

Zbigniew Lechowicz
Alojzy Szymański

ODKSZTAŁCENIA I STATECZNOŚĆ NASYPÓW NA GRUNTACH ORGANICZNYCH

CZ. I. METODYKA BADAŃ



Wydawnictwo SGGW

Zbigniew Lechowicz
Alojzy Szymański

**ODKSZTAŁCENIA
I STATECZNOŚĆ
NASYPÓW
NA GRUNTACH
ORGANICZNYCH**

CZ. I. METODYKA BADAŃ



Wydawnictwo SGGW
Warszawa 2002

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2002
Wydanie I

Recenzenci: doc. dr hab. inż. *Magdalena Borys*
prof. dr hab. inż. *Eugeniusz Dembicki*

Opracowanie graficzne – *Ewa Domańska-Ilkiewicz*
Redaktor – *Jan Kiryżow*
Redaktor techniczny – *Zofia Orłowska*

ISBN 83-7244-398-X (całość)
83-7244-399-8 (Część I)

Wydawnictwo SGGW, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
tel./fax (0 22) 847 28 92, e-mail: jmw_wyd@sggw.waw.pl
<http://www.sggw.waw.pl/info/wyd/index.html>

Druk: P.P. EVAN, ul. Pilicka 11, 02-629 Warszawa

Spis treści

Przedmowa	7
Wykaz symboli i oznaczeń	9
1. GRUNTY ORGANICZNE	15
1.1. Ogólna charakterystyka	15
1.2. Pochodzenie geologiczne	16
1.3. Identyfikacja gruntów organicznych	17
1.4. Właściwości inżynierskie	21
2. PROGRAMOWANIE BADAŃ	25
2.1. Przegląd zagadnień geotechnicznych związanych z posadowieniem nasypów na gruntach organicznych	25
2.1.1. Trudności posadawiania nasypów	25
2.1.2. Parametry niezbędne do analizy stateczności i oceny odkształceń	28
2.1.3. Parametry opisujące poszczególne etapy przebiegu odkształceń	30
2.2. Rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych	32
2.2.1. Zakres rozpoznania	32
2.2.2. Metodyka rozpoznania	33
2.3. Szczegółowe badania geotechniczne	35
2.3.1. Rejonizacja badań i zakres ustaleń	35
2.3.2. Aparatura i metody badań	35
2.4. Dokumentacja badań	36
3. BADANIA TERENOWE	37
3.1. Zakres i rodzaje badań	37
3.2. Wiercenia i pobieranie próbek gruntu do badań laboratoryjnych	38
3.2.1. Cele wierceń oraz warunki ich wykonywania	38
3.2.2. Badania w trakcie wykonywania wierceń	40
3.2.3. Pobieranie próbek gruntu	40
3.3. Badania warunków wodnych	43
3.3.1. Pomiar ciśnienia wody w porach	43
3.3.2. Pomiar przepuszczalności	46

3.4. Badanie połową sondą krzyżakową	47
3.4.1. Metodyka badań	47
3.4.2. Interpretacja wyników	50
3.4.3. Ocena parametrów geotechnicznych	50
3.5. Sondowania statyczne	54
3.5.1. Metodyka badań	54
3.5.2. Interpretacja wyników	56
3.5.3. Oznaczenie warstw geotechnicznych podłoża	58
3.5.4. Ocena parametrów geotechnicznych	61
3.6. Sondowanie dylatometryczne	73
3.6.1. Metodyka badań	73
3.6.2. Interpretacja wyników	75
3.6.3. Ocena parametrów geotechnicznych	80
3.7. Inne metody badań	95
4. BADANIA LABORATORYJNE	97
4.1. Zakres i rodzaje badań	97
4.2. Ocena stanu naruszenia gruntu pobranego do badań	98
4.2.1. Czynniki warunkujące stopień naruszenia struktury gruntu	98
4.2.2. Wstępna ocena naruszenia struktury gruntu	98
4.2.3. Ocena stopnia naruszenia struktury na podstawie badań laboratoryjnych	100
4.3. Oznaczenie właściwości fizycznych	105
4.3.1. Gęstość gruntu	105
4.3.2. Granice konsystencji	107
4.3.3. Zawartość części organicznych	109
4.3.4. Zawartość węgla wapnia	110
4.3.5. Stopień rozkładu i skład botaniczny torfu	111
4.3.6. Określenie właściwości fizycznych na podstawie zależności empirycznych	114
4.4. Określenie historii naprężenia	116
4.4.1. Naprężenie prekonsolidacji	116
4.4.2. Współczynnik parcia bocznego gruntu w spoczynku	119
4.5. Wyznaczenie parametrów odkształceniowych i konsolidacyjnych w badaniach edometrycznych	120
4.5.1. Badania edometryczne ze stopniowo wzrastającym obciążeniem IL	120

4.5.2. Badania edometryczne z ciągłym wzrostem obciążenia CL	122
4.5.3. Wyznaczenie parametrów	125
4.6. Wyznaczenie wytrzymałości na ścinanie	133
4.6.1. Określenie wytrzymałości na ścinanie na podstawie zależności empirycznych	133
4.6.2. Badanie laboratoryjną sondą stożkową	136
4.6.3. Badanie laboratoryjną sondą krzyżakową	137
4.6.4. Badanie prostego ścinania	139
4.6.5. Badanie trójosiowe	141
4.7. Określenie parametrów odkształceniowych w badaniach trójosiowych	147
4.7.1. Wybór metodyki badań	147
4.7.2. Moduł Younga i współczynnik Poissona	149
4.7.3. Moduł odkształcenia objętościowego i moduł ścinania	151
4.7.4. Parametry do modeli sprężysto-plastycznych	152
4.8. Określenie przepuszczalności	157
5. KOMPLEKSOWA ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ	163
5.1. Zakres analizy	163
5.2. Określenie warunków geotechnicznych podłoża	164
5.2.1. Rozpoznanie rodzaju i układu warstw	164
5.2.2. Określenie stanu i historii naprężenia	164
5.2.3. Wyznaczenie parametrów geotechnicznych	165
5.3. Programowanie badań uzupełniających	166
6. BADANIA SPECJALNE – PRÓBNE OBCIĄŻENIA NASYPAMI	167
6.1. Cel badań	167
6.2. Metodyka badań	167
6.2.1. Lokalizacja nasypów	167
6.2.2. Rozpoznanie podłoża nasypów doświadczalnych	168
6.2.3. Aparatura i urządzenia pomiarowe	169
6.2.4. Technologia budowy nasypów	171
6.2.5. Wykonanie pomiarów	171
6.3. Opracowanie i interpretacja wyników	172
7. LITERATURA	175
Summary	184

