i ściany oporowej (b): 1 – powierzchnia zbocza, 2 – powierzchnia poślizgu, 3 – nasyp bankietu, 4 – korpus ściany oporowej, symbole O , G_s , G_p – objaśnione w tekście

a.



b.



Rys. 10.18. Zabezpieczenie przeciwsuwiskowe mechaniczne za pomocą podwójnej palisady (a – przekrój pionowy; b – rzut poziomy): 1 – powierzchnia poślizgu, 2 – powierzchnia zbocza, 3 – część otworu wiertniczego wypełniona gruntem osuwiskowym, 4 – część otworu wiertniczego wypełniona prefabrykatem żelbetowym lub palem wykonanym w gruncie, 5 – miejsce wykonania otworu pod pal, b – szerokość palisady, l_1 , l_2 – odległości w rzędach między otworami wiertniczymi, d – średnica otworu wiertniczego, h_n – wysokość wypełnienia otworu wiertniczego prefabrykatem ponad powierzchnię poślizgu, h_p – głębokość wypełnienia otworu wiertniczego prefabrykatem poniżej powierzchni poślizgu

10.5.4. Obrywy

Zjawisko to występuje głównie w górskiej strefie kraju, w której rozwinięte są silne procesy wietrzenia mechanicznego. W celu zapobiegania temu procesowi stosuje się zabiegi cementacji szczególnych bloków skalnych. Zbocza podatne na rozwój tych zjawisk pokrywane są specjalną siatką ochronną.

W innych przypadkach zapobieganie temu procesowi polega głównie na technicznej ochronie stromych zboczy przed erozją boczną i abrazją, zagadnienia te omówiono w punktach 10.5.6. i 10.5.7.

10.5.5. Proces ablacji deszczowej

Rozwojowi tego zjawiska w poważnym stopniu zapobiega pokrycie stoku roślinnością lub trwałą warstwą izolacyjną. Zahamowanie rozwoju wąwozów prowadzi się za pomocą ich zakrzewiania oraz zabudową dna progami poprzecznymi.

10.5.6. Erozja boczna i denną

Przeciwdziałanie tym procesom może być czynne i biernie. Działanie czynne jest zabiegiem technicznym powodującym istotne zmiany reżimu hydrodynamicznego erodującego ośrodka wodnego. Zabiegi typu biernego nie powodują zmian reżimu wodnego, ale osłaniają przed jego działaniem materiał budujący brzegi lub dno koryta.

Ochrona czynna

Typowymi przykładami ochrony czynnej są **ostrogi** (rys. 10.19), odsuwające nurt rzeki od stromego (rozmywanego) brzegu w stronę brzegu płaskiego, akumulacyjnego. **Progi** (rys. 10.20) stabilizują nurt rzeki w pionie, powodując osłabienie erozji wstępnej. **Kierownice** (rys. 10.21) są odpowiedniej wielkości tarczami płaskimi lub zakrzywionymi, które odsuwają nurt rzeki od brzegu, a czasem i od dna.

Nietypowymi formami ochrony czynnej jest podniesienie lokalnej bazy erozyjnej rzeki (np. przez budowę lokalnego zbiornika wody lub kaskadowanie cieków), przechwycenie i przerzucenie części wód danej rzeki do innych cieków

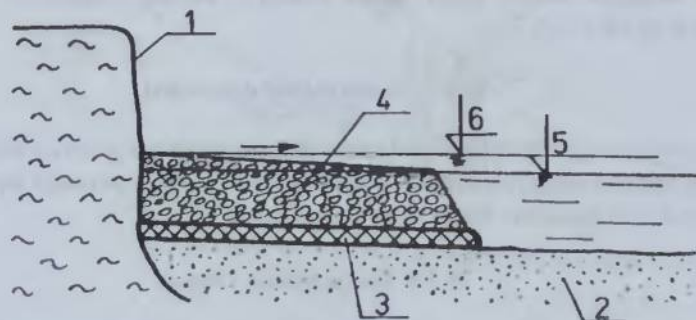
Ochrona bierna

Typowymi przykładami ochrony biernej są: **narzuty kamienne**, **opaski betonowe** i **żelbetowe**, czasami **faszynowe**. Konstrukcje te chronią w sposób pośredni brzeg koryta rzeki przed rozmywaniem.

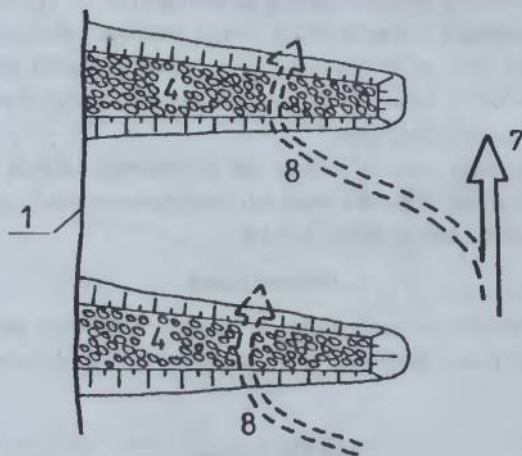
10.5.7. Abrazja

Ochrona brzegów zbiorników wodnych przed skutkami abrazji polega na stosowaniu umocnień technicznych czynnych i biernych, na zabiegach sztucznego zasilania, zabiegach biologicznych, kompleksowej ochronie.

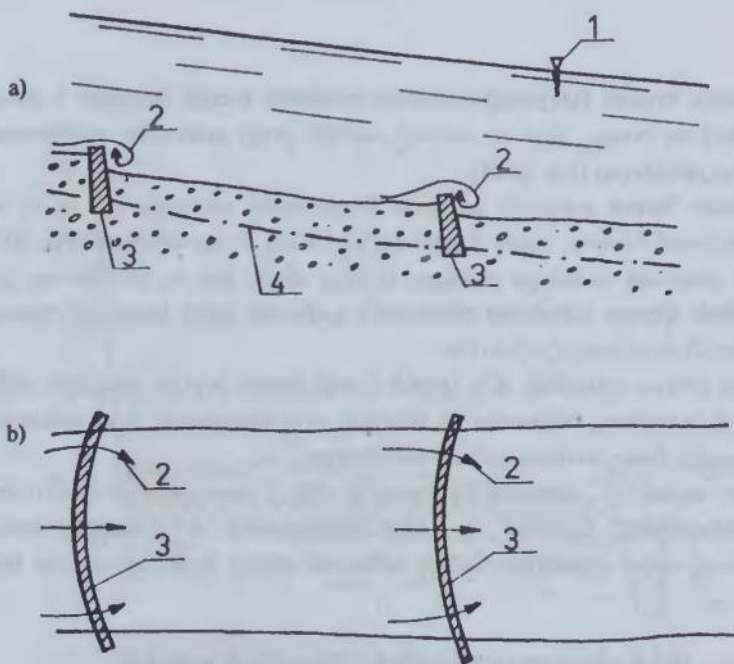
a.



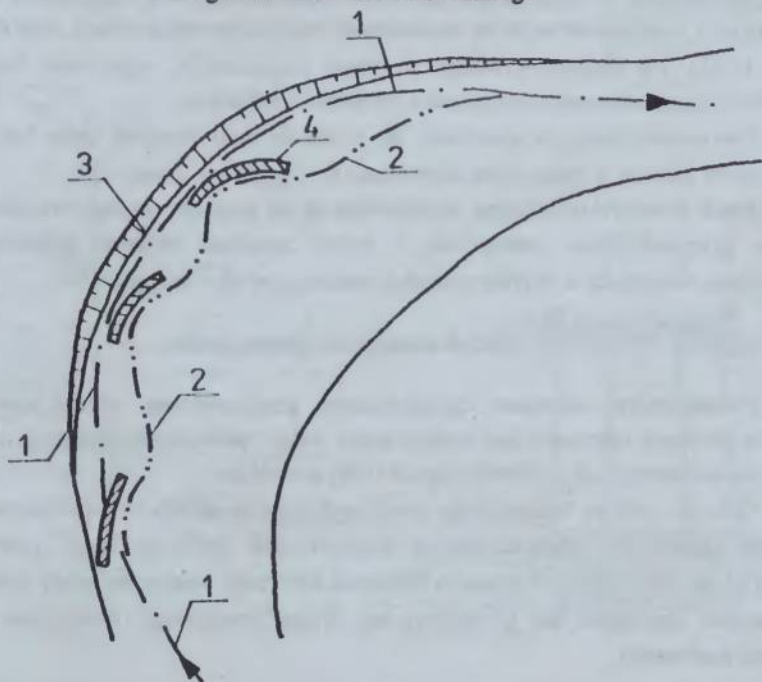
b.



Rys. 10.19. Zabezpieczenie brzegu przed erozją boczną za pomocą ostróg (a – przekrój pionowy; b – rzut poziomy): 1 – stromy brzeg, 2 – grunt akumulacji rzecznej, 3 – materac faszynowy, 4 – kamienny korpus ostróg, 5 – zwierciadło średniej wody w rzece, 6 – zwierciadło wielkiej wody w rzece; 7 – główny nurt rzeki odsunięty od brzegu stromego przez ostrogi, 8 – podrzędne strugi powodziowe przelewające się przez ostrogi



Rys. 10.20. Zabezpieczenie przeciw erozji dennej za pomocą progów (a – przekrój pionowy; b – rzut poziomy): 1 – zwierciadło wody w rzece; 2 – strugi wodne odchylone przez próg; 3 – próg podwodny; 4 – granica ruchu rumowiska rzecznego



Rys. 10.21. Sterowanie nurtem rzeki za pomocą kierownic: 1 – oś nurtu niesterowanego; 2 – oś nurtu sterowanego; 3 – wklęsły stromy brzeg rzeki; 4 – kierownica

Umocnienia czynne (aktywne) powodują osłabienie energii falowania i ukierunkowanie akumulacji na brzegu. Rolę tę spełniają *ostrogi, progi podwodne, pochłaniacze fal* (rys. 10. 22) oraz *falochrony* (rys. 10.23).

Umocnienia bierne przejmują na siebie bezpośrednie uderzenia fal, są to *narzuty (naturalne, sztucznych bloków), opaski brzegowe* (rys. 10.24), *ściany odbojowe* (rys. 10.25).

W wielu miejscach na brzegu polskiego Bałtyku ubytki łądu są likwidowane poprzez **sztuczne zasilanie brzegu** materiałem pobranym z podbrzeża strefy brzegowej, szczególnie z miejsc, w których zamulane są tory wodne.

Wybrzeża klifowe umacniane są w **sposób kompleksowy** poprzez osuszanie nadbrzeży i łagodzenie ich nachylenia, izolowanie od infiltracji wód opadowych oraz zabezpieczanie podstawy czynnymi i biernymi umocnieniami technicznymi.

Wybrzeża wydmore chronione są przed abrazją i rozwiewaniem piasku **metodą zabudowy biologicznej**. Czynione są próby wykonywania w podbrzeżu *sztucznych biologicznych raf*, które spełniałyby funkcję osłabienia energii napływających na łąd wód morskich.

10.5.8. Akumulacja w korytach i zbiornikach wodnych

Zjawisko to jest trudne do opanowania, co najwyżej można starać się ukierunkować je lub ograniczyć do pewnych obszarów, przez wykonanie budowli regulujących ciek lub nurt w zbiorniku wodnym. Stosuje się koncentrację nurtu za pomocą ostróg, rzadziej kierownic (rys. 10.21). Na bieżąco wykonuje się prace pogłębiarskie, czyszczenie koryta z mułu i roślinności oraz zabezpieczenia przeciw zarastaniu i zamulaniu.

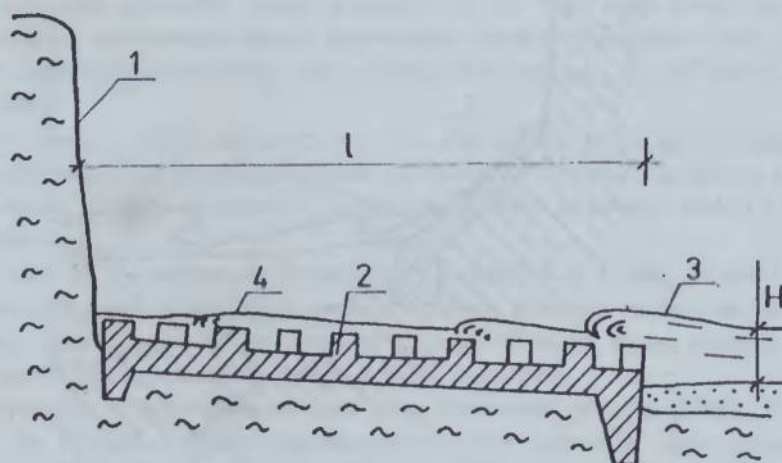
Niekonwencjonalnymi sposobami są: obniżenie bazy erozyjnej ciekłu lub zwiększenie ilości wody płynącej w rzece przez skierowanie do niej wody z innego ciekłu.

Prace przeciwakumulacyjne wykonywane są na potrzeby żeglugi, energetyki, a także w celu przeciwdziałania podtapianiu, a nawet zatapianiu terenów przybrzeżnych, gdy akumulacja rumowiska w korycie powoduje znaczne podwyższenie jego dna.

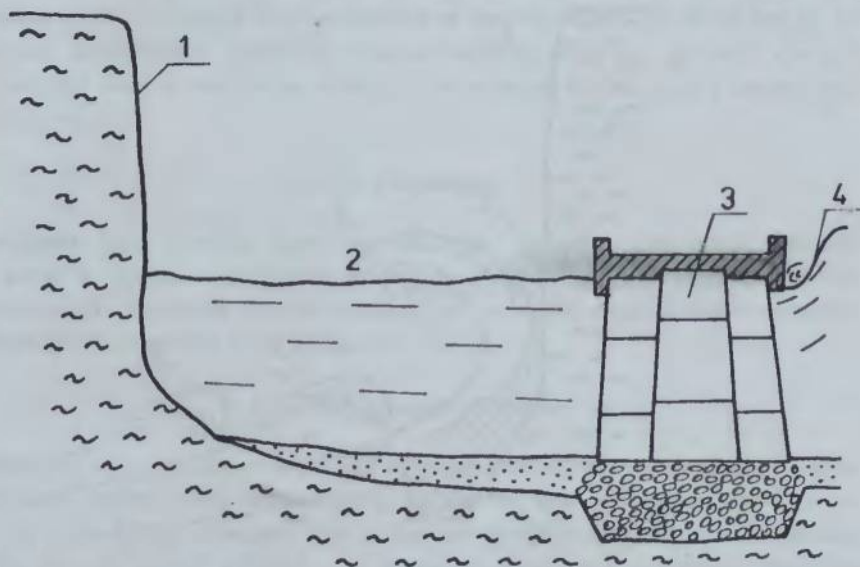
10.5.9. Zatapianie i podtapianie

Podstawowym zabiegiem ograniczającym geodynamiczne oddziaływanie wysokich wód w korytach rzecznych jest wykonywanie wałów przeciwpowodziowych oraz systemu zbiorników retencyjnych przechwytyjących wody powodziowe.

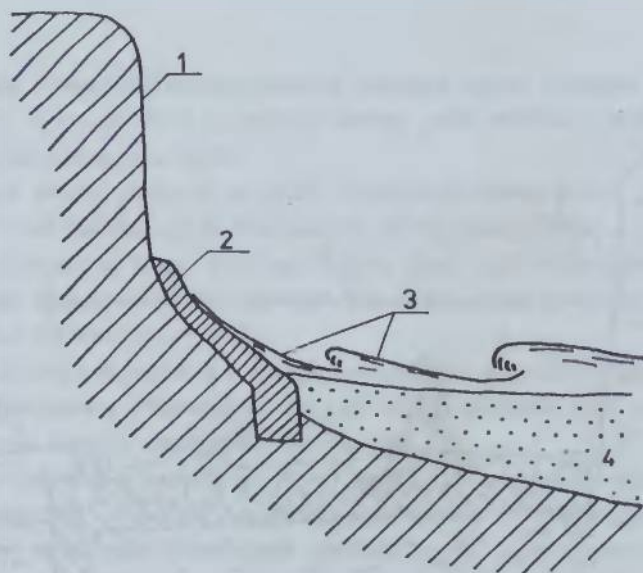
Ochrona podłoża budowlanego przed podtapianiem polega na wprowadzaniu w grunt ścianek szczelnych, zabezpieczających przed boczną infiltracją wody powierzchniowej z cieków lub zbiorników. W pewnym oddaleniu od brzegu spiętrzonej wody wykonywane są też studnie depresyjne lub formowany jest system specjalnego odwadniania za pomocą drenażu poziomego.



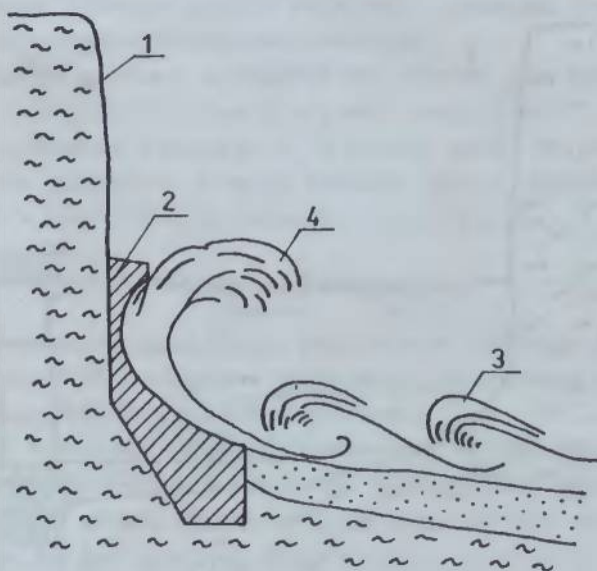
Rys. 10.22. Ochrona przeciwbrazynna brzegu za pomocą pochłaniacza energii fali (gdy l jest równe lub większe od $30 H$, spełnia on rolę ochrony czynnej; jeżeli l jest mniejsze od $30 H$ spełnia on rolę ochrony biernej): 1 – klif, 2 – pochłaniacz energii, 3 – fala o dużej energii napływająca na pochłaniacz, 4 – fala o energii malej, po wytraceniu pędu na zębach pochłaniacza



Rys. 10.23. Przeciwbrazynne oddziaływanie falochronu na brzeg: 1 – klif, 2 – basen osłaniany falochronem, 3 – falochron typu ciężkiego na narzucie kamiennym, 4 – fala pełnomorska



Rys. 10.24. Ochrona przeciwbrazyna klifu za pomocą opaski żelbetowej u podnóża klifu: 1 – klif, 2 – opaska, 3 – fale, 4 – rumowisko podbrzeża w strefie przyboju



Rys. 10.25. Ochrona przeciwbrazyna klifu za pomocą ściany odbojowej: 1 – klif, 2 – ściana odbojowa, 3 – fala przyboju, 4 – fala odboju

10.5.10. Sufozja

Zapobieganie procesowi sufozji powinno być już brane pod uwagę na etapie projektowania i wykonywania obiektu budowlanego przez przedsięwzięcie takich działań, które nie dopuściłyby do spiętrzania wód podziemnych i utworzenia się zbyt dużego spadku hydraulicznego.

Powstrzymanie sufozji regulowane jest przez zmniejszenie spadku hydraulicznego wód podziemnych za pomocą specjalnego drenażu lub izolacji podłoża przed filtrującymi wodami. Drobne cząstki szkieletu gruntowego uruchamiane są przez stosowanie iniekcji i metodą elektrokataforezy.

Gdy sufozja ma miejsce w skarpach łatwo dostępnych w terenie, stosować można zewnętrzne dociskanie gruntu wypłukiwanego gruntem grubszym na tyle, że nie będąc wymywany, spełniać on będzie rolę **filtru odwrotnego**. W swoich porach zatrzymywać on będzie wypłukiwane z gruntu macierzystego składniki drobniejsze.

Występujące w podłożu budowlanym puste przestrzenie sufozyjne (kanały, kawerny) wypełnia się na sucho, odpowiednio skompresowanym materiałem nieprzepuszczalnym (gruntem spoistym lub substancjami sztucznymi). Izoluje się również te miejsca przed filtracją wód powierzchniowych i sączeniowych oraz infiltracją wód opadowych.

