



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

# **Mechanika gruntów 6**

## **Wytrzymałość gruntu na ścinanie**

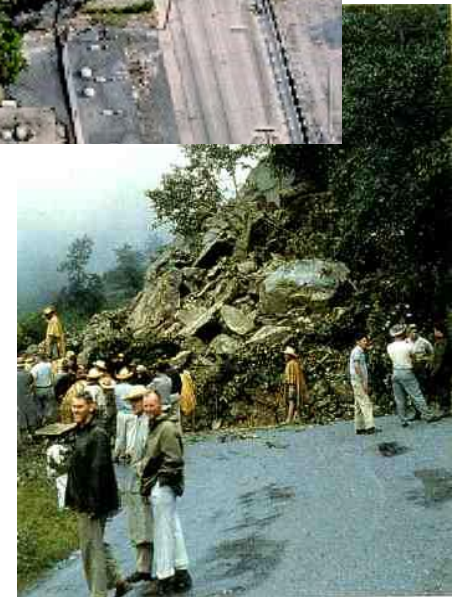
**Marek Cała, Jerzy Flisiak, Michał Kowalski**

**Nazwa wydziału: Górnictwa i Geoinżynierii**

**Nazwa katedry: Geomechaniki, Budownictwa  
i Geotechniki**

# Wytrzymałość gruntu na ścinanie

## Shear strength of soils



# Wytrzymałość gruntu na ścinanie

## Shear strength of soils

**Metal**



$R_r$

**Beton**



$R_c$

**Grunt**



**Opór ścinania**

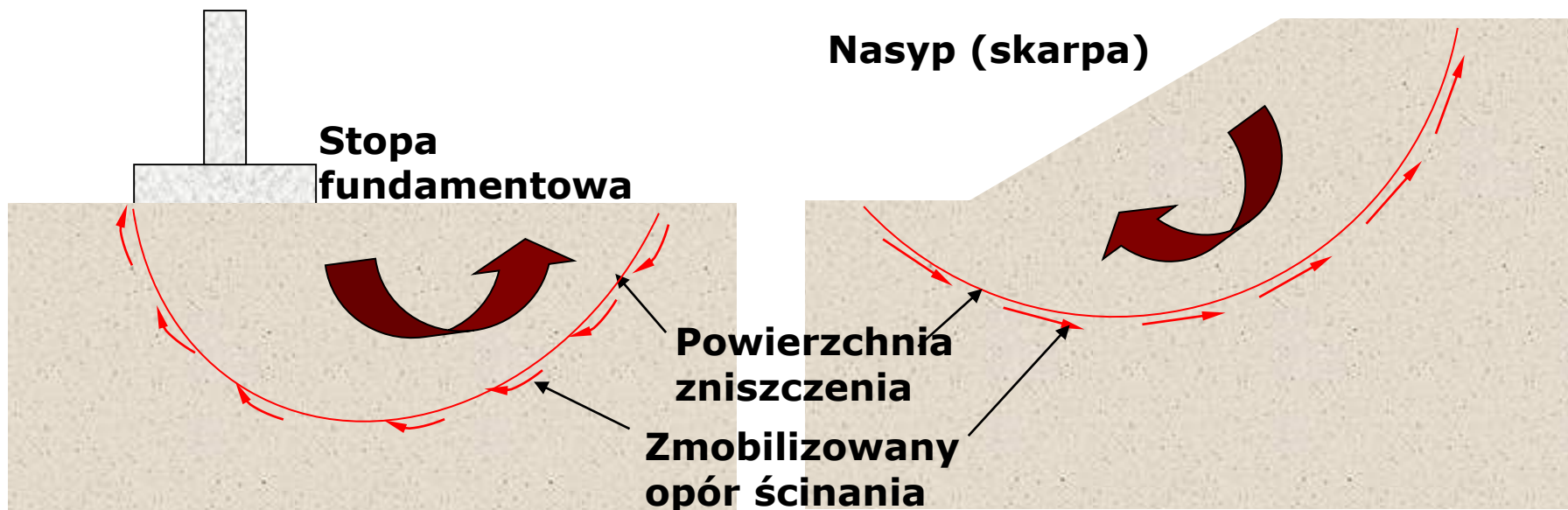


**Obecność wody w porach**

**Różne  
właściwości**



**Grunty w zasadzie niszczone są przez ścinanie**



**Zniszczenie wzdłuż powierzchni poślizgu zachodzi, gdy naprężenia styczne osiągną wartość oporu ścinania**

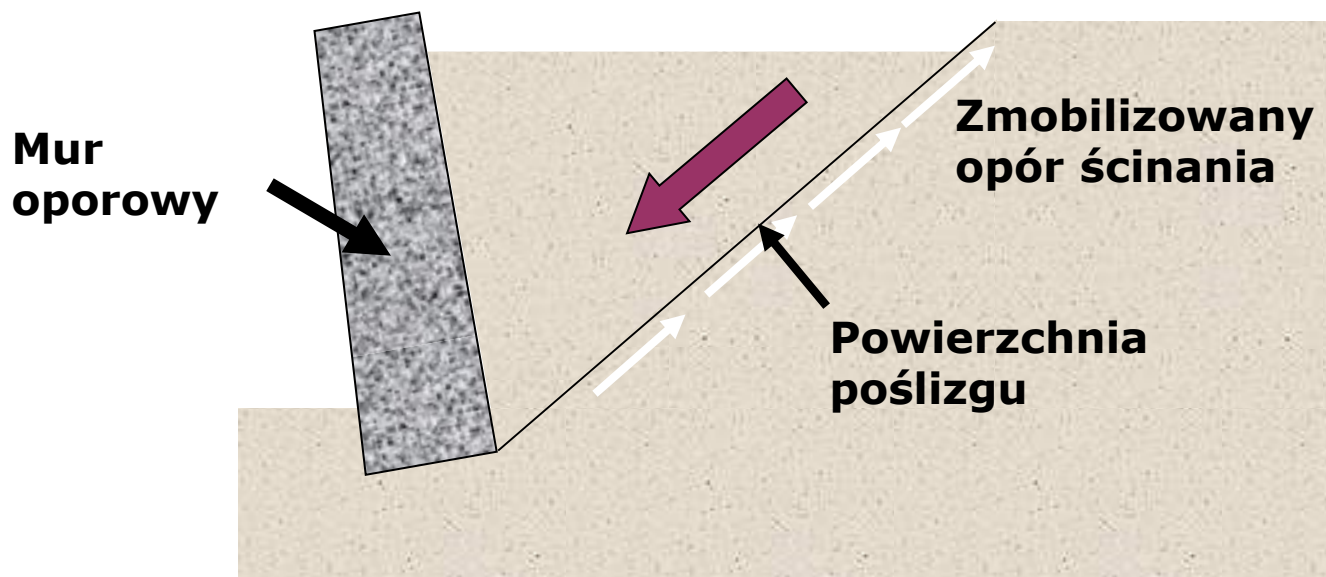
## Opór ścinania gruntów

**Grunty w zasadzie niszczone są przez ścinanie**

**Mur  
oporowy**

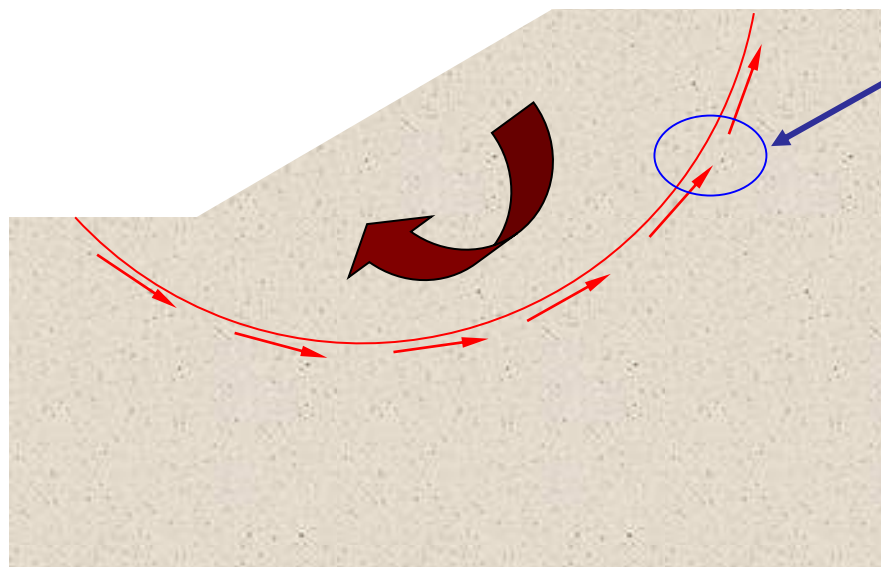


**Grunty w zasadzie niszczone są przez ścinanie**



**Zniszczenie wzdłuż powierzchni poślizgu zachodzi, gdy naprężenia styczne osiągną wartość oporu ścinania**

**Grunty w zasadzie niszczone są przez ścinanie**



**failure surface**

**The soil grains slide over each other along the failure surface.**

**No crushing of individual grains.**

## Shear strength of soils

Strength is important for the prediction of performance under load. Soil and rock are significantly stronger in shear than in tension. Normally, tensile strength cannot be relied upon and is assumed to be zero. Shear strength is therefore of major interest.

- In all forms of engineering science, it is important to be able to predict the **strength** of the materials involved so that an adequate **factor of safety** may be maintained against material failure.
- Geotechnical engineering is no exception. Unfortunately, unlike man-made materials, e.g. steel, the **strength of soil and rock vary over many orders of magnitude** - from a few kPa for very soft soils to greater than 300 MPa for very hard rocks. Even two adjacent samples of the same soil or rock from the one location can have significantly different strength properties. Strength also varies with test method, sample condition (disturbed or undisturbed, saturated or partially saturated etc.) test rate, operator experience etc.





**AGH**

## **Hipoteza wytrzymałościowa (wytężeniowa)**

**Hipoteza wytężeniowa jest uogólnieniem wyników badań dla ograniczonej liczby próbek w prostych stanach naprężenia. Hipotezy starają się przewidzieć każdy, złożony stan naprężenia, który spowoduje zniszczenie danego materiału. Pod pojęciem zniszczenia rozumie się zarówno wystąpienie dużych nieodwracalnych deformacji, jak i wyraźną utratę ciągłości ośrodka na skutek powstania pęknięć, przełomów itp.**



AGH

## Hipoteza wytrzymałościowa (wytężeniowa)

Ogólną postać hipotez wytrzymałościowych można przedstawić w postaci:

$$f(\sigma_{ij}) = 0$$

Hipotezy wytężeniowe wyrazić można również poprzez naprężenia główne, naprężenia normalne i styczne lub poprzez niezmienniki tensora naprężeń.

$$f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0$$

$$f(I_1, I_2, I_3) = 0$$

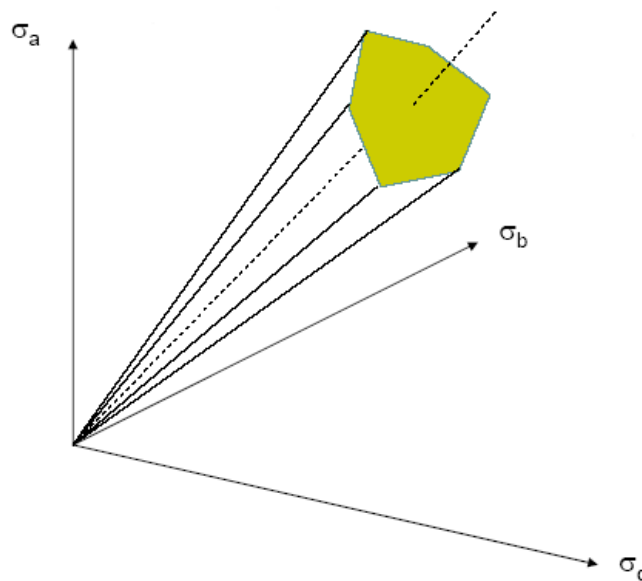
$$f(\tau, \sigma_n) = 0$$



AGH

## Hipoteza wytrzymałościowa (wytężeniowa)

Równania te w przestrzeni naprężeń określają pewną powierzchnię zwaną graniczną. Funkcje  $f$  są tak dobrane, aby stany naprężenia reprezentowane przez punkty leżące wewnątrz powierzchni znajdowały się w równowadze. Punkty leżące na powierzchni odpowiadają naprężeniom, przy osiągnięciu których materiał przechodzi w stan plastyczny lub ulega zniszczeniu.



$$\bar{\sigma}_{oct} = \frac{1}{3}(\bar{\sigma}_a + \bar{\sigma}_b + \bar{\sigma}_c)$$



**AGH**

## **Shear strength of soils**

**The shear strength of soils primarily depends on interactions between particles, not on their internal strength. Let's divide these interactions into two broad categories:**

- **frictional strength,**
- **cohesive strength.**



AGH

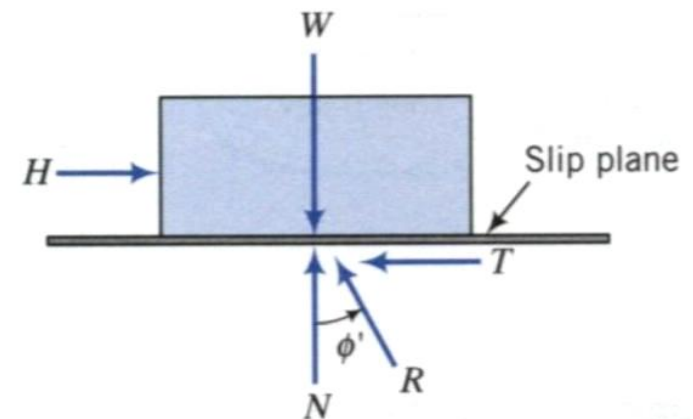
## Kryterium wytrzymałościowe Coulomba (1776 r)

Hipoteza wytrzymałościowa Coulomba bazuje na klasycznym pojęciu tarcia znanym z mechaniki technicznej. Maksymalną siłę sprzeciwiającą się ruchowi ciała zwaną siłą tarcia rozwiniętego określić można ze wzoru:

$$T = \mu N$$

Ruch rozpoczyna się jeżeli  $H > T$

$$H = \mu W$$



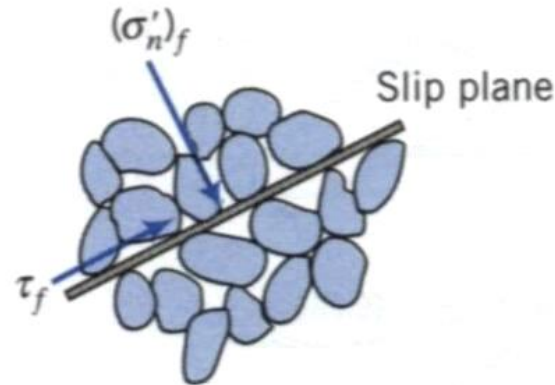


## Kryterium wytrzymałościowe Coulomba (1776 r)

**W gruntach określenie rzeczywistej powierzchni kontaktu przemieszczających się ciał jest niemożliwe. Dlatego też zakłada się, że wzajemny ruch ziarn zachodzi, jeżeli:**

$$\tau = \sigma'_n \tan \varphi'$$

$$\varphi' = \arctan \mu$$



## Kryterium wytrzymałościowe Mohra

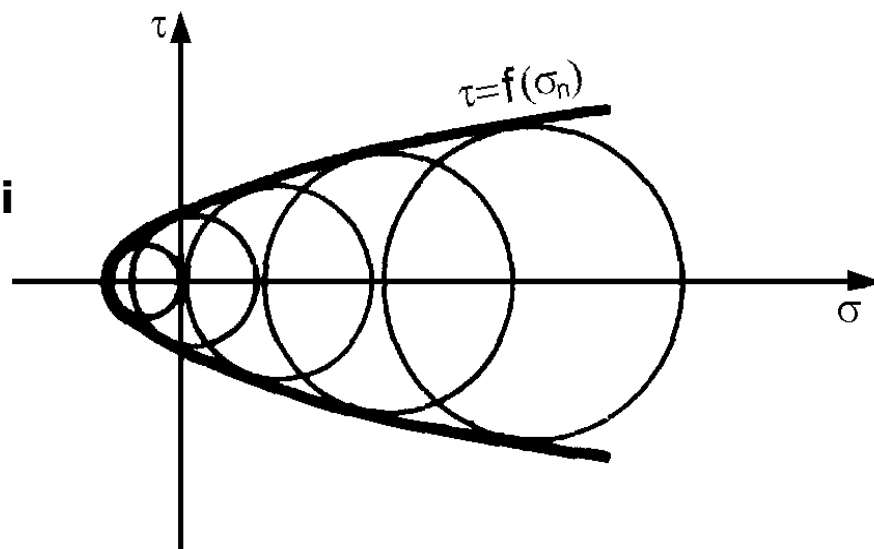
**Zgodnie z hipotezą Mohra** graniczny opór ścinania opisywany naprężeniem stycznym jaki ośrodek gruntowy stawia siłom przesuającym określić można ze wzoru:

$$|\tau_f| - f(\sigma_n) = 0$$

Szczególna, liniowa postać tego związku nosi nazwę hipotezy

**Coulomba - Mohra (1776):**

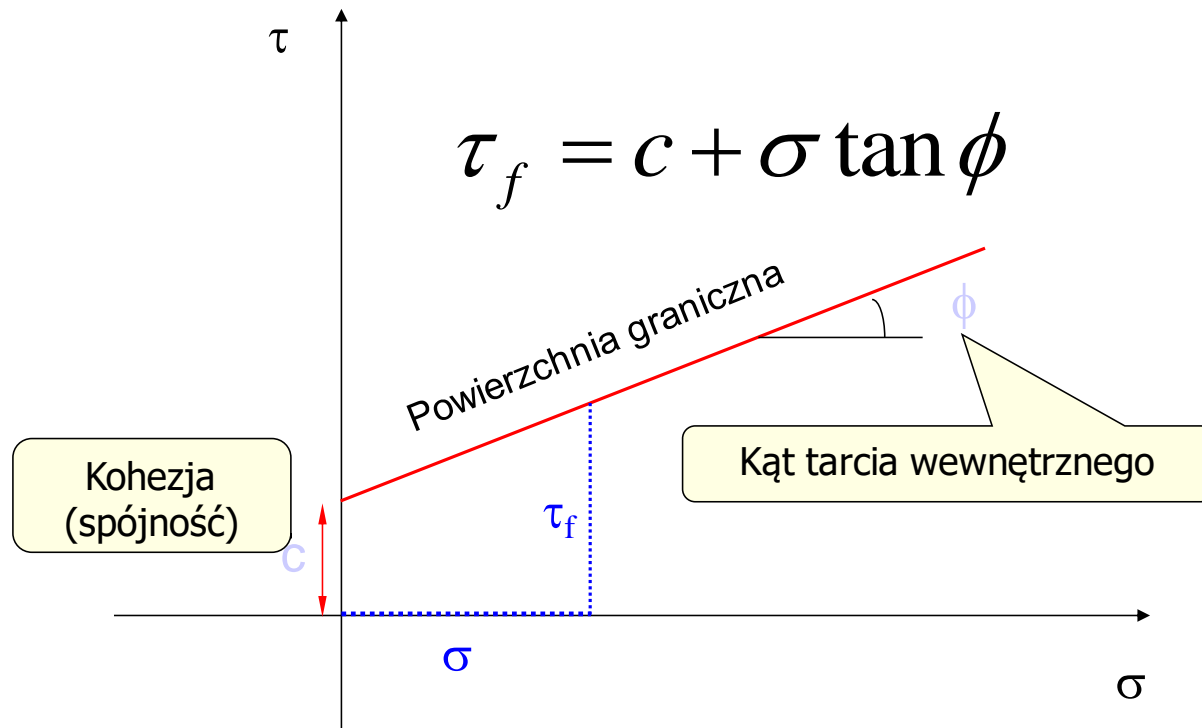
$$\tau = c' + \sigma'_n \tan \varphi'$$



Obwiednie Mohra

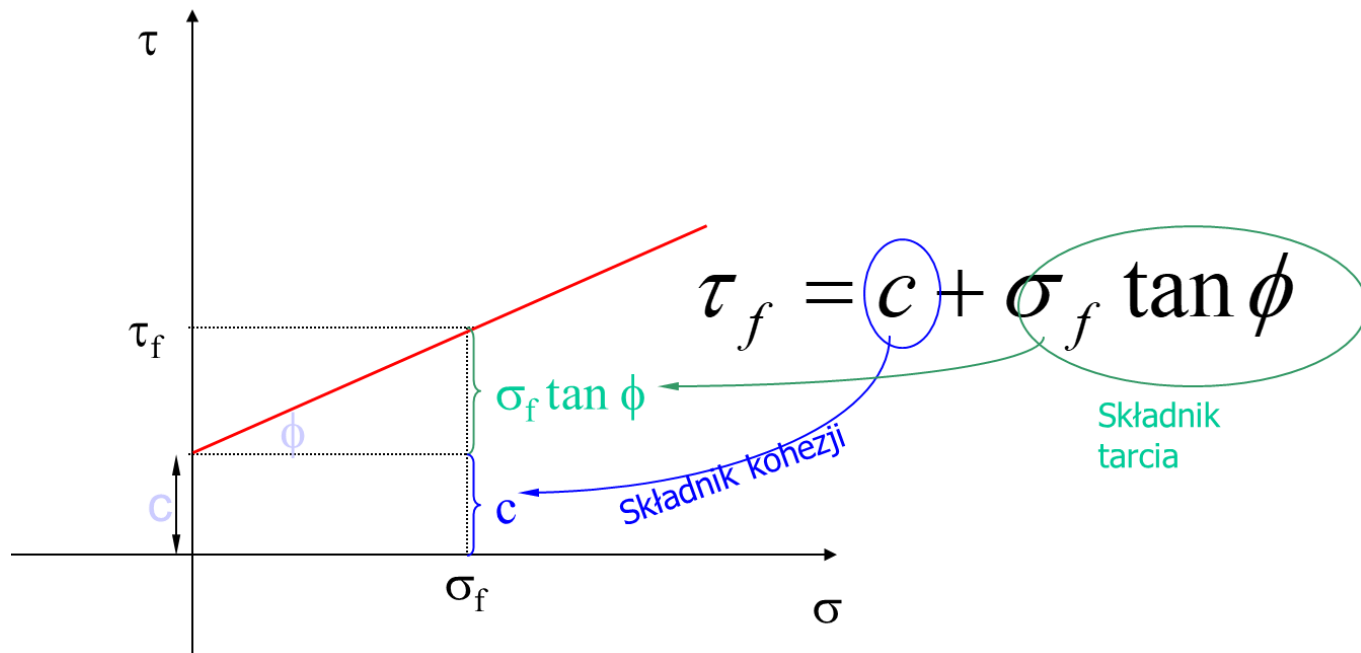
# Kryterium wytrzymałościowe Coulomba – Mohra (1776 r)

$\tau_f$  jest maksymalnym naprężeniem stycznym, które przenosi grunt bez jego niszczenia



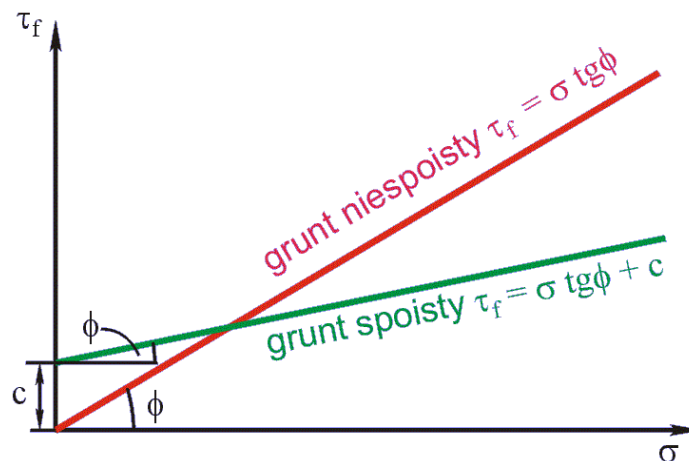
# Kryterium wytrzymałościowe Coulomba – Mohra (1776 r)

Wytrzymałość gruntów jest efektem dwóch procesów:  
kohezji i tarcia.



## Wytrzymałość gruntu na ścinanie

W przypadku ścinania gruntów o strukturze ziarnistej mamy do czynienia z oporem tarcia suwnego i obrotowego. Opór ten nazywamy oporem **tarcia wewnętrznego**. Wielkość ta zależy od rodzaju gruntu (wymiaru i kształtu ziaren, pochodzenia gruntu). Dla danego gruntu wartość tarcia wewnętrznego zależy od: porowatości, wilgotności, ciśnienia wody w porach.

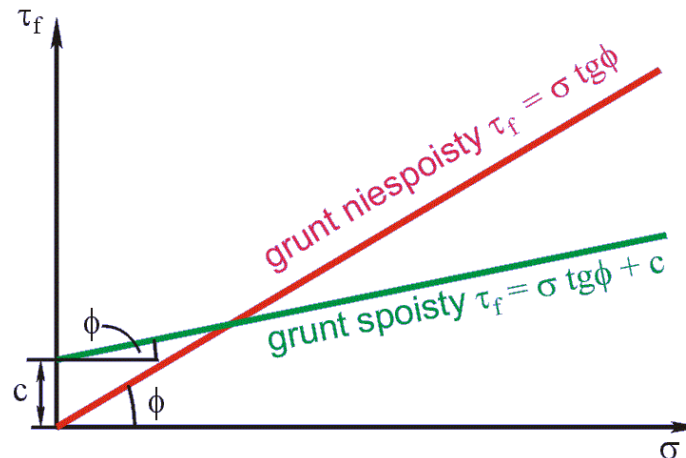




## Wytrzymałość gruntu na ścinanie

**Spójność gruntu (kohezja)** jest to opór gruntu stawiany siłom zewnętrznym wywołany wzajemnym przyciąganiem się cząstek składowych gruntu. Występuje w gruntach spoistych. Zależy od średnicy ziaren, wilgotności, genezy i składu mineralnego.

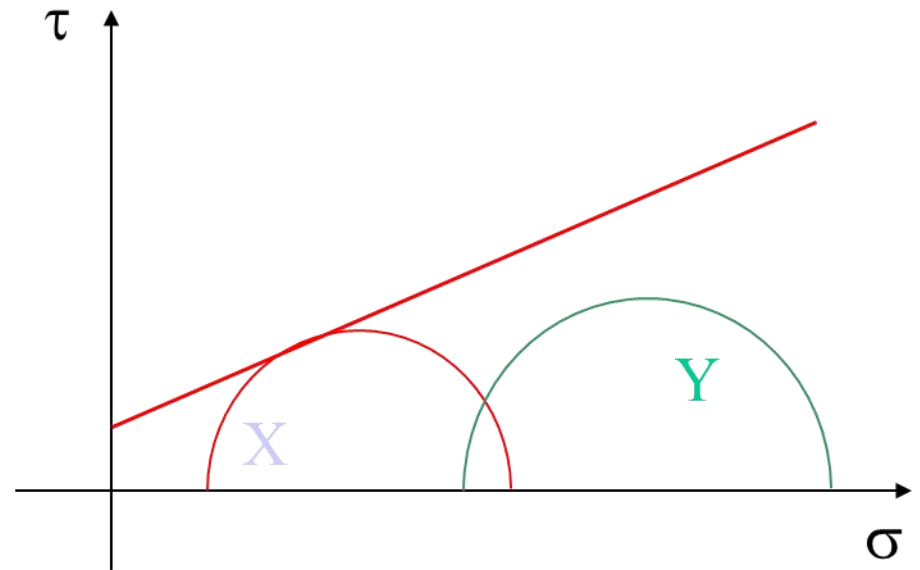
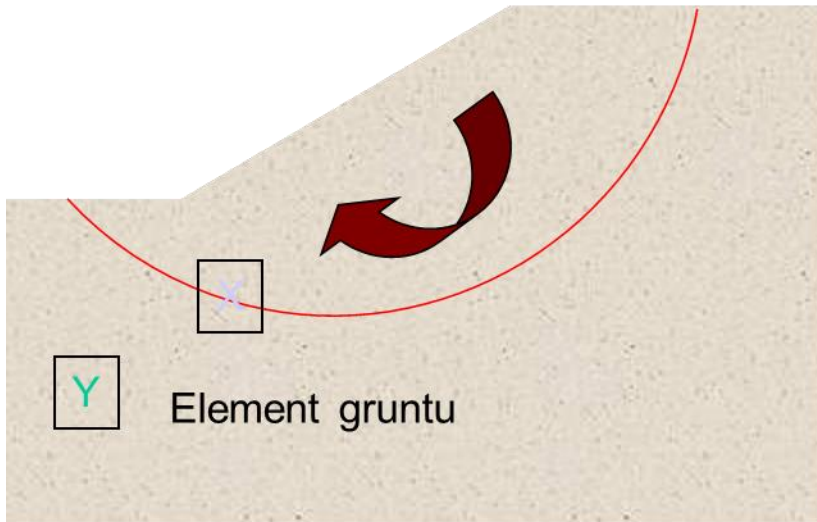
W sensie matematycznym równanie Coulomba jest równaniem prostej nachylonej pod kątem tarcia wewnętrznego  $\phi$  do osi odciętych i wyznaczającej na osi rzędnych wartość oporu spójności  $c$ .





AGH

## Koła Mohra i powierzchnia graniczna



X  $\sim$  zniszczenie

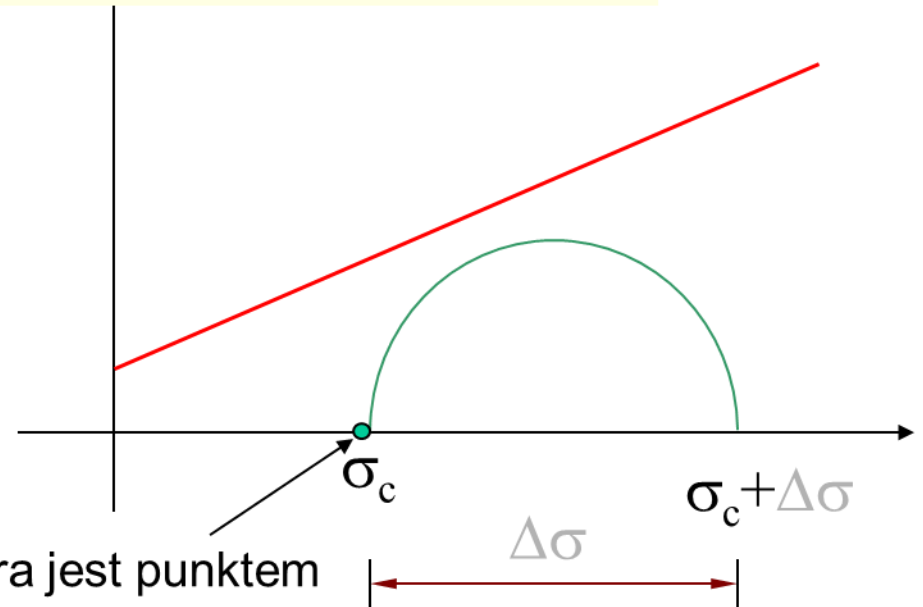
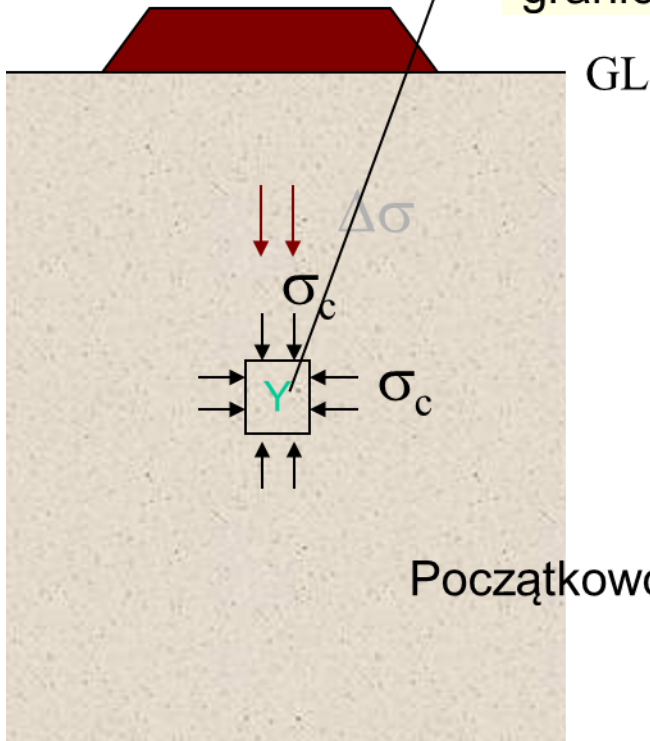
Y  $\sim$  stabilność



AGH

# Koła Mohra i powierzchnia graniczna

Element gruntu nie ulegnie zniszczeniu, jeżeli koło Mohra znajduje się poniżej powierzchni granicznej