Przedmowa

Posadowienie nasypów na gruntach organicznych stwarza poważne problemy związane z pojawianiem się dużych pionowych i poziomych odkształceń podłoża podczas i po zakończeniu budowy nasypu. Ponadto, mała początkowa wytrzymałość gruntów organicznych często powoduje powstawanie trudności z zapewnieniem stateczności budowli. W związku z tym obciążenie musi być przykładane etapowo lub na uprzednio wzmocnione podłoże. Wybór metody budowy polega na poszukiwaniu optymalnego rozwiązania pod względem technicznym i ekonomicznym.

Grunty organiczne są bardzo zróżnicowane pod względem swego zachowania się pod wpływem obciążenia. W jednym przypadku najbardziej odpowiednie może być przeciążenie podłoża, np. w torfach, w innym natomiast rozwiązanie takie może być zupełnie nieprzydatne ze względu na małą przepuszczalność, np. w iłach 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,
- ulepszeniu właściwości gruntu poprzez wcześniejsze zabiegi,

Podstawą wyboru odpowiedniej metody posadowienia nasypu jest ocena odkształceń i stateczności budowli oparta na dokładnym rozpoznaniu budowy podłoża i właściwym doborze parametrów geotechnicznych poszczególnych warstw.

Niniejsza praca stanowi podsumowanie wieloletnich badań autorów, prowadzonych we współpracy ze Szwedzkim Instytutem Geotechnicznym i Uniwersytetem McGill w Montrealu oraz projektu badawczego KBN 772029102 dotyczących zachowania się gruntów organicznych pod obciążeniem i rozwoju metod badań ich właściwości oraz metodyki obliczeń numerycznych.

Praca składa się z dwóch części:

- część pierwsza „Metodyka badań”,
- część druga „Metodyka obliczeń”.

W części pierwszej podano najnowsze osiągnięcia i własne propozycje w zakresie metodyki badań laboratoryjnych i terenowych służących rozpozna-

niu gruntów organicznych i wyznaczaniu parametrów geotechnicznych wykorzystywanych w obliczeniach przebiegu odkształceń i ocenie stateczności budowli.

Część pierwsza „Metodyka badań” obejmuje siedem rozdziałów:

- charakterystykę i właściwości gruntów organicznych (rozd. 1),
- programowanie badań (rozd. 2),
- metodykę badań terenowych (rozd. 3),
- metodykę badań laboratoryjnych (rozd. 4),
- kompleksową analizę wyników (rozd. 5),
- badania specjalne (rozd. 6),
- literaturę zagadnienia (rozd. 7).

Część druga „Metodyka obliczeń” zawiera charakterystykę metod obliczeń odkształceń końcowych, przebiegu konsolidacji i ceny stateczności nasypów posadawianych na podłożu organicznym.

Składa się z pięciu rozdziałów obejmujących:

- wstęp (rozd. 1),
- charakterystykę metod prognozy odkształceń (rozd. 2),
- analizę przebiegu konsolidacji w podłożu organicznym bez drenażu i z drenażem pionowym (rozd. 3),
- analizę metod prognozy stateczności nasypów na gruntach organicznych (rozd. 4),
- spis literatury wykorzystanej w analizie zagadnienia (rozd. 5).

W pracy scharakteryzowano również trudności, jakie występują w trakcie projektowania, budowy i utrzymania nasypów na gruntach organicznych.

Wykaz symboli i oznaczeń

A, B, C	odczyty z badań DMT
a	współczynnik podstawy stożka
A_p	współczynnik ciśnienia wody w porach odpowiadający odciążeniu gruntu
B_n	szerokość podstawy nasypu
B_q	współczynnik ciśnienia porowego
c, c_u	spójność
C_r	wskaźnik ścisłości pierwotnej
c_h	współczynnik konsolidacji poziomej
C_r	wskaźnik ścisłości wtórnej
c_v	współczynnik konsolidacji pionowej
C_s	wskaźnik ścisłości przy odciążeniu
C_{α}	współczynnik ścisłości wtórnej
C_{100}	odczyt w badaniu DMT odpowiadający pełnemu rozproszeniu nadwyżki ciśnienia wody w porach
d	średnica próbki
d_r	głębokość penetracji stożka w badaniach laboratoryjną sondą stożkową
D_r	stopień zagęszczenia
D_s	średnica próbnika
D_v	średnica krzyżaka (końcówka sondy krzyżakowej)
E	moduł odkształcenia (moduł Younga)
e	wskaźnik porowatości
E_D	moduł dylatometryczny
E_i	początkowy moduł odkształcenia
e_o	początkowy wskaźnik porowatości
E_i	styczny moduł Younga
E_{st}	moduł sprężystości bez odpływu
E_{50}	sieczny moduł odkształcenia odpowiadający połowie mobilizacji maksymalnego dewiatora
F	współczynnik stateczności
f_s	pomierzona wartość tarcia na tulei w badaniach CPT
g	przyspieszenie ziemskie
G	moduł ścinania
G_{max}, G_o	początkowy moduł ścinania (początkowy moduł odkształcenia postacowego)
H	mięszczość warstwy ściśliwej
h	wysokość próbki

