

2.1. Przegląd zagadnień geotechnicznych związanych z posadowieniem nasypów na gruntach organicznych

2.1.1. Trudności posadawiania nasypów

Posadawianie nasypów na słabych gruntach organicznych stwarza szczególne problemy. Najbardziej oczywisty z nich to duże pionowe i poziome odkształcenia podłoża, pojawiające się podczas budowy i po jej zakończeniu. Przemieszczenia podłoża często występują bardzo szybko, lecz mogą również rozwijać się przez bardzo długi okres na skutek efektu pelzania. Mała wytrzymałość początkowa gruntów organicznych często powoduje trudności z zapewnieniem stateczności budowli, w związku z czym obciążenie musi być przykładane etapowo lub na wzmocnione podłoże.

Wybór metody budowy polega na poszukiwaniu rozwiązania optymalnego pod względem ekonomicznym i technicznym. Grunty organiczne są bowiem bardzo zróżnicowane pod względem swego zachowania się pod wpływem obciążenia. W jednym przypadku najbardziej odpowiednie może być przeciążenie podłoża, np. we włóknistych torfach, w innym natomiast rozwiązanie takie może być zupełnie nieprzydatne ze względu na małą przepuszczalność, np. w łąkach organicznych. Wówczas najbardziej ekonomiczna będzie stabilizacja gruntu. W zależności od warunków geotechnicznych podłoża, wymagań stawianych budowli i czasu budowy dokonuje się wyboru jednej z trzech podstawowych metod posadowienia nasypu, polegających na:

- całkowitej lub częściowej wymianie gruntu słabego na bardziej nośny materiał,
- dostosowaniu obciążenia od nasypu do właściwości podłoża lub przeniesieniu obciążenia na bardziej wytrzymałe warstwy gruntu,
- ulepszeniu właściwości gruntu przez wcześniejsze zabiegi.

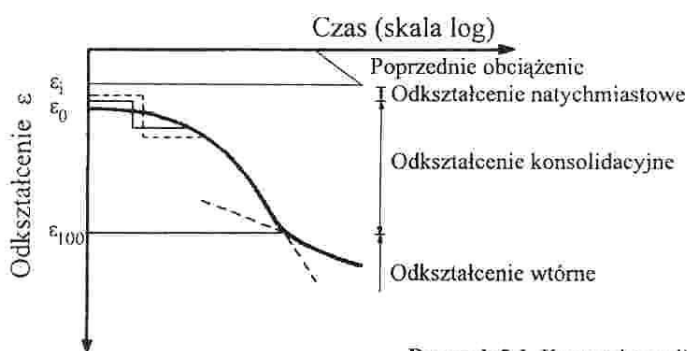
Podstawą wyboru odpowiedniej metody posadowienia nasypu jest ocena stateczności budowli, oparta na analizie odkształceń i procesu konsolidacji podłoża. W procesie odkształcania gruntu pod obciążeniem następuje bowiem przyrost naprężenia efektywnego, co powoduje wzrost wytrzymałości na ścina-

nie, a zatem i poprawę warunków stateczności budowli. Proces wzmocnienia podłoża uzależniony jest jednak od intensywności rozpraszania nadwyżki ciśnienia wody w porach, a zatem od rodzaju i miąższości gruntu organicznego i jego przepuszczalności.

Odkształcanie gruntu jest zjawiskiem, które polega na zmniejszeniu się jego objętości pod wpływem działania obciążenia zewnętrznego. Zmniejszenie się objętości gruntu jest następstwem wzajemnego przesuwania się cząstek gruntu, ich ściślejszego układania się i malejącej wskutek tego objętości porów. Jeśli grunt jest nasycony wodą, to następuje także jej wyciskanie z porów i zmniejszanie grubości błonek wodnych w miejscach stykania się cząstek gruntu. Wypieraniu ulega także powietrze znajdujące się w porach. Ponadto, może mieć miejsce odkształcanie się cząstek słabych. Zjawisko to występuje szczególnie w gruntach organicznych, w których podczas procesu odkształcania następuje uwolnienie pęcherzyków gazu zamkniętych w strukturze włóknistej gruntu oraz lepkie odkształcanie cząstek struktury amorficznej, powstałych podczas rozkładu substancji organicznej.