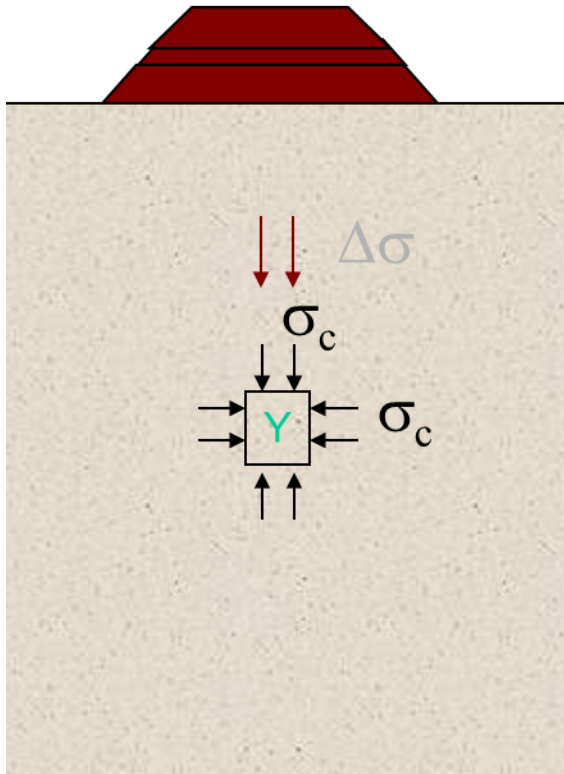




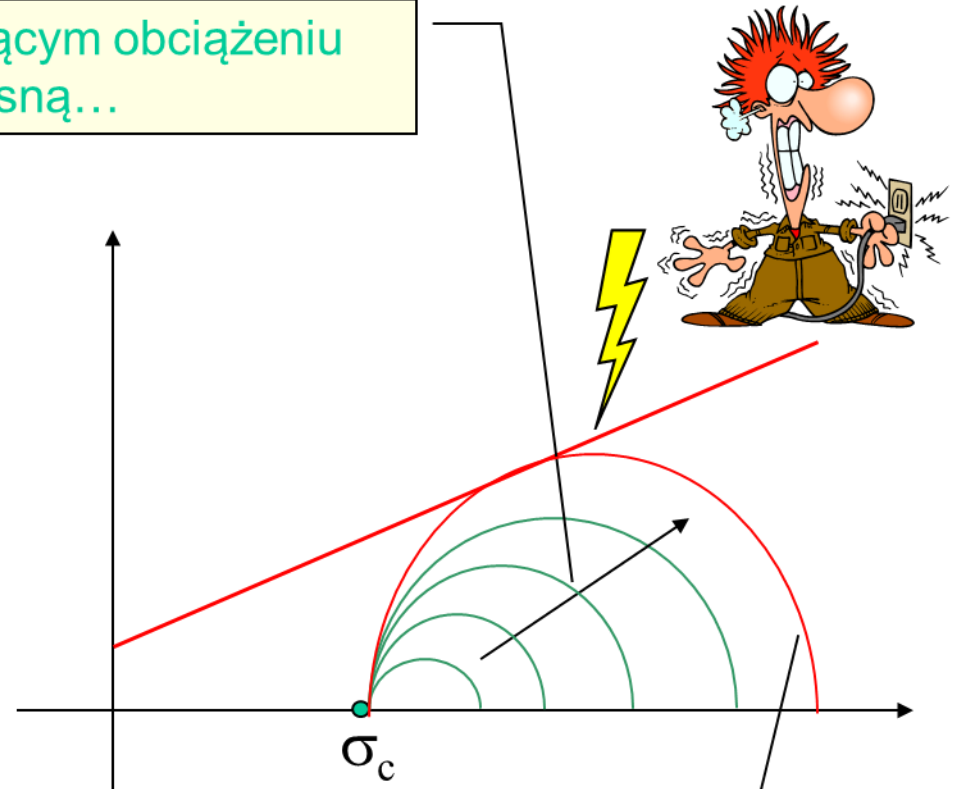
AGH

# Koła Mohra i powierzchnia graniczna

Przy wzrastającym obciążeniu koła Mohra rosną...



podłoże

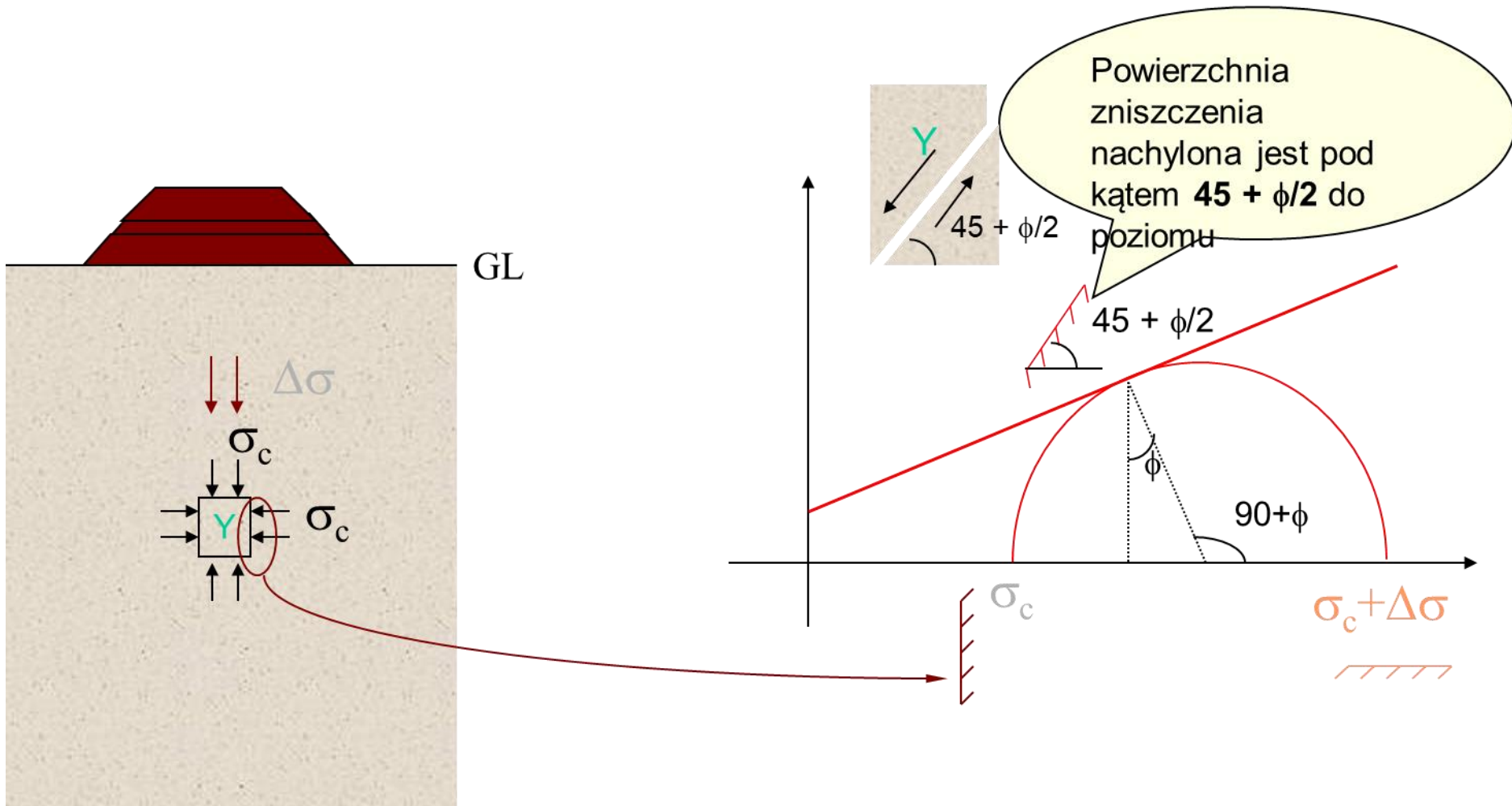


..i w końcu stają się styczne do powierzchni granicznej



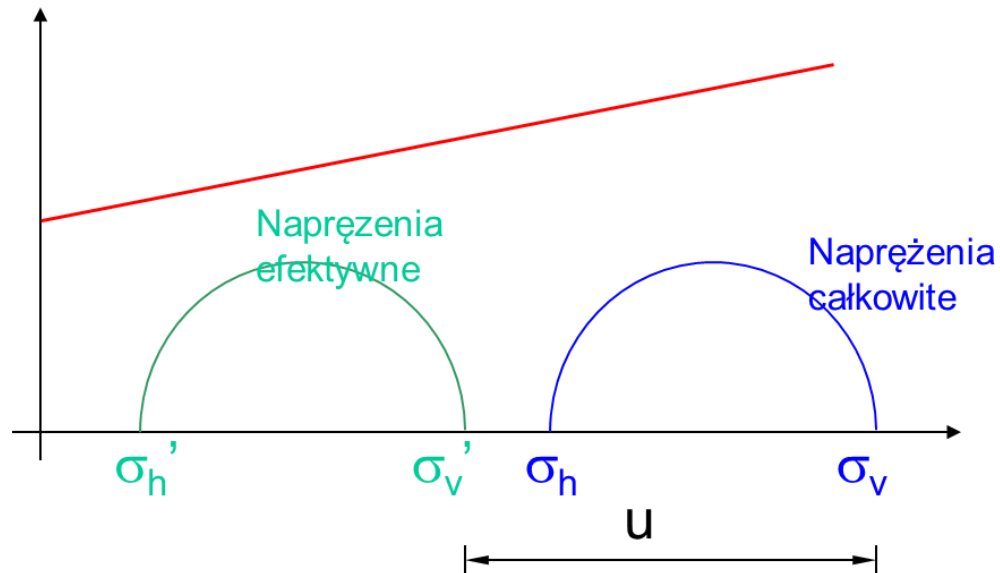
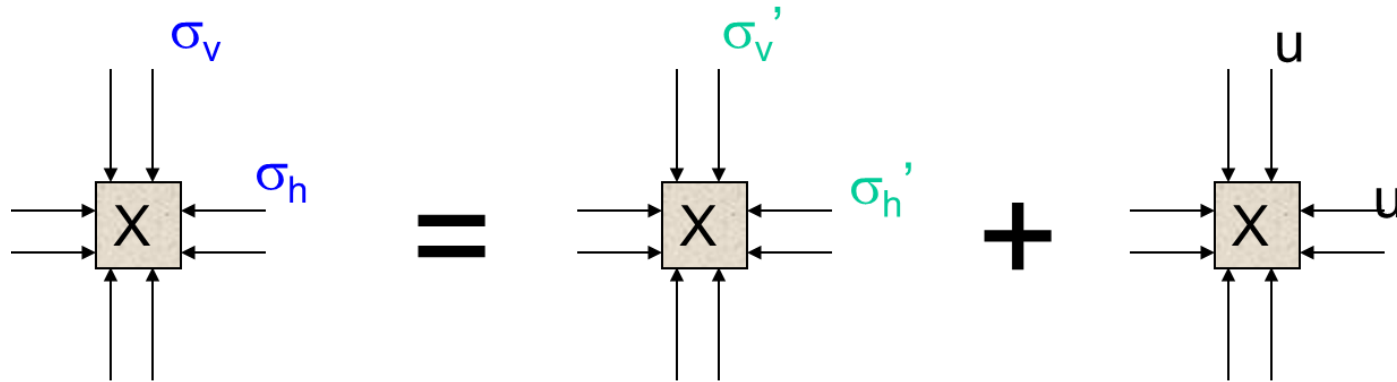
AGH

# Orientacja powierzchni zniszczenia





# Koła Mohra dla naprężeń $\sigma$ & $\sigma'$

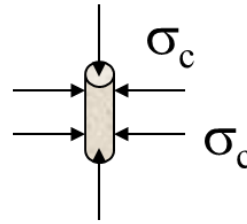
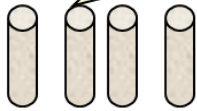




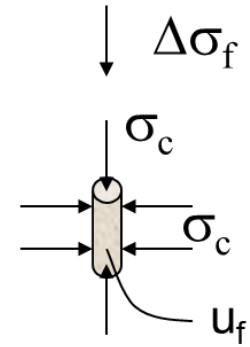
AGH

# Koła Mohra dla naprężeń $\sigma$ & $\sigma'$

Identyczne próbki obciążone początkowo naprężeniem hydrostatycznym ( $\sigma_c$ ) a następnie dodatkowym naprężeniem osiowym aż do zniszczenia



Wstępne...

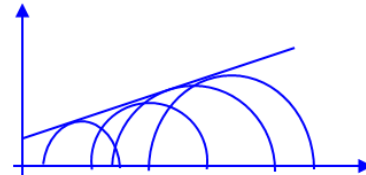


zniszczenie

Po zniszczeniu,

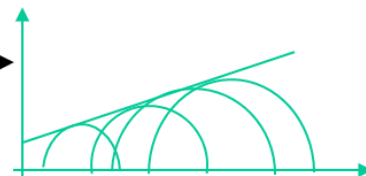
$$\sigma_3 = \sigma_c; \quad \sigma_1 = \sigma_c + \Delta\sigma_f$$

$$\sigma_3' = \sigma_3 - u_f; \quad \sigma_1' = \sigma_1 - u_f$$



$c, \phi$

W zależności od  $\sigma$



$c', \phi'$

W zależności od  $\sigma'$

## Wytrzymałość gruntu na ścinanie

- W przypadku ścinania gruntów mamy do czynienia z **oporem tarcia suwnego i obrotowego**, gdyż przy poślizgu strefowym jednej warstwy gruntu po drugiej występuje opór nie tylko w powierzchniach poślizgu, lecz i opór wynikający z obrotu ziaren w stosunku do ziaren sąsiednich.
- Opór gruntu powstały na skutek tarcia suwnego i obrotowego nazywamy oporem tarcia wewnętrznego.
- **Opór tarcia wewnętrznego gruntu nie jest wartością stałą**, zależy od kształtu i wymiaru ziaren, ich wzajemnej odległości, naprężeń efektywnych w szkielecie gruntu (a więc od pochodzenia i uziarnienia gruntu), wskaźnika porowatości i ciśnienia wody w porach wpływającego na wartość naprężeń efektywnych.

## Wytrzymałość gruntu na ścinanie

- **Kąt tarcia zależy od wymiaru ziaren i ich kształtu oraz stopnia zagęszczenia gruntu. Im grubsze są ziarna tym szersza jest strefa ogarnięta tarciem wewnętrznym ziaren. Im bardziej ostre są krawędzie ziaren, tym większy jest opór ich tarcia przy wzajemnym obrocie, gdyż większy jest opór ich wzajemnego zaklinowania się.**
- **W gruncie ilastym im więcej jest cząstek iłowych tym mniejsze jest tarcie wewnętrzne gdyż cząstki iłowe tworząc dookoła grubych ziaren otoczkę ułatwiają ich poślizg przy ścinaniu.**

## Wytrzymałość na ścinanie

- Dla gruntu o danym składzie granulometrycznym i mineralnym **kohezja zależy od liczby kontaktujących się cząstek na jednostce powierzchni** ścinania i odległości pomiędzy tymi cząstkami (czyli od wskaźnika porowatości).
- W przypadku gruntów spoistych w pełni nasyconych liczba cząstek w jednostce objętości jest związana z wilgotnością. **Im więcej cząstek danego gruntu znajduje się w jednostce objętości, tym mniejsza jest wilgotność i większa kohezja.**
- **Grunty sypkie, ziarniste bez cząstek łąowych mają spójność bliską zeru.** W miarę wzrostu zawartości cząstek łąowych w gruncie spójność wzrasta, gdyż w jednostce objętości wzrasta liczba cząstek, a więc wzrasta także liczba punktów kontaktowych na jednostce powierzchni ścinania.
- Oprócz powyższych czynników na spójność mają także wpływ siły kapilarne lub krystalizacja soli w porach gruntu. Opór gruntu wywołany tymi siłami w wielu przypadkach zwiększa spójność, ale łatwo znika w przypadku nawodnienia gruntu.