10.5.11. Przebicie hydrauliczne

Podstawową zasadą jest tu niedopuszczenie do powstania zbyt wysokiego ciśnienia piezometrycznego wód wglębnych, mogących spowodować upłynnienie gruntu. Osiąga się to przez lokalne obniżenie ciśnienia wody podziemnej za pomocą drenażu lub studni, czy też nie przekraczanie dopuszczalnej głębokości wykopów wykonywanych w gruntach spoistych zalegających nad warstwą wodonośną o zwierciadle napiętym. Stosuje się też uszczelnienia i dociążanie gruntów.

10.5.12. Tiksotropia

Powstaniu tego zjawiska zapobiega się przez umiejętne operowanie sprzętem mechanicznym w rejonie występowania w podłożu gruntów spoistych (szczególnie ilów trzeciorzędowych). Nie można bowiem dopuścić, aby w wyniku drgań nastąpiło okresowe uplastycznienie lub upłynnienie utworów ilastych.

10.5.13. Procesy wydymotwórcze

Zjawiskom wydymotwórczym zapobiega się przede wszystkim poprzez niedopuszczenie do wystąpienia procesu przewiewania ziaren piasku. W tym celu powierzchnię terenu pokrywa się odpowiednią roślinnością oraz formuje się specjalne płotki wydymowe. Niekiedy stosuje się sztuczne zabiegi polegające na utrwalaniu piaszczystej powierzchni zawieszoną ilasto-cementową lub innymi substancjami wiążącymi.

W strefie brzegowej morza prowadzone są zabiegi mające na celu szybkie formowanie się wałów wydmy nadbrzeżnych, które spełniają naturalną funkcję wałów chroniących ląd przed zalaniem go spiętrzonymi wodami sztormowymi. Obok zapobiegania procesowi rozwiewania piasku (pokrywania powierzchni wydmy odpowiednimi materacami i narzutem kamiennym, utrwalaniu tych form trawami, krzakami, drzewami), prowadzone są zabiegi techniczne mające chronić podstawę wydmy przed rozmywaniem jej wodami morskimi w czasie sztormów.

11. GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE BADANIA TERENOWE

11.1. Wprowadzenie

Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24.09.1998 r. (Dz. U. 126, poz. 839) w sprawie ustalania *geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych* podaje, że **badania geotechniczne w terenie** obejmują w szczególności: a) małośrednicowe sondowania próbnikami przelotowymi, b) sondowania dynamiczne i statyczne, c) badania presjometryczne i dylatometryczne, d) badania georadarowe i elektrooporowe, e) badania dynamiczne gruntów, f) odkrywki fundamentowe, g) badania wodoprzepuszczalności gruntów i konstrukcji ziemnych, h) badania wód gruntowych i ich oddziaływania na konstrukcje, i) badania na poletkach doświadczalnych. Wyliczenie to nie wyczerpuje zbioru badań terenowych, ale raczej wskazuje na te badania, które są szczególnie związane z geotechniką. Są one częścią terenowych badań geologiczno-inżynierskich w ogólności.

W niniejszym rozdziale przedstawiono w zarysie główne rodzaje badań terenowych podłoża, które wykonywane są przez specjalistyczne placówki badawcze. Szczegółowe rozpoznanie podłoża gruntowego prowadzi się głównie za pomocą tak zwanych **terenowych badań podstawowych**. Umożliwiają one bezpośredni dostęp człowieka do gruntu i określenie na tej podstawie cech podłoża dla celów budowlanych. Wykonywane są też **badania specjalne**, które w sposób pośredni pozwalają wstępnie określić pewne właściwości podłoża gruntowego lub w sposób optymalny rozplanować lokalizację punktów badawczych oraz zakres terenowych badań podstawowych.

11.2. Terenowe badania podstawowe

Do badań podstawowych zalicza się rozpoznanie podłoża za pomocą wykopów badawczych, wierceń, szybków, sztolni, sondowania dynamicznego, obciążenia próbnego.

11.2.1. Wykopy badawcze

Wykopy wykonywane są wtedy, gdy zachodzi konieczność otrzymania prób gruntu o strukturze nienaruszonej, szczegółowego rozpoznania struktury i tekstury podłoża (warstwowanie, orientacja i układ składników i domieszek w gruncie, uskoków, powierzchni poślizgu, zafałdowań, itp). Prace te wykonywane są, gdy istnieje potrzeba przeprowadzenia „in situ” (na pierwotnym miejscu) pewnych badań szczegółowych, na przykład badania wytrzymałości na ścinanie dużego bloku gruntu, obciążanie próbną płytą.

Wykop wykonywany jest nie głębiej niż do poziomu wody podziemnej (niekiedy celowo obniżonej). W rzucie poziomym wykop ma szerokość minimalną 0,8 m, a długość zależną od głębokości, sposobu obudowy ścian i przeznaczenia.

11.2.2. Wiercenia

Wiercenia są najczęstszymi badaniami podstawowymi. Polegają one na wykonaniu w gruncie pionowego otworu o średnicy 0,1 – 0,6 m i głębokości rzędu 3 m do 30 m. Ściany otworu są zabezpieczane (przed obsypywaniem się gruntu lub zatapianiem otworu wodą) kolumną rur osłonowych wciskanych lub wkręcanych w głąb, w miarę postępu wiercenia. Grunt wydobywa się za pomocą żerdzi zakończonej końcówką wierzącą odpowiednią do zwiercanego gruntu i właściwości wodnych podłoża. Najczęściej używanymi końcówkami jest świder okienkowy (do większości podłoży gruntowych), świder spiralny (do gruntów miękkoplastycznych, a także do przechodzenia przez warstwy żwirowo-kamieniste), świder rurowy (gdy grunt ze świdra okienkowego lub spiralnego wypada przy wyciąganiu żerdzi z otworu).

Większe średnice i głębokości wierceń wymagają użycia trójnożu i wsparcia mechanicznego siły człowieka. Prowadzi się też wiercenia typu mechanicznego. Za pomocą wiertnicy wprowadza się obrotowo spiralną ślimacznicę, w której wgłębienia wchodzi zwiercony grunt. Po przewierceniu odpowiednich odcinków podłoża, wyciąga się kolejne segmenty ślimacznicy pobierając próbki z jej końca do dalszych badań.

Podczas prowadzenia wierceń określa się makroskopowo wydobywany grunt (rodzaj, wilgotność, stan gruntu spoistego, domieszki, barwę, itp), obserwuje się poziom nawiercenia i ustabilizowania wody podziemnej, pobiera się próbki gruntu i wody do badań laboratoryjnych, wypełnia się kartę dziennika wiercenia. W razie potrzeby pobiera się za pomocą specjalnych cylindrycznych końcówek, z określonych głębokości, próbki gruntu o nienaruszonej strukturze.

11.2.3. Szyby

Szyby są głębokimi pionowymi otworami o wymiarach w poziomie od 0,6 m do 2,0 m. Głębione są one sposobem górniczym przez kopanie, wyrąbywanie lub mechaniczne odpajanie gruntu. Ściany szybów zabezpieczane są odpowiednim oszalowaniem. Szyb umożliwia bezpośredni dostęp do podłoża gruntowego oraz prowadzenia obserwacji specjalistycznych. Badania takie prowadzone są głównie w strefie górskiej i wyżynnej Polski, natomiast w strefie niżowej prowadzone są bardzo rzadko. Za pomocą szybów rozpoznaje się niekiedy podłoże obszarów zaburzonych głacictonicznie. Badania takie przeznaczone są nie tylko do rozpoznania podłoża, ale również do eksploatacji jakiegoś surowca.

11.2.4. Sztolnie

Sztolnie są długimi, poziomymi lub mało nachylonymi wyrobiskami podziemnymi o wymiarach 2 – 4 m, wykonywanymi przeważnie metodą tunelową. Strop i ściany zabezpiecza się odpowiednią obudową. Podobnie jak szyby, sztolnie umożliwiają bezpośredni dostęp do gruntów na dużej powierzchni. Prowadzi się tu badania specjalistyczne oraz rozpoznawczo-eksploatacyjne surowców mineralnych. Badania podłoża gruntowego za pomocą sztolni wykonywane są stosunkowo rzadko i to głównie w strefie górskiej i wyżynnej Polski. Sztolnie traktuje się zazwyczaj jako pewną część budowli podziemnej.

11.2.5. Sondowanie

Wyróżnia się dwie najważniejsze techniki sondowania: sondowanie dynamiczne i sondowanie statyczne. Sondowanie dynamiczne polega na wbijaniu w grunt żerdzi zakończonej odpowiednią końcówką (stożkową, krzyżakową, cylindryczną) i na zliczaniu liczby uderzeń na 10 cm (czasem 30 cm) wpędu sondy w podłoże gruntowe. Sondowanie stosuje się do określania zmienności oporu gruntu w pionie, co umożliwia rozpoznanie zróżnicowania uwarstwienia gruntu, stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych, a czasem też stopnia plastyczności gruntów spoistych.

W Polsce stosuje się **sondę lekką (SL)** z 10 kg młotem bijącym, której wyniki są miarodajne do głębokości około 10 m. Wykorzystywana jest też **sonda ciężka (SC)** z końcówką stożkową i młotem 65 kg, dająca miarodajne wyniki do głębokości około 30 m. **Sonda ITB ZW** z młotem 20 kg, daje miarodajne rezultaty do głębokości około 15 m.

Sondowanie statyczne polega na powolnym wciskaniu w grunt żerdzi zakończonej końcówką stożkową, przy czym konstrukcja zespołu żerdzie-stożek umożliwia oddzielny pomiar oporu gruntu na żerdzi i na stożku, pomiar odchylenia sondy od pionu, a ponadto pomiar niektórych parametrów środowiska gruntowo-wodnego w otoczeniu stożka, jak na przykład ciśnienia wody porowej, współczynnika filtracji, oporności elektrycznej, właściwości sejsmicznych. Sonda statyczna z reguły dziś jest sprzężona z komputerem, który na bieżąco podaje interpretację wyników i ewentualne propozycje modyfikacji programu badania.

Samo sondowanie nie daje wystarczających informacji o podłożu i musi być interpretowane łącznie z towarzyszącym profilem reprezentatywnego otworu wiertniczego lub wykopu badawczego.

11.2.6. Obciążenia próbne

Obciążenia próbne wykonuje się w celu ustalenia charakterystyk odkształceniowych i wytrzymałościowych gruntu. W Polsce stosuje się obciążenie płytą, świdrem talerzowym i presjometrem.

Obciążenia **sztywną płytą** (o powierzchni $0,5 \text{ m}^2$) wykonuje się na dnie wykopu badawczego przykładając do płyty kolejne stopnie obciążenia, aż do dwukrotnego obciążenia projektowego. Po każdym stopniu obciążenia i ustabilizowania poziomu płyty mierzy się jej osiadanie. Uzyskuje się stąd zależność między naprężeniem a osiadaniami (niekiedy też z uwzględnianiem rozkładu osiadania w czasie) i wartości modułu podatności gruntu E_s . Jeśli zaś doprowadzono podłoże do stanu równowagi granicznej, otrzymuje się również informację o obciążeniu granicznym w poziomie płyty.

Obciążenie **świdrem talerzowym** o średnicy 0,25 m, wykonuje się po wkręceniu talerza pod dno wykopu lub otworu wiertniczego. Przykładając stopniowo siłę, jak w przypadku badania płytą, notuje się osiadanie żerdzi świdra. Badania świdrem talerzowym dają takie zależności jak badania płytą oraz wartości modułu odkształcenia pierwotnego E_0 i wtórnego E , a jeśli osiągnięto stan graniczny gruntu – to także naprężenie graniczne dla gruntu w poziomie talerza.

Obciążenie **presjometrem** wykonuje się w otworze wiertniczym, wprowadzając do niego cylindryczną sondę z płaszczem zrobionym z twardej, ale podatnej na odkształcenia gumy. Cylinder jest mniejszy od średnicy otworu wiertniczego (po usunięciu rury osłonowej) o około 2 mm. Do wnętrza tej sondy wtlacza się wodę, która przez gumową ściankę naciska na ściany gruntu w otworze wiertniczym i rozpycha je. Pomiar wzrostu objętości komory sondy pozwala ustalić wzrost średnicy otworu wiertniczego, co w zestawieniu z pomiarem ciśnienia daje zależność między ciśnieniem i odkształceniem (objętości komory lub promienia otworu). Na tej podstawie określa się moduły odkształcenia, jak w badaniach świdrem talerzowym oraz parametry wytrzymałościowe gruntu przy komorze sondy presjometru (ką tarcia wewnętrznego i spójność).

11.3. Terenowe badania specjalne

W problematyce terenowych badań geologiczno-inżynierskich na etapie wstępnego rozpoznania lub w celu szczegółowych badań podstawowych wykorzystywane są metody geofizyczne. Z szeregu metod badawczych najczęściej wykorzystywane są metody elektrooporowe i mikrosejsmiczne, sporadycznie radiometryczne. W celu rozpoznania niektórych zjawisk rozwijających się w podłożu gruntowym stosowane są również i inne metody badawcze.

11.3.1. Metody elektrooporowa

Istota metody polega na określeniu cech pola elektrycznego wytworzonego sztucznie w podłożu. W tym celu w grunt wprowadza się elektrody zasilające (A – B), którymi doprowadzany jest prąd stały o określonym natężeniu. Za pomocą elektrod pomiarowych (M – N) ustala się istniejące między nimi różnice potencjałów. Na tej podstawie wnioskuje się o zdolności przewodzenia prądu przez podłoże. Opiera się to na wyliczeniu wielkości oporności pozornej danego kompleksu warstw gruntowych, którą wyraża się w **omometrach** (Ω m).

Na wielkość oporności pozornej wpływa rodzaj i wilgotność gruntów, chemizm wody znajdującej się w gruncie, sposób ułożenia warstw oraz odległość między elektrodami. W sposób orientacyjny przyjmuje się, że grunty nieskaliste charakteryzują się następującymi opornościami:

– żwiry, pospółki, piaski – suche	> 250 Ω m
– żwiry, pospółki, piaski – nawodnione	80 – 350 Ω m
– grunty mało- i średnio spoiste	35 – 80 Ω m
– grunty zwięzłe i bardzo spoiste	< 30 Ω m
– namuły, torfy – suche	> 500 Ω m
– namuły, torfy – nawodnione	< 50 Ω m

Elektrooporowe rozpoznanie podłoża gruntowego prowadzi się za pomocą pionowego sondowania elektrooporowego (PSE) lub profilowania elektrooporowego (PE).

Pionowe sondowanie elektrooporowe (PSE) opiera się zazwyczaj na pomiarach pozornej oporności podłoża przez symetryczny rozstaw elektrod (rys. 11.1). Oddalając się coraz bardziej od środka układu, rozpoznać można oporność pozorną na coraz to większych głębokościach. Pionowe sondowanie elektrooporowe stosuje się w celu wstępnego, szybkiego rozpoznania podłoża gruntowego, określenia głębokości zalegania wody podziemnej, występowania przewarstwień ilastych, miejsc z gruntami wykazującymi cechy agresywne w stosunku do metali i betonu, zasięgu infiltracji zanieczyszczonych wód powierzchniowych w podłoże gruntowe.

Profilowanie elektrooporowe (PE) pozwala na szybkie ustalenie oporności pozornej podłoża wzdłuż pewnej linii profilowej, do stałej głębokości. Badania te prowadzi się przy stałych rozstawach między elektrodami zasilającymi (A – B) i pomiarowych (M – N) w wytypowanych punktach badawczych. Na podstawie wyników profilowania elektrooporowego ustala się głębokość zalegania w określonej strefie głębokościowej podłoża interesujących warstw gruntu, np. miąższości warstwy suchej, zalegania gruntów nawodnionych, występowania gruntów ilastych lub organicznych.

11.3.2. Metody sejsmiczne

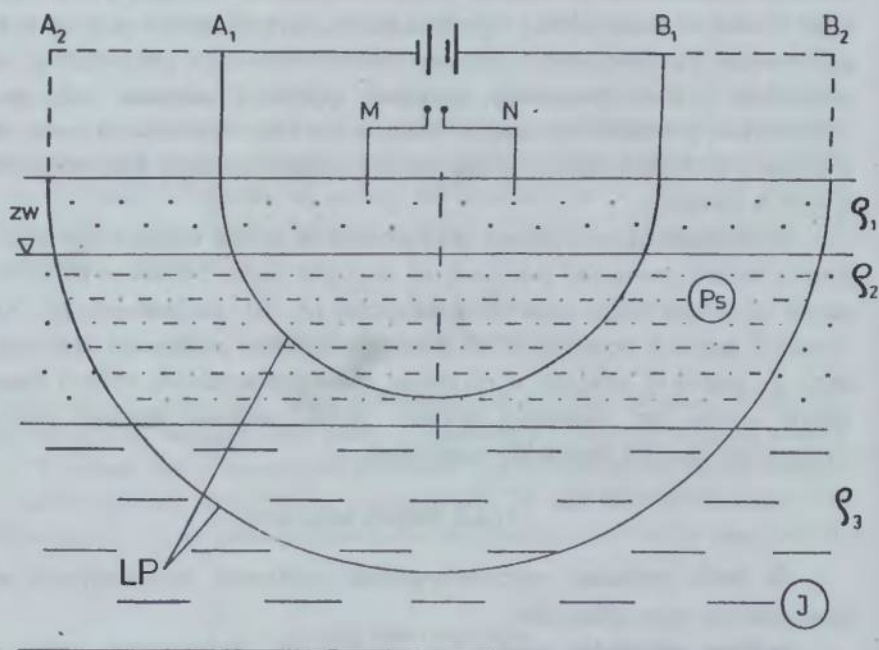
Na etapie wstępnego rozpoznania podłoża gruntowego wykorzystywane są metody sejsmiczne oraz sejsmoakustyczne.

Badania sejsmiczne opierają się na rejestracji zróżnicowania sprężystych cech poszczególnych pakietów gruntowych, przez które z różną prędkością przechodzą sztucznie wzbudzone fale sejsmiczne. Przyjmuje się, że fale sejsmiczne przez grunty mineralne nieskaliste przechodzą z następującymi prędkościami:

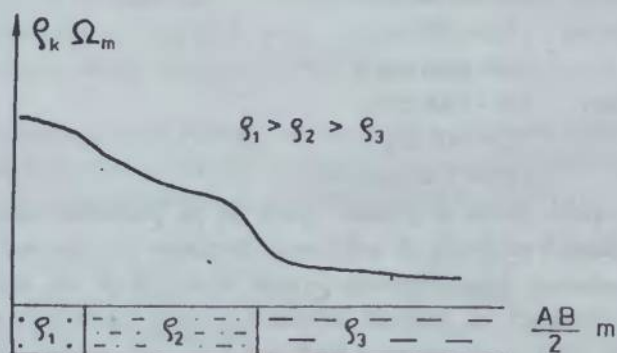
– piasek suchy	200 – 900 m/s
– piasek nawodniony	1500 – 2000 m/s
– żwir suchy	300 – 1000 m/s
– żwir nawodniony	700 – 1600 m/s
– glina	300 – 900 m/s
– il	1200 – 2500 m/s

Rozróżnienie warstw gruntu w podłożu opiera się na pomiarach czasu przejścia sejsmicznych fal podłużnych od źródła ich wzbudzenia do miejsca ich rejestracji *geofonami* (*detektorami*). W badaniach geologiczno-inżynierskich wykorzystuje się rejestrację *fal refrakcyjnych* czyli załamanych na granicach ośrodków o różnej sprężystości (rys. 11.2). Pomiary wykonuje się dla różnych zakresów prędkości. I tak przy zakresie pomiarowym 25 ms głębokość penetracji podłoża dochodzi do 10 m, zaś przy zakresie 50 ms wzrasta do 20 m. Na podstawie *hodografów*, czyli wykresów obrazujących czas przejścia danego typu fali od punktu wzbudzenia do geofonu, określa się cechy sprężyste poszczególnych warstw podłoża, co pozwala wnioskować o rodzaju gruntu i jego wilgotności.