Proces deformacji gruntu słabonośnego pod obciążeniem dzieli się na trzy etapy. Pierwszy etap, zwany odkształceniem nagłym lub natychmiastowym, trwa od momentu przyłożenia obciążenia do chwili powstania nadwyżki ciśnienia wody w porach, powodującego ruch wody w gruncie (rys. 2.1). Po zakończeniu tej fazy następuje odkształcanie gruntu przy stosunkowo wysokiej nadwyżce ciśnienia wody w porach, czyli tzw. konsolidacja pierwotna. Po rozproszeniu nadwyżki ciśnienia wody w porach proces deformacji trwa nadal. Jest to faza odkształceń strukturalnych, zwana ściśliwością wtórną.

W gruncie obciążonym powstaje stan naprężenia powodujący jego odkształcanie. Wartość odkształcenia zależy od parametrów ściśliwości gruntu i wielkości obciążenia. Przebieg odkształcenia w czasie uzależniony jest od przepuszczalności gruntu i warunków drenażu oraz od właściwości lepkich gruntu warunkujących proces pełzania szkieletu.



Rysunek 2.1. Krzywa konsolidacji gruntów organicznych

W wyniku deformacji szkieletu gruntowego pod obciążeniem zmienia się porowatość gruntu. Powoduje to znaczną zmianę cech fizyko-mechanicznych. Jak wykazały badania Mesri-Godlewskiego (1977), Tavenasa (1979), Szymańskiego (1982), Hoang van Tana (1978), w szczególności zmienia się współczynnik filtracji. Wyniki tych badań wskazują nieliniową zależność współczynnika filtracji od odkształcenia i aktualnego naprężenia efektywnego.

W procesie odkształcenia gruntów słabych parametry charakteryzujące wytrzymałość i odkształcalność zależną od stanu naprężenia i odkształcenia. Analiza procesów odkształcenia pod nasypem (Wolski i in. 1988, Yong i in. 1988) wskazuje, że proces ten znacznie odbiega od modelowanego w stanie jednoosiowych odkształceń, ma on charakter nieliniowy. Parametry charakteryzujące wytrzymałość, odkształcalność i przepływ wody porowej zmieniają się w procesie odkształcania. Fakt ten w znacznym stopniu utrudnia matematyczny opis procesu konsolidacji gruntów słabych.

Posadawianie nasypów na gruntach organicznych powoduje konieczność stosowania obciążania ciągłego o określonej geometrii na ograniczonej powierzchni gruntu. Powoduje to występowanie w podłożu stref o różnym zakresie i przebiegu zmian naprężenia oraz ciśnienia wody w porach, jak również o różnej drodze i warunkach drenażu. Zatem o wartości odkształceń podłoża i ich przebiegu w czasie decydują:

- schemat obciążania – przebieg i zasięg obciążenia,
- geometria podłoża – miąższość i układ warstw słabych,
- charakterystyka ściśliwości gruntu – rodzaj gruntu i jego historia naprężenia,
- charakterystyka przepływu wody w porach – przepuszczalność początkowa gruntu oraz jej zmiana w procesie odkształcenia, nieliniowa zmienność współczynnika filtracji,
- warunki drenażu wody w porach – długość drogi drenażu oraz przepuszczalność warstw drenujących (drenaż jedno- lub dwustronny i jego wpływ na prędkość konsolidacji),
- geometria budowli – stosunek podstawy nasypu do miąższości podłoża decyduje o przyjęciu do obliczeń stanu jedno- lub dwuwymiarowego (duża podstawa a mała miąższość sugeruje analizę jednokierunkową),
- właściwości reologiczne szkieletu gruntowego – proces pełzania zależny od dewiatora naprężenia, jako zjawisko wzmacniające lub osłabiające ośrodek gruntowy.

