



**Instytut Geologii,  
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu**

# **KOMPENDIUM GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE**

**prof. UAM, dr hab. inż. Jędrzej Wierzbicki**



# Instytut Geologii, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

## Pracownia Geologii Inżynierskiej i Geotechniki



Uniwersytet im. Adama Mickiewicza > Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych > Instytut Geologii



O PRACOWNI

BADANIA

WDROŻENIA

WORKSHOP 2017

MATERIAŁY DLA STUDENTÓW

PRACE DYPLOMOWE

### KIEROWNIK

- [dr hab. inż. Jędrzej Wierzbicki](#)

### PRACOWNICY

- [dr Robert Radaszewski](#)
- [dr inż. Katarzyna Stefaniak](#)

Szukaj

## O PRACOWNI

Pracownia Geologii Inżynierskiej i Geotechniki, jako odrębna jednostka Instytutu Geologii UAM, powstała 1 października 2014 r. Jej zespół tworzą naukowcy zajmujący się zagadnieniami z pogranicza nauk przyrodniczych i technicznych, zatrudnieni wcześniej w innych zakładach Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oraz na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu. Do głównych zagadnień naukowo-badawczych podejmowanych obecnie w Pracowni należą:

- badania wpływu procesów geologicznych na właściwości inżynierskie gruntów,
- analiza wykorzystania zaawansowanych badań geotechnicznych in situ (CPTU,

KGI:

## CEL

- Zaznajomienie z inżynierskim sposobem opisu litosfery.
- Umiejętność określenia stanu naprężenia i odkształcenia gruntu.
- Poznanie podstawowych modeli analitycznych wykorzystywanych w zagadnieniach geotechnicznych.

**KGI:**

**CEL**

•Zapoznanie z podstawami budownictwa i materiałoznawstwa.

•Zapoznanie z zasadami projektowania geologiczno-inżynierskiego.

•Zapoznanie się z nowoczesnymi technikami badań podłoża gruntowego w zakresie badań in-situ.

**KGI:**

# **ORGANIZACJA ZAJĘĆ**

**1. 15 h WYKŁADÓW + 30 h ĆWICZEŃ**

**2. PRACA WŁASNA – 100 h**

**3. KONSULTACJE**

**4. SPRAWDZENIE WIEDZY:**

- ZADANIA OBLICZENIOWE**
- ZALICZENIE PISEMNE**

KGI:

# ORGANIZACJA ZAJĘĆ

RODZAJ ZAJĘĆ	PROWADZĄCY	TEMAT
wykład	J. Wierzbicki	Naprężenia i odkształcenia w podłożu gruntowym
wykład	J. Wierzbicki	Metody badań in situ. Stateczność skarp i zboczy – przegląd metod obliczeniowych
wykład	K. Stefaniak	Podstawy budownictwa i materiałoznawstwa
wykład	R. Radaszewski	Prawne aspekty projektowania i dokumentowania prac geologiczno inżynierskich
wykład	R. Radaszewski	Model obliczeniowy podłoża gruntowego. Merytoryczne zasady projektowania i dokumentowania prac geol-inż.

**KGI:**

# ORGANIZACJA ZAJĘĆ

RODZAJ ZAJĘĆ	PROWADZĄCY	TEMAT
ćwiczenia	R. Radaszewski	Naprężenia geostatyczne – obliczenia
ćwiczenia	R. Radaszewski	Naprężenia od budowli - obliczenia
ćwiczenia	J. Wierzbicki	Stateczność skarp i zboczy – obliczenia
		Interpretacja wyników badań CPTU
ćwiczenia	R. Radaszewski	Osiadania podłoża gruntowego - obliczenia
		Przekroje geotechniczne. Zasady wydzielenia warstw geotechnicznych
		Geostar – podstawy obsługi programu do wizualizacji wyników badań geologiczno-inżynierskich

KGI:

# LITERATURA

- **Das B.M. (1984):**

**Principles of geotechnical engineering.** PWS-Kent Publishing Company, Boston Mass.

- **Glazer Z. (1985):**

**Mechanika Gruntów.** Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.

- **Head K.H. (1986):**

**Manual of Soil Laboratory Testing.** Penetch Press., Vol. 3.

- **Kisiel I., Dmitruk S., Lysik B. (1969):**

**Zarys reologii gruntów.** Nośność i stateczność gruntów. Wyd. Arkady, Warszawa.

- **Lambe T. W., Whitman R.V. (1969):**

**Soil mechanics.** MIT wyd. J. Wiley and Sons, Inc.

- **Lunne T., Robertson P. K., Powell J. (1997):**

**Cone penetration testing In geotechnical practice.** E&FN Spon, London.

- **Marchetti S., Monaco P., Totani G. & Calabrese M. (2001):**

**The Flat Dilatometer Test (DMT) in soil investigations.** A Report by the ISSMGE Committee TC-16.



**KGI: LITERATURA**

• **Młynarek Z., Wierzbicki J. (2007):**

**Nowe możliwości i problemy interpretacyjne polowych badań gruntów.** Geologos nr 11: 97-118.

• **Pisarczyk S. (2005):**

**Mechanika gruntów.** OWPW, Warszawa.

• **Puła O., Rybak Cz., Sarniak W. (1999):**

**Fundamentowanie. Projektowanie posadowień.** Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław.

• **Schnaid F. (2009):**

**In situ testing in geomechanics.** Taylor & Francis, London and New York.

• **Wiłun Z. (2000):**

**Zarys geotechniki.** Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.

• **Worth C.P., Houlsby G.T. (1985):**

**Soil mechanics – property characterization and analysis procedures.**  
W: Proc. of 11<sup>th</sup> ICSMFE, Vol. 1, San Francisco: 1-56.

• **Lipiński M.J. (2012):**

**Wybrane kryteria określania parametrów gruntów naturalnych.**  
Inżynieria Morska i Geotechnika 4/2012: 267-277

KGI:

# ZARYS PRZEDMIOTU

## Geologia inżynierska:

nauka badająca środowisko inżyniersko-geologiczne.

## Środowisko geologiczno-inżynierskie

obszar środowiska przyrodniczego, ograniczony przez:

- antropopresję
- wpływ środowiska na działalność człowieka.

### Środowisko geologiczno-inżynierskie

- efekt procesów geologicznych (akumulacja, wietrzenie, erozja, ruchy masowe...)
- efekt procesów antropogenicznych (modelowanie rzeźby, eksploatacja złóż, składowiska, zbiorniki...).

### Badanie środowiska inżyniersko-geologicznego:

- analizy geologiczne (ocena środowiska geologicznego)
- analizy geotechniczne (ocena antropopresji).

**KGI: ZARYS PRZEDMIOTU**

BUDOWNICTWO, GÓRNICTWO, INŻYNIERIA ŚRODOWISKA



**GEOLOGIA REGIONALNA**



**GEOFIZYKA**



**GEOLOGIA  
INŻYNIERSKA**



**STATYSTYKA**

**GRUNTOZNAWSTWO**

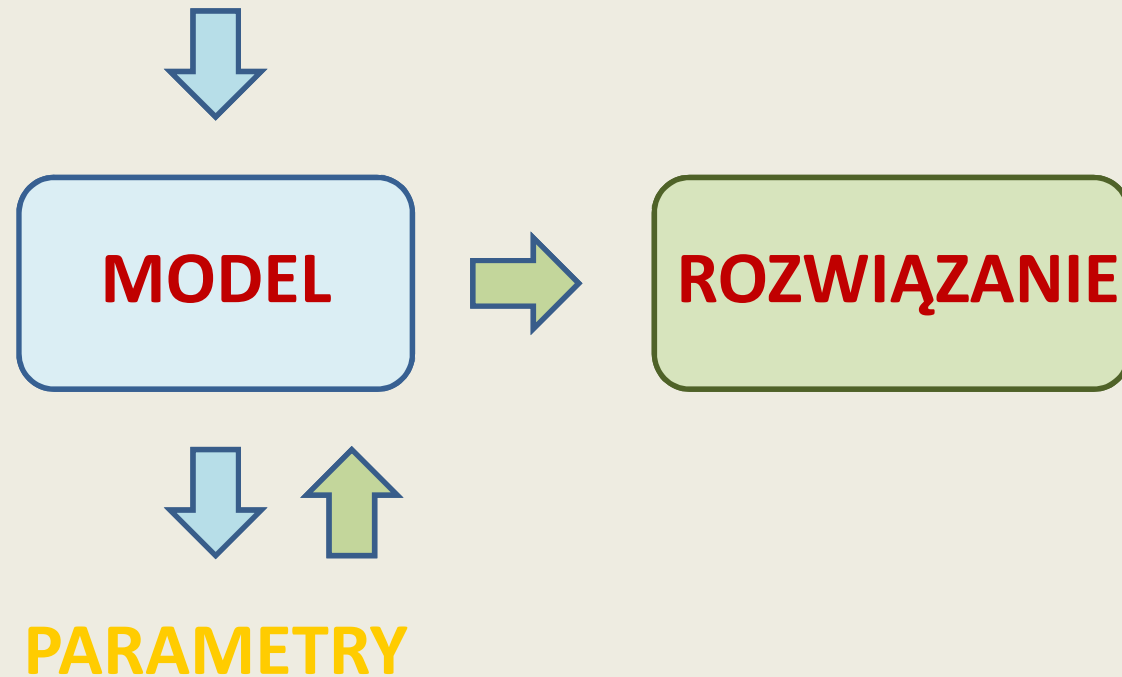


**MECHANIKA GRUNTÓW**

KGI:

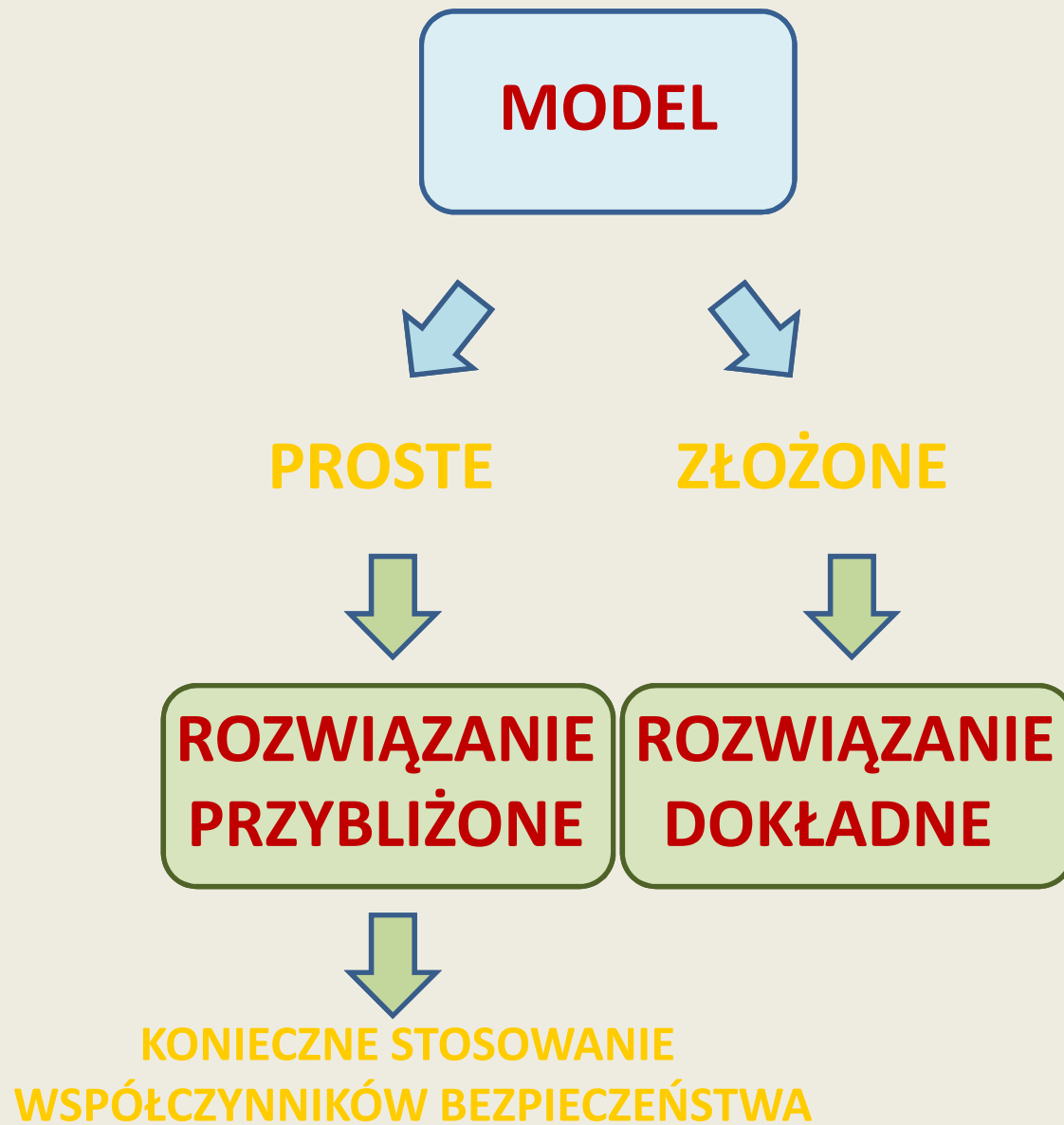
# INŻYNIERSKI OPIS LITOSFERY

OPIS OŚRODKA GRUNTOWEGO



**KGI:**

## **INŻYNIERSKI OPIS LITOSFERY - model**



KGI:

## INŻYNIERSKI OPIS LITOSFERY - model

**MODEL**

**ROZWIĄZANIE  
PRZYBLIŻONE**

**Izotropowe, liniowe, jednorodne  
(2 parametrowe)**

**Anizotropowe  
(3 parametrowe)**

**Nieliniowe**

**Niejednorodne**

**Ortotropowe  
(5 parametrowe)**

**Pełnie anizotropowe  
(21 parametrowe)**

**ROZWIĄZANIE  
DOKŁADNE**

KGI:

## INŻYNIERSKI OPIS LITOSFERY - model

**MODEL**



**ROZWIĄZANIE  
PRZYBLIŻONE**

- anizotropowa natura gruntu
- relatywnie mała liczba badań
- proste metody badawcze i interpretacyjne
- standaryzacja rozwiązań



**ANALIZY  
NOŚNOŚCI**



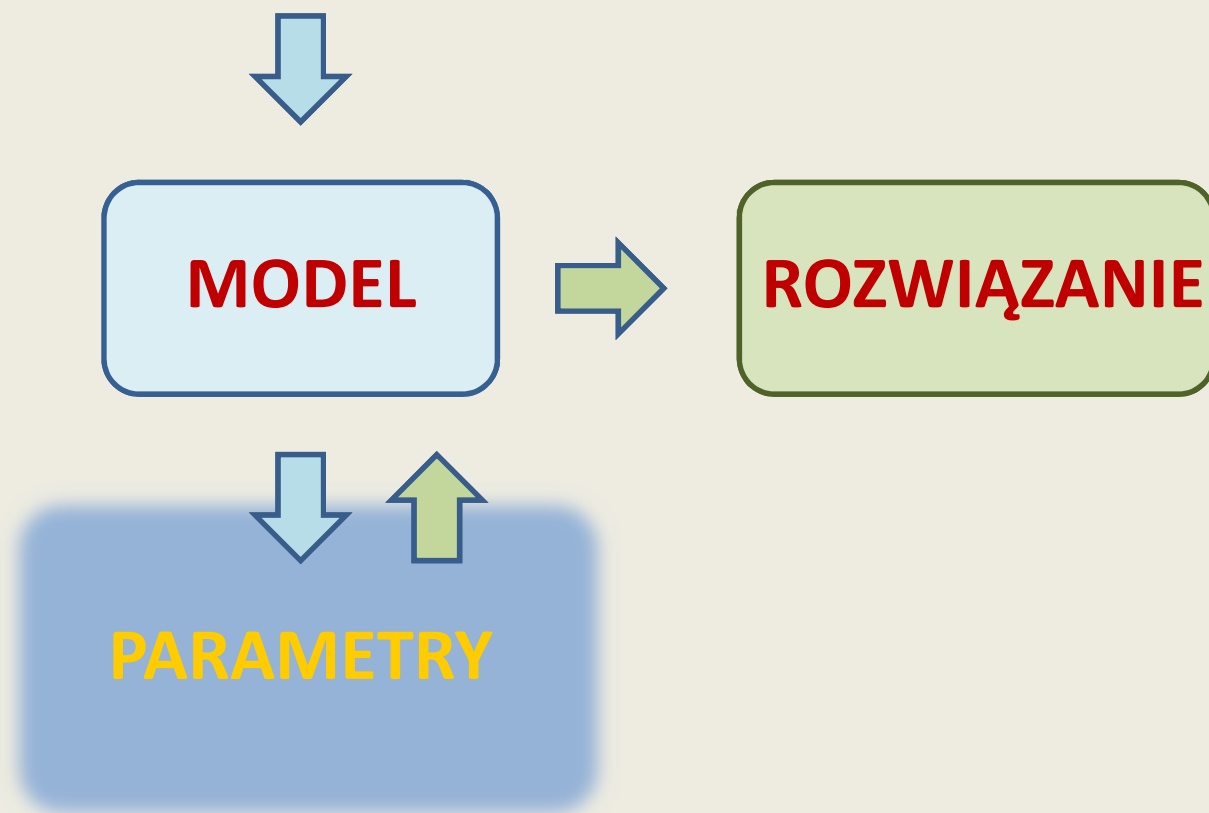
**ANALIZY  
DEFORMACJI**



**KGI:**

## **INŻYNIERSKI OPIS LITOSFERY - parametry**

**OPIS OŚRODKA GRUNTOWEGO**



KGI:

## INŻYNIERSKI OPIS LITOSFERY - parametry

**PARAMETRY**

```
graph TD; A[PARAMETRY] --> B[stałe materiałowe]; A --> C[zmienne stanu];
```

**stałe  
materiałowe**

ciało sprężyste -  $G$   
ciało plastyczne -  $\phi_{\mu}$

**zmienne  
stanu**

$e, M, OCR, s_u, \sigma, \phi' \dots$

KGI:

## INŻYNIERSKI OPIS LITOSFERY - parametry

**PARAMETRY**

```
graph TD; A[PARAMETRY] --> B[analizy stanu granicznego]; A --> C[analizy deformacji];
```

**analizy stanu granicznego**

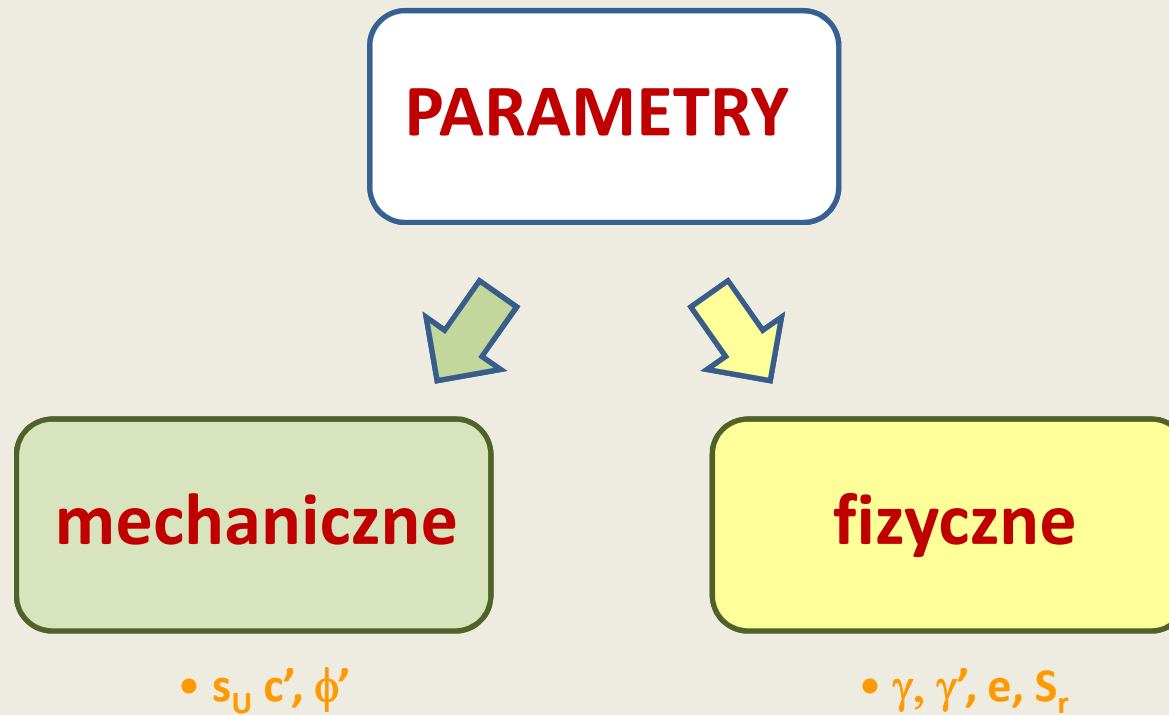
- $s_u$
- $c', \phi'$
- $\gamma, \gamma'$

**analizy deformacji**

- $E, \nu, G, D, C_c, c_v$

KGI:

## INŻYNIERSKI OPIS LITOSFERY - parametry



KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA

**NAPRĘŻENIE** – graniczna wartość stosunku siły działającej na nieskończenie mały element pola przekroju ciała do wymiaru tego pola.

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta A}$$

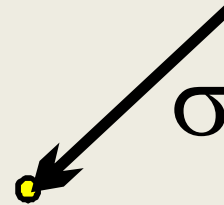
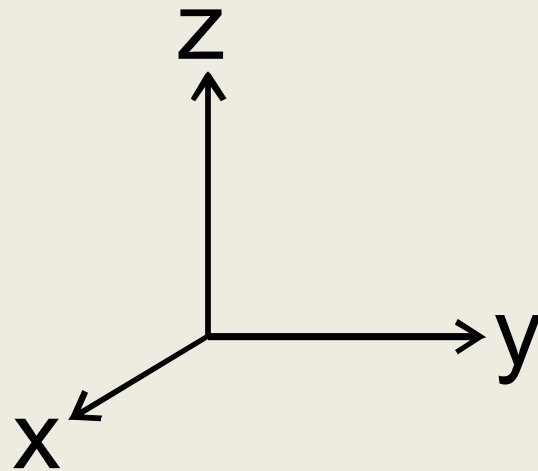
Naprężenia w punkcie – czysto teoretyczne;



Naprężenie na powierzchni, którą charakteryzuje.

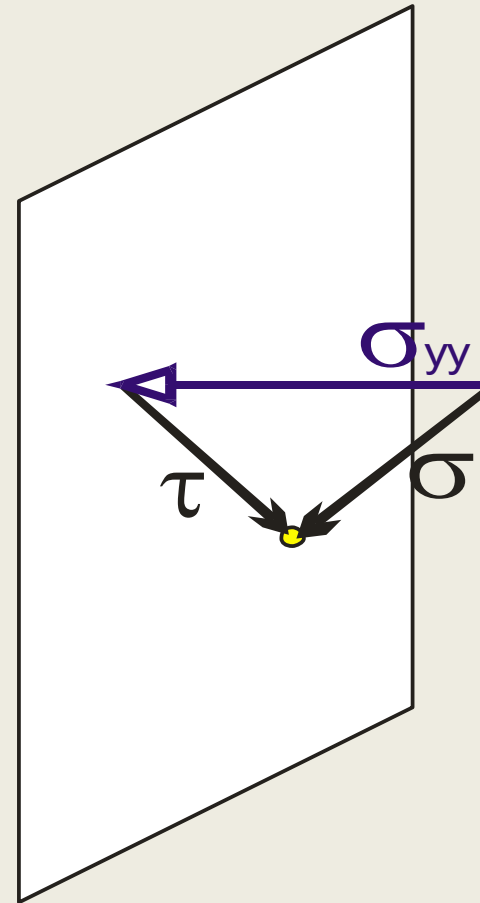
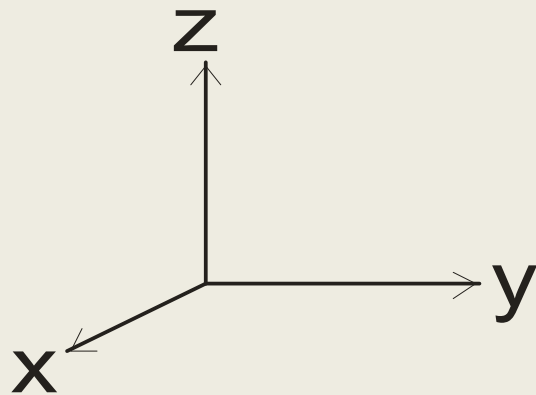
**KGI: STAN NAPRĘŻENIA**

**W PUNKCIE**



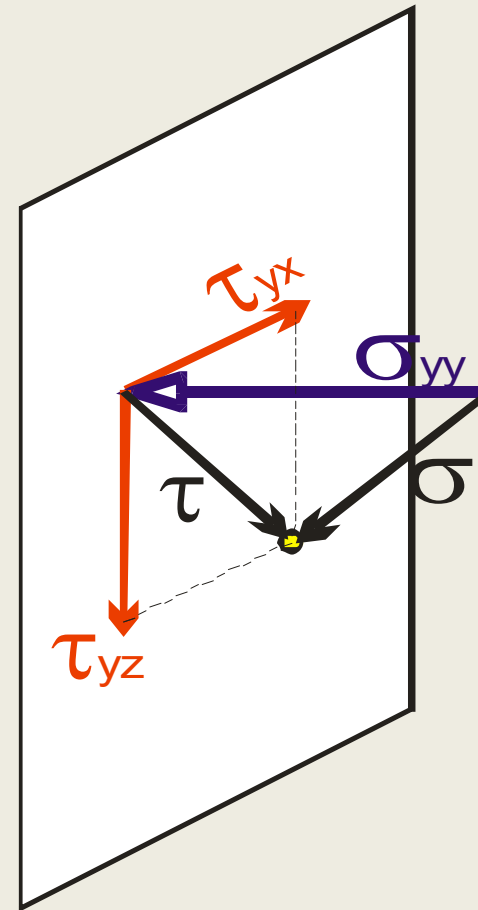
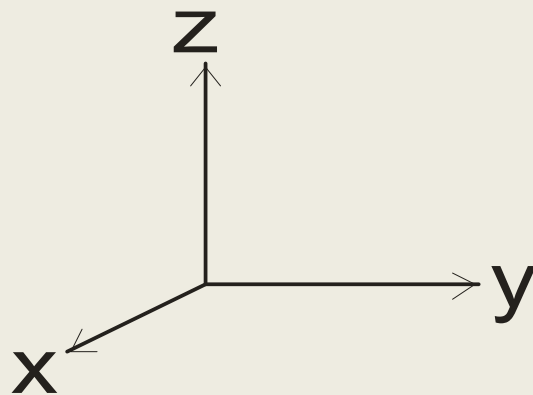
KGI: STAN NAPRĘŻENIA

