

# ***Odkształcalność podłoża gruntowego***

## ***Compressibility & settlement***



# **Odształcalność ośrodków ciągłych i rozdrobnionych**

Każdy ośrodek odkształca się po zmianie układu i wartości działających nań sił. Ośrodki o budowie ciągłej (skały) odkształcają się stosunkowo niewiele, ale bardzo szybko). Odkształcenia te są praktycznie rzecz biorąc całkowicie odwracalne (jeżeli pozostają w zakresie odkształceń sprężystych i nie powodują utraty ciągłości ośrodka).

**Ośrodki rozdrobnione** (spękane skały, grunty) **odkształcają się stosunkowo dużo i wolno**, w zależności od spękania, porowatości i spójności utworów oraz wartości działających na nie sił. Odkształcenia te są tylko częściowo odwracalne.

Ośrodek rozdrobniony charakteryzuje się istnieniem dużych porów między ziarnami i małych sił wewnętrznych. Nieregularny układ ziaren i cząstek powoduje, że przy czystym ściskaniu niektóre elementy są bardziej obciążone, co prowadzi do wzajemnego **trwałego przemieszczenia ziarn i cząstek**, a więc do nieliniowych i najczęściej **nieodwracalnych odkształceń** ośrodka rozdrobnionego.

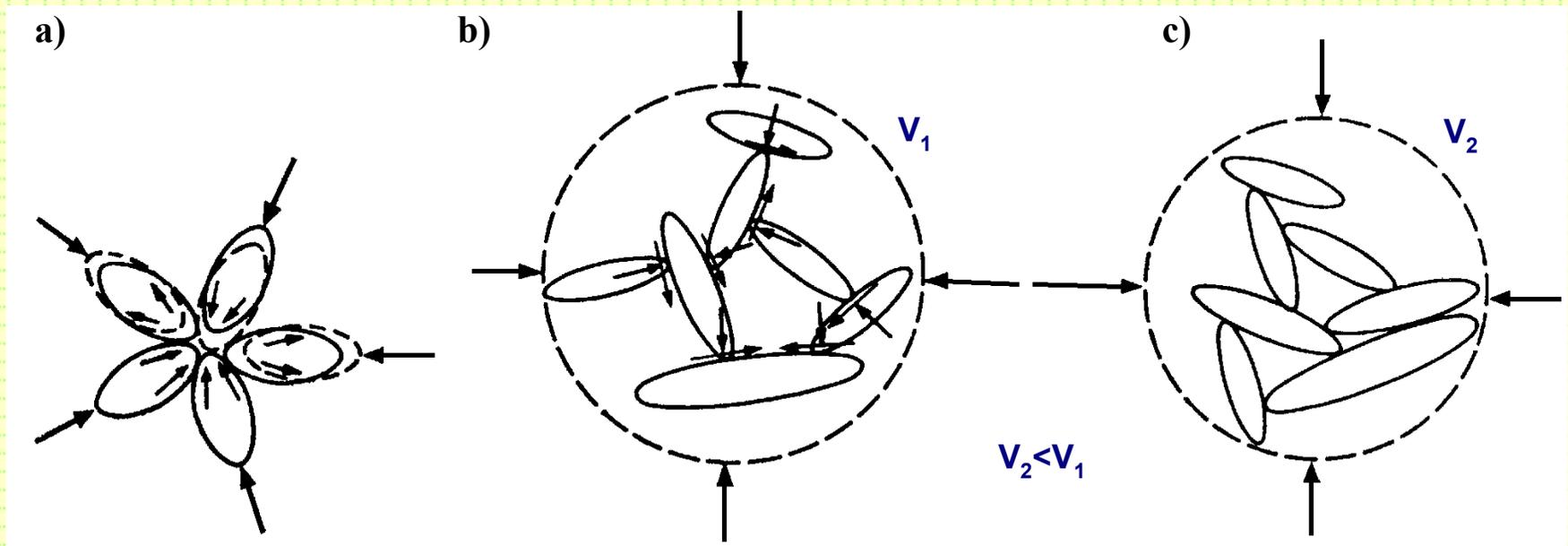
Należy także pamiętać, że w punktach kontaktu ziaren lub cząstek występują znacznie większe naprężenia obliczeniowe, odniesione do całego przekroju gruntu.



# Odształcalność ośrodków ciągłych i rozdrobnionych

Zależność **odkształcenia jednostkowego  $\varepsilon$**  i **naprężenia  $\sigma$**  w ciałach sprężystych (prawo **Hook'a**):

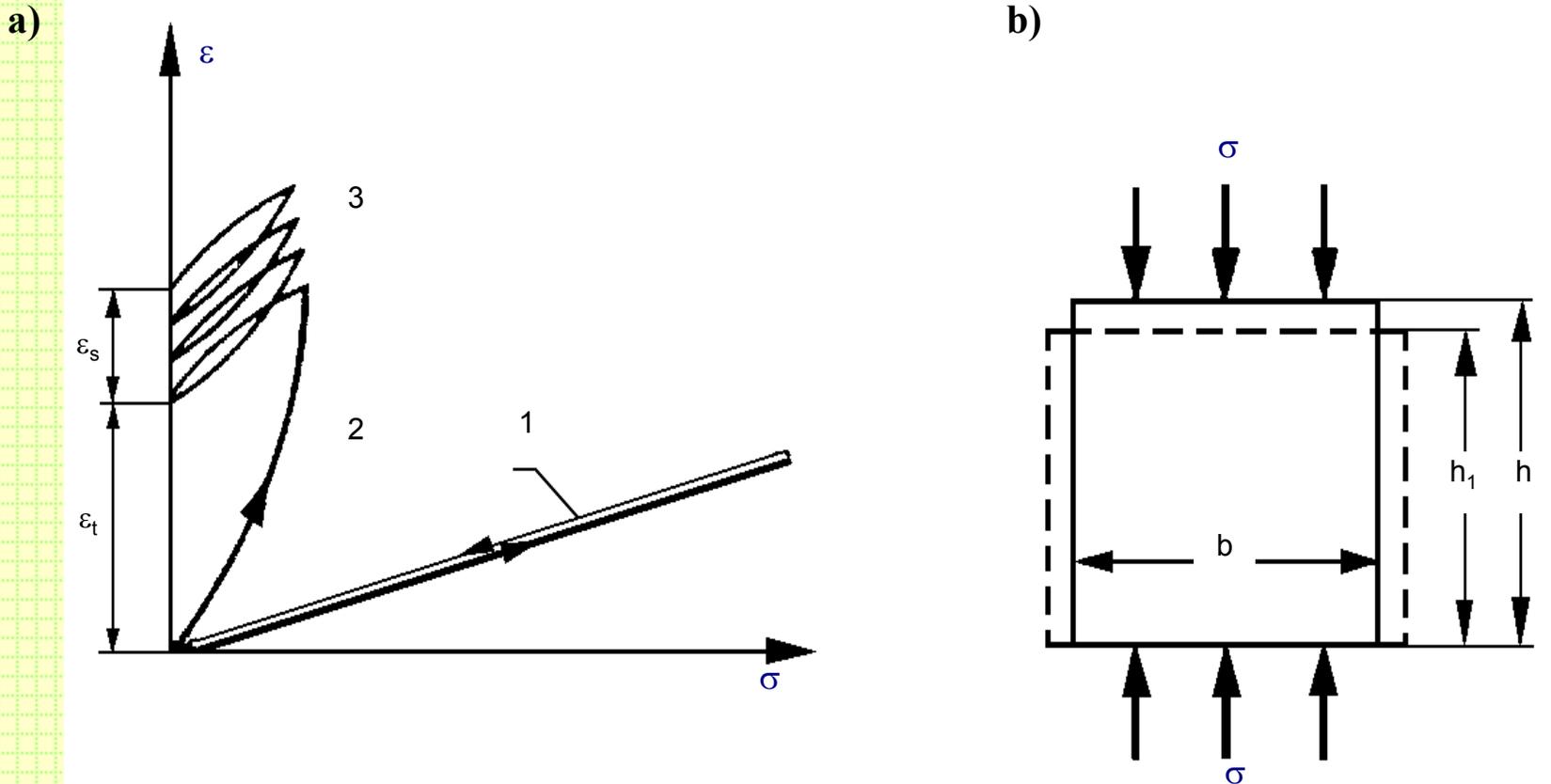
$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$



Zmiany układu ziaren i cząstek pod wpływem „czystego” ściskania;

a) w gruncie niespoistym, b) w gruncie spoistym, c) po obciążeniu i odkształceniu.

# Odształcalność ośrodków ciągłych i rozdrobnionych



Krzywe odkształcalności przy ściskaniu „prostym”; a) zależność  $\epsilon$  od  $\sigma$ ,

b) schemat obciążenia i odkształcenia; 1 – ośrodka ciągłego, 2 – ośrodka rozdrobnionego, 3 – wielokrotnie obciążonego ośrodka rozdrobnionego;  $\epsilon_s$  – odkształcenie jednostkowe sprężyste,  $\epsilon_t$  – odkształcenie trwałe.

# ***Odształcalność ośrodków ciągłych i rozdrobnionych***

W ośrodkach gruntowych między odkształceniami i naprężeniami nie ma zależności liniowej. Dla odróżnienia parametrów odkształcalności gruntów od ciał sprężystych wprowadzony został:

- **moduł odkształcenia  $E$**  – w warunkach jednoosiowego ściskania i swobodnej bocznej rozszerzalności gruntu
- **moduł ściśliwości  $M$**  – w warunkach jednoosiowego ściskania, lecz przy niemożliwej bocznej rozszerzalności próbki gruntu

Przy powtórnych obciążeniach i odciążeniach krzywe odkształcalności gruntu są powtarzalne i równoległe do siebie – można więc mówić o pewnej sprężystości gruntu.

Wyznaczone z tych krzywych moduły odkształceń nazywa się modułami odkształcenia wtórnego  $E$ , a uzyskane moduły odkształcenia przy pierwszym obciążeniu nazywa się modułami odkształcenia pierwotnego  $E_o$ .



# Ściśliwość gruntów

**Ściśliwość** to cecha gruntu polegająca na zmniejszaniu się jego objętości pod wpływem przyłożonego obciążenia.

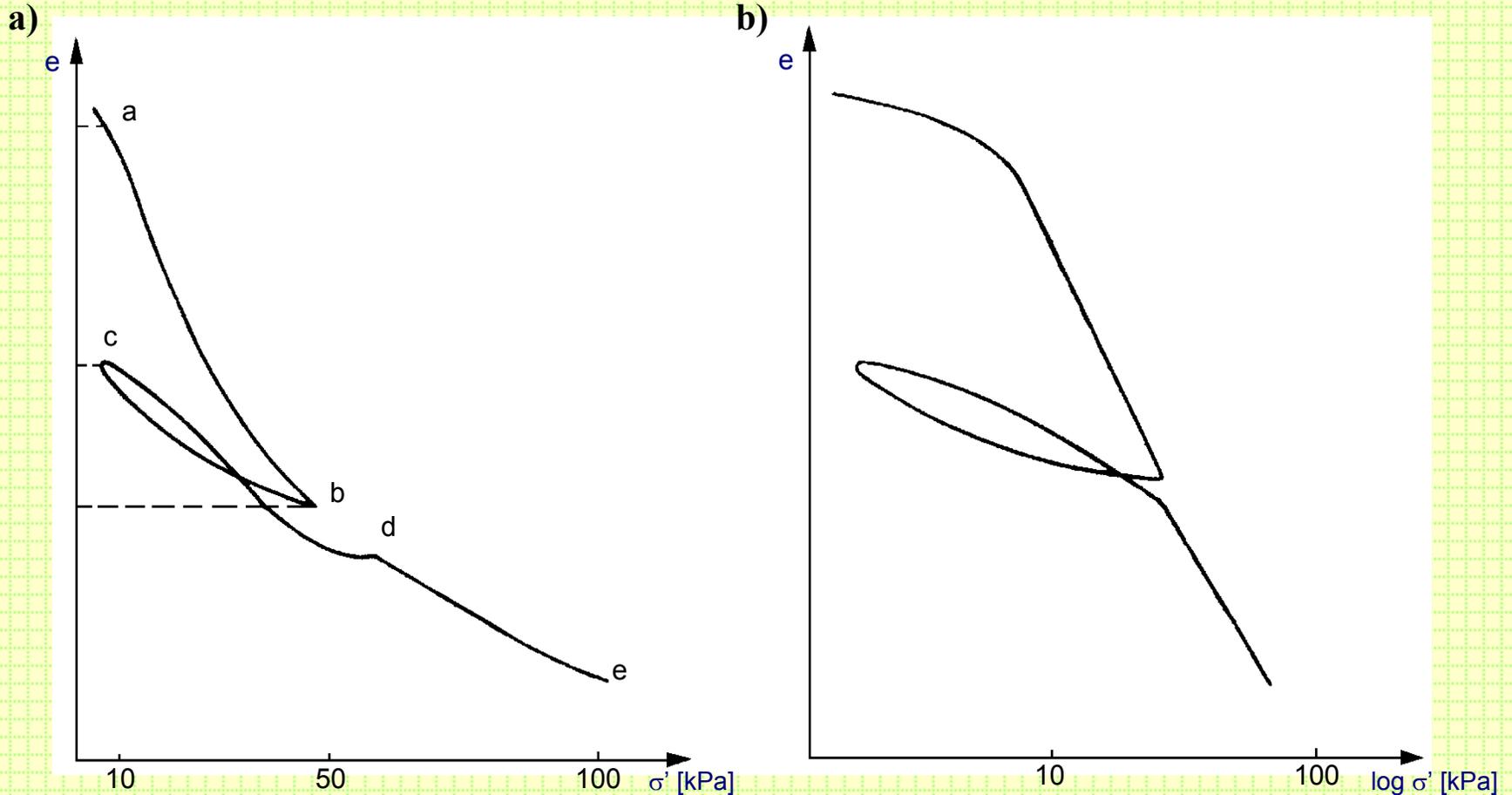
**Odprężenie** to zwiększenie objętości gruntu wskutek zmniejszenia obciążenia (wynik odkształceń sprężystych)

**Konsolidacja** to proces równoczesnego zmniejszania się zawartości wody i objętości porów w gruntach pod wpływem przyrostu naprężeń. (Jeżeli pory są całkowicie wypełnione wodą, lecz jej odpływ jest niemożliwy, to przyłożone obciążenie powoduje zwiększenie ciśnienia wody w porach, nie powodując wzrostu naprężenia efektywnego  $\sigma'$ . Cząstki gruntu nie ulegają przesunięciu i konsolidacja nie występuje).

Ściśliwość gruntu opisuje się zależnością porowatości od naprężenia. Od historii naprężenia zależy kształt krzywej ściśliwości gruntów spoistych. Wyróżnia się grunty:

➤ **normalnie skonsolidowane** takie, w których obecnie występujące w gruncie naprężenie efektywne jest największe ze wszystkich, jakie dotychczas w danym gruncie wystąpiły. Kształt krzywej ściśliwości jest prostoliniowy (lub zbliżony); i nosi ona nazwę **pierwotnej**.

# Ścisłość gruntów



Krzywa ścisłości:

a) w podziałce liniowej, b) w podziałce półlogarytmicznej.

# Ścisłość gruntów

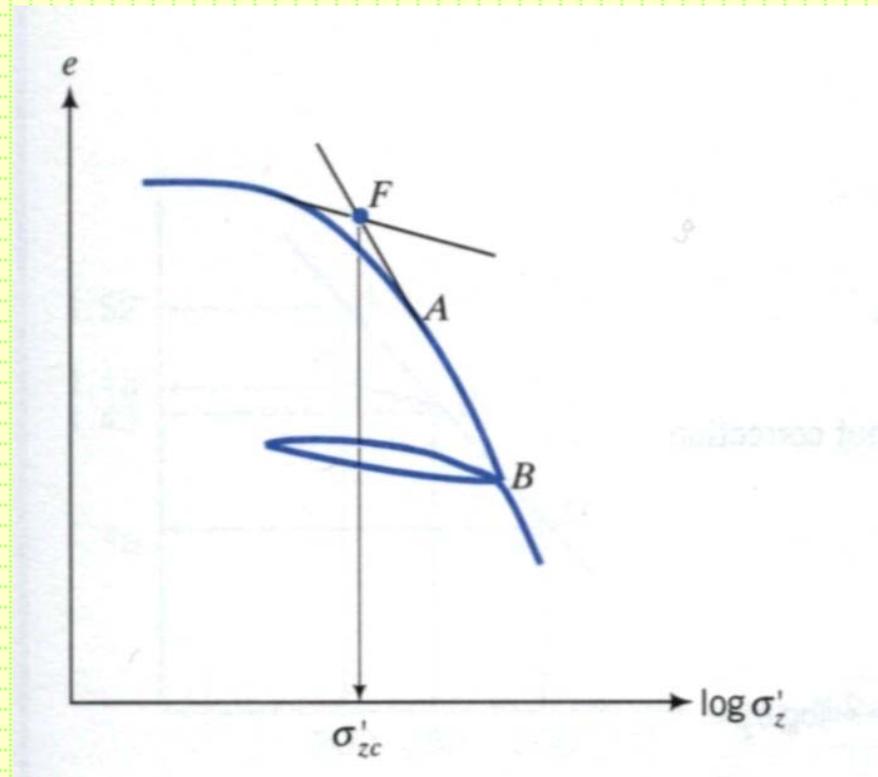
➤ **prekonsolidowane** takie, które przenosiły już w swej historii większe naprężenia, (np. teren obciążony był lodowcem albo warstwami gruntu, następnie wyerodowanymi przez rzekę). Krzywa ścisłości w podziałce półlogarytmicznej będzie miała kształt zakrzywiony.