W gruntach słabych w celu przyspieszenia procesu konsolidacji stosowany jest często drenaż pionowy, skracający drogę przepływu wody w podłożu. W tym przypadku na przebieg procesu odkształceń mają wpływ dodatkowe czynniki warunkujące efektywność drenażu pionowego, tj. przepuszczalność strefy kontaktu grunt-filtr drenu oraz wydatek drenażu.

Zatem wybór optymalnej metody posadowienia nasypów na gruntach organicznych wymaga przeprowadzenia każdorazowo analizy ww. czynników, wykorzystując ocenę warunków gruntowo-wodnych opisanych parametrami geotechnicznymi wyznaczonymi w terenie i laboratorium. Zakres badań, głębokość rozpoznania warunków gruntowo-wodnych oraz liczba i rodzaj wyznaczanych parametrów powinny wynikać z konkretnych uwarunkowań projektowych, wykonawczych i eksploatacyjnych.

2.1.2. Parametry niezbędne do analizy stateczności i oceny odkształceń

Budowa nasypów na gruntach organicznych wymaga określenia parametrów gruntowych niezbędnych w obliczeniach, takich jak analiza równowagi granicznej do prognozy stateczności nasypu (konieczne jest prawidłowe określenie wzrostu wytrzymałości na ścinanie) lub analiza odkształceń i konsolidacji. Wzrost wytrzymałości na ścinanie słabego gruntu pod nasypem spowodowany jest zmianą poziomu naprężeń efektywnych podczas przebiegu konsolidacji. Zakres zmienności naprężenia efektywnego w podłożu zależy głównie od drogi drenażu oraz od charakterystyk odkształceniowych i przepuszczalności. Charakterystyki te są zwykle opisywane za pomocą modeli gruntowych, w których występują różne parametry w zależności od rodzaju równań konstytutywnych.

Kształt charakterystyk konsolidacji zależy w znacznym stopniu od historii naprężenia podłoża słabego przed rozpoczęciem budowy nasypu. Zmiany charakterystyk wynikają z różnego zakresu zmienności parametrów gruntowych. Różnice w parametrach ściśliwości dla gruntów prekonsolidowanych i normalnie skonsolidowanych są tak duże, że nie mogą być pominięte w obliczeniach. Dlatego też informacja o historii naprężenia jest równie ważna, jak znajomość parametrów do równań konstytutywnych. Historię naprężenia można opisać za pomocą naprężenia prekonsolidacji σ'_p , otrzymanego z badań edometrycznych, i współczynnika parcia gruntu w spoczynku K_o (dla gruntów prekonsolidowanych K_o^{oc} , dla gruntów normalnie skonsolidowanych K_o^{nc}), uzyskanego w wyniku specjalnych badań edometrycznych lub trójosiowych.

Określenie parametrów gruntowych, opisujących zachowanie gruntu pod nasypem, wykonuje się z różną dokładnością w zależności od ważności projektowanej budowli i miąższości warstwy słabej.

W najprostszym rodzaju analizy stateczności wytrzymałość na ścinanie może być określona z zależności empirycznych, na podstawie znajomości rodzaju gruntu oraz wybranych cech fizycznych. W przypadku projektowania nasypu o większym znaczeniu wytrzymałość na ścinanie dobierana jest na podstawie wyników badań terenowych, często uzupełnianych wynikami badań

laboratoryjnych (Walker 1986). Przy posadowieniu takiego nasypu na podłożu organicznym o dużej miąższości badania laboratoryjne i terenowe wykonywane są zazwyczaj równolegle. Poprawny opis zachowania się nasypu na podłożu organicznym o dużej miąższości wymaga poszerzenia zakresu badań laboratoryjnych. Ich doboru dokonuje się na podstawie warunków pracy podłoża i założeń metody obliczeniowej.