NA PŁASZCZYŹNIE



KGI: STAN NAPRĘŻENIA

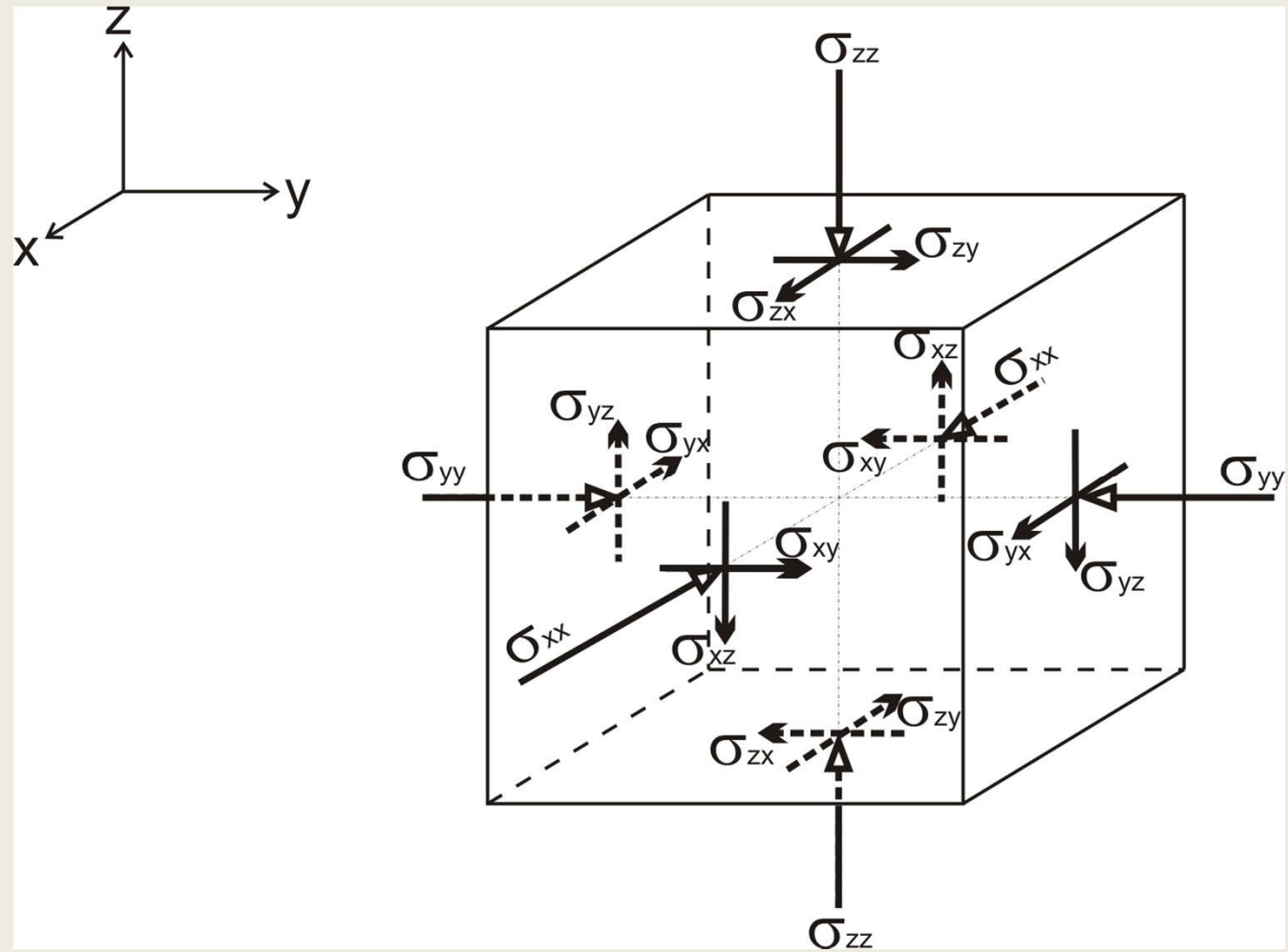
NA PŁASZCZYŹNIE





# KGI: STAN NAPRĘŻENIA

## W PRZESTRZENI



**KGI: STAN NAPRĘŻENIA**

**W PRZESTRZENI**



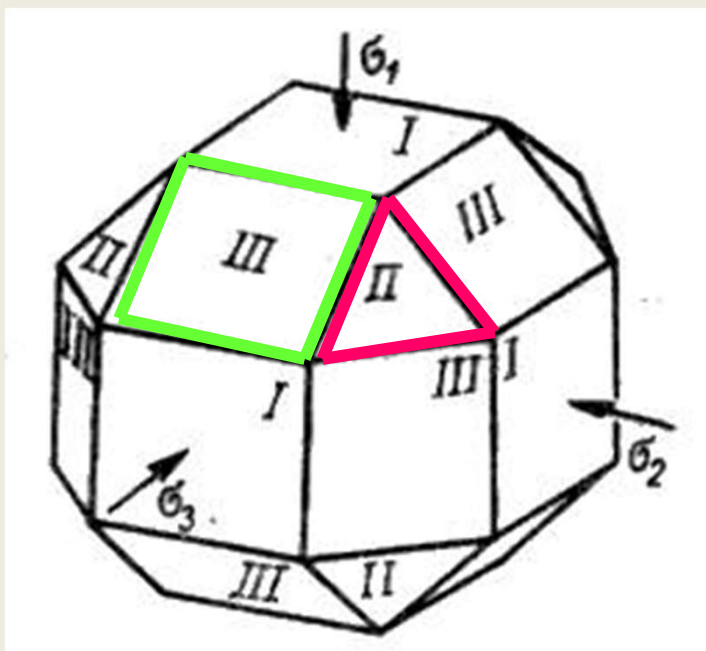
**TENSOR  
NAPRĘŻENIA**

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

## KGI: STAN NAPRĘŻENIA

### NAPRĘŻENIA GŁÓWNE

Naprężenia występujące **w kierunkach**, w których występują **tylko składowe normalne** – nie mają składowych stycznych – oznaczamy:  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$



### DEWIATOR NAPRĘŻENIA

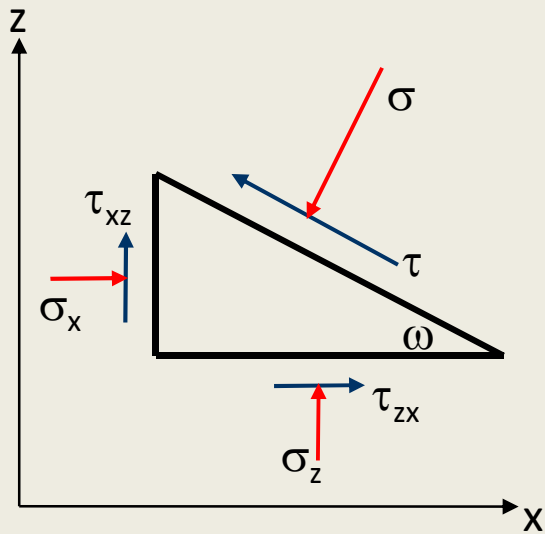
$$\tau_1 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}$$

$$\tau_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$\tau_3 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

## KGI: STAN NAPRĘŻENIA

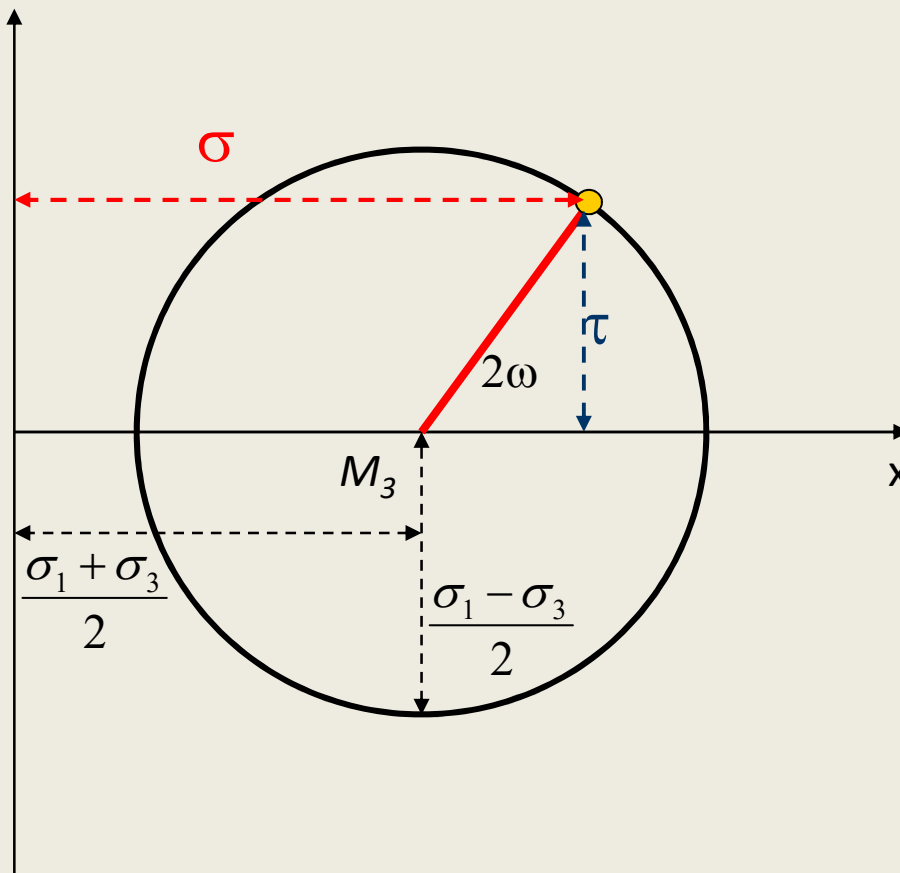
### PŁASKI STAN NAPRĘŻENIA



$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\omega$$

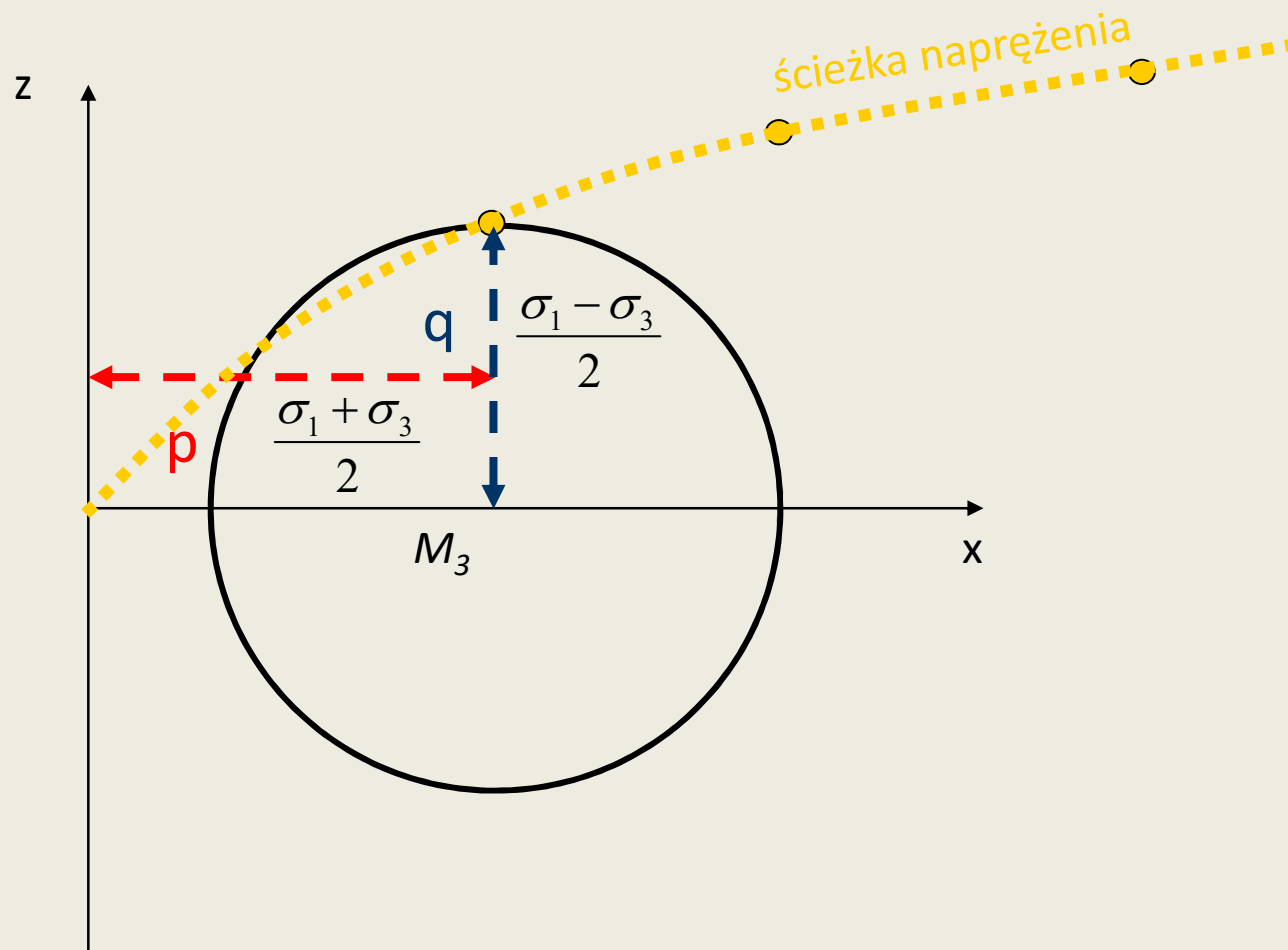
$$\tau = \frac{1}{2} (\sigma_1^2 - \sigma_3^2) \sin 2\omega$$

KOŁA MOHRA NA PŁASZCZYŹNIE



# KGI: STAN NAPRĘŻENIA

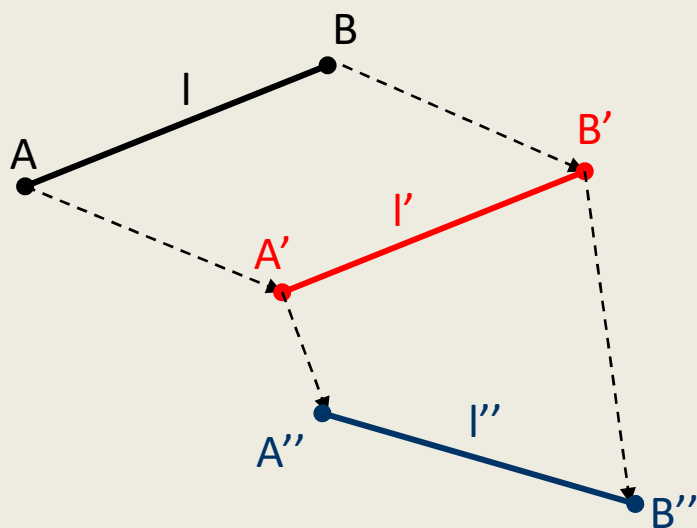
## KOŁA MOHRA NA PŁASZCZYŹNIE



KGI:

# STAN ODKSZTAŁCENIA

## ZAŁOŻENIA



$$A \rightarrow A'$$

$$B \rightarrow B'$$

$$AB \parallel A'B'$$

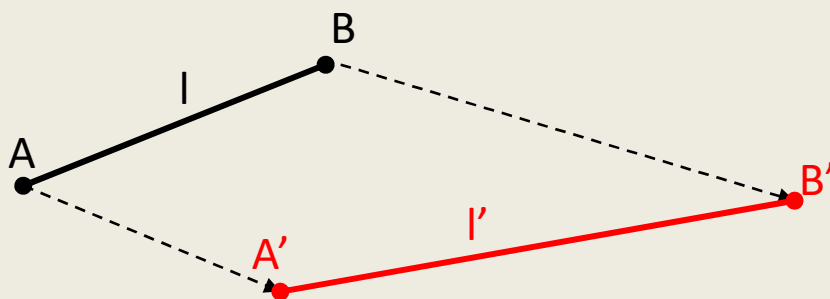
$$l = l' = l''$$



przesunięcie i obrót

# KGI: STAN ODKSZTAŁCENIA

## ZAŁOŻENIA



$$A \rightarrow A'$$

$$B \rightarrow B'$$

$$l \neq l'$$



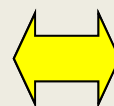
## ODKSZTAŁCENIE

$$u_x(x, y, z)$$

$$u_y(x, y, z)$$

$$u_z(x, y, z)$$

$$\sigma = \text{const.}$$



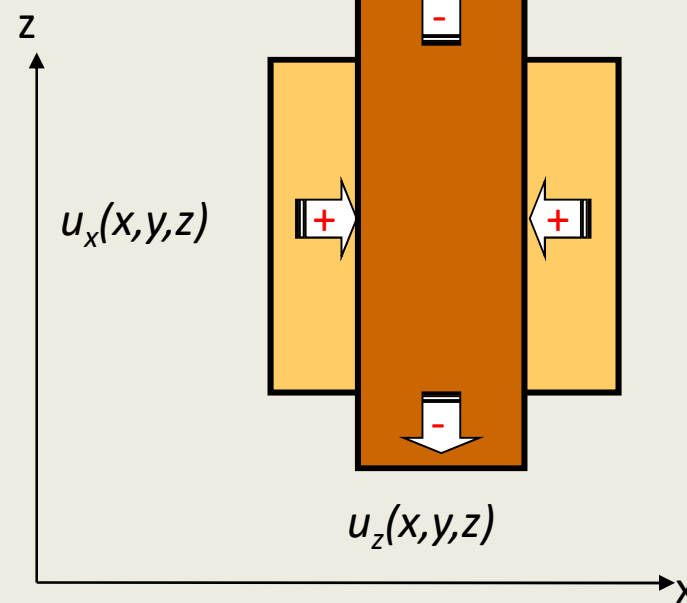
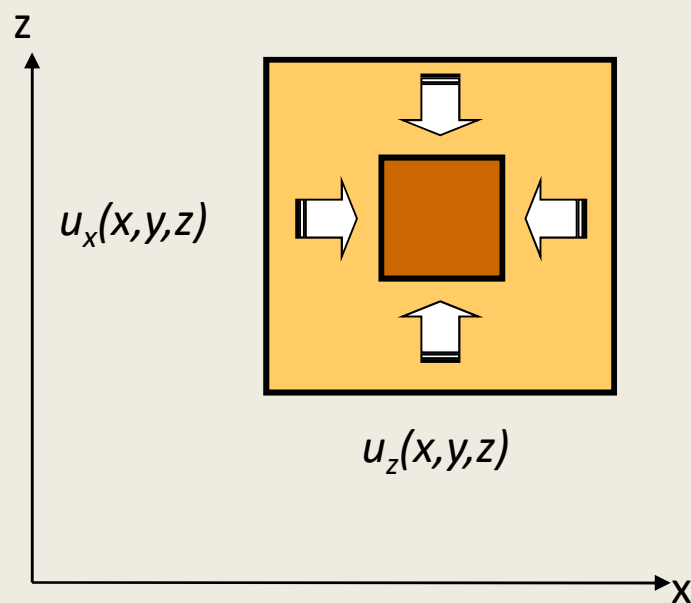


RODZAJE

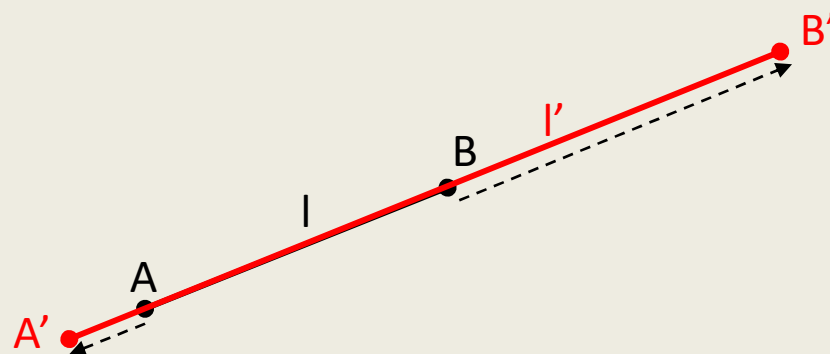
ODKSZTAŁCENIE

objętości

postaci



MIARA ODKSZTAŁCENIA LINIOWEGO



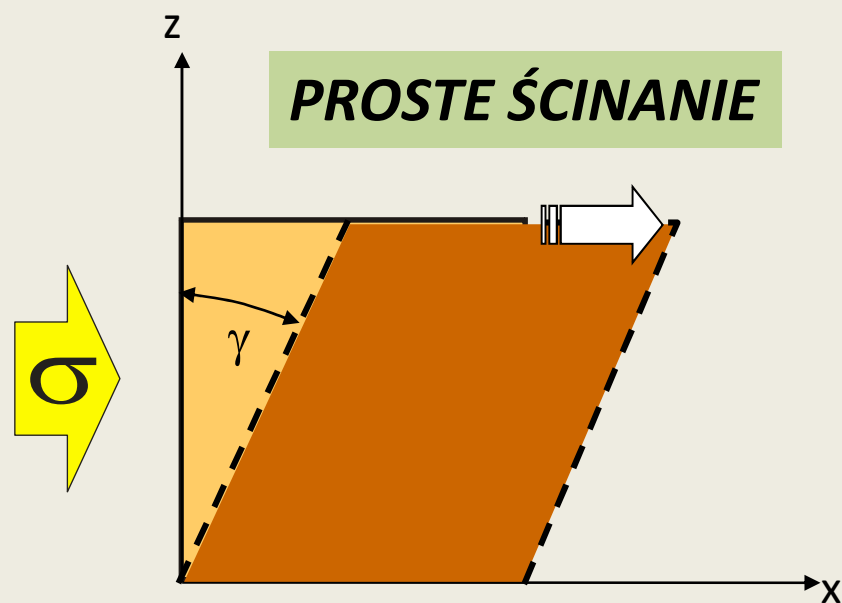
$$\varepsilon_l = \int_{l_0}^{l'} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l'}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta l}{l_0} \right)^2 + \dots$$



$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0}$$

## KGI: STAN ODKSZTAŁCENIA

### MIARA ODKSZTAŁCENIA POSTACI



$$\operatorname{tg}\gamma \approx \gamma$$



$$\gamma_{zx} = \frac{du_x}{dz}$$

KGI:

## STAN ODKSZTAŁCENIA

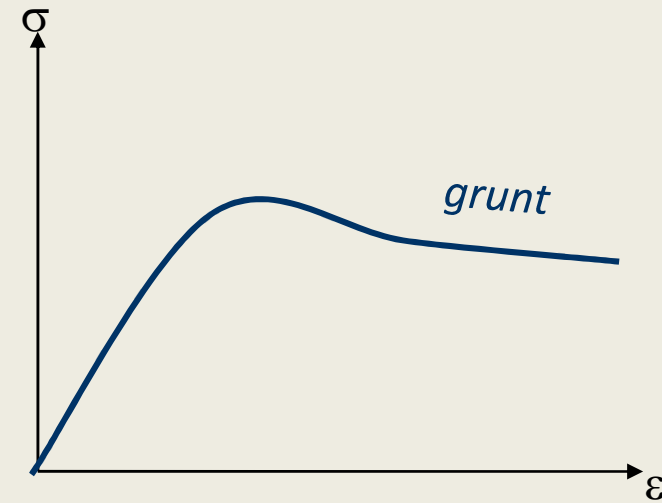
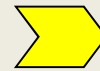
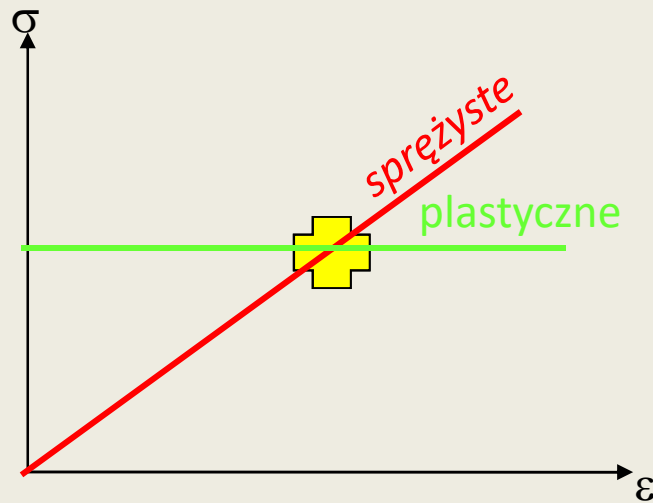
### TENSOR ODKSZTAŁCENIA

$$\varepsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

## MODEL PODSTAWOWY



KGI:

## STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

$$\varepsilon_{kl} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \oplus \sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$



$$\sigma_{ij} = A_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl}$$

KGI: STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

CIAŁO IZOTROPOWE



$$\sigma_{ij} = 2\mu\varepsilon_{ij} + \lambda\varepsilon_{kl}\delta_{ij}$$



stałe Lamego



$$\mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

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

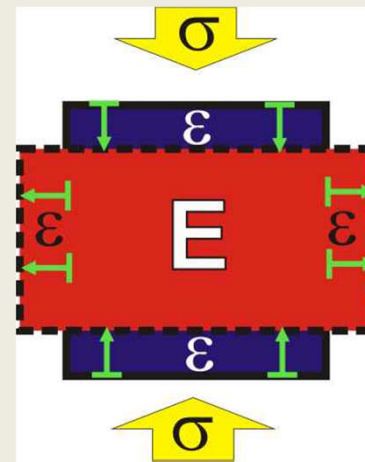
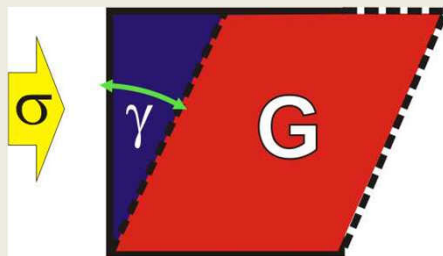
KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

CIAŁO IZOTROPOWE

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

$$E = 3D(1-2\nu)$$





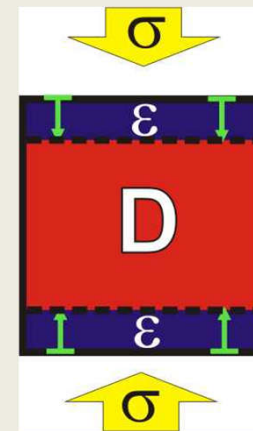
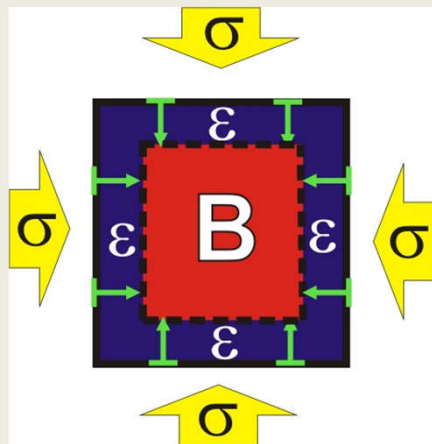
KGI:

## STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

CIAŁO IZOTROPOWE

$$B = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

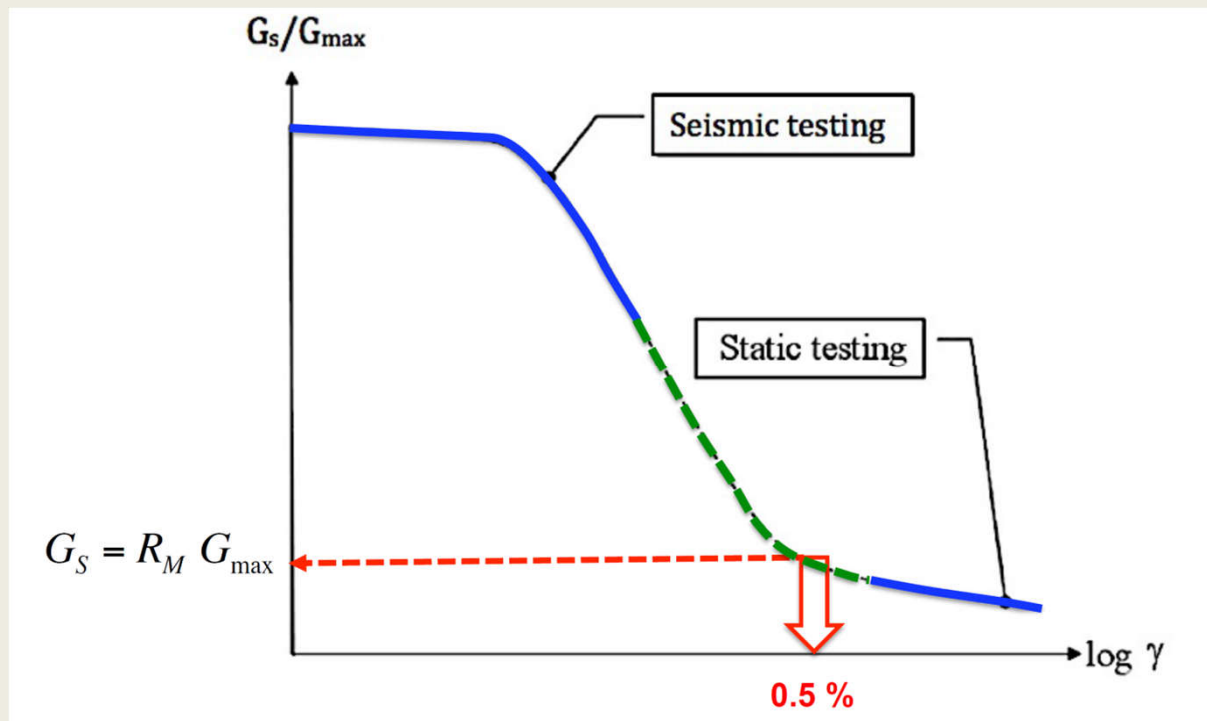
$$D = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$



KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

## CIAŁO IZOTROPOWE

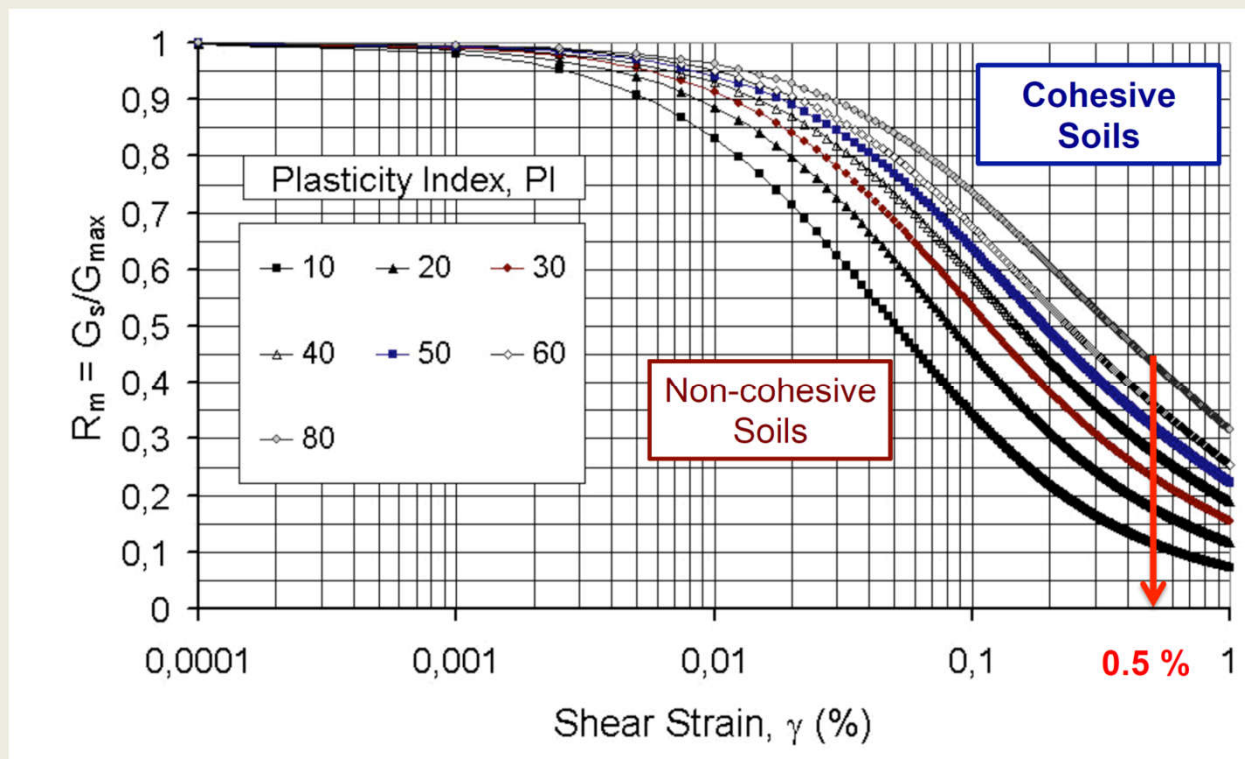


(Massarsch 2014)

KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

## CIAŁO IZOTROPOWE

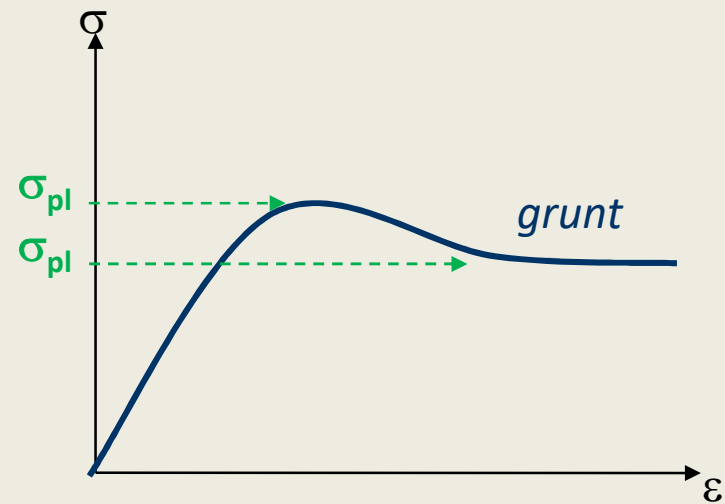
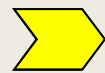
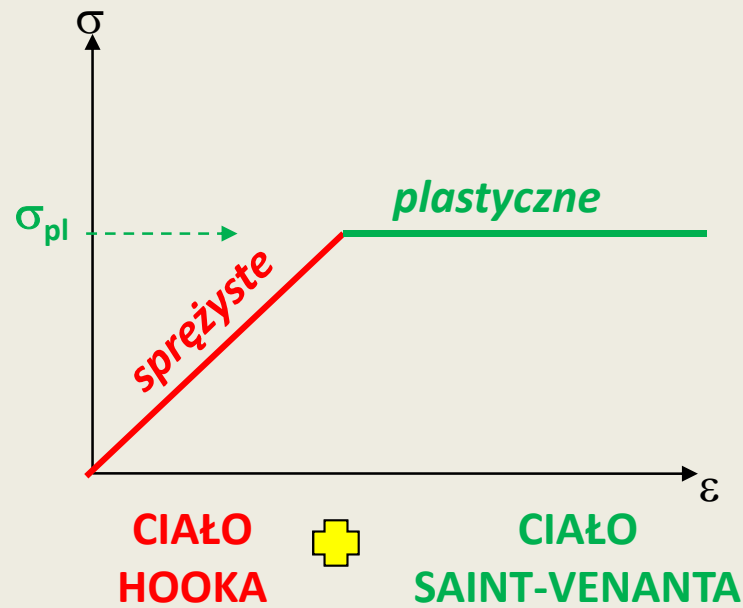


(Massarsch 2014)

KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

## CIAŁO IZOTROPOWE



KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

## CIAŁO IZOTROPOWE

### PODSTAWOWE MODELE REOLOGICZNE

CIAŁO  
HOOKA

$$\tau = G\gamma$$



CIAŁO  
SAINT-VENANTA

$$\tau = \sigma_{pl}$$



CIAŁO  
NEWTONA

$$\tau = \eta\dot{\gamma}$$



**KGI: STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA**

**KONSOLIDACJA**

zmiana (zmniejszenie) objętości porów  
w skutek zwiększenia naprężenia

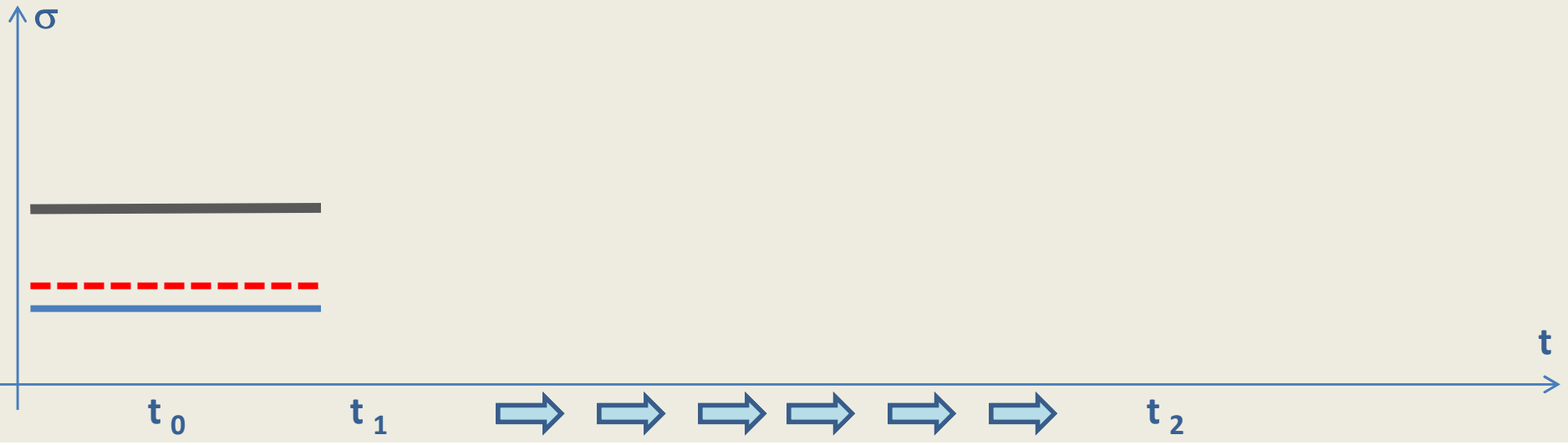
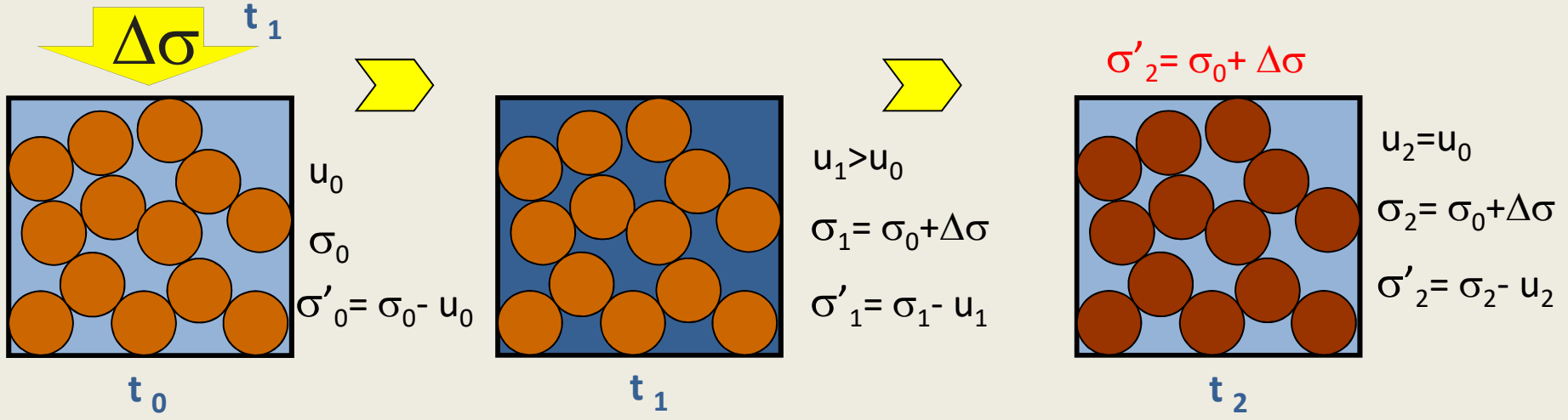
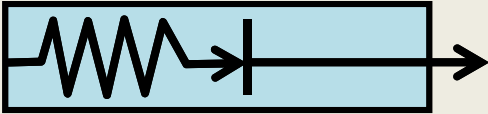


**TEORIA TERZAGHIEGO**

- grunt jest jednorodny
- wszystkie pory są wypełnione wodą
- szkielet i woda są nieściśliwe
- ruch wody jest zgodny z prawem Darcy
- konsolidacja jest liniowa
- współczynnik ściśliwości ma stałą wartość
- parametry gruntu są stałe

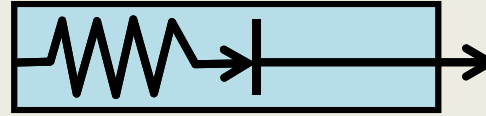
KGI: **STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA**

MODEL TERZAGHIEGO



KGI: STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

TEORIA TERZAGHIEGO



$$T_v = \frac{t}{H^2} \frac{1+e}{a_v} \frac{k}{\gamma_w} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{1}{D} = \frac{1+e}{a_v}$$

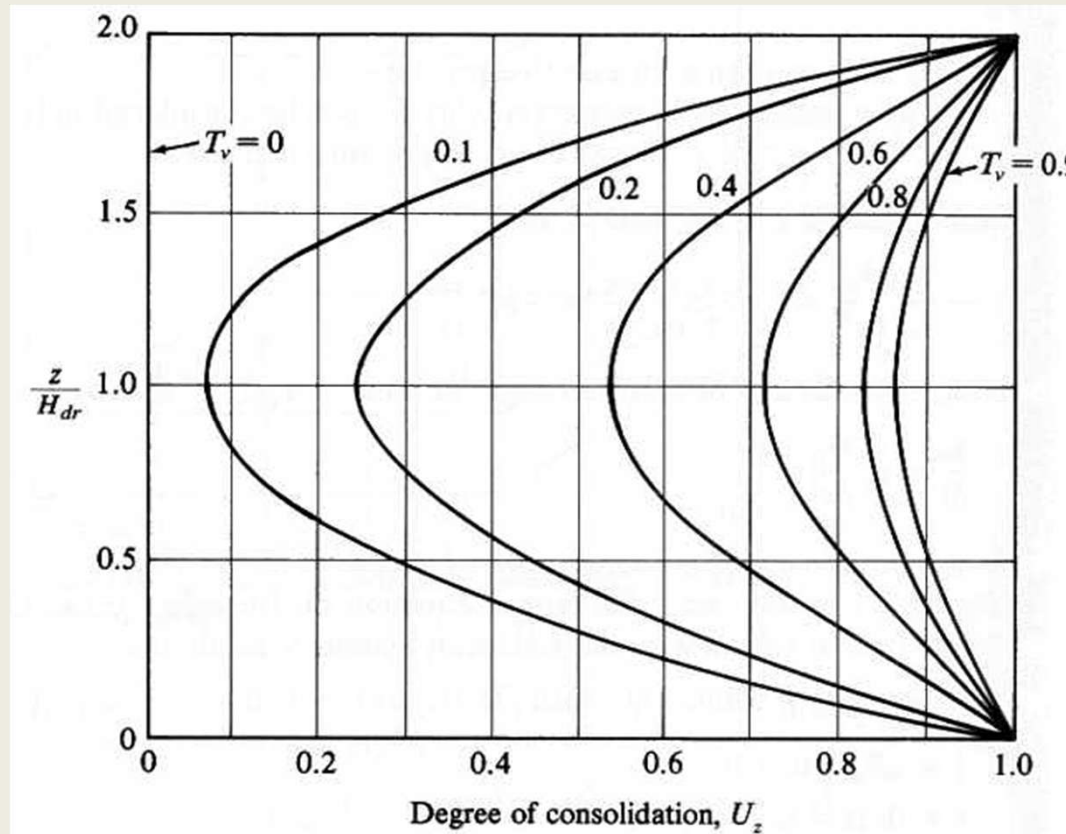
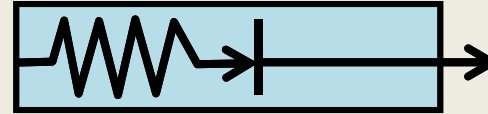