10

H_n	wysokość nasypu
H_s	bezpieczna wysokość nasypu
H_v	wysokość krzyżaka (końcówka sondy krzyżakowej)
H_o	początkowa miąższość podłoża ściśliwego
H1 – H10	stopień rozkładu torfu wg skali von Posta
i	gradient hydrauliczny
I_d	stopień zagęszczenia
I_D	wskaźnik materiałowy w badaniach DMT
I_L	stopień plastyczności
I_{om}	zawartość części organicznych
I_p	wskaźnik plastyczności
K	moduł odkształcenia objętościowego
k	współczynnik filtracji
K_r	stała zależna od stożka i gruntu w badaniach laboratoryjną sondą stożkową
K_D	wskaźnik naprężenia bocznego w badaniach DMT
K_f	linia zniszczenia
k_h	współczynnik filtracji w kierunku poziomym
K_o	współczynnik parcia gruntu w spoczynku
k_o	początkowa wartość współczynnika filtracji
k_v	współczynnik filtracji w kierunku pionowym
k_ε	współczynnik filtracji przy odkształceniu ε
M	moduł ściśliwości
m	masa gruntu
m_r	masa stożka w badaniach laboratoryjną sondą stożkową
M_i	masa i -tego plastra
M_{max}	maksymalny moment obrotowy w momencie ścięcia gruntu
M^{nc}	moduł ściśliwości gruntu normalnie konsolidowanego
M_o	pierwotny moduł ściśliwości
M^{pc}	moduł ściśliwości gruntu prekonsolidowanego
m_s	masa szkieletu gruntowego
m_w	masa wody
m_v	współczynnik zmian objętościowych ($= I/M$)
n	porowatość
NC	grunt normalnie konsolidowany
N_c	współczynnik nośności
N_{ke}	empiryczny współczynnik stożka związany z q_c
N_{kt}	współczynnik zależny od geometrii użytego stożka i sztywności badanego gruntu
N_{qc}	współczynnik zależny od kształtu stożka
N_{du}	czynnik ciśnienia wody w porach

OC	grunt prekonsolidowany
OCR	współczynnik prekonsolidacji
P	popielność
p_a	ciśnienie atmosferyczne
P_m	zawartość części mineralnych bezwapiennych
PPD	znormalizowana różnica ciśnień w badaniach CPTU
p_x	ciśnienie barometryczne
p_o	ciśnienie gazu przy zerowym przemieszczeniu membrany w badaniu DMT
p_1	ciśnienie gazu przy wychyleniu się środka membrany w kierunku do gruntu o około 1,1 mm w badaniu DMT
q_c	wartość oporu wciskania stożka w badaniach CPTU
q_e	efektywny opór stożka
q_n	wartość netto oporu stożka w badaniach CPT
q_T	całkowity opór stożka w badaniach CPT
q_x, q_y	przepływ jednostkowy mierzony w kierunku osi odpowiednio x i y
R_E	współczynnik empiryczny do wyznaczania modułu odkształcenia z badań DMT
R_G	współczynnik empiryczny do wyznaczania modułu ścinania z badań DMT
R_M	współczynnik empiryczny do wyznaczania modułu ściśliwości z badań DMT
R_f	współczynnik tarcia w badaniach CPTU
S	znormalizowana wytrzymałość na ścinanie gruntu NC ($= \tau_{fn}/\sigma'_v$)
S_r	stopień wilgotności
S_t	wrażliwość gruntu
S_u	wytrzymałość gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu ($= \tau_{fn}$)
t	czas
T_{flex}	czas, po którym następuje zmiana charakteru krzywej rozpraszania (przebiegu) w badaniach DMT
T_{50}	czynnik czasu odpowiadający 50% konsolidacji
t_{100}	czas potrzebny do zakończenia konsolidacji
t_{50}	czas potrzebny do wystąpienia 50% konsolidacji
u	ciśnienie wody w porach
$u_{atm.}$	ciśnienie atmosferyczne
u_e	ciśnienie wody w porach w trakcie penetracji
U_D	wskaźnik ciśnienia wody w porach w badaniu DMT
u_o	początkowa wartość ciśnienia wody w porach; ciśnienie hydrostatyczne
u_1	ciśnienie wody w porach pomierzone na ostrzu stożka w badaniach CPTU

12

u_2	ciśnienie wody w porach pomierzone powyżej stożka w badaniach CPTU
V	objętość próbki gruntu
v	prędkość przepływu
v_{lmax}	największa prędkość przemieszczenia osiowego podczas badań w aparacie trójosiowym
V_p	objętość porów
V_s	objętość szkieletu gruntowego
v_s	prędkość sondowania
V_i	objętość CO ₂
V_w	objętość wody
w_s, w_n	wilgotność gruntu w stanie naturalnym
w_L	granica płynności
α	współczynnik empiryczny
β_k	wskaźnik zmian przepuszczalności
$\Delta A, \Delta B, \Delta C$	poprawki do odczytów A, B, C w badaniach DMT
Δh	zmiana wysokości próbki
Δe	zmiana wskaźnika porowatości
Δp	różnica ciśnień na końcach próbki
Δq	obciążenie
$\Delta \sigma$	przyrost naprężenia
$\varepsilon, \varepsilon_n$	odkształcenie objętościowe
ε_h	składowa pozioma odkształcenia
ε_{kryt}	odkształcenie krytyczne
ε_s	odkształcenia postaciowe
ε_v	składowa pionowa odkształcenia
ε_1	odkształcenie objętościowe od większego naprężenia głównego (pionowe)
ε_3	odkształcenie objętościowe od mniejszego naprężenia głównego (poziome)
ε_{100}	odkształcenia po zakończeniu pierwotnej konsolidacji
ε_{1f}	przewidywane odkształcenie osiowe w momencie zniszczenia
ϕ_u	kąt tarcia wewnętrznego w warunkach bez odpływu
ϕ'	efektywny kąt tarcia wewnętrznego
γ	ciężar objętościowy gruntu
γ_s	ciężar właściwy gruntu
γ_w	ciężar właściwy wody
μ	współczynnik poprawkowy
ν	współczynnik Poissona
ν_i	styczny współczynnik Poissona
ρ	gęstość objętościowa gruntu
ρ_d	gęstość objętościowa szkieletu gruntowego