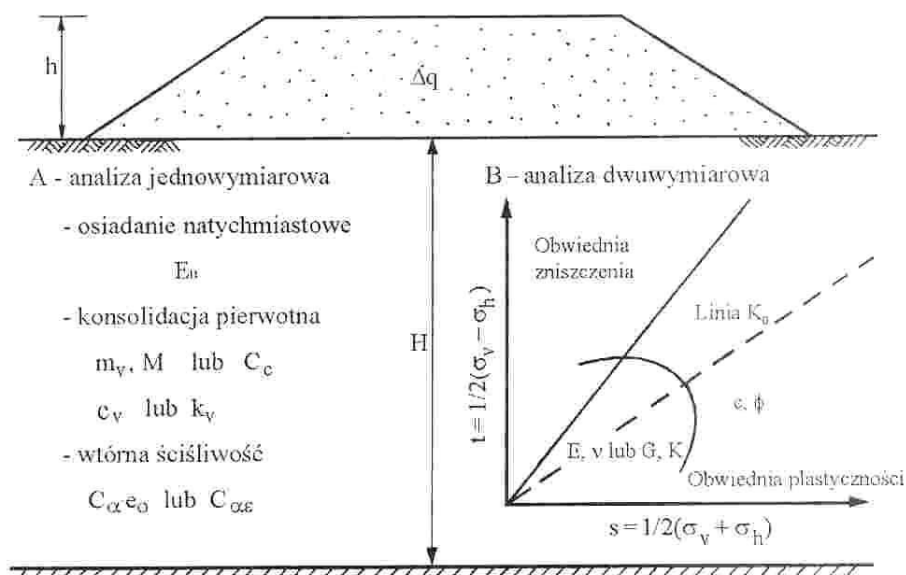
W obliczeniach odkształceń podłoża główną charakterystyką, niezbędną w obliczeniach, jest zależność pomiędzy naprężeniem, odkształceniem i czasem, opisywana za pomocą takich parametrów, jak: wskaźnik ścisłości C_r , współczynnik zmian objętościowych m_v , moduł edometryczny M , współczynnik filtracji k oraz współczynnik ścisłości wtórnej C_{α} . Parametry te określa się na podstawie charakterystyk konsolidacyjnych, uzyskanych z badań edometrycznych (badania IL – ze stopniowym obciążaniem, badania CL – z ciągłym obciążaniem).

Określanie parametrów ścisłości i konsolidacji dla gruntów organicznych z badań edometrycznych jest często kontrowersyjne ze względu na naruszenie próbek oraz trudności w interpretacji otrzymanych wyników (Hanrahan i Rogers 1981, Landva i La Rochelle 1982, Landva i in. 1986). Dlatego też wstępne oszacowanie tych parametrów można dokonać korzystając z zależności empirycznych pomiędzy współczynnikiem zmian objętościowych m_v lub modulem edometrycznym M a współczynnikiem filtracji k oraz współczynnikiem C_{α} a wilgotnością w_n i stopniem rozkładu H (Flaate 1968) uzyskiwanych w wielu laboratoriach (Helenelund 1975, Azzouz i in. 1976, Kogure i Ohira 1977, Carlsten 1988).

Trzeba jednak pamiętać, że wzory empiryczne powstają w wyniku przeprowadzenia określonej liczby badań próbek wybranego gruntu. Ich zastosowanie do innych gruntów, odmiennych od tych dla których je uzyskano, może powodować istotne błędy.

W szczególnych przypadkach, przy projektowaniu ważnych nasypów na podłożu słabym o dużej miąższości, wymagane jest określenie przebiegu odkształceń w stanie płaskim. Występuje wówczas konieczność określenia w badaniach trójosiowych parametrów gruntu stosowanych w teorii sprężystości i plastyczności, tj. dwóch z czterech stałych sprężystych: modułu Younga E , współczynnika Poissona ν , modułu ścinania G lub modułu odkształcenia objętościowego K , oraz parametrów opisujących obwiednie plastyczności gruntu. Parametry potrzebne w analizie odkształceń i konsolidacji podłoża nasypu przedstawiono na rysunku 2.2.