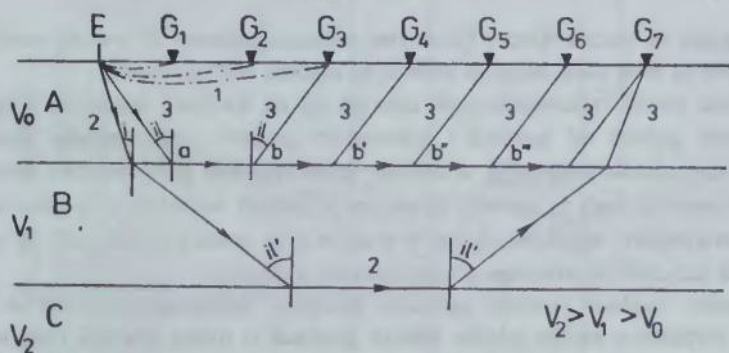
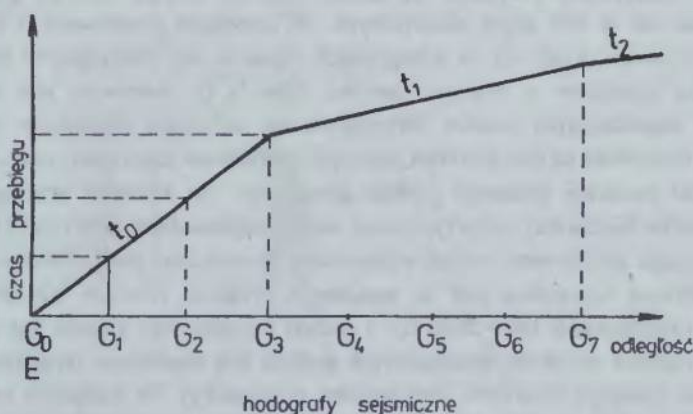
I



II



Rys. 11.1. Schemat rozpoznania podłoża gruntowego za pomocą sondowania elektrooporowego (I) oraz charakter krzywej pionowego sondowania elektrooporowego (II): AB – elektrody zasilające, MN – elektrody pomiarowe, ρ_k – oporność pozorna, ρ_1 , ρ_2 – oporność pozorna warstwy Ps (piasek średni mało wilgotny i nawodniony), ρ_3 – oporność pozorna warstwy I (il), zw – zwierciadło wody podziemnej, LP – linie prądowe



Rys. 11.2. Schemat pokazujący rozpoznanie podłoża za pomocą sejsmicznej metody refrakcyjnej (za G.Castanym, 1972 - uproszczony): E – punkt wzbudzenia fali sejsmicznej, V_0 , V_1 , V_2 – prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych, G_1 , G_2 , G_3 , ..., G_7 – geofony rejestrujące fale refrakcyjne, 1 – fala bezpośrednia, 2, 3 – fale refrakcyjne, i , i' – kąt padania i odbicia fali na granicy warstwy A i B, i'' – kąt padania i odbicia fali na granicy warstwy B i C, a – miejsce padania fali sejsmicznej, b, b', b'', b''' – miejsca odbicia fali sejsmicznej

Do badań sejsmicznych zaliczane są również **metody geoakustyczne**. Sztucznie wzbudzone drgania o częstotliwości 10 – 15 kHz odbite od dna ośrodka wodnego pozwalają określić głębokość danego akwenu. Jednocześnie fale te wnikają w podłoże gruntowe zbiornika odbijając się na granicach ośrodków o różnej twardości akustycznej. Pod pojęciem **twardości akustycznej** przyjmuje się iloczyn gęstości danego ośrodka przez prędkość rozchodzenia się w nim drgań akustycznych. W ośrodkach gruntowych o małej gęstości następuje tłumienie drgań, co na echogramach zaznacza się ciemniejszymi fototonami niż w przypadku ośrodków o większej gęstości. Metoda ta stosowana jest do określania miąższości współczesnych osadów formujących się na dnach zbiorników wodnych (np. miąższości rumowiska na dnie morskim, zamulenia zbiorników jeziornych i retencyjnych).

W celu penetracji głębszego podłoża gruntowego dna zbiornika wodnego (nawet do kilkuset metrów miąższości) wykorzystuje się **metody sejsmoakustyczne** (rys. 11.3). Prowadzi się je jako ciągle profilowanie wzdłuż wyznaczonej celowo trasy statku badawczego. Energia sejsmoakustyczna wyzwalana jest ze specjalnych urządzeń (*boomar* lub *sparker*), które pracują na częstotliwości 100 – 2000 Hz, a energia pojedynczego impulsu jest około 1000 J. Odbite od różnych ośrodków gęstościowych podłoża fale sejsmiczne, rejestrowane są przez odpowiednią aparaturę (*hydrofon, wzmacniacze, rejestratory*). Na podstawie analizy uzyskanych wyników, które są bardzo często prezentowane w postaci **sejsmoechogramów**, wnioskuje się o rodzaju gruntów, ich miąższości oraz przestrzennym zaleganiu. Badania sejsmoakustyczne znajdują szerokie zastosowanie jako wstępne rozpoznanie podłoża w miejscach lokalizacji morskich platform wiertniczych oraz niektórych obiektów budownictwa morskiego (np. torów wodnych).

11.3.3. Metody radiometryczne

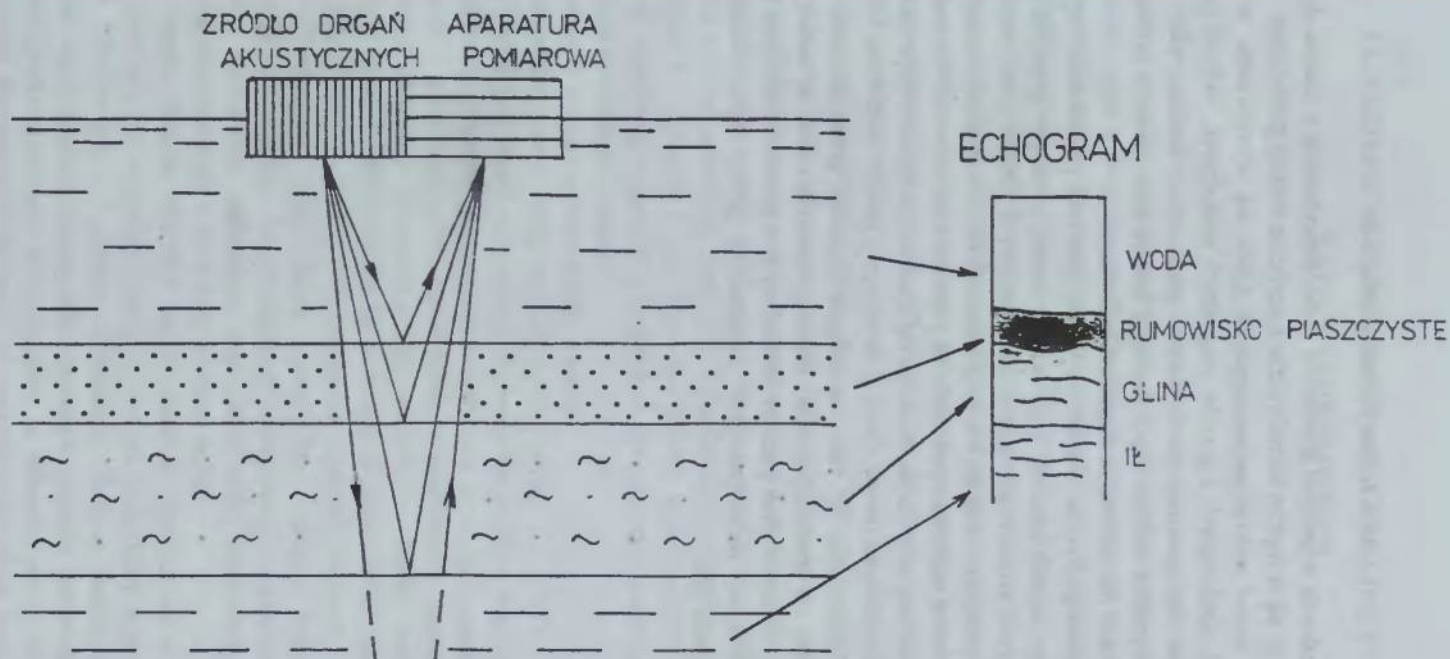
Ze względu na znaczne koszty badań oraz niebezpieczeństwo ich wykonywania metody te stosowane są na małą skalę, mimo że cechują się znaczną wiarygodnością.

Założenia metod radiometrycznych opierają się na zjawisku zależności rozpraszania promieniowania gamma od gęstości i porowatości gruntów oraz zjawisku zmniejszania prędkości i rozpraszania neutronów w wodzie, która wypełnia pory szkieletu gruntowego. Główne zastosowanie mają tu sposoby oparte na pomiarach naturalnej promieniotwórczości izotopów pierwiastków znajdujących się w gruncie oraz metody bazujących na rejestracji oddziaływania sztucznie wywołanego promieniowania w gruncie.

W wyniku ciągłego pomiaru natężenia naturalnej promieniotwórczości w otworze wiertniczym wyznaczyć można granice między gruntami o różnej gęstości oraz w sposób orientacyjny ustalić rodzaj gruntu. Jest to tzw. **metoda profilowania gamma (PG)**.

Na podstawie rejestracji natężenia rozproszonego promieniowania gamma, którego źródło zostaje wprowadzone do otworu wiertniczego określa się w sposób przybliżony rodzaj gruntu i jego gęstość objętościową w stanie naturalnym (tzw. **profilowanie gamma-gamma PGG**).

Za pomocą **profilowania neutronowego (PN)**, **profilowania neutron-neutron (PNN)** oraz **profilowania neutron-gamma (PNG)** ustala się w sposób orientacyjny rodzaj gruntu oraz w sposób ilościowy jego porowatość, wilgotność objętościową, gęstość objętościową. Parametry te ustalane są dla podłoża gruntowego w warunkach naturalnych.



Rys.11.3. Schemat rozpoznania osadów dennych za pomocą metody sejsmoakustycznej

11.3.4. Inne metody geofizyczne

W celu stwierdzenia w podłożu gruntowym zmian zachodzących w trakcie eksploatacji budowli wykorzystuje się w wąskim zakresie różne specyficzne metody geofizyczne.

Za pomocą **metod mikrograwimetrycznych** ustala się występowanie w podłożu skalnym i podłożach zbudowanych z gruntów mineralnych nieskalistych, wolnych przestrzeni lub przemieszczanie się pewnych partii warstw gruntowych. Badania takie znajdują zastosowanie w przypadku budowy zapór wodnych lub ciężkich obiektów przemysłowych oddziałujących fizycznie lub chemicznie na podłoże budowlane.

Metody mikromagnetyczne stosuje się w celu rejestracji przemieszczeń specjalnych indykatorów, które w sposób sztuczny wprowadzone zostały w masę gruntową narażony potencjalnie na rozwój powierzchniowych ruchów masowych. Dzięki temu można ustalić szybkość i kierunki przemieszczania się warstw gruntowych na różnych głębokościach.

Za pomocą **metod radiofalowych** ustala się prędkość i intensywność rozchodzenia się fal elektromagnetycznych, co pozwala na dokładną rejestrację miejsca występowania pustek pod płytami fundamentowymi, nawierzchniami drogowymi, pasami startowymi lotnisk, itp, bez potrzeby ich dokłuwania. W celu stwierdzenia kierunku przemieszczania się wód podziemnych i miejsc ich powierzchniowego zasilania wykorzystywane są **metody mikrogeotermiczne**. Dla określenia cech podłoża zbudowanych z gruntów rodzimych i nasypowych w terenach silnie zurbanizowanych czynione są próby wykorzystania **metod radarowych** w systemie SIR.

12. PROJEKTOWANIE GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH BADAŃ TERENOWYCH

12.1. Wprowadzenie

Poprawne planowanie i projektowanie budownictwa wymaga przeprowadzenia rozpoznania zarówno geologiczno-inżynierskiego, jak i geotechnicznego dla każdego obiektu budowlanego, gdyż w każdym wypadku konieczne są wymienione w rozdziale 1 informacje uzyskiwane przecież z obu rodzajów rozpoznania łącznie. W łatwiejszych zagadnieniach budowlanych można ograniczyć się do wykorzystania istniejących materiałów z badań terenowych, w zagadnieniach trudniejszych należy wykonać ponadto odpowiednie badania terenowe geotechniczne lub łącznie geologiczno-inżynierskie i geotechniczne. Odpowiednie ustalenia są zawarte we właściwych aktach prawnych, na przykład w *Ustawie z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze* (Dz. U. 27, poz. 96), *Rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 23 sierpnia 1994 r.* (Dz. U. 93 poz. 444) oraz w *Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji, z dnia 24. 09. 1998r.* (Dz. U. 128, poz. 839) lub w normie *PN-B-02479. Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne*. Niniejsze opracowanie skupia się na problematyce geologiczno-inżynierskiej (p. 12.1 – 12.4), ale w celu zarysowania relacji między dwoma rodzajami rozpoznania zawiera też szkicowe omówienie zasad projektowania badań geotechnicznych (p. 12.5).

Poprawna lokalizacja i zaprojektowanie obiektu budowlanego zależy w poważnym stopniu od właściwego rozpoznania środowiska geologiczno-inżynierskiego danego terenu. Rozpoznanie to obejmuje dwa etapy:

- ustalenie aktualnego stanu wiedzy o terenie;
- uzupełnienie stanu wiedzy odpowiednio do potrzeb.

Na **pierwszym etapie** wykorzystuje się wszystkie dostępne materiały charakteryzujące pod względem geologiczno-inżynierskim rozpatrywany teren. Są to materiały kartograficzne publikowane i archiwalne z ich objaśnieniem i komentarzem. Następnie dokumentacje geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne, surowcowe, badań technicznych podłoża gruntowego. Materiały takie znajdują się w archiwach odpowiednich placówek badawczych i naukowych, przedsiębiorstwach oraz urzędach administracji terenowej. Analizę materiałów zaleca się wzbogacić wizją lokalną terenu. Etap pierwszy kończy się ustaleniem syntetycznego zestawienia dotychczasowych wiadomości o środowisku geologiczno-inżynierskim terenu oraz wskazaniem tego, jakie cechy środowiska wymagają jeszcze rozpoznania, co wchodzi już w treść drugiego etapu badań.

Na **etapie drugim** wykonuje się odpowiednio zaprojektowane badania terenowe (polowe) podłoża gruntowego oraz występującej w nim wody, które wsparte są odpowiednimi badaniami laboratoryjnymi i pracami kameralnymi. Zadania badawcze sprowadzają się głównie do odpowiedniego zageszczenia terenowych punktów badawczych (tzw. punktów dokumentacyjnych), mierzonego liczbą punktów na jednostkę powierzchni (na przykład na 1 km² czy ha) lub jednostkę długości. Na projektowanie badań terenowych ma wpływ

zarówno skala opracowania i przewidywana budowa geologiczna (p. 12.2), jak i inżynierski cel badań, zwłaszcza rodzaj inwestycji budowlanej (p. 12.3).

12.2. Wpływ skali opracowania i budowy geologicznej na projektowanie badań terenowych

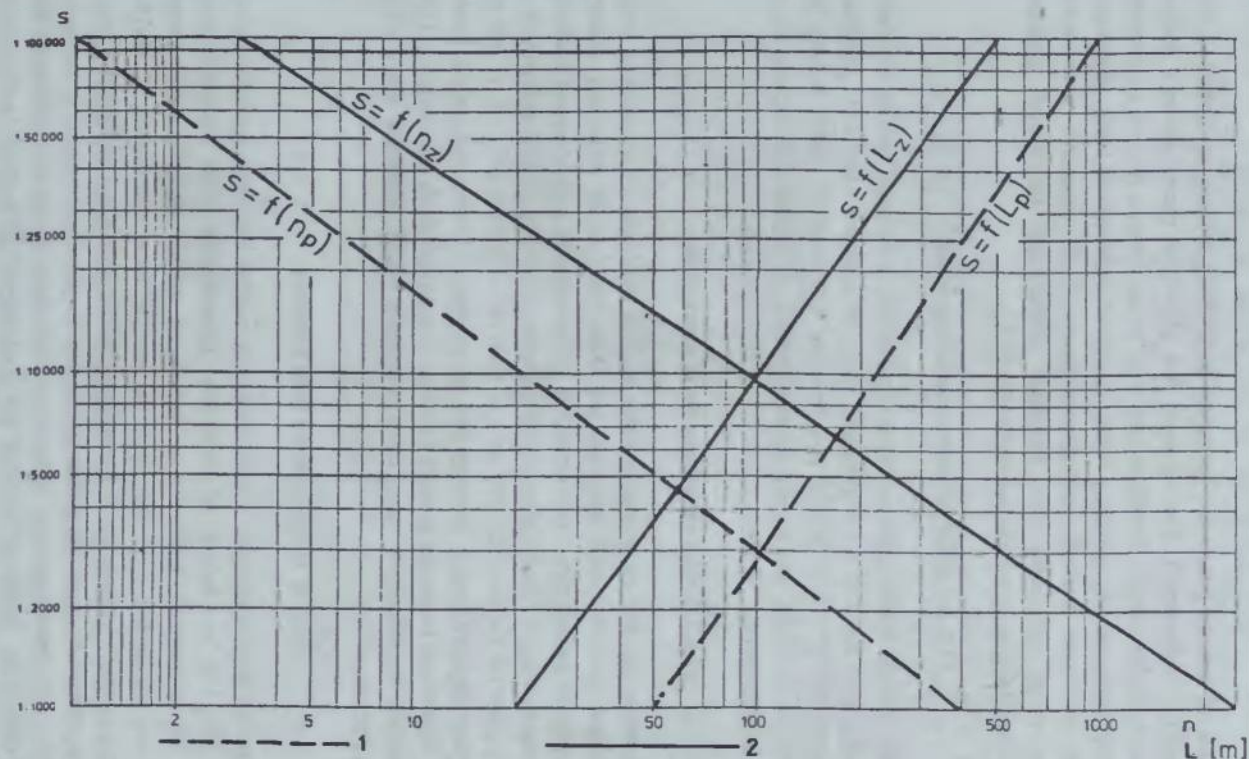
Dla wielu części stref i obszarów geologiczno-inżynierskich lub ich fragmentów brak jest dostatecznego rozpoznania inżynierskiego i istnieje konieczność uzyskania wiarygodnych informacji. W miarę wzrostu uszczegółowienia rozpoznania terenu i wzrostu skali opracowania, następuje konieczność znacznego zwiększenia liczby terenowych punktów badawczych na 1 km². Pomocą dla ich ustalenia może być nomogram zaprezentowany na rys. 12.1., opracowany na podstawie założeń J. Bażyńskiego (1969). Liczba punktów dokumentacyjnych zależy od stopnia skomplikowania budowy geologicznej terenu, czyli od tak zwanej **złożoności budowy geologicznej**. Na ustalenie typu złożoności budowy geologicznej rzutują następujące komponenty: cechy geomorfologiczne, właściwości gruntowe, właściwości hydrogeologiczne, charakter procesów geomorfologicznych.

Strefie niżowej Polski stosunkowo prosto przypisać można poszczególne obszary geologiczno-inżynierskie do I, II lub III stopnia złożoności budowy geologicznej.

Stopień I (budowa prosta) – obejmuje obszary typu pól wydmych, teras nadzalewowych, teras zalewowych, równin torfowo-bagiennych. Jest tu zazwyczaj małe zróżnicowanie litogenetyczne gruntów i nieskomplikowany układ warstw na obszarze 1 ha. Dominuje poziome położenie warstwy wodonośnej o mało zmiennych cechach dynamiki przepływu. Właściwości fizyczne i chemiczne wody podziemnej są mało zróżnicowane. Z reguły występują tylko typowe dla danego obszaru procesy geodynamiczne, łatwe do jednoznacznego określenia.