**Współczynnikiem prekonsolidacji** nazywa się stosunek największej wartości naprężenia efektywnego  $\sigma_{zc}'$ , które wystąpiło w gruncie w przeszłości, do wartości naprężenia od ciężaru własnego występującego obecnie  $\sigma_0'$

$$OCR = \frac{\sigma_{zc}'}{\sigma_0'}$$

$OCR = 1$  - grunty normalnie skonsolidowane

$OCR > 1$  - grunty prekonsolidowane





# Ścisłość gruntów

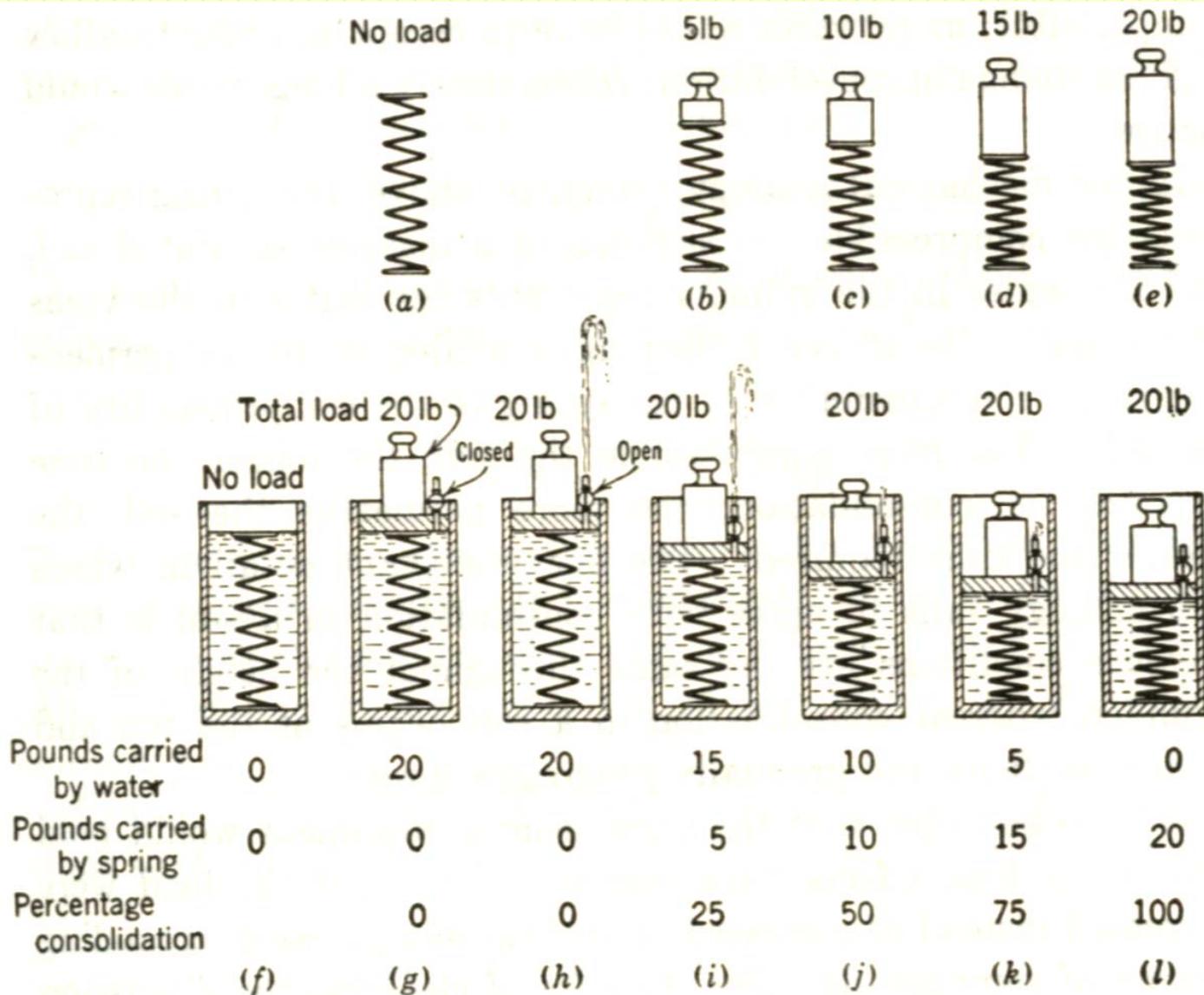


FIG. 10-8 The piston and spring analogy.

# Ścisłość gruntów

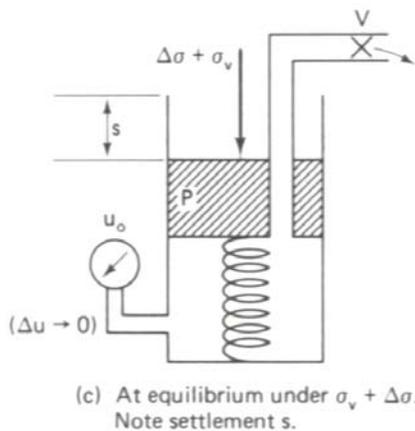
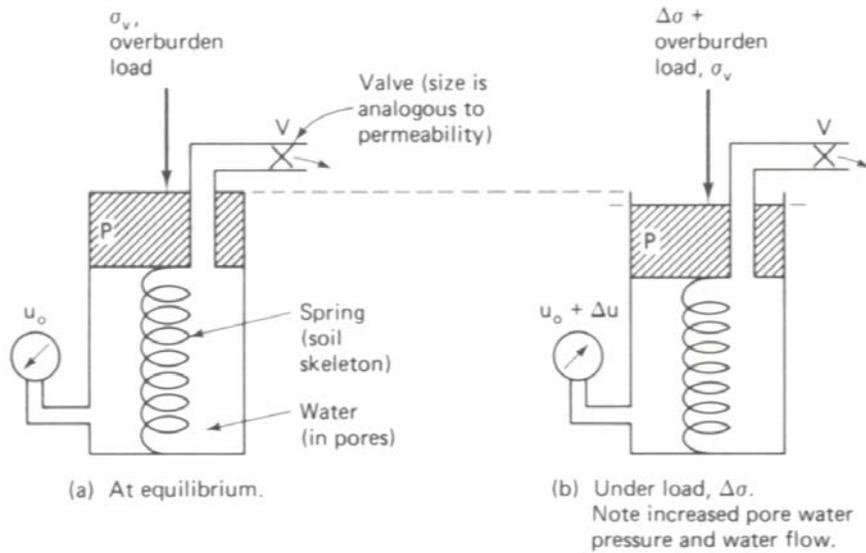
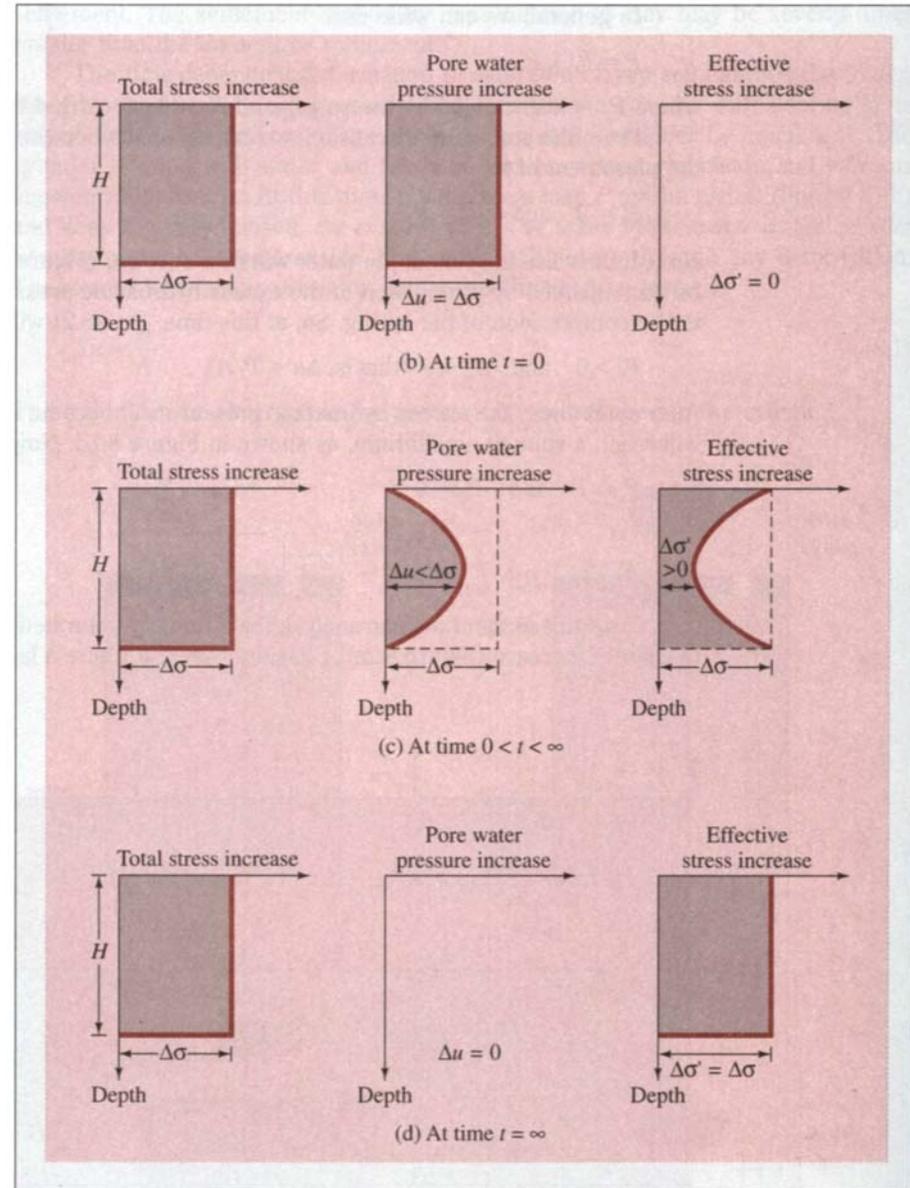
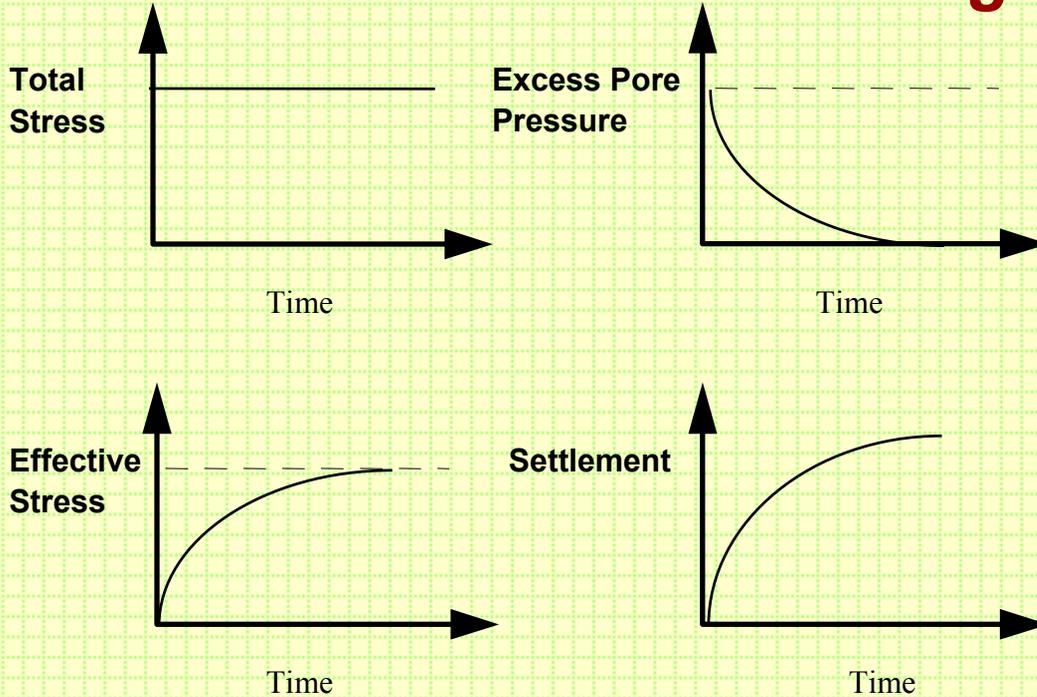


Fig. 8.2 Spring analogy as applied to consolidation.



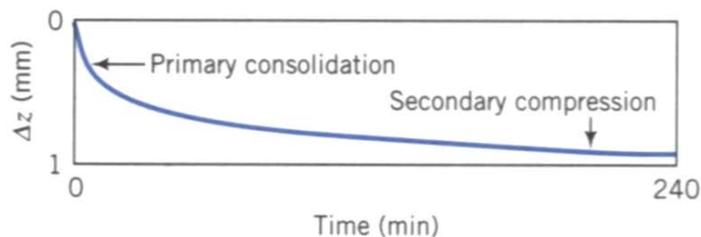
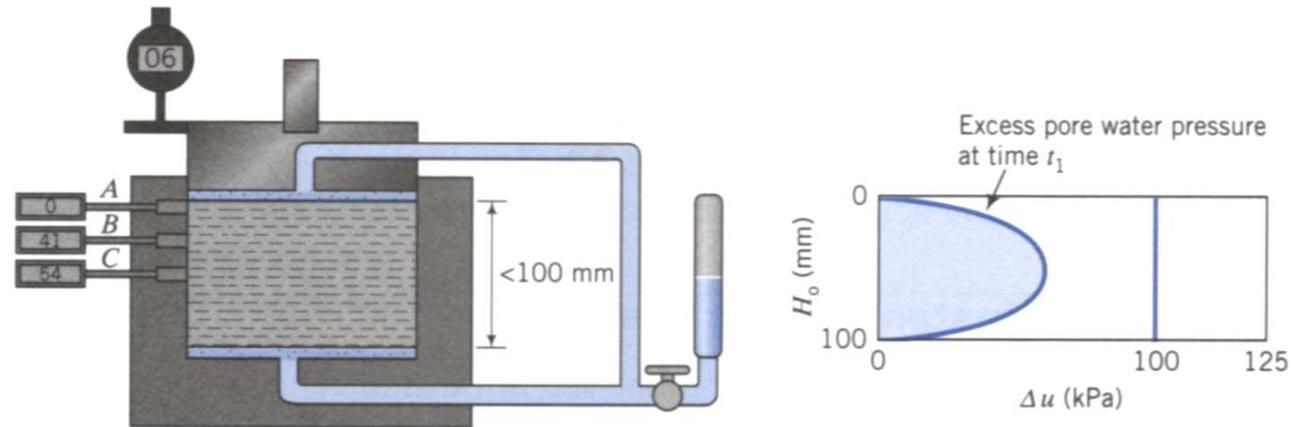
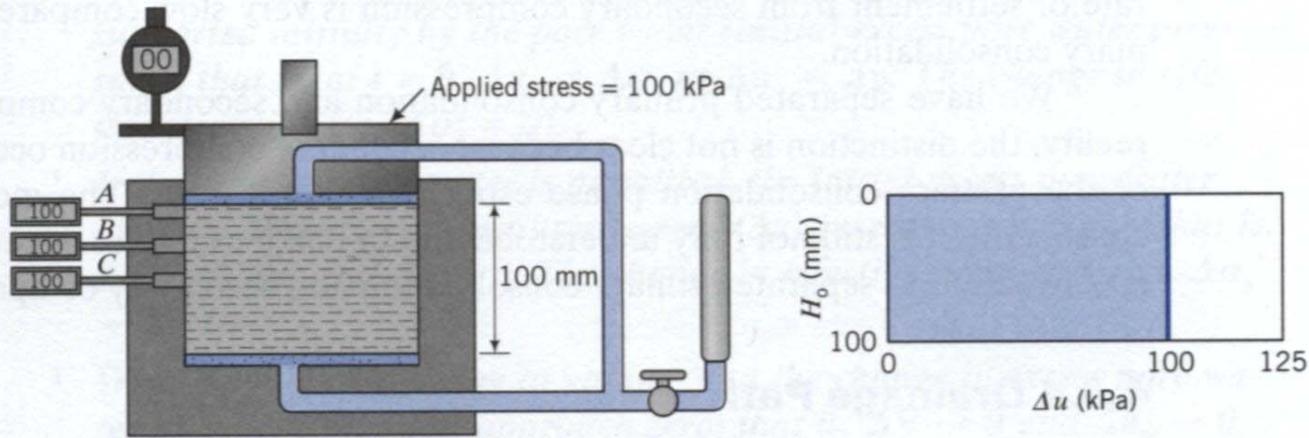
# Ścisłość gruntów



Grunty ścisłe mają bardzo małą wodoprzepuszczalność i proces konsolidacji (a także procesy pęcznienia lub odprężenia) przebiegają w nich bardzo powoli. Powolnemu odkształcaniu się tych gruntów towarzyszy (po ich odciążeniu) zmiana naprężeń efektywnych w szkielecie gruntu i ciśnień w wodzie i porach gruntu.