Należy zauważyć, że zestaw parametrów gruntowych wymaganych w obliczeniach projektowych nasypów, zależy od stopnia ważności obiektu, warunków podłoża oraz stosowanej metody obliczeń, a także od dostępności sprzętu laboratoryjnego i programów numerycznych.



Rysunek 2.2. Parametry wymagane w obliczeniach przebiegu odkształceń podłoża nasypu

2.1.3. Parametry opisujące poszczególne etapy przebiegu odkształceń

Zastosowanie teorii sprężystości do prognozy początkowych przemieszczeń wymaga określenia modułu odkształcenia w warunkach bez odpływu E_u na podstawie badań laboratoryjnych lub z empirycznych zależności uzależniających wartości E_u od wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu τ_{fu} . Larsson (1986) wskazuje przedział zmienności modułu odkształcenia bez odpływu od $E_u = 80 \tau_{fu}$ dla gruntów organicznych do $2000 \tau_{fu}$ dla słaboplastycznych glin. Wyniki badań prowadzonych przez Footta i Ladda (1981) wykazały, że moduł E_u dla gruntów normalnie konsolidowanych można obliczyć z następującego wzoru empirycznego:

$$E_u = \frac{\tau_{fu} \cdot \ln F}{I_p} \quad (2.1)$$

gdzie:

τ_{fu} – wytrzymałość na ścinanie bez odpływu określana badaniami sondą krzyżową lub badaniami prostego ścinania,

F – współczynnik stateczności,

I_p – wskaźnik plastyczności.

W procesie deformacji gruntów pod obciążeniem wraz ze zmianą porowatości wzrastają opory przepływu wody porowej, zmniejsza się więc przepuszczalność gruntu. Parametrem charakteryzującym prędkość przepływu wody w gruncie jest współczynnik filtracji k , a charakterystyką przepuszczalności gruntu jest zależność $k = f(e)$. Pomiar współczynnika filtracji oraz jego zmiany w procesie konsolidacji przeprowadza się głównie za pomocą badań laboratoryjnych, doprowadzając próbkę gruntu pod obciążeniem dożądanego wskaźnika porowatości e .

Innym parametrem charakteryzującym prędkość odpływu wody z konsolidowanego gruntu jest współczynnik konsolidacji c_v , który ma zastosowanie w liniowych teoriach konsolidacji. Związek pomiędzy współczynnikiem konsolidacji a współczynnikiem filtracji określa się wzorem:

$$c_v = \frac{k(1+e)}{\gamma_w \cdot m_v} \quad (2.2)$$

gdzie:

c_v – współczynnik konsolidacji,

k – współczynnik filtracji,

e – wskaźnik porowatości,

γ_w – ciężar objętościowy wody,

m_v – współczynnik zmian objętościowych, ($m_v = 1/M$).

Przedstawionymi wyżej parametrami przepuszczalności opisuje się proces przepływu wody porowej w warunkach założeń prawa Darcy'ego, tzn. liniowej zależności pomiędzy prędkością przepływu v , a gradientem hydraulicznym i .

Odształcenia podłoża są uzależnione od ściśliwości szkieletu gruntowego, która decyduje o ich wielkości i przebiegu w czasie. Ściśliwość gruntu charakteryzowana jest przez moduł ściśliwości M , który wyznacza się w badaniach edometrycznych z wzoru:

$$M_i = \frac{\Delta\sigma_i \cdot h_i}{\Delta h_i} \quad (2.3)$$

gdzie:

M_i – moduł ściśliwości w zakresie naprężeń od σ_i do σ_{i+1} ,

$\Delta\sigma_i$ – przyrost naprężenia = $\sigma_{i+1} - \sigma_i$,

h_i – wysokość próbki gruntu przed zwiększeniem naprężenia,

Δh_i – zmniejszenie wysokości próbki gruntu na skutek zwiększenia naprężenia
= $h_i - h_{i+1}$.

Innym parametrem ścisłości stosowanym w obliczeniach osiadań jest wskaźnik ścisłości gruntu normalnie konsolidowanego C_c definiowany jako:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} \quad \text{dla } \sigma'_v \geq \sigma'_p \quad (2.4)$$

oraz gruntu prekonsolidowanego C_r :

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'_v} \quad \text{dla } \sigma'_v < \sigma'_p \quad (2.5)$$

gdzie:

Δe – zmiana wskaźnika porowatości e w zakresie zmienności pionowej składowej naprężenia efektywnego $\Delta \sigma'_v$,

σ'_p – naprężenie prekonsolidacji.

Etap ścisłości wtórnej opisywany jest parametrem C_α (współczynnik wtórnej konsolidacji), który jest wyznaczany z nachylenia krzywej konsolidacji po zakończeniu pierwotnej konsolidacji ($e > e_{100}$). Współczynnik ten jest wyrażany na jeden z dwóch sposobów:

$$C_\alpha = \frac{de}{d \log t} \quad (2.6)$$

na podstawie krzywej konsolidacji jako funkcji $e - \log t$ lub:

$$C_{\alpha\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{d \log t} \quad (2.7)$$

na podstawie krzywej konsolidacji $\varepsilon - \log t$.

Relacja pomiędzy tymi współczynnikami wtórnej ścisłości może być opisana następująco:

$$C_\alpha = C_{\alpha\varepsilon} (1 + e_0) \quad (2.8)$$

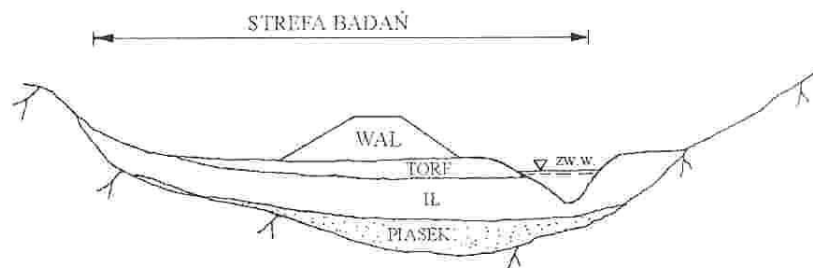
2.2. Rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych

2.2.1. Zakres rozpoznania

Wyniki badań prowadzonych na potrzeby posadowienia nasypów na gruntach organicznych muszą zawierać wszystkie podstawowe dane do projektu i budowy nasypów. Uzyskane wyniki powinny umożliwić określenie:

- lokalnej i całkowitej nośności gruntu,
- wartości osiadań podłoża oraz przebieg osiadania w czasie,
- potrzeby i opracowania ewentualnego projektu wzmocnienia lub ulepszenia podłoża,
- parametrów projektowych nasypu,
- metody budowy i dobór sprzętu,
- kosztów budowy,
- wpływu nasypu na tereny przyległe lub budowle sąsiednie,

Zatem prowadzone badania muszą mieć taki zasięg, aby pokrywały potrzeby analizy stateczności, osiadań i wzajemnego wpływu sąsiednich budowli. Strefa rozpoznania stanowi więc pas terenu pokrywającego część doliny o potencjalnych warunkach wskazujących na występowanie warstw słabonośnych w podłożu bądź warstw wodonośnych wpływających na warunki gruntowo-wodne podłoża nasypu (rys. 2.3). Badanie szczegółowe, obejmujące określenie litologii i genezy podłoża oraz wyznaczenie parametrów geotechnicznych poszczególnych jego warstw, prowadzi się w pasie terenu o szerokości $B = 3B_n$ (B_n – szerokość podstawy projektowanego nasypu). Badania wykonywane są do głębokości zalegania warstw słabonośnych, lecz nie mniejszej niż $H = 2H_n$ (H_n – wysokość nasypu).



Rysunek 2.3. Przykład strefy terenu objętego badaniami

2.2.2. Metodyka rozpoznania

W początkowym etapie lokalizacji nasypów ważna jest ogólna znajomość warunków gruntowo-wodnych na całym obszarze. W tym celu zalecana jest metoda oparta na interpretacji zdjęć lotniczych, zwykle przeprowadzana w trzech fazach (Viberg 1984):

- faza inwentaryzacji,
- interpretacja zdjęć lotniczych,
- kontrola terenowa.

Faza inwentaryzacji polega na zbieraniu istniejących informacji na temat badanego obszaru, np. map i wyników wcześniej wykonanych badań gruntu. Na podstawie tych informacji interpretator zdjęć lotniczych przygotowuje zestawienie geologicznych i hydrogeologicznych warunków terenowych.

Najczęściej używane są mapy topograficzne, geologiczne, hydrologiczne, ekonomiczne i geologiczno-inżynierskie. Dodatkową ważną informację stanowią również istniejące wyniki wierceń, pozwalające na lepsze rozpoznanie profilu gruntowego.

Interpretacja zdjęć lotniczych oparta jest na fakcie, że pewną liczbę wskaźników można rozpoznać w różnych częściach terenu. Wskaźnikami tymi są: topografia, kształt powierzchni terenu, roślinność, tekstura, kolor lub odcień szarości (dla zdjęć czarno-białych), sposób użytkowania terenu. Topografia zwykle zmienia się wraz z warunkami geologicznymi, dlatego też interpretacja zdjęć lotniczych powinna być wykonywana w stereoskopie przy użyciu modelu trójwymiarowego. W czasie interpretacji określa się tereny podobne i granice między terenami różniącymi się. Zwykle można wyróżnić:

- wychodnie skalne lub skały pokryte 0,5–1,0-metrową warstwą gruntu,
- glinę zwałową lub moreny,
- grubsze osady (piasek, żwir),
- drobniejsze osady (pył, glina),
- grunty organiczne (torf, gytia, namuł).

Na obszarach występowania gruntów organicznych obserwuje się, że powierzchnia terenu jest często płaska i pozioma. Jedynym wyjątkiem są torfowiska wysokie o wypukłym kształcie, roślinność stanowią rośliny wymagające dużych ilości wody. Tekstura na terenach torfowych jest często kępowata, z gęsto rozmieszczonymi rowami. Na terenach występowania gytii grunt często jest popękany. Kolor jest brązowy przechodzący w czarny lub szary przechodzący w czarny na terenach rolniczych. Wyschnięta gytia ma często kolor jasnoszary. Grunty organiczne znajdują się często w najniższych częściach terenu, z wyjątkiem torfowisk wysokich, niekiedy torfy są eksploatowane jako paliwo lub nawóz rolniczy.

Celem uzyskania poprawnego wyniku interpretacji prace inwentaryzacyjne należy przeprowadzać na wysokiej jakości zdjęciach lotniczych, częściowo zachodzących na siebie. Można stosować zdjęcia kolorowe, czarno-białe lub podczerwone. Optymalna skala zdjęć tego rodzaju wynosi 1:10 000–1:15 000, w celu uzyskania przeglądu ogólnego a jednocześnie szczegółowego terenu.

Kontrola terenowa. Po wykonaniu interpretacji niezbędna jest kontrola polowa w celu sprawdzenia rozkładu i granic wydzielonych części terenu. Stosuje się wtedy lekki sprzęt do sondowania i pobierania próbek.