Stopień II (budowa średnio złożona) obejmuje obszary typu wysoczyzny moreny dennej, wysoczyzny kemowej, wysoczyzny sandrowej, równiny zastoiskowej. Lokalnie zaznacza się zmienny charakter litogenetyczny i zróżnicowany układ warstw gruntowych w podłożu. Występować mogą różne typy wód podziemnych, dynamika ich przepływu wykazuje pewne zróżnicowanie. Właściwości fizyczne i chemiczne wody podziemnej cechować się mogą lokalnymi odrębnościami przestrzennymi. Istnieje potencjalna możliwość występowania zmiennych w czasie i przestrzeni procesów geodynamicznych. Czynne procesy geodynamiczne występują tylko na niewielkich fragmentach obszarów geologiczno-inżynierskich. Korzystając z rys. 12.1 należy przyjmować wartości pośrednie między wartościami skrajnymi (odczytanymi dla budowy prostej i dla budowy złożonej).

Stopień III (budowa złożona) – obejmuje wysoczyzny moreny czołowej, obszary zaburzone glacytektonicznie, rejony kontaktowe różnych obszarów geologiczno-inżynierskich. W podłożu jest znaczne zróżnicowanie litogenetyczne osadów oraz zmienny w przestrzeni układ warstw gruntowych. Wody podziemne są różnych typów o zmiennych cechach hydrodynamicznych. Właściwości fizyczne i chemiczne tych wód wykazują znaczne zróżnicowanie. Istnieje możliwość występowania czynnych procesów geodynamicznych o bardzo zróżnicowanej aktywności.



Rys. 12.1. Nomogram do ustalania liczby punktów (n) dokumentacyjnych na 1 km^2 skali mapy $s = f(n)$ i odległości (L) między punktami według funkcji $s = f(L)$ (za J. Bazyńskim 1969): 1 – teren o budowie geologicznej prostej, 2 – teren o budowie geologicznej złożonej, (przykład: dla skali 1 : 2000 do mapy terenu o budowie prostej należy przewidzieć ok. 160 punktów dokumentacyjnych w odległościach ok. 80 m)

12.3. Wpływ obiektów budowlanych na projektowanie badań terenowych

W zależności od rodzaju planowanej inwestycji budowlanej zmienia się liczba i rozkład przestrzenny punktów badawczych. Zróżnicowana jest głębokość penetrowanego podłoża oraz zakres badań specjalistycznych. Przedstawione niżej uwagi dotyczą sytuacji przeciętnych i odnoszących się wyłącznie do ustalania liczby punktów badawczych i ich głębokości. W zależności od złożoności budowy geologicznej terenu i od warunków gruntowych, optymalne liczby mogą być nieco inne. Przykłady usytuowania terenowych punktów badawczych (dokumentacyjnych) przedstawiono na rys. 12.2.

12.3.1. Lekkie budownictwo odosobnione

W przypadku dużego terenu przeznaczonego pod ten typ zabudowy, punkty badawcze ułożone są w siatkę, przy czym na 1 km^2 przypada około 20 punktów. Głębokość penetracji podłoża gruntowego jest 4 – 6 m poniżej posadowienia fundamentów. Jeżeli badane jest podłoże pod pojedynczy obiekt, usytuowuje się zazwyczaj 2 – 3 punkty dokumentacyjne na zewnątrz obrysu fundamentów.

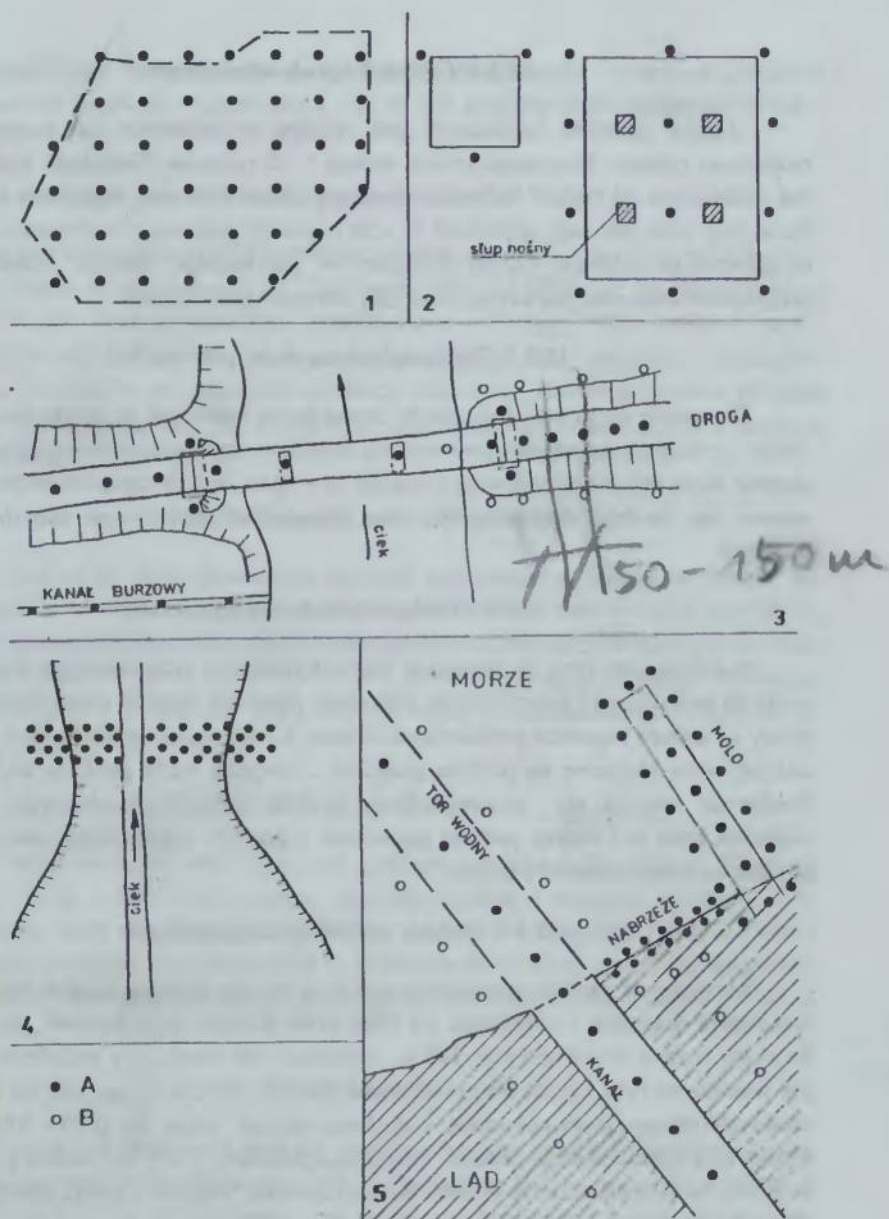
12.3.2. Lekka zabudowa dużej powierzchni

Gdy zabudowana ma być duża powierzchnia małymi obiektami, obowiązywać mogą zasady przedstawione powyżej. Jeżeli natomiast jest jeden lekki obiekt zajmujący znaczny teren, to liczba punktów badawczych uzależniona jest od powierzchni projektowanej budowl. Stosować tu można zasadę, że następującym powierzchniom zabudowy przyporządkowane są następujące liczby punktów badawczych: 500 m^2 – 5; 1000 m^2 – 10; 5000 m^2 – 15; $10\,000 \text{ m}^2$ – 20. Punkty badawcze usytuowane powinny być na zewnątrz i wewnątrz obrysu fundamentów obiektu. Głębokość badanego podłoża powinna obejmować strefę położoną 6 – 15 m poniżej posadowienia fundamentów, przy czym wiercenia winny zagłębiać się 3 – 5 m w warstwę nośną podłoża.

12.3.3. Drogi kołowe i linie kolejowe

Z reguły punkty dokumentacyjne zlokalizowane są wzdłuż osi trasy komunikacyjnej, w odległościach 50 – 150 m. Jednak w przypadku prowadzenia trasy komunikacyjnej w wykopie czy też na nasypie, konieczne są dodatkowe punkty badawcze usytuowane poprzecznie do trasy komunikacyjnej i znajdujące się poza jej użytkową częścią (w obrębie rezerwy pasa drogowego). Głębokość dokumentowanego podłoża jest najczęściej rzędu 3 – 10 m poniżej posadowienia poziomu podstawy korpusu drogi.

W przypadku przepraw mostowych wykonywane są zazwyczaj po dwa wiercenia pod każdą podporą. Głębokość penetracji podłoża jest uzależniona od budowy geologicznej. Powinna być jednak rzędu 10 – 30 m i dochodzić do gruntów tworzących nośne podłoże.



Rys. 12.2. Rozmieszczenie punktów badawczych przy rozpoznaniu podłoża pod różne obiekty budowlane: 1 – lekkie budownictwo odosobnione, lekkie budownictwo o dużej powierzchni, obiekty oddziałujące biochemicznie, place składowe, zbiorniki powierzchniowe, 2 – ciężkie budownictwo odosobnione, ciężkie budownictwo o dużej powierzchni, obiekty oddziałujące termicznie lub dynamicznie, zbiorniki podziemne, 3 – drogi kołowe, linie kolejowe, mosty, trasy wodociągów i kanalizacji, 4 – zapory, jazy, śluzy, 5 – tory wodne, falochrony, moła, nabrzeża, A – punkty dokumentacyjne główne, B – punkty dokumentacyjne pomocnicze

12.3.4. Ciężkie budowle odosobnione

Liczba punktów badawczych jest zmienna w zależności od powierzchni rzutu poziomego obiektu. Przeciętnie jednak wynosi 2 – 5 punktów. (Głębokość badania podłoża jest uzależniona od ciężaru budowli i sposobu posadowienia oraz zagłębienia fundamentów. Zazwyczaj wiercenia mają głębokość 10 – 30 m poniżej poziomu posadowienia. Usytuowane są głównie na zewnątrz obrysu fundamentów planowanego obiektu. Jednak w szeregu przypadków konieczne jest usytuowanie ich i wewnątrz tego konturu.

12.3.5. Ciężka zabudowa dużej powierzchni

Stosowane są tu podobne zasady prowadzenia badań jak w przypadku poprzednim. Jednak ze względu na większą powierzchnię zabudowy rozmieszczenie punktów badawczych ułożone może być w sieć badawczą o bokach 10 – 30 m. W tych częściach terenu, gdzie układ warstw jest bardziej skomplikowany musi następować zagęszczenie punktów dokumentacyjnych.

12.3.6. Obiekty oddziałujące termicznie

Budowle tego typu są zazwyczaj również obiektami typu ciężkiego. Rozmieszczenie punktów badawczych i projektowanie głębokości penetracji podłoża uzależnione jest z jednej strony od ciężaru i sposobu posadowienia obiektu, a z drugiej uwzględniać musi przewidziane oddziaływanie termiczne na podłoże gruntowe. Zazwyczaj liczba punktów badawczych jest dwukrotnie większa niż w przypadkach ciężkich budowli odosobnionych. Szczególnie dokładnie musi być badane podłoże zbudowane z gruntów organicznych oraz inne podłoża podatne na wysadzinowość i skurcz.

12.3.7. Obiekty oddziałujące dynamicznie

4-10
punktów

Rozpoznanie podłoża gruntowego pod tego rodzaju budowlami musi być prowadzone szczególnie dokładnie i obejmować nie tylko strefę konturu rzutu budowli, ale przylegający do niego teren o szerokości 50 – 100 m, zwłaszcza zaś wtedy, gdy nachylenie powierzchni jest większe od 10%. Liczba otworów badawczych jest zbliżona do tej, jaka jest zalecana przy obiektach oddziałujących termicznie. Głębokości wierceń winny być o 50 – 70% większe niż wynika to z ciężaru samego obiektu. Szczególnie dokładnie winny być badane grunty podatne na proces tiksotropii oraz nie w pełni skompresowane, wilgotne i mokre grunty piaszczyste jak i słabo skonsolidowane grunty spoiste (typ C).

12.3.8. Obiekty oddziałujące biochemicznie

Przyjąć można, że liczba i rozłożenie punktów dokumentacyjnych mogą być podobne do opisanych w punkcie 12.3.2. Głębokość wierceń uzależniona jest od warunków gruntowo-wodnych podłoża oraz charakteru przewidywanego jego skażenia. W badaniach terenowych chodzi głównie o wyznaczenie przestrzennego rozmieszczenia warstw nie-

przepuszczalnych oraz rodzaju i kierunku spływu wód podziemnych. Przeciętna głębokość penetracji podłoża mieści się w granicach 3 – 10 m pod projektowanym poziomem posadowienia.

12.3.9. Trasy podziemne

Wzdłuż tras rurociągów punkty badawcze zlokalizowane są w zależności od złożoności geologicznej terenu w odległościach 20 – 100 m od siebie, a głębokość ich jest zazwyczaj rzędu 5 – 10 m poniżej poziomu posadowienia rurociągu. Pomocnicze punkty dokumentacyjne usytuowane są w miejscach studzienek oraz połączeń rurociągów. W przypadku rurociągów prowadzących substancje toksyczne, penetracja podłoża powinna być bardziej szczegółowa, tak aby można było mieć informacje o kierunkach i skutkach ewentualnych awarii.

12.3.10. Nabrzeża, place składowe

Punkty badawcze przy formowaniu nabrzeży usytuowane są jedynie w jednym lub kilku szeregach równoległe do brzegu wody. Odległości między nimi wynoszą 10 – 20 m. Natomiast na placach składowych rozmieszczenie punktów badawczych ułożone jest w siatkę o bokach analogicznych jak w przypadku lekkiej zabudowy dużej powierzchni. Wiercenia winny przebijać grunty słabonośne (torfy, namuły, młode grunty aluwialne) i zagłębiać się 2 – 4 m w warstwę gruntów nośnych,

12.3.11. Zbiorniki powierzchniowe

Punkty badawcze usytuowane są w siatkę badawczą o bokach 50 – 200 m. Wiercenia zasadniczo powinny dochodzić do warstwy nieprzepuszczalnej i wchodzić w nią 3 – 5 m. Badaniami należy także objąć tereny stanowiące przyszłe zbocza zbiornika, a niekiedy nawet znaczne obszary przyległe. Informacje takie są konieczne do ustalenia wysokości spiętrzenia wody podziemnej, zasięgu podtapiania oraz prognozy tempa niszczenia brzegów projektowanego zbiornika.

12.3.12. Kanały

W zależności od złożoności budowy geologicznej oraz wielkości kanału obiektu, punkty badawcze usytuowane są co 50 – 200 m. Zazwyczaj jest to zespół co najmniej 3 wierceń, z których jedno zlokalizowane jest w osi projektowanego kanału, a pozostałe w pasie odpowiadającym 3 – 5 szerokości kanału. Głębokość otworów wiertniczych powinna zasadniczo dochodzić do warstwy nieprzepuszczalnej. W przypadku, gdy warstwa ta występuje bezpośrednio pod poziomem projektowanego kanału, punkty badawcze nie mogą być płytsze od 3 m poniżej poziomu dna projektowanego kanału.



12.3.13. Budowle piętrzące

W pasie osi projektowanej zapory punkty badawcze lokalizowane są w układzie trzech, czterech rzędów oddalonych od siebie o połowę szerokości zapory. Punkty dokumentacyjne w poszczególnych rzędach są w odległościach 50 – 100 m. Głębokość wierceń jest zmienna. Zasadniczo otwory powinny dochodzić do warstwy nieprzepuszczalnej i zagłębiać się w nią 5 – 10 m. Dla zapór ciężkich przyjmowana jest zasada, że głębokość rozpoznania podłoża powinna być głębsza niż podwojona wysokość spiętrzenia wody w zaporze.

Dla jazów i śluz stosowane są podobne zalecenia jak dla zapór, przy czym odległości w rzędach między wierceniami powinny być rzędu 10 – 20 m.

12.4. Projektowanie geologiczno-inżynierskich badań terenowych

Badania terenowe poprzedzone są wykonaniem projektu geologiczno-inżynierskiej penetracji terenu, który w sposób wiarygodny pozwoli na uzyskanie informacji koniecznych do opracowania projektu technicznego realizowanej inwestycji. W projekcie badań geologiczno-inżynierskich powinny być uwzględnione następujące zagadnienia:

- analiza lokalizacji i technicznego projektu inwestycji oraz wpływu budowl na środowisko geologiczne;
- charakterystyka geomorfologiczna, geologiczna i hydrogeologiczna terenu przyszłej lokalizacji;
- charakterystyka litologiczna i stratygraficzna gruntów stanowiących podłoże budowl;
- charakterystyka własności fizyko-mechanicznych gruntów stanowiących podłoże budowl;
- charakterystyka wód podziemnych oddziałujących na podłoże budowlane;
- charakterystyka procesów geodynamicznych występujących w terenie badań oraz mogących powstawać w trakcie realizacji lub użytkowania obiektu budowlanego;
- charakterystyka surowców budowlanych występujących w terenie badań mogących być wykorzystanymi w trakcie realizacji zadań budowlanych;
- określenie zakresu i badań terenowych, prac laboratoryjnych, formy opracowania kameralnego;
- alternatywne (lub wariantowe) rozwiązanie prac i badań geologiczno-inżynierskich w przypadku, gdy założony w projekcie schemat warunków geologicznych odbiega od wyników badań terenowych.

Istotną częścią projektu badań geologiczno-inżynierskich jest harmonogram oraz kosztorys robót i prac geologicznych, jakie mają być realizowane w trakcie rozpoznania geologiczno-inżynierskiego terenu badań. Wszelkie odstępstwa od projektu muszą być szczegółowo uzgodnione w odpowiednich aneksach do pierwotnego zakresu opracowania geologiczno-inżynierskiego.

W przypadku badań geologiczno-inżynierskich pod małe obiekty budowlane lub opracowywania w dużych skalach, projektowanie prac polowych (terenowych) prowadzone jest zasadniczo w dwóch etapach określanych jako: prace rozpoznawcze i prace terenowe.

Prace rozpoznawcze

Stanowią pierwszy etap projektowania badań terenowych. W opracowaniu takim na wstępie podawana jest analiza lokalizacji i założeń techniczno-projektowych inwestycji. Pod tym kątem zbierane są i oceniane informacje geologiczno-inżynierskie znajdujące się w materiałach publikowanych i dokumentacjach archiwalnych. Rozpatrywany jest wpływ rzeźby, podłoża gruntowo-wodnego i procesów geodynamicznych na lokalizację i koncepcję projektu inwestycji. Prace analityczne poparte muszą być wizją lokalną terenu i wykonaniem wstępnych badań polowych, rozstrzygających, czy informacje o rozpatrywanym terenie są wystarczające czy niewystarczające do zaprojektowania właściwych badań geotechnicznych.

Prace terenowe

Na podstawie prac rozpoznawczych wykonywany jest program badań terenowych. W pierwszej części określa się tu zadanie badawcze wynikające z kompleksowo ujętego charakteru techniczno-konstrukcyjnego budowli, zasad posadowienia obiektu, przewidywanych prac ziemnych oraz zasad eksploatacji obiektu budowlanego. Dalej podaje się informacje wynikające ze wstępnego rozpoznania geologiczno-inżynierskiego terenu. Z kolei przedstawia się propozycje lokalizacji punktów badawczych, ich głębokość, zakres obserwacji terenowych i badań laboratoryjnych, jak również charakter badań specjalnych. Wreszcie przedstawia się propozycje postępowania, jeżeli w trakcie badań polowych wystąpią poważne różnice w stosunku do zakładanego modelu budowy geologicznej opartej na istniejących materiałach archiwalnych.

W łatwiejszych do rozwiązania zagadnieniach, dla których Rozporządzenie nie wymaga wykonania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, lecz tylko dokumentacji (lub ekspertyzy, oceny) geotechnicznej, rozpoznanie podłoża budowli organizuje się na podstawie programu geotechnicznych badań terenowych (p. 12.5). Jest on zakresowo szerszy od projektu badań geologiczno-inżynierskich, ale powinien zapewniać stopień rozpoznania wystarczający do zaprojektowania, wykonania i użytkowania budowli w sposób bezpieczny.

Uzyskane w trakcie badań terenowych informacje przedstawiane są w postaci opracowań (dokumentacje, operaty, ekspertyzy, opinie) geologiczno-inżynierskich lub geotechnicznych, które stanowią podstawowy załącznik do właściwego projektu technicznego budowli.

12.5. Projektowanie geotechnicznych badań terenowych

Poprawne zaprojektowanie obiektu budowlanego zależy w poważnym stopniu od właściwego rozpoznania parametrów mechanicznego modelu podłoża danego obiektu i parametrów procesów interakcji obiektu z podłożem oraz od rozpoznania warunków bezpiecznej

dla budowli, a przyjaznej dla środowiska, realizacji zadania budowlanego. Rozpoznanie to odnosi się do geotechnicznych aspektów danego zagadnienia budowlanego, ale musi być osadzone w wynikach archiwalnego lub terenowego rozpoznania geologiczno-inżynierskiego i podobnie jak rozpoznanie geologiczno-inżynierskie obejmuje dwa etapy:

- ustalenie aktualnego stanu wiedzy geotechnicznej o podłożu określonej budowli,
- uzupełnienie stanu wiedzy odpowiednio do potrzeb.

Szczegółowe wytyczne rozpoznania geotechnicznego zawarte są w odpowiednich aktach prawnych, obecnie w *Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji, z dnia 24.09.1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych* – Dz. U. 128, 1998, poz. 839 lub w normie *PN-B-02479:1998. Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne* (w razie niespójności tego zbioru aktów prawnych rozstrzyga tekst *Rozporządzenia*).

Zakres badań geotechnicznych zależy od tzw. **kategorii geotechnicznej** obiektu, ta zaś m.in. od rodzaju tzw. **warunków gruntowych**, które dotyczą podłoża danego obiektu budowlanego. Omawiany w p. 12.2 stopień złożoności budowy geologicznej terenu dotyczy dużych partii powierzchni Ziemi. W odniesieniu do partii niedużych, związanych z określonym obiektem budowlanym, należy posługiwać się stopniem złożoności podłoża obiektu, wyrażanym przez tzw. **warunki gruntowe**, które odzwierciedlają aspekt geotechniczny danego zagadnienia. Rozróżnia się następujące **rodzaje warunków gruntowych**, czyli **stopień złożoności podłoża**.

1. Proste warunki gruntowe – występujące w gruntach jednorodnych genetycznie i litologicznie, warstwowanych równolegle do powierzchni terenu, nie obejmujących gruntów słabonośnych, przy zwierciadle wód gruntowych poniżej projektowanego poziomu posadowienia oraz braku występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych.

2. Złożone warunki gruntowe – występujące w podłożu złożonym z gruntów niejednorodnych, nieciągłych, zmiennych genetycznie i litologicznie, obejmujących grunty słabonośne, przy zwierciadle wody gruntowej w poziomie posadowienia i powyżej oraz braku występowania niekorzystnych zjawisk geologicznych.

3. Skomplikowane warunki gruntowe – występujące w przypadku warstw gruntów o niekorzystnych zjawiskach geologicznych, zwłaszcza krasowych, osuwiskowych, sufozyjnych, kurzawkowych, glaciektonicznych, na obszarach szkód górniczych (przy możliwości nieciągłych deformacji górotworu) oraz w centralnych obszarach delt rzek.

Obecnie rozróżnia się trzy **kategorie geotechniczne I, II, III**, obejmujące odpowiednio:

I – niewielkie, o prostej konstrukcji obiekty budowlane w prostych warunkach gruntowych, gdy wystarcza jakościowe określenie właściwości podłoża budowli;

II – obiekty w prostych i złożonych warunkach gruntowych wymagające ilościowej oceny i analizy danych geotechnicznych;

III – nietypowe obiekty budowlane niezależnie od rodzaju warunków gruntowych, gdy ich wykonanie lub użytkowanie może poważnie zagrażać użytkownikom lub środowisku oraz obiekty w skomplikowanych warunkach gruntowych i obiekty zabytkowe i monumentalne.

Dla każdego projektowanego obiektu budowlanego (włączając nadbudowy i przebudowy) muszą być ustalone geotechniczne warunki posadowienia osadzone w syntezie

rozpoznania geologiczno-inżynierskiego. Jednak dokumentację geologiczno-inżynierską i odpowiednie geologiczno-inżynierskie badania terenowe wykonywać trzeba dla obiektów:

- wymagających wykonania robót geologicznych (określa je Prawo geologiczne i górnicze Dz. U. 1994, 27, poz.96 oraz Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska ZN i L Dz. U. 1994, 93, poz. 444),
- zaliczonych do trzeciej kategorii geotechnicznej,
- zaliczonych do drugiej kategorii przy złożonych warunkach gruntowych.

13. DOKUMENTOWANIE BADAŃ GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH

W celu właściwego wyboru lokalizacyjnego danego obiektu budowlanego, jego optymalnego zaprojektowania, prawidłowej realizacji i eksploatacji wykonywane są dokumentacje geologiczno-inżynierskie, których treści określone są w Prawie Geologicznym i Górniczym (Dz. U. 27, poz. 96 z dnia 04.02.1994 r.) oraz Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (Dz. U. 93, poz. 444 z dnia 23. 08. 1994 r.).

Dokumentacja taka ma na celu określić budowę geologiczną i warunki geologiczno-inżynierskie oraz hydrogeologiczne na terenie projektowanej budowli (zespołu obiektów budowlanych). Zawierać też musi prognozę zmian środowiska, która może nastąpić w wyniku realizacji i eksploatacji obiektu inżynierskiego. Powinna informować o złożach surowców budowlanych, które można wykorzystać realizując inwestycję.

Na treść dokumentacji geologiczno-inżynierskiej składają się następujące dane:

1. Ogólna informacja o terenie badań (przedstawia się: położenie administracyjne, szczegółową lokalizację w obrębie jednostki administracyjnej, obiekty sąsiadujące, sytuację własnościową terenu badań i otoczenia, wymagane uzgodnienia badań, itd., podaje się wykorzystane materiały, na podstawie których opracowano dokumentację).

2. Wymagania techniczno-budowlane obiektu (cel realizacji obiektu, głębokość jego posadowienia, zakładane oddziaływanie na środowisko, specjalne wymogi związane z obiektem).

3. Opis położenia geograficznego (położenie w regionie geograficznym, ogólna sytuacja geomorfologiczna, hydrograficzna, gospodarcza, itp.).

4. Opis budowy geologicznej (podaje się dotychczasowy przebieg badań geologicznych terenu, przedstawia się ogólne informacje o cechach genetycznych, litologiczno-stratygraficznych i tektonicznych podłoża, podaje się ogólne informacje o cechach hydrogeologicznych, przedstawia się ogólne informacje o procesach geodynamicznych i przyczynach ich powstawania oraz wpływie na projektowaną inwestycję).

5. Opis właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów (wydziela się warstwy gruntowe i przedstawia formę ich zalegania w podłożu, podaje się podstawowe parametry geotechniczne warstw gruntowych w podłożu, podatność warstw podłoża budowlanego na procesy geodynamiczne itp.).

6. Opis warunków hydrogeologicznych wpływających na realizację inwestycji (podaje się miąższość warstwy suchej oraz wahania zwierciadła wody podziemnej, rodzaje i typy wody podziemnej w podłożu budowlanym, możliwość dynamicznego i agresywnego oddziaływania wód podziemnych na budowlę, itp.).

7. Ocena warunków geologiczno-inżynierskich wraz z prognozą wpływu inwestycji na środowisko (podaje się syntetyczną waloryzację geologiczno-inżynierską poszczególnych

części terenu inwestycji, określa możliwości oddziaływania czynników naturalnych na realizację budowli, podaje wytyczne postępowania w trakcie projektowania, realizacji i eksploatacji budowli w celu zapobieżenia rozwojowi negatywnych procesów geodynamicznych oraz ujemnemu oddziaływaniu inwestycji na środowisko, przedstawia propozycje badań monitoringowych, generalne wnioski i zalecenia).

8. Oszacowanie zasobów złóż kopalin, jeśli mają być wykorzystane przy realizacji zadania inwestycyjnego (zazwyczaj treści tego punktu są podawane tylko przy opracowywaniu dokumentacji dużych inwestycji, w większości przypadków jest on pomijany).

Do dokumentacji geologiczno-inżynierskiej dołączany jest plik załączników, są to:

1. Plan sytuacyjno-wysokościowy w skali 1:500 – 1:2000 oraz przeglądowa mapa lokalizacyjna dokumentowanego terenu.
2. Mapa dokumentacyjna z punktami badawczymi i liniami przekrojów.
3. Mapa geologiczno inżynierska (niekiedy plik map cięć na różnych głębokościach pod powierzchnią terenu (w m p.p.t.) lub na różnych poziomach rzędnych wysokości (w m n.p.m.).
4. Tabelaryczne zestawienie właściwości fizyko-mechanicznych gruntów i fizyko-chemicznych wody podziemnej, inne wyniki badań.
5. Przekroje geologiczno-inżynierskie.
6. Dokumentacja otworów wiertniczych i wyrobisk badawczych.

W przypadku badań terenowych pod małe obiekty lub gdy rozpoznanie podłoża ma tylko charakter wycinkowy, zakres dokumentacji może być znacznie mniejszy. Takie **dokumentacje uproszczone** składają się z poniższych części.

1. Wstęp – w którym przedstawia się cel i zakres dokumentacji oraz informacje o projektowanym obiekcie budowlanym.
2. Materiały wykorzystane – prezentuje się publikowane i archiwalne opracowania dotyczące terenu badań oraz rozwiązywanego zadania geologiczno-inżynierskiego.
3. Ogólna charakterystyka terenu badań – zaprezentowana jest tu lokalizacja obiektu budowlanego z punktu widzenia administracyjnego. Podaje się też charakterystykę geomorfologiczną terenu badań, ogólne informacje o genezie i wieku osadów budujących podłoże budowlane, podstawowe wiadomości o wodach podziemnych i procesach geodynamicznych.
4. Charakterystyka podłoża budowlanego – zawarte są tu wyniki geologiczno-inżynierskich badań terenowych oraz rezultaty badań laboratoryjnych, wydziela się warstwy geotechniczne oraz ich pakietyzację i podaje dla nich miarodajne parametry geotechniczne.
5. Wnioski i zalecenia – znajduje się tu podsumowanie badań i uwagi dotyczące projektowania i prowadzenia prac budowlanych. Przedstawione mogą też być propozycje rozszerzenia zakresu badań terenowych i laboratoryjnych w celu uzyskania bardziej pełnych i obiektywnych informacji o opracowywanym terenie.

Do opracowania takiego dołącza się:

- plan sytuacyjno-wysokościowy z zaznaczeniem punktów badawczych i linii przekrojów geologiczno-inżynierskich,
- profile i przekroje geotechniczne z oznaczeniem rodzajów gruntów i ich stanów, miejscami poboru próbek, wykresy sondowań podłoża, wyniki analiz chemicznych wody podziemnej znajdującej się w podłożu budowlanym,
- zestawienie parametrów geotechnicznych charakterystycznych dla wszystkich warstw podłoża gruntowego,
- w niektórych przypadkach dołącza się również mapy (plany) geologiczno-inżynierskie rejonizacji terenu z punktu widzenia budowlanego oraz mapy informujące o miąższości warstwy suchej, kierunkach i gradientach przepływu wody podziemnej.

Należy wszakże pamiętać, że dokumentacja geologiczno-inżynierska nie jest w aktualnym stanie prawnym wystarczającą podstawą do projektowania posadowienia budowli. Do opracowania takiego projektu musi być wykonana **dokumentacja (lub ekspertyza) geotechniczna**, która wspierana jest dokumentacją geologiczno-inżynierską (por. rozdział 12).

Dokumentacje i ekspertyzy geotechniczne, wchodzą w skład dokumentacji projektowych inwestycji budowlanych i też wykonywane są na podstawie badań terenowych (por. rozdz. 12). Szczegółowe warunki, jakim powinny odpowiadać te dokumenty, podane są w normie PN-B-02479:1998 (Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne).

Dokumentacja geotechniczna zawiera zazwyczaj następujące treści:

1. Geotechniczną ocenę terenu pod kątem lokalizacji konkretnych obiektów, ze wskazaniem ewentualnych zmian ich usytuowania.
2. Optymalne sposoby posadowienia budowli, przystosowanie jej do istniejących właściwości gruntowo-wodnych podłoża. Sposoby wykonania i użytkowania budowli z uwzględnieniem istniejącego i przewidywanego szkodliwego oddziaływania na środowisko.
3. Sposoby makroniwelacji terenu.
4. Sposoby przygotowania podłoża gruntowego pod fundamenty budowli. Propozycje usytuowania dróg dojazdowych oraz tras instalacji podziemnych.
5. Sposoby zabezpieczenia zboczy naturalnych i sztucznych skarp w trakcie prowadzenia prac budowlanych oraz eksploatacji budowli.
6. Sposoby czasowego i trwałego odwodnienia podłoża budowlanego oraz przedstawienia zabiegów zabezpieczających przed przenikaniem wody i wilgoci.
7. Sposoby przeciwdziałające pęcznieniu, rozmakaniu, rozmywaniu i przemarzaniu gruntów oraz szkodliwym dla budowli procesom geodynamicznym.
8. Wytyczne geotechniczne do szczegółowych prac projektowych, obliczeń statycznych oraz warunków technicznych wykonywania i odbioru prac i robót budowlanych.
9. Zakres wymaganych badań kontrolno-pomiarowych w okresie budowy i eksploatacji obiektu.

Należy zwrócić uwagę, że jeżeli realizacja projektu budowy następuje po upływie pięciu lat od czasu wykonania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej lub wykonania

opracowania geotechnicznego, zaleca się, aby materiały te zostały zaktualizowane (niekiedy wymaga tego prawo).

14. PORÓWNAWCZA WALORYZACJA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA TERENÓW BUDOWLANYCH

14.1. Zadania waloryzacji

Inwestycja budowlana z zasady powinna być rozpatrywana wariantowo. Między innymi rozważa się rozmaite warianty lokalizacji określonego zespołu budowli. Pojawia się wtedy zagadnienie porównania wariantów pod różnymi względami – społecznymi, komunikacyjnymi, przyrodniczymi itp. Geologia inżynierska w tego rodzaju porównaniach dostarcza kryteriów porównawczych ze względu na budowlane walory terenu. Uwzględniają one:

- naturalne cechy środowiska geologicznego,
- możliwość poprawy cech niekorzystnych środowiska,
- wzajemne wpływy budowli i określonych elementów środowiska.

W prostych sytuacjach, gdy chodzi o porównanie wariantów tylko ze względu na pewną jedną cechę, na przykład głębokość wody podziemnej pod powierzchnią terenu, wystarczają na ogół wiadomości podane w poprzednich rozdziałach; w tym przykładzie – teren o hydroizobacie 5 m jest lepszy niż teren o hydroizobacie 2 m, podobnie teren o spadku 2% jest lepszy od terenu o spadku 10%. Jest to porównanie o charakterze jakościowym. Jednak w sytuacjach bardziej złożonych, gdy chodzi o porównanie wariantów ze względu na kilka cech, zwłaszcza gdy cechy te z osobna waloryzują tereny niezgodnie, trzeba wyważać rangi poszczególnych kryteriów, co prowadzi do porównań o charakterze ilościowym. Na przykład, *teren pierwszy (1)* ma spadek powierzchni 2% i wodę na głębokości 2m, *teren drugi (2)* zaś – spadek 10% i wodę na 5m – izolowane wzajemnie kryteria dają oceny sprzeczne.

Porównania ilościowe są niezbędne, gdy orzeczenie o porównaniu terenów ma odzwierciedlać:

- zależności między cechami środowiska, możliwością ich geotechnicznej melioracji i wpływem budownictwa na elementy środowiska geologicznego lub odwrotnie,
- nieokreśloność właściwą poszczególnym czynnikom oceny (cechy, możliwości melioracji, wpływy),
- wzajemne interakcje rozmaitych źródeł nieokreśloności, jak np. losowości, nieostrości rozpoznania, możliwości popełnienia błędów decyzyjnych itd.

W takich i podobnych, bardziej skomplikowanych sytuacjach porównania muszą być dokonywane metodami ogólniejszymi i mocniejszymi.

14.2. Waloryzacja metodą metryczną

W dalszym ciągu niniejszego rozdziału prezentuje się porównanie poszczególnych terenów w aspekcie geotechnicznym **metodą metryczną** – to znaczy opartą na obliczeniu odległości (Hauryłkiewicz, 1991). W metodzie tej tereny porównywane odnosi się do

pewnego terenu możliwie najgorszego (rozsądnie przyjmując), którego warunki naturalne, możliwości melioracji geotechnicznej i podatności na wpływ danego rodzaju budownictwa są już nie do przyjęcia. Ponadto rozpatruje się nie teren sam w sobie, lecz jego model jako punkt w przestrzeni stanów, wyznaczony wartościami parametrów stanu $x_1, x_2, \dots, x_n$. Poszczególne parametry stanu obiektu (terenu) wyznaczają wektor stanu

$$\mathbf{x} = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle, \quad (14.1)$$

wskazujący odpowiedni punkt w wielowymiarowej przestrzeni stanów. Stan obiektu (terenu) ocenianego określa się wektorem $\mathbf{x}_E$ (wskazuje punkt E), a stan obiektu (terenu) skrajnie niekorzystnego – granicznego – wektorem $\mathbf{x}_B$ (wskazuje punkt B), jak to ilustruje rys. 14.1. Jako parametry stanu x_i przyjmuje się wszystkie wielkości istotne dla porównania, a więc:

- cechy środowiska wyrażane odpowiednimi dla nich wartościami liczbowymi,
- częstości zabiegów melioracyjnych,
- siły wpływu obiektu na środowisko (lub odwrotnie).

Waloryzacja porównawcza terenu ocenianego względem terenu granicznego polega na obliczeniu odległości d między punktami E i B według wzoru macierzowego

$$d^2 = \mathbf{x}' * \mathbf{V}^{-1} * \mathbf{x} \quad (14.2)$$

gdzie

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_E - \mathbf{x}_B \quad (14.3)$$

jest macierzą kolumnową (wektorem), $\mathbf{x}'$ – transpozycją wektora $\mathbf{x}$, $\mathbf{V}$ – macierzą nieokreśloności.

Waloryzacja porównawcza *terenu pierwszego (1)* i *terenu drugiego (2)* polega na obliczeniu według wzoru (14.2) odległości d_1 dla terenu 1, odległości d_2 dla terenu 2, oraz porównaniu d_1 z d_2 . Teren jest tym lepszy, im większa mu odpowiada odległość d od stanu granicznego (skrajnie niekorzystnego).

Abstrakcyjna odległość według wzoru (14.2):

- nie zależy od jednostek miary poszczególnych parametrów stanu,
- maleje wraz ze wzrostem nieokreśloności,
- wyraża oddalenie między punktami E i B w abstrakcyjnych jednostkach nieokreśloności stanu,
- w przypadku, gdy jedynym źródłem nieokreśloności jest losowy charakter parametrów stanu, przyjmuje sens uogólnionej odległości Mahalanobisa; macierz $\mathbf{V}$ ma wtedy sens macierzy kowariancji.

W konkretnej sytuacji może wystąpić kilka punktów granicznych wyrażających różne nieakceptowalne kombinacje wartości parametrów stanu, przy których teren jest nie do przyjęcia. Wtedy należy obliczyć odległości punktu E od wszystkich punktów granicznych i jako odległość reprezentatywną przyjąć średnią ważoną, gdzie wagi odzwierciedlają różnice w ważności poszczególnych punktów granicznych w ten sposób, że ze wzrostem ważności maleje odległość punktu ocenianego od punktu granicznego.

14.3. Przykład

Możliwe są dwa warianty lokalizacji dużego osiedla mieszkaniowego w warunkach środowiskowych określonych w tabeli 14.1.

W wariantcie 1 osiedle byłoby zlokalizowane na wysoczyźnie moreny dennej, w wariantcie 2 – na terasie nadzalewowej. Wyróżniono dziesięć parametrów stanu istotnych w danym zagadnieniu (kolumna 2). Wartości x_i tych parametrów w obu wariantach podano w kol. 3 i 5, a wartości kwadratów nieokreśloności (elementy głównej przekątnej macierzy nieokreśloności V) w kol. 4 i 6. Dla $i = 1, 2, 3$ wartości są określone w jednostkach miary właściwych danym wielkościom fizycznym, dla $i = 4 - 10$ wartości podane są w rangach w dziesięciostopniowej skali ocen: 0 – najgorsza, 10 – najlepsza. Dla uproszczenia przykładu założono, że parametry nie są skorelowane (macierz nieokreśloności V jest diagonalna – elementy poza główną przekątną macierzy są zerowe) i pominięto przeprowadzane niekiedy analizy wzajemnych wpływów rozmaitych typów nieokreśloności. Przyjęto tylko jeden stan graniczny B, którego parametry podano w kol. 7. Na podstawie powyższych danych należy porównać oba warianty lokalizacji osiedla metodą metryczną.