ρ_f	gęstość właściwa płynu o określonej temperaturze
ρ_s	gęstość właściwa szkieletu gruntowego
σ	naprężenie całkowite
σ'	naprężenie efektywne
σ_h	pozioma składowa naprężenia całkowitego
σ'_h	pozioma składowa naprężenia efektywnego
σ'_{ho}	pozioma składowa pierwotnego naprężenia efektywnego
σ'_{lab}	naprężenie prekonsolidacji wyznaczone z badań edometrycznych
σ'_m	średnie naprężenie efektywne
σ_{oct}	naprężenie oktaedryczne
σ'_p	naprężenie prekonsolidacji
σ_{ps}	naprężenie rezydualne odpowiadające idealnie pobranej próbce
σ_v	pionowa składowa naprężenia całkowitego
σ'_v	pionowa składowa naprężenia efektywnego
σ_{vo}	pionowa składowa pierwotnego naprężenia całkowitego
σ'_{vo}	pionowa składowa pierwotnego naprężenia efektywnego
σ_1	większe naprężenie główne
σ'_{1c}	pionowa składowa efektywnego naprężenia konsolidacyjnego dla próbki idealnie pobranej
σ_3	mniejsze naprężenie główne
τ_{fr}	wytrzymałość gruntu na ścinanie pomierzona laboratoryjną sondą stożkową
τ_{fr}	wytrzymałość na ścinanie gruntu o naruszonej strukturze (resztkowa)
τ_{fu}	wytrzymałość gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu
τ_{fv}	wytrzymałość gruntu na ścinanie pomierzona sondą krzyżakową
ψ	parametr stanu
BAT	system monitoringu wód podziemnych
CD	badanie w aparacie trójosiowym w warunkach z konsolidacją i odpływem
CL	badanie edometryczne z ciągłym obciążaniem (w tym: CRS – ze stałą prędkością odkształcenia, CRL – ze stałą prędkością obciążania, CG – ze stałym gradientem, CC – przy stałej konsolidacji)
CU	badanie w aparacie trójosiowym w warunkach z konsolidacją bez odpływu
CPT	sondowanie statyczne
CPTU	sondowanie statyczne z pomiarem ciśnienia wody w porach
DMT	sondowanie dylatometrem Marchettiego
FVT	sondowanie sondą krzyżakową
IL	badanie edometryczne ze stopniowym wzrostem obciążenia
MES	metoda elementów skończonych
NNS	próbka gruntu o nienaruszonej strukturze

14

NU	próbka gruntu o naturalnym uziarnieniu
NW	próbka gruntu o naturalnej wilgotności
PSO	badanie połową sondą krzyżakową
SCPTU	sondowanie sejsmiczne
SPT	badanie sondą cylindryczną
SW	badanie sondą wkręcaną
UU	badanie w aparacie trójosiowym w warunkach bez konsolidacji i bez odpływu

GRUNTY ORGANICZNE

1.1. Ogólna charakterystyka

Grunty organiczne powstają w warunkach nadmiernego uwilgotnienia i słabego dostępu powietrza, w których następuje akumulacja materiału wytworzonego przez rośliny, z ewentualnym udziałem fauny, jak również mineralnych substancji transportowanych przez wodę (Adams 1965, Maksimow 1965, Maciak i Liwski 1972, Hobbs 1986). Powstają one ze składników rozkładu martwej substancji organicznej, tj. z resztek roślinnych i zwierzęcych, głównie dzięki aktywności bakterii. Przy odpowiednim uwilgotnieniu wraz ze wzrostem dostępu tlenu z powietrza proces staje się bardziej intensywny. Na terenach odwodnionych, suchych, proces rozkładu zachodzi bardzo szybko, w konsekwencji doprowadzając do prawie całkowitego zaniku gruntów organicznych w podłożu. Dzieje się to odmiennie niż na terenach podmokłych, gdzie rozkład substancji organicznej przebiega w formie fermentacji i gnicia. W wyniku zachodzących procesów powstają utwory, których masę szkieletu gruntowego tworzą składniki organiczne i mineralne. Zawartość masy organicznej może wynosić od kilka do kilkadziesiąt procent.

Masa organiczna w zależności od swego pochodzenia może występować w następujących formach:

- włókna roślinnego; szczątki roślin o zachowanej strukturze tkankowej,
- detrytusu; masa powstająca w środowisku wodnym z rozkładu szczątków roślinnych i zwierzęcych, w tym także planktonu, przy jej dużym przekształceniu w przewodach trawiennych fauny,
- humusu; masy amorficznej powstającej w wyniku rozkładu, czyli humifikacji materii roślinnej.

Masę mineralną w zależności od źródła pochodzenia można podzielić na:

- utwory mineralne podłoża, w których gromadzi się masa organiczna,
- osad wytrącany mechanicznie,
- osad wytrącany chemicznie.

Struktura gruntów organicznych może być bardzo różnorodna i zależy od udziału poszczególnych komponentów wchodzących w skład masy organicznej

i mineralnej. Duży udział masy organicznej w postaci włókna roślinnego tworzy strukturę włóknistą. Udział humusu powoduje, że struktura przybiera charakter bezpostaciowy (amorficzny). Występowanie w masie organicznej detrytus nadaje strukturze cechy galaretowatości. Udział masy mineralnej w postaci części ilastych powoduje mazistość. Wzrost zawartości węglanu wapnia nadaje strukturze cechy łupliwości. Rodzaj najczęściej spotykanej struktury gruntów organicznych wraz z głównymi składnikami wywierającymi wpływ na jej powstanie zamieszczono w tabeli 1.1 (Borys 1993).