$$t = \frac{\gamma_w T_v H^2}{Dk}$$



**KGI: STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA**

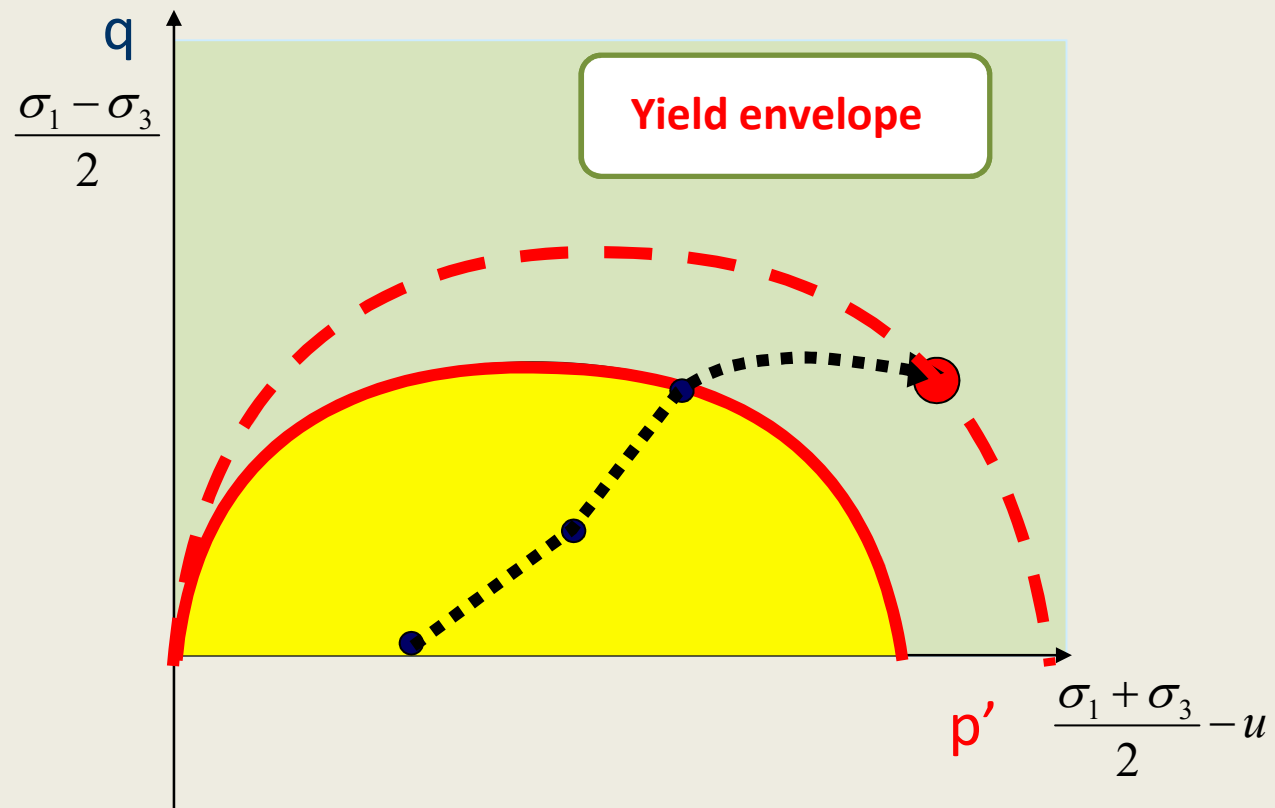
**TEORIA TERZAGHIEGO**



**KGI: STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA**

**MODEL „MODIFIED CAM-CLAY”**

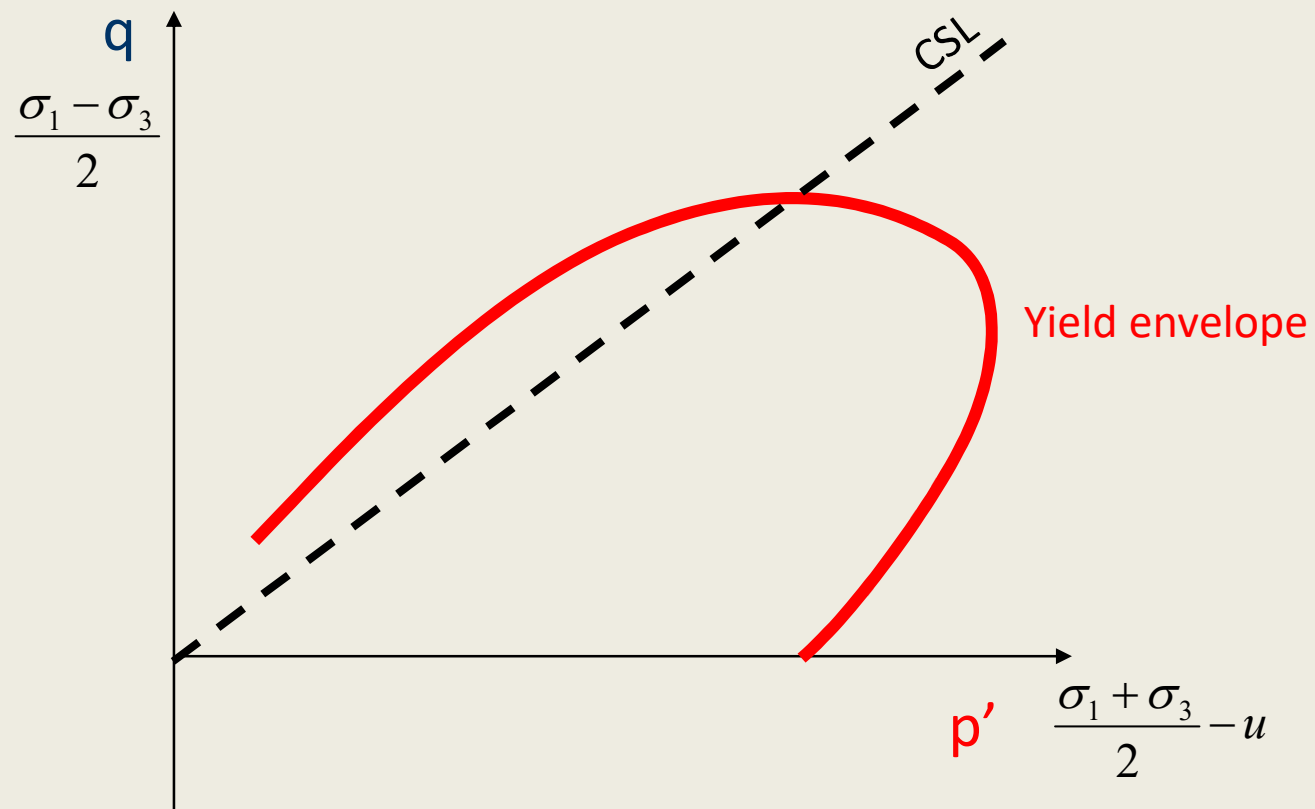
*(Roscoe & Burland 1968)*



**KGI: STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA**

**MODEL „MODIFIED CAM-CLAY”**

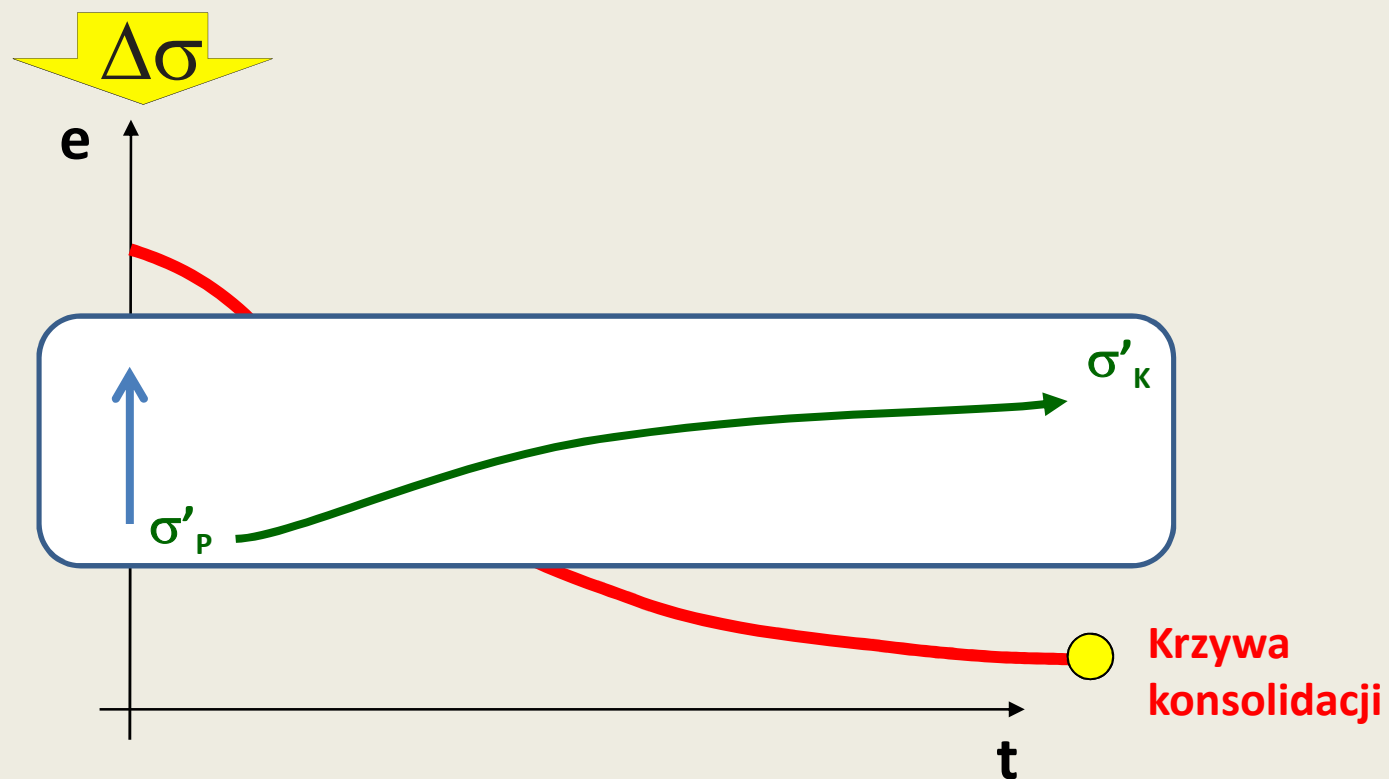
*(Roscoe & Burland 1968)*



KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

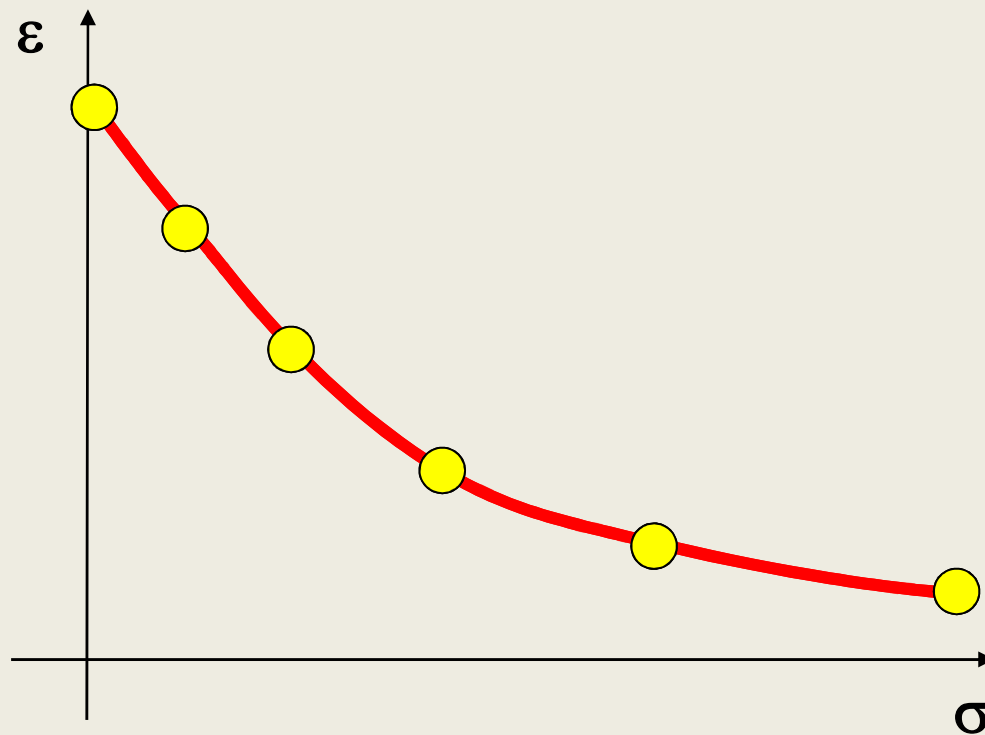
ŚCIŚLIWOŚĆ



KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

ŚCIŚLIWOŚĆ

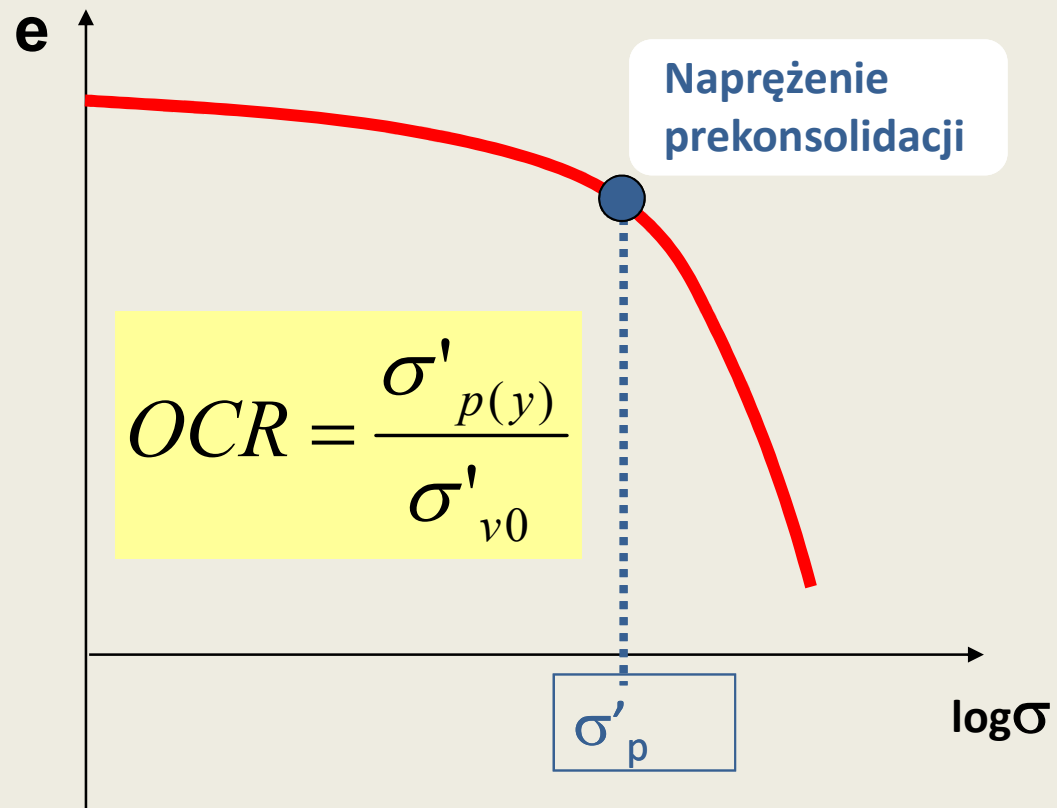


Krzywa  
ścisłości

KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

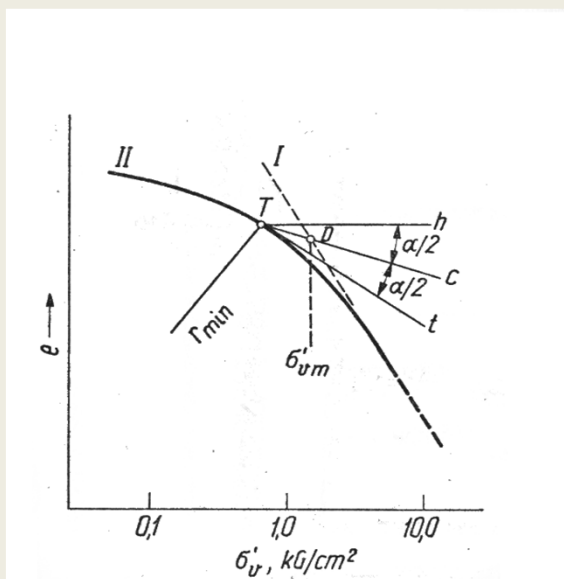
ŚCIŚLIWOŚĆ



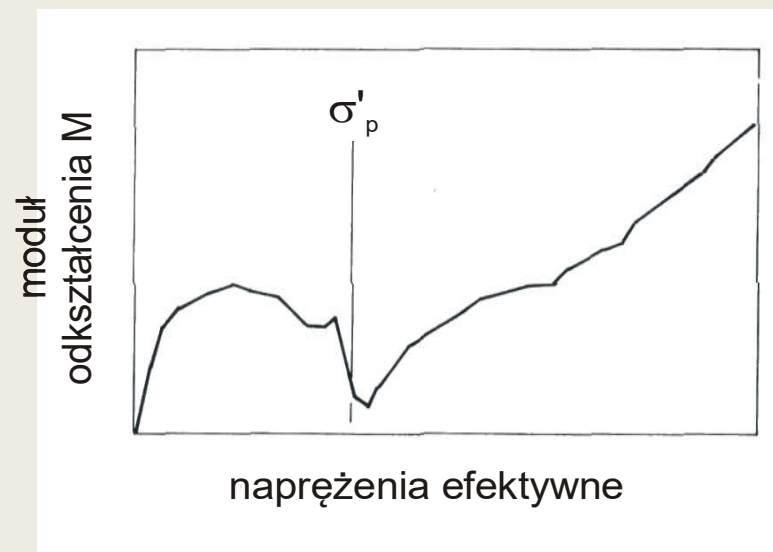
# KGI: STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

## ŚCIŚLIWOŚĆ

### Napężenie prekonsolidacji



Casagrande, 1936

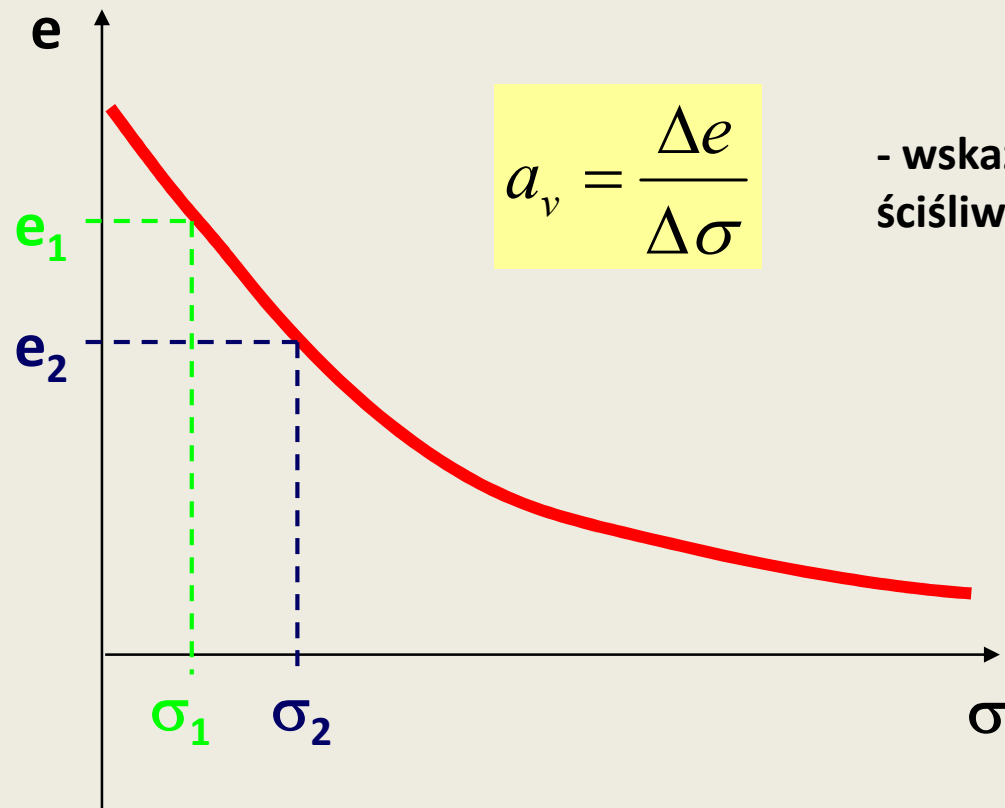


Janbu i inni, 1981

KGI:

## STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

### ŚCIŚLIWOŚĆ



$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma}$$

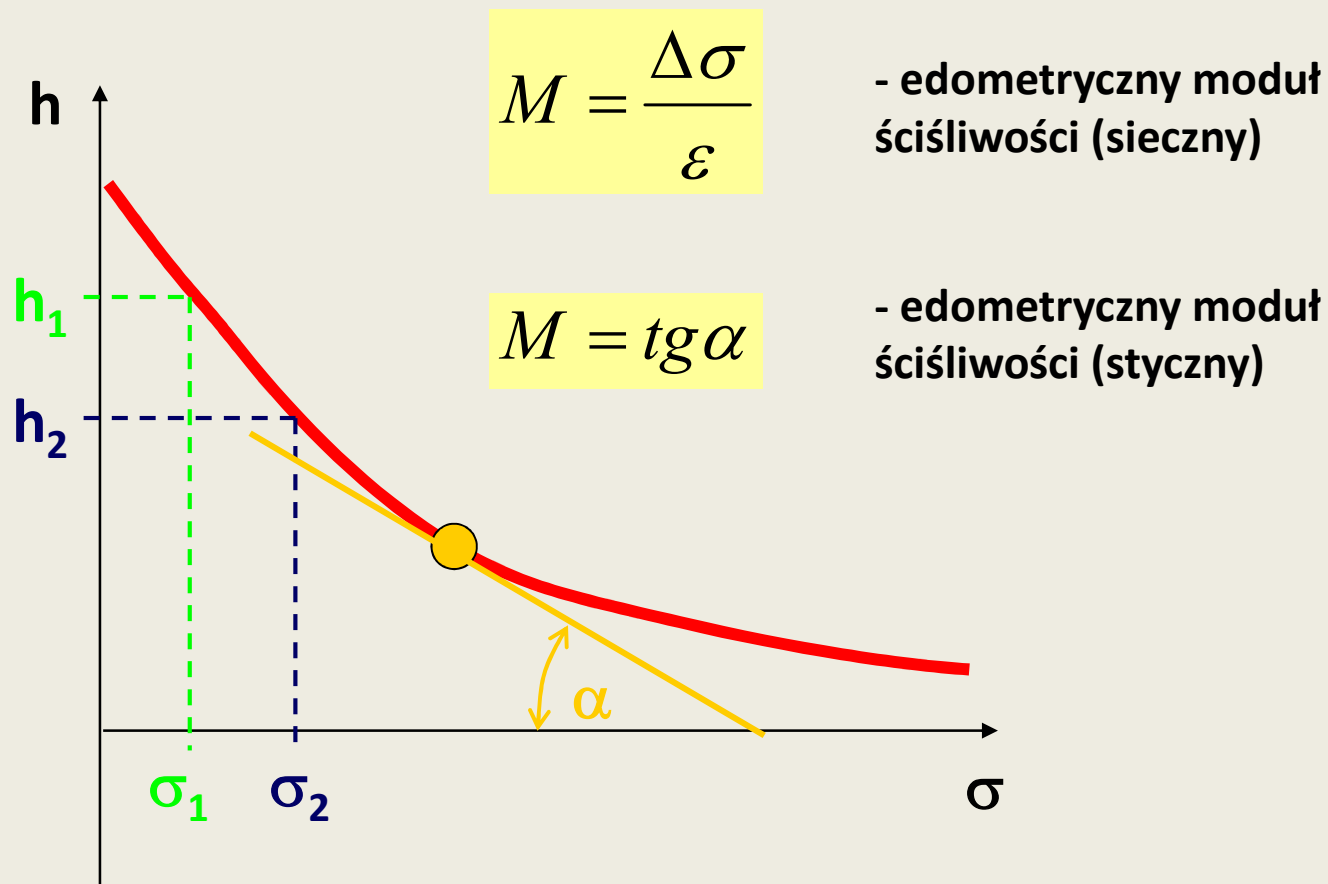
- wskaźnik  
ściśliwości



KGI:

# STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

## ŚCIŚLIWOŚĆ

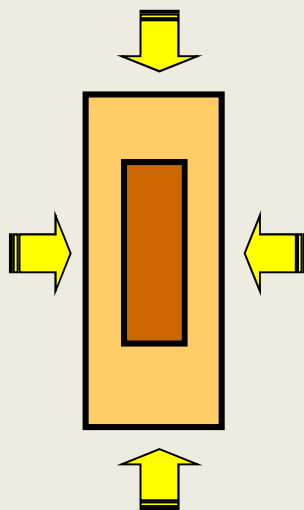


KGI:

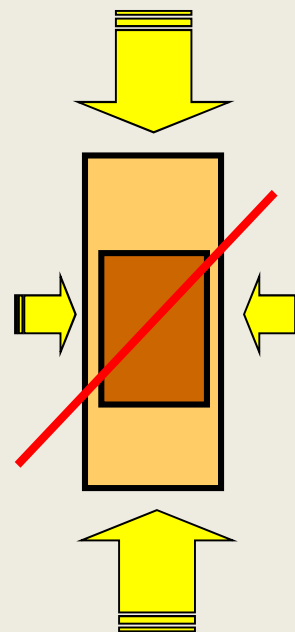
## STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

### WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCIANIE

ŚCISKANIE IZOTROPOWE



ŚCISKANIE ANIZOTROPOWE



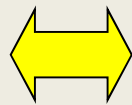
## KGI: STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA

### WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCIANIE

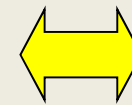
- kryterium Coulomba-Mohra

warunek granicznej wartości naprężeń stycznych

$$|\tau| < \tau_f$$



$$|\tau| = \tau_f$$



$$|\tau| > \tau_f$$

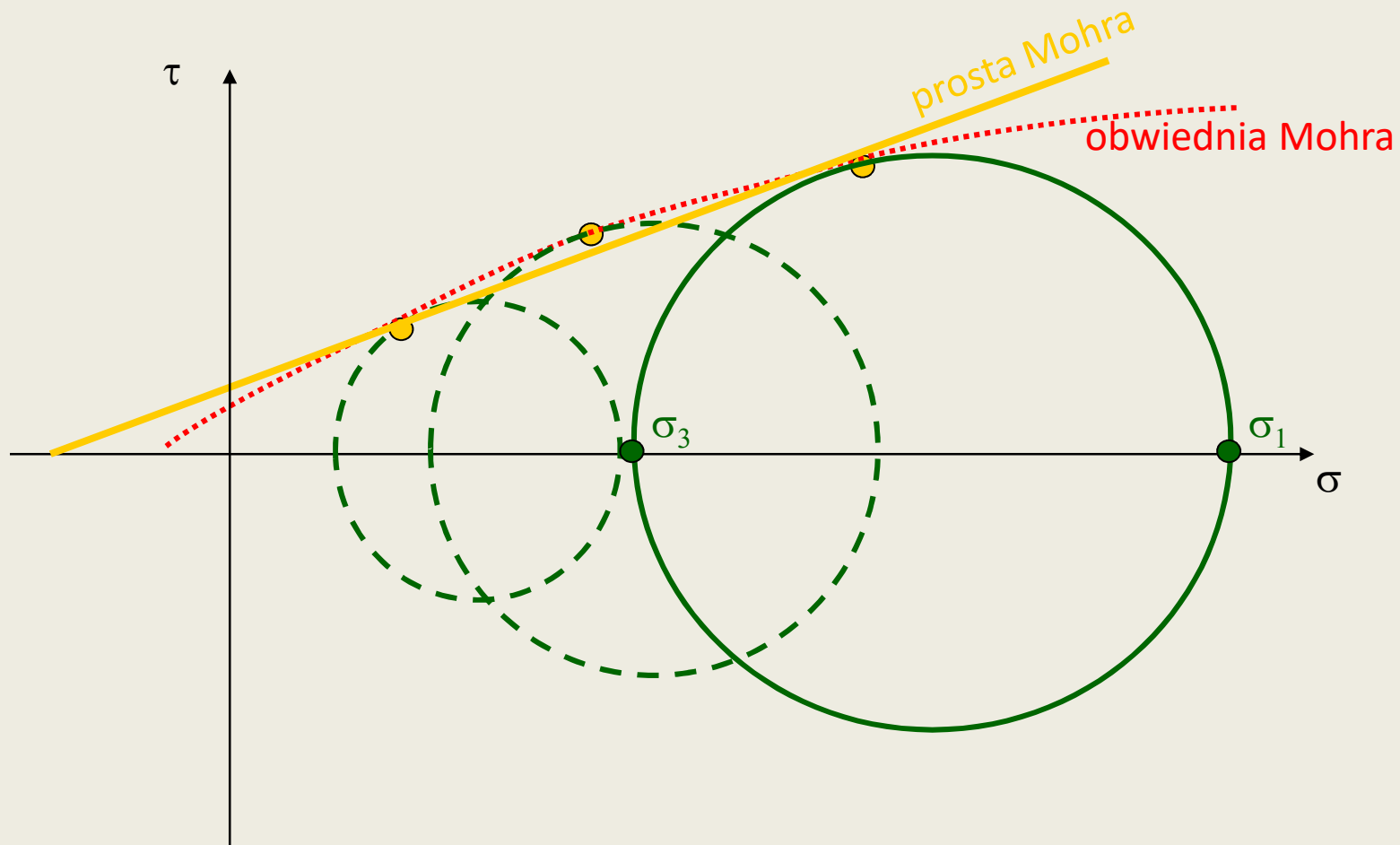


$$|\tau| = f(\sigma_n)$$

$$\tau_f = \sigma_n \operatorname{tg} \phi + c$$

**KGI: STAN NAPRĘŻENIA + ODKSZTAŁCENIA**

**WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCIANIE**

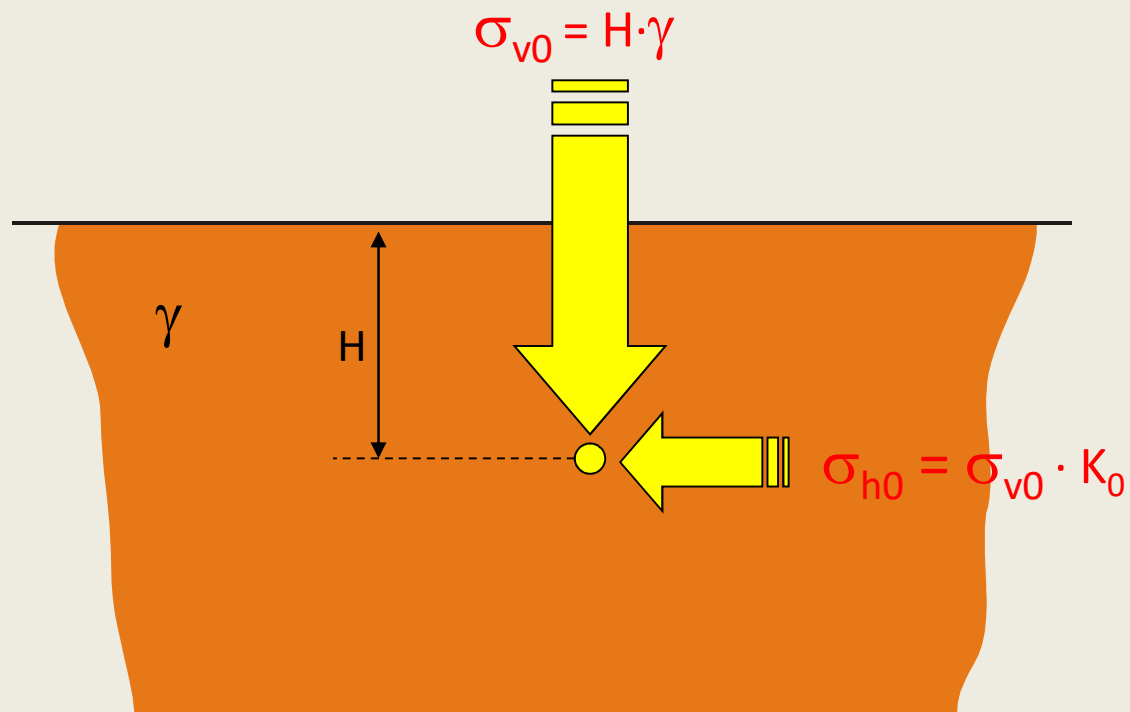


KGI:

# NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

## PARCIE I ODPÓR GRUNTU

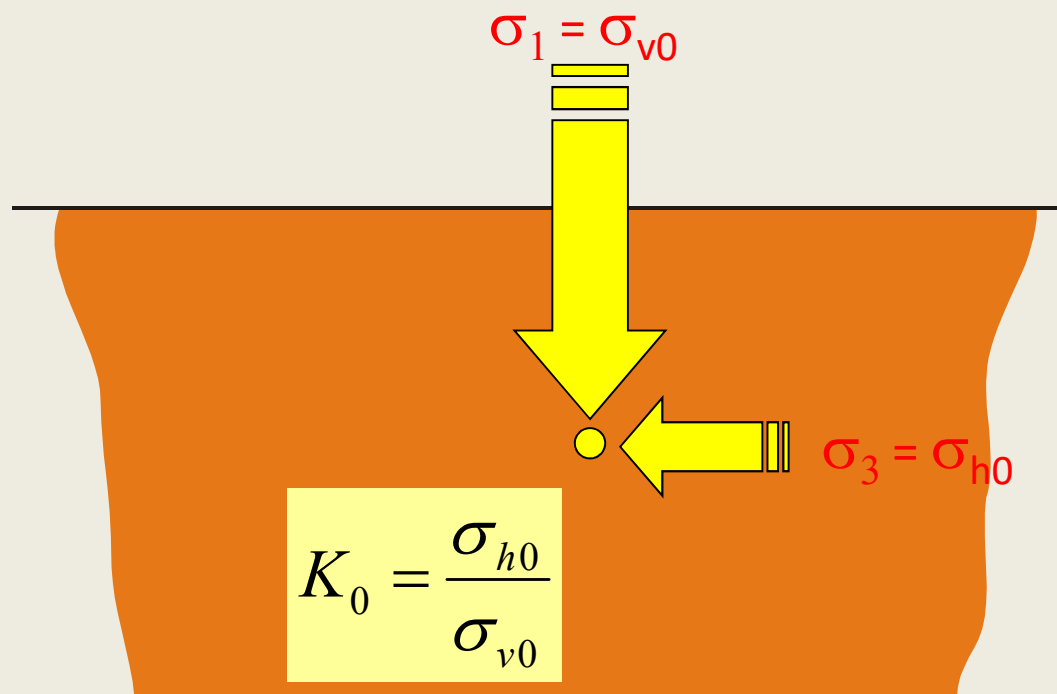
geostatyczny stan naprężenia



# KGI: NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

## PARCIE I ODPÓR GRUNTU

parcie spoczynkowe



$$K_0 = \left(1 + \frac{2}{3} \sin \phi\right) \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}\right) \Rightarrow K_0 = (1 - \sin \phi)$$

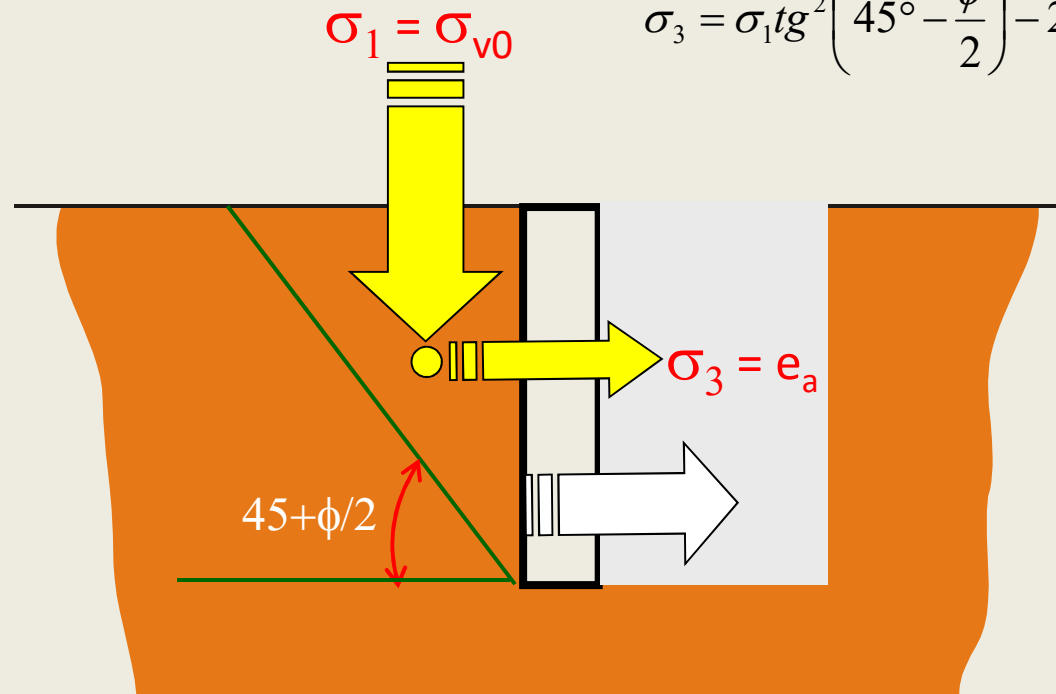
KGI:

## NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

### PARCIE I ODPÓR GRUNTU

parcie czynne

$$\sigma_3 = \sigma_1 \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$



$$e_a = \gamma \cdot H \cdot K_a - 2c \cdot \sqrt{K_a}$$

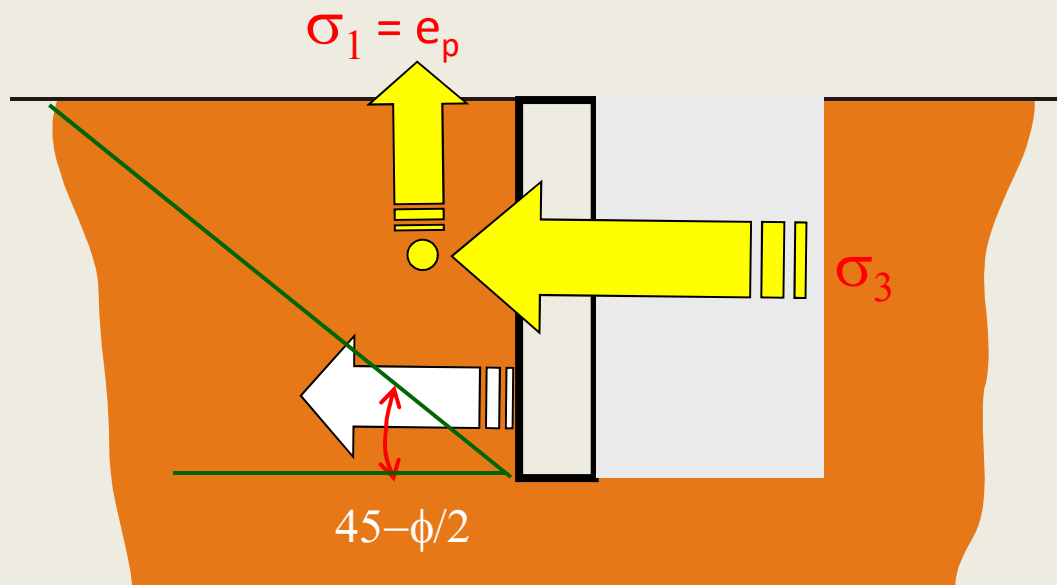
$$E_a = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} K_a - 2c \cdot H \cdot \sqrt{K_a}$$

# KGI: NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

## PARCIE I ODPÓR GRUNTU

parcie bierne

$$\sigma_1 = \sigma_3 \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$



$$e_p = \gamma \cdot H \cdot K_p + 2c \cdot \sqrt{K_p}$$

$$E_p = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} K_p + 2c \cdot H \cdot \sqrt{K_p}$$

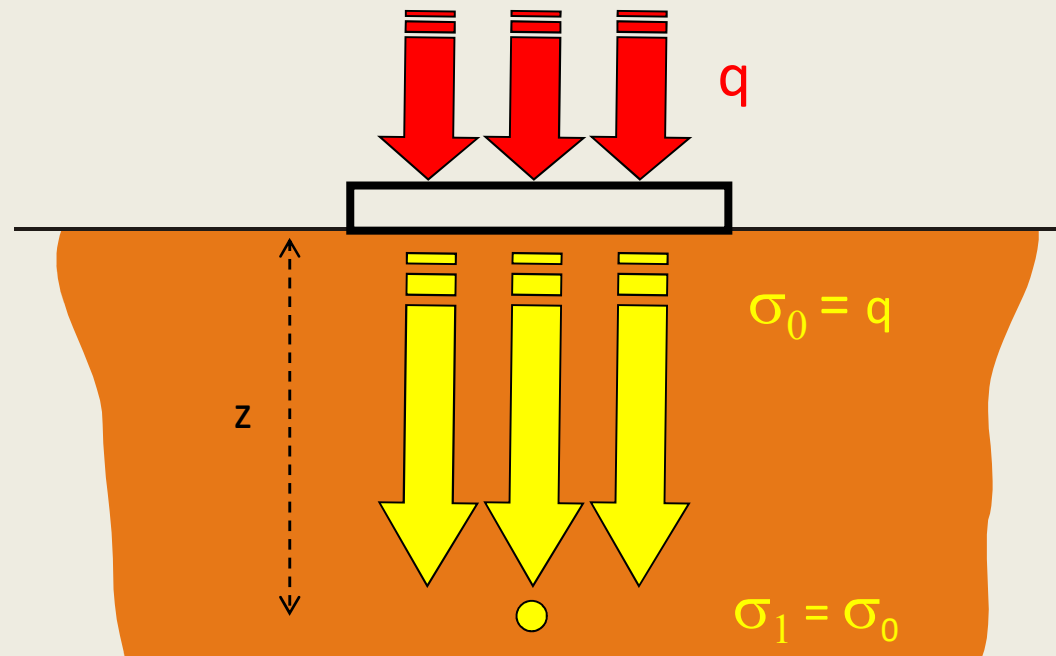


KGI:

# NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

## ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ DODATKOWYCH

hipoteza Winklera

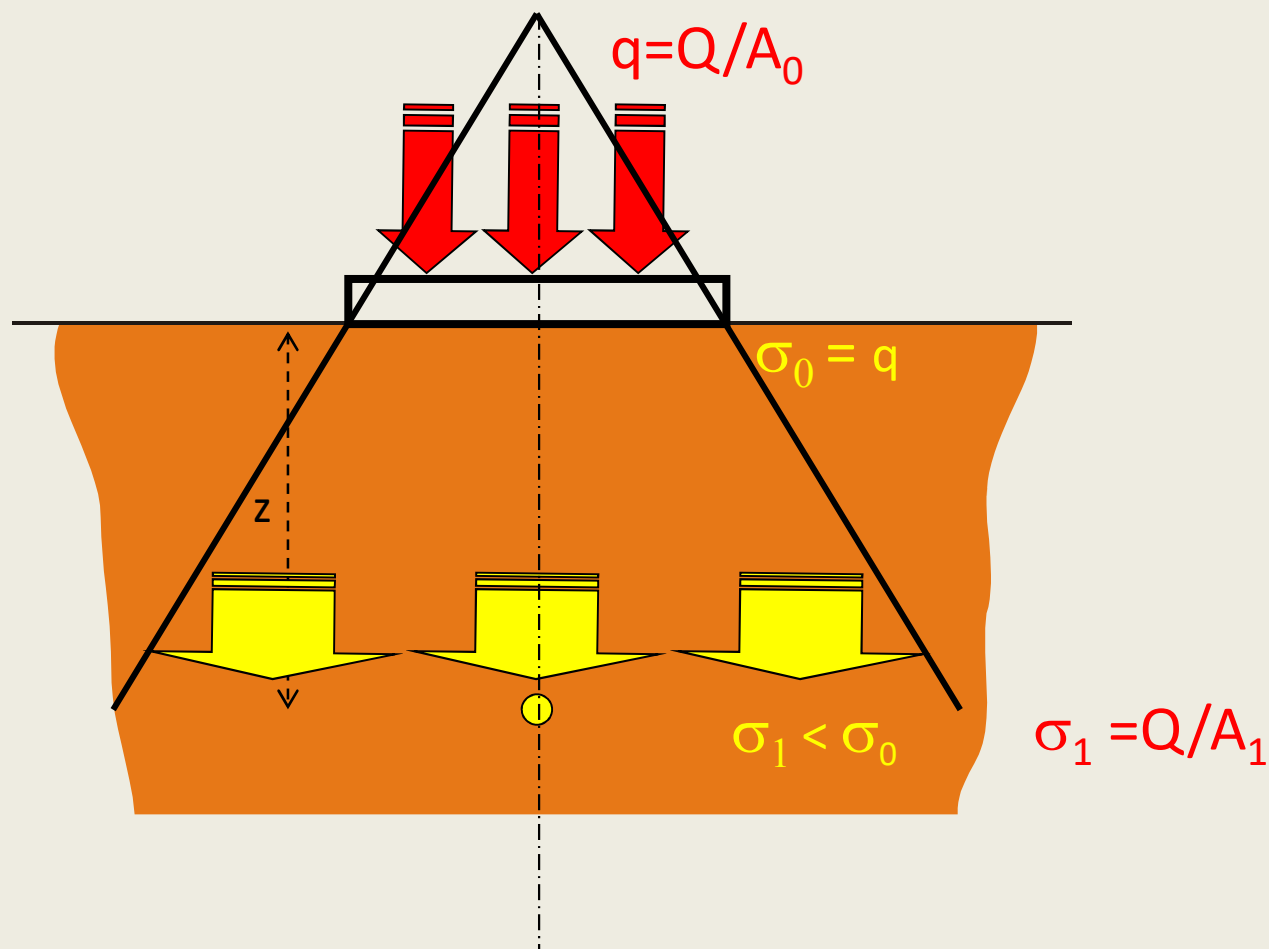


KGI:

## NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

### ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ DODATKOWYCH

hipoteza rozkładu  
równomiernego



**ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ DODATKOWYCH**

hipoteza  
Boussinesqua

- podłoże jest półprzestrzenią
- grunt jest izotropowy i nieważki
- grunt zachowuje się jak ciało sprężyste
- obowiązuje zasada superpozycji obciążeń
- sposób przyłożenia obciążenia wpływa na rozkład naprężeń tylko w bliskim sąsiedztwie

KGI:

# NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

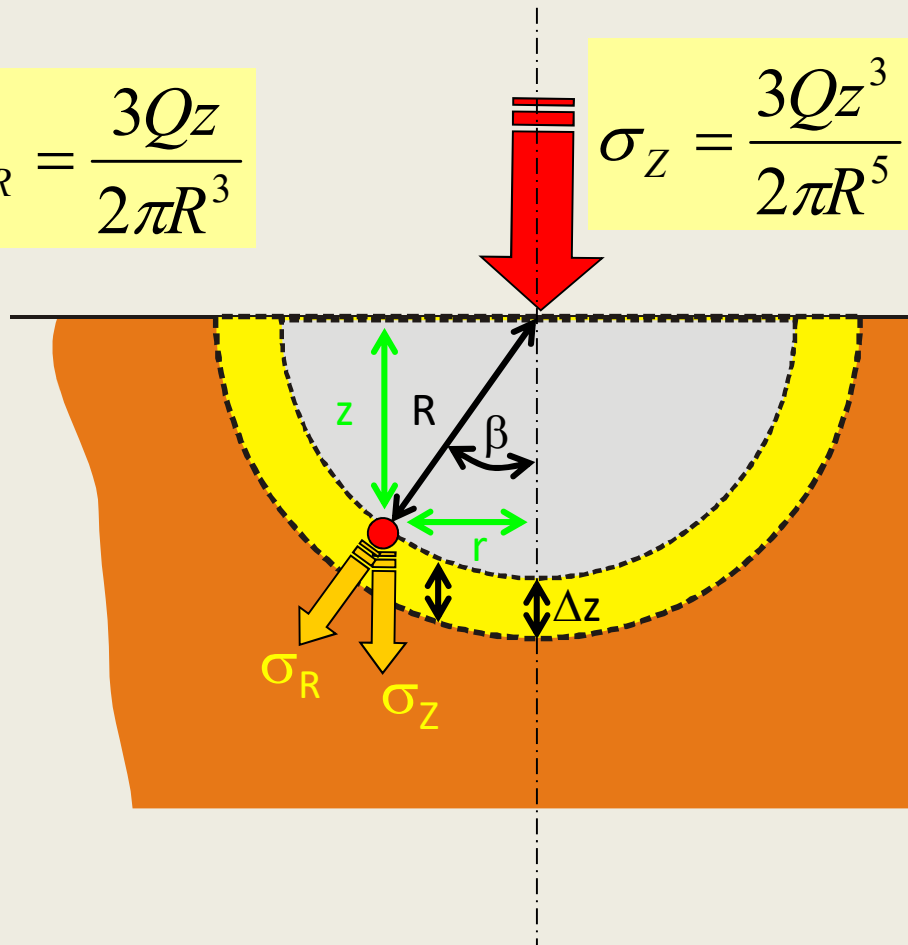
## ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ DODATKOWYCH

hipoteza  
Boussinesqua

$$\sigma_R = \frac{3Qz}{2\pi R^3}$$

$$\sigma_z = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5}$$

$$= \frac{3Q}{2\pi z^2 \left( 1 + \left( \frac{r}{z} \right)^2 \right)^{\frac{5}{2}}}$$

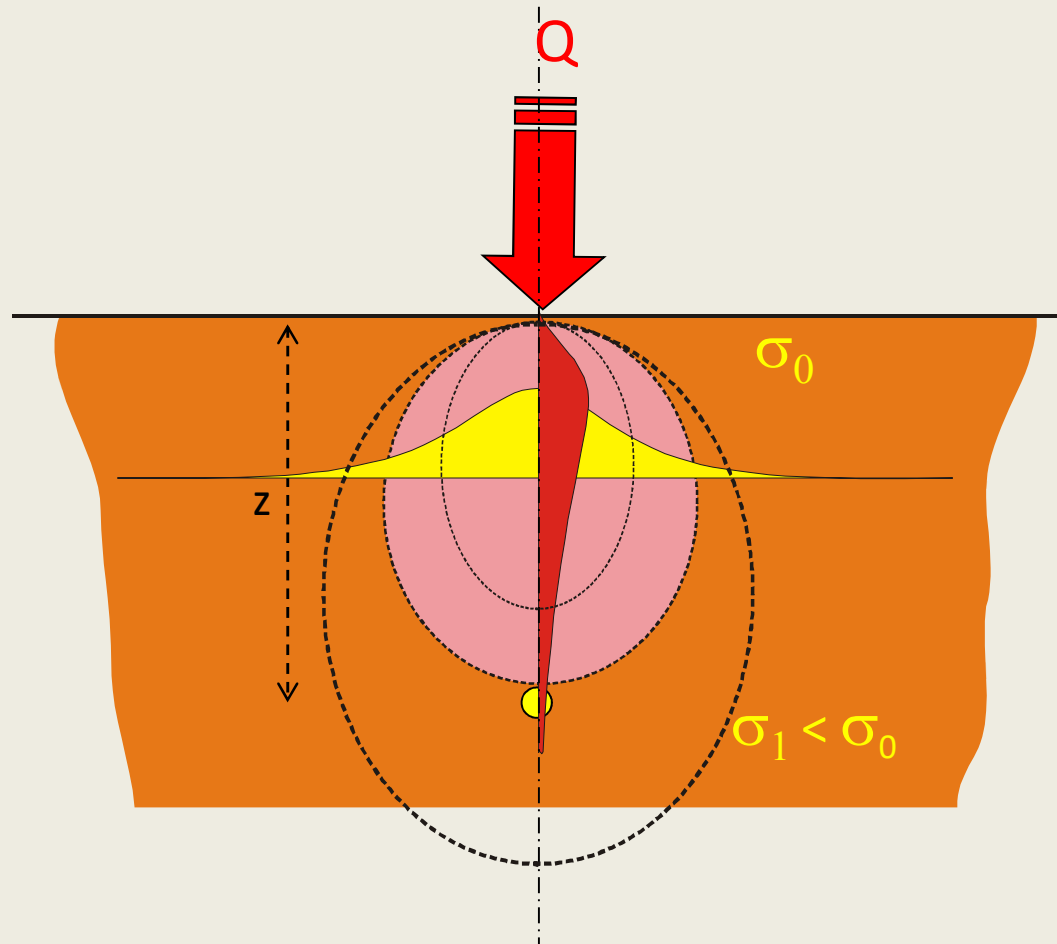


$$\sigma_z = \frac{QK_r}{z^2}$$

**KGI: NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE**

**ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ DODATKOWYCH**

hipoteza  
Boussinesqua

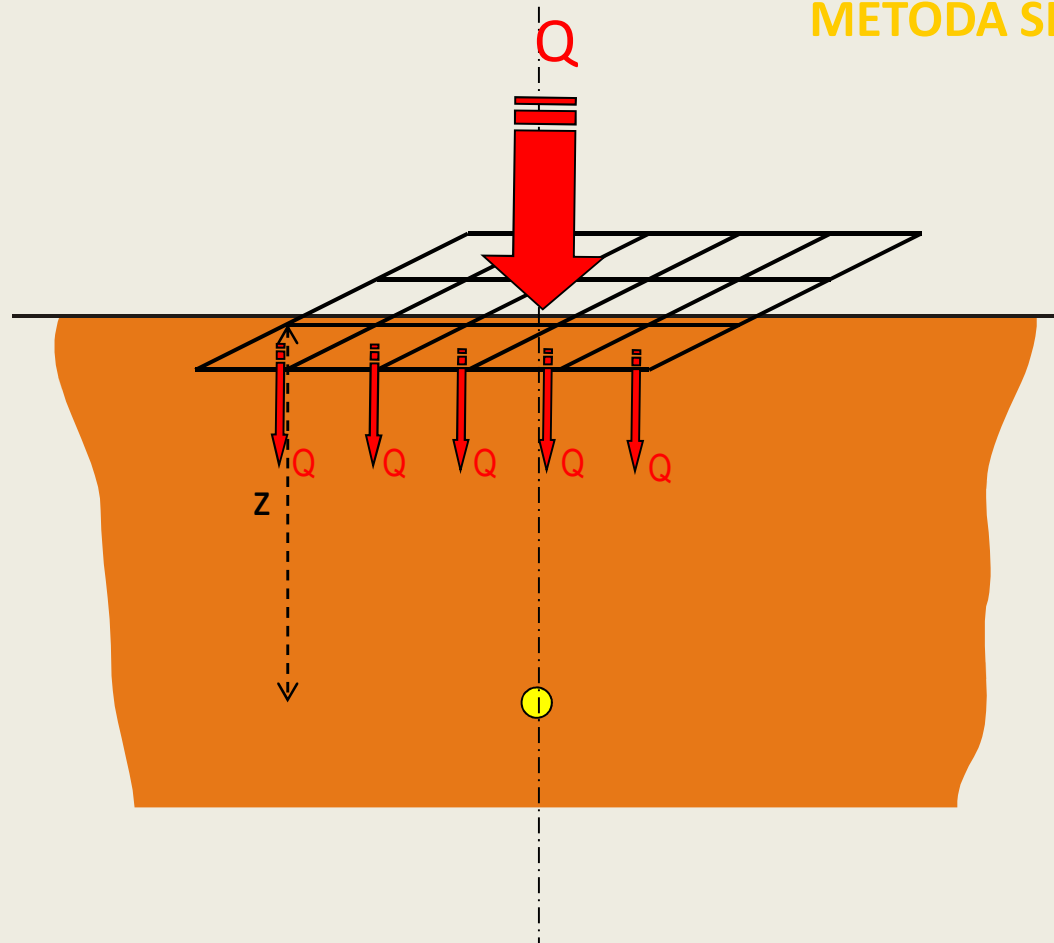


**KGI: NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE**

**ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ DODATKOWYCH**

hipoteza  
Boussinesqua

**METODA SIŁ SKUPIONYCH**



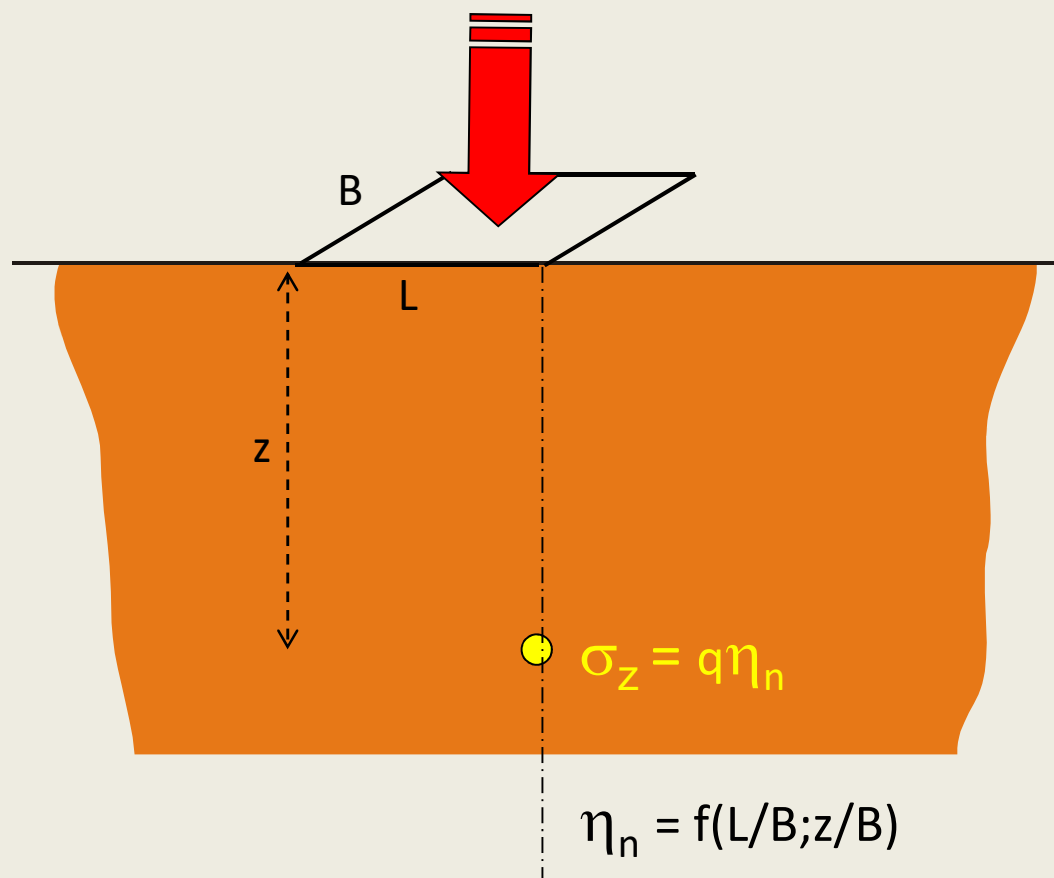
# KGI: NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

## ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ DODATKOWYCH

hipoteza  
Boussinesqua

$$q = Q / (BL)$$

METODA PUNKTÓW NAROŻNYCH



KGI:

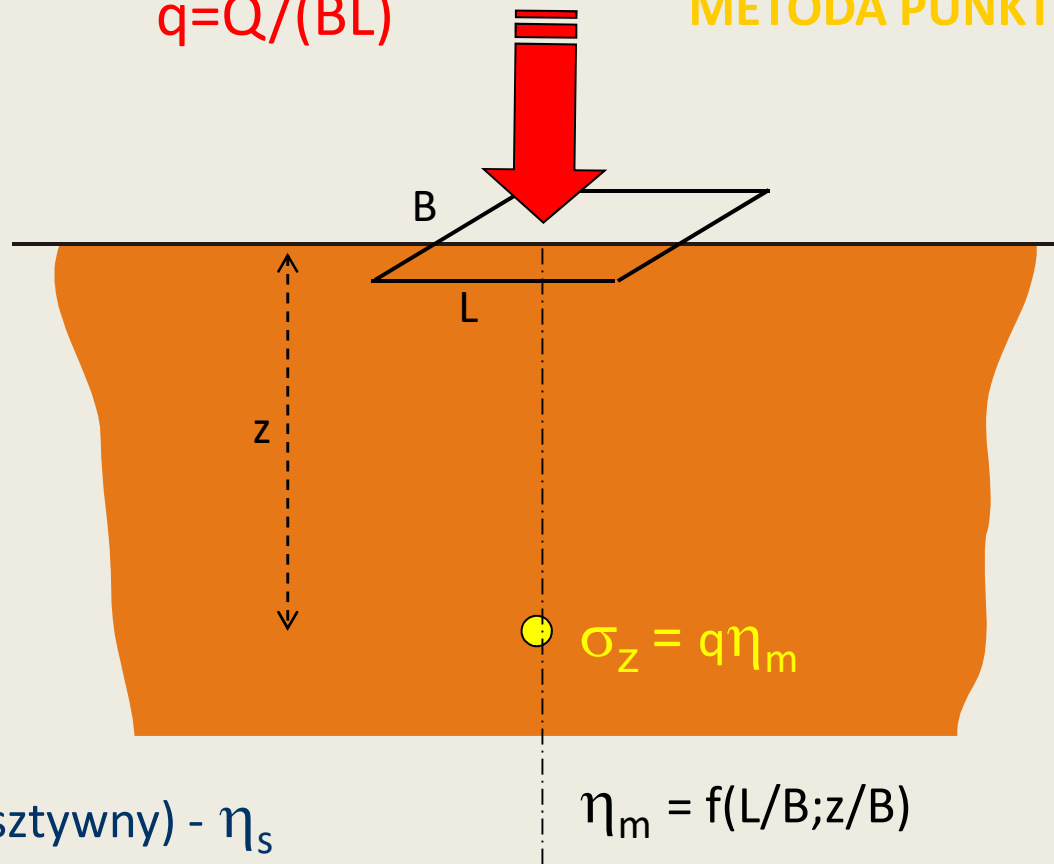
# NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

## ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ DODATKOWYCH

hipoteza  
Boussinesqua

$$q = Q / (BL)$$

METODA PUNKTU ŚRODKOWEGO



(fundament sztywny) -  $\eta_s$

$$\eta_m = f(L/B; z/B)$$

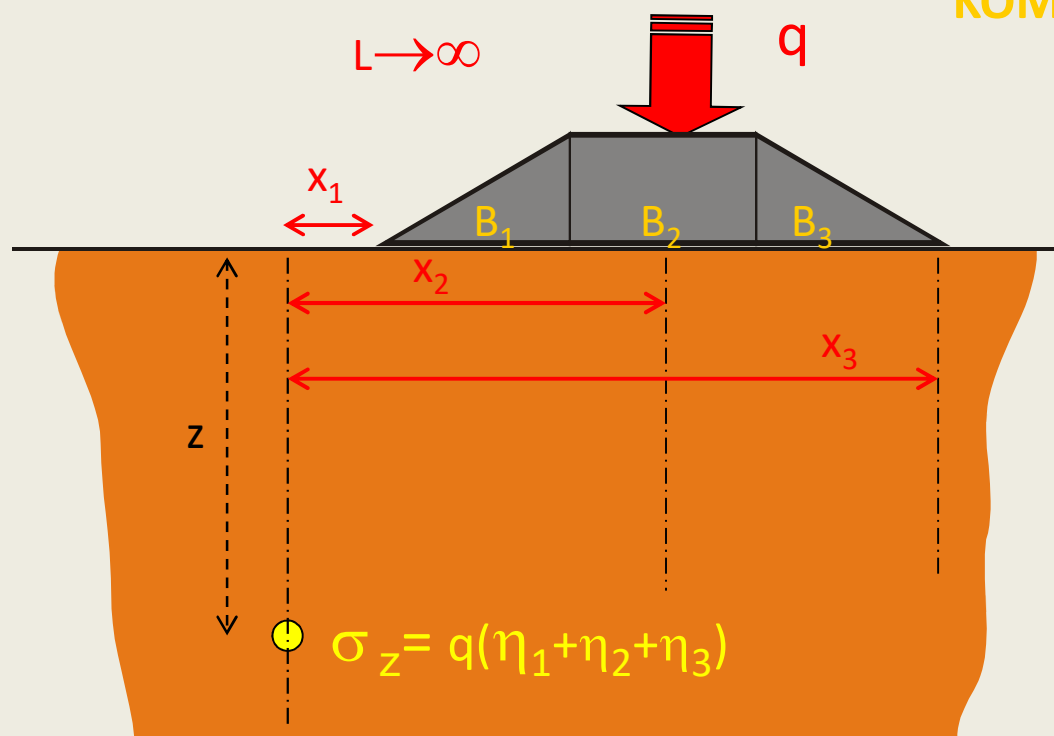


# KGI: NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

## ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ DODATKOWYCH

hipoteza  
Boussinesqua

OBCIĄŻENIE PASMOWE  
KOMBINOWANE

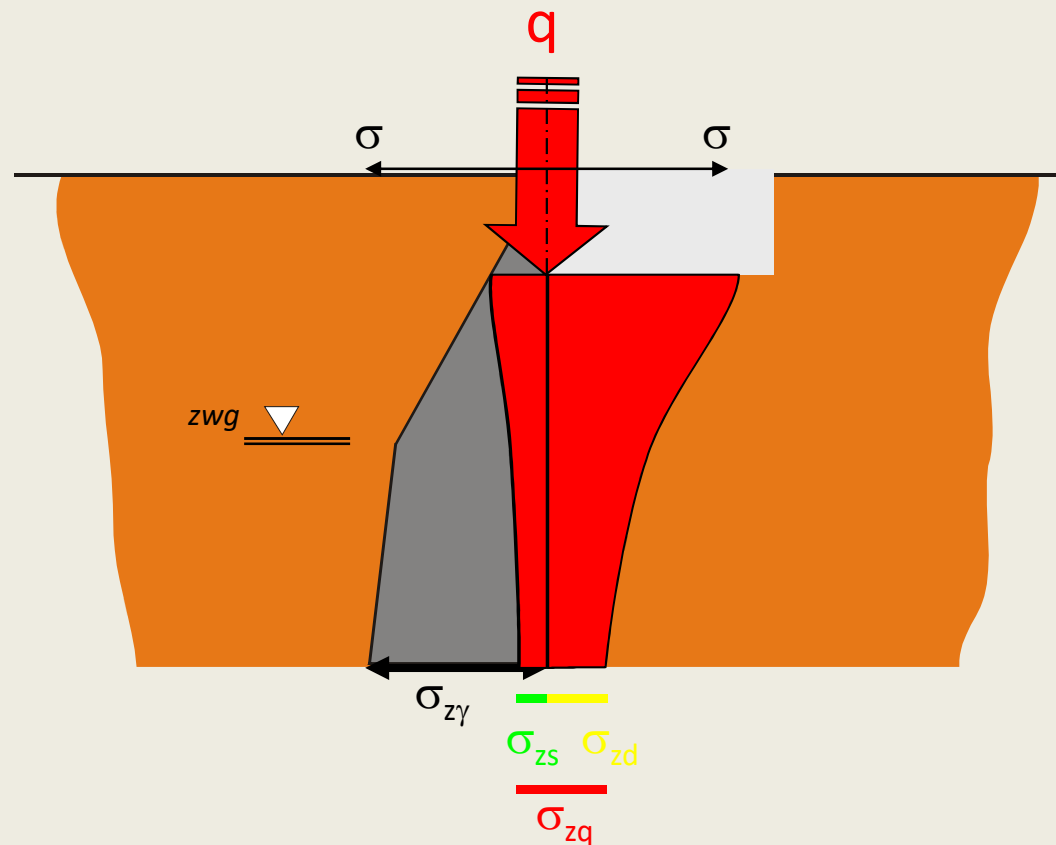


KGI:

# NAPRĘŻENIA GEOSTATYCZNE I DODATKOWE

## ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ POD FUNDAMENTEM

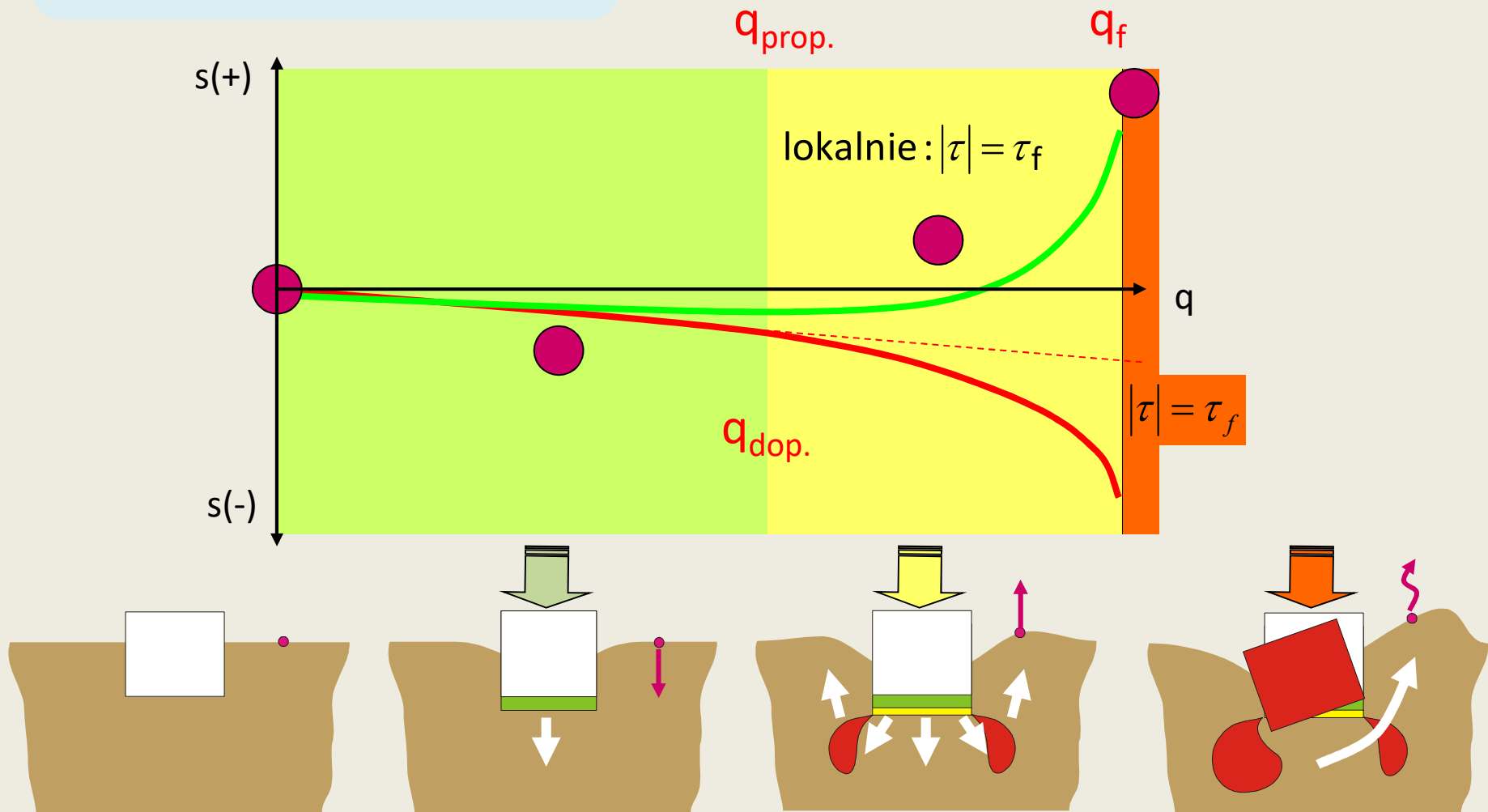
hipoteza  
Boussinesqua



KGI:

# NOŚNOŚĆ PODŁOŻA

## REAKCJA PODŁOŻA NA OBCIĄŻENIE

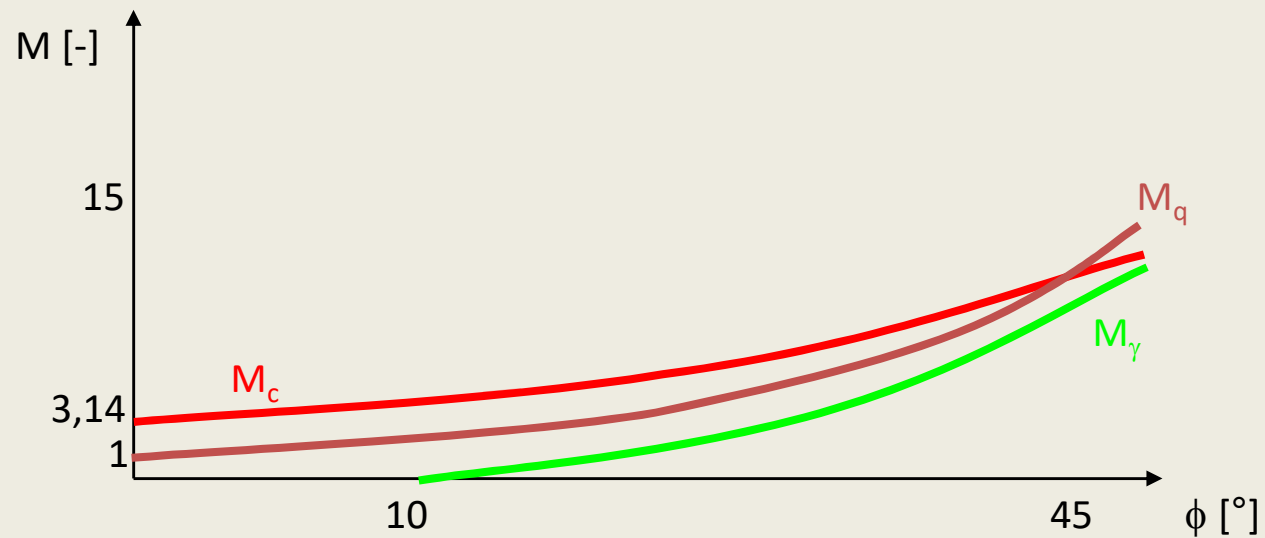


## KGI: NOŚNOŚĆ PODŁOŻA

### NAPRĘŻENIA KRYTYCZNE

$$q_{kr} = cM_c + \gamma_D DM_q \quad (Maag)$$

$$q_{kr} = cM_c + \gamma_D DM_q + \gamma_B BM_\gamma \quad (Masłow)$$



# KGI: NOŚNOŚĆ PODŁOŻA

## NAPRĘŻENIA GRANICZNE

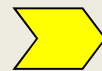
$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = \gamma$$



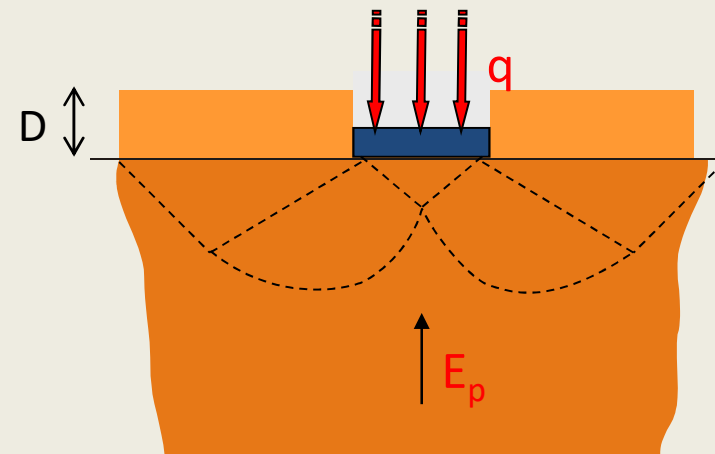
$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0$$



$$\frac{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{xz}^2}{(\sigma_z + \sigma_x + 2c \cot \phi)^2} = \sin^2 \phi$$



(Terzaghi)



$$q_f = cN_c + \gamma DN_q + 0,5\gamma BN_\gamma$$

$$q_f = \left(1 + 0,3 \frac{B}{L}\right) cN_c + \gamma DN_q + \left(1 - 0,2 \frac{B}{L}\right) 0,5\gamma BN_\gamma$$

**KGI:**

## **BADANIA GEOTECHNICZNE**

### **BADANIA LABORATORYJNE**



- *znane warunki brzegowe,*
- *kontrola ścieżki  $\sigma - \varepsilon$ ,*
- *kontrola właściwości fizycznych,*
- *mała objętość gruntu,*
- *problem jakości próbki,*
- *zmiana stanu naprężenia.*

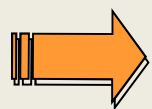
### **BADANIA IN SITU**



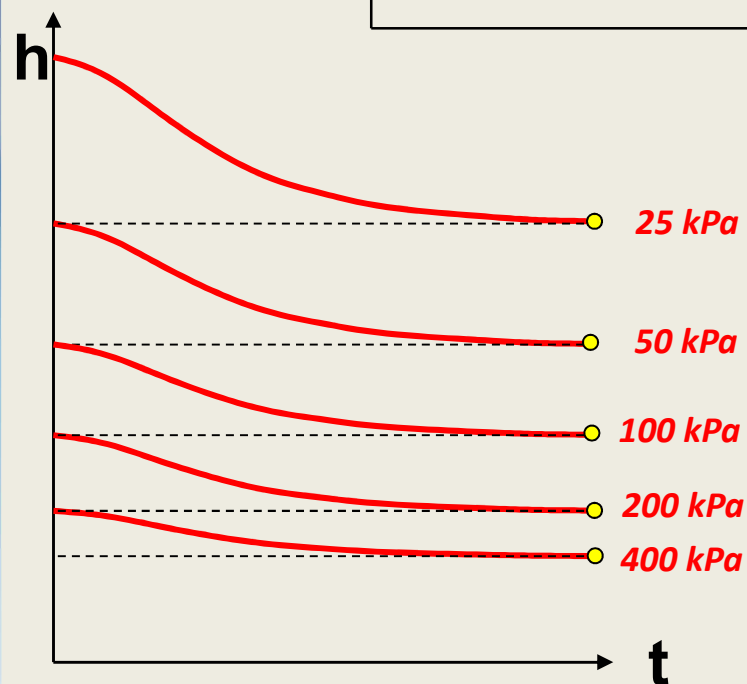
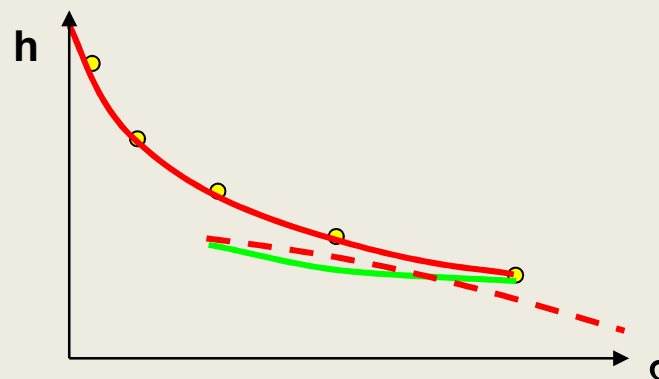
- *nieznane warunki brzegowe,*
- *brak pełnej kontroli ścieżki  $\sigma - \varepsilon$ ,*
- *nieznane właściwości fizyczne,*
- *duża objętość gruntu,*
- *badanie gruntu „in statu nascendi”*
- *możliwość powtórzeń.*

## BADANIA GEOTECHNICZNE - LABORATORYJNE

### ANALIZA ŚCISLIWOŚCI

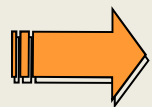


*Edometr IL*

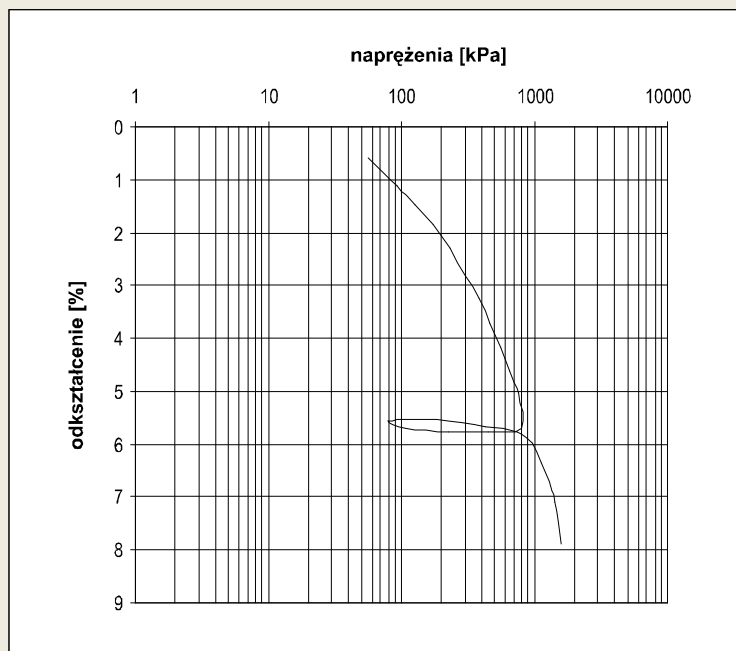


## BADANIA GEOTECHNICZNE - LABORATORYJNE

### ANALIZA ŚCIŚLIWOŚCI



*Edometr CRS*

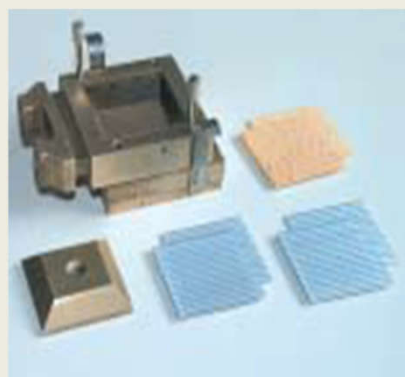
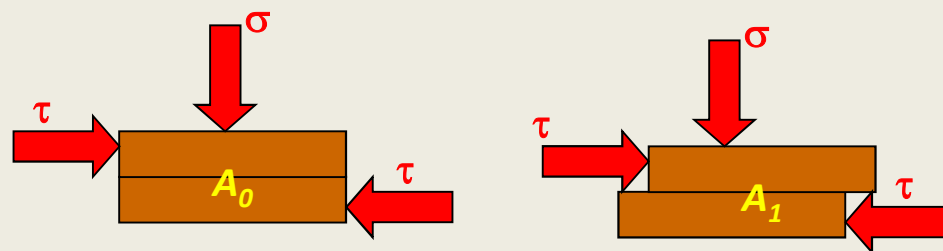




## BADANIA GEOTECHNICZNE - LABORATORYJNE

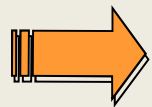
### ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE

 Aparat bezpośredniego ścinania (skrzynkowy)

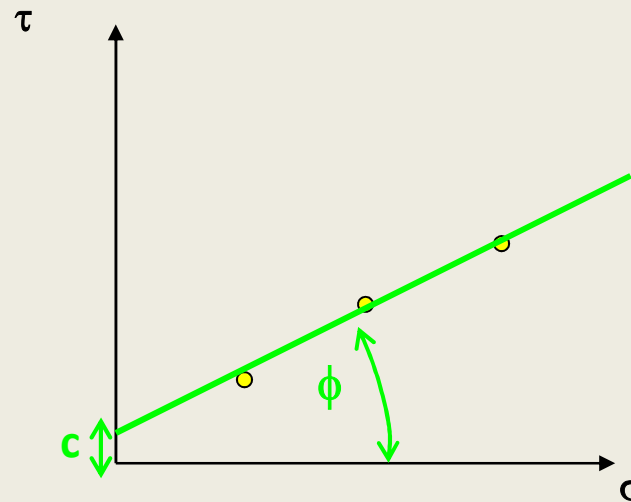
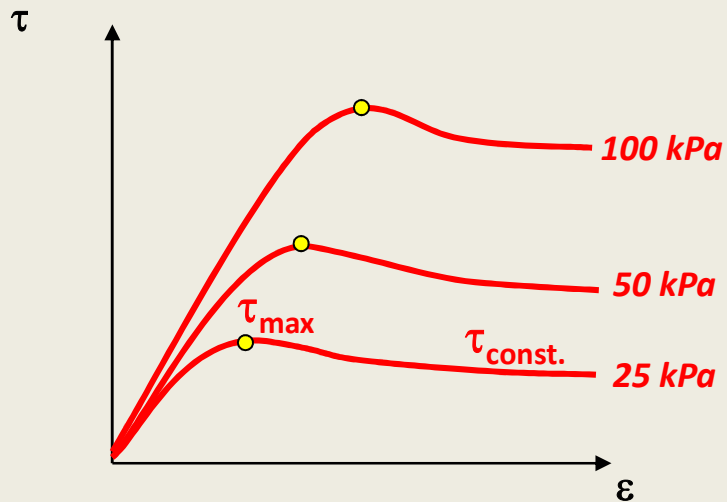


## BADANIA GEOTECHNICZNE - LABORATORYJNE

### ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE



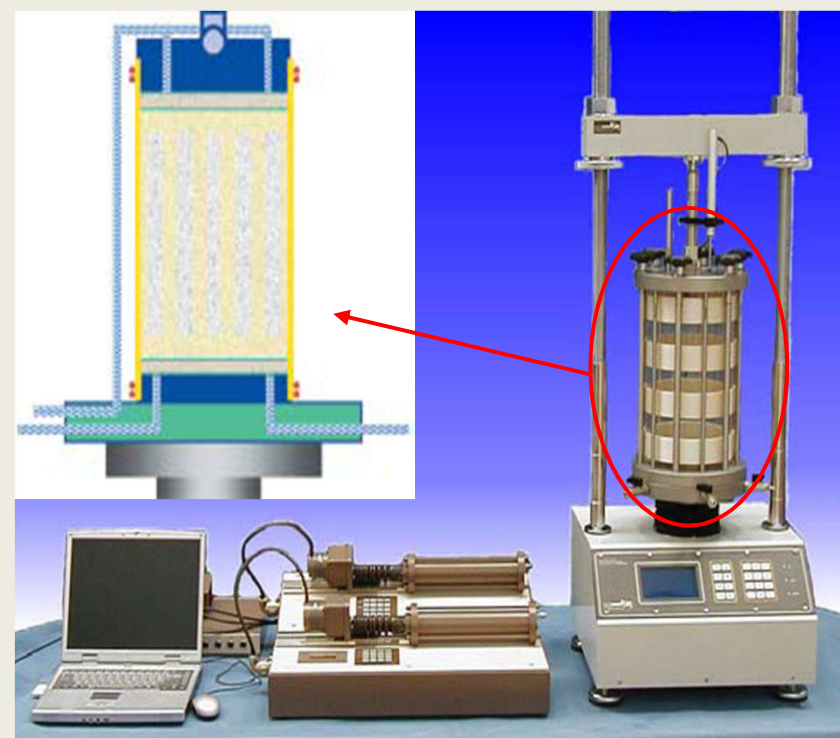
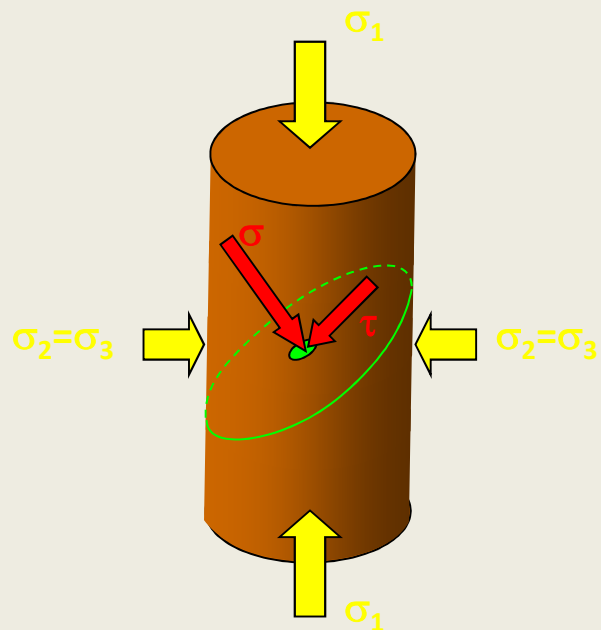
*Aparat bezpośredniego ścinania (skrzynkowy)*



## BADANIA GEOTECHNICZNE - LABORATORYJNE

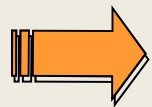
### ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE

➔ *Aparat trójosiowego ściskania*

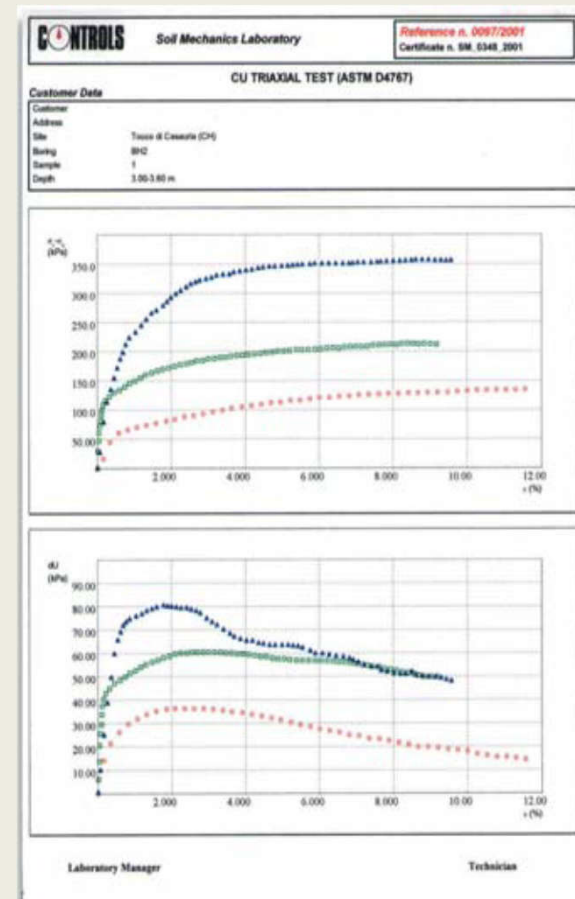
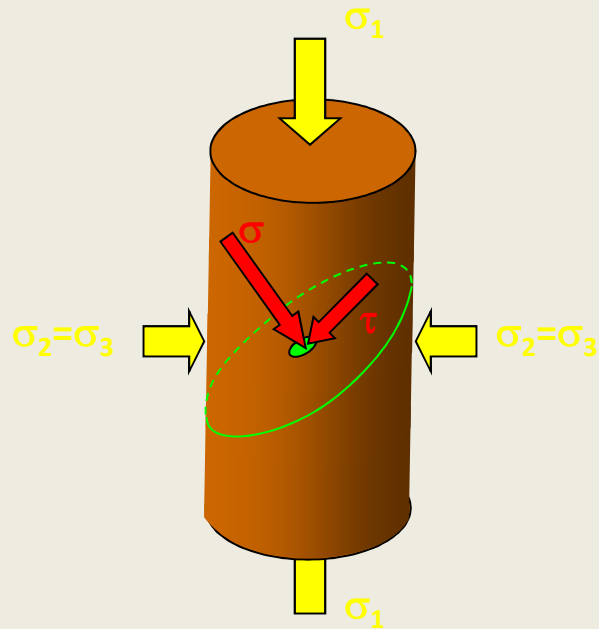


# BADANIA GEOTECHNICZNE - LABORATORYJNE

## ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE

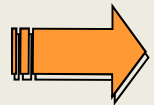


*Aparat trójosiowego ściskania*



## BADANIA GEOTECHNICZNE - LABORATORYJNE

### ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE



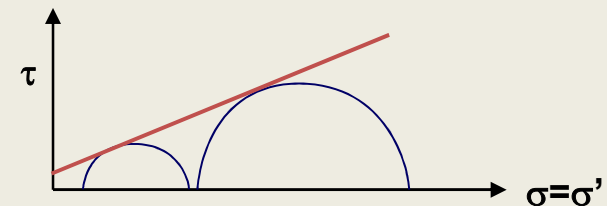
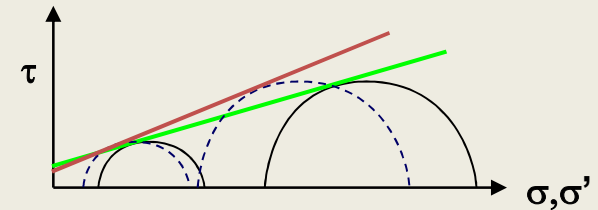
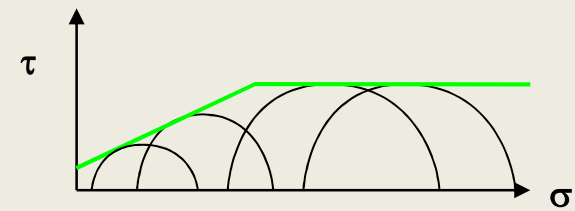
*Aparat trójosiowego ściskania*