Tabela 14.1. Dane do porównania wariantów lokalizacji osiedla mieszkaniowego

Lp.	Parametr	Wariant 1 (wysoczyzna moreny dennej)		Wariant 2 (terasa nadzalewowa)		Stan graniczny x_B
		x_i	v_i	x_i	v_i	
1	2	3	4	5	6	7
1	Spadek powierzchni, %	6	7	2	3	10
2	Obciążenie bezpieczne, kPa	120	3240	200	5760	80
3	Miękkość warstwy suchej, m	4	5,8	3	5,8	2
4	Obecność procesów geodynamicznych	8	3	5	3	4
5	Potrzeba wyrównania terenu	5	3	8	3	4
6	Potrzeba zagęszczenia gruntu	8	2,4	5	2,4	4
7	Potrzeba wymiany gruntu	5	7	5	12	4
8	Wpływ na rzeźbę terenu	5	3	8	3	4
9	Wpływ na procesy geodynamiczne	8	2	5	5,8	4
10	Wpływ na przewietrzanie terenu	2	2,4	2	3	1

Rozwiązanie

Macierz nieokreśloności V i macierz odwrotną V^{-1} oblicza się według schematu znanego z algebry. Ponieważ macierze te w przykładzie poza główną przekątną mają zera, wystarczy podać elementy głównej przekątnej, stąd:

$$V_1 = [7; 3240; 5,8; 3; 3; 2,4; 7; 3; 2; 2,4],$$

$$V_1^{-1} = [0,143; 3,1 \cdot 10^{-4}; 0,172; 0,333; 0,333; 0,417; 0,143; 0,333; 0,500; 0,417],$$

$$V_2 = [3; 5760; 5,8; 3; 3; 2,4; 12; 3; 5,8; 3],$$

$$V_2^{-1} = [0,333; 1,7 \cdot 10^{-4}; 0,172; 0,333; 0,333; 0,417; 0,083; 0,333; 0,172; 0,333]$$

Wektory x oblicza się według wzoru (14.3):

$$x_1 = \langle -4; 40; 2; 4; 1; 4; 1; 1; 4; 1 \rangle \quad (\text{różnice kolumn 3 i 7}),$$

$$x_2 = \langle -8; 120; 1; 1; 4; 1; 1; 4; 1; 1 \rangle \quad (\text{różnice kolumn 5 i 7}).$$

Odległości d oblicza się według wzoru (14.2), wykonując mnożenie macierzowe i otrzymuje się:

$$d_1 = 4,97, \quad d_2 = 6,0.$$

Porównanie obu wariantów wykazuje, że wariant 2, tj. lokalizacja osiedla na terasie nadzalewowej, jest korzystniejszy, jednak w sposób nieznaczny. Bowiem stosunek odległości obu wariantów wynosi $(6,0) : (4,97) = 1,21$. Dokonanie wyboru i konsekwencje tego spoczywają na inwestorze i projektancie, który analizując szczegółowo poszczególne elementy środowiska geologiczno-inżynierskiego musi podjąć decyzję, mając na uwadze skutki ekologiczne, społeczne, techniczne i ekonomiczne. Waloryzacja budowlana terenu na podstawie metrycznej, jak ustalana innymi metodami „matematycznymi”, stanowi tylko pomoc w obiektywizacji podejmowania optymalnych rozwiązań budowlanych. Jednak konsekwencji błędnych decyzji nie można tłumaczyć przyjętymi modelami matematycznymi, gdyż ponosi je człowiek.

15. ODDZIAŁYWANIE BUDOWNICTWA NA ŚRODOWISKO

15.1. Zagadnienia ogólne

Środowisko przyrodnicze pod wpływem naturalnych procesów oraz działalności człowieka ulega ciągłym przekształceniom. Czynnikiem przekształcającym jest też działalność inżynierska, dlatego oceniając jakiś teren z punktu widzenia budowlanego należy zdawać sobie sprawę, w jakim kierunku nastąpi jego przekształcenie. Czy zmiany te będą w konsekwencji miały wpływ niekorzystny, czy też z dzisiejszego punktu widzenia będą korzystne. Jednak tempo zmian i przekształceń środowiska pod wpływem działalności człowieka ulega ciągłej ewolucji i jest trudne do obiektywnego i jednoznacznego osądu.

W niniejszym rozdziale, tylko fragmentarycznie przedstawiono wpływ budownictwa na niektóre właściwości środowiska, które bezpośrednio wpływają na egzystencję i komfort życia człowieka. Ograniczono się do przedstawienia zmian użytkowania terenu, zmian zasobów wodnych, zmian własności wody oraz do interakcji budownictwa z topoklimatem. Zagadnienia te poważnie uproszczono i zawężono je do podstawowej problematyki budowlanej. Zapoznając się z nią należy zdawać sobie sprawę, że między wszystkimi komponentami systemu, jakim jest środowisko przyrodnicze (włącznie z budowlą), istnieją wyraźne sprzężenia i zmiany jednego z nich wywołują poważne następstwa w pozostałych. W szczególności warunki klimatyczne wpływają na budownictwo bezpośrednio i pośrednio (na przykład przez wpływ na warunki geotechniczne).

Obecnie stwierdza się, że przekształcanie środowiska życia człowieka winno wspierać się nie tylko na racjach gospodarczo-społecznych, ale muszą być również uwzględniane uwarunkowania ekologiczne. Formułując założenia zagospodarowania przestrzennego danego obszaru należy się kierować zasadami (prawami) oraz barierami (ograniczeniami), jakie postuluje stosować w planowaniu S. Kozłowski (1983, 1988).

1. *Zasada celu.* Należy w sposób właściwy określić cel i kierunek działania gospodarczego, który powinien być wyznaczony przez istniejące cechy środowiska przyrodniczego oraz potrzeby człowieka.

2. *Zasada skali i jakości.* Skala i jakość działań gospodarczych musi odpowiadać dostępnym zasobom środowiska przyrodniczego, które powinny być zbilansowane przez wszechstronne analizy. Nie można dopuszczać do degradacji środowiska wynikających z błędnych decyzji lokalizacyjnych danej inwestycji.

3. *Zasada regionu.* Rozwój gospodarczy regionu zależy m.in. od jego indywidualnych cech przyrodniczych i woli mieszkańców. Zasoby i walory przyrodnicze powinny być wykorzystane w sposób optymalny, tak aby nie następowała degradacja środowiska. Zróżnicowanie cech środowiska przyrodniczego powoduje, że zadania i programy inwestycyjne powinny być podporządkowane określonej regionowi i nie mogą być unifikowane dla wszystkich regionów kraju.

Przestrzenne zagospodarowanie terenu napotyka szereg ograniczeń wynikających z cech przyrodniczych danego regionu. Według S. Kozłowskiego istnieją trzy główne bariery ograniczające działalność gospodarczą.

- *Bariera uniwersalna.* W obrębie danego regionu należy realizować tylko takie inwestycje, które nie będą powodowały przekroczenia dopuszczalnych norm zanieczyszczenia powietrza, wody, gleby, roślinności.

- *Bariera zasobowa.* Działania gospodarcze w regionie muszą uwzględniać ograniczenia wynikające z lokalnych zasobów biotycznych i abiotycznych (np. ograniczonych zasobów wody).

- *Bariera przestrzenna.* Planując działania gospodarcze w danym regionie, należy mieć na uwadze istniejące walory środowiska przyrodniczego i ich odporność na degradację powodowaną przez urbanizację, uprzemysłowienie, intensyfikację gospodarki rolnej, rekreację, itp.

15.2. Zmiany użytkowania terenu

Na obecnym poziomie rozwoju cywilizacji obserwuje się, że ingerencja człowieka w środowisko odbywa się kosztem zmniejszania terenów użytkowanych rolniczo lub leśnie. Co prawda nowoczesne zabiegi agrotechniczne z nadwyżką rekompensują zmniejszanie arealów rolnych, jednak wszyscy zdają sobie sprawę z tego, że wzrost produkcji rolnej ma swoje granice. Istnieje więc uzasadniona konieczność ograniczenia pozarolniczego wykorzystania terenów o glebach dobrych. Wskazane jest, aby tylko tereny najslabsze pod względem rolniczym przeznaczone były pod zabudowę. Istniejące ograniczenia wyrażane są w formie urzędowych przepisów, w których ustalane są odpowiednie rekompensaty na rzecz rolnictwa w przypadku wkraczania budownictwa na tereny rolnicze. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę, że słabsze rolniczo tereny są niekiedy również słabymi w sensie budowlanym. Zachodzi wtedy konieczność doboru odpowiednich rozwiązań geotechnicznych pod posadowienie określonego obiektu inżynierskiego. Następuje pozorny wzrost kosztów danej inwestycji i w wyniku wąsko pojętej „oszczędności” wszelkimi sposobami dąży się do podejmowania inwestycji budowlanych na terenach dobrych rolniczo.

Szczególnie nieuzasadnione z punktu widzenia przyrodniczego, społecznego i gospodarczego jest wprowadzanie budownictwa w obszary leśne oraz w ich otoczenie. Natomiast celowe jest wykonywanie wokół inwestycji budowlanych ochronnych pasów leśnych z drzew odpornych na imisje zanieczyszczeń komunalnych i przemysłowych, jak również spełniających funkcję tłumienia hałasu.

Wprowadzanie szeregu budowli na tereny użytków zielonych łączy się często ze znacznymi nakładami finansowymi przeznaczonymi na wstępne uzdatnienie podłoża gruntowego. Ponieważ obszary takie są zazwyczaj terenami retencji wód opadowych i spełniają funkcje bazy paszowej, inwestycje budowlane na takich obszarach powinny być poprzedzane wnikliwą analizą przyrodniczo-gospodarczą.

15.3. Zmiany naturalnych zasobów wodnych

15.3.1. Zagadnienia ogólne

Działalność budowlana człowieka wpływa w sposób istotny na zwiększenie lub zmniejszenie ilości wód powierzchniowych i podziemnych.

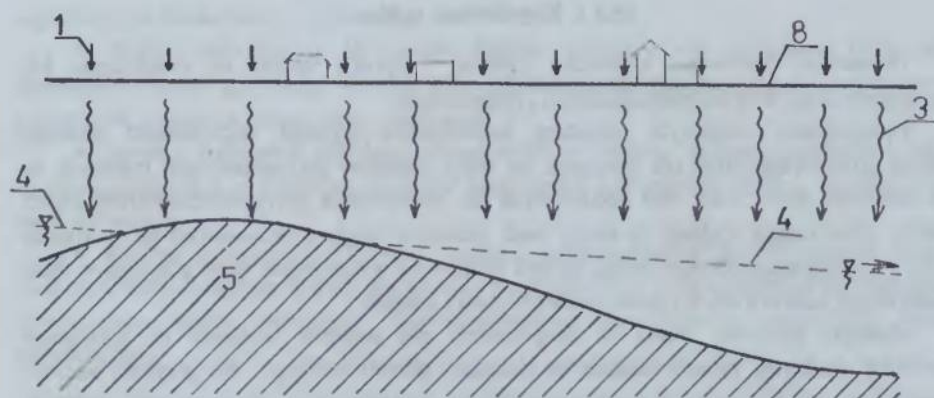
Posadowienie większych obiektów budowlanych wymaga odpowiednio suchego podłoża gruntowego. Stąd też wykonuje się wiele zabiegów geotechnicznych mających na celu obniżenie zwierciadła wód podziemnych lub odwodnienia przypowierzchniowej części podłoża gruntowego. Zabiegi te mogą mieć charakter ciągły i prowadzone są w trakcie budowy i eksploatacji obiektu. Mogą też być okresowe i wykonywane są na przykład w fazie posadowienia budowli lub w okresie usuwania awarii obiektu.

Niekiedy budowle, mimo że bezpośrednio nie powinny wpływać na naruszenie stosunków wodnych, rzutują lokalnie na charakter bilansu wodnego. Na przykład wielkoprzestrzenna zabudowa wraz z towarzyszącym zagospodarowaniem urbanistycznym (jezdnie, chodniki, utwardzone place, kanalizacja itp.) w znacznym stopniu utrudnia infiltrację wód opadowych w podłoże i odnawialność zasobów wód podziemnych. Następuje szybkie odprowadzenie wód opadowych do cieków i zbiorników powierzchniowych. W efekcie następuje poważne uszczuplenie zasobów wód podziemnych. Pozbawione wody podłoże zmniejsza swoją objętość, czemu mogą towarzyszyć znaczne deformacje powierzchni terenu i awarie obiektów budowlanych (rys. 15.1). Z drugiej strony, niektóre obiekty głęboko posadowione w strefie spływu wód podziemnych przyczyniają się do sztucznego spiętrzania wód podziemnych. Towarzyszy temu niekorzystna zmiana własności fizyko-mechanicznych gruntów oraz powstaje możliwość rozwoju szeregu procesów geodynamicznych, np. sufozji, podtapiania istniejących obiektów (rys. 15.2).

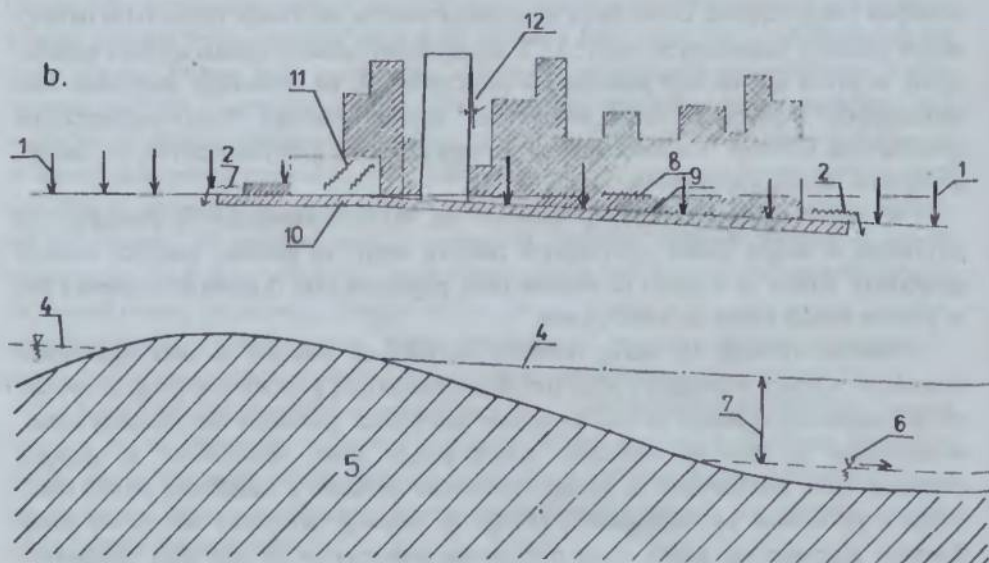
W sensie ogólnym najbardziej korzystne jest działanie kompleksowe polegające na utrzymaniu w danym terenie „optymalnych zasobów wody” na potrzeby ważnych dziedzin gospodarki. Jednak ze względu na zmienne stany pogodowe oraz działalność człowieka jest to postulat bardzo trudny do zrealizowania.

Obecnie wykonuje się szereg obiektów inżynierskich mających na celu regulowanie stosunków wodnych w związku z jakąś konkretną działalnością gospodarczą. Mogą to być np. obiekty melioracyjne mające na celu stworzenie korzystnych warunków dla produkcji rolnej. Wykonywane są zbiorniki retencyjne przechwytyjące wody powodziowe w górnych odcinkach rzek. Realizowane są zabiegi inżynierskie związane z kanalizacją jakiejś rzeki, w celu usprawnienia jej żeglowności. Zabiegi te wpływają korzystnie na rozwój danej dziedziny gospodarczej, jednak mogą oddziaływać niekorzystnie na inne sfery działalności lub bytowania człowieka. I tak, melioracje rolne zazwyczaj wpływają na zmniejszenie retencji i infiltracji wód opadowych do warstwy wodonośnej, co poważnie zakłóca naturalną odnawialność zasobów wód podziemnych. Zbiorniki retencyjne powodują automatycznie podniesienie się zwierciadła wód podziemnych. Następuje zjawisko podtapiania mogące ujemnie oddziaływać na rolniczo-leśne i urbanistyczne zagospodarowanie terenu. W wielu przypadkach regulacji rzek towarzyszy zwiększenie prędkości wody, obniżenie jej poziomu i związany z tym silny drenaż wód podziemnych z terenów przylegających do cieku.

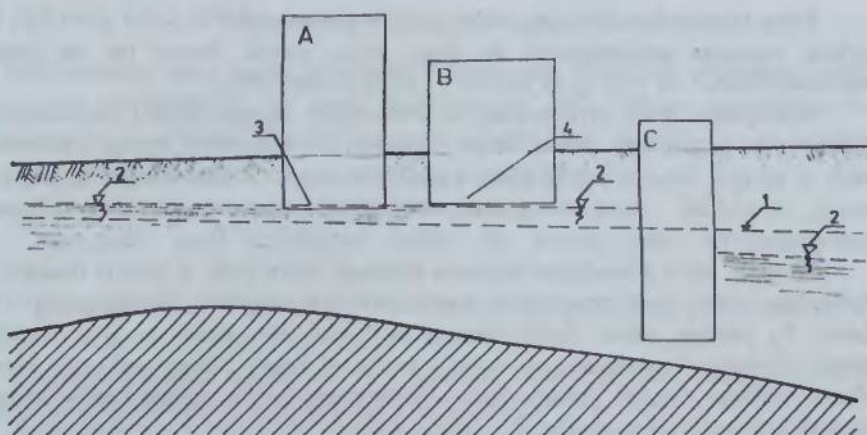
a.



b.



Rys. 15.1. Niektóre skutki zabudowy wieloprzestrzennej (a – stan przed zabudową; b – stan po zabudowie): 1 – opad, 2 – spływ powierzchniowy, 3 – przesiąkanie, 4 – pierwotne zwierciadło wody podziemnej, 5 – warstwa nieprzepuszczalna, 6 – obniżone zwierciadło wody podziemnej, 7 – strefy zmniejszania zasobów wód podziemnych, 8 – pierwotna powierzchnia terenu, 9 – obniżona powierzchnia terenu, 10 – teren o utwardzonej powierzchni, 11 – pęknięcia budowli długich, 12 – przechylenie budowli wysokich

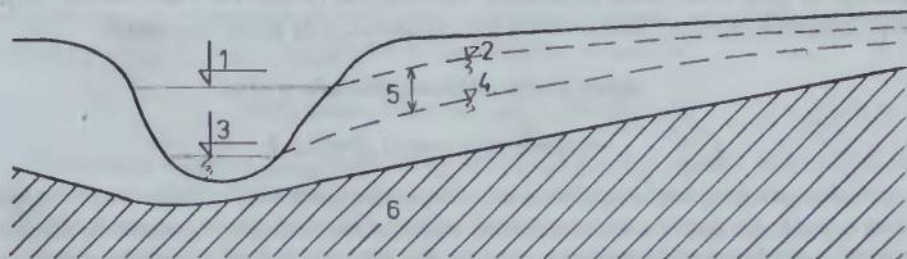


Rys. 15.2. Wpływ obiektów głęboko posadowionych na spiętrzenie wód podziemnych: A, B – budowle istniejące przed wybudowaniem obiektu C, 1 – zwierciadło wody podziemnej przed wybudowaniem obiektu C, 2 – zwierciadło wody podziemnej po wybudowaniu obiektu C, 3 – zalanie piwnic obiektu A, 4 – zawilgocenie podziemnych części obiektu B

15.3.2. Cieki

Obniżenie zwierciadła wody w cieku

Celowe jest oddzielne rozpatrywanie zmiany stanów dla poszczególnych odcinków profilu podłużnego cieku i przylegających doń terenów zlewni. Generalnie jednak trzeba przyjąć, że jakiegokolwiek obniżenie średniego stanu wody w cieku (lub zbiorniku) odbija się niekorzystnie na bilansie wodnym danej zlewni (rys. 15.3).