Tabela 1.1. Struktura i główne składniki utworów hydrogenicznych (Borys 1993)

Utwór	Struktura	Główne składniki
Próchniczny	amorficzna	utwór mineralny podłoża humus
Torf:		
– słabo rozłożony	włóknista	szezętki roślinne
– średnio rozłożony	amorficzno-włóknista	humus, szezętki roślinne
– silnie rozłożony	amorficzna	humus
Muł	amorficzna	humus, namuł mineralny
Namuł	amorficzna	namuł mineralny, humus
Gytia	galaretowata łupliwa mazista	detrytus węglany części ilaste
Mursz	amorficzna do proszkowatej	humus

1.2. Pochodzenie geologiczne

Złożoność budowy geologicznej gruntów organicznych stanowi poważny problem przy rozwiązywaniu zadań inżynierskich. Obiekty inżynierskie służące ochronie przeciwpowodziowej, kształtowaniu środowiska bądź mające cele ważne dla gospodarki, jak np. obwałowania rzek, zapory ziemne zbiorników wodnych, małe budowle melioracyjne lub nasypy drogowe, często muszą być lokalizowane w terenach o tzw. małej przydatności do budownictwa. Tereny te często podmokłe, charakteryzują się występowaniem w podłożu gruntów organicznych.

Najczęściej występującymi w Polsce gruntami organicznymi są torfy i podścielające je gytie. Stanowią one podłożo obszarów potocznie zwanych torfowiskami. Według Maksimowa (1965), grunty organiczne zajmują 1,5 mln ha, tj. około 5,5% ogólnej powierzchni kraju. Najwięcej obszarów zalegania gruntów organicznych zlokalizowanych jest w północnej oraz w środkowej części Polski i występują one najczęściej w sąsiedztwie jezior i w dolinach rzek nizinnych.

W trakcie rozkładu substancji organicznej powstają grunty czysto organiczne, takie jak torf i gytia. W przypadku, gdy proces rozkładu materii organicznej przebiega razem z sedimentacją cząstek mineralnych gruntu, tworzą się grunty o cechach pośrednich pomiędzy gruntem organicznym i mineralnym.

Torf jest gruntem powstałym przez rozkład resztek roślinnych bogatych w węglowodany. Substancja organiczna składa się ze szczątków roślinnych (włókien) oraz humusu o charakterze koloidalnym. Różnorodność materiału oraz geneza powstania złóż torfowych wskazuje na złożoność budowy torfu: od torfu typowo włóknistego, nie rozłożonego, przez rozłożony w różnym stopniu, do amorficznego, bezpostaciowego wykazującego plastyczną strukturę. O jakości torfu decyduje materiał roślinny oraz stopień jego rozkładu. Przy całkowitym rozkładzie struktury roślinnej określany jest jako muł, który może być tworzony w miejscu lub transportowany przez wodę i wytrącany w formie koloidalnej.

Gytia jest gruntem organicznym towarzyszącym prawie zawsze złóżom torfowym, często zdarza się, że gytie stanowią większą część profilu gruntów organicznych w podłożu, np. w dolinie Noteci zajmują one od 50 do 75% profilu organicznego podłoża. Skład gytii i jej fizyko-chemiczne właściwości znacznie odbiegają od właściwości torfu. Gytia powstaje z resztek roślinnych i zwierzęcych bogatych w tłuszcze i proteiny. Martwe mikroskopijne organizmy wodne są rozpuszczane i rozkładane przez bakterie na substancję, w której osadzają się cząstki mineralne oraz mniej rozłożone resztki roślinne i zwierzęce. Gytia tworzona w wodzie bogatej w substancje odżywcze ma kolor zielony. W ośrodku, w którym tych substancji jest mniej, staje się brązowa na skutek domieszki brązowo-czarnego namułu. Gytia ma mniej lub bardziej sprężystą konsystencję, co czasem przypomina galaretę, namuł natomiast ma konsystencję bardziej lepłą. Gytia powstała na terenach, gdzie występują części wapienne, ma formę przejściową pomiędzy gytia a marglem i określana jest jako gytia wapienna. W zależności od zawartości części mineralnych wyróżnia się wiele rodzajów gruntów pośrednich, takich jak gytia gliniasta, glina organiczna, ily polodowcowe itp.

1.3. Identyfikacja gruntów organicznych

Celem właściwego zidentyfikowania gruntu określa się w nim zawartość części organicznych, zawartość węglanów, wilgotność naturalną oraz granicę konsystencji i gęstość (Larsson i in. 1987). Znajomość tych charakterystyk umożliwia opis stratygrafii profilu gruntowego, uwzględniający historię geologiczną oraz warunki środowiskowe w momencie odkładania się osadów.

A zatem możliwe jest wówczas określenie rodzaju gruntu organicznego lub mineralno-organicznego. Charakterystykę poszczególnych gruntów, zaproponowaną przez Larssona (1996), podano poniżej.

Grunty zawierające gytie. Gytia jest zwykle zielonkawa, lecz może być również brązowa lub czerwona. Podczas suszenia zmienia kolor, zwykle na szary. W stanie mokrym ma konsystencję sprężystą. Pęka w sposób kruchy. Podczas suszenia kurczy się silnie, tworząc twarde grudy o małej gęstości.

Gytia gliniasta ma w stanie wilgotnym kolor zielonkawo-szary. Różni się od gytii w stanie wilgotnym tym, że jest lepka ze względu na zawartość gliny.

Glina zawierająca gytie ma w stanie wilgotnym matowy, lekko zielonkawy kolor, czasami brązowy ze względu na występowanie mułu, niekiedy czarny lub z czarnymi wkładkami ze względu na występowanie siarczku żelazawego. Glina zawierająca gytie jest mniej sprężysta i mniej krucha. Grunt taki często pęka, tworząc na powierzchni charakterystyczny wzór sześciątów.

Grunty zawierające namuł. Namuł składa się z gęstego, czarnego lub ciemnobrązowego gruntu, który zawiera również cząstki torfu lub gytii oraz części mineralne. Podczas wysychania namuł zachowuje swój ciemny kolor. W przeciwieństwie do gytii jest stosunkowo niesprężysty. Podobnie jak gytia kurczy się silnie przy wysychaniu, tworząc twarde, bardzo lekkie grudki. W namule bardzo często może występować piasek lub pył (namuł piaszczysty, namuł pylasty lub namuł z warstwami piasku lub pyłu). Namuł zawierający glinę w praktyce nie występuje.