## Kohezja i kąt tarcia wewnętrzznego wybranych gruntów niespoistych

Grunt	Cecha	Stan gruntu		
		zagęszczony	Średnio zagęszczony	luźny
Żwiry i pospółki	$c$	0-1	0	0
	$\varphi$	42-40	37-40	36-37
Piaski grube i średnie	$c$	1-2	0-1	0
	$\varphi$	37-39	34-37	34-35
Piaski drobne i pylaste	$c$	2-3	2-1	1-0
	$\varphi$	33-36	31-33	30-31
Piaski próchniczne	$c$	3-4	3-2	2-1
	$\varphi$	32-39	27-29	26-27

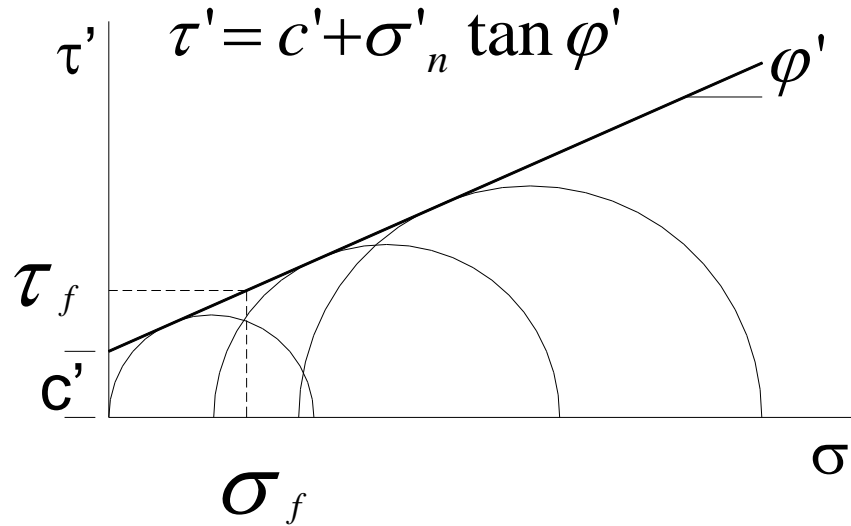
## Kąt tarcia wewnętrznego dla gruntów niespoistych (Craig, 1997)

Grunt	Stan gruntu	
	luźny	zagęszczony
<b>Piasek równoziarnisty, ziarna obtoczone</b>	<b>27°</b>	<b>35°</b>
<b>Piasek dobrze uziarniony, ziarna nieobtoczone</b>	<b>33°</b>	<b>45°</b>
<b>Pospółka</b>	<b>35°</b>	<b>50°</b>
<b>Piasek pylasty</b>	<b>27÷30°</b>	<b>30÷34°</b>

## Kohezja i kąt tarcia wewnętrzznego wybranych gruntów spoistych

Grunt	Cecha	Stan gruntu		
		Twardo- plastyczny	plastyczny	Miękko- plastyczny
Pg, pp, p	$c_u$	20-28	12-20	6-12
	$\varphi_u$	20-25	16-20	11-16
Gp, G, Gp	$c_u$	26-37	18-26	11-18
	$\varphi_u$	16-21	12-16	7-12
Gpz, Gz, Gpz	$c_u$	35-47	26-35	17-26
	$\varphi_u$	13-17	9-13	5-9
Ip, I, Ip	$c_u$	45-60	35-45	26-35
	$\varphi_u$	10-13	6-10	3-6

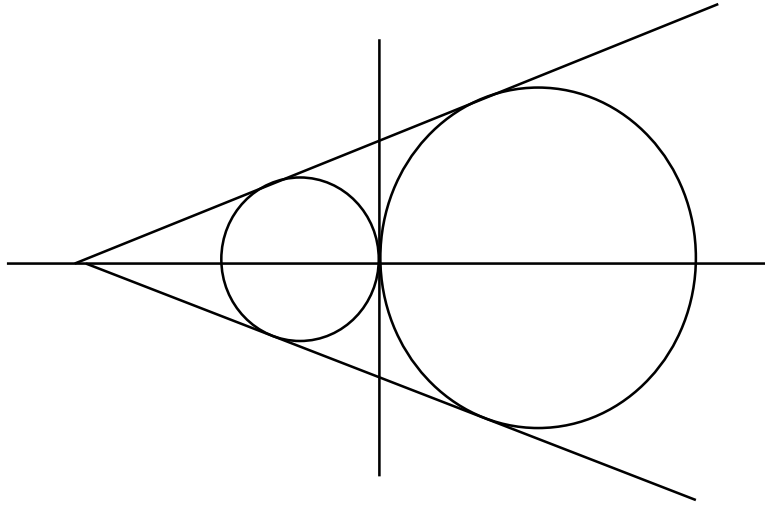
## Wytrzymałość gruntu na ścinanie



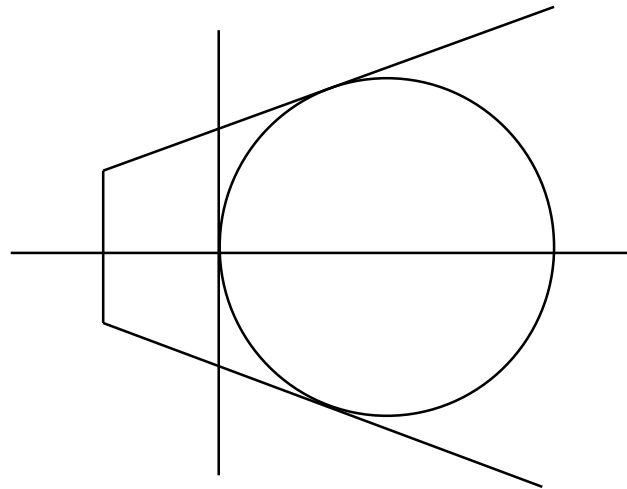
$$\tau_f = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \cos \varphi'$$

$$\sigma_f = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \sin \varphi'$$

## Shear strength of soils

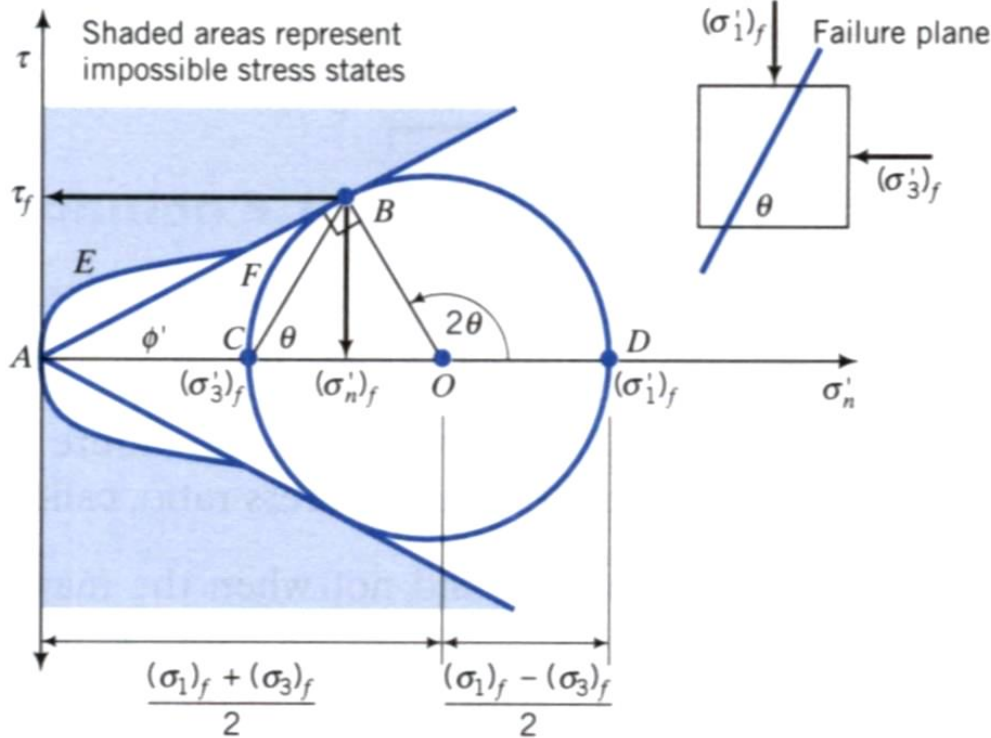


**Unrealistic assumption - for low friction angle values - tensile strength is several times higher than cohesion**



**Proposition - tension cut-off or zero tension strength assumption.**

# Shear strength of soils



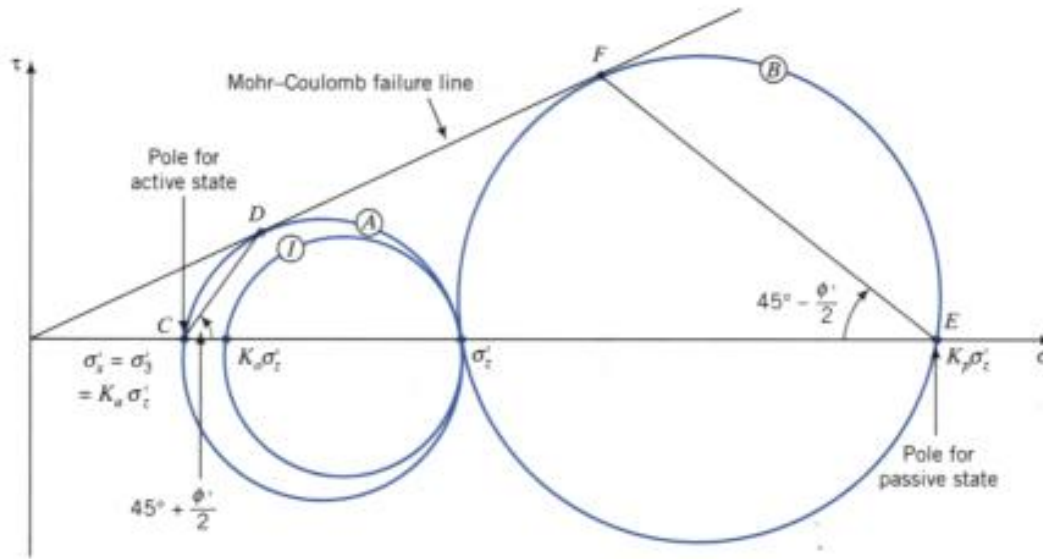
**Geometryczne interpretacje warunku zniszczenia Coulomba-Mohra:**

$$\sin \varphi = \frac{\frac{1}{2}(\sigma_{1f} - \sigma_{3f})}{c \cot \varphi + \frac{1}{2}(\sigma_{1f} + \sigma_{3f})}$$



AGH

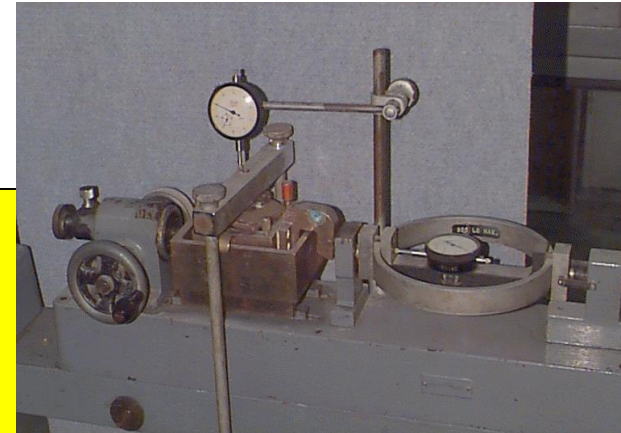
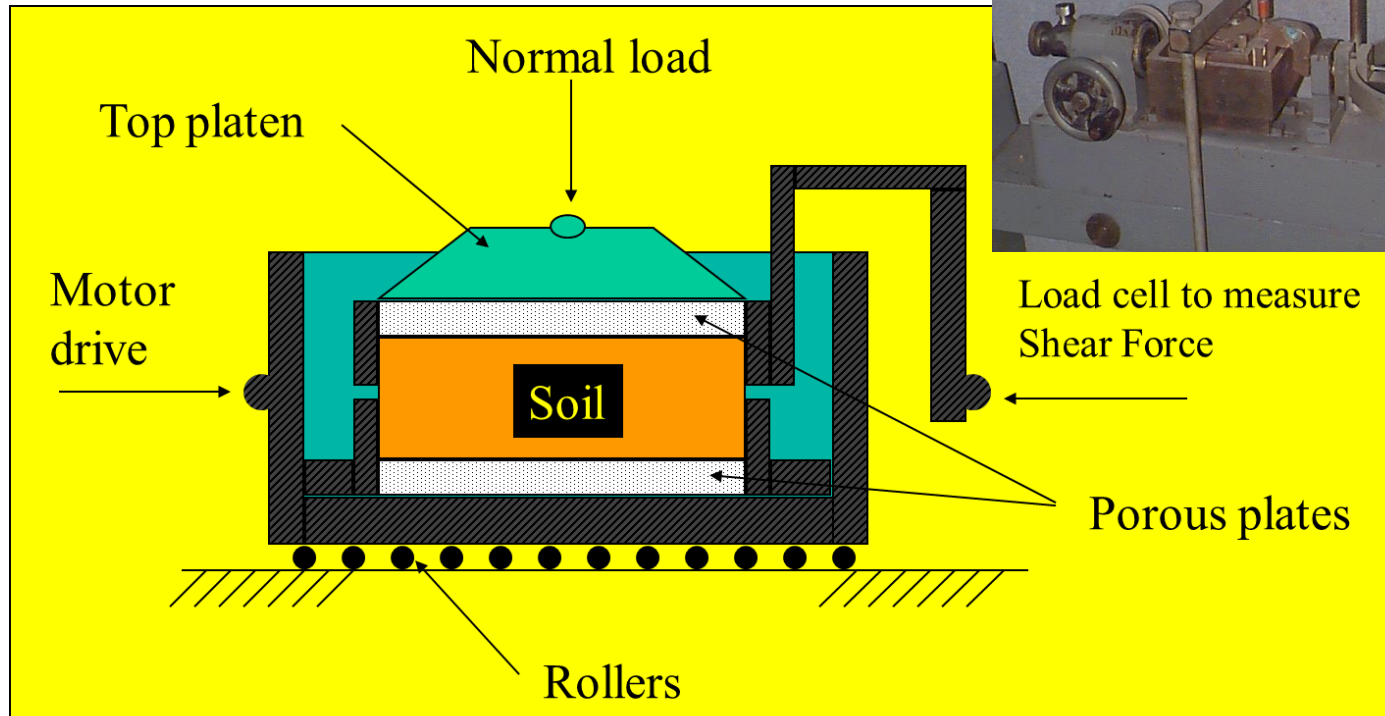
## Shear strength of soils



$$\sigma_{1f} - \sigma_{3f} = 2c \cos \varphi + (\sigma_{1f} + \sigma_{3f}) \sin \varphi$$



# Shear Box Test

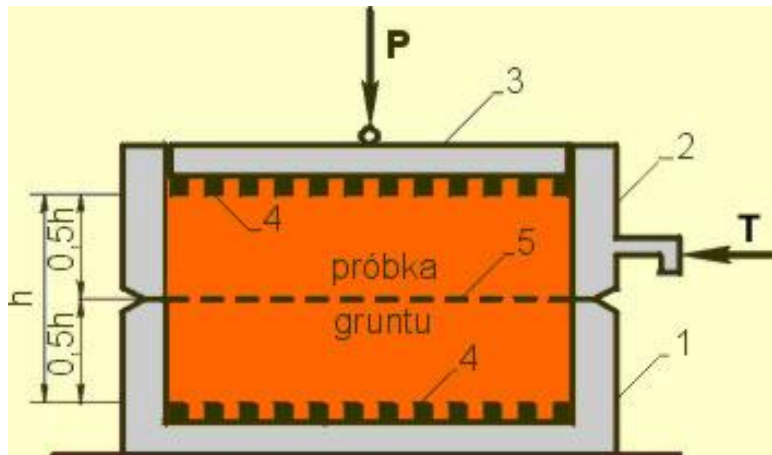


**Measure:** relative horizontal displacement,  $dx$   
vertical displacement of top platen,  $dy$



AGH

## Aparat bezpośredniego ścinania

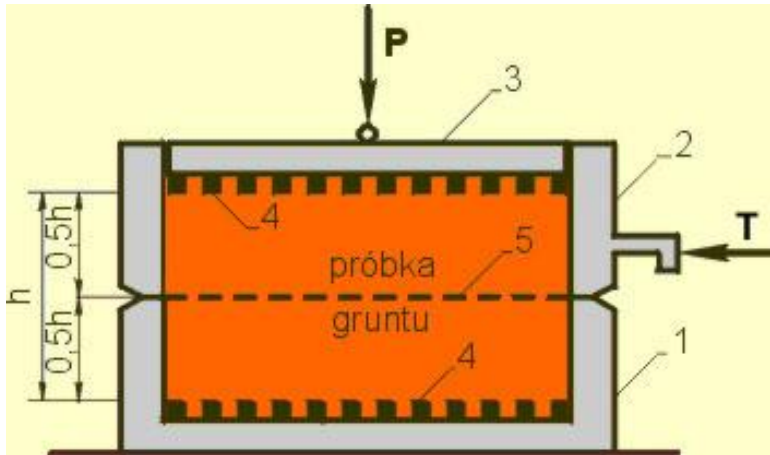


Schemat skrzynki aparatu bezpośredniego ścinania:

- 1 – skrzynka dolna,
- 2 – skrzynka górna,
- 3 – pokrywa,
- 4 – filtry o ząbkowanej powierzchni,
- 5 – wymuszona płaszczyzna ścięcia

Zasadniczą częścią aparatu jest dwudzielna skrzynka, której części górna i dolna mogą się wzajemnie przemieszczać. W celu zabezpieczenia próbki przed ślizganiem się po powierzchniach kontaktowych i przenoszenia siły ścinającej zaopatrzona jest ona od dołu i od góry w płytki odporowe. Badanie polega na eksperymentalnym określeniu siły  $T$ , przy pomocy której staramy się przesunąć górną część skrzynki po dolnej. Ruchowi temu przeciwstawia się mobilizujący się, w wymuszonej płaszczyźnie ścinania, opór gruntu na ścinanie. Siła  $T$  nie może wzrosnąć ponad wartość ogólnej wytrzymałości na ścinanie badanego gruntu.