Rys. 15.3. Wpływ obniżenia zwierciadła wody w cieku na zasoby wód podziemnych: 1 – pierwotne zwierciadło wody w cieku, 2 – pierwotne zwierciadło wody podziemnej; 3 – obniżone zwierciadło wody w cieku, 4 – obniżone zwierciadło wody podziemnej, 5 – strefa zmniejszenia zasobów wód podziemnych, 6 – warstwa nieprzepuszczalna

Prace inżynierskie obniżające stan wody w górnym odcinku cieką powodują bardzo szybkie osuszanie przylegającego do niego terenu zlewni. Proces ten ma zasadniczo znaczenie lokalne i nie wpływa na środkowy i dolny odcinek cieką.

Analogiczne prace wykonywane w środkowym odcinku profilu podłużnego cieką oddziałują na przylegający obszar zlewni. Po pewnym jednak czasie nastąpi obniżenie stanu wody w górnym odcinku profilu cieką, a następnie w jego odcinku dolnym. Należy zwrócić uwagę, że szybciej i intensywniej następować będzie osuszanie górnej części zlewni niż części dolnej.

Wreszcie prace powodujące obniżenie średniego lustra wody w dolnym odcinku profilu podłużnego cieką będą powodować bardzo powolne osuszanie przylegającego obszaru zlewni. Po pewnym jednak czasie zaznaczy się bardzo silny drenaz wody z obszaru całej zlewni, obejmując stopniowo jego górną i środkową część. Nastąpi całkowite naruszenie bilansu wodnego. Odpływ powierzchniowy przewyższać będzie retencję i spływ podziemny. Nie będzie korzystnych warunków do zasilania wodami opadowymi wód podziemnych.

Podwyższenie zwierciadła wody w ciekach

Podwyższenie wody w cieką odbywa się za pomocą formowania stopni piętrzących i towarzyszących im zbiorników retencyjnych. Spiętrzenie wody w ciekach powoduje podwyższenie zwierciadła wody podziemnej w obrębie zlewni podziemnej. W konsekwencji zachodzi zjawisko bezpośredniego zalania wodami powierzchniowymi obszaru terasy zalewowej. Na terenach położonych nieco wyżej od spiętrzonego lustra wody zaznacza się proces podtapiania.

Rozpatrując konsekwencje piętrzenia wody w cieką w jego profilu podłużnym sformułować można następujące uwagi. Najkorzystniejsze efekty podwyższenia zwierciadła wody w cieką są wtedy, gdy budowle piętrzące zlokalizowane są w jego górnym odcinku. Terasy zalewowe są tam stosunkowo wąskie, tak że nie następuje zatopienie dużych terenów zlewni powierzchniowej. Zjawisko podtapiania obejmuje małą strefę i w niewielki sposób oddziałuje na niżej położone odcinki zlewni. Podwyższenie stanu wody w cieką zaznacza się niekorzystnie, gdy budowlę piętrzącą zlokalizowano w jej dolnym odcinku. Następuje wtedy zalanie wodami powierzchniowymi dużych obszarów przylegających do koryta cieką, co pociąga za sobą konieczność formowania odpowiednich obwałowań i uformowanie terenów depresyjnych (polderów). Równocześnie szeroko zaznacza się proces podtapiania.

15.3.3. Powierzchniowe zbiorniki wodne

Obniżenie stanu wody w zbiornikach

Jako generalną zasadę przyjąć można, że obniżenie lustra wody w zbiorniku powierzchniowym wywoływać będzie naruszenie bilansu wodnego na przylegającym obszarze. Prace inżynierskie powodujące obniżenie lustra wody w zbiorniku przyczyniają się przede wszystkim do zmniejszenia ilości wody retencjonowanej powierzchniowo. Towarzyszy temu silny drenaz i obniżenie zwierciadła wody podziemnej na obszarze całej zlewni. Obniżeniu lustra wody w zbiorniku powierzchniowym towarzyszy proces wypreparowywania przez falowanie wiatrowe nowego profilu równowagi brzegu, czego efektem jest rozmywanie brzegu i zamulanie dna.

Podwyższenie zwierciadła wody w zbiornikach

Podwyższeniu lustra wody w zbiorniku towarzyszy zasadniczo zatopienie terenów bezpośrednio przylegających do niego. Następuje też podwyższenie zwierciadła wody podziemnej, czemu przyporządkowany jest proces podtapiania. Zjawisko to nie występuje tylko wtedy, gdy spełniony jest jeden z następujących warunków:

- brzegi zbiornika zbudowane są z gruntów nieprzepuszczalnych,
- zwierciadło wody podziemnej znajduje się poniżej lustra wody spiętrzonej w zbiorniku,
- głębokość zalegania pierwotnego zwierciadła wody podziemnej poniżej powierzchni terenu jest większa od wysokości spiętrzenia,
- dookoła zbiornika znajdują się rowy opaskowe, w których lustro wody położone jest na wyższej rzędnej niż rzędna piętrzenia wody w zbiorniku.

Podwyższeniu stanu wody w zbiorniku towarzyszy proces formowania się przez fale wiatrowe nowego profilu równowagi brzegu i związane z tym rozmywanie brzegu oraz zamulanie dna zbiornika. Szczególnie niekorzystne oddziaływanie na brzeg zbiornika jest wtedy, gdy następują cykliczne wahania lustra wody w zbiorniku. Zjawisko to zachodzi w zbiornikach retencyjnych oraz zbiornikach wchodzących w system elektrowni pompowo-szczytowych.

15.3.4. Wody podziemne

Obniżenie zwierciadła wody podziemnej

W działalności budowlanej często w sposób celowy obniża się zwierciadło wody podziemnej. Powoduje to zmniejszenie zasobów wód podziemnych. Zjawisko to występuje szczególnie wyraźnie pod obszarami zabudowanymi, gdzie nie ma możliwości naturalnego odnawiania zasobów wód podziemnych przez infiltrację wód opadowych w podłoże. Proces przesuszania pogłębiony jest przez system podziemnego drenażu miejskiego odprowadzającego wody wsiąkowe do wód powierzchniowych. Szczególnie niekorzystna jest sytuacja „urbanistycznego” izolowania naturalnych stref zasilania wód podziemnych. Obszary takie najczęściej znajdują się na wierzchołkach wysoczyzn lub wyniesień. Jako zasadę powinno się przyjmować, że na terenach zasilania wód podziemnych wodami opadowymi działalność budowlana powinna być ograniczona tylko do niezbędnej konieczności.

Podwyższenie zwierciadła wody podziemnej

Zwiększanie zasobów wody podziemnej następować może w wyniku piętrzenia wody w ciekach i zbiornikach. Utrzymanie w sposób sztuczny wysokiego poziomu zwierciadła dynamicznego następuje przez lokalizację ujęć studziennych wody podziemnej w pobliżu cieku lub zbiornika powierzchniowego. Wytwarza się wtedy zjawisko wymuszonego doprowadzania do gruntu wody powierzchniowej (tak zwana infiltracja brzegowa, infiltracja boczna). Zwiększenie zasobów następuje też przez doprowadzenie przez dna basenów infiltracyjnych w głąb wód powierzchniowych. Zasilanie takie odbywać się też może za pomocą studni chłonnych. Uważa się, że najkorzystniejsza jest sytuacja, gdy zwierciadło

wody podziemnej podwyższane jest w strefie zasilania. Problematiczne są natomiast efekty podwyższania zwierciadła wody podziemnej w strefie drenażu.

15.4. Zmiany naturalnych własności wody

Pod pojęciem zmian naturalnych własności wody rozumie się wszystkie czynniki powodujące niekorzystne przekształcenia głównych (pierwotnych) właściwości fizycznych, chemicznych i bakteriologicznych. Zmiany te następują w wyniku zanieczyszczenia ściekami wód powierzchniowych i podziemnych. Skażenie tych wód spowodowane jest też imisjami, jak i oddziaływaniem zrzutów ciepłej wody.

Zagadnienie negatywnego wpływu budownictwa na jakość wód powierzchniowych i podziemnych należy rozpatrywać kompleksowo, w odniesieniu do całej zlewni (powierzchniowej i podziemnej). Ponieważ takie całościowe ujęcie jest na obecnym etapie rozpoznania geologicznego trudne do przeprowadzenia, dlatego też rozpatrzone zostanie ono odrębnie dla wód powierzchniowych i wód podziemnych.

15.4.1. Zmiana jakości wód powierzchniowych

Przyjmuje się, że lokalizację wszystkich obiektów w obrębie zlewni należy uzależniać od stopnia ich szkodliwego wpływu na środowisko. I tak uważa się, że najbardziej niekorzystna jest lokalizacja obiektów uciążliwych w górnych częściach zlewni. Grozi to bowiem zanieczyszczeniem wód powierzchniowych na obszarze niżej leżącej części zlewni. Usytuowanie takich obiektów na obszarach w dolnej części zlewni gwarantuje zachowanie czystości wody w środkowej i górnej części zlewni. Należy jednak w tym przypadku zdawać sobie sprawę, że takie podejście ma poważne uwarunkowania. Po pierwsze – zanieczyszczone wody z danej zlewni niższego rzędu, dochodzące do cieku zlewni rzędu wyższego powodować będą w nim skoncentrowanie zanieczyszczeń. Po drugie – skoncentrowanie zanieczyszczeń w głównej rzece, powoduje dopływ ich do odbiornika, którym jest basen morski, wywołując groźne zanieczyszczenie takiego akwenu. Dlatego też zawsze należy dbać o to, aby do wód powierzchniowych doprowadzane były tylko ścieki oczyszczone w oczyszczalniach do stopnia oczyszczenia wymaganego dla danego odbiornika.

15.4.2. Zmiana jakości wód podziemnych

Podobnie jak w przypadku wód powierzchniowych, tak i w odniesieniu do wód podziemnych powinna obowiązywać zasada, że obiekty uciążliwe nie powinny być lokalizowane w strefie naturalnego zasilania wód podziemnych. Grozić to bowiem może nieodwracalnym zanieczyszczeniem eksploatacyjnych zasobów wód podziemnych. Bardziej korzystne jest umiejscawianie takich obiektów w strefie drenażu wód podziemnych, jednak z bezwzględnym uwarunkowaniem, że prowadzone będzie efektywne oczyszczanie ścieków i emisji oraz odpowiednie wychładzanie wód wprowadzanych do gruntu. Wiadomo, że rekultywacja i uzdatnianie skażonych wód podziemnych są długotrwałe i bardzo kosztowne, a w wielu przypadkach niemożliwe, bo skażenia okazują się nieodwracalne w skali życia wielu pokoleń ludzkich.

15.5. Budownictwo a topoklimat

Podstawowe wielkości *meteorologiczne* (radiacja, temperatura, wilgotność powietrza, opady, ciśnienie atmosferyczne i in.), których średni wieloletni reżim na danym obszarze wyznacza *klimat*, wpływają bezpośrednio i pośrednio na budowę i działalność budowlaną.

Wpływ bezpośredni klimatu na warunki budowlane, aczkolwiek bardzo ważny, leży poza zainteresowaniem geologii inżynierskiej i geotechniki i nie będzie tu poruszany. Geologia inżynierska i geotechnika interesują się natomiast *wpływem pośrednim* – czyli oddziaływaniem klimatu na podstawowe komponenty środowiska geologiczno-inżynierskiego (rzeźbę, grunty, wody podziemne, procesy geodynamiczne).

Inwestycje budowlane rzutują na zmianę szeregu elementów meteorologicznych. Daje się to stosunkowo łatwo zaobserwować w terenach zabudowanych oraz na obszarach bezpośrednio do nich przylegających. Efekt tych zmian jest wzmocniony przez różnorodny sposób eksploatacji obiektów budowlanych. Oddziaływanie terenów zurbanizowanych wykracza poza ramy miasta i obejmować może cały region. Ma to miejsce na przykład w odniesieniu do zmiany składu chemicznego powietrza, wywołanego wprowadzaniem do atmosfery emisji przemysłowych.

15.5.1. Wpływ klimatu na warunki geotechniczne

Nasłonecznienie (radiacja) na rzeźbę wyraźnego bezpośredniego wpływu nie ma. Jednak na stan gruntu może wpływać znacząco, powodując zmniejszenie ich wilgotności w warstwach przypowierzchniowych o miąższości do około 0,5 m. Długotrwałe nasłonecznienie powoduje obniżenie zwierciadła wody przypowierzchniowej i gruntowej, ale gdy jest pokrywa śnieżna, nasłonecznienie przyspiesza tajanie ze wszystkimi tego skutkami: rozmakanie gruntu spoistego, wzrost wilgotności gruntu niespoistego, pogorszenie warunków stateczności zboczy i niekiedy awarie konstrukcji oporowych (podtrzymujących tzw. uskok powierzchni terenu), procesy ablacji i niwacji.

Temperatura powietrza na rzeźbę bezpośrednio nie wpływa, ale jej gwałtowne zmiany (nawet nie sięgające w zakres temperatur ujemnych) przyspieszają proces wietrzenia i przez to sprzyjają złagodzeniu ukształtowania powierzchni terenu. Wpływ temperatury na grunty, wody podziemne i procesy geodynamiczne jest częściowo podobny do wpływu nasłonecznienia (bezpośredniej radiacji), ale długotrwała wysoka temperatura powietrza może utrzymywać się całymi tygodniami i wtedy przyczynia się do znaczącego skurczu gruntów spoistych (awaryjne osiadania budowli posadowionych w strefie skurczu), do znaczącego obniżenia poziomu wód nie tylko przypowierzchniowych i gruntowych, ale i głębszych. Następujący w takim okresie ulewny deszcz wprowadza wodę wolną dość głęboko w szczeliny spękania skurczowego, co może w sposób istotny pogorszyć nośność podłoża budowli lub stateczność zbocza. Długotrwała ujemna temperatura (mroz) sprzyja powstawaniu wysadzin drogowych i wysadzaniu mrozowemu fundamentów posadowionych w strefie przemarzania (w Polsce ma ona miąższość 0,8 – 1,4 m p.p.t.). Zamarzanie wody w szczelinach skał litych i w szczelinach gładów, kamieni i ziaren żwiru wywołuje rozsadzanie tych bloków i ziaren (zamróz). Trzeba jednak zaznaczyć, że obecność pokrywy

śnieżnej może niekiedy całkowicie zniwelować wpływ mrozu na podłoże gruntowe; wielokrotnie stwierdzano dodatnią temperaturę powierzchni gruntu pod śniegiem o miąższości rzędu 0,5 m i większej.

Wilgotność powietrza na rzezbę nie ma bezpośredniego wpływu, na grunty jednak oddziałuje znacząco, szczególnie na grunty spoiste, powodując ich skurcz lub pęcznienie i sprzyjając tym powstaniu awarii budowli lub zbrocza. Długotrwała duża wilgotność powietrza, zwłaszcza przy niezbyt wysokiej temperaturze, powoduje zaleganie mgieł, obfitą kondensację pary wodnej w porach gruntu, wzrost zasobów wody podziemnej, ale i podwyższenie jej poziomu, co może być dla budowli lub zbrocza niekorzystne (wzrasta predyspozycja zbrocza do powstania osuwisk).

Opady atmosferyczne bezpośrednio wpływają na rzezbę, łagodząc ją (zwłaszcza deszcz nawalny i grad wywierają ten wpływ przez dynamiczne obciążenie ziaren gruntu sypkiego). Opad rozluźnia grunty sykie, uplastycznia grunty spoiste i sprzyja ich pęcznieniu, zmieniać może nawet rodzaj i genezę gruntu tworząc grunt eluwialny (przepłukany, pozbawiony cząstek drobnych). Długotrwałe opady przyczyniają się do wzrostu zasobów wody podziemnej, podwyższają jej poziom, podwyższają stan wody powierzchniowej, co może grozić powodzią. Także i krótki deszcz nawalny może spowodować katastrofalne wezbranie w rzece, jeśli strefa deszczu przemieszcza się zgodnie z kierunkiem spływu wody. Bardzo znaczące jest oddziaływanie deszczu na uruchomienie (niekiedy gwałtownych) procesów ablacji, erozji wgłębnej, powierzchniowych ruchów masowych.

Ciśnienie atmosferyczne bezpośredni wpływ ma jedynie na wody podziemne: w rejonach wysokiego ciśnienia woda podziemna uzyskuje znaczącą energię potencjalną ciśnienia, co wzmacnia jej przepływ do rejonów o niższej energii. Może to objawiać się nawet zmianą kierunku przepływu wody podziemnej (wszystkich postaci wody wolnej).

Wiatr na rzezbę bezpośrednio wpływa na terenie budowanym przez nieutralizowane grunty sykie, powodując powstawanie i wędrówkę wydym. Wiatr może wysuszać powierzchnię gruntu, wtedy poziom wód podziemnych może się podwyższać (gdyż przeważa wpływ aerodynamiczny nad wpływem wysuszającym). Na przesuszonych stromych zboczach pojawiać się mogą odspojenia gruntu, od wilgotniejszego podłoża, tworząc płytkie, płaskie zsuwy.

15.5.2. Wpływ budownictwa na topoklimat

Poniżej ograniczono się do zwrócenia uwagi na zmiany wywołane przez budownictwo w skali *mikro-* i co najwyżej *mezoklimatu*. Dla uproszczenia terminologii w dalszym opisie stosuje się termin **topoklimat**, który odnosi się do elementarnych jednostek przestrzennych, stanowiących komponent większych i samoistnych jednostek morfograficznych (np. topoklimat dna doliny, zbrocza wysoczyzny, wierzchowiny, itp.).

Oddziaływanie poszczególnych rodzajów budownictwa na topoklimat jest poważnie zróżnicowane. Ogólnie przyjąć jednak można, że jest ono tym silniejsze, im większa jest powierzchnia zabudowana i im wyraźniej w trakcie eksploatacji zaznacza się termiczne i biochemiczne oddziaływanie obiektu na otoczenie.

Nasłonecznienie

Wkomponowanie budownictwa w naturalną sytuację terenową rzutuje na zmianę naturalnego nasłonecznienia powierzchni danego obszaru. W wielu miejscach zaznacza się zmniejszenie promieniowania bezpośredniego w wyniku utworzenia miejsc zacienionych. Gdzie indziej wytwarza się sytuacja odwrotna. Następuje zwiększenie „nasłonecznienia” w efekcie odbicia promieni świetlnych od powierzchni lustra zbiorników wody powierzchniowej, białych ścian, szyb itp. Zwrócić też trzeba uwagę na fakt, że ekspozycja wielu obiektów budownictwa lądowego przyczynia się do poważnego zmniejszenia natężenia bezpośredniego promieniowania słonecznego. Dodatkowe zmiany nasłonecznienia spowodowane są wprowadzaniem do atmosfery pyłów, par i gazów.

W wyniku nierównomiernego nagrzewania się poszczególnych części terenów zurbanizowanych powstają lokalne ruchy konwekcyjne mas powietrza. Powoduje to powstawanie nad miastami częstego występowania chmur kłębiastych, które w sposób poważny zakłócają przebieg naturalnego nasłonecznienia obszaru miejskiego.

Temperatura

Lokalne różnice w nasłonecznieniu powodują, że w terenach budowlanej działalności człowieka występuje na niewielkich odległościach silne zróżnicowanie temperatury przypowierzchniowych mas powietrza. Daje się zauważyć, że obszary zabudowane charakteryzują się chłodniejszymi rankami. Nagrzewają się dachy, natomiast zimne powietrze stagnuje na ulicach między domami. W miastach są cieplejsze dnie i zimniejsze noce niż jest to w terenach otwartych. W przypadku utrudnienia wymiany mas powietrza w niektórych częściach miast tworzą się strefy, w których stagnuje zimne powietrze (tzw. „wyspy zimna”).

Rozpatrując ten parametr meteorologiczny w skali rocznej, zauważa się, że obszary o zwartej zabudowie charakteryzują się w stosunku do otoczenia podwyższoną temperaturą. Zaznacza się przesunięcie termicznych pór roku w stosunku do przyległych obszarów otwartych.