Bezpośrednio po zwiększeniu obciążenia gruntu cały przyrost nacisku przejmuje woda w porach gruntu jako nadciśnienie, a przyrost naprężeń efektywnych jest znikomy. W miarę upływu czasu nadciśnienie w wodzie maleje wskutek odpływu wody poza strefę obciążoną. Jednocześnie następuje przyrost naprężeń efektywnych w szkielecie gruntu. Po zakończeniu procesu konsolidacji ciśnienie w wodzie jest równe ciśnieniu hydrostatycznemu, jakie istniało przed zwiększeniem obciążenia gruntu, a naprężenia efektywne zwiększają się o cały przyrost nacisku na grunt.

# Ścisłość gruntów



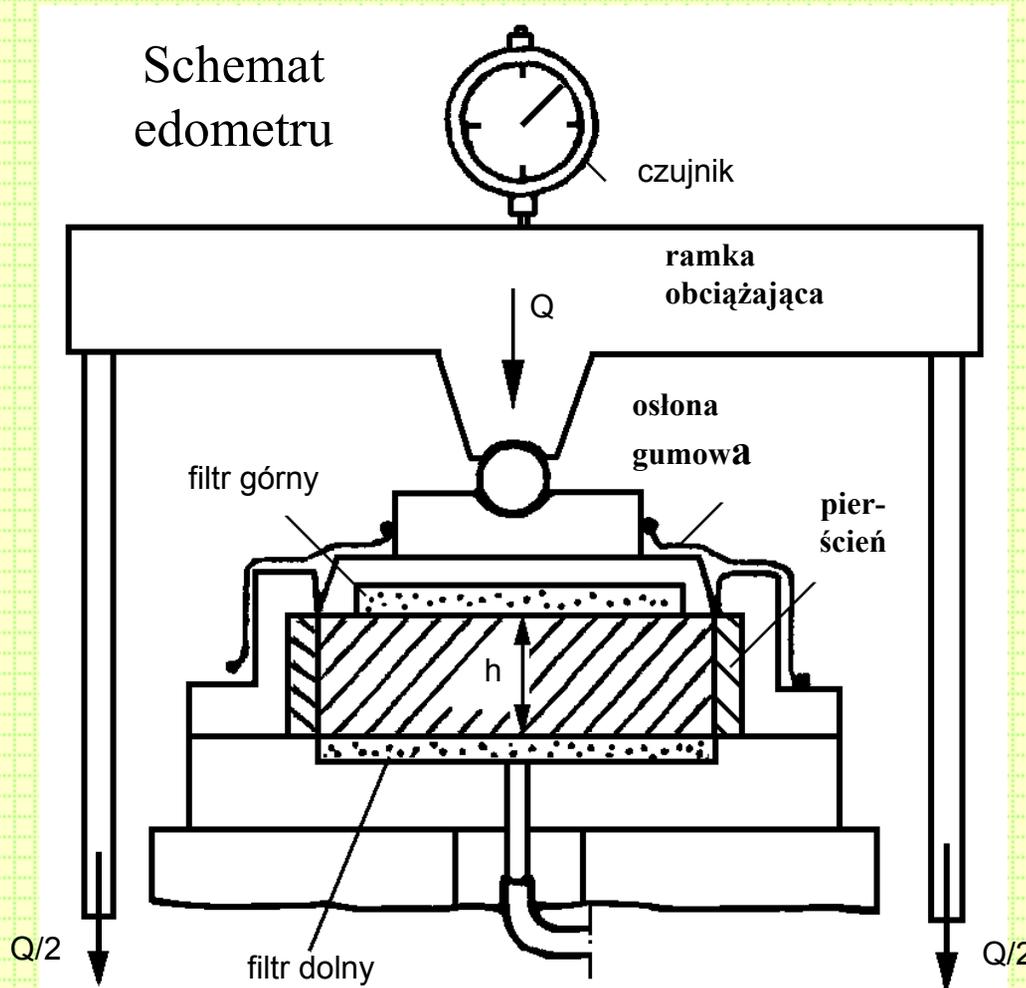
$H_0$  = height of soil (mm)  
 $\Delta z$  = change in height (mm)  
 $\Delta u$  = change in excess pore water pressure (kPa)

Konsolidacja  
(pierwotna)  
filtracyjna

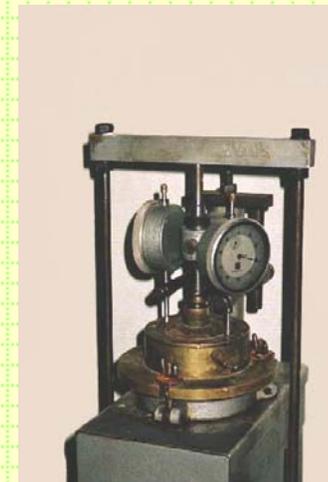
Konsolidacja  
strukturalna  
(wtórna)

# Ścisłość gruntów

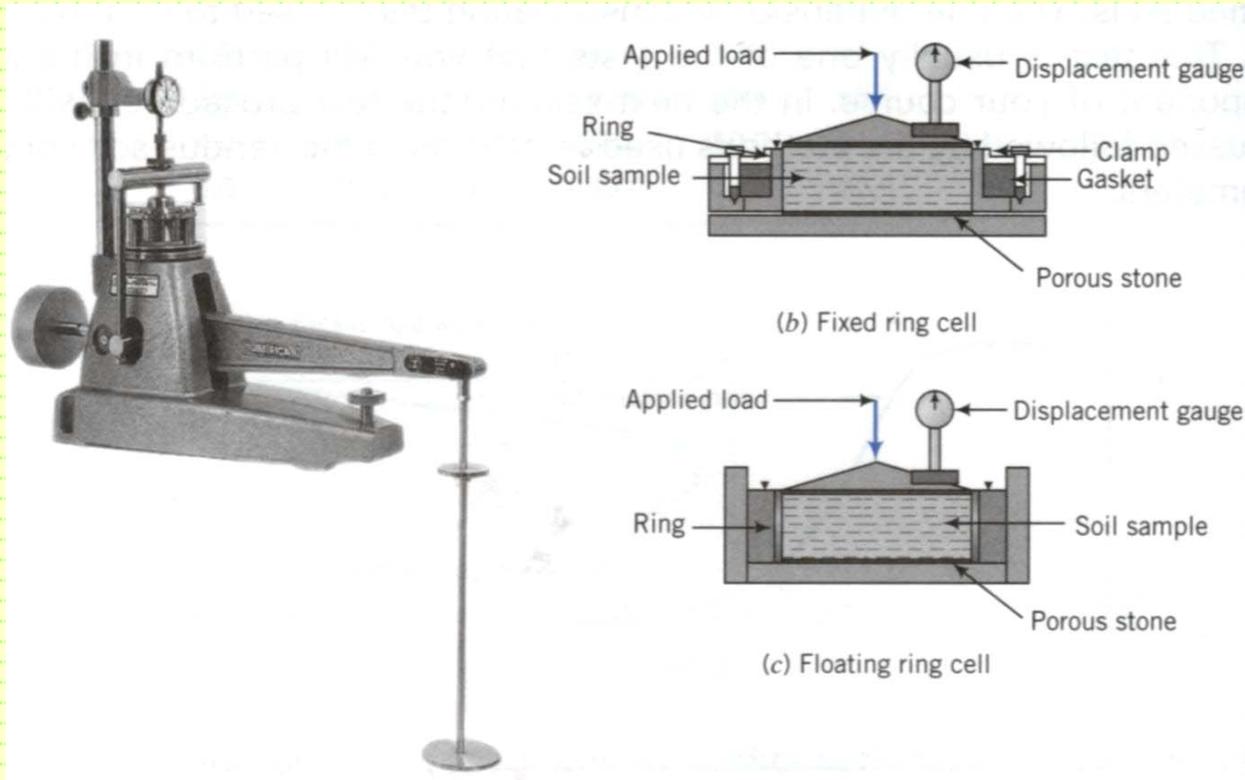
Zachowanie się gruntu pod obciążeniem lub po odciążeniu bada się w laboratorium **edometrem** lub **konsolidometrem**.



Badanie ścisłości gruntu w edometrze jest badaniem modelowym – polega na stopniowym obciążaniu próbki gruntu umieszczonej w metalowym pierścieniu, a więc w warunkach uniemożliwiających boczną rozszerzalność próbki.



# Ścisłość gruntów



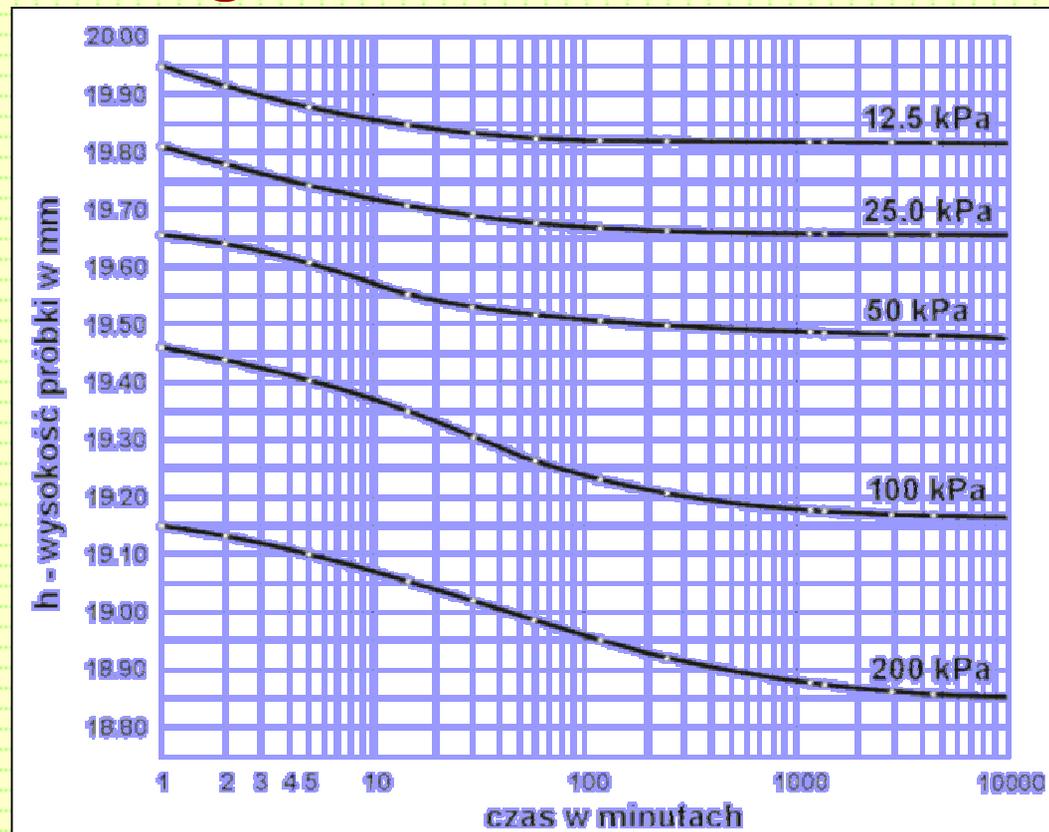
Warunki badania gruntu w edometrze w dość dużym stopniu odpowiadają warunkom pracy elementu gruntu w naturze pod dużym fundamentem, gdzie boczna rozszerzalność każdego elementu jest również częściowo ograniczona sąsiednimi elementami gruntu.

# Ścisłość gruntów

Badania ścisłości gruntów w edometrach przeprowadza się obciążając próbkę stopniowo, tj. zwiększając obciążenie za każdym razem dwukrotnie w stosunku do poprzedniego (np. 12.5 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa). Odczyty osiadania notuje się po upływie czasów: 30", 1', 2', 4', 6', 8', 30' oraz po 1, 2, 4, 19 i ewentualnie po 24 h.

Bardzo duży wpływ na przebieg ścisłości ma wartość stopni

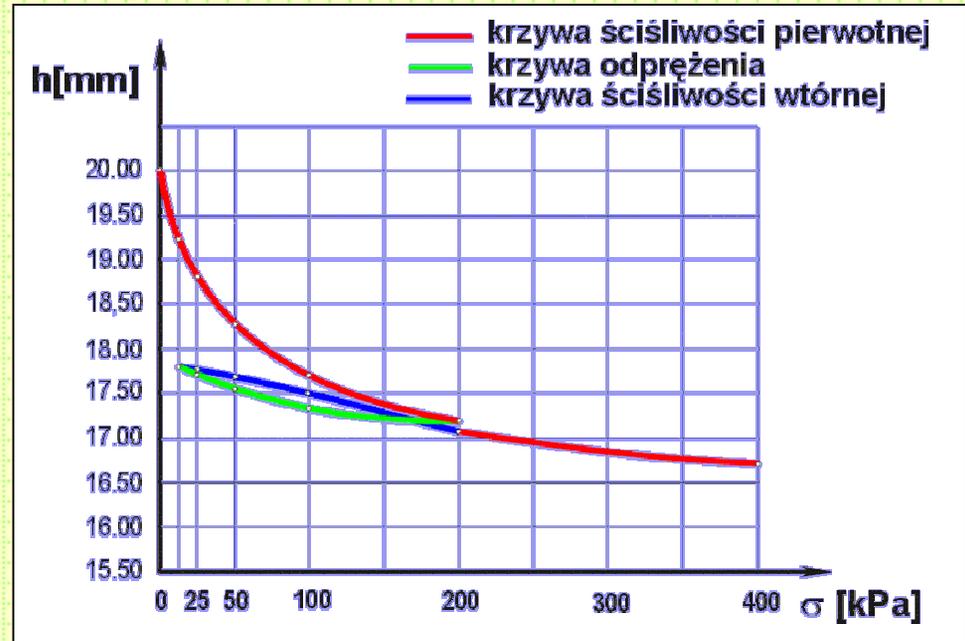
obciążeń. Im większy stosuje się skok obciążeń, tym większą otrzymuje się ścisłość. Prawdopodobnie jest to wywołane powstaniem zbyt dużych naporów w wodzie porowej, co powoduje duże spadki hydrauliczne i może niszczyć układ naturalny szkieletu gruntowego i zwiększać osiadania.



# Ścisłość gruntów

Mając wartości osiadań przy każdym stopniu obciążenia sporządza się wykres ścisłości (lub odprężenia) gruntu.

Badając w edometrze ścisłość pasty gruntowej uzyskujemy krzywą ścisłości pierwotnej. Przerywając przy pewnym nacisku dalsze obciążenie uzyskujemy krzywą odprężenia.



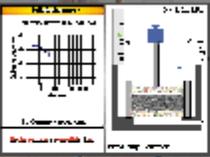
Przechodzi ona znacznie poniżej krzywej ścisłości pierwotnej. Po powtórnych obciążeniach krzywa ścisłości wtórnej początkowo przebiega ponad krzywą odprężenia, potem przecina ją tworząc pętlę histerezy i następnie wpisuje się w kierunek pierwotnej krzywej ścisłości.

Nachylenie krzywej ścisłości wtórnej jest znacznie mniejsze niż nachylenie krzywej ścisłości pierwotnej, co oznacza, że grunt po obciążeniu wtórnym jest mniej ścisły niż po obciążeniu po raz pierwszy.