## Aparat bezpośredniego ścinania



Schemat skrzynki aparatu bezpośredniego ścinania:

- 1 – skrzynka dolna,
- 2 – skrzynka górna,
- 3 – pokrywa,
- 4 – filtry o ząbkowanej powierzchni,
- 5 – wymuszona płaszczyzna ścinania

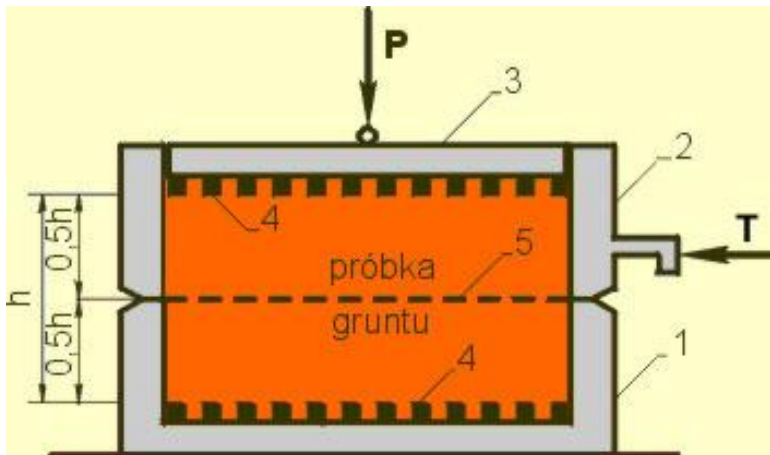
Maksymalna siła zarejestrowana na dynamometrze jest wielkością poszukiwaną. Wartość siły **T** dla danego gruntu zależy od wartości siły pionowej **P**. Przynajmniej kilkukrotne poszukiwanie siły **T** dla różnych wartości siły **P** pozwoli wyznaczyć prostą Coulomba, a tym samym określić wartości szukanych parametrów. Zakładamy, że siła **P** przyłożona do próbki poprzez sztywną pokrywę rozkłada się na powierzchni próbki na tyle równomiernie, że w wymuszonej płaszczyźnie ścinania panuje naprężenie normalne:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$



AGH

## Aparat bezpośredniego ścinania



Schemat skrzynki aparatu bezpośredniego ścinania:

- 1 – skrzynka dolna,
- 2 – skrzynka górna,
- 3 – pokrywa,
- 4 – filtry o ząbkowanej powierzchni,
- 5 – wymuszona płaszczyna ścięcia

Podobnie uważamy, że siła  $T$  podzielona przez powierzchnię skrzynki  $A$  określa, stałą w całym przekroju ścinania, wartość naprężenia ścinającego:

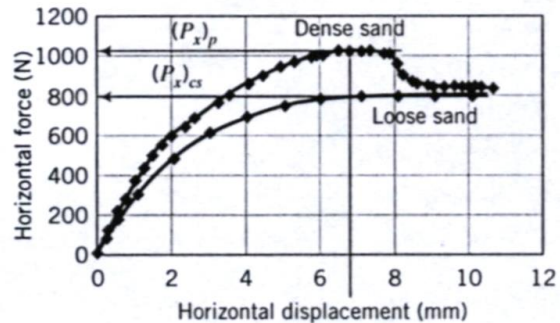
$$\tau = \frac{T}{A}$$

W aparacie bezpośredniego ścinania bada się próbki o naruszonej strukturze, umieszczone w skrzynce aparatu. Grunt układa się w skrzynce, zagęszczając go ubijakiem do stanu symulującego stan naturalny aż do jej wypełnienia. Skrzynkę z wykonaną próbką umieszcza się w aparacie bezpośredniego ścinania.

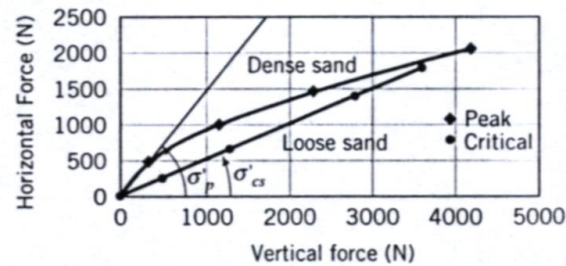


AGH

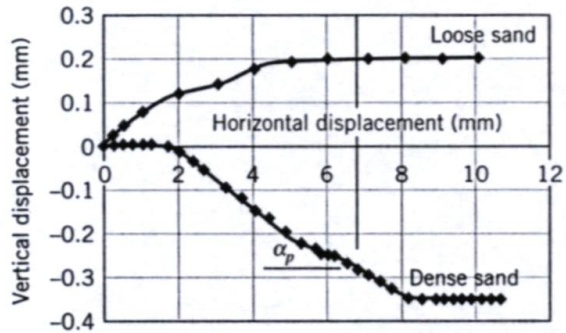
# Aparat bezpośredniego ścinania



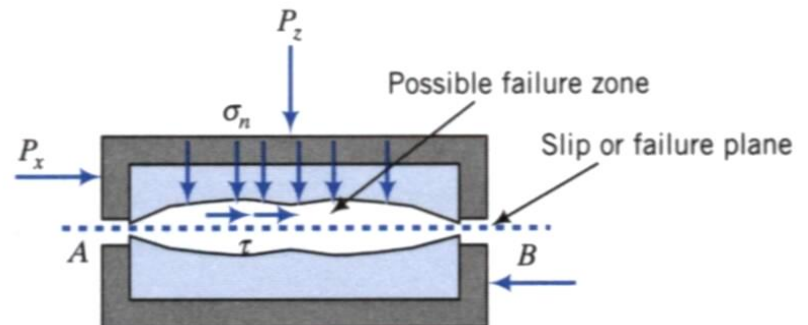
(a)



(c)



(b)

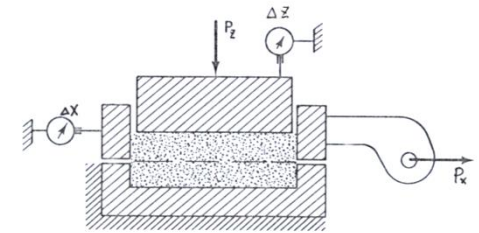


## Wyniki próby ścinania gruntu

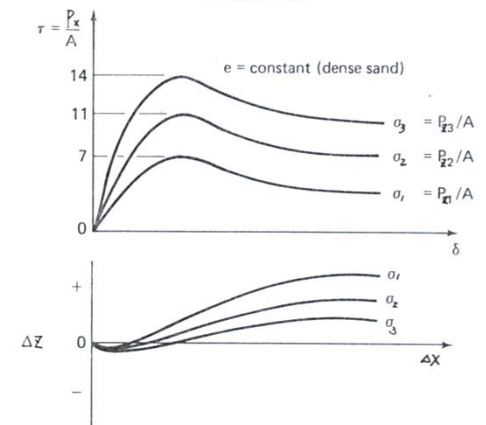
## Aparat bezpośredniego ścinania

### Wady próby bezpośredniego ścinania:

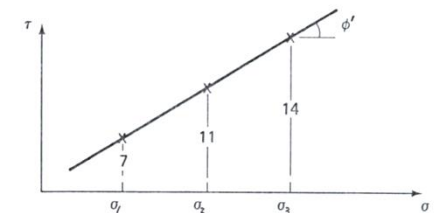
- Wymuszona powierzchnia poślizgu, która nie musi się pokrywać z najslabszą powierzchnią
- Nie ma możliwości pomiaru ciśnienia porowego, czyli nie jesteśmy w stanie określić efektywnych parametrów gruntu
- Niejednorodny stan naprężenia i odkształcenia w próbce
- W praktyce test bezpośredniego ścinania jest używany dla szybkiego i zgrubnego oszacowania parametrów gruntu
- Aparat nie może zapobiegać odsączeniu – czyli test nadaje się tylko do oceny własności gruntu w warunkach pełnego odsączenia



(a) Apparatus



(b) Test results



(c) Mohr diagram

## Aparat bezpośredniego ścinania

### Przykład liczbowy 1

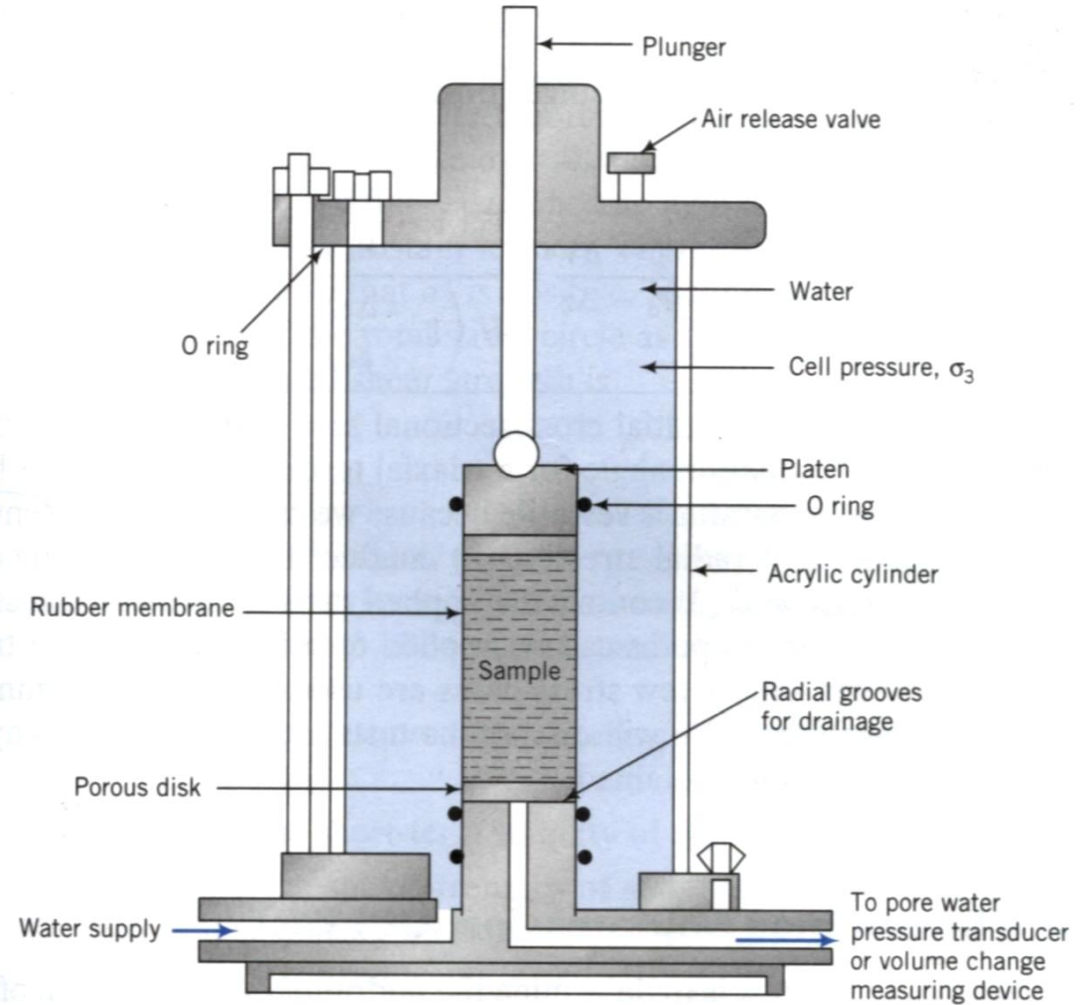
Wykonano próbę bezpośredniego ścinania pewnego gruntu sypkiego. Z wcześniejszych badań wiadomo, że kąt tarcia wewnętrznego dla tego gruntu jest równy  $25^\circ$ . Naprężenia pionowe przyłożone do próbki gruntu są równe 31.8 kPa. Ile będzie wynosiła maksymalna wartość naprężeń ścinających?





AGH

# Aparat trójosiowego ściskania

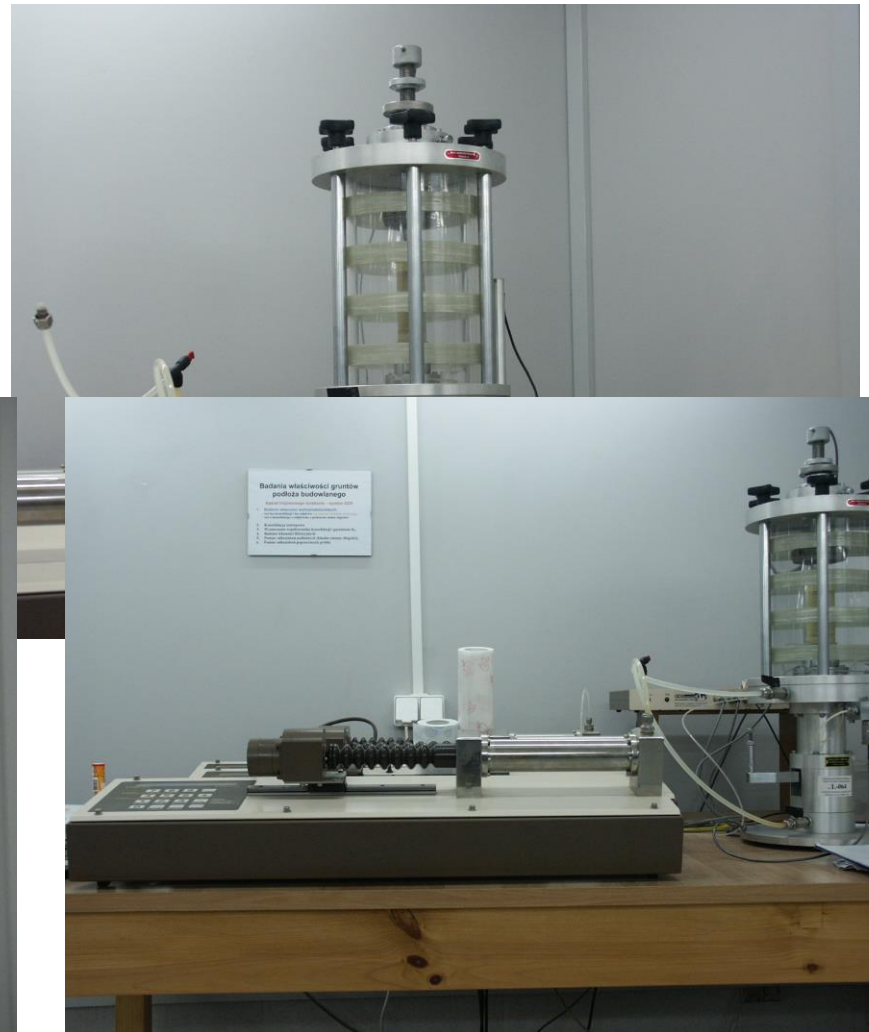






AGH

## Aparat trójosiowego ściskania



## Aparat trójosiowego ściskania

Badania w aparacie trójosiowym przeprowadza się według jednego z trzech niżej podanych sposobów, różniących się odciążeniem i odwadnianiem próbki:

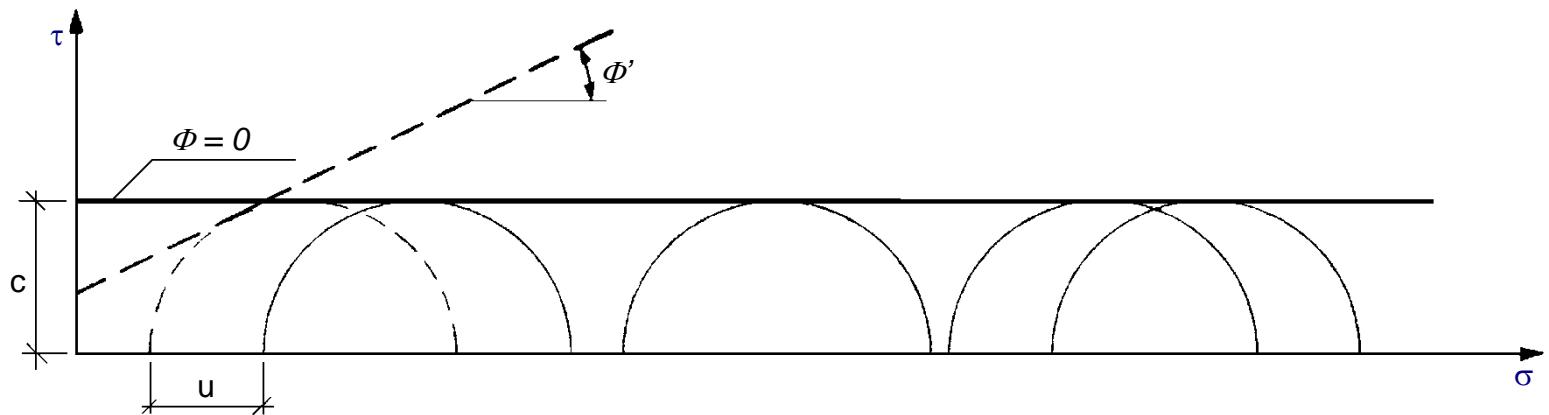
**Badania bez konsolidacji i odsączenia (UU);** zawartość wody w próbce utrzymywana jest przez cały czas doświadczenia bez zmian.