*Metody przeprowadzania badania:*

- UU ( $\phi_u, c_u$ )

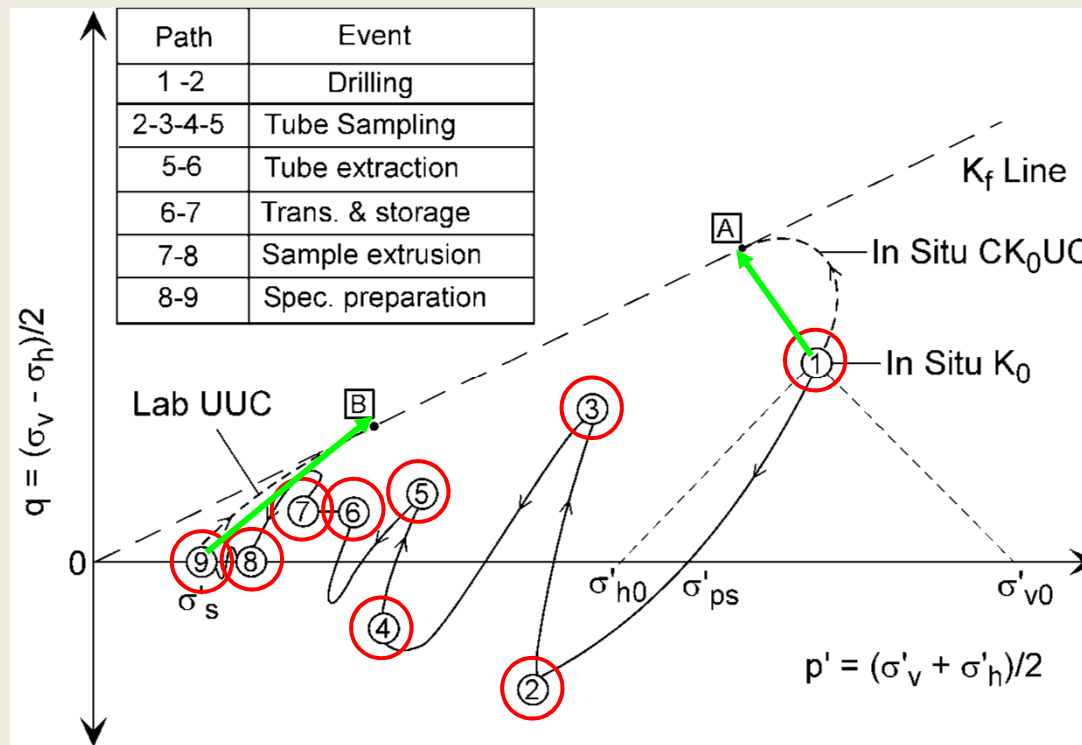
- CIU, CAU ( $\phi_u < \phi, c_u > c'$ )

- CID, CAD ( $\phi_u, c_u = \phi'_u, c'_u$ )



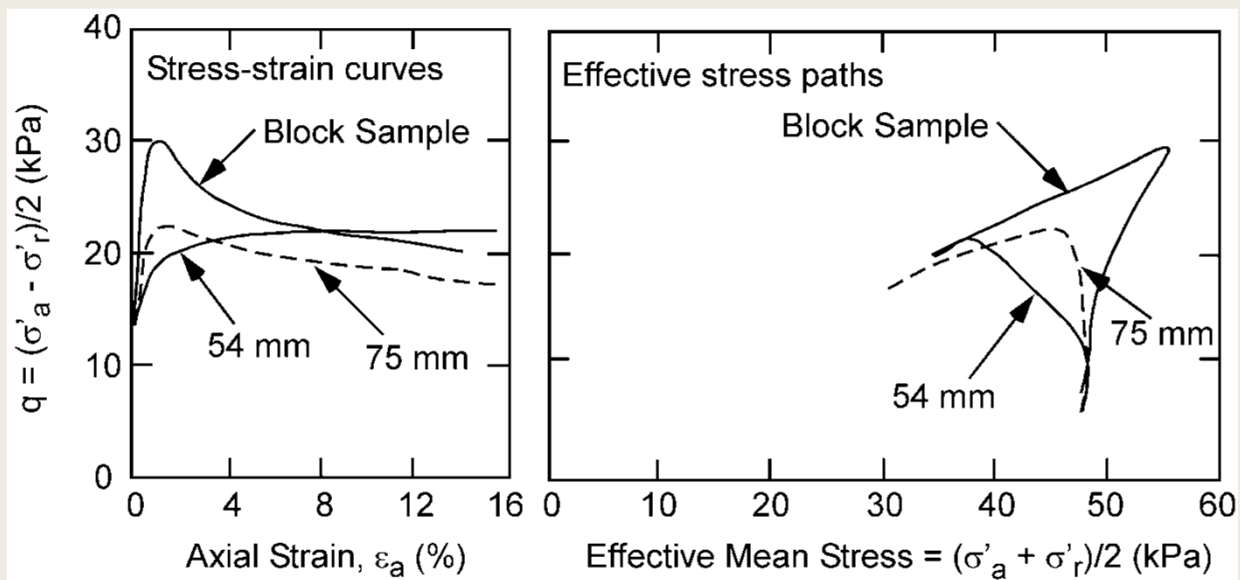
**BADANIA GEOTECHNICZNE - LABORATORYJNE**

**JAKOŚĆ PRÓBK**



(Ladd and DeGroot 2003)

**JAKOŚĆ PRÓBK**



*(Lunne et al. 1997)*

## BADANIA GEOTECHNICZNE - LABORATORYJNE

### JAKOŚĆ PRÓBKKI

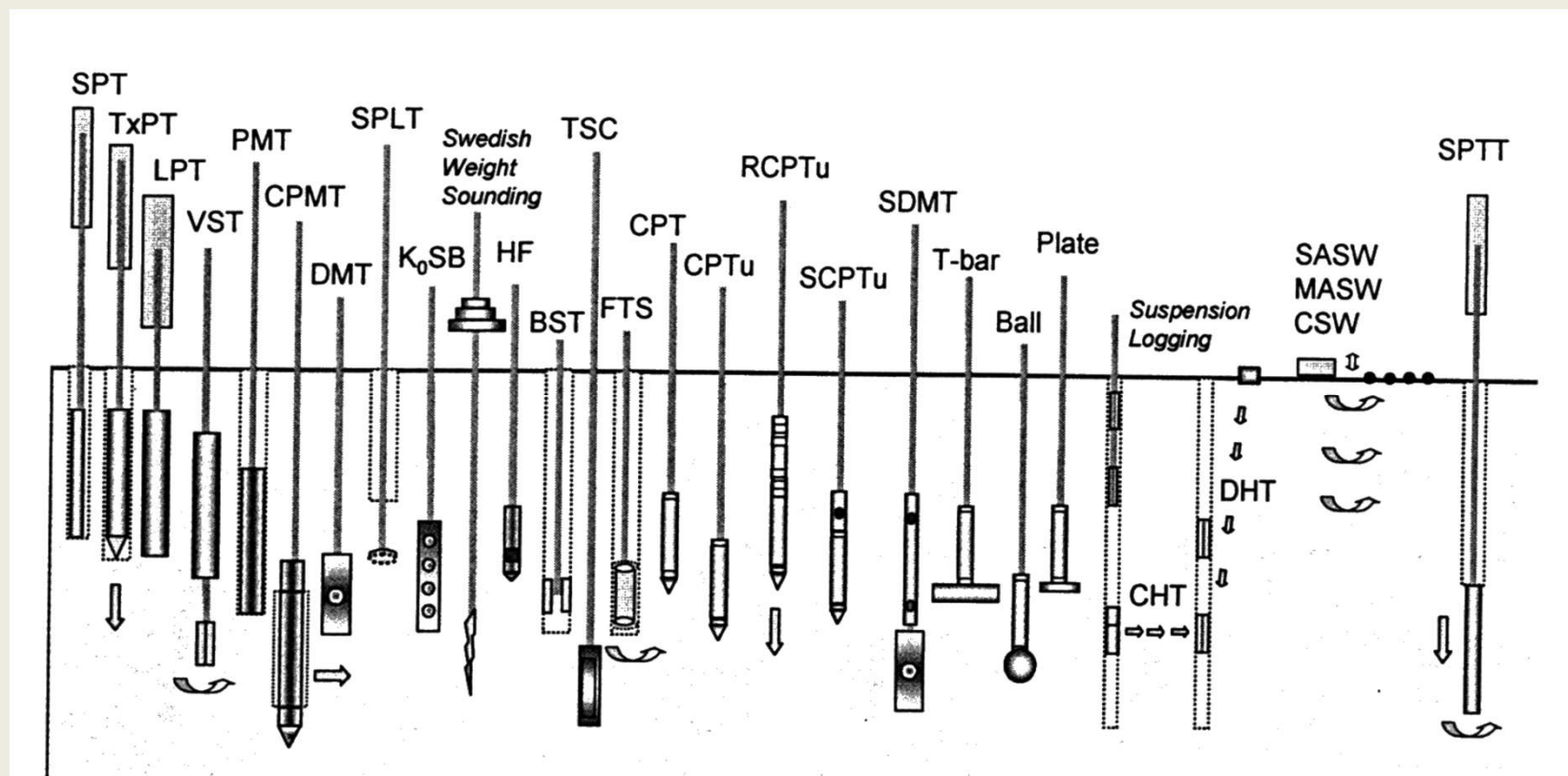
Specimen Quality Designation (SQD) (Terzaghi et al. 1996)		$\Delta e/e_0$ Criteria (Lunne et al. 1997)		
Volumetric Strain (%)	SQD	OCR = 1 – 2 $\Delta e/e_0$	OCR = 2 – 4 $\Delta e/e_0$	Rating*
< 1	A	< 0.04	< 0.03	Very good to excellent
1 – 2	B	0.04 – 0.07	0.03 – 0.05	Good to fair
2 – 4	C	0.07 – 0.14	0.05 – 0.10	Poor
4 – 8	D	> 0.14	> 0.10	Very poor
> 8	E			

(DeGroot 2007)



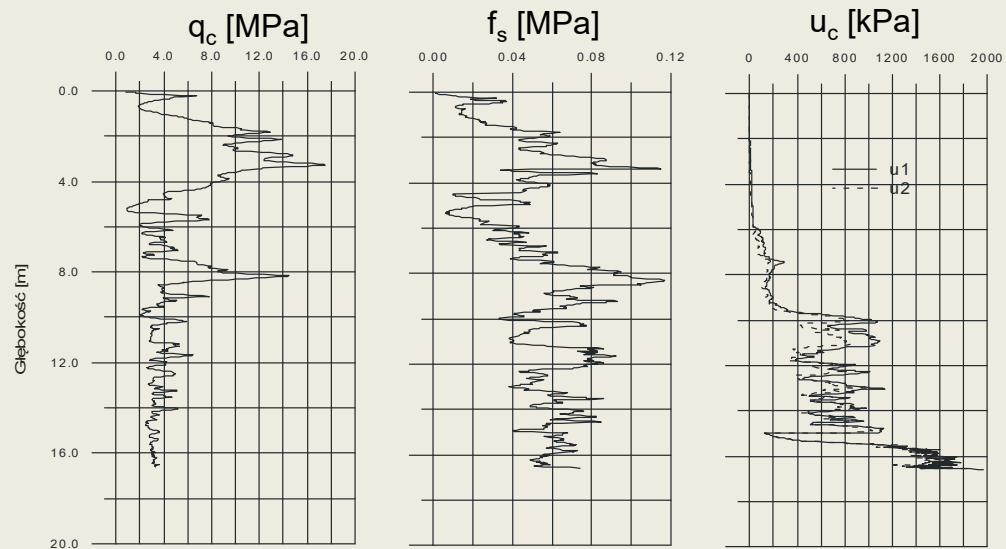
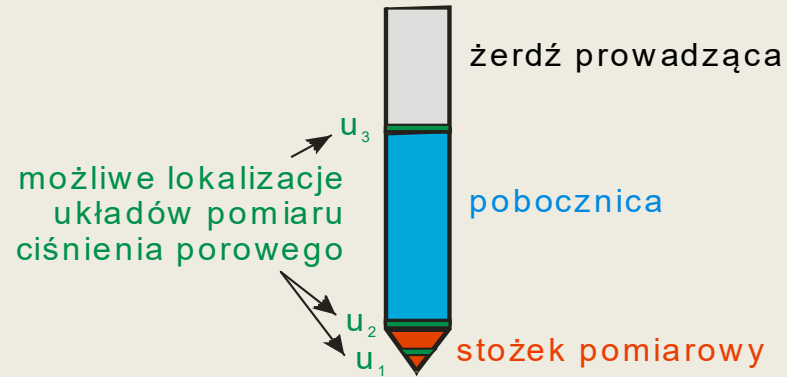
# BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

## TYPY BADAŃ



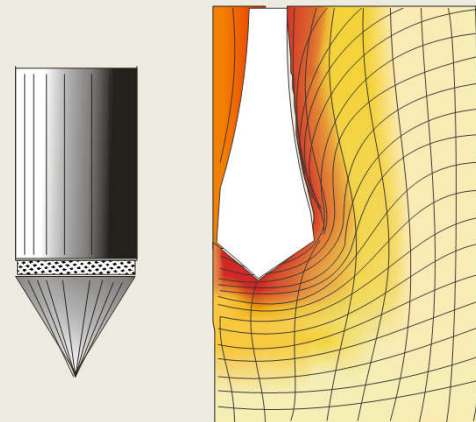
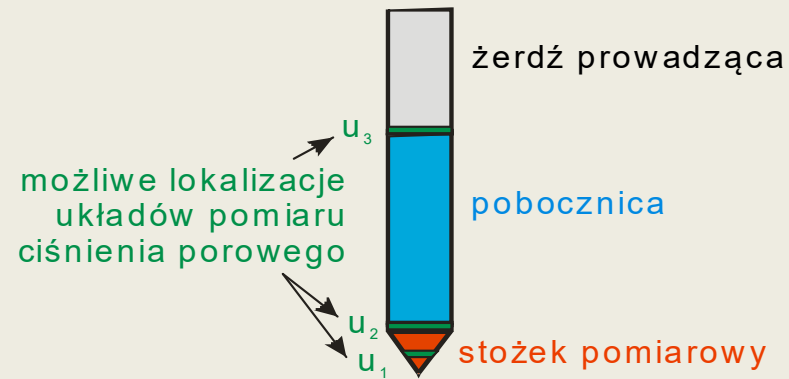
# BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

## BADANIE STATYCZNEGO SONDEWANIA - CPTU



## BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

### BADANIE STATYCZNEGO SONADOWANIA - CPTU



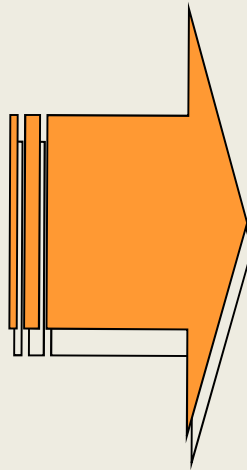
## BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

### BADANIE STATYCZNEGO SONDEWANIA - CPTU

$q_c$  [MPa]

$f_s$  [MPa]

$u_c$  [kPa]



$$q_t = q_c + (1 - a) \cdot u_2$$

$$q_n = (q_t - \sigma_{v0})$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \cdot 100\%$$

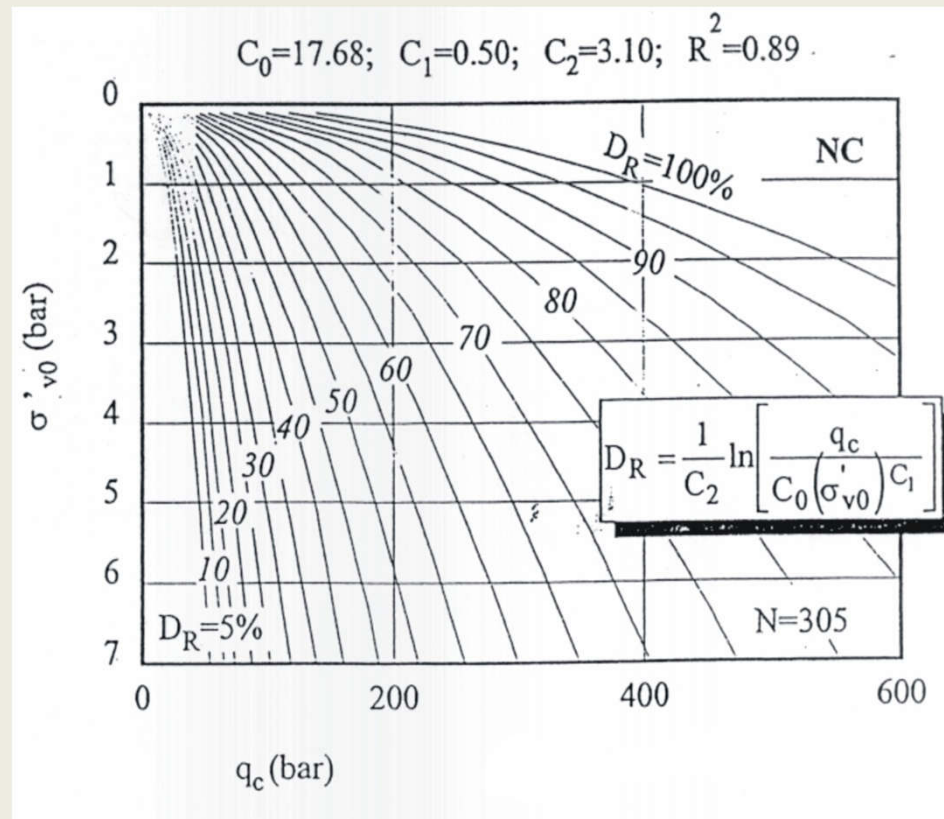
$$Q_t = \frac{(q_t - \sigma_{v0})}{\sigma'_{v0}}$$

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma'_{v0}}$$

## BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

### BADANIE STATYCZNEGO SONDEWANIA - CPTU

stopień zagęszczenia

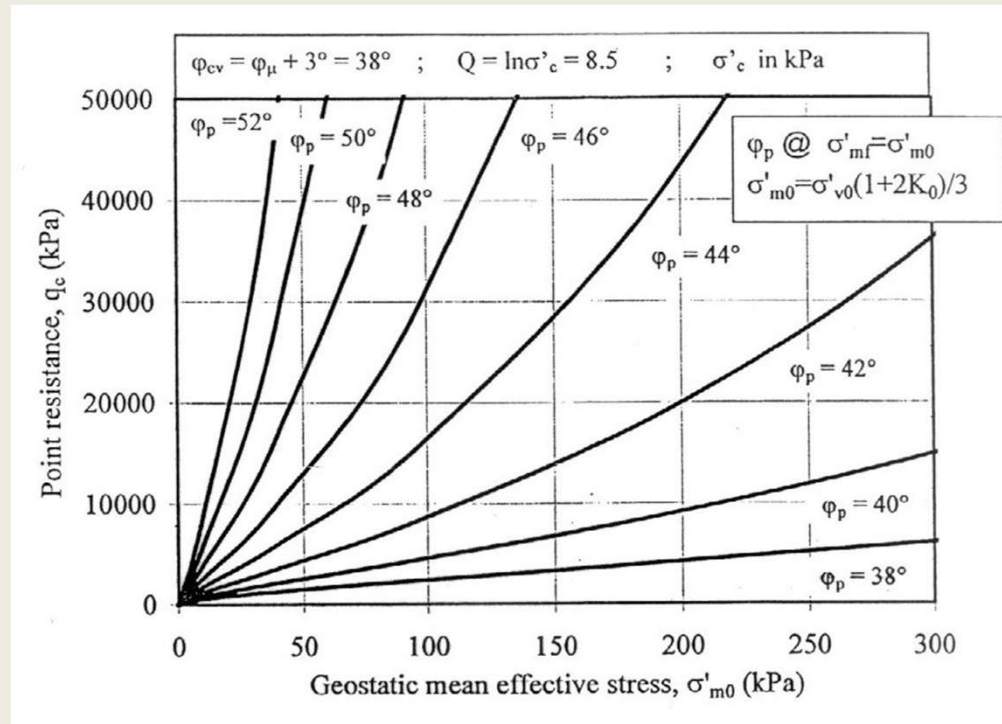


(Baldi i inni 1986; Jamiolkowski i inni 2001)

## BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

### BADANIE STATYCZNEGO SONDOWANIA - CPTU

**kąt tarcia  
wewnętrznego**

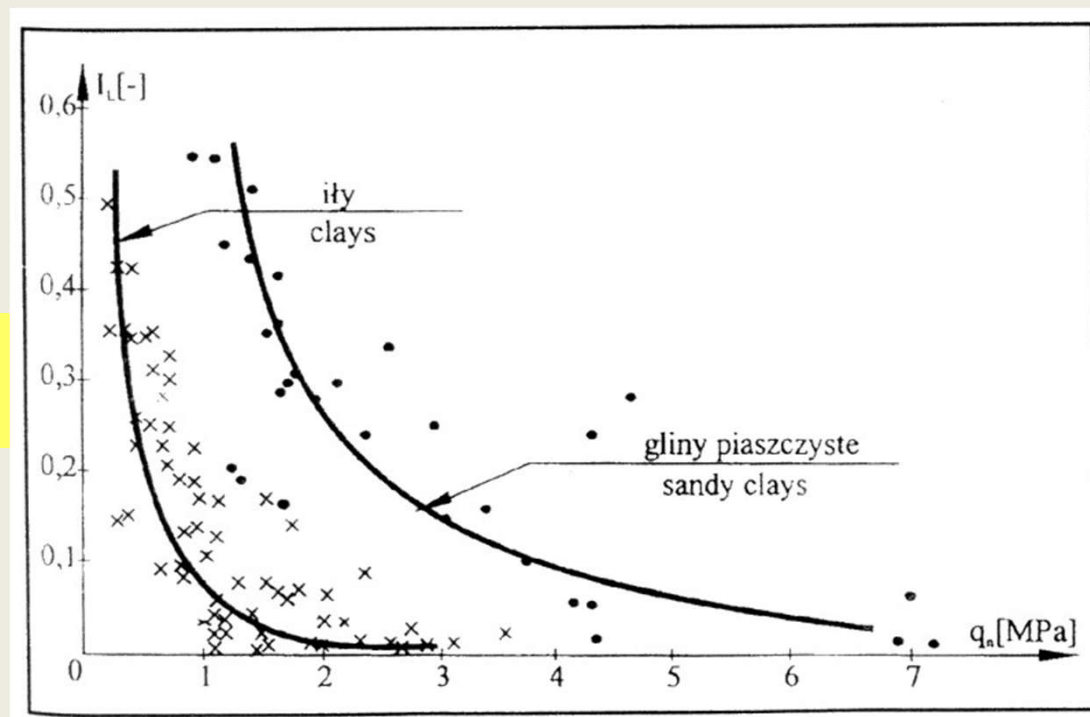


(Jamiolkowski i inni 2001)

## BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

### BADANIE STATYCZNEGO SONDEWANIA - CPTU

stopień  
plastyczności

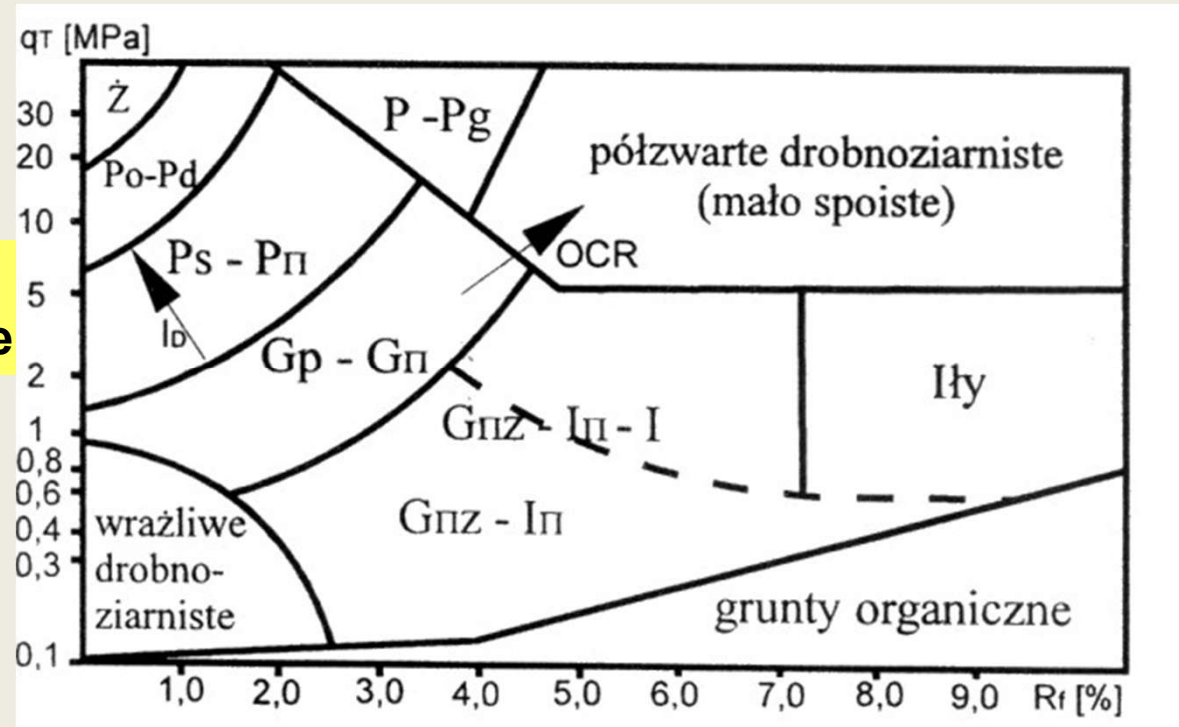


(Tschuschke i Wierzbicki 1998)

## BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

### BADANIE STATYCZNEGO SONADOWANIA - CPTU

rodzaj gruntu -  
cechy litologiczne



(Młynarek, Tschuschke i Wierzbicki 1997)



## BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

### BADANIE STATYCZNEGO SONADOWANIA - CPTU

wytrzymałość na  
ściananie bez odpływu

$$s_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}}$$

*(Lunne i inni 1997)*



$$\tau = \sigma_{v0} \cdot \operatorname{tg} \phi_u + c_u \quad \text{(równanie Coulomba)}$$

## BADANIA GEOTECHNICZNE - TERENOWE

### BADANIE STATYCZNEGO SONDEWANIA - CPTU

$$M_{CPTU} = \alpha (q_t) \quad (\text{Sanglerat 1972})$$

**moduł  
ściśliwości**

$$M = \alpha \cdot (q_t - \sigma_{v0}) \quad (\text{Senneiset i inni 1982})$$

$$M_{CPTU} = 8,25 (q_t - \sigma_{v0}) \quad (\text{Mayne 1994})$$

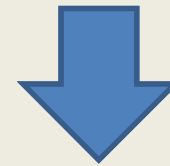
## ANALIZA STATECZNOŚCI

**SKARPY (ZBOCZA)  
PODPARTE**

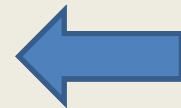


- ŚCIANY OPOROWE
- OBUDOWY WYKOPÓW
- KOTWY, GWOŹDZIE itp.