# Ściśliwość gruntów

University of Wisconsin-Stout  
Department of Physics



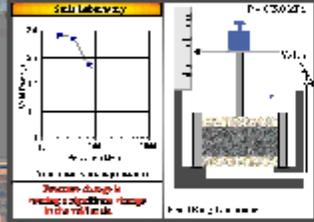
**Time of Soil Settlement**

Produced by  
Alan J. Scott

Project funded by a Nakatani Instructional Technologies Grant, UW-Stout

COPYRIGHT © 1998 BY ALAN J. SCOTT UW-STOUT

University of Wisconsin-Stout  
Department of Physics



**Soil Consolidation Curve**

Produced by  
Alan J. Scott

Project funded by a Nakatani Instructional Technologies Grant, UW-Stout

COPYRIGHT © 1998 BY ALAN J. SCOTT UW-STOUT

# Ścisłość gruntów

Wartość **edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej** określa się

ze wzoru:

$$M_{0i} = \frac{\Delta \sigma'_i}{\frac{\Delta h_i}{h_i}} = \frac{\Delta \sigma'_i h_i}{\Delta h_i}$$

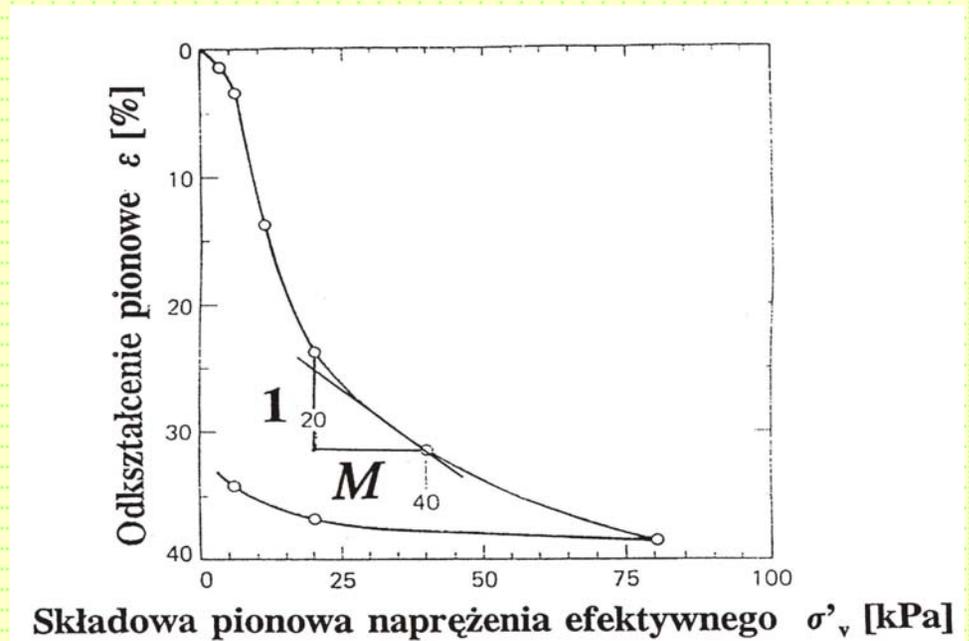
gdzie:

$\Delta \sigma'$  – przyrost naprężenia efektywnego w szkielecie gruntu

$\frac{\Delta h_i}{h_i}$  - skrócenie jednostkowe próbki gruntu według krzywej ścisłości pierwotnej, przy czym  $\Delta h_i$  jest osiadaniem próbki na skutek zwiększenia naprężenia efektywnego o  $\Delta \sigma'_i$ .

$h_i$  - grubość próbki gruntu przed zwiększeniem naprężenia o  $\Delta \sigma'_i$ .

Moduły ścisłości wtórnej określa się także z powyższego wzoru przyjmując  $\Delta h_i$  oraz  $h_i$  z krzywej ścisłości wtórnej.



# Ścisłość gruntów

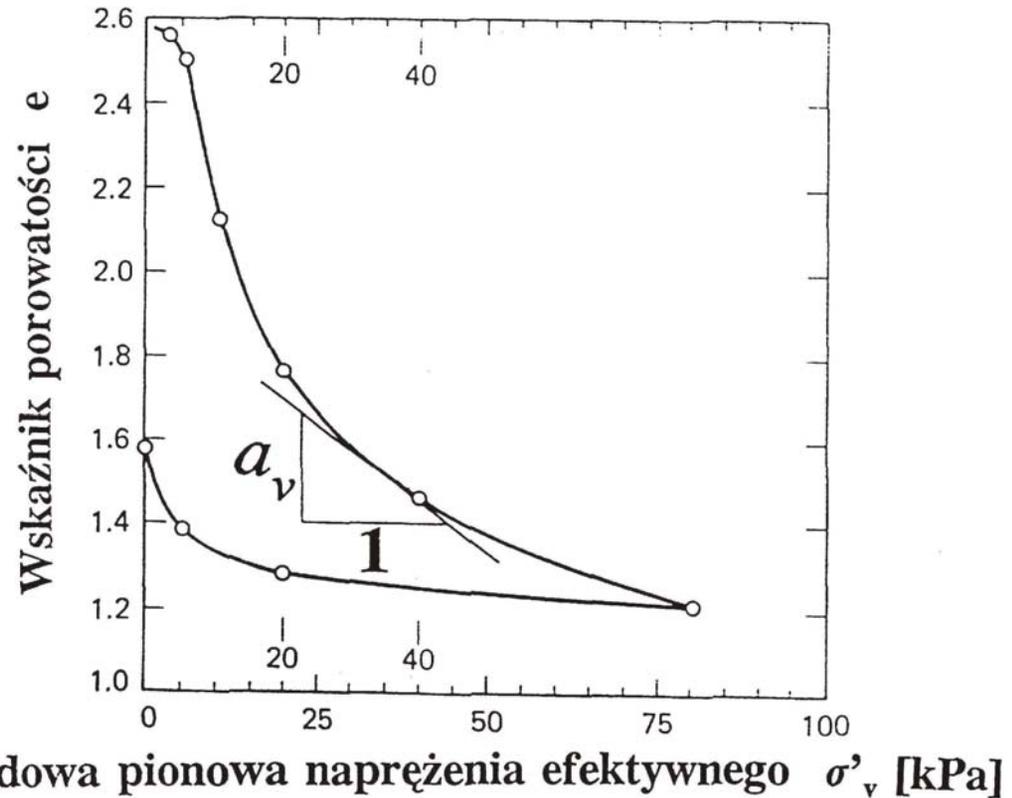
Ścisłość podłoża można także określić za pomocą **współczynnika ścisłości**  $a_v$ , który obrazuje zależność zmiany wskaźnika porowatości od zmiany obciążenia gruntu w warunkach niemożliwej jego rozszerzalności bocznej (np. w edometrze).

$$a_v = \frac{\Delta e_i}{\Delta \sigma_i}$$

gdzie:

$\Delta e_i$  – zmiana wskaźnika porowatości przy zmianie naprężenia w gruncie o  $\Delta \sigma_i$ .

$$M_{0i} = \frac{\Delta \sigma'_i h_i}{\Delta h_i} = \frac{\Delta \sigma'_i (1 + e_o)}{\Delta e_i} = \frac{1 + e_o}{a_v}$$



# Ścisłość gruntów

W literaturze angielskojęzycznej rozpowszechniony jest **współczynnik ścisłości objętościowej** (współczynnik zmiany objętości gruntu)  $m_v$ :

$$m_v = \frac{1}{M} = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \sigma'} = \frac{\Delta h}{\Delta \sigma' \Delta h_0} = \frac{e_0 - e_1}{(1 + e_0) \Delta \sigma'}$$

Pomiędzy **modułem odkształcenia E** i **edometrycznym modułem ścisłości** występuje następująca zależność:

$$M = E \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

# Ścisłość gruntów

**Konsolidacja** to proces polegający na odkształceniu gruntu spoistego wskutek przyłożonego obciążenia równocześnie z rozpraszaniem się nadwyżki ciśnienia wody  $\Delta u$ . Proces ten związany jest z odpływem z gruntu wody (zmniejsza się jej objętość w porach), a zatem zależy od filtracyjnych właściwości gruntu.

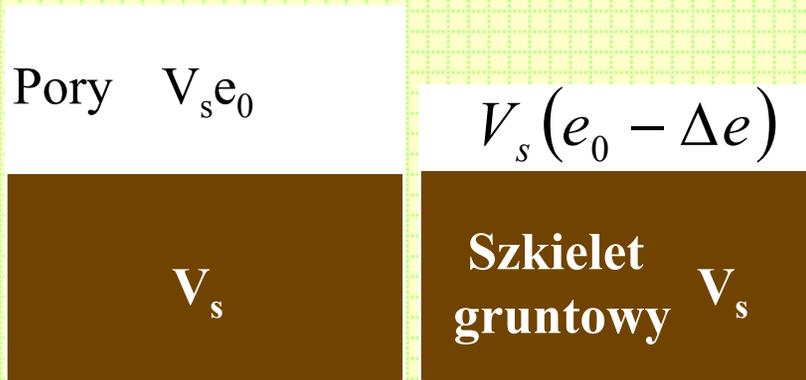
## Etapy procesu konsolidacji:

- **ściśłość natychmiastowa lub początkowa**; odkształcenie to występuje w chwili przyłożenia obciążenia,
- **konsolidacja pierwotna** odpowiadająca procesowi konsolidacji wg teorii *Terzaghiego*; proces odkształcenia jest w tym etapie uwarunkowany odpływem wody,
- **ściśłość wtórna**, występująca po rozproszeniu nadwyżki ciśnienia wody w porach spowodowanej obciążeniem; proces ten postępuje przy stałym naprężeniu efektywnym.



# Ścisłość gruntów

AB – krzywa obciążenia wtórnego,  
 BC – krzywa odprężenia  
 CD – krzywa obciążenia pierwotnego  
 (oznacza że grunt był w przeszłości geologicznej obciążony do punktu B).

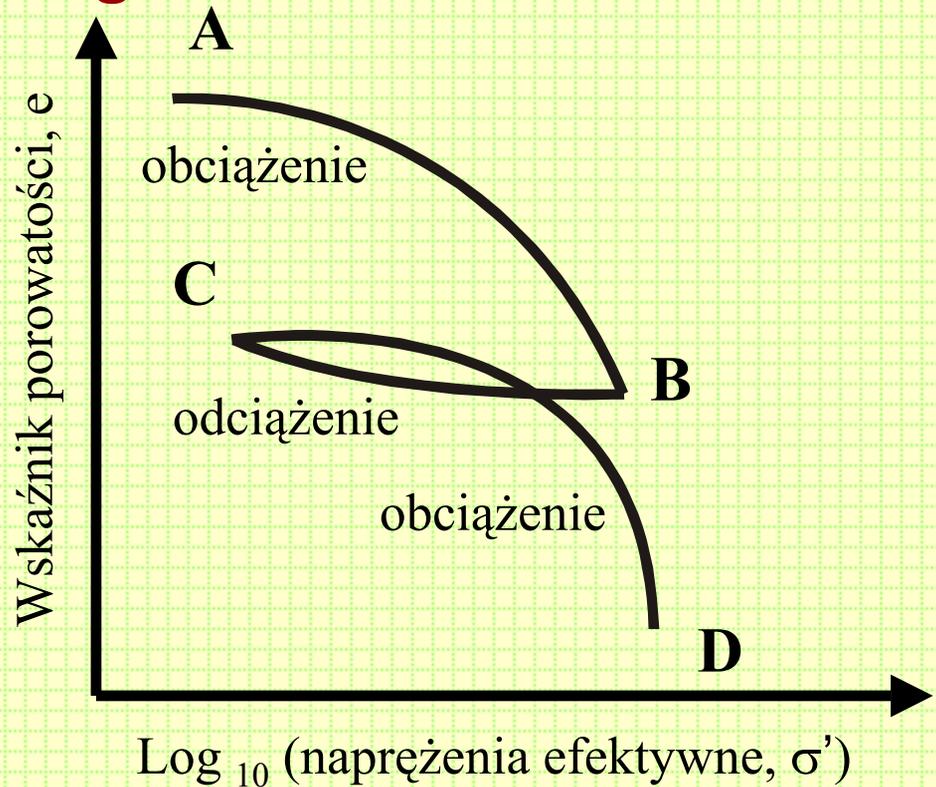


Przed obciążeniem

Po obciążeniu

Odształcenie próbki gruntu:

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta e V_s}{(1 + e_0) V_s}$$



$$\begin{aligned} e &= e_0 - \Delta e = e_0 - \varepsilon_z (1 + e_0) = \\ &= 1 + e_0 - \varepsilon_z (1 + e_0) - 1 = \\ &= (1 - \varepsilon_z)(1 + e_0) - 1 \end{aligned}$$

# Ścisłość gruntów

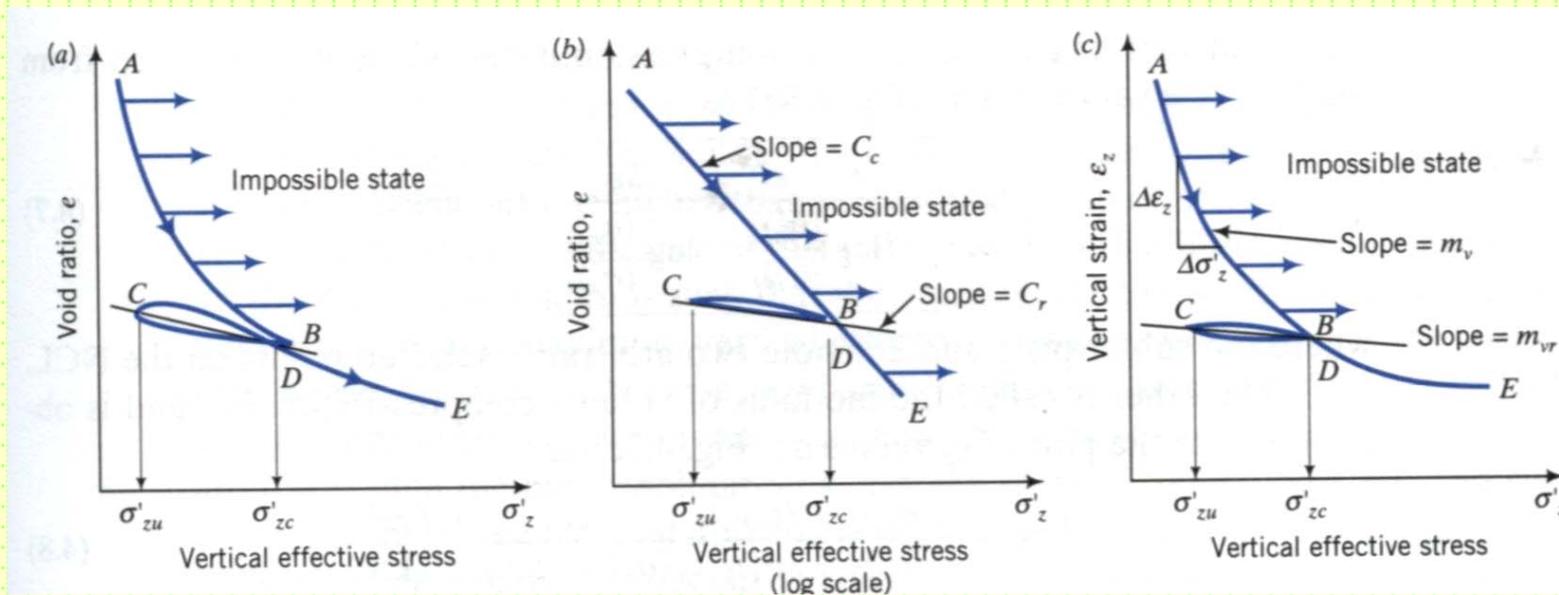
**Napężenie prekonsolidacyjne (pierwotne)** jest to największe napężenie, które było kiedykolwiek wcześniej przyłożone do elementu gruntu (oznaczenia  $\sigma'_{zc}$ ,  $\sigma'_c$ )

Grunt jest **prekonsolidowany (OC)** jeżeli:

Aktualne napężenie efektywne < napężenie prekonsolidacyjne

Grunt jest **normalnie skonsolidowany (NC)** jeżeli:

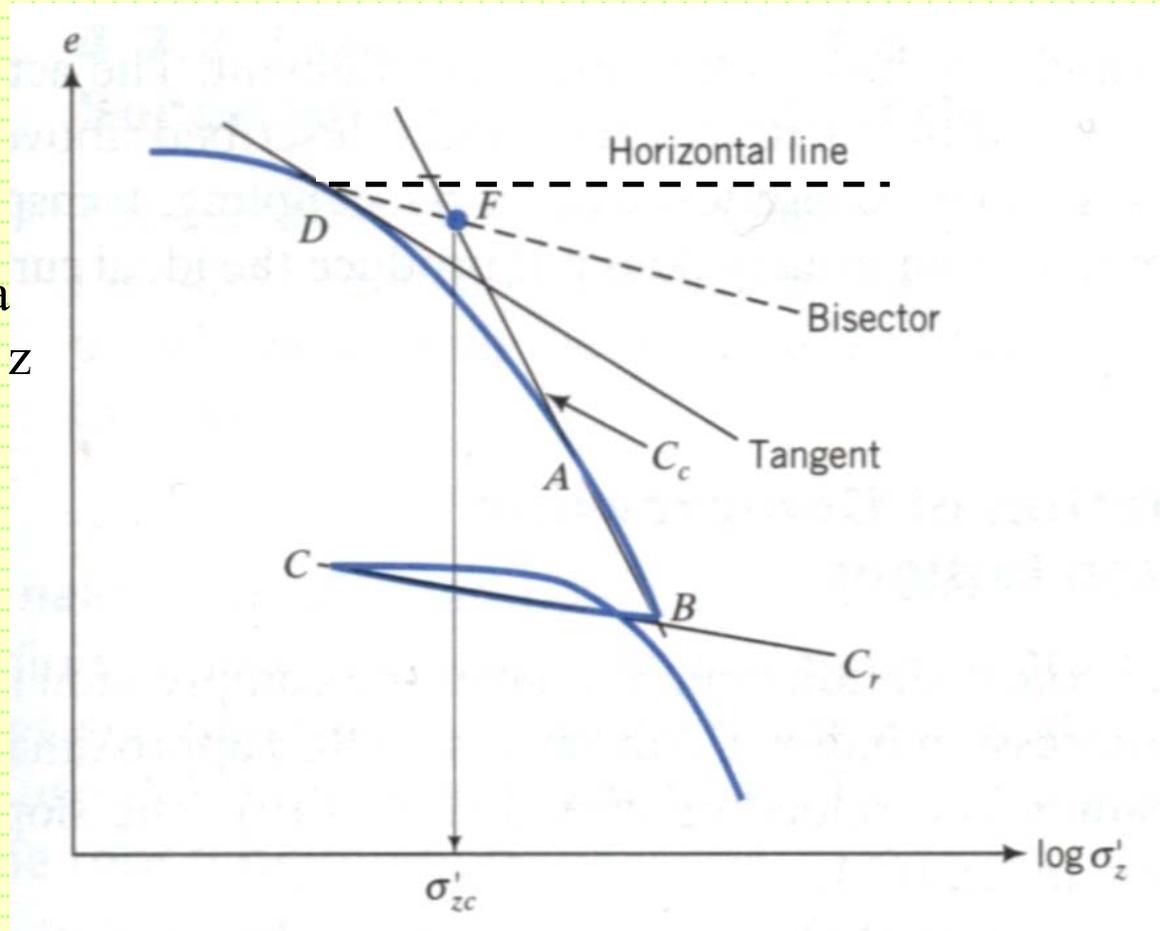
Aktualne napężenie efektywne = napężenia prekonsolidacyjne



# Ścisłość gruntów

1. Wyznaczyć punkt o największej krzywiznie (D).
2. Narysować linię poziomą z punktu D.
3. Narysować styczną do krzywej w punkcie D.
4. Narysować dwusieczną kąta wyznaczonego przez proste z p. 3 i 4.
5. Narysować styczną do krzywej AB.
6. Przecięcie stycznej do krzywej AB i dwusiecznej daje punkt F wyznaczający napężenie prekonsolidacyjne

## Metoda Casagrande wyznaczania napężenia prekonsolidacyjnego

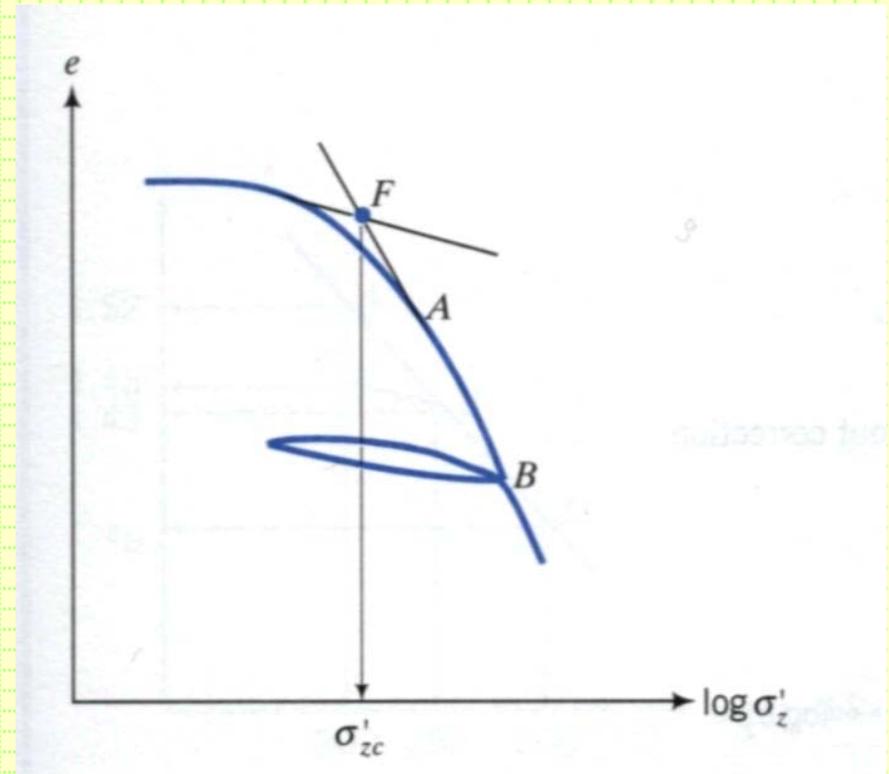




# Ścisłość gruntów

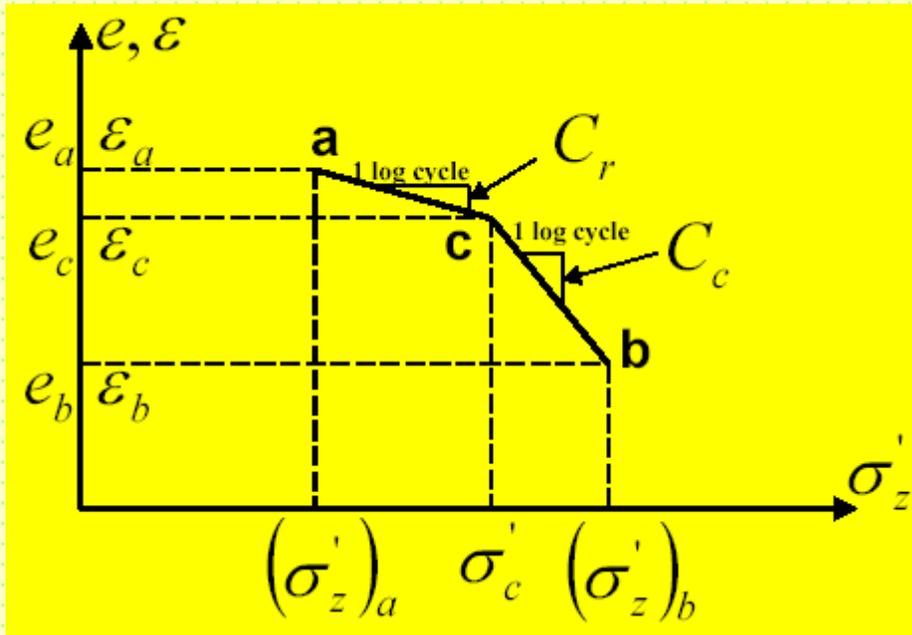
## Metoda uproszczona wyznaczania naprężenia prekonsolidacyjnego

A simple method is that is also used in practice is to project the straight portion of the initial recompression curve to intersect the backward projection of the normal consolidation line at F as shown in the figure below. The abscissa of F is  $\sigma'_{zc}$ .



Both of these methods are based on **individual judgment**. The actual value of  $\sigma'_{zc}$  for real soils **is more difficult** to ascertain than described above. Degradation of the soil from its intact condition caused by **sampling, transportation, handling, and sample preparation** usually does not produce the **ideal curve** shown above.

# Ścisłość gruntów



$C_c$  – wskaźnik ścisłości gruntu,

$C_r$  – wskaźnik ścisłości gruntu przy powtórny obciążeniu

$$\frac{1}{C_{10}} = \frac{C_c}{1 + e_0} \quad C_{10} = \frac{C}{2.3}$$

$C, C_{10}$  – stałe ścisłości

$$C_r = \frac{e_a - e_c}{(\log \sigma'_c) - (\log \sigma'_z)_a}$$

$$\frac{C_r}{1 + e_0} = \frac{(\varepsilon_z)_c - (\varepsilon_z)_a}{(\log \sigma'_c) - (\log \sigma'_z)_a}$$

$$C_c = \frac{e_c - e_b}{(\log \sigma'_z)_b - (\log \sigma'_c)}$$

$$\frac{C_c}{1 + e_0} = \frac{(\varepsilon_z)_b - (\varepsilon_z)_c}{(\log \sigma'_z)_b - (\log \sigma'_c)}$$

# Ścisłość gruntów

## Ścisłość gruntów normalnie skonsolidowanych

Dla gruntów normalnie skonsolidowanych przyjmuje się:

$$\sigma'_{z0} \cong \sigma'_c$$

Oznacza to, że obciążenie początkowe jest równe naprężeniu prekonsolidacyjnemu.

Odształcenie pionowe elementu gruntu:

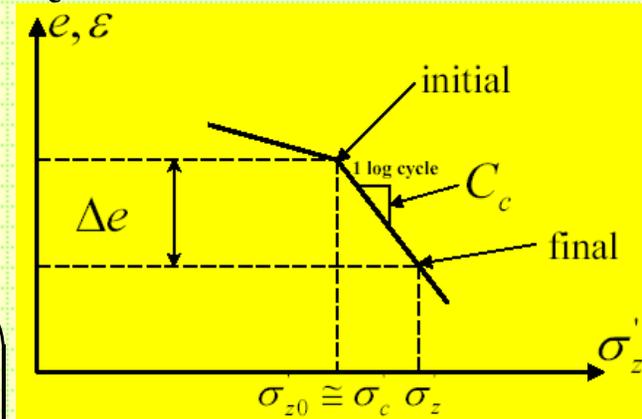
$$\varepsilon_z = \frac{C_c}{1 + e_0} \log \left( \frac{\sigma'_z}{\sigma'_{z0}} \right) \quad \varepsilon_z = -\frac{1}{C} \log \left( \frac{\sigma'_z}{\sigma'_{z0}} \right)$$

Przemieszczenie pionowe (osiadanie) elementu gruntu:

$$S = \int \varepsilon_z dz = \int \frac{C_c}{1 + e_0} \log \left( \frac{\sigma'_z}{\sigma'_{z0}} \right) dz$$

Praktycznie dla rozwiązywania wszystkich problemów geotechnicznych wystarczający jest podział gruntu na skończoną ilość warstw, obliczenie osiadań dla środka każdej warstwy i zsumowanie osiadań wg wzoru:

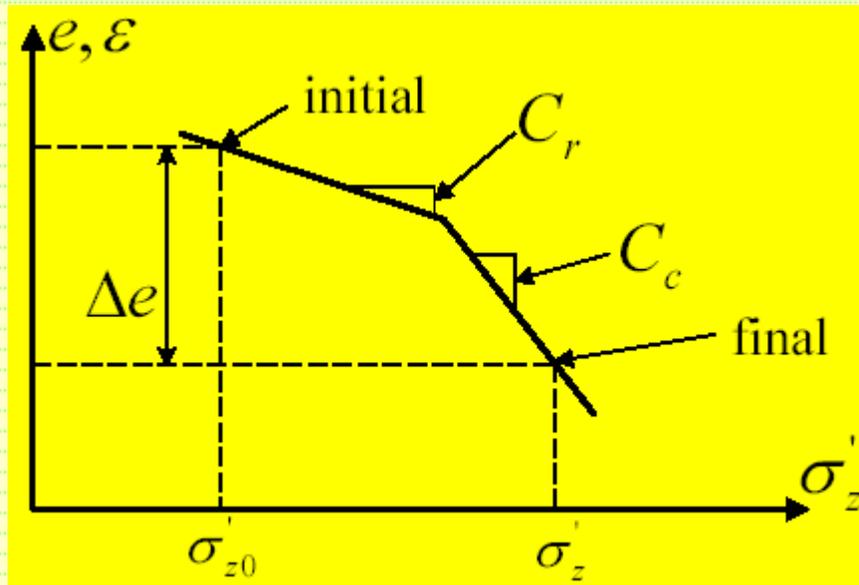
$$S = \sum \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left( \frac{\sigma'_z}{\sigma'_{z0}} \right)$$



# Ścisłość gruntów

## Ścisłość gruntów prekonsolidowanych

Dla gruntów normalnie prekonsolidowanych należy uwzględnić, że proces konsolidacji obejmuje zarówno krzywą osiadania wtórnego jak i pierwotnego.



Praktycznie dla rozwiązywania wszystkich problemów geotechnicznych wystarczający jest podział gruntu na skończoną ilość warstw, obliczenie osiadań dla środka każdej warstwy i zsumowanie osiadań wg wzoru:

$$S = \sum \left[ \frac{C_r}{1 + e_0} H \log \left( \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{z0}} \right) + \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left( \frac{\sigma'_z}{\sigma'_c} \right) \right]$$

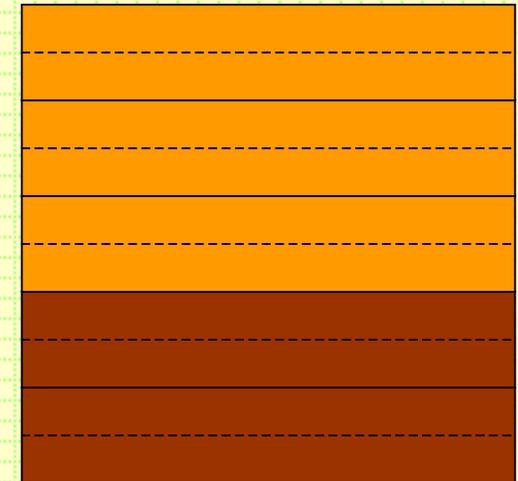
# Ścisliwość gruntów

## Ultimate Consolidation Settlement Analysis Procedure

1. Divide the compressible soil profile into strata and identify unit weight for each stratum
2. Determine if each stratum is normally consolidated (*NC*) or overconsolidated (*OC*)
3. For each soil stratum assign value for  $C_c(1+e_0)$  or  $C_r(1+e_0)$
4. Working downward from the original ground surface divide soil profile into horizontal thin layers (no more than 2-5 m thick; thinner layers are especially appropriate near the ground surface)
5. **Calculate at midpoint of each layer !!!**

Overconsolidation margin:

$$\sigma'_m = \sigma'_c - \sigma'_{z0}$$



# Ścisłość gruntów

## Przykład liczbowy 1

Na gruncie o profilu pokazanym na rysunku planuje się budowę nasypu. Badania laboratoryjne na próbce iltu pobranej w punkcie A dały następujące wyniki:

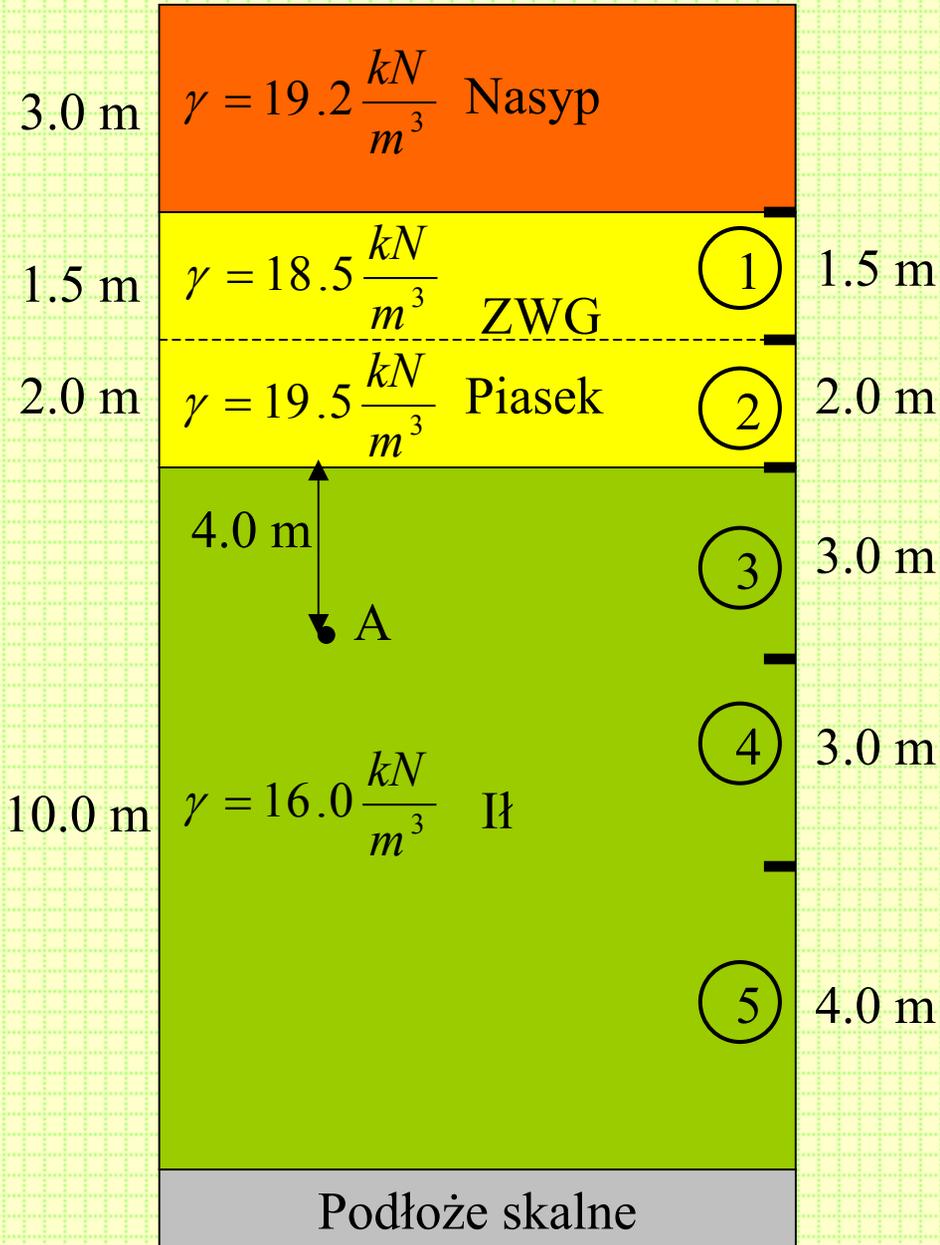
$$C_c = 0.4 \quad e_0 = 1.1$$

$$C_r = 0.08 \quad \sigma'_c = 70 \text{ kPa}$$

Dla piasku należy przyjąć:

$$\frac{C_c}{1 + e_0} = 0.008$$

Określić całkowite osiadania gruntu spowodowane budową nasypu.



# Ścisłość gruntów

Napężenia efektywne w gruncie będą sumą pionowych naprężeń efektywnych i obciążenia od nasypu:

$$\sigma'_z = \sigma'_{z0} + 3.0 \cdot 19.2 =$$

$$= \sigma'_{z0} + 57.6 \text{ kPa}$$

Napężenia efektywne w punkcie A:

$$\sigma'_{z0} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i - u =$$

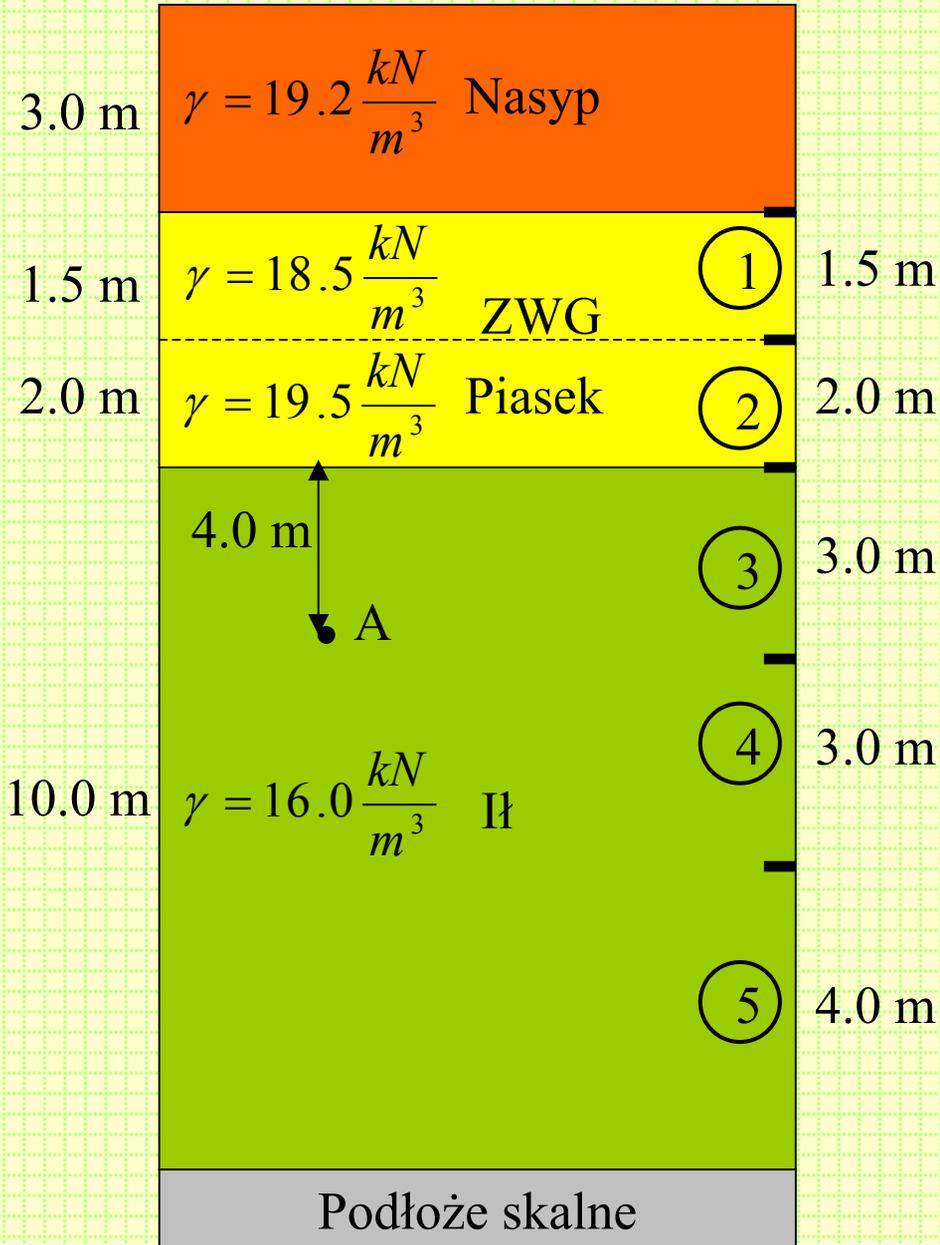
$$= 18.5 \cdot 1.5 + 19.5 \cdot 2 +$$

$$+ 16 \cdot 4 - 9.8 \cdot 6 = 72 \text{ kPa}$$

$$\frac{C_c}{1 + e_0} = \frac{0.4}{1 + 1.1} = 0.19$$

W punkcie A zachodzi:  $\sigma'_c \cong \sigma'_{z0}$

czyli łą jest normalnie skonsolidowany



# Ścisłość gruntów

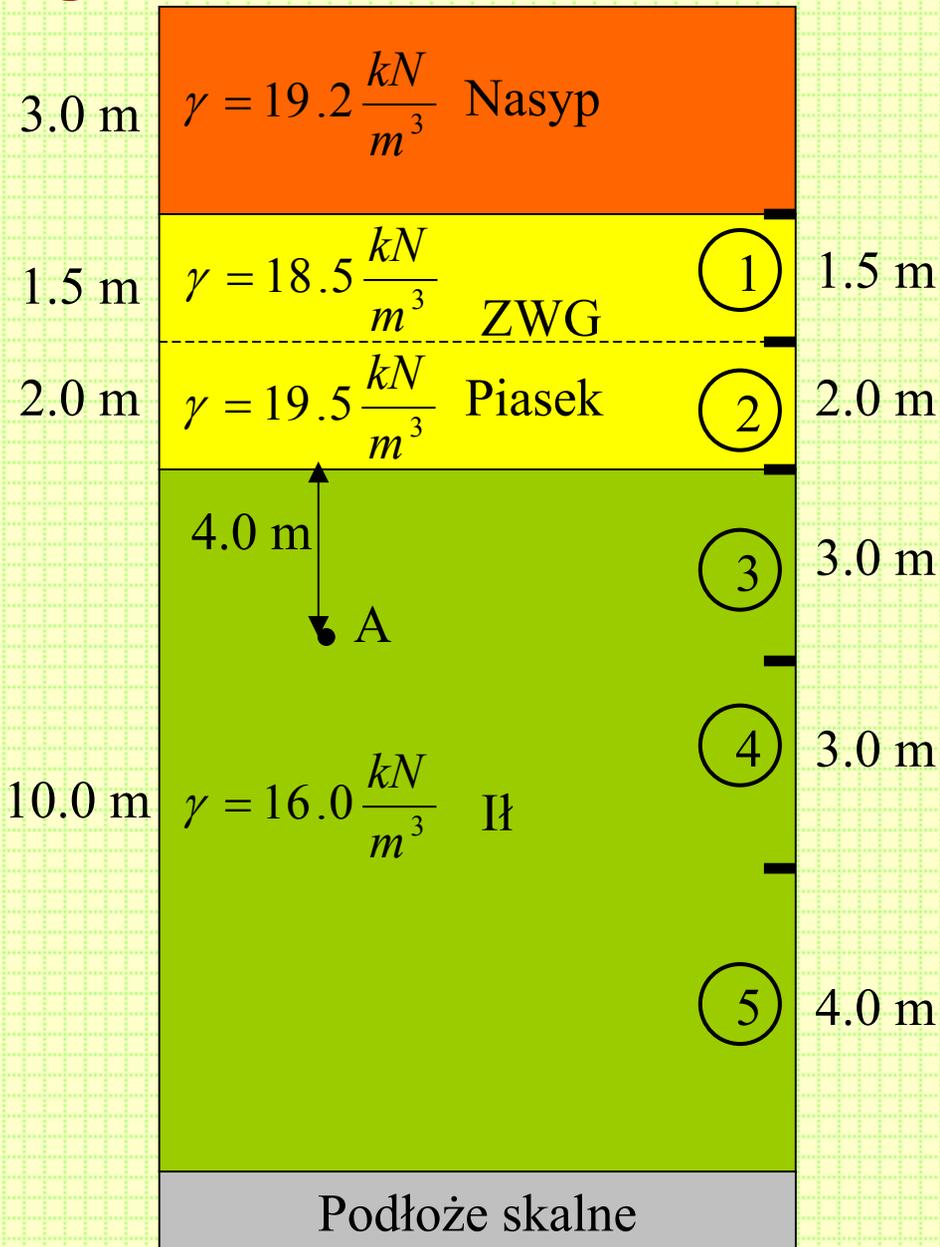
Zakładamy, że próbka pobrana w punkcie A jest reprezentatywna dla całej warstwy łu i przyjmujemy, że jest on normalnie skonsolidowany.

Zakładamy także, że pod zwierciadłem wody grunty są w pełni nasycone.

Wzór ogólny na określanie osiadania przy przyjęciu powyższych założeń przyjmuje postać:

$$S = \sum \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left( \frac{\sigma'_z}{\sigma'_{z0}} \right)$$

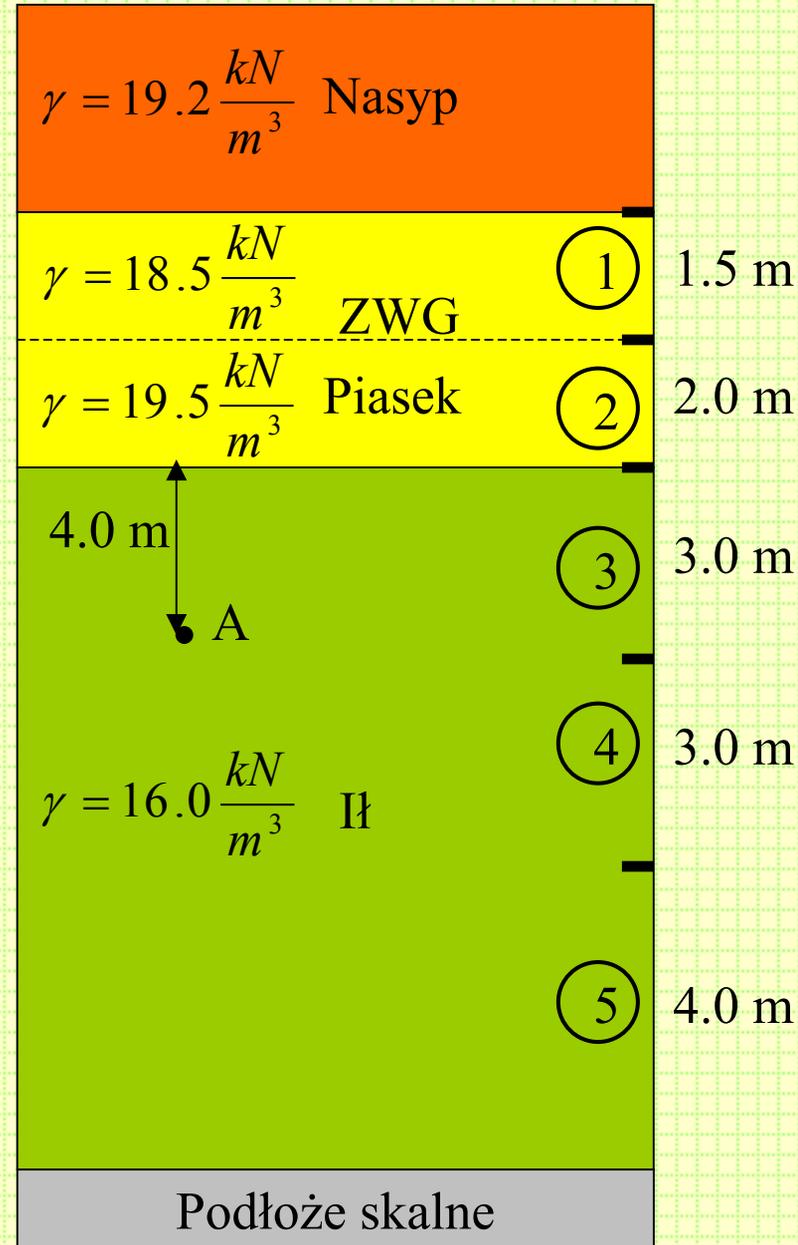
Obliczenia zamieszczono na następnym slajdzie w formie tabeli dla kolejnych warstw oznaczonych numerami w kółkach.





# Ścisłość gruntów

W-wa	H, m	$\sigma'_{z0}$	$\sigma'_z$	$\frac{C_c}{1 + e_0}$	S, mm
1	1.5	13.875	71.5	0.008	8.5
2	2.0	37.25	95	0.008	6.5
3	3.0	56.4	114	0.19	174.1
4	3.0	75	132.6	0.19	141
5	4.0	96.7	154.3	0.19	154.2



Osiadanie całkowite jest sumą osiadań dla poszczególnych warstw:

$$S = 484.27 \text{ mm}$$

**UWAGA:** naprężenia  $\sigma'_{z0}$  i  $\sigma'_z$  liczymy w ŚRODKU poszczególnych warstw

# Ścisłość gruntów

## Przykład liczbowy 2

Na gruncie o profilu pokazanym na rysunku planuje się budowę nasypu. Badania laboratoryjne na próbce iltu pobranej w punkcie A dały następujące wyniki:

$$C_c = 0.25 \quad e_0 = 0.66$$

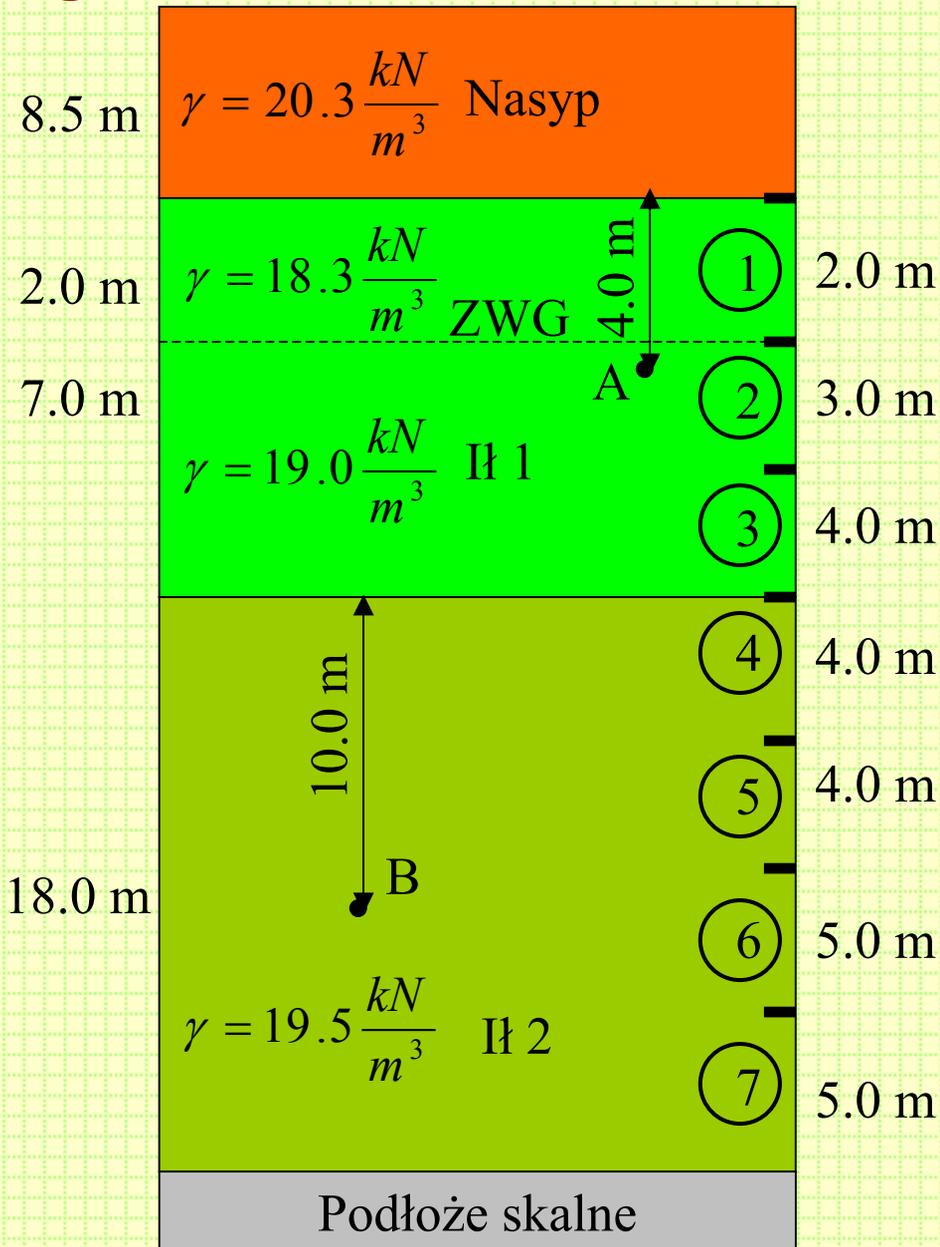
$$C_r = 0.08 \quad \sigma'_c = 101 \text{ kPa}$$

Zaś w próbce B:

$$C_c = 0.2 \quad e_0 = 0.45$$

$$C_r = 0.06 \quad \sigma'_c = 510 \text{ kPa}$$

Określić całkowite osiadania gruntu spowodowane budową nasypu.



# Ścisłość gruntów

Napężenia efektywne w gruncie:

$$\sigma'_z = \sigma'_{z0} + 8.5 \cdot 20.3 =$$

$$= \sigma'_{z0} + 172.6 \text{ kPa}$$

Napężenia efektywne w punkcie A:

$$\sigma'_{z0} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i - u =$$

$$= 18.3 \cdot 2.0 + 19.0 \cdot 2 +$$

$$- 9.8 \cdot 2.0 = 55.0 \text{ kPa}$$

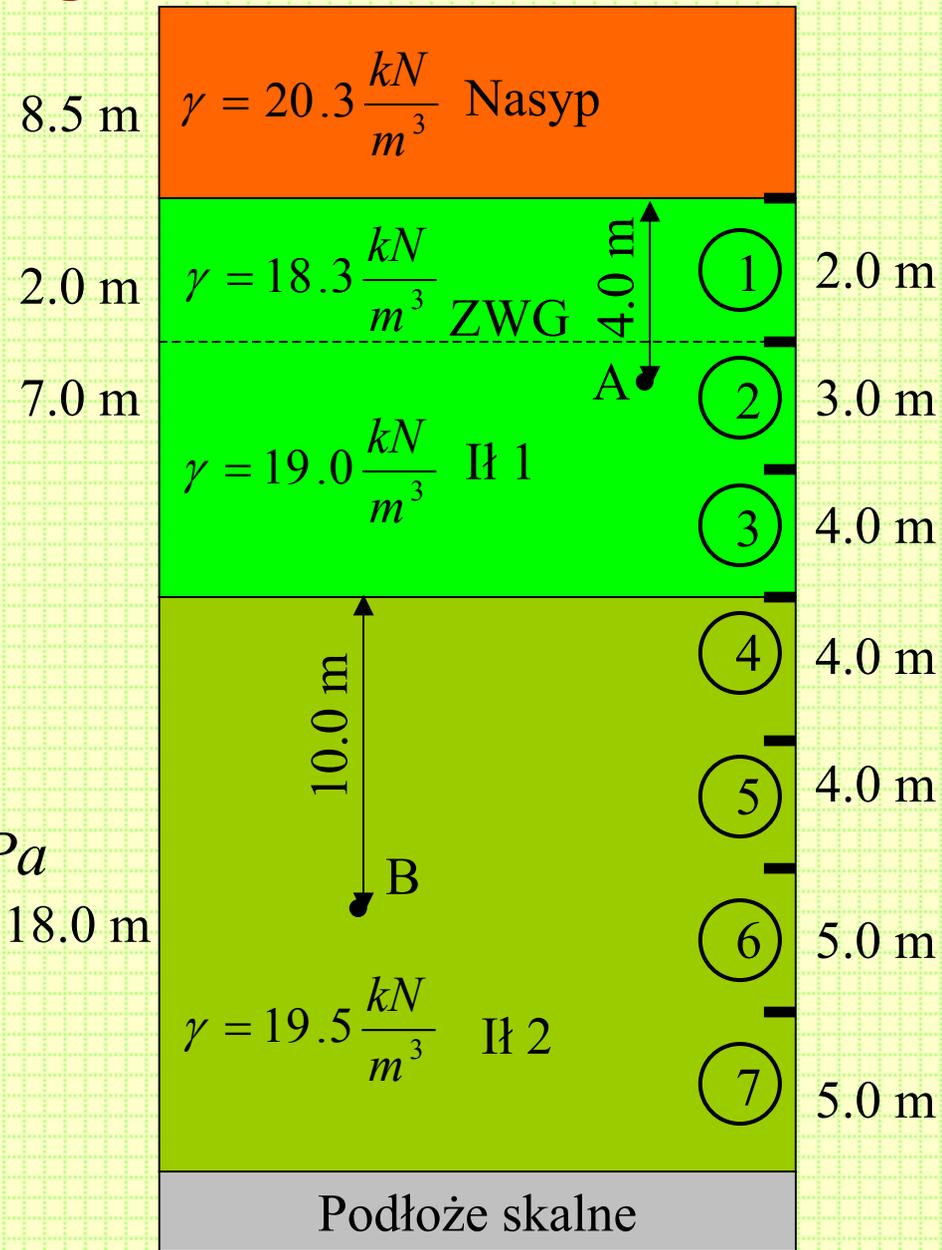
$$\sigma'_z = \sigma'_{z0} + 172.6 \text{ kPa} =$$

$$= 55 \text{ kPa} + 172.6 \text{ kPa} = 227.6 \text{ kPa}$$

W punkcie A zachodzi więc:

$$\sigma'_{z0} < \sigma'_c < \sigma'_z \quad \text{Czyli ił 1 jest}$$

prekonsolidowany



# Ścisłość gruntów

Zakładamy, że próbka pobrana w punkcie A jest reprezentatywna dla całej warstwy 1 i przyjmujemy, że jest on prekonsolidowany.

Zakładamy także, że pod zwierciadłem wody grunty są w pełni nasycone.

Wzór ogólny na określanie osiadania przy przyjęciu powyższych założeń przyjmuje postać:

$$S = \sum \left[ \frac{C_r}{1 + e_0} H \log \left( \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{z0}} \right) + \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left( \frac{\sigma'_z}{\sigma'_c} \right) \right]$$

Naprężenia efektywne w punkcie B:

$$\sigma'_{z0} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i - u = 18.3 \cdot 2.0 + 19.0 \cdot 7 + 19.5 \cdot 10 - 9.8 \cdot 17.0 = 198 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_z = \sigma'_{z0} + 172.6 \text{ kPa} = 198 \text{ kPa} + 172.6 \text{ kPa} = 370.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{z0} < \sigma'_c \quad \text{i} \quad \sigma'_z \leq \sigma'_c \quad \text{Czyli 1 i 2 jest prekonsolidowany}$$

Wzór ogólny na określanie osiadania przy przyjęciu powyższych założeń ma postać:

$$S = \sum \frac{C_r}{1 + e_0} H \log \left( \frac{\sigma'_z}{\sigma'_{z0}} \right)$$

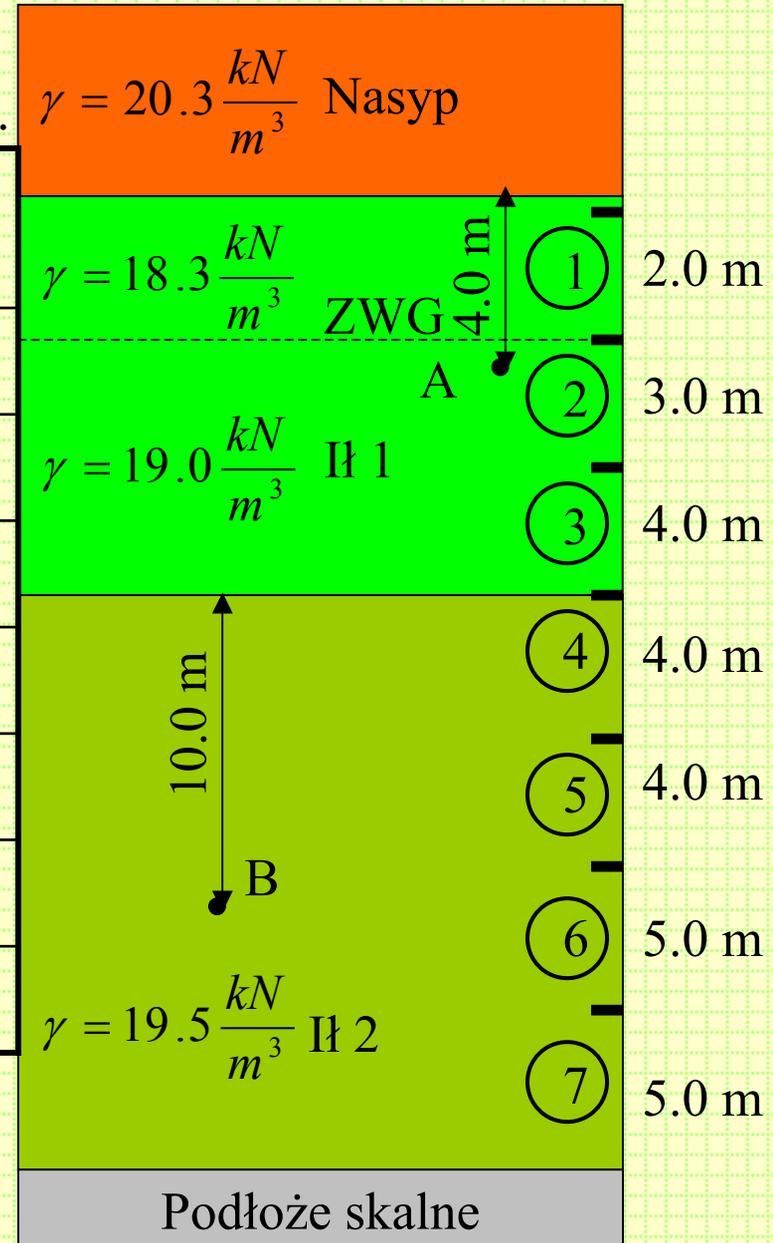


# Ścisłość gruntów

Obliczenia zamieszczono w formie tabeli dla kolejnych warstw oznaczonych numerami w kółkach.

W-wa	H, m	$\sigma'_{z0}$	$\sigma'_c$	$\sigma'_z$	$\frac{C_r}{1+e_0}$	$\frac{C_c}{1+e_0}$	S, mm
1	2.0	18.3	64.3	190.9	0.05	0.15	196.3
2	3.0	50.4	96.9	223.0	0.05	0.15	206.1
3	4.0	82.6	128.6	255.2	0.05	0.15	217.0
4	4.0	120.4	-	293.0	0.04	0.14	61.8
5	4.0	159.2	-	331.8	0.04	0.14	51.0
6	5.0	202.8	-	375.4	0.04	0.14	53.5
7	5.0	251.4	-	424.0	0.04	0.14	45.4

Osiadanie całkowite jest sumą osiadań dla poszczególnych warstw:  $S = 831.08 \text{ mm}$



# Ścisłość gruntów

## Przykład liczbowy 3

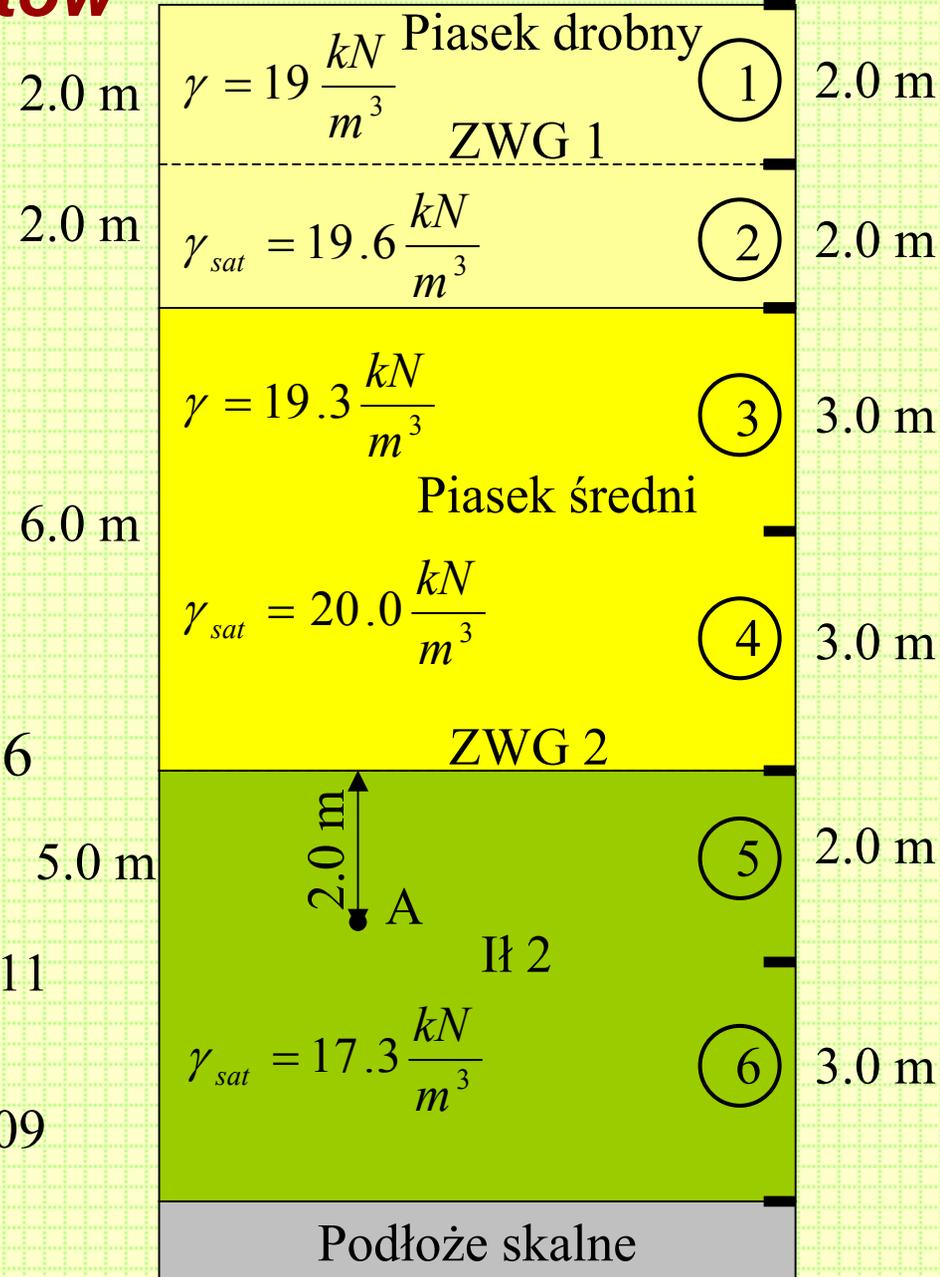
Na gruncie o profilu pokazanym na rysunku zaplanowano budowę ciężkiego zbiornika. Dla zmniejszenia całkowitych osiadań przed jego wykonaniem wykonano drenaż, który spowodował obniżenie zwierciadła wody gruntowej z poziomu ZWG 1 do poziomu ZWG 2. Badania laboratoryjne na próbce iltu pobranej w punkcie A dały następujące wyniki:

$$\frac{C_c}{1 + e_0} = 0.14 \quad \frac{C_r}{1 + e_0} = 0.06$$

$$\sigma'_c = 135 \text{ kPa}$$

Dla piasku drobnego przyjąć:  $\frac{C_c}{1 + e_0} = 0.011$

Zaś dla piasku średniego:  $\frac{C_c}{1 + e_0} = 0.009$



# Ścisłość gruntów

Określić całkowite osiadania gruntu spowodowane odwodnieniem.

Napężenia efektywne w punkcie A:

$$\sigma'_{z0} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i - u =$$

$$= 19 \cdot 2.0 + 19.6 \cdot 2 +$$

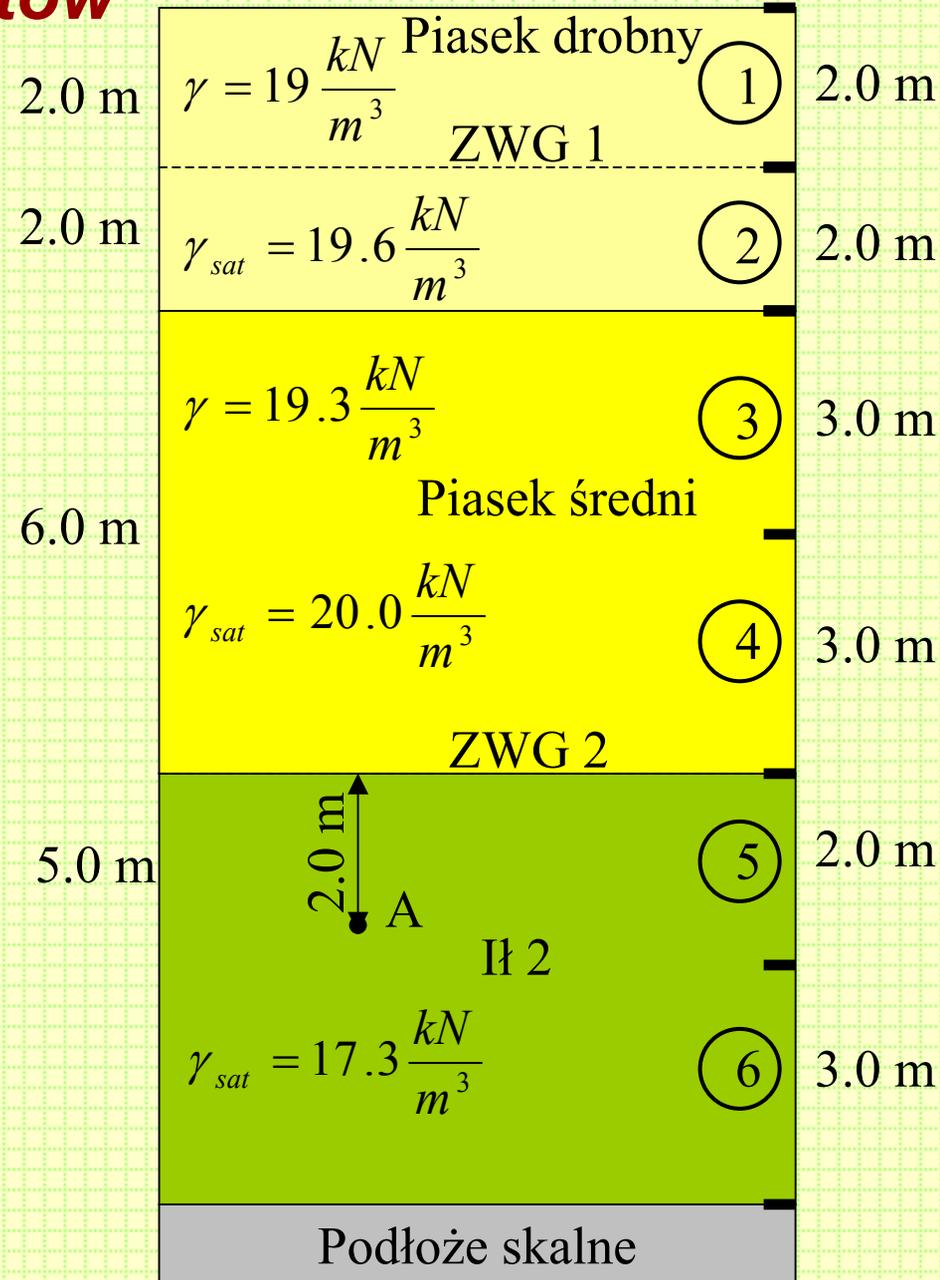
$$20 \cdot 6 + 17.3 \cdot 2$$

$$- 9.8 \cdot 10.0 = 133.8 \text{ kPa}$$

W punkcie A zachodzi:  $\sigma'_c \cong \sigma'_{z0}$

czyli łą jest normalnie skonsolidowany

Zakładamy, że próbka pobrana w punkcie A jest reprezentatywna dla całej warstwy łą i przyjmujemy, że jest on normalnie skonsolidowany.



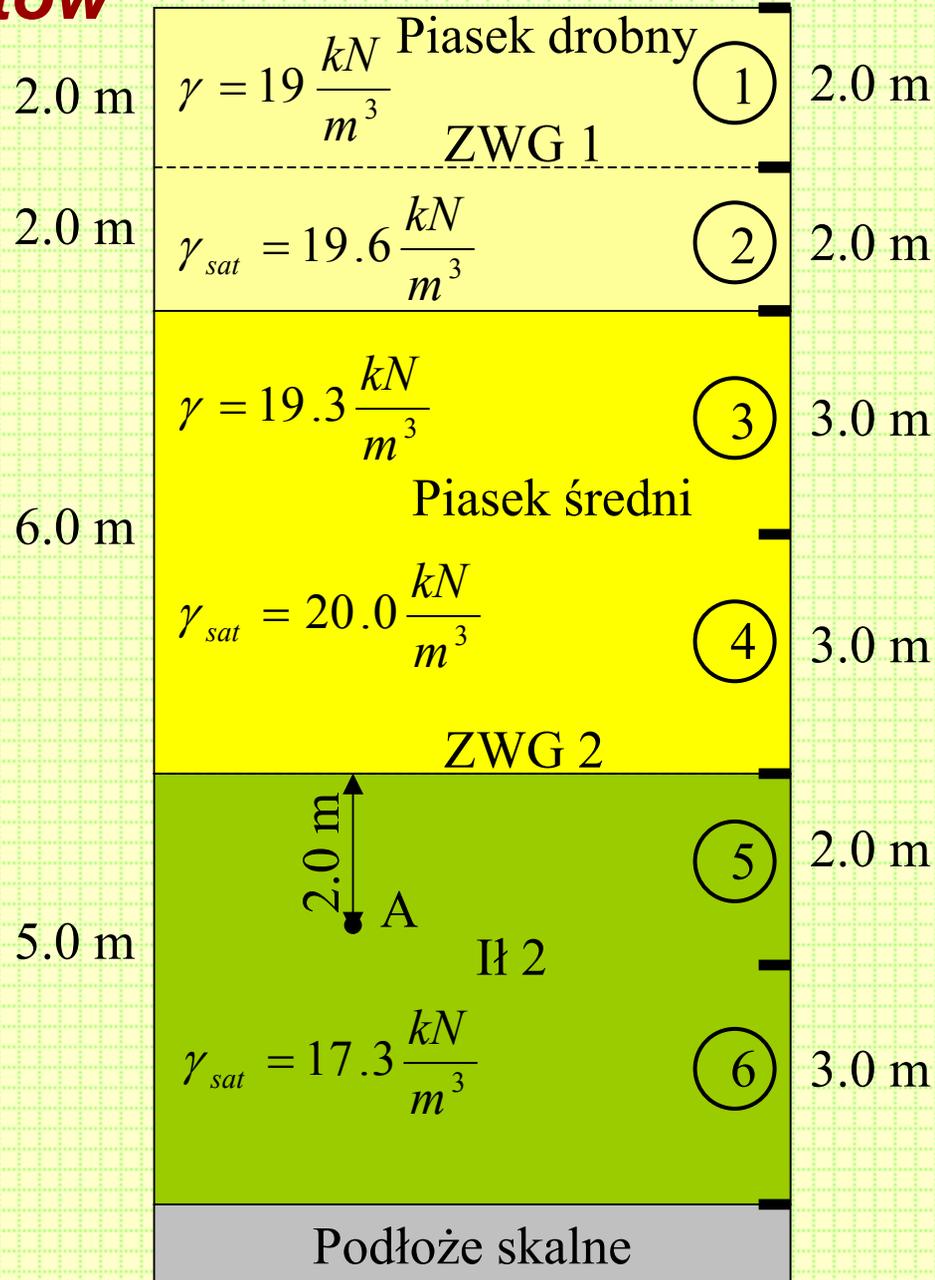
# Ścisłość gruntów

Zakładamy także, że pod zwierciadłem wody grunty są w pełni nasycone.

Wzór ogólny na określanie osiadania przy przyjęciu powyższych założeń ma postać:

$$S = \sum \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left( \frac{\sigma'_z}{\sigma'_{z0}} \right)$$

Obliczenia zamieszczono na następnym slajdzie w formie tabeli dla kolejnych warstw oznaczonych numerami w kółkach.



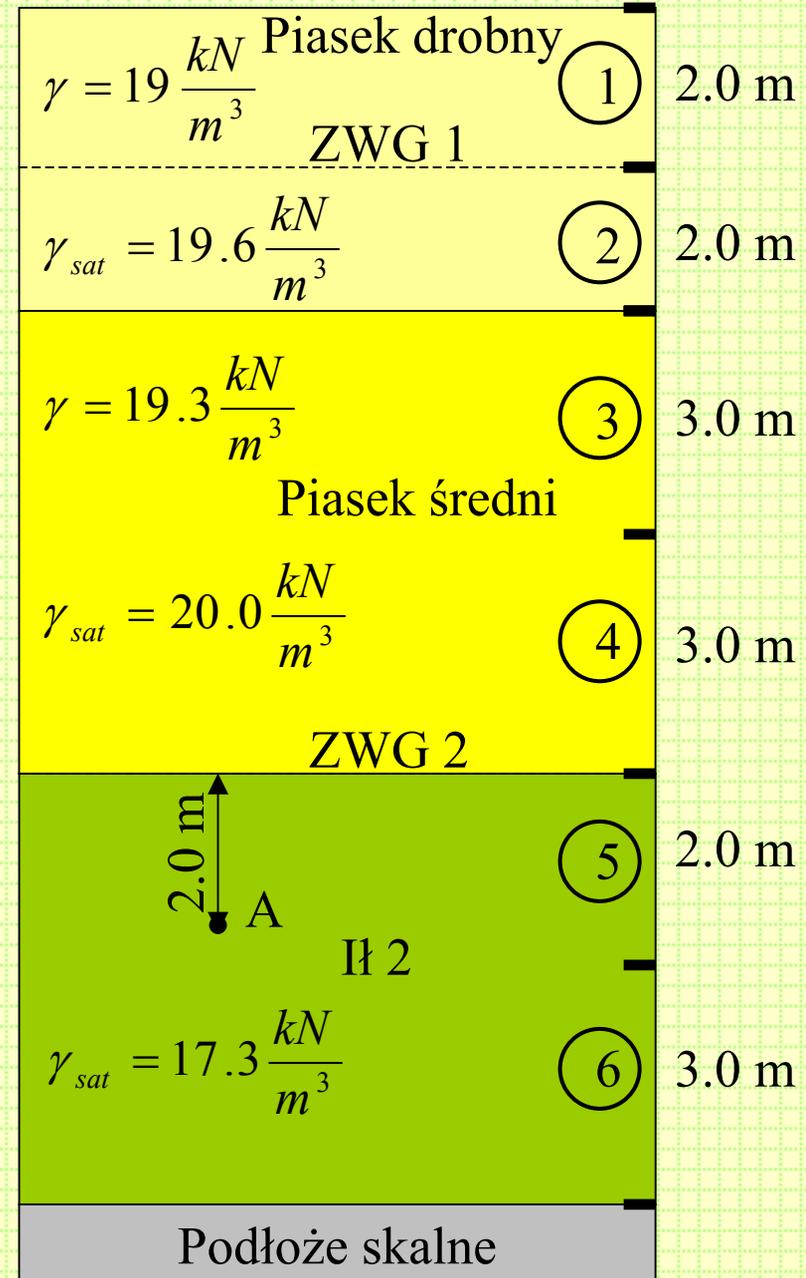


# Ścisłość gruntów

W-wa	H, m	$\sigma'_{z0}$	$\sigma'_z$	$\frac{C_c}{1+e_0}$	S, mm
1	2	19	19	0.011	0.00
2	2	47.8	57	0.011	1.68
3	3	72.9	104.95	0.009	4.27
4	3	103.5	162.85	0.009	5.31
5	2	126.3	199.3	0.14	55.47
6	3	145.05	218.05	0.14	74.36

Osiadanie całkowite jest sumą osiadań dla poszczególnych warstw:

$$S = 141.09 \text{ mm}$$



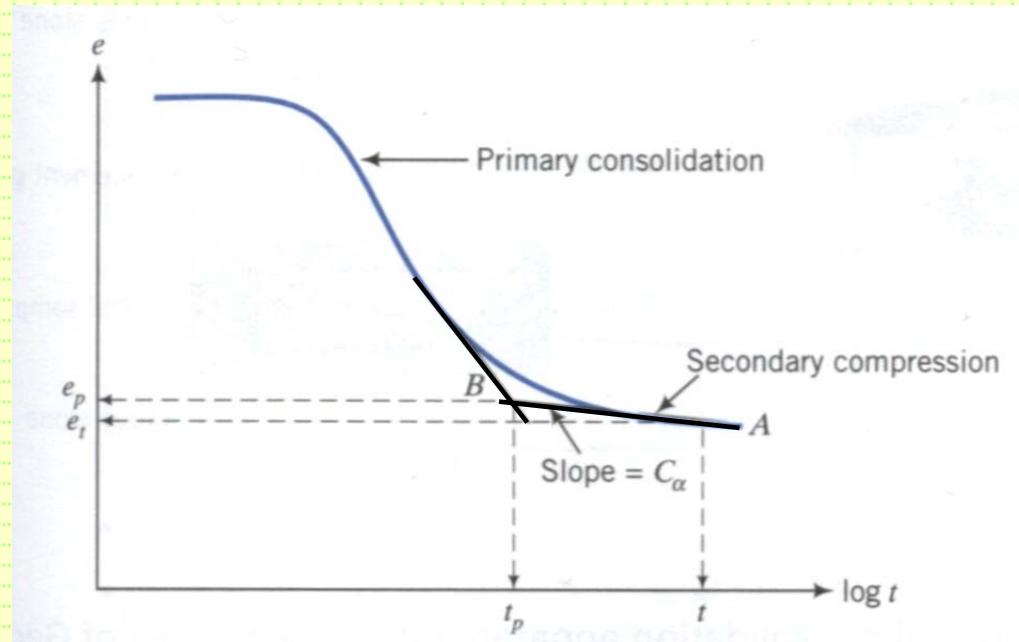
# Ścisłość gruntów

**Ścisłością wtórną** nazywane jest zjawisko odkształcenia próbki przebiegające po rozproszeniu się (spowodowane obciążeniem) ciśnienia wody w porach. Odkształcenie to zachodzi bardzo powoli, przy stałym naprężeniu efektywnym.

## Współczynnik ścisłości

**wtórnej  $C_\alpha$**  jest parametrem opisującym to zjawisko i jest zdefiniowany wzorem:

$$C_\alpha = - \frac{de}{d \log t} = \frac{e_t - e_p}{\log \frac{t}{t_p}}$$
$$\frac{C_\alpha}{1 + e_p} = \frac{d\varepsilon_z}{d \log t}$$



The physical basis for secondary compression are still not fully understood. It appears to be due to particle rearrangement, creep and the decomposition of organics. Highly plastic clays, organic soils and sanitary landfills are most likely to have significant secondary compression. However secondary compression is negligible in sands and gravels.

# Ścisliwość gruntów

## Osiadania wywołane ścisliwością wtórną:

$$S = \frac{C_{\alpha}}{1 + e_0} H \log \left( \frac{t}{t_p} \right)$$

Usually the secondary compression settlement is much smaller than consolidation settlement, and thus is not a major consideration. However, in some situations, it can be very important. For example, the consolidation settlement in sanitary landfills is typically complete within the few years, while the secondary compression settlement continues for many decades. Secondary compression settlement on the order of 1 % of the refuse thickness per year have been measured in a 10-year-old landfill.

Significant structures are rarely built on soils that have the potential for significant secondary compression. However highways and other transportation facilities are sometimes built on such a soils (Coduto, 1999).



# Ścisłość gruntów

## Przykład liczbowy 4

Założmy, że pewna warstwa iłu o miąższości 10 m charakteryzuje się wartością:

$$\frac{C_\alpha}{1 + e_0} = 0.018$$

Zakładając, że osiadania gruntu na skutek konsolidacji po 40 latach od obciążenia będą stanowiły 95 % całkowitych, policzmy osiadania wywołane ścisłością wtórną, które wystąpią podczas następnych 30 lat:

$$S = \frac{C_\alpha}{1 + e_0} H \log \left( \frac{t}{t_p} \right) =$$
$$= (0.018 \cdot 10000 \text{ mm}) \cdot \log \frac{40 \text{ lat} + 30 \text{ lat}}{40 \text{ lat}} = 40 \text{ mm}$$

# *Literatura*

- Szymański A. – Wykłady z mechaniki gruntów i budownictwa ziemnego
- Wiłun Z. – Zarys geotechniki
- Lambe T. W. Whitman R.V (1976, 1977) Mechanika gruntów, Tom I i II, Arkady, Warszawa
- Verruijt A. 2001. Soil Mechanics
- Coduto D.P. 1999. Geotechnical Engineering.
- Coduto D.P. 2001. Foundation design.
- Jarominiak A. 1999. Lekkie konstrukcje oporowe.
- Myślińska E. 2001. Laboratoryjne badania gruntów.
- Obrycki M., Pisarczyk S. 1999. Zbiór zadań z mechaniki gruntów.