**Badania z konsolidacją, bez odsączenia (CU);** próbka konsolidowana jest dla celów praktycznych często przy obciążeniu izotropowym  $\sigma_3$ , lecz w czasie obciążenia, któremu odpowiada różnica naprężeń  $\sigma_1 - \sigma_3$ , dążącego do zniszczenia próbki, odsączenie wody jest uniemożliwione.

**Badania z odsączaniem (CD);** próbkę konsoliduje się jak w badaniach typu CU, jednak po przyłożeniu obciążenia odpowiadającego różnicy naprężeń  $\sigma_1 - \sigma_3$ ; odpływ wody jest nadal umożliwiony; wzrost naprężeń powinien być na tyle powolny, aby nie występowało ciśnienie wody w porach.

## Aparat trójosiowego ściskania

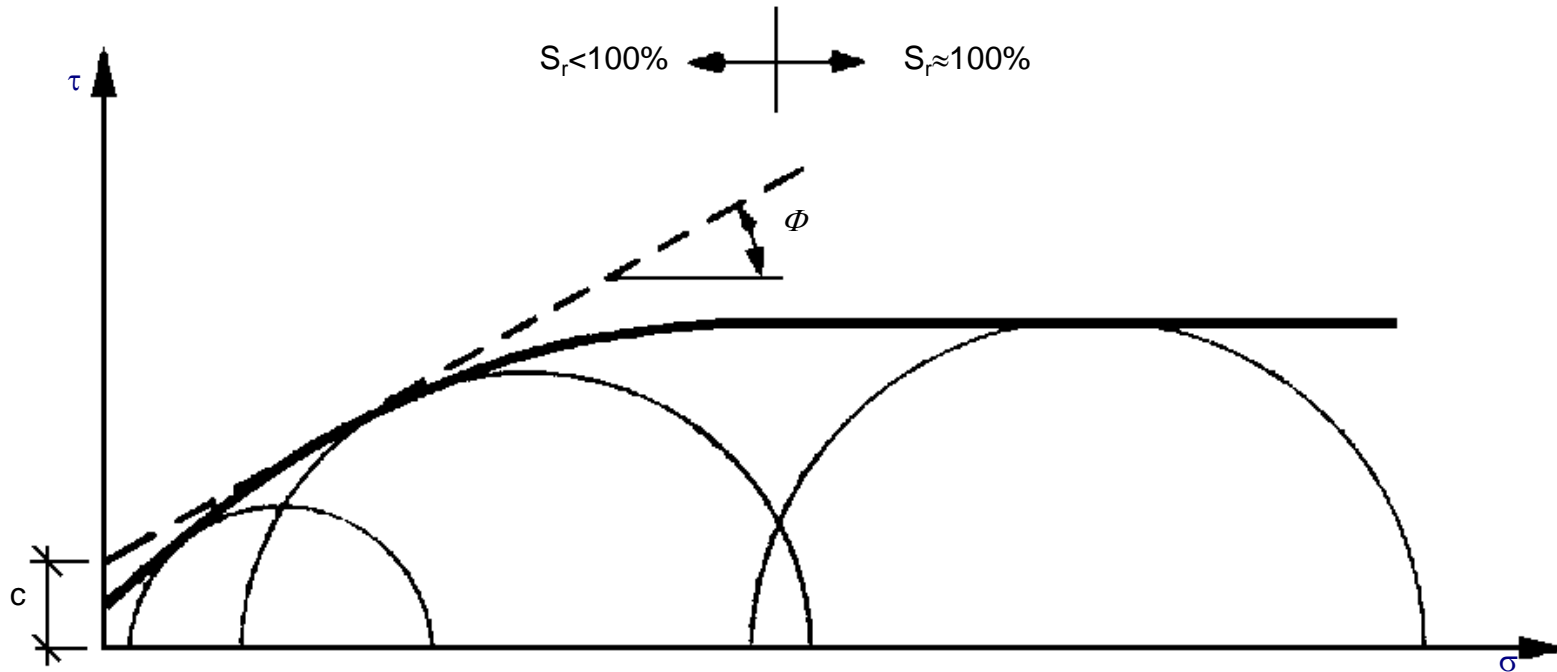
**Wytrzymałość na ścinanie UU** występuje, gdy woda w porach gruntu spoistego ma uniemożliwiony lub bardzo ograniczony odpływ. **W praktyce warunki takie zdarzają się, gdy grunt spoisty zostanie obciążony tak szybko, że jego konsolidacja nastąpi jedynie w nieznacznym zakresie. W badaniu trójosiowym warunki UU modeluje zamknięcie odpływu wody przez cały okres doświadczenia.**





AGH

## Aparat trójosiowego ściskania



**Obwiednia zniszczenia z badań UU gruntów spoistych o niepełnym nasyceniu.**

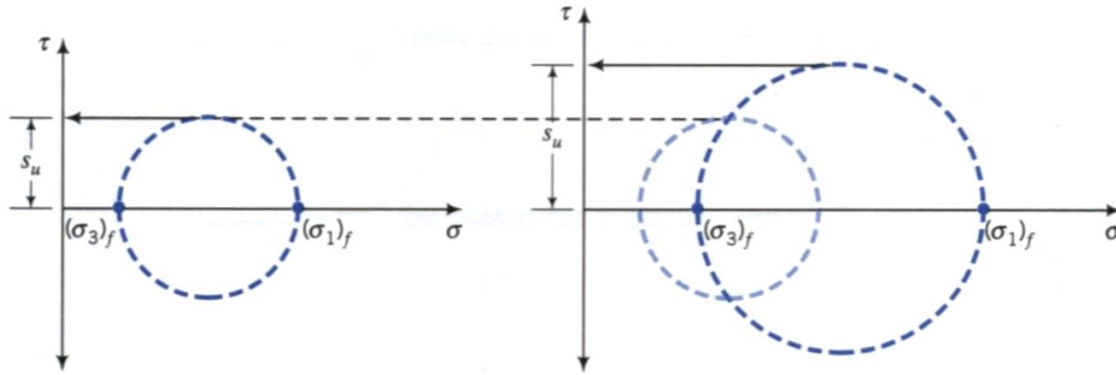
## Aparat trójosiowego ściskania

The purpose of a **Unconsolidated Undrained** test is to determine the undrained shear strength of a saturated soil,  $s_u$ . The UU test consists of applying a cell pressure to the soil sample without drainage of pore water followed by increments of axial stress. The cell pressure is kept constant and the test is completed very quickly because in neither of the two stages, consolidation and shearing, the excess pore water pressure is not allowed to drain. The shear strength of a fine-grained soil under undrained condition is called the undrained shear strength,  $s_u$ .  $s_u$  is the radius of the Mohr total stress circle.



AGH

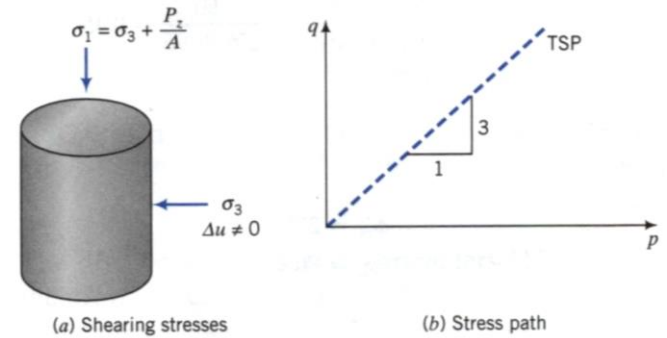
# Aparat trójosiowego ściskania



(a) Undrained shear strength

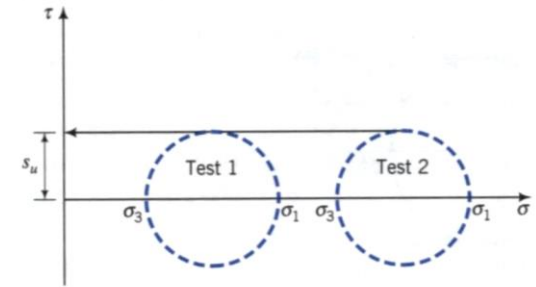
(b) Increase in undrained shear strength from increase in confining pressure

$$s_u = \frac{(\sigma_1)_f - (\sigma_3)_f}{2} = \frac{(\sigma_1')_f - (\sigma_3')_f}{2}$$



(a) Shearing stresses

(b) Stress path



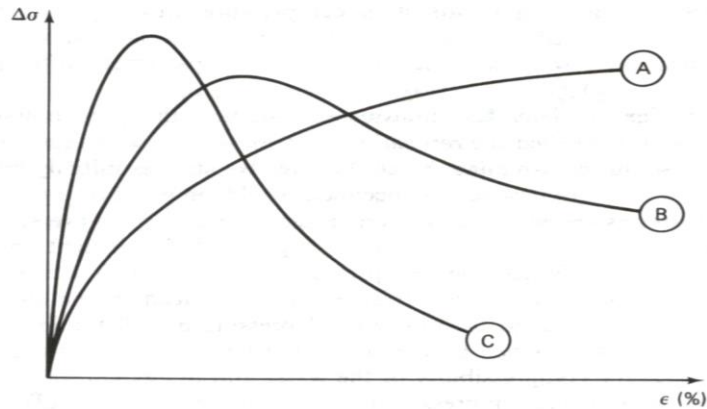
(c) Mohr's circles



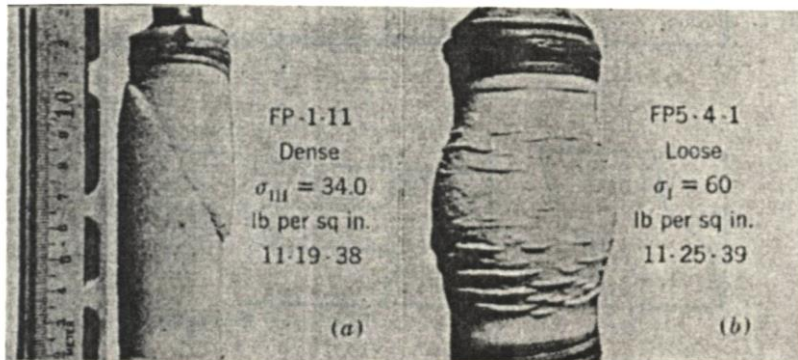
AGH

# Aparat trójosiowego ściskania

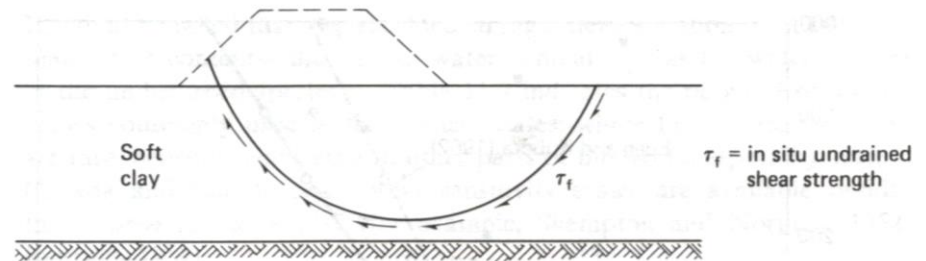
## Typical UU stress-strain curves



Typical UU stress-strain curves for (A) remolded and some compacted clays, (B) medium sensitive undisturbed clay, and (C) highly sensitive undisturbed clay.



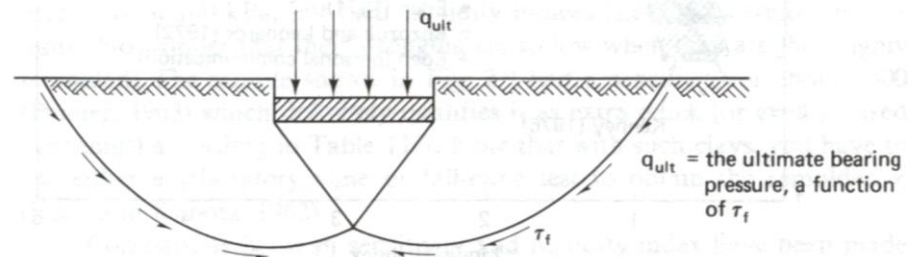
## Examples of UU analyses for clays



(a) Embankment constructed rapidly over a soft clay deposit



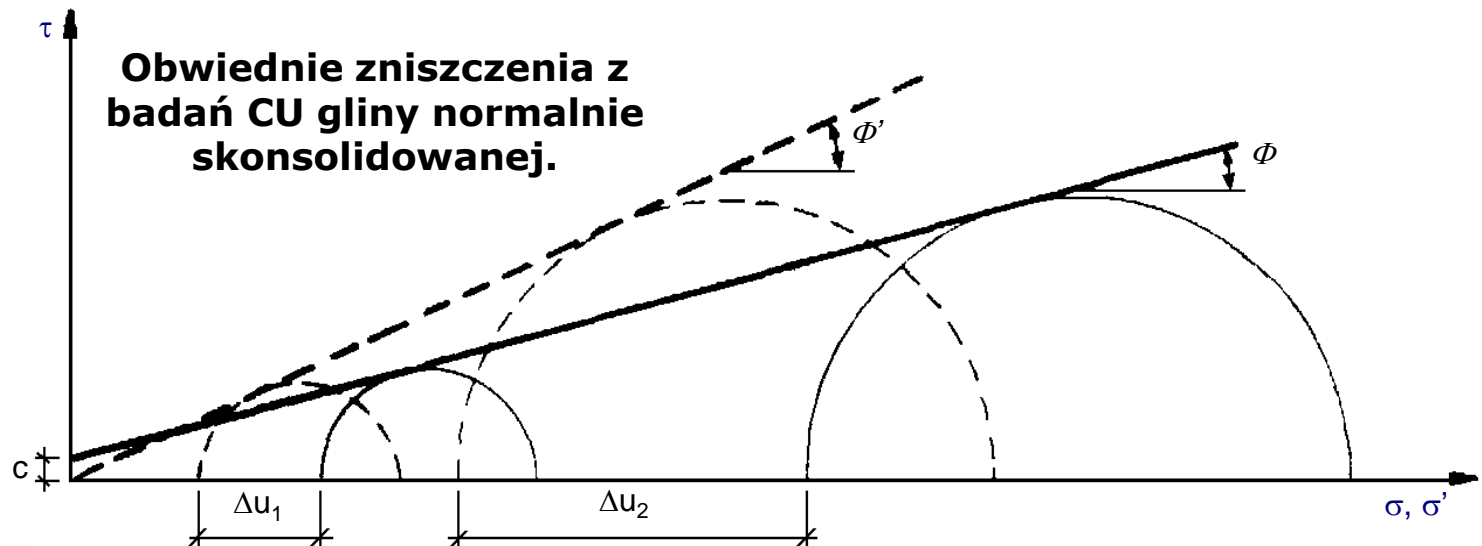
(b) Large earth dam constructed rapidly with no change in water content of clay core





## Aparat trójosiowego ściskania

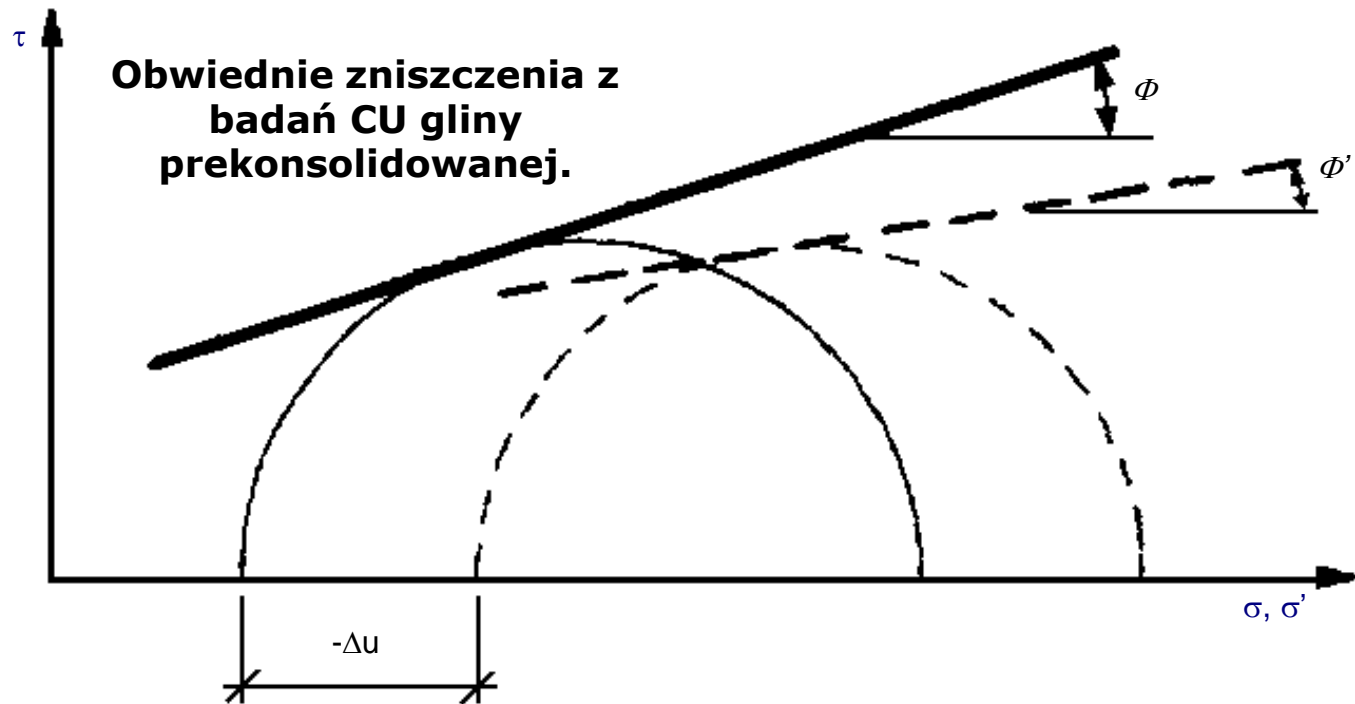
**Wytrzymałość na ścinanie CU** występuje, gdy po wcześniejszym skonsolidowaniu gruntu, w czasie ścinania uniemożliwiony jest odpływ wody. W praktyce warunki takie zdarzają się, gdy np. po powolnym wznoszeniu budowli wprowadza się obciążenie zmienne w stosunkowo krótkim czasie. W badaniach trójosiowych warunki CU są modelowane przez konsolidację próbki, a następnie przez ścinanie jej bez możliwości odpływu.