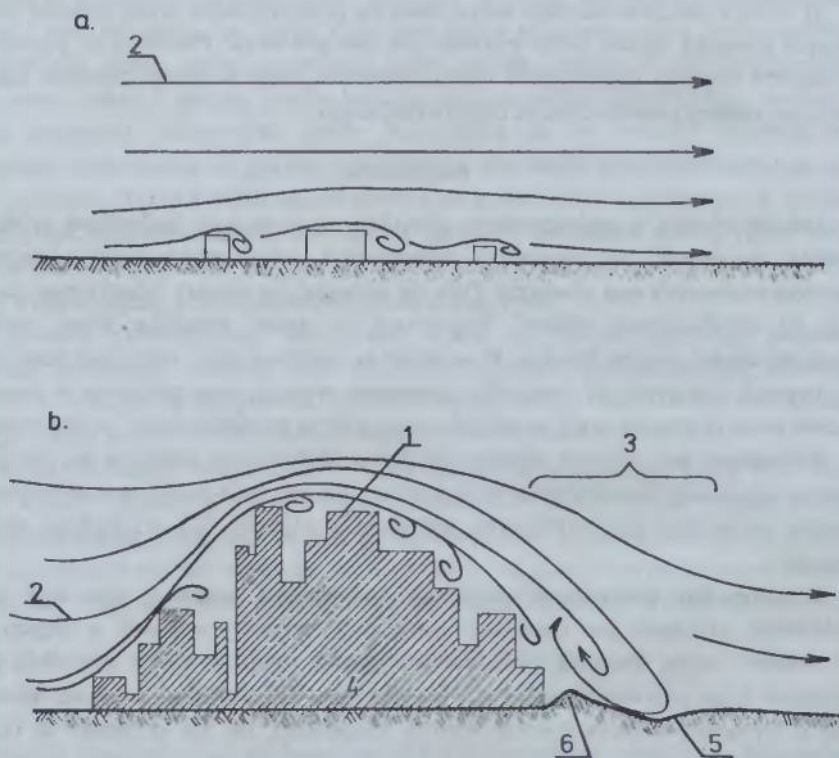
W przypadku wielkopowierzchniowego budownictwa wodnego obserwuje się, że w najbliższym otoczeniu jest nieznaczne obniżenie temperatury w dzień, a częściowe jej podwyższenie nocą. Sztuczne wielkopowierzchniowe zbiorniki wodne powodują pewne przesunięcie czasu pojawiania się termicznych pór roku. Generalnie w otoczeniu zbiorników wodnych występują mniejsze dobowe wahania temperatury, niż ma to miejsce na terenach zabudowanych.

Nawietrzanie

Typ budownictwa i charakter jego eksploatacji wraz z nakładającym się zróżnicowaniem termiki lokalnej wpływa poważnie na deformację ogólnego systemu nawietrzania terenów zurbanizowanych. Oznacza to, że charakterystyczne dla danych stanów pogodowych wiatry zmieniają swoją prędkość i kierunek. Przyjmuje się, że wysokie obiekty budowlane zmniejszają w niższych partiach prędkość wiatru. Powstała strata energii w masie powietrza powoduje wytworzenie się w pewnej odległości za „przeszkodami” (od strony zawietrznej),

strefy podciśnienia, w której powstają silne ruchy turbulentne mas powietrza (rys. 15.4). Zjawisko to bywa pogłębione przez lokalne zróżnicowanie termiki powietrza i tworzące się prądy konwekcyjne.

W wielu przypadkach stwierdza się występowanie tzw. „bryzy miejskiej”. Charakteryzuje się ona słabym wiatrem wiejącym w godzinach południowych z terenów otaczających w stronę jego centrum, gdyż powietrze nad miastem szybciej się nagrzewa i tworzy prąd wstępujący.



Rys. 15.4. Wpływ wysokiej zabudowy na deformacje ruchu mas powietrza (a – stan przed zabudową; b – stan po zabudowie): 1 – kontur wysokiej zabudowy, 2 – linie prądu powietrza, 3 – strefa silnych ruchów turbulentnych i uruchomienia procesów eolicznych, 4 – strefa źle przewietrzana, 5 – potencjalny obszar rozwiewania gruntu; 6 – potencjalny obszar nawiewania i osadzania materiału eolicznego

Przewietrzanie

Układ zabudowy wprowadzony w konkretny typ rzeźby terenu powoduje wytworzenie się specyficznych układów przewietrzania terenów zabudowanych, czyli lokalnych ruchów mas powietrza wywołanych przez zróżnicowanie termiki na danym obszarze. Przemieszczające się lokalnie w terenie masy powietrza chłodnego i ciepłego przyczyniają się do wymiany zanieczyszczonego w warunkach miejskich powietrza i wywiewania go na zewnątrz terenów zabudowanych. W przypadku utrudnienia takiej wymiany powstają strefy o podwyższonym zanieczyszczeniu powietrza.

Gromadzące się w niektórych częściach miasta (najczęściej obniżonych) chłodne i zanieczyszczone powietrze tworzy tak zwane „wyspy zimna”, którym towarzyszy powstawanie lokalnego zamglenia.

Wielkopowierzchniowe budownictwo wodne również wpływa na miejscowe zróżnicowanie charakteru przewietrzania. W zależności od usytuowania zbiornika wodnego w mniejszym lub większym stopniu zaznacza się zjawisko występowania lokalnych wiatrów określanых jako „bryzy jeziorne”. Ogólnie przyjmuje się, że w okresie dnia istnieje tendencja tworzenia się wiatrów wiejących od strony zbiorników wodnych ku lądowi. Ma to związek z tym, że nad lądem powietrze szybciej się nagrzewa i konwekcyjnie przemieszcza się ku górze. W jego miejsce napływa chłodniejsze (gęstsze) powietrze znad zbiornika wodnego. W nocy sytuacja jest odwrotna i wiatry chłodniejsze z lądu wieją ku zbiornikowi wodnemu. W przypadku, gdy zbiornik usytuowany jest w głębokiej dolinie, zjawisko przewietrzania ma bardziej złożony charakter.

Opady

Działalność budowlana rzutuje też w sposób wyraźny na zróżnicowanie wilgotności powietrza. Na terenach zurbanizowanych zaznacza się pewne zmniejszenie wilgotności powietrza w stosunku do obszarów otaczających miasta. Jednak występujące w powietrzu zanieczyszczenia powodują wzrost zamglenia, wzrost zachmurzenia oraz drobnych opadów deszczu. Zwiększa się ilość burz. Zmniejsza ilość opadów śniegu oraz okres zalegania pokrywy śnieżnej.

Tak drastycznego zróżnicowania opadów nie obserwuje się w strefie oddziaływania zbiorników wodnych. Jednak istnieją tu tendencje do tworzenia się lokalnego zamglenia.

Przedstawiony powyżej zarys wpływu klimatu na budownictwo (poprzez wpływ na warunki geotechniczne) i budownictwa na klimat powinien przyczynić się do utrwalenia poglądu postrzegającego środowisko przyrodniczo-cywilizacyjne jako obiekt o strukturze systemowej, gdzie elementy struktury są wzajemnie powiązane wielorakimi zależnościami i wykazują określoną hierarchię.



16. UWAGI PODSUMOWUJĄCE

W rozdziałach 1–9 niniejszego opracowania przedstawiono wytyczne i materiały pomocnicze do oceny środowiska geologicznego na potrzeby planowania i projektowania budownictwa a także do analizowania rozmaitych możliwości poprawy najważniejszych cech tego środowiska. Rozdziały 10–15 poza dostarczeniem wskazówek planistyczno-projektowych zmuszają do uświadomienia sobie losowej i subiektywnej natury poszczególnych informacji uzyskanych z badań geologicznych, a następnie wprowadzanych do planu lub do projektu.

Racjonalne planowanie i projektowanie budownictwa musi opierać się na poznaniu środowiska geologicznego z potrzebnym stopniem pewności tego rozpoznania i na ocenie wpływu zrealizowanego i eksploatowanego obiektu na środowisko; dotyczy to wpływów zamierzonych i niezamierzonych. Planowanie i projektowanie nie może – innymi słowy – ograniczać się do wykorzystania poznanego środowiska, lecz musi dostarczyć wiedzy o tym, co będzie się ze środowiskiem działo podczas wykonywania i eksploatacji obiektu.

Już samo poznanie środowiska geologicznego w jego złożoności przestrzennej i czasowej i w rozlicznych powiązaniach między składnikami nie jest sprawą prostą. Podobnie jest i z przewidywaniem wpływu obiektu na środowisko. Ten kompleks dwóch działań: poznanie środowiska i prognoza wpływu obiektu na środowisko ma swoją specyfikę określoną następującymi właściwościami:

- duża liczba różnorodnych cech geologicznych i ich charakterystyk wchodzących w grę,
- liczne powiązania między powyższymi cechami, nie zawsze znane człowiekowi,
- wielka rozmaitość jednostek miary służących do liczbowego wyrażania wielkości i ich charakterystyk,
- niejednorodność skal pomiarowych (do jednych wielkości stosuje się skalę nominalną lub porządkową, do innych – interwałową lub ciągłą),
- losowa natura znacznej części cech geologicznych i ich charakterystyk,
- częsty brak obiektywnych danych co do rozkładów zmiennych losowych i związane z tym subiektywne ocenianie tych zmiennych,
- duża różnorodność kryteriów przyjmowanych do oceny wpływu obiektu na środowisko i wynikająca stąd konieczność optymalizacji wielokryterialnej oceny w warunkach informacji niepewnej i niepełnej.

Właściwości te sprawiają, że poznanie środowiska geologicznego i ocena wpływu obiektu na nie są celami, których osiągnięcie jest trudne.

Pomocnym środkiem naukowym jest w takich warunkach **modelowanie matematyczne** w ramach tzw. **podejścia systemowego**. Istotą tego podejścia w badaniach naukowych i w działalności praktycznej jest uznanie rozpatrywanego skomplikowanego zbioru elementów za tzw. system (układ). Właściwości systemu nie są sumą właściwości składników systemu branych z osobna. Ma on ponadto określoną hierarchię składników lub nawet systemów podrzędnych.

Inżynier lub naukowiec badający określony układ przyrodniczy lub techniczny stoi na gruncie podejścia systemowego, jeśli:

- uznaje istnienie wzajemnych oddziaływań między składnikami układu,
- uznaje istnienie określonej hierarchii składników w układzie.

Aczkolwiek modelowanie matematyczne jest mocnym narzędziem w podejściu systemowym, nie może ono być z tym podejściem utożsamiane, jak niekiedy się głosi. Podejście systemowe jest bowiem postawą badacza wobec obiektu badanego, przyjmowaną zarówno przy operowaniu metodami matematycznymi, jak i bez ich stosowania. Uznanie wewnętrznych oddziaływań w układzie i hierarchii składników układu nie jest logicznie równoważne z koniecznością wyrażania tych oddziaływań i hierarchii w języku matematycznym.

W konkluzji trzeba stwierdzić, że planowanie i projektowanie budowlane powinno spełniać dwa postulaty:

- układ środowisko geograficzne - budowla - człowiek traktować należy jako system i przy badaniu tego systemu oraz przy sterowaniu nim uwzględniać oddziaływania i hierarchię wewnątrz niego,

- należy dążyć do wyrażania tych oddziaływań i hierarchii w języku matematycznym.

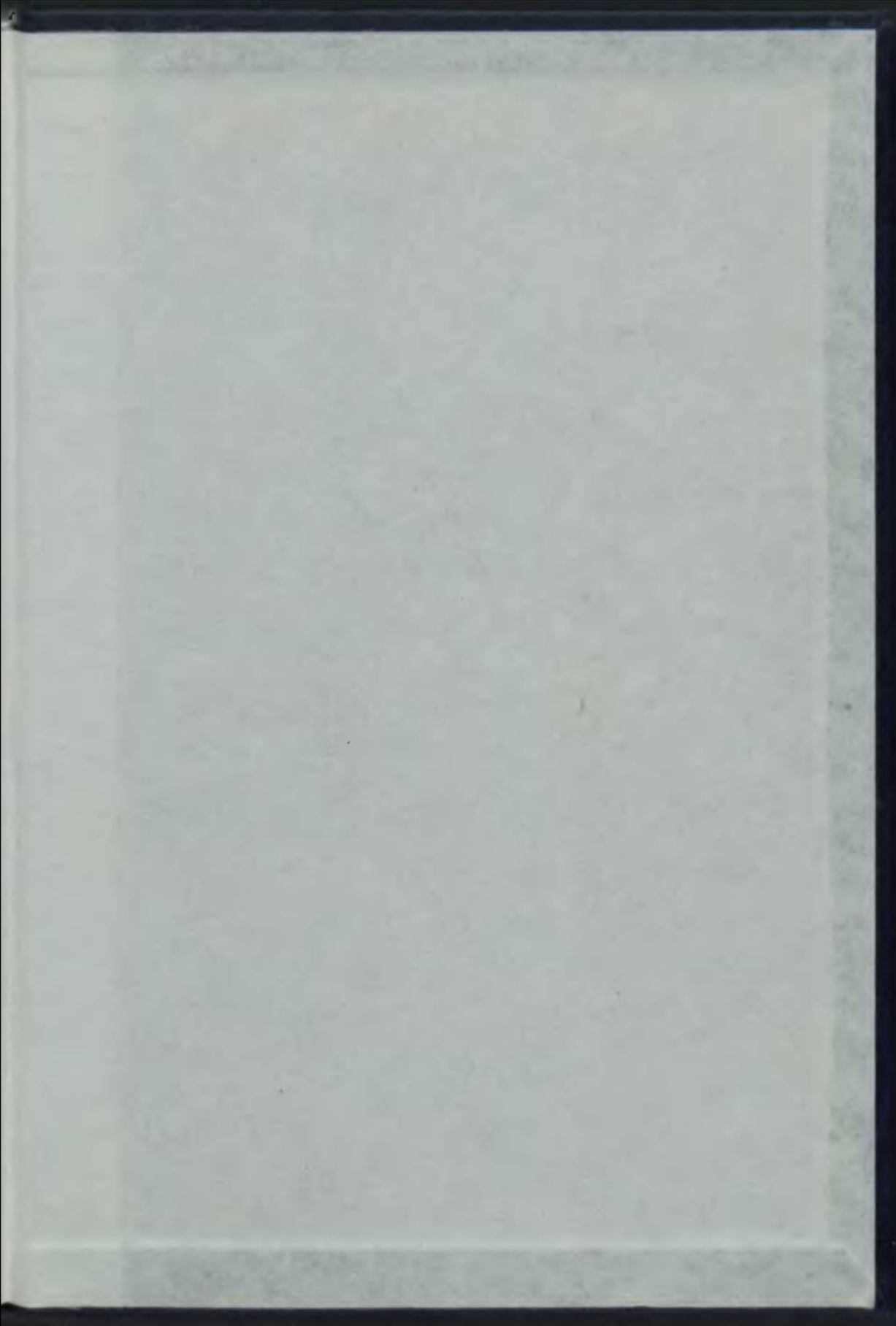
Niniejsze opracowanie zmierza do realizacji pierwszego postulatu. Oby przyszły inżynier mający wysoki poziom etyczny i głęboką wiedzę fachową realizował oba postulaty.



LITERATURA

1. Bartkowski T., *Metody badań geografii fizycznej*, PWN, Warszawa-Poznań 1997.
2. Bartkowski T., *Zastosowania geografii fizycznej*, PWN, Warszawa-Poznań 1986.
3. Basiński T., Pruszek Z., Tarnowska M., Zeidler R., *Ochrona brzegów morskich*, IBW PAN, Gdańsk 1993.
4. Baziński J., Dragowski A., Frankowski Z., Kaczyński R., Rybicki S., Wysokiński L., *Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich*, PIG, Warszawa 1999.
5. Białostocki R., Marczewski Z., *Rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych*, WKŁ, Warszawa 1979.
6. Biernatowski K., *Fundamentowanie*, PWN, Warszawa 1984.
7. Castany G., *Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych*, Wyd. Geol., Warszawa 1972.
8. Coduto D. P., *Geotechnical engineering; Principles and Practices*, Prentice Hall, 1999.
9. Glazer Z., Malinowski J., *Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa*, PWN, Warszawa 1991.
10. Grabowska-Olszewska B., Sergiejew J.M. (red.), *Gruntoznawstwo*, Wyd. Geol., Warszawa 1977.
11. Grabowska-Olszewska B. (red.), *Metody badań gruntów spoistych*, Wyd. Geol., Warszawa 1990.
12. Grubecki J., Sysak J., *Geologia inżynierska*, Arkady, Warszawa 1960.
13. Haurykiewicz J., *Metryczna metoda oceny bezpieczeństwa podłoża budowli*, Wyd. Ucz. Wyższa Szkoła Inżynierska, Koszalin 1991.
14. Hüchel S., *Zarys fundamentowania dla geologów*, Wyd. Geol., Warszawa 1967.
15. Ignat R., Kłębek A., Puchalski R., *Terenowe badania geologiczno-inżynierskie*, Wyd. Geol., Warszawa 1973.
16. *Instrukcja sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach*, PIG, Warszawa 1999.
17. Kleczkowski A.S., Rózkowski A. (red.), *Słownik hydrogeologiczny*, Wydawnictwo TRIO, Warszawa 1997.
18. Klimaszewski M., *Geomorfologia*, PWN, Warszawa 1978.
19. Kowalski J., *Hydrogeologia z podstawami geologii*, PWN, Warszawa 1987.
20. Kowalski W., *Elementy nauk geologicznych dla inżynierów*, Politechnika Łódzka, Łódź 1972.
21. Kowalski W.C., *Regionalna geologia Polski*, T.I. Uniwersytet Warszawski, Warszawa 1978.
22. Kowalski W.C., *Geologia inżynierska*, Wyd. Geol., Warszawa 1988.
23. Kozłowski S., *Przyrodnicze uwarunkowania gospodarki przestrzennej Polski*, Ossolineum, Wrocław 1983.
24. Książkiewicz M., *Geologia dynamiczna*, Wyd. Geol., Warszawa 1979.
25. Malinowski J., *Geologia inżynierska*, T. I, II. Wyd. Geol., Warszawa 1967.
26. Markowski S., *Struktura i właściwości podtorfowych osadów jeziornych rozprzestrzenionych na Pomorzu Zachodnim jako podstawa ich rozpoznania i klasyfikacji*, Mat. Konf. Nauk. „Kreda jeziorna i gytie”, Lubniewice, 1979, tom II, Zielona Góra 1980.
27. Minorski J., *Środowisko przyrodnicze a gospodarka przestrzenna*, Arkady, Warszawa 1977.
28. Myślińska E., *Leksykon gruntoznawstwa*, PIG, Warszawa 1996.
29. Pazdro Z., Kozerski B., *Hydrogeologia ogólna*, Wyd. Geol., Warszawa 1990.
30. Płochniewski Z., *Hydrogeologia i geologia inżynierska*, T.I-III. Wyd. Geol., Warszawa 1987.
31. Racinowski R., *Wprowadzenie do fizjografii urbanistycznej*, PWN, Warszawa 1987.

32. Racinowski R. Coufal R., *Geologia inżynierska dla studentów kierunku budownictwo*, Wyd. Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1999.
33. *Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 23 sierpnia 1994 r. w sprawie szczegółowych wymagań jakim powinna odpowiadać dokumentacja hydrogeologiczna i geologiczno-inżynierska* (Dz. U. Nr 93, poz. 444).
34. *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych* (Dz. U. Nr 126, poz. 839).
35. Stenzel P., Słomianko J., *Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich*, Wyd. Geol., Warszawa 1973.
36. Sysak J., *Odwodnienia podtorzy*, WKŁ, Warszawa 1980.
37. *Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze*, (Dz. U. Nr 27, poz. 96).
38. Wihun Z., *Zarys geotechniki*, WKŁ, Warszawa 1987.
39. PN-B-02479:1998. Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne.
40. PN-B-02480:1986. Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
41. PN-B-02481:1998. Geotechnika. Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.
42. PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.



Biblioteka Budownictwa
B-V. 5925

IVb - 40 2

Biblioteka Główna
Politechniki Szczecińskiej
B-V. 5925



011-005925-00-0