2.3. Szczegółowe badania geotechniczne

2.3.1. Rejonizacja badań i zakres ustaleń

Po przeprowadzeniu ogólnej analizy terenu i uzyskaniu wyników wykonanych na tym terenie badań projektuje się szczegółowe badania geotechniczne na trasie projektowanego nasypu. Badania przeprowadza się w przekrojach badawczych zlokalizowanych co 50–100 m na trasie nasypu. W przekroju pomiarowym wykonywane są wiercenia celem określenia rodzaju i kolejności występowania warstw gruntu, sondowania penetracyjne (obrotowe, styczne lub dylatometryczne) w celu określenia parametrów geotechnicznych tych warstw oraz pobierane są próbki gruntu o nienaruszonej strukturze do badań laboratoryjnych. Badania szczegółowe przeprowadza się:

- w strefach niedostatecznego rozpoznania podłoża,
- z założenia – na wszystkich odcinkach badawczych.

Zakres badań w strefach niedostatecznego rozpoznania podłoża wynika z konkretnych potrzeb projektowania, gdzie szczególnie istotne są ustalenia:

- rodzaju i stanu gruntów,
- parametrów określających stan i historię naprężenia (naprężenie prekonsolidacji σ'_p i współczynnik parcia bocznego w spoczynku K_0) niezbędnych do programowania badań parametrów mechanicznych gruntów,
- parametrów wytrzymałościowych (τ_{fm} , ϕ , c),
- współczynnika filtracji (k_v , k_h),
- parametrów ścisłości (M lub m_v , C_r , C_c),
- parametrów konsolidacyjnych (c_v , C_α).

Gdy przewiduje się obliczenia przemieszczeń podłoża metodą MES, oznacza się również współczynniki K_0^{nc} , K_0^{oc} , współczynnik Poissona ν oraz moduł odkształcenia gruntu E przy uwzględnieniu jego zależności od stanu naprężenia (E_1 , E_{10} , E_{25}) i odkształcenia. Na odcinkach badawczych przewiduje się zawsze pełny program badań geotechnicznych niezależnie od zasobów archiwalnych oraz badania specjalne, obejmujące próbne obciążenia w terenie lub obserwacje wykonanych odcinków nasypu.

2.3.2. Aparatura i metody badań

Szczegółowe badania geotechniczne dostarczają wyników uściślających istniejące rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych na trasie projektowanego nasypu. W badaniach wykorzystuje się aparaturę terenową pozwalającą na szybką ocenę litologii podłoża i parametrów poszczególnych warstw gruntu. Do badań „in situ” gruntów organicznych stosuje się głównie sondowanie sondą krzyżakową (FVT), sondą statyczną (CPT i CPTU) oraz badania dylatometryczne

(DMT). Inne metody badań (podane w rozdziale 3.7) stosowane są rzadko ze względu na dużą trudność interpretacji uzyskanych z tych badań wyników.

Interpretacja wyników badań „in situ” wymaga wykorzystania empirycznych związków między wielkościami mierzonymi w terenie a parametrami geotechnicznymi. Związki te mają zwykle charakter regionalny, wymagają więc każdorazowego sprawdzenia ich wiarygodności. W tym celu w trakcie wierceń terenowych pobierane są próbki gruntu o nienaruszonej strukturze z wybranych warstw podłoża do badań laboratoryjnych.

Badania laboratoryjne obejmujące pomiar parametrów fizycznych i mechanicznych wykonywane są zgodnie z metodyką podaną w rozdziale 4.

2.4. Dokumentacja badań

Wyniki wierceń i sondowań, opracowane z uwzględnieniem uściślających oznaczeń cech fizycznych metodą laboratoryjną, przedstawia się w przekrojach geotechnicznych terenu. Na przekrojach tych zaznacza się warstwy litologiczne oraz strefowe wydzielenia genetyczne.

Wartości liczbowe parametrów, badanych metodą laboratoryjną mogą być podane w zintegrowanych zestawieniach tabelarycznych.

Dokumentacja badawcza zawiera opis warunków gruntowo-wodnych, omówienie wyników badań i zalecenia dotyczące wartości parametrów jakie należy przyjmować w obliczeniach projektowych.