Torf. Klasyfikacja i podział torfu opierają się w praktyce na wzrokowej ocenie struktury i konsystencji oraz na badaniu von Posta (Maksimow 1965). Dla potrzeb inżynierskich torf podzielono na 3 rodzaje (tab. 1.2).

Tabela 1.2. Klasyfikacja torfu na podstawie stopnia rozkładu wg skali von Posta (Karlsson i Hansbo 1984)

Podział	Grupa	Opis
Torf włóknisty	H1 – H4	Niski stopień rozkładu, struktura włóknista, łatwo rozpoznawalna struktura roślinna
Torf pseudowłóknisty	H5 – H7	Średni stopień rozkładu, rozpoznawalna struktura roślinna
Torf amorficzny	H8 – H10	Wysoki stopień rozkładu, brak widocznej struktury roślinnej, konsystencja papki

Torf włóknisty jest słabo zhumifikowany i zachowuje wyraźną strukturę roślinną. Ma barwę brązową lub brązowo-żółtą. Podczas ściskania próbki tego gruntu w ręku wycieka brązowa lub bezbarwna, mętna lub czysta woda, ale bez żadnych cząsteczek torfu. Materiał pozostały w ręku ma strukturę włóknistą (stopień rozkładu wg skali von Posta: H1 – H4).

Torf pseudowłóknisty jest średnio zhumifikowany i charakteryzuje się niewyraźną strukturą roślinną. Jest zwykle brązowy. Podczas ściskania próbki tego gruntu w ręku mniej niż połowa masy torfu przechodzi między palcami. Materiał pozostały w ręku ma mniej lub bardziej konsystencję papki o wyraźnej strukturze roślinnej (H5 – H7).

Torf amorficzny jest wysoko zhumifikowany i charakteryzuje się bardzo niewyraźną strukturą roślinną. Jest brązowy lub brązowo-czarny. Podczas ściskania próbki tego gruntu w ręku więcej niż połowa masy torfu przechodzi między palcami bez wypływu wody. Podczas ściskania można tylko wyczuć większe składniki, takie jak włókna korzeni, pozostałości drewna itp. (H8 – H10).

Grunty zawierające humus. W klasyfikacji tych gruntów uwzględnia się zawartość humusu i skład mineralny, np. piasek humusowy i glina humusowa. Kolor gruntu może być jaśniejszy lub ciemniejszy w zależności od zawartości humusu. Dla tego samego gruntu mineralnego kolor będzie ciemniejszy przy wyższej zawartości części organicznych.

Grunty organiczne można podzielić ze względu na skład na trzy główne rodzaje: gytie, torf i muł. Grunty mineralno-organiczne i grunty o średniej zawartości części organicznych można sklasyfikować wg kryterium zawartości rodzaju części organicznych oraz wg składu części mineralnych (tab. 1.3).

Tabela 1.3. Klasyfikacja gruntów na podstawie zawartości części organicznych wg Karlssona i Hansbo (1984)

Rodzaj gruntu	Zawartość części organicznych (w % suchego materiału < 2 mm)	Przykłady oznaczeń
Grunty niskoorganiczne	2–6	Glina zawierająca gytie, Pył zawierający namuł, Pył zawierający humus
Grunty średnioorganiczne	6–20	Gytia gliniasta, Namuł pylasty, Piasek humusowy
Grunty wysokoorganiczne	> 20	Gytia, torf i namuł

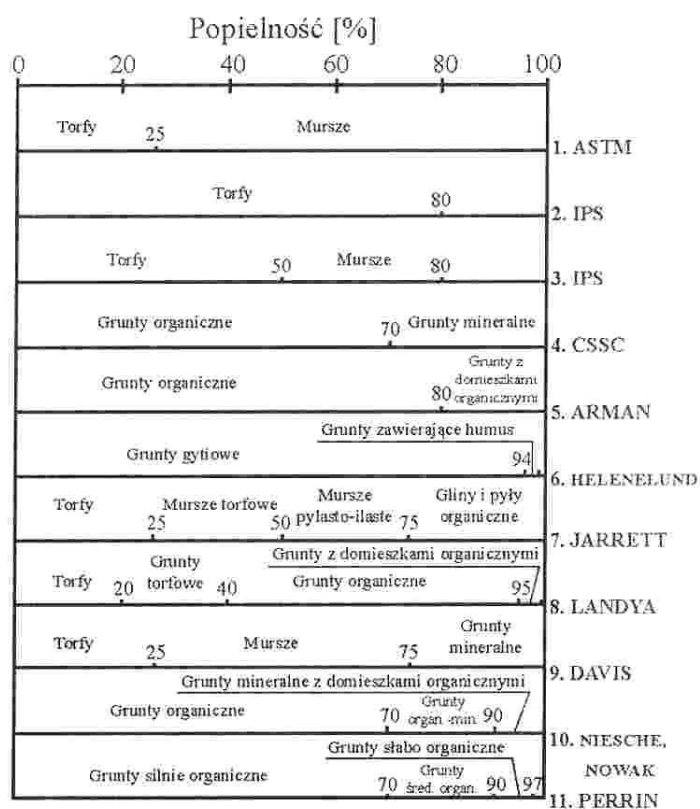
W literaturze światowej istnieje wiele różnych systemów klasyfikujących grunty organiczne. Jednym z podstawowych kryteriów stosowanych w większości podziałów jest zawartość części mineralnych i organicznych. Jako dodatkowe kryteria wykorzystuje się warunki powstawania, zawartość węgla wapnia, stopień rozkładu substancji organicznej i inne.

Zgodnie z powszechnie do tej pory stosowanym w kraju podziałem gruntów na potrzeby budowlane zawartym w normie PN-86/B-02480, do gruntów organicznych zalicza się grunty rodzime o zawartości części organicznych (I_{om})

większej niż 2%. Podział gruntów organicznych na rodzaje dokonany ze względu na sposób ich powstawania oraz zawartość części organicznych i węgla wapnia przedstawiono w tabeli 1.4. Duże uproszczenie tej klasyfikacji nie oddaje w pełni różnorodności gruntów organicznych wpływających na duże zróżnicowanie inżynierskich właściwości tych gruntów.

Tabela 1.4. Podział gruntów organicznych wg normy PN-86/B-02480

Grunty organiczne ($I_{om} > 2\%$)	
skaliste	nieskaliste
węgiel brunatny	grunty próchniczne
węgiel kamienny	namuły: piaszczyste, gliniaste
	gytie ($CaCO_3 > 5\%$)
	torfy ($I_{om} > 30\%$)



Rysunek 1.1. Porównanie różnych systemów podziału gruntów organicznych (Borys 1993): IPS – Międzynarodowe Stowarzyszenie Torfowe, CSSC – Kanadyjski Komitet Gleboznawczy, 1+8 – cyt. Landva i in. (1983), 10 – Niesche, Nowak (1988), 11 – Perrin (1974)

W literaturze istnieje wiele klasyfikacji gruntów organicznych na podstawie zawartości części mineralnych wyrażonych przez popielność (Helenelund 1975, Karlsson i Hansbo 1984, Konowalów 1980, Andrejko i in. 1982). Z porównania wybranych klasyfikacji przedstawionego przez Borys (1993) wynika, że zastosowane w tych klasyfikacjach podziały pomiędzy poszczególnymi gruntami są bardzo różne (rys. 1.1), jednak najczęściej do gruntów organicznych zalicza się grunty o popielności nie przekraczającej 95%. Przytoczone klasyfikacje są zbyt uproszczone, nie odzwierciedlają dużego zróżnicowania właściwości gruntów zaliczonych do tego samego rodzaju. Z kolei istnieją klasyfikacje opracowane przez botaników lub gleboznawców, które dla celów budowlanych są zbyt szczegółowe (Zawadzki 1970, Okruszko 1984). Pewnym kompromisem jest stosowana w Katedrze Geoinżynierii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) propozycja Gołębiewskiej i in. (1985), w której w formie tabelarycznej przedstawia się w sposób przejrzysty pełny podział gruntów hydrogenicznych (tab. 1.5).

1.4. Właściwości inżynierskie

Właściwości inżynierskie gruntów organicznych wykazują dużą zmienność zależną od rodzaju i ilości części organicznych, które mogą występować w wielu formach: od małych ilości amorficznej lub koloidalnej substancji osadzonej w porach gruntu mineralnego do włóknistego torfu. Wpływ zawartości części organicznych na właściwości inżynierskie gruntów organicznych w porównaniu z właściwościami czysto mineralnych gruntów wyraża się większą zmiennością przepuszczalności i wzrastającą tendencją do pęcznienia. Ponadto, zachowanie się tych gruntów pod obciążeniem wykazuje znaczną nieliniową zmienność uzyskanych charakterystyk.

Większość gruntów organicznych wykazuje charakter zachowania się gruntów prekonsolidowanych. W naturalnych podłożach organicznych naprężenie efektywne jest stosunkowo małe ze względu na wysoki poziom wody gruntowej (i częste występowanie napiętego zwierciadła wody gruntowej) oraz niewielką gęstość objętościową gruntu. Jedną z podstawowych przyczyn powstawania naprężenia prekonsolidacji w tych gruntach są ruchy zwierciadła wody gruntowej. Ponadto, w gruntach tych obserwuje się znaczący efekt pozornej (strukturalnej) prekonsolidacji, wyrażający się występowaniem naprężenia prekonsolidacji wyższego od naprężenia wywołanego prekonsolidacją mechaniczną.

Tabela 1.5. Podział gruntów hydrogenicznych (Golebiewska i in. 1985)

Grupa gruntów	Typy gruntów	Rodzaje gruntów	Dodatkowe cechy identyfikacyjne	
	2	3	4	
I. Mineralne właściwe $I_{om} \leq 3\%$	Mady	Mady	Podział wg składu granulometrycznego wg PN-B/02480	
	Grupy próchniczne	Grupy próchniczne właściwe	Struktura bez laminacji i nierozdrobniona	
		Utwory murszaste	Utwory murszaste	Powstają z utworów próchnicznych i namulów próchnicznych. Struktura rozdrobniona do proszkowatej
		Namuly	Namuly próchniczne	Mają strukturę warstwową
II. Mineralne próchniczne $3\% < I_{om} \leq 10\%$	Grupy mineralne – bez-wapienne	Gytie ilaste	Podział wg p. I_{om} Przy rozcieraniu próbki w palcach w wodzie nie wyczuwa się piasku	
		Gytie piaszczysto-ilaste	Przy rozcieraniu próbki w palcach w wodzie wyczuwa się ziarna piasku	
		Gytie okrzemkowo-ilaste	Obecność okrzemek (badanie pod mikroskopem)	
	Grupy próchniczne	Grupy próchniczne torfiste	Struktura bez laminacji i nierozdrobniona	
	Utwory murszowate	Utwory murszowate	Powstają z namulów silnie próchnicznych. Struktura rozdrobniona do proszkowatej	
	Namuly	Namuly silnie próchniczne	Struktura warstwową	
III. Mineralne organiczne $10\% < I_{om} \leq 20\%$	Grupy mineralne – bez-wapienne	Gytie ilaste	Podział wg p. I_{om} Przy rozcieraniu próbki w palcach w wodzie nie wyczuwa się piasku	
		Gytie piaszczysto-ilaste	Przy rozcieraniu próbki w palcach w wodzie wyczuwa się ziarna piasku	
		Gytie okrzemkowo-ilaste	Obecność okrzemek (badanie pod mikroskopem)	
	Grupy węglanowe	Kreda jeziorna	Struktura skrytoziarnista, jasne barwy	
		Gytie wapienne		
		Gytie ilasto-wapienne		
	Utwór murszowy	Utwór murszowy	Powstaje z torfu, mulu lub gyty, struktura rozdrobniona do proszkowatej	
	Muly	Muly silnie zamulone	Struktura maźnista gruzelkowata, barwa ciemna/czarna (tło z odcieni niebieskawych, zielonkawych)	
	Gytie	Mineralne bezwapienne	Gytie ilaste	Podział wg p. I_{om} Przy rozcieraniu próbki w palcach w wodzie nie wyczuwa się piasku
			Gytie piaszczysto-ilaste	Przy rozcieraniu próbki w palcach w wodzie wyczuwa się ziarna piasku
Węglanowe		Gytie okrzemkowo-ilaste	Obecność okrzemek (badanie pod mikroskopem)	
		Gytie ilasto-wapienne	Struktura skrytoziarnista, jasne barwy	
		Gytie wapienne		
Organiczne	Gytie drobnodziurkowe	Struktura gularcowa/ciemne barwy		
Torfy silnie zamulone	Torfy silnie zamulone	Struktura maźnista gruzelkowata, barwa ciemna, czarna (tło z odcieni niebieskawych, zielonkawych)		
IV. Organiczne silnie zamulone $20\% < I_{om} \leq 50\%$				

tab. 1.5 cd.

1	2	3	4			
V. Organiczne słabo zamulone $50\% < I_{0,05} \leq 75\%$	Utwór murszowy	Utwór murszowy	Powstaje z torfu, muly lub gytii, struktura rozdrobniona do proszkowatej			
	Muly	Muly słabo zamulone				
	Gytie	Węglanowe	Gytie detritusowo-wapienne	Struktura maziasta gruzelkowata, barwa ciemna, czarna (tło z odzieni niebieskawych, zielonkawych)		
		Organiczne	Gytie grubodetrytusowe			
	Torfy słabo zamulone		Gytie grubodetrytusowe	Struktura skrytoziarnista, jasne barwy		
			Torfy włókniste		Struktura galaretowata, ciemne barwy	
			Mechowiskowe	Podział wg stopnia rozkładu		Podział wg składu botanicznego struktura włóknista, gąbczasta
					Turzycowiskowe	
			Szuwarowe	Podział wg składu botanicznego, struktura kawałkowa	Podział wg składu botanicznego, struktura kawałkowa	
			Mszarne			
Turzycowiskowe			Podział wg składu botanicznego, struktura kawałkowa	Podział wg składu botanicznego, struktura kawałkowa		
Szuwarowe						
Olesowe	Bór – bagienne	Podział wg p. $I_{0,05}$	Struktura galaretowata			
Bór – bagienne						
VI. Organiczne niezamulone $75\% < I_{0,05}$	Gytie organiczne	Gytie grubodetrytusowe	Podział wg p. $I_{0,05}$			
	Torfy niezamulone	Gytie glonowe		Podział wg p. $I_{0,05}$		
		Torfy włókniste	Mechowiskowe	Podział wg składu botanicznego, struktura włóknista, gąbczasta		
			Turzycowiskowe			
		Torfy średnio rozłożone	Szuwarowe	Podział wg składu botanicznego		
			Mszarne			
		Torfy amorficzne	Turzycowiskowe	Podział wg składu botanicznego, struktura kawałkowa		
			Szuwarowe			
		Torfy amorficzne	Olesowe	Bór – bagienne		
	Bór – bagienne					

Podobnie jak dla gruntów mineralnych, wytrzymałość gruntów organicznych jest funkcją naprężenia efektywnego działającego na grunt oraz historii obciążenia. Znormalizowana wytrzymałość na ścinanie gruntów organicznych jest zwykle większa niż gruntów mineralnych. Początkowo mała wytrzymałość na ścinanie gruntów organicznych w procesie konsolidacji ulega znacznemu zwiększeniu. Nieliniowy charakter przebiegu zależności wytrzymałości na ścinanie od naprężenia efektywnego obserwowany jest zarówno dla stanów naprężenia efektywnego w zakresie prekonsolidowanym, jak również w zakresie normalnej konsolidacji (Lechowicz 1992). Wynikające stąd naprężenie efektywne jest stosunkowo małe ze względu na wysoki poziom wody gruntowej i niewielką gęstość organicznych i nie poddanych ścisaniu gruntów.

Ścisłość gruntów organicznych, np. torfu, jest bardzo duża; nawet dla małych obciążeń osiadania są znaczące. W gruntach tych występują również znaczne odkształcenia pełzania rozwijające się w czasie. Są one w wielu przypadkach ze względów inżynierskich trudnym problemem do rozwiązania.

Bardzo włókniste i nie rozłożone grunty organiczne wykazują wyraźną anizotropię strukturalną. Włókna i szczątki roślin mają zwykle położenie poziome, a powierzchnia zniszczenia w takich gruntach przebiega zazwyczaj jako pionowa płaszczyzna złamania lub pozioma powierzchnia ścięcia równoległa do włókien (Wolski i in. 1989). Przepuszczalność początkowa gruntu jest stosunkowo duża, lecz znacząco maleje wraz z postępującym procesem ściśnięcia gruntu (Szymański 1982). Wpływ anizotropii strukturalnej maleje wraz z malejącą zawartością włókien i ze wzrostem stopnia humifikacji. Wzrostowi stopnia rozkładu towarzyszy spadek początkowej przepuszczalności gruntu.

Inżynierskie właściwości gruntów organicznych zależą więc od rodzaju substancji organicznej, jak również od zawartości części organicznych. Anizotropia strukturalna jest najbardziej wyraźna w torfach, ale występuje także i w innych gruntach organicznych, np. w gytii, gdzie ma znaczący wpływ na właściwości gruntu nawet przy stosunkowo małej zawartości części organicznych.

Problemy inżynierskie w gruntach organicznych bardziej rozłożonych, o małej przepuszczalności przypominają problemy napotymane w słabych gruntach mineralnych, ale są często bardziej złożone ze względu na dużą ściśłość, wzmożony wpływ pełzania, bardzo małe naprężenie efektywne i małą wytrzymałość na ścinanie.