## Aparat trójosiowego ściskania

Próbka gruntu prekonsolidowanego wykazuje przy ścinaniu tendencję do zwiększania objętości, ciśnienie wody w porach maleje, a nawet może przyjąć wartość ujemną.

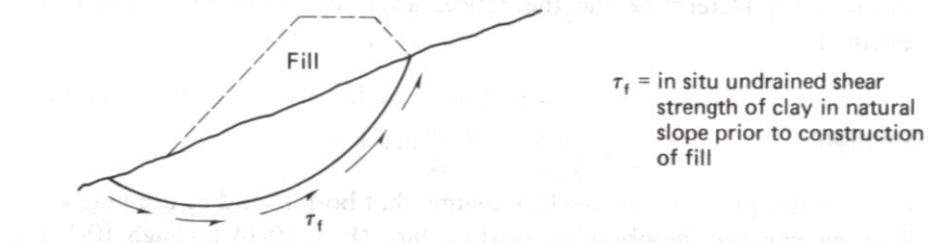
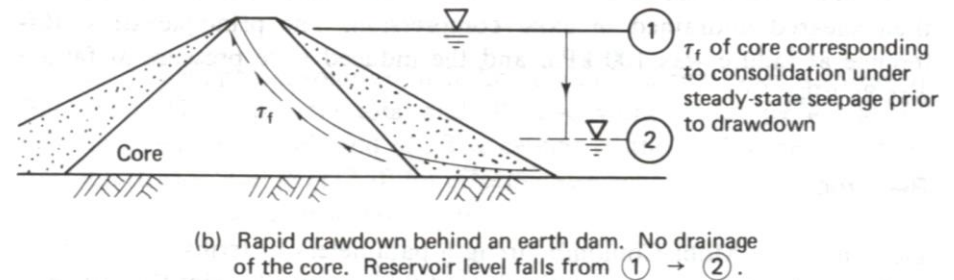
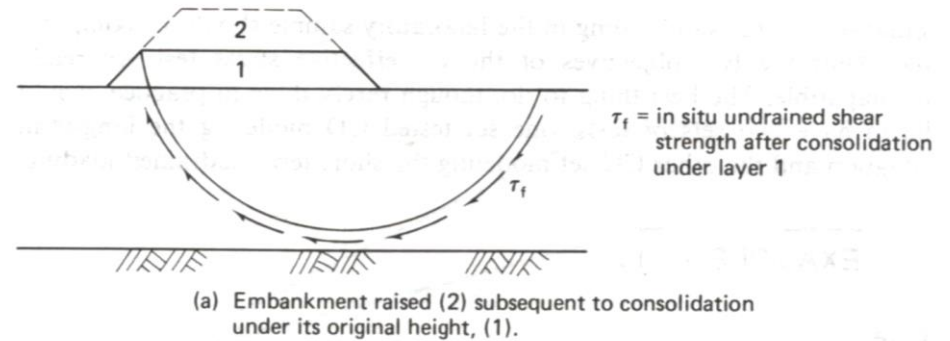




AGH

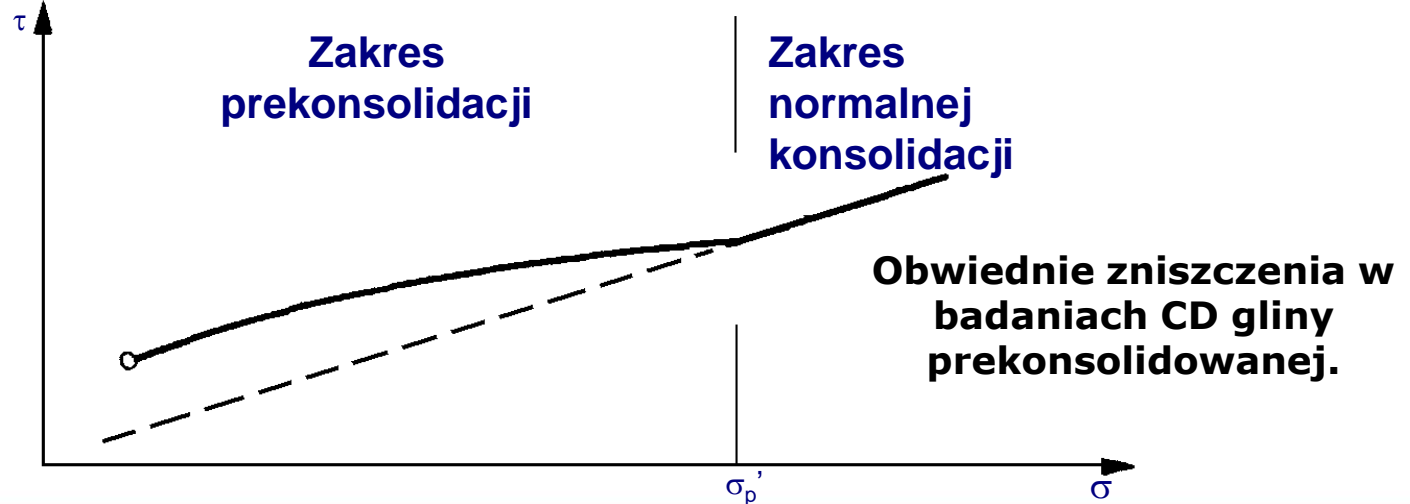
## Aparat trójosiowego ściskania

Examples of CU analyses for clays (Ladd, 1971) (from Holtz and Kovacs, 1981).



## Aparat trójosiowego ściskania

**Wytrzymałość na ścinanie CD** występuje gdy po wcześniejszym skonsolidowaniu gruntu, również w czasie ścinania odpływ wody jest możliwy w takim stopniu, że nie powstaje nadwyżka ciśnienia wody w porach. Warunki takie występują w okresie eksploatacji budowli, gdy nie ma dodatkowych obciążeń. W badaniach trójosiowych warunki CD modelowane są przez bardzo powolne zwiększenie naprężeń tak, aby nie został spowodowany przyrost ciśnienia wody w porach.

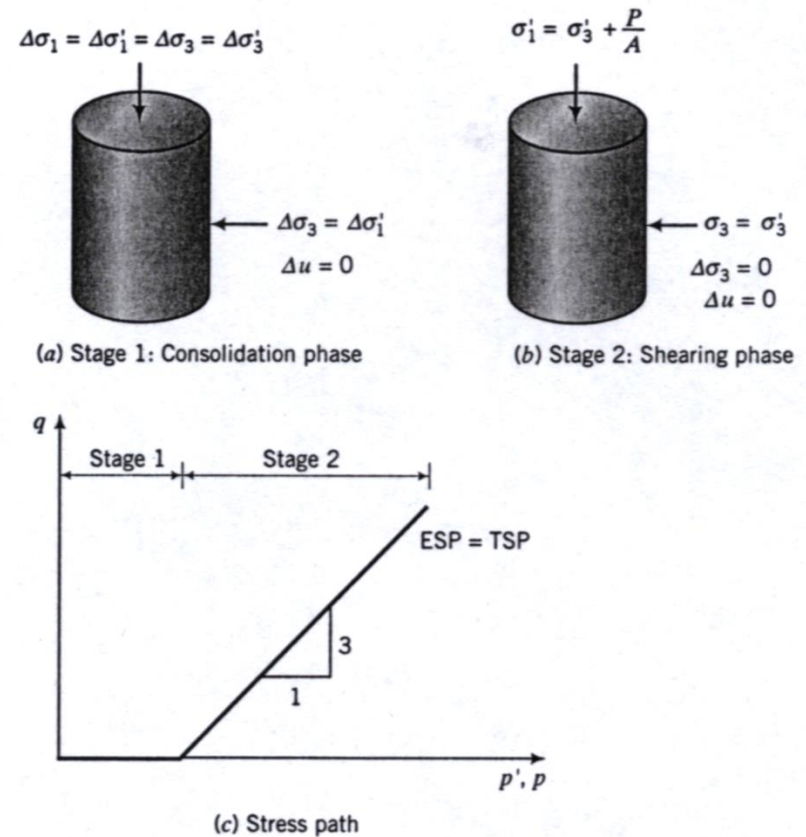




AGH

## Aparat trójosiowego ściskania

The first stage is consolidating the soil sample to drain until the excess pore water pressure dissipates. In the second stage, the pressure in the cell (cell pressure or confining pressure) is kept constant and additional axial loads or displacements are added very slowly until the soil sample fails. The displacement rate (or strain rate) used must be slow enough to allow the excess pore water pressure to dissipate

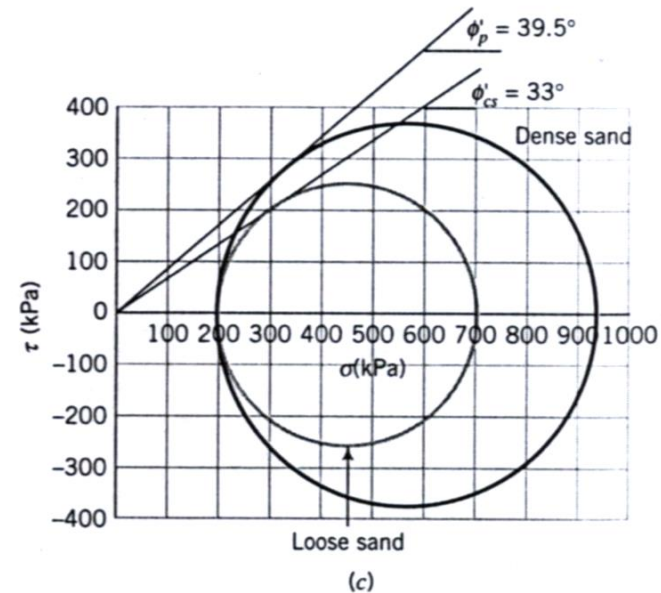
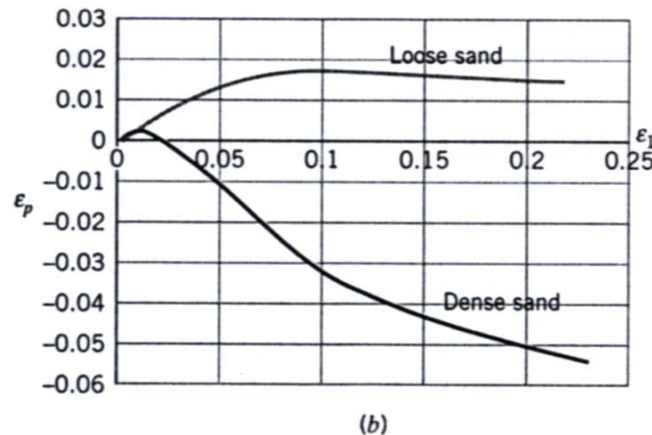
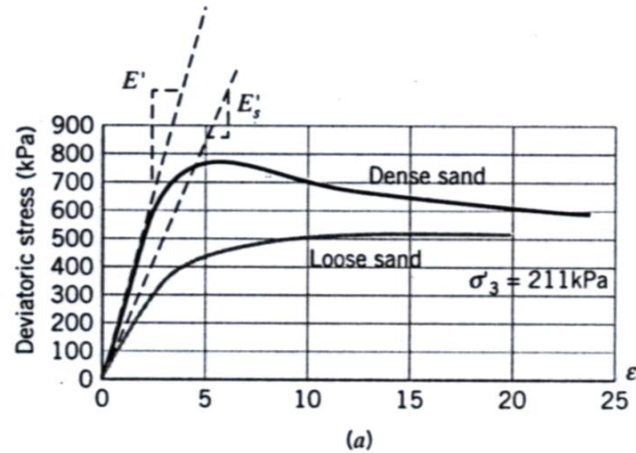




AGH

## Aparat trójosiowego ściskania

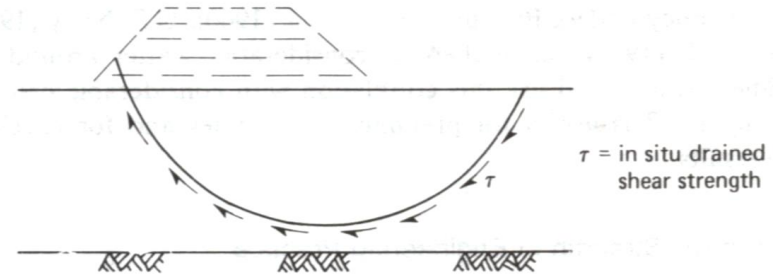
Since the CD test is a drained test, a single test can take several days if the permeability of the soil is low.



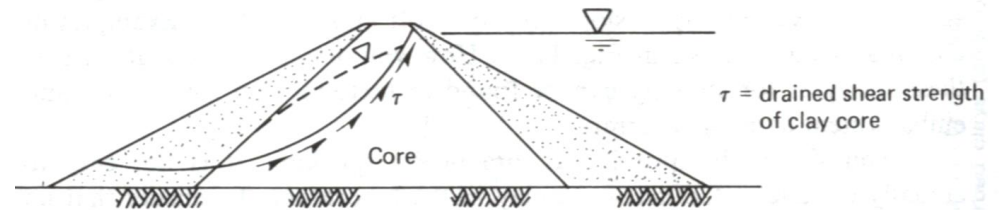
The results of CD tests are used to determine the long-term stability of slopes, foundations, retaining walls, excavation and other earthworks

# Aparat trójosiowego ściskania

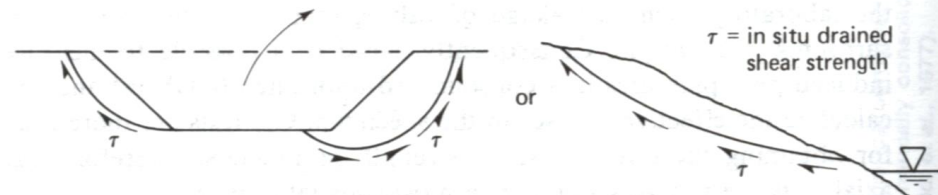
Examples of CD analyses for clays (Ladd, 1971) (from Holtz and Kovacs, 1981).



(a) Embankment constructed very slowly, in layers, over a soft clay deposit



(b) Earth dam with steady-state seepage

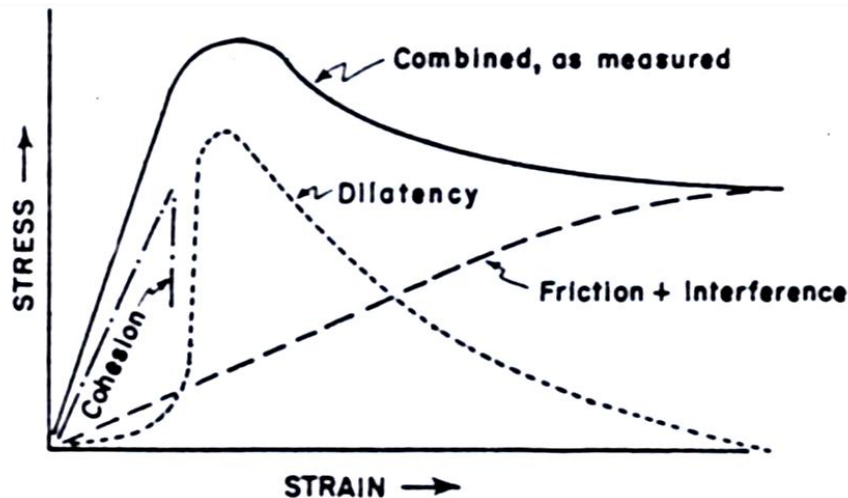


(c) Excavation or natural slope in clay

## Aparat trójosiowego ściskania

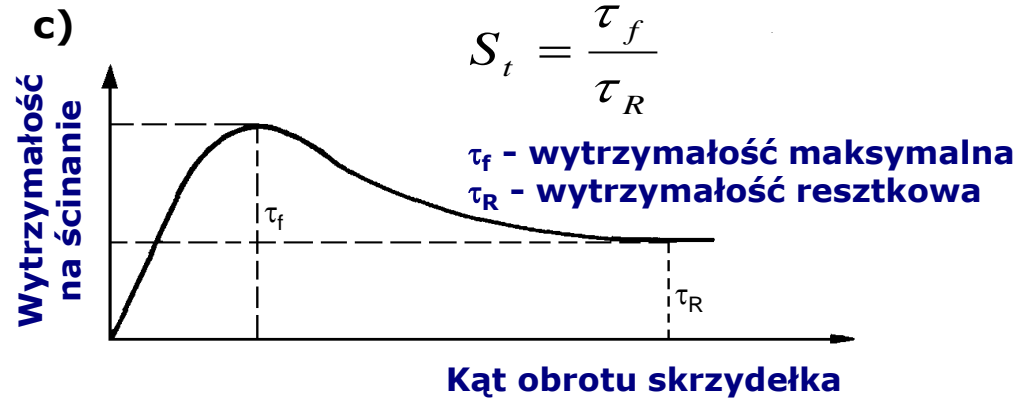
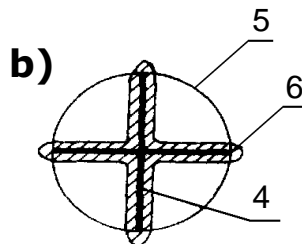
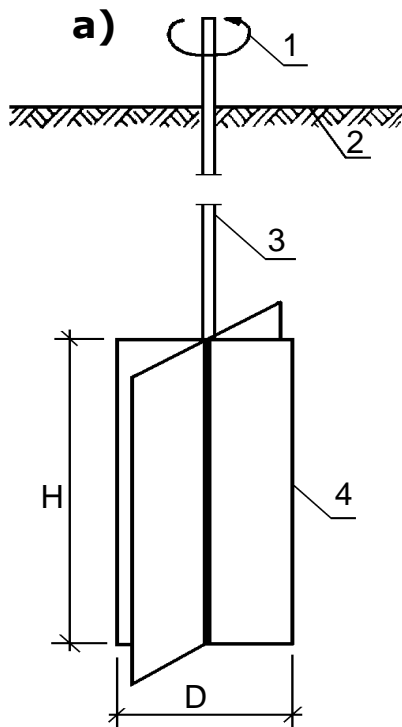
As a test for investigating the behaviour of soils the triaxial test has many advantages over the shear box test:

- Specimens are subjected to uniform stresses and strains
- The complete stress-strain behaviour can be investigated
- Drained and undrained tests can be performed
- Pore water pressures can be measured in undrained tests
- Different combinations of confining and axial stress can be applied



Zmiany parametrów wytrzymałościowych gruntu w miarę zbliżania się do zniszczenia

## Sonda skrzydełkowa



### Typowe wymiary

wg PN-74/B-04452

lab. 34 x 17 mm

polowe 80 x 40 mm

120 x 60 mm

180 x 80 mm

Schemat ścinania gruntu sondą skrzydełkową:

- a) zasada działania,
- b) przekrój skrzydełka z zaznaczeniem strefy naruszonej,
- c) wynik badania.



## Badania sondą statyczną CPT

**Badania sondą statyczną CPT** polegają na wciskaniu końcówki stożka ze stałą prędkością (2 cm/s) i wykonywaniu odczytów oporu stożka  $q_c$  i tarcia na tulei  $f_s$ . Badanie piezostožkiem **CPTU** umożliwia również pomiar ciśnienia wody w porach  $u$ , obejmujący:

- pomiar wartości in situ  $u_0$ , (które równe jest ciśnieniu hydrostatycznemu),
- nadwyżki ciśnienia wody w porach  $\Delta u$  wywołanej przez penetrację stożka, (uzależnionej od zachowania gruntu i geometrii stożka)





AGH

## Badania sondą statyczną CPT





AGH

## Badania sondą statyczną CPT

Wykorzystując wyniki badań sondą statyczną można obliczyć wartość wytrzymałości na ścinanie bez odplywu z równania (Eide, 1974):

$$\tau_{fu} = (q_T - \sigma_{vo}) / N_{KT}$$

gdzie:

$q_T = q_c + u_c(1 - a_c)$  – całkowity opór na ostrzu stożka,

$q_c$  – pomierzony opór stożka,

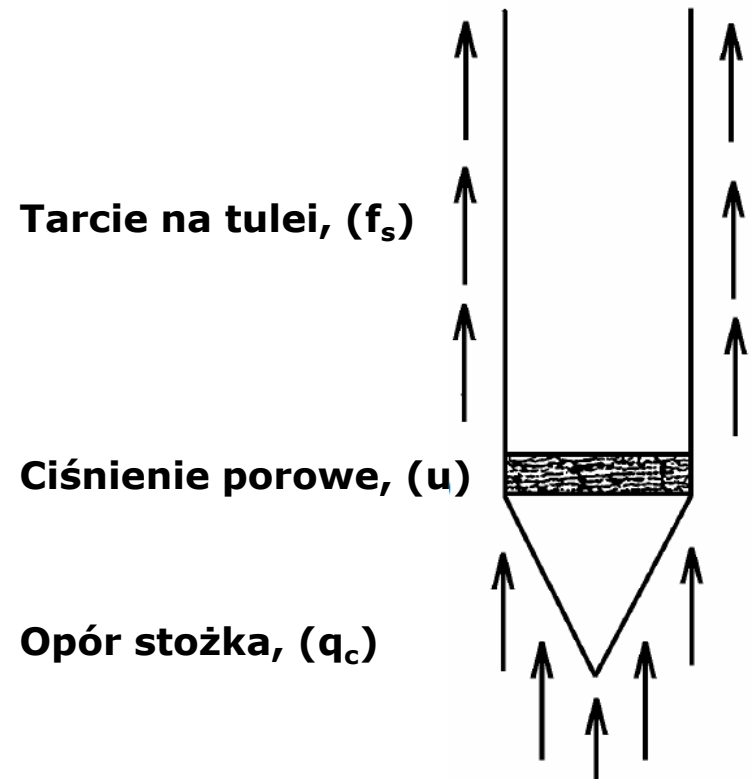
$u_c$  – ciśnienie wody w porach wokół stożka podczas penetracji,

$a_c$  – współczynnik powierzchni, stały dla określonego rodzaju stożka,

$\sigma_{vo}$  – całkowite pionowe naprężenie od nadkładu *in situ*,

$N_{KT}$  – empiryczny współczynnik stożka, w odniesieniu do  $q_T$

### Schemat piezostożka

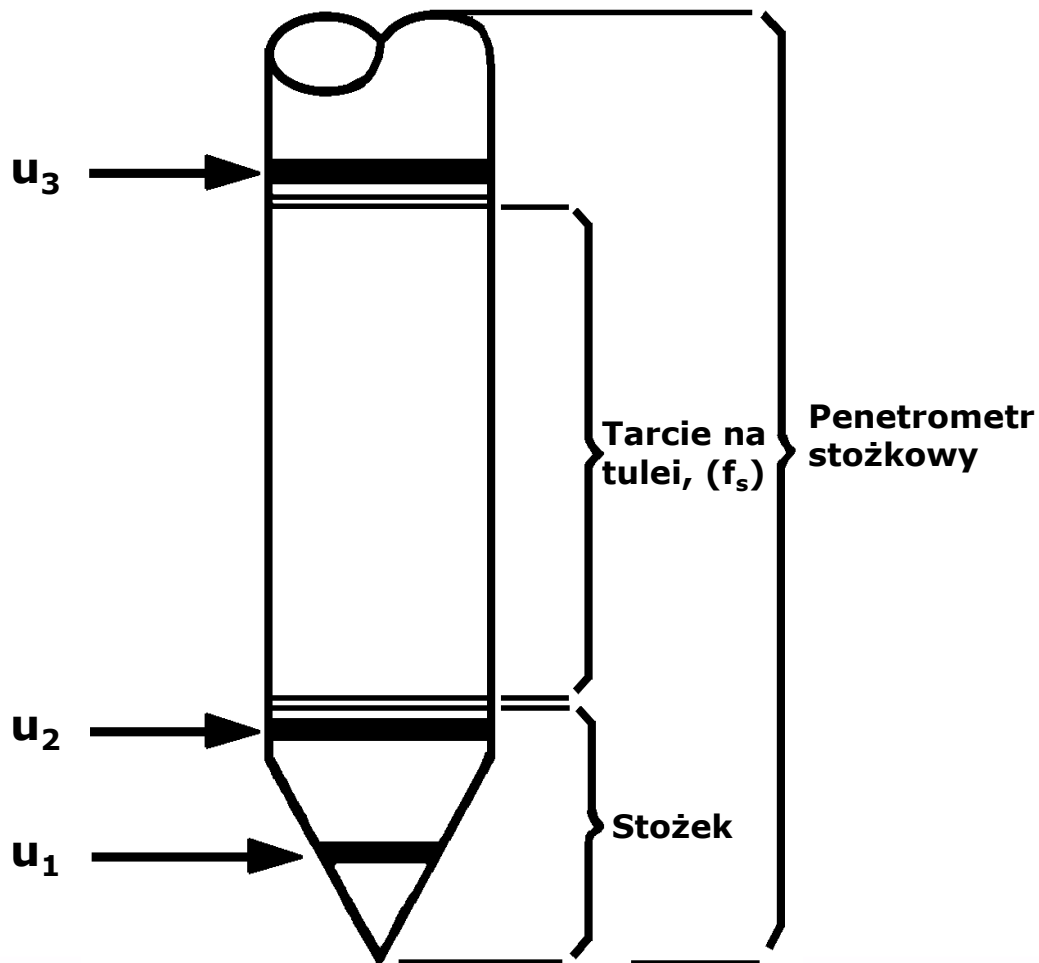




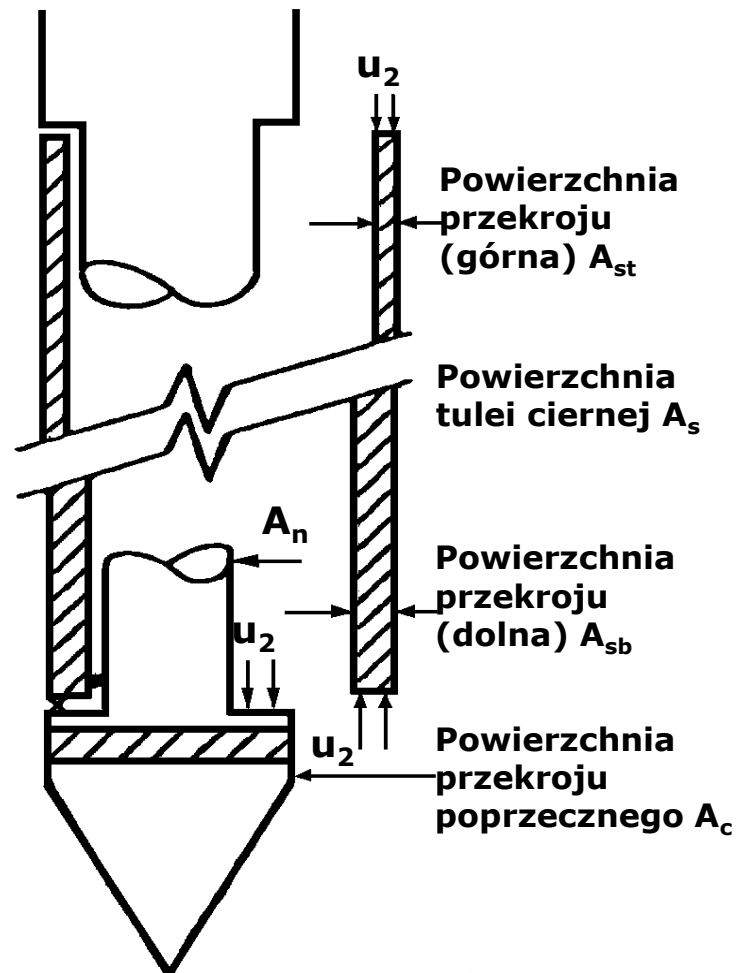
AGH

# Badania sondą statyczną CPT

## Lokalizacja filtrów do pomiaru ciśnienia porowego



## Schemat korekty oporu stożka i tarcia na tulei



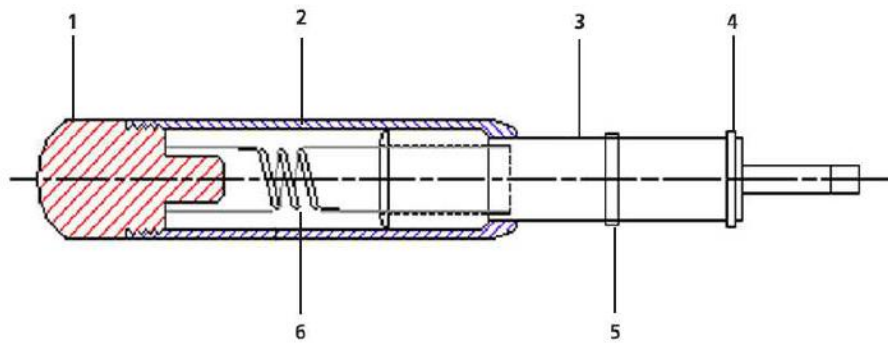


AGH

# Penetrometr tłoczkowy



Pocket Penetrometer



Undrained compressive strength read directly from scale at prescribed penetration

Prescribed penetration into cohesive soil sample

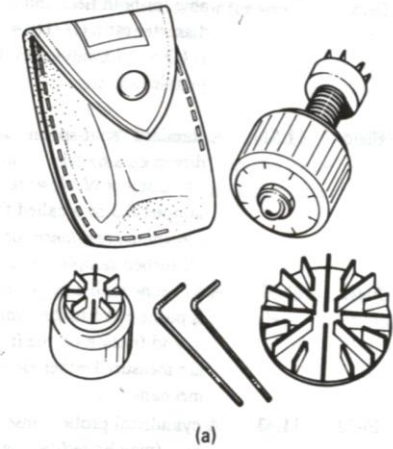
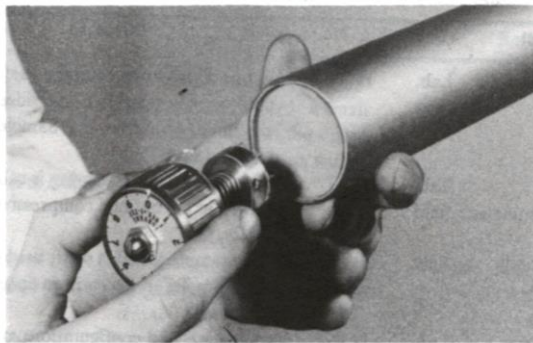
Pocket penetrometer (PP), a hand-held device which indicates unconfined compressive strength (photograph courtesy of Soiltest, Inc., Evanston, Illinois).



# Sonda skrzydełkowa



Shearvane (or Torvane)



(a)

Diameter (mm)	Height of vanes (mm)	Maximum $\tau_s$ (kPa)
19	3	250
25	5	100 (standard)
48	5	20

(b)

Fig. 11.46 Torvane (TV): (a) Standard model shown on its side. The other two vanes, which can be attached to the standard Torvane, are for very soft or very stiff clays. (b) Specifications for the three vanes. (Photograph courtesy of Soiltest, Inc., Evanston, Illinois.)

- **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.**