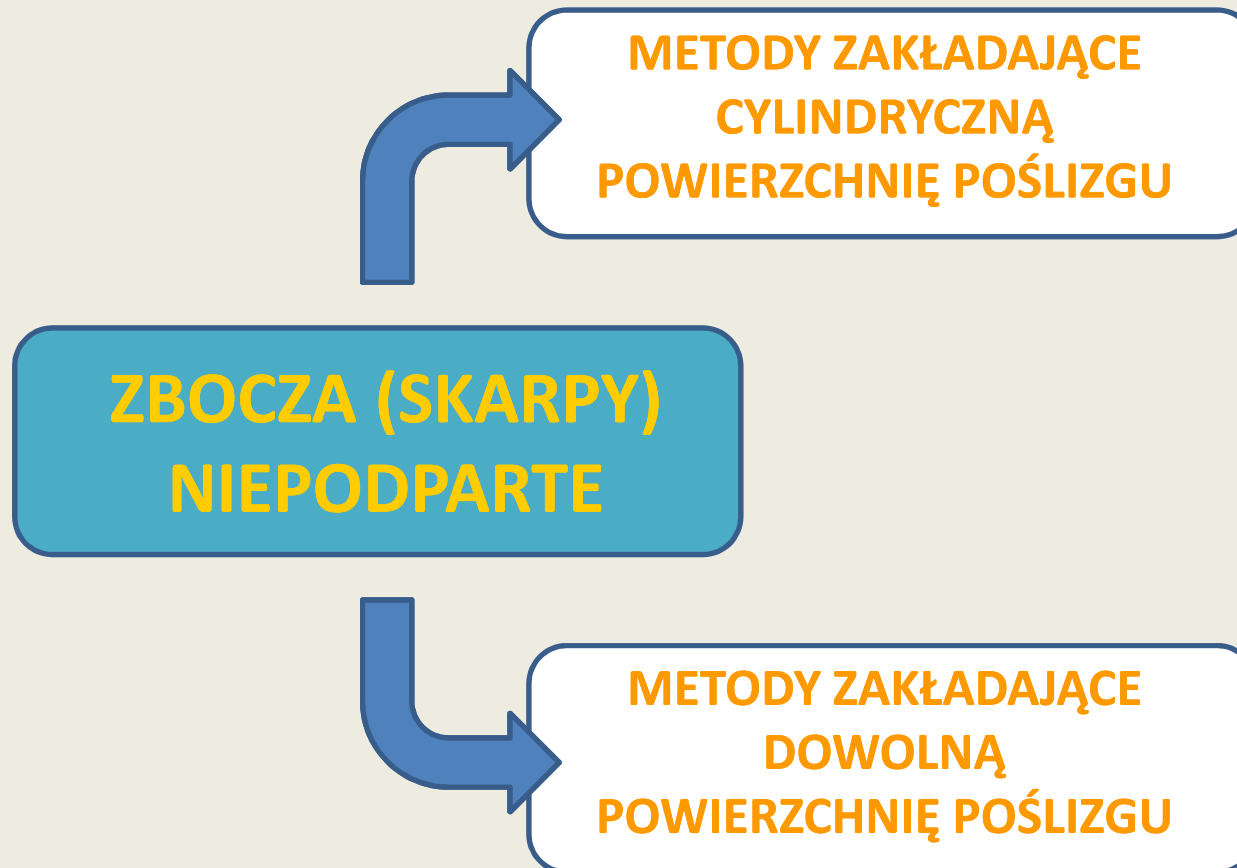
**ZBOCZA (SKARPY)  
NIEPODPARTE**



- ZBOCZA NATURALNE
- SKARPY SZTUCZNE  
(nasypów/wykopów)



**KGI: STATECZNOŚĆ ZBOCZY**



# KGI: STATECZNOŚĆ ZBOCZY

## ANALIZA GRANICZNEGO STANU RÓWNOWAGI

$$T = W' \cos \alpha \operatorname{tg} \phi'$$

$$S = W' \sin \alpha + P_s \quad P_s = i \gamma_w$$

$$T \geq S$$

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \phi$$

$$T = N \operatorname{tg} \phi$$

$$T = W \cos \alpha \operatorname{tg} \phi$$

$$S = W \sin \alpha$$

$$F = T/S$$

WSPÓŁCZYNNIK PEWNOŚCI

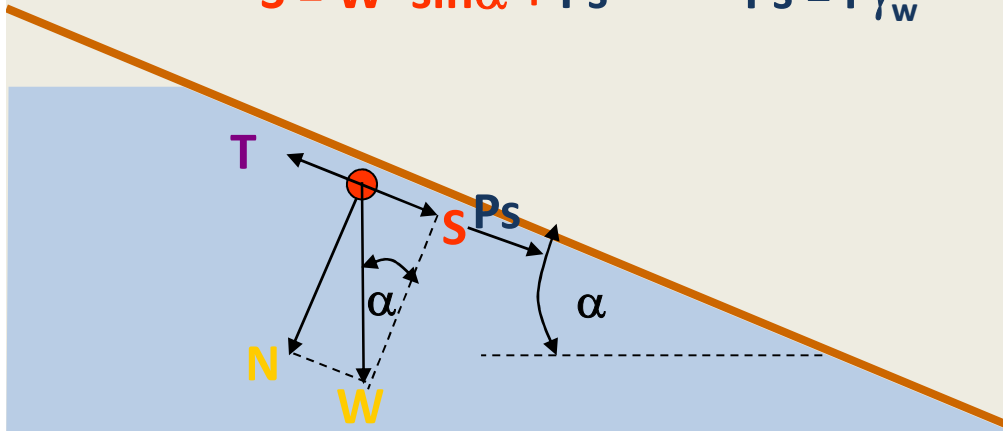
co najmniej  $F > 1,1$

$$F = \operatorname{tg} \phi / \operatorname{tg} \alpha$$

$$F = \operatorname{tg} \phi / 2 \operatorname{tg} \alpha$$

$$\alpha \approx \phi$$

$$\alpha \approx \phi / 2$$



# KGI: STATECZNOŚĆ ZBOCZY

## ANALIZA GRANICZNEGO STANU RÓWNOWAGI

metoda Felleniusa

$$T = W' \cos \alpha \operatorname{tg} \phi' + c' l$$

$$S = W' \sin \alpha + P_s \quad P_s = i \gamma_w$$

$$T \geq S$$

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \phi + c$$

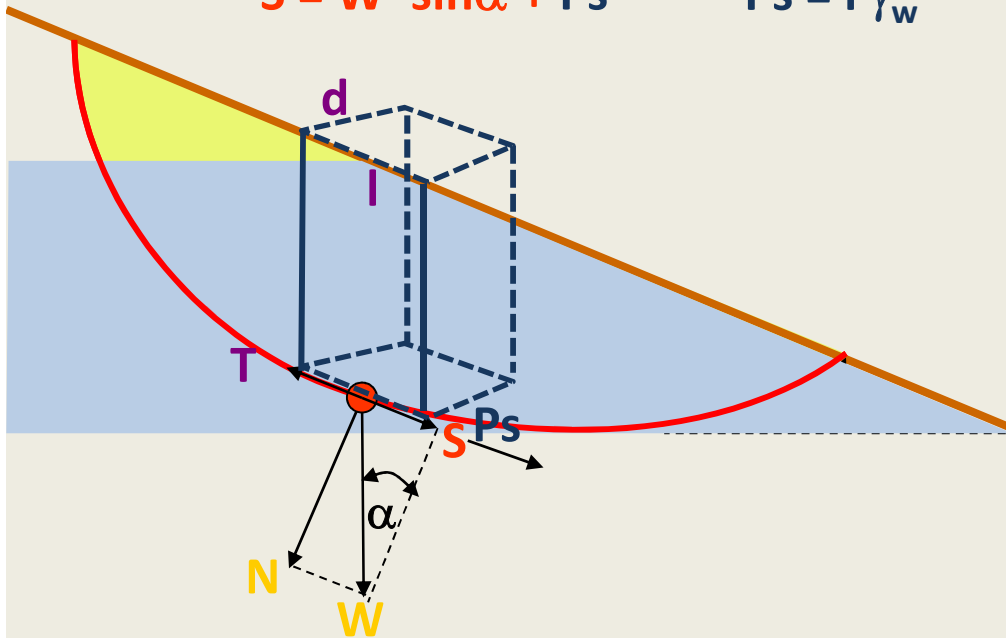
$$T = N \operatorname{tg} \phi + c A$$

$$T = N \operatorname{tg} \phi + c l d$$

$$T = W \cos \alpha \operatorname{tg} \phi + c l$$

$$S = W \sin \alpha$$

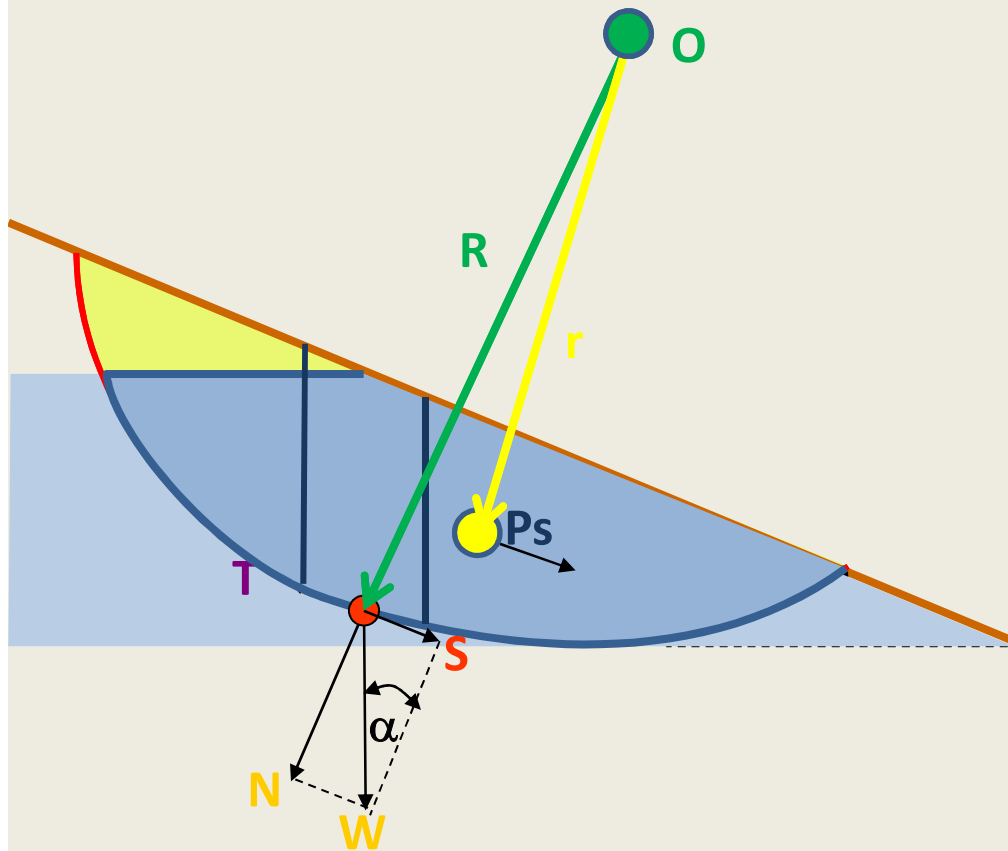
$$F = M_T / M_S$$



# KGI: STATECZNOŚĆ ZBOCZY

ANALIZA GRANICZNEGO STANU  
RÓWNOWAGI

metoda Felleniusa



$$F = M_T / M_S$$

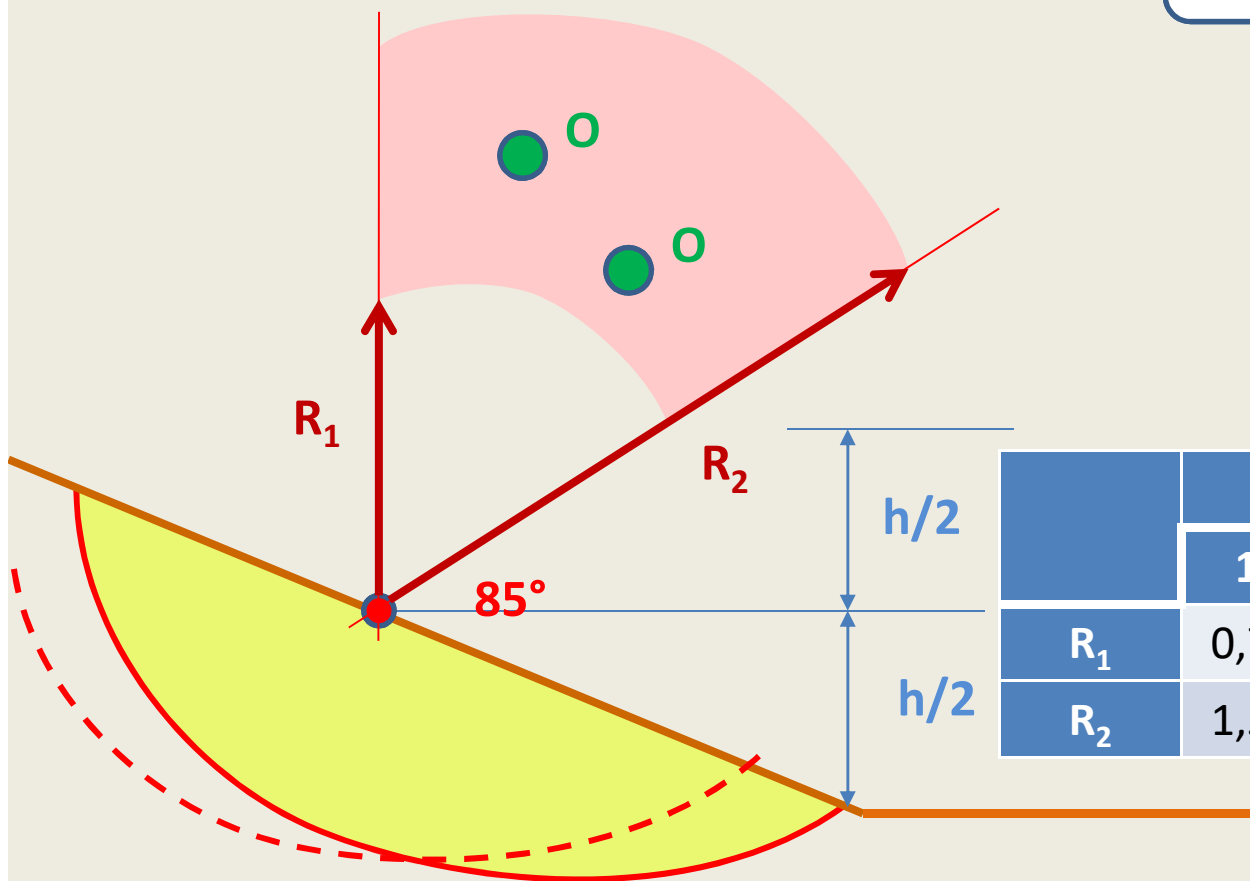


$$F = \frac{\sum R (W' \cos \alpha \operatorname{tg} \phi' + c' l)}{\sum R W' \sin \alpha + r P_s}$$

KGI:

# STATECZNOŚĆ ZBOCZY

$$F = M_T / M_S$$



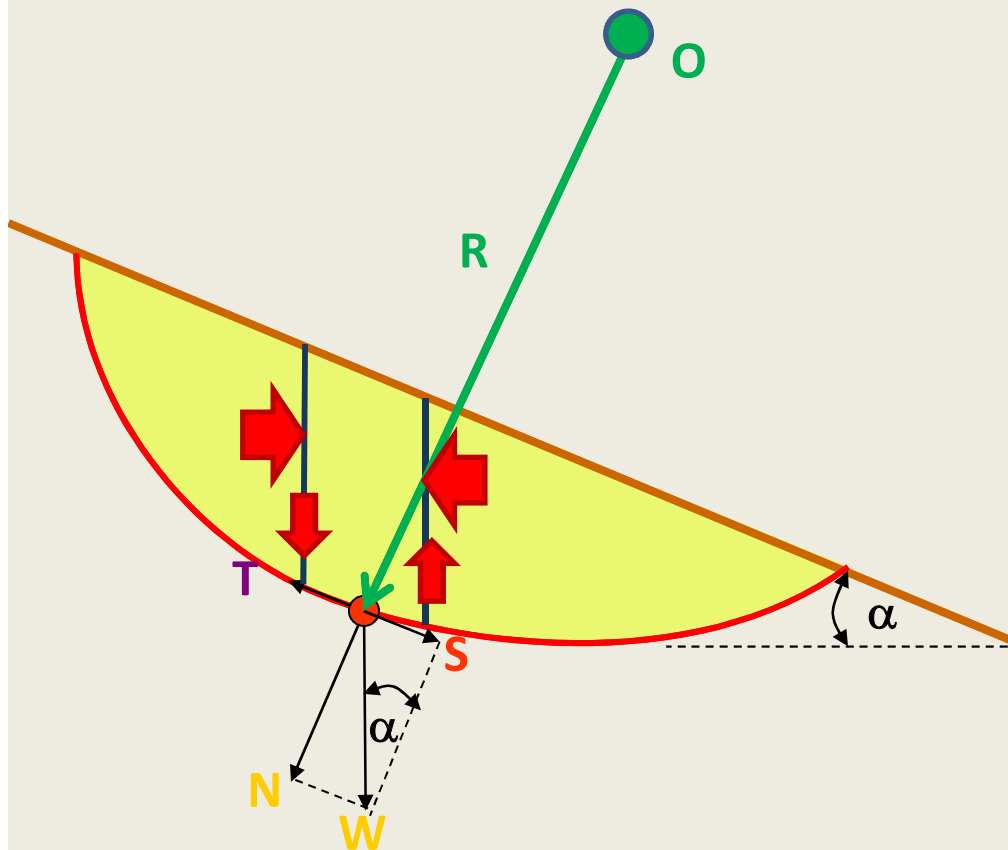
	NACHYLENIE			
	1:1	1:2	1:3	1:4
R <sub>1</sub>	0,75h	0,75h	1,00h	1,50h
R <sub>2</sub>	1,50h	1,75h	2,30h	3,75h



# KGI: STATECZNOŚĆ ZBOCZY

## ANALIZA GRANICZNEGO STANU RÓWNOWAGI

metoda Bishopa



$$F = \tau_f / \tau$$

$$\tau_f = \sigma' \operatorname{tg} \phi' + c'$$

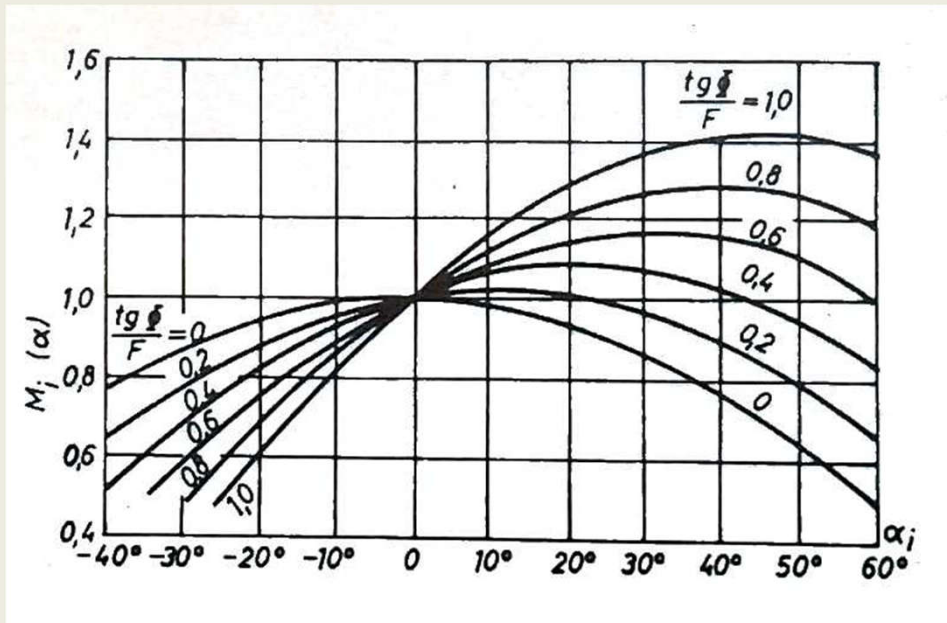
$$\tau = (\sigma' \operatorname{tg} \phi') / F + c' / F$$

$$F = \frac{\sum (c' b + W(1 - ub/W) \operatorname{tg} \phi') (1/M_\alpha)}{\sum W' \sin \alpha}$$

# KGI: STATECZNOŚĆ ZBOCZY

## ANALIZA GRANICZNEGO STANU RÓWNOWAGI

metoda Bishopa



$$F = \tau_f / \tau$$



$$\tau_f = \sigma' \operatorname{tg} \phi' + c'$$

$$\tau = (\sigma' \operatorname{tg} \phi') / F + c' / F$$

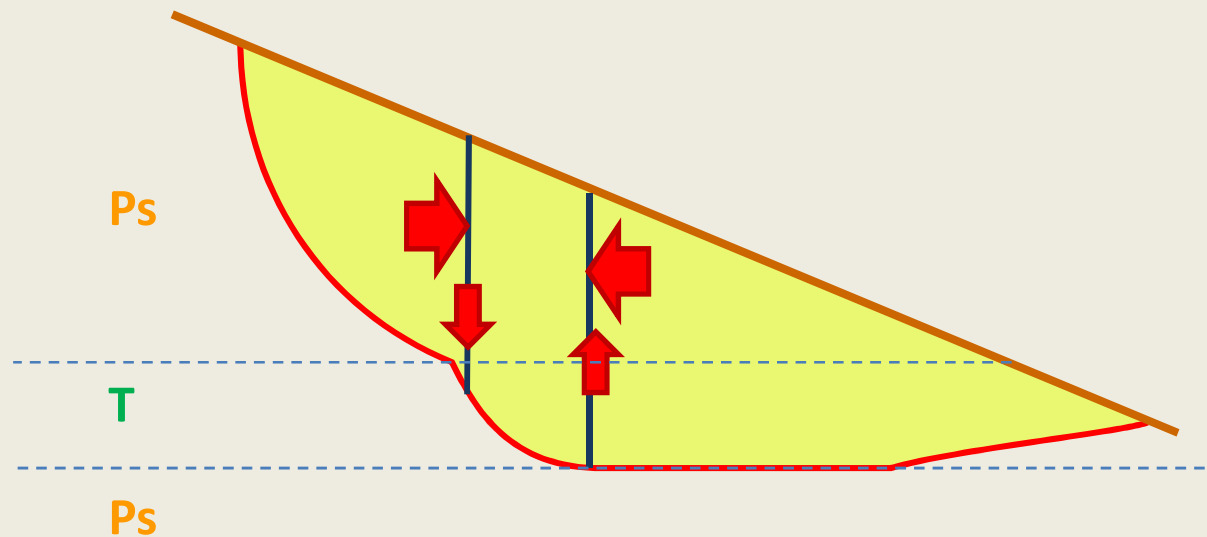


$$F = \frac{\sum (c'b + W(1 - ub/W) \operatorname{tg} \phi') (1/M_\alpha)}{\sum W' \sin \alpha}$$

ANALIZA GRANICZNEGO STANU  
RÓWNOWAGI

metody:

- Morgensterna-Price'a (1965)
- Janbu (1973)
- Madeja (1973)

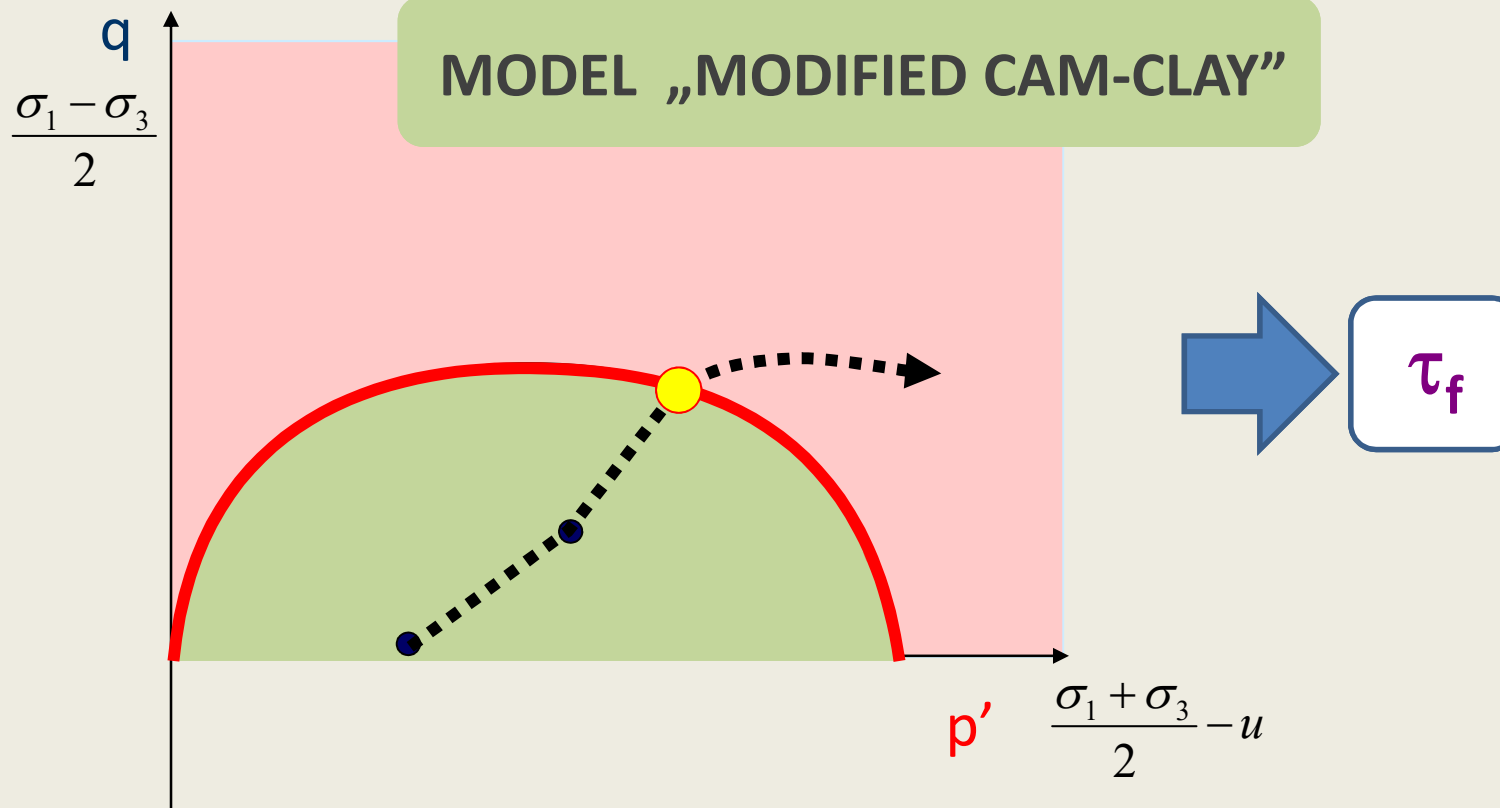


KGI: STATECZNOŚĆ ZBOCZY

ANALIZA GRANICZNEGO STANU  
RÓWNOWAGI

$$F = \tau_f / \tau$$

metody oparte na analizach numerycznych



## KGI: STATECZNOŚĆ ZBOCZY

### ANALIZA GRANICZNEGO STANU RÓWNOWAGI

metody oparte na analizach numerycznych

$$F_1 = \frac{c' + \sigma' \operatorname{tg}\phi'}{\tau_1}$$

Control  
points:

