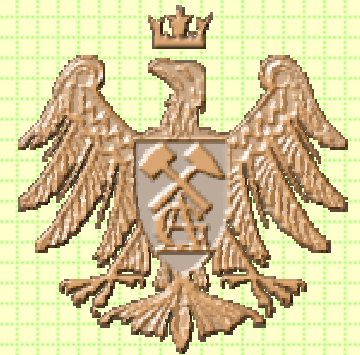


Wytrzymałość gruntu na ściananie

Shear strength of soils



Shear strength of soils



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.

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**

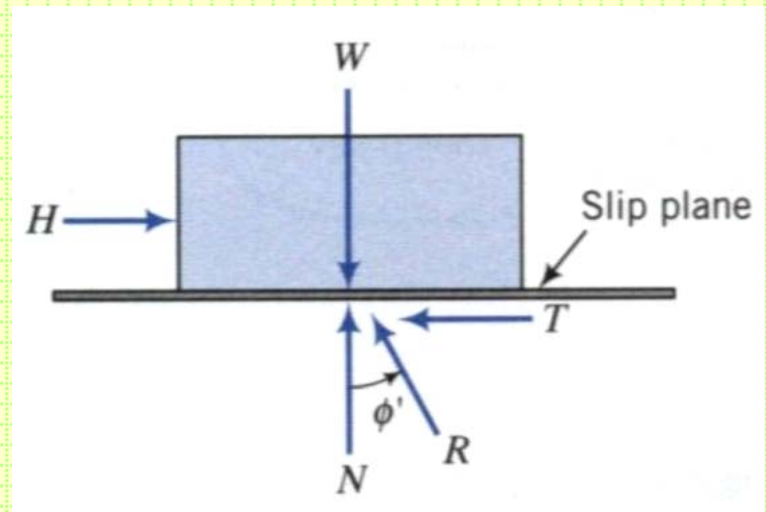
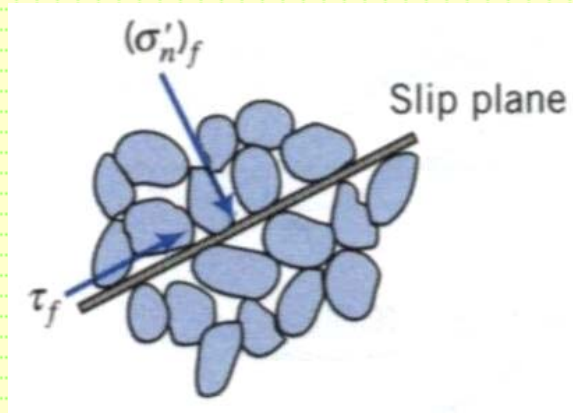


Shear strength of soils

Frictional strength is similar to classic sliding friction from basic physics. Instead using coefficient of friction μ , geotechnical engineers prefer to describe frictional strength using the *effective friction angle* (or *effective angle of internal friction*):

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

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



Coulomb's law requires the existence or the development of a critical sliding plane, also called slip plane or failure plane (e.g. the interface between the block and the table).

However, we do not know where the sliding plane is located for soils.

The maximum frictional resistance is T (maximum static friction).

As $H > T$, the slip is initiated.

$$H = \mu W \quad T = \mu N$$

Shear strength of soils

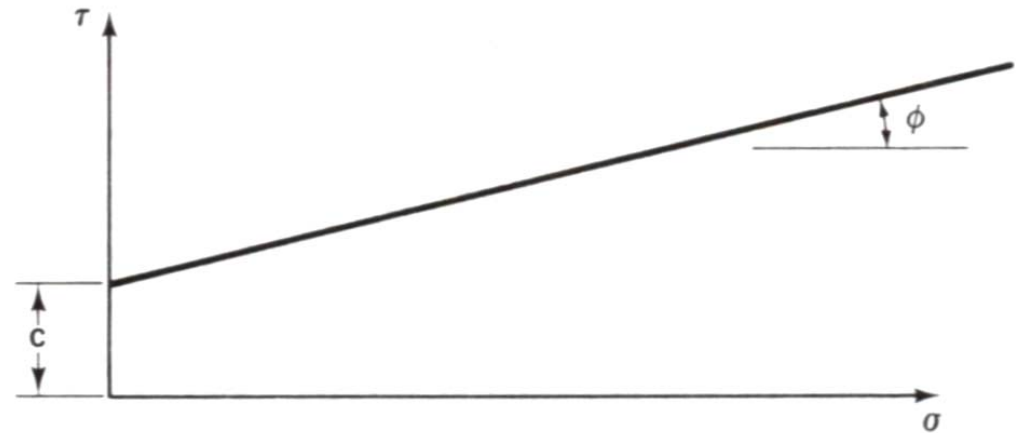
- W przypadku ścinania gruntów mamy do czynienia z oporem tarcia suwnego i obrotowego, gdyż przy poślizgu strefowym jednej warstwy gruntu po drugiej występuje opór nie tylko w powierzchniach poślizgu, lecz i opór wynikający z obrotu ziaren w stosunku do ziaren sąsiednich.
- Opór gruntu powstały na skutek 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.
- Kąt tarcia zależy od wymiaru ziaren i ich kształtu oraz stopnia zagęszczenia gruntu. Im grubsze są ziarna tym szersza jest strefa ogarnięta tarcie 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.

Shear strength of soils

Some soils have the shear strength even when the effective stress is 0 or at least appears to be 0. This strength is called *cohesive strength* and we describe it using the variable c' – the *effective cohesion*. **Frictional and cohesive strength:**

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

True cohesion is shear strength that is truly the result of **bonding between the soil particles**. This bonding **includes cementation, electrostatic and electromagnetic attractions and primary valence bonding (adhesion)**. Apparent cohesion is shear strength that appears to be caused by **bonding between the soil particles**, but is really frictional strength in disguise. Sources of apparent cohesion include **negative pore water pressure, negative pore water pressure due to dilation, excess pore water pressure or the apparent mechanical forces**.



Shear strength of soils

- 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 iłowych mają spójność bliską zeru. W miarę wzrostu zawartości cząstek iłowych 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.

Shear strength of soils

Kohezja i kąt tarcia wewnętrznego wybranych gruntów sypkich

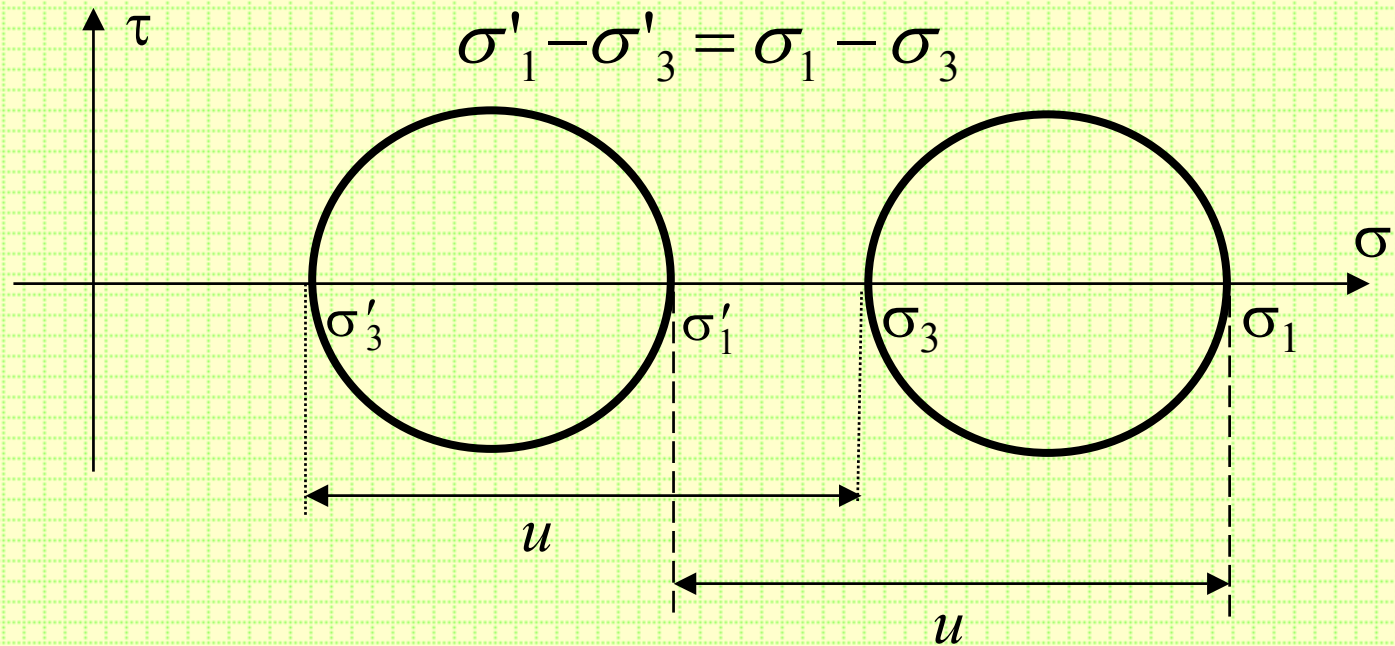
Grunt	Cecha	Stan gruntu		
		zagęszczony	Średnio zagęszczony	luźny
Żwiry i pospółki	c'	0-1	0	0
	ϕ'	42-40	37-40	36-37
Piaski grube i średnie	c'	1-2	0-1	0
	ϕ'	37-39	34-37	34-35
Piaski drobne i pylaste	c'	2-3	2-1	1-0
	ϕ'	33-36	31-33	30-31
Piaski próchniczne	c'	3-4	3-2	2-1
	ϕ'	32-39	27-29	26-27

Shear strength of soils

Kohezja i kąt tarcia wewnętrznego wybranych gruntów spoistych

Grunt	Cecha	Stan gruntu		
		Twardo-plastyczny	plastyczny	Mięko-plastyczny
P_g, π_p, π	c'	20-28	12-20	6-12
	ϕ'	20-25	16-20	11-16
G_p, G, G_π	c'	26-37	18-26	11-18
	ϕ'	16-21	12-16	7-12
$G_{pz}, G_z, G_{\pi z}$	c'	35-47	26-35	17-26
	ϕ'	13-17	9-13	5-9
I_p, I, I_π	c'	45-60	35-45	26-35
	ϕ'	10-13	6-10	3-6

Shear strength of soils



Soil behaviour is controlled by **effective stresses**, and the **effective strength parameters are the fundamental strength parameters**. But they are not necessarily soil constants.

Dla każdego stanu naprężenia w elemencie gruntu można narysować koło Mohra zarówno dla naprężeń całkowitych jak i naprężeń efektywnych. Oba koła są przesunięte poziomo o wartość ciśnienia wody w porach u .

Shear strength of soils

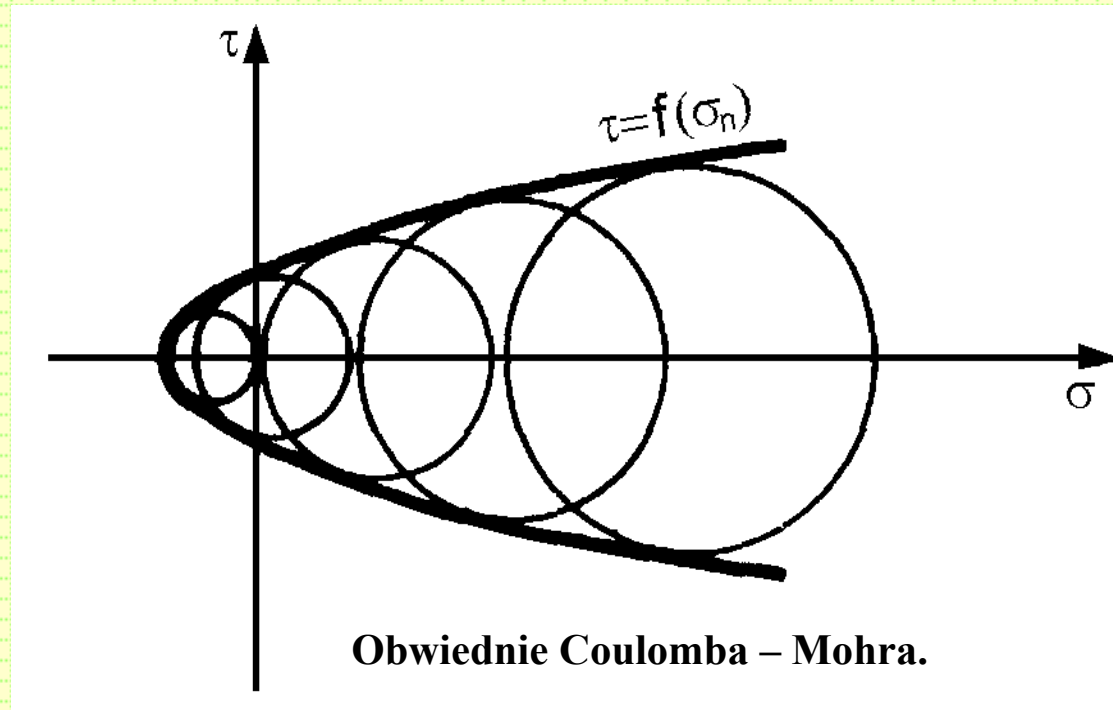
Wytrzymałością gruntu na ścinanie nazywany jest odniesiony do jednostki powierzchni granicznej opór opisywany **naprężeniem stycznym** jaki ośrodek gruntowy stawia siłom przesuającym. Warunek granicznej wartości największego naprężenia stycznego można przedstawić wykreślnie jako obwiednię do kół *Mohra* podających stan naprężenia dla różnych wartości naprężeń głównych σ_1, σ_3

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

Najczęściej przyjmuje się zależność liniową między naprężeniem normalnym i stycznym zgodnie z warunkiem

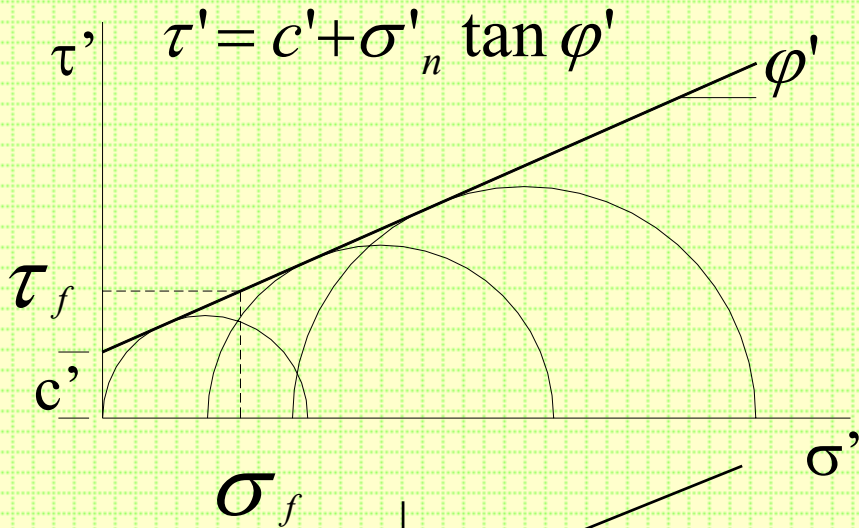
Coulomba (1772):

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



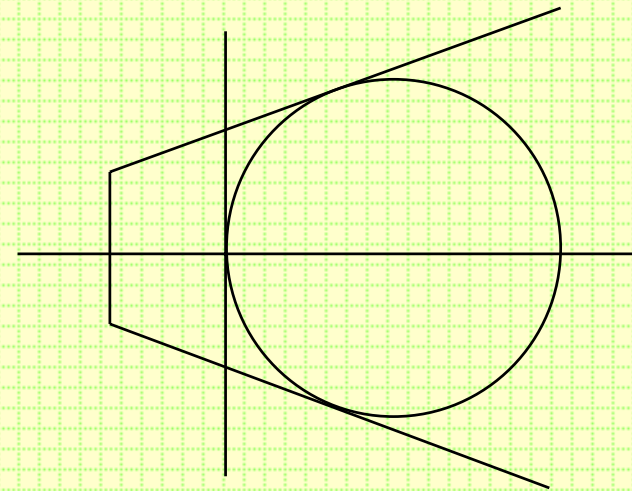
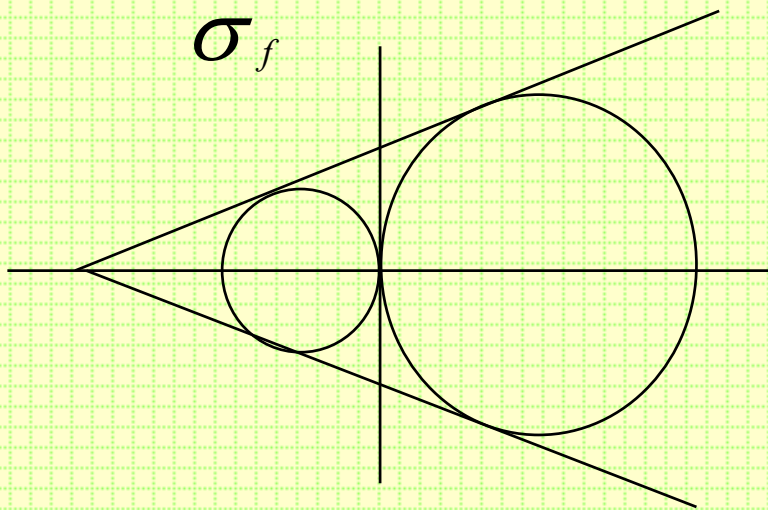
Obwiednie Coulomba – Mohra.

Shear strength of soils



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

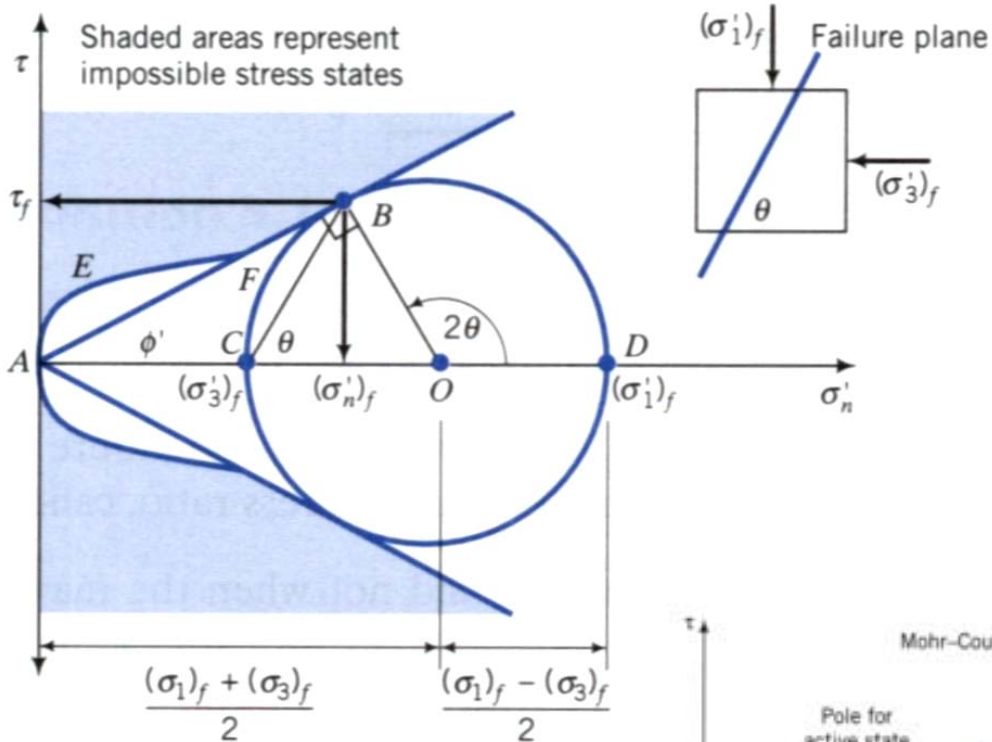
$$\sigma_f = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \sin \varphi'$$



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

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

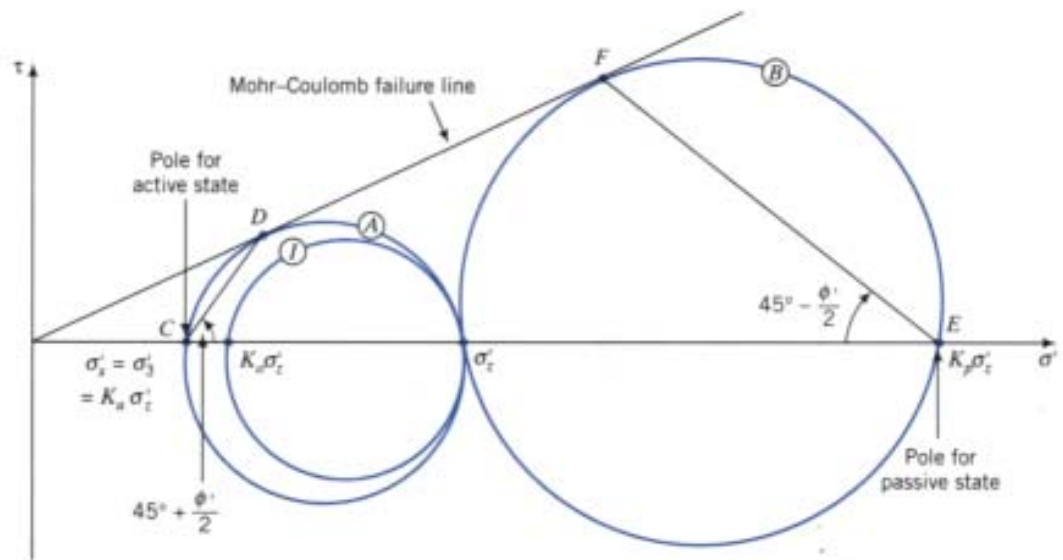
Shear strength of soils



Geometryczne interpretacje
warunku zniszczenia
Coulomba-Mohra:

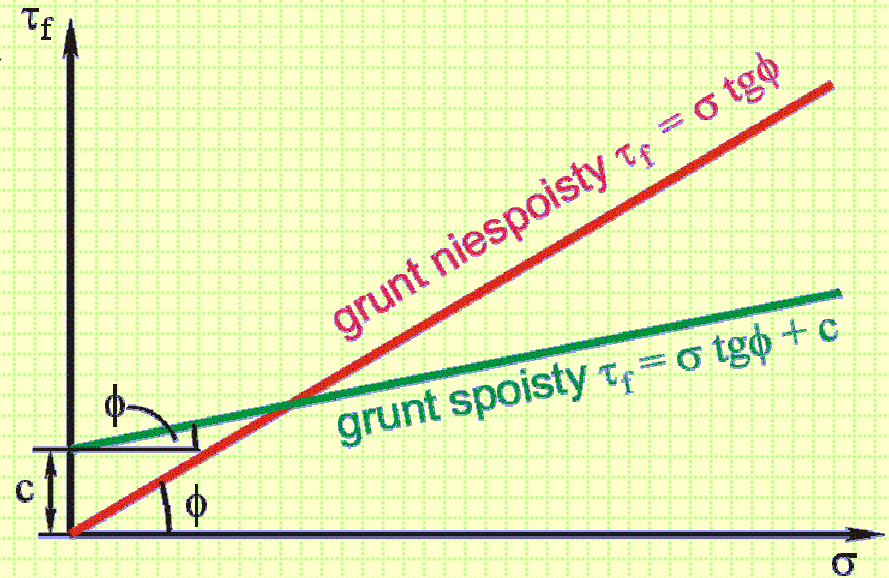
$$\sin \varphi = \frac{\frac{1}{2}(\sigma_{1f} - \sigma_{3f})}{c \cot \varphi + \frac{1}{2}(\sigma_{1f} - \sigma_{3f})}$$

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



Shear strength of soils

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.

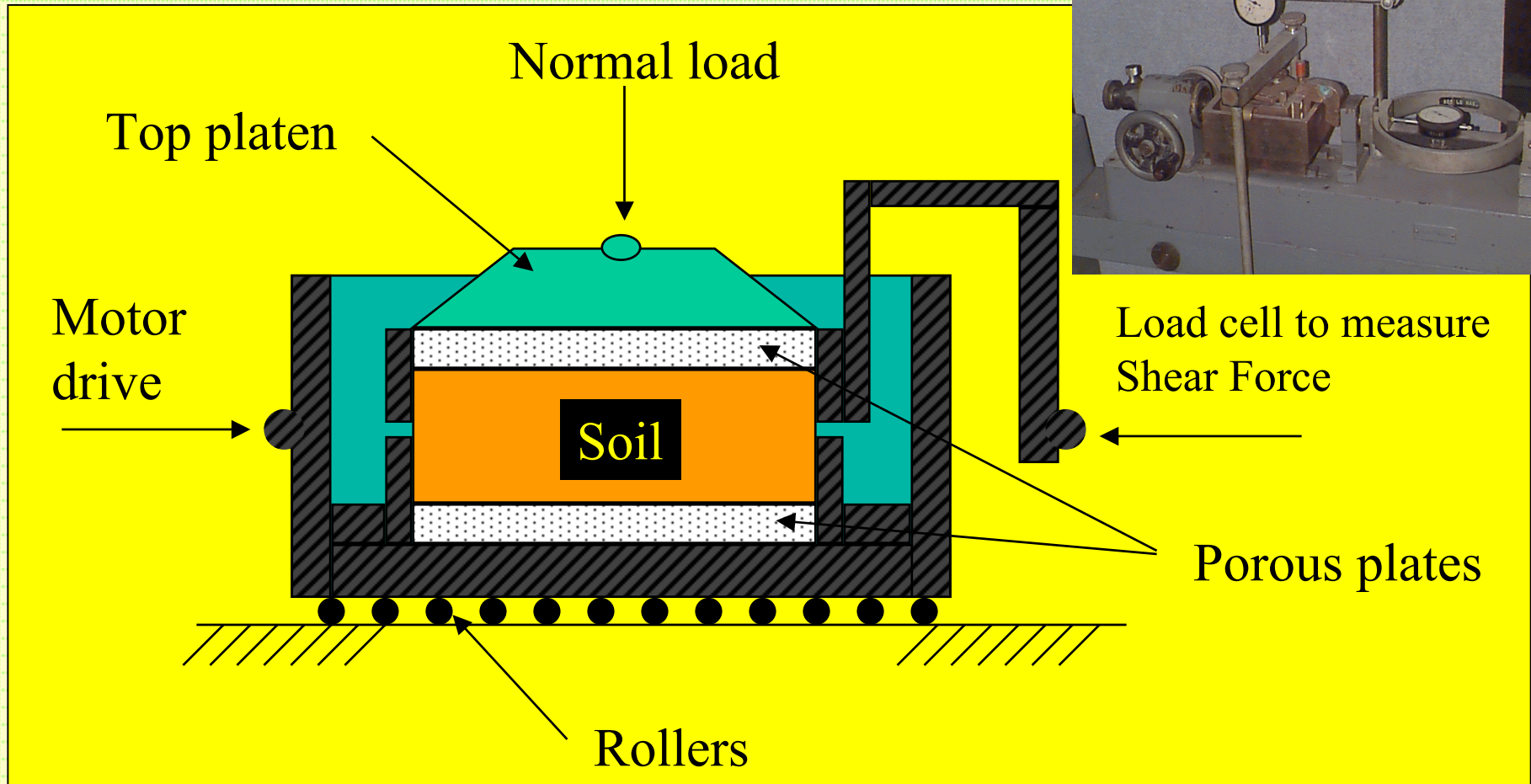


Spójność gruntu (**kohezja**) jest to opór gruntu stawiany siłom zewnętrznym wywołany wzajemnym przyciąganiem się cząstek składowych gruntu. Występuje w gruntach spoistych. Zależy od średnicy ziaren, wilgotności, genezy i składu mineralnego.

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

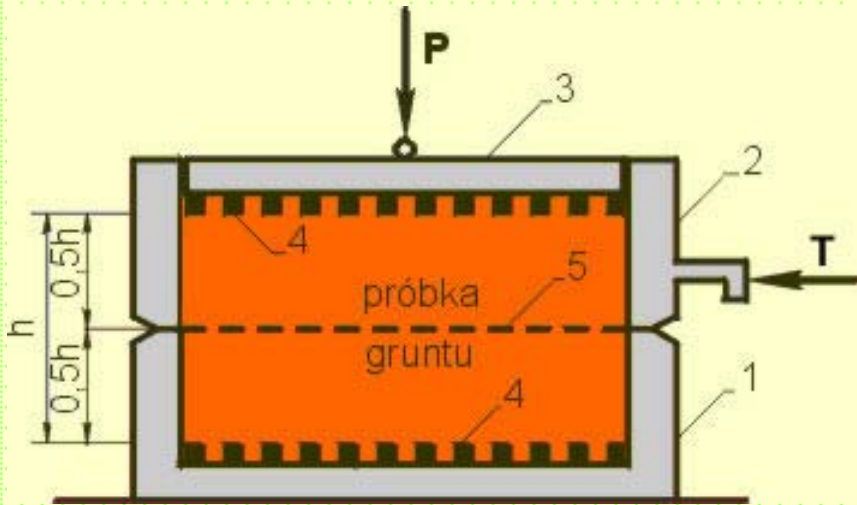
Shear strength of soils

Shear Box Test



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

Shear strength of soils



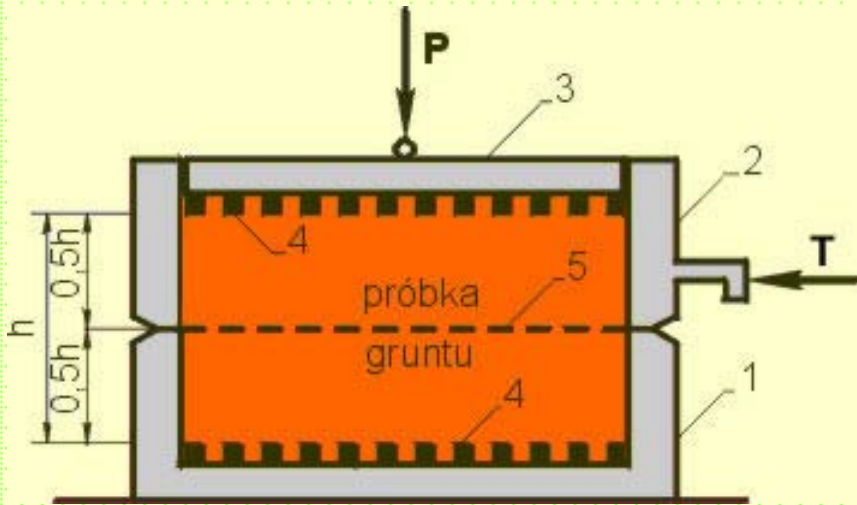
Schemat skrzynki aparatu bezpośredniego ścinania

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

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 oporowe.

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.

Shear strength of soils



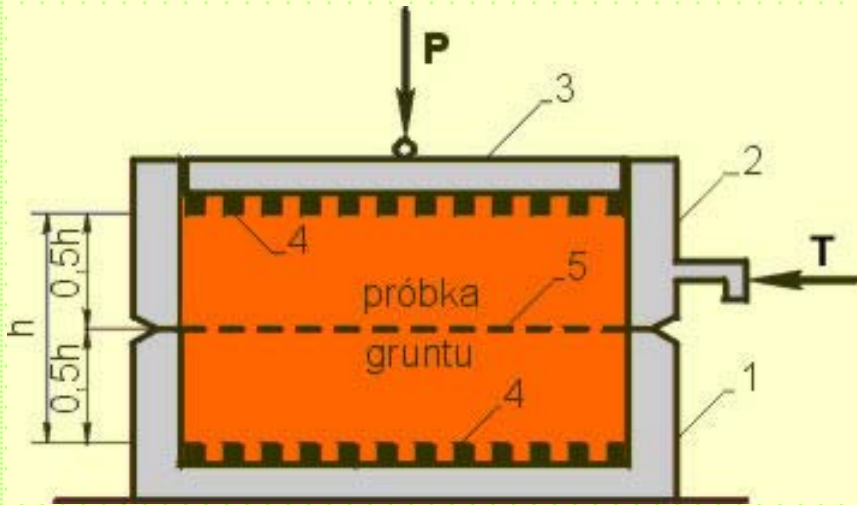
Schemat skrzynki aparatu bezpośredniego ścinania

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:

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

Shear strength of soils



Schemat skrzynki aparatu bezpośredniego ścinania

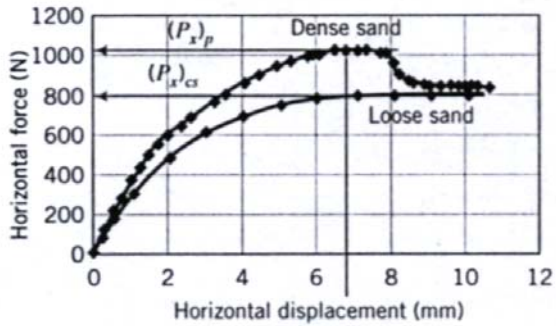
1 - skrzynka dolna, 2 - skrzynka górna, 3 - pokrywa, 4 - filtry o ząbkowanej powierzchni, 5 - wymuszona płaszczyzna ścięcia

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

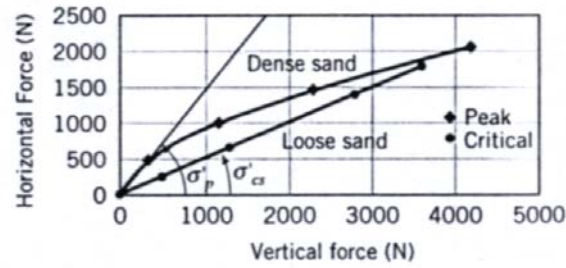
$$\tau = \frac{T}{A}$$

W aparacie bezpośredniego ścinania bada się próbki o nienaruszonej 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.

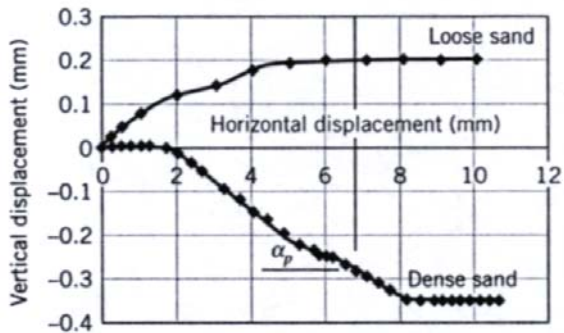
Shear strength of soils



(a)

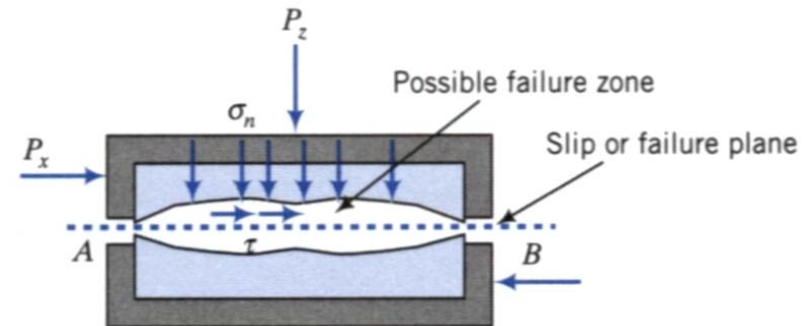


(c)



(b)

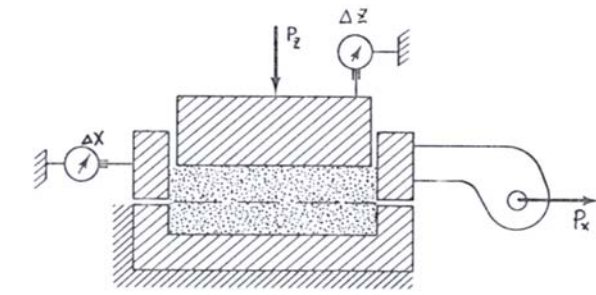
Wyniki próby
ściania gruntu



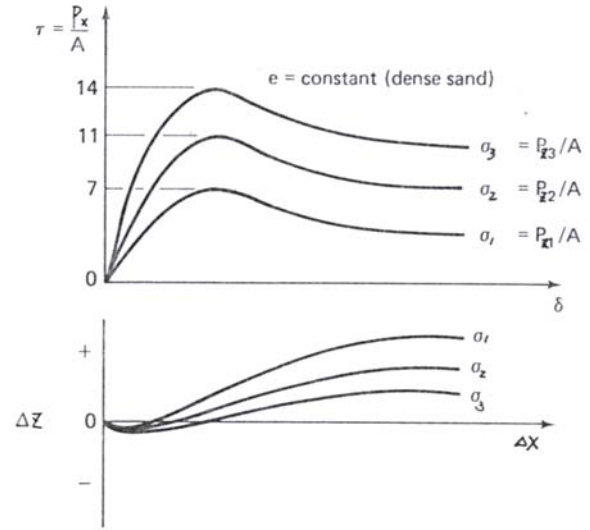
Shear strength of soils

Wady próby bezpośredniego ścinania:

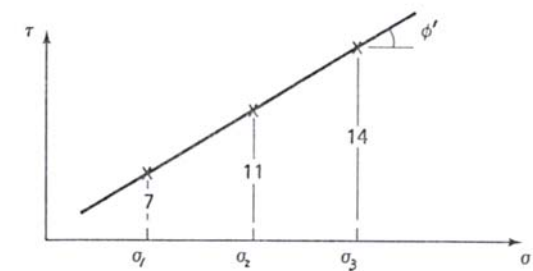
- Wymuszona powierzchnia poślizgu, która nie musi się pokrywać z najślabszą powierzchnią
- Nie ma możliwości pomiaru ciśnienia porowego, czyli nie jesteśmy w stanie określić efektywnych parametrów gruntu
- Niejednorodny stan naprężenia i odkształcenia w próbce
- W praktyce test bezpośredniego ścinania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



(a) Apparatus



(b) Test results



(c) Mohr diagram

Shear strength of soils

Przykład liczbowy 1

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

$$\tau_{\max} = c \cdot A + N \cdot \tan \varphi = 0 + 31.8 \cdot \tan 25^\circ = 14.829 \text{ kPa}$$

Przykład liczbowy 2

W aparacie skrzynkowym o przekroju 0.1 m x 0.1 m, ścięto trzy próbki tego samego gruntu przy obciążeniu pionowym 0.5 kN, 1.5 kN i 2.5 kN. Zmierzono siły ścinające o wartościach 0.48 kN, 0.95 kN i 1.18 kN. Wyznaczyć kohezję i kąt tarcia wewnętrznego.

Numer próbki	Obciążenie pionowe, kN	σ , kPa	Siła ścinająca, kN	τ , kPa
1	0.5	50	0.48	48
2	1.5	150	0.96	96
3	2.5	250	1.18	118

Shear strength of soils

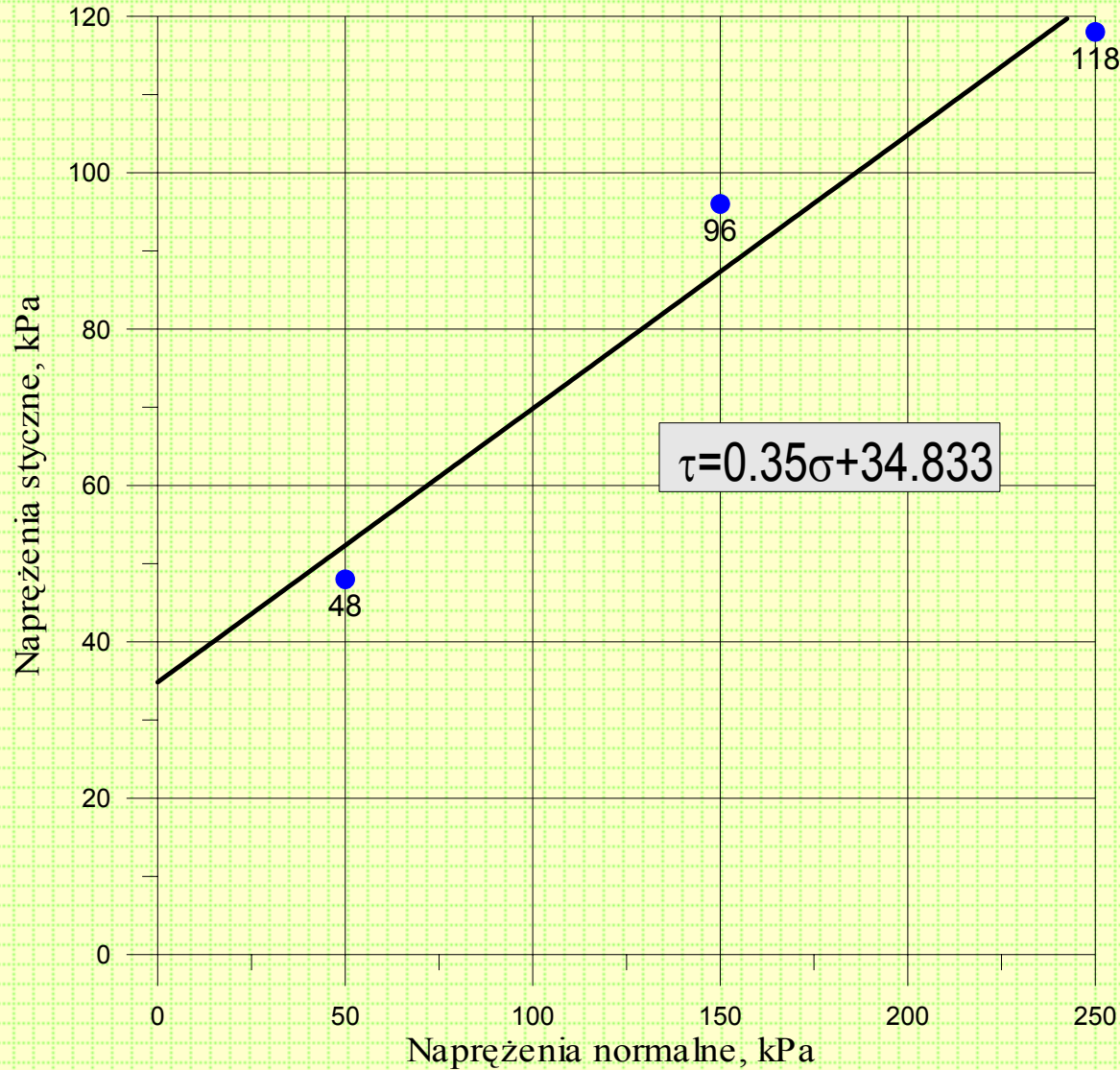
Przykład liczbowy 2 – cd.

Obliczone wartości naprężeń stycznych i normalnych naniesiono na wykres uzyskując trzy punkty. Następnie dobrano dla nich prostą regresji metodą najmniejszych kwadratów. Uzyskano równanie prostej w postaci:

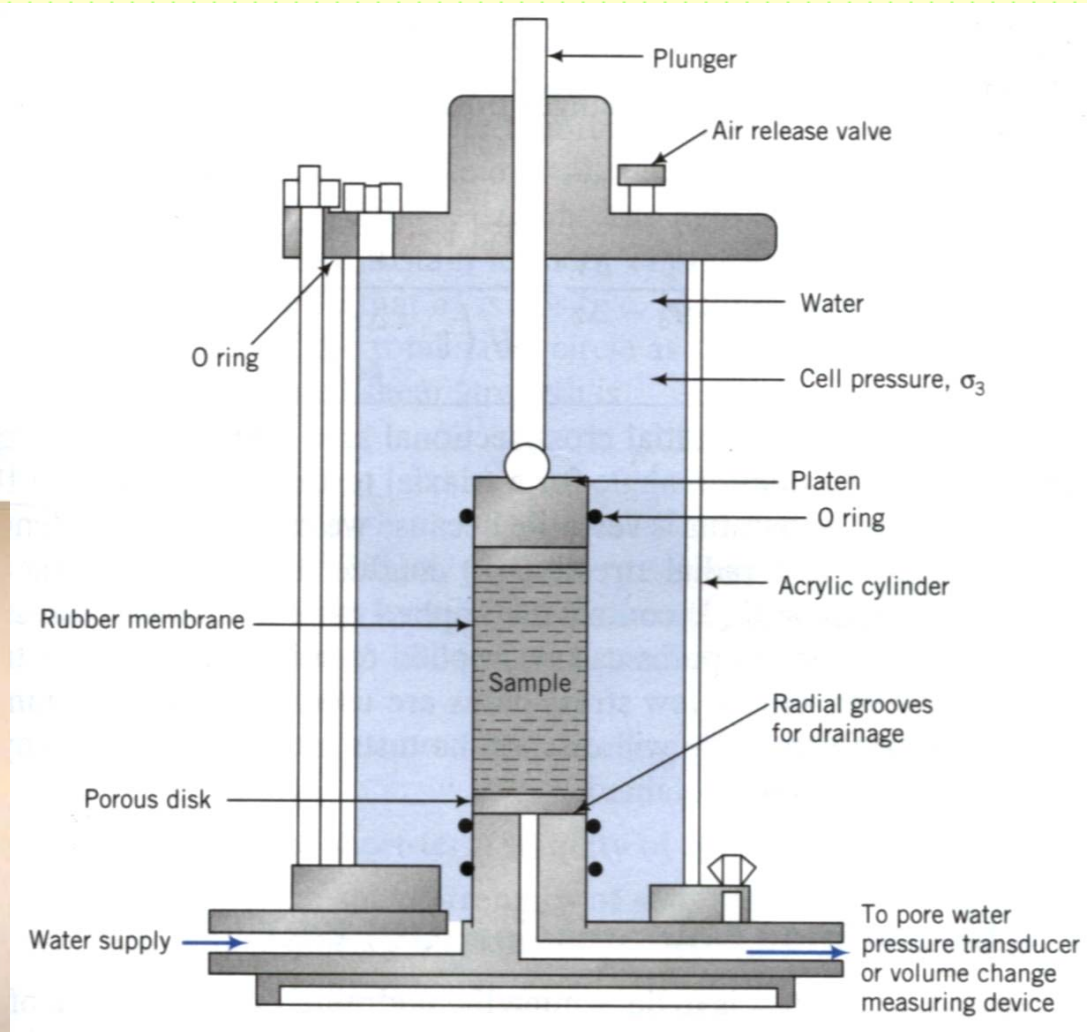
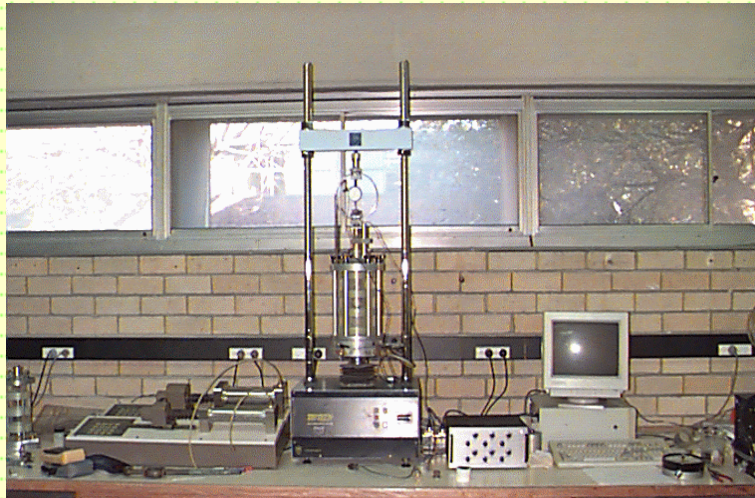
$$\tau_{\max} = 0.35\sigma + 34.833$$

Kohezja gruntu jest więc równa 34.83 kPa, zaś kąt tarcia wewnętrznego:

$$\varphi = \arctan 0.35 = 19.29^\circ$$

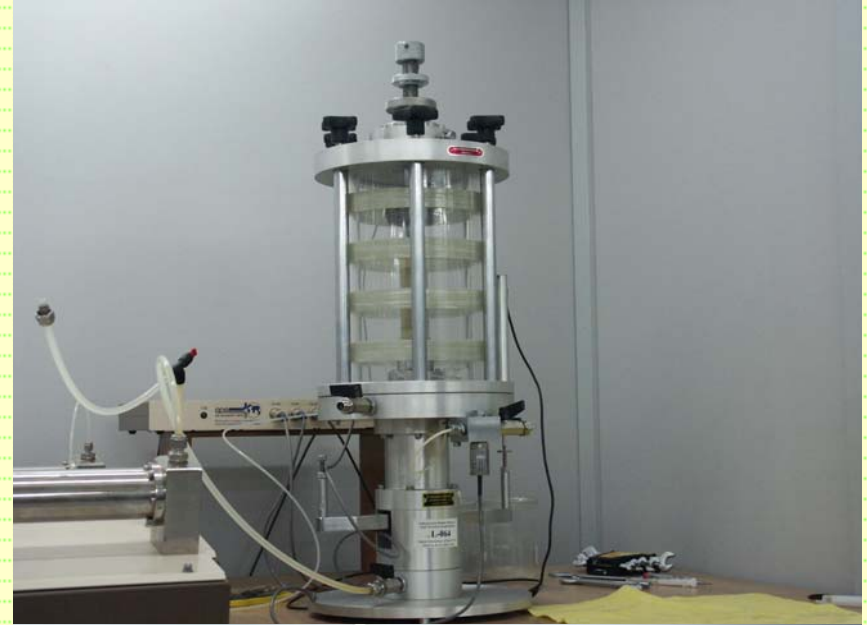
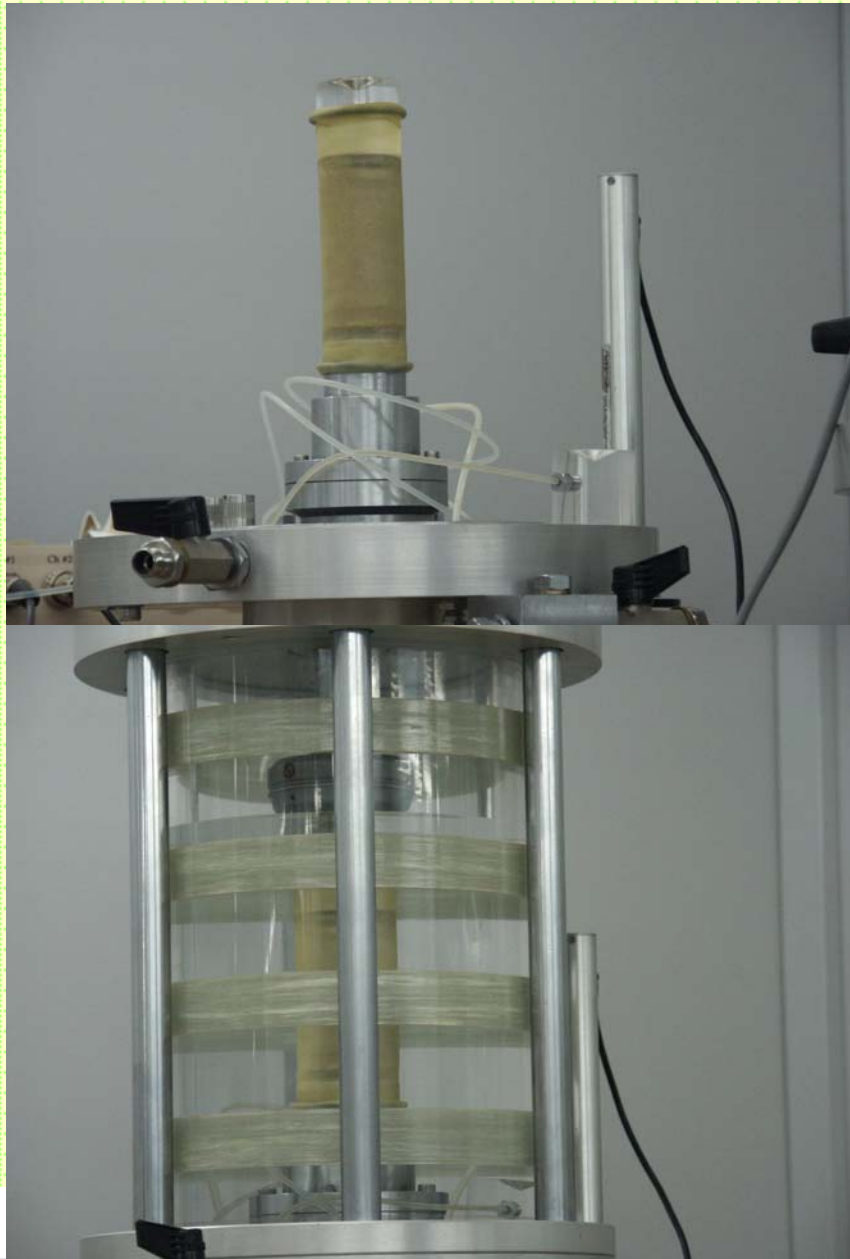


Shear strength of soils



**Próba
trójosiowego
ściskania**

Shear strength of soils



Shear strength of soils

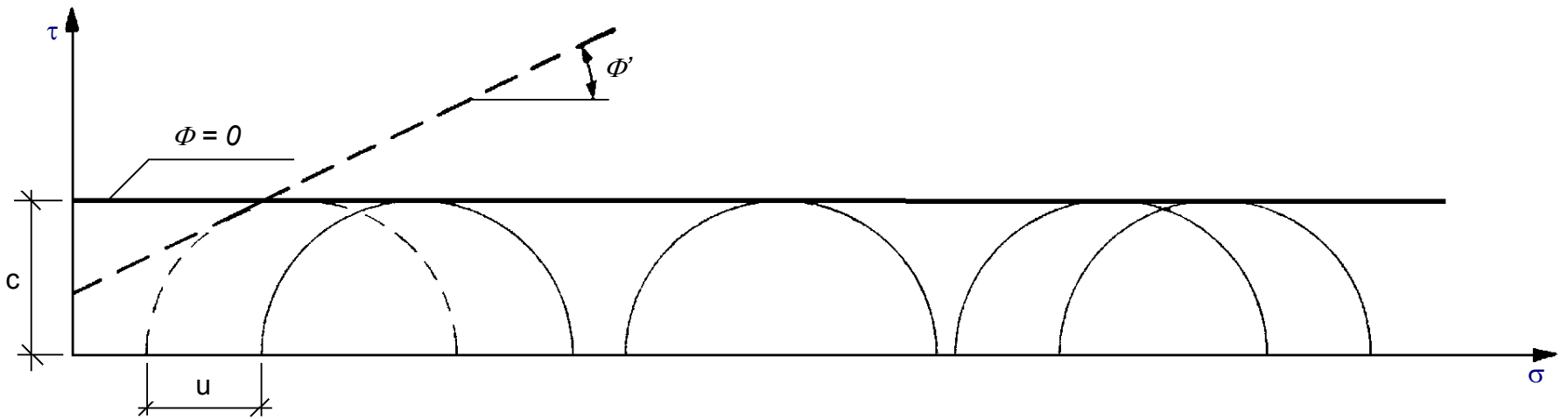
Badania w aparacie trójosiowym przeprowadza się według jednego z trzech niżej podanych sposobów, różniących się odciążeniem i odwadnianiem próbki:

- **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 σ_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.



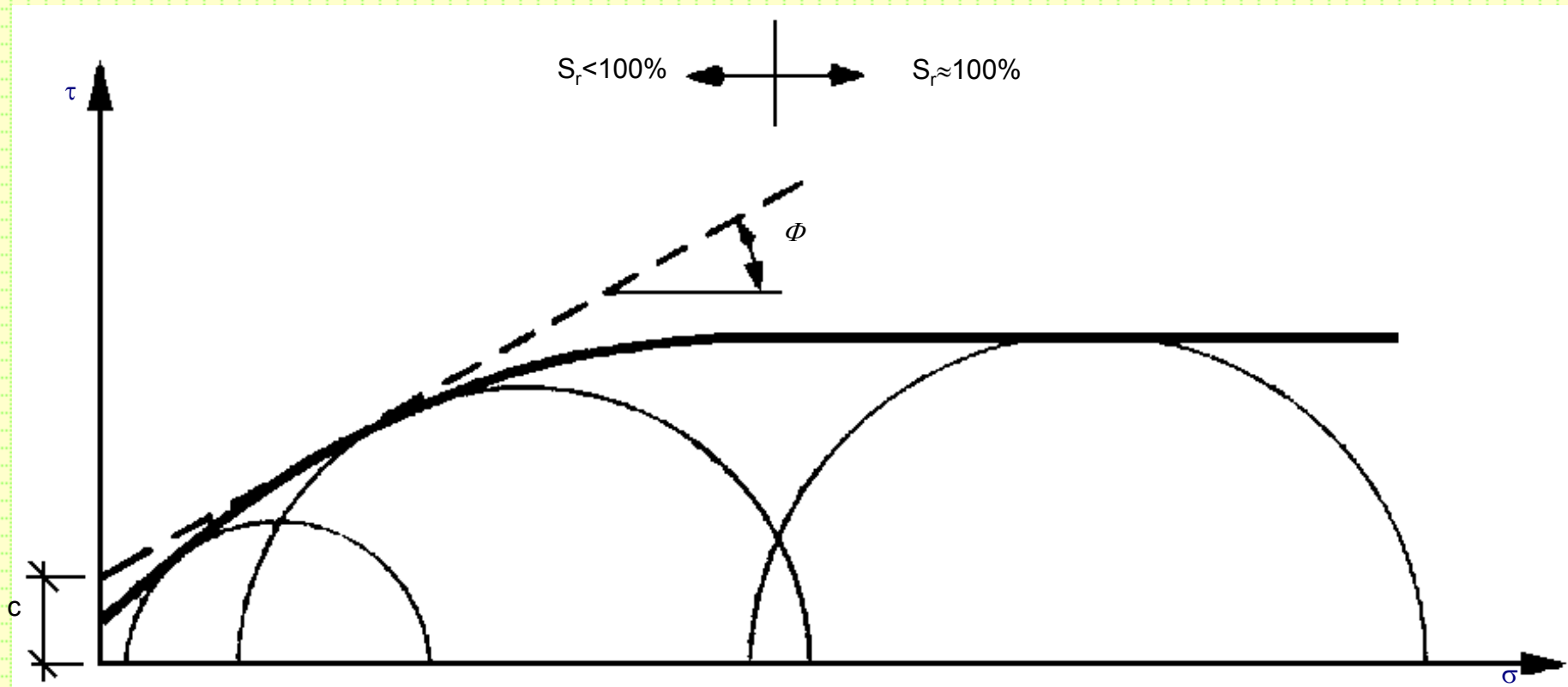
Shear strength of soils

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.



Obwiednie zniszczenia z badań UU gruntów spoistych całkowicie nasyconych ($S_r = 1$).

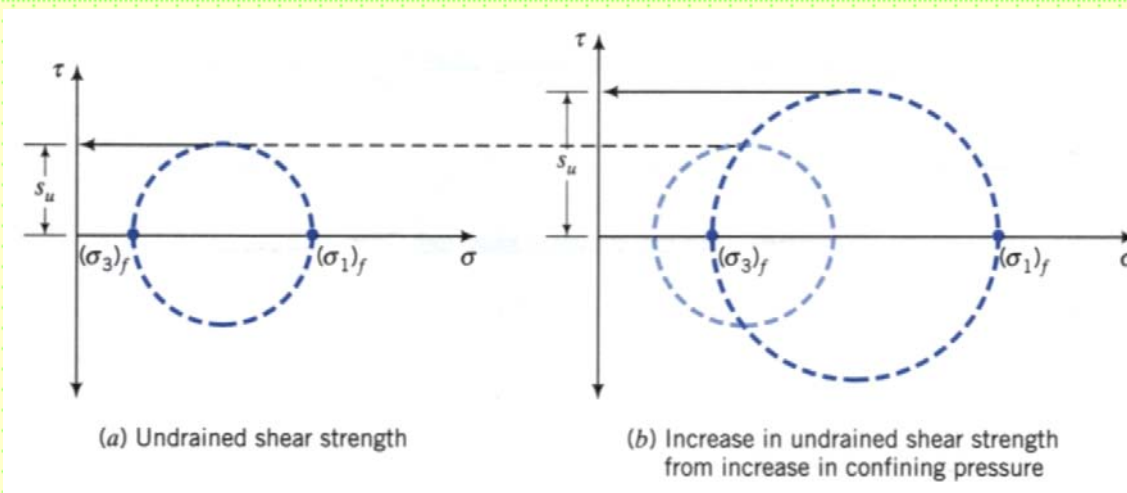
Shear strength of soils



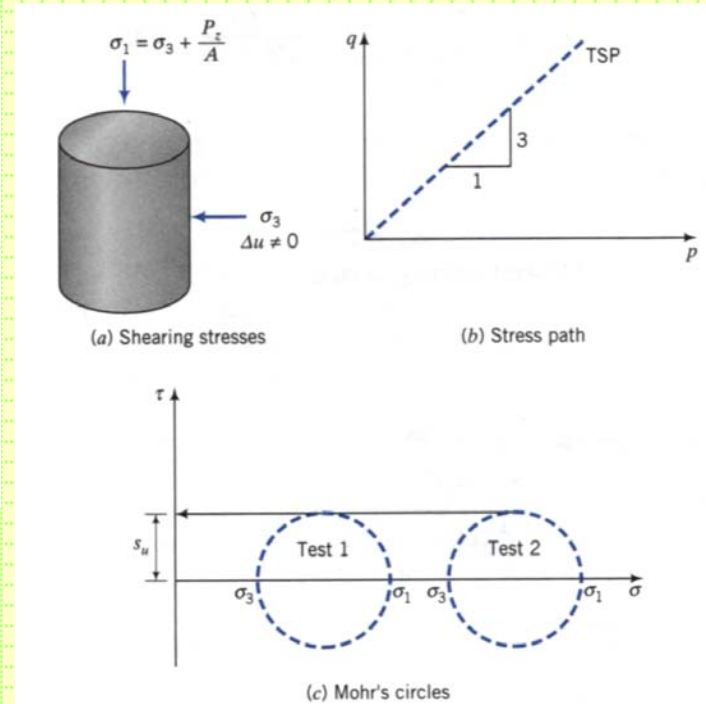
Obwiednia zniszczenia z badań UU gruntów spoistych o niepełnym nasyceniu.

Shear strength of soils

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.



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



Shear strength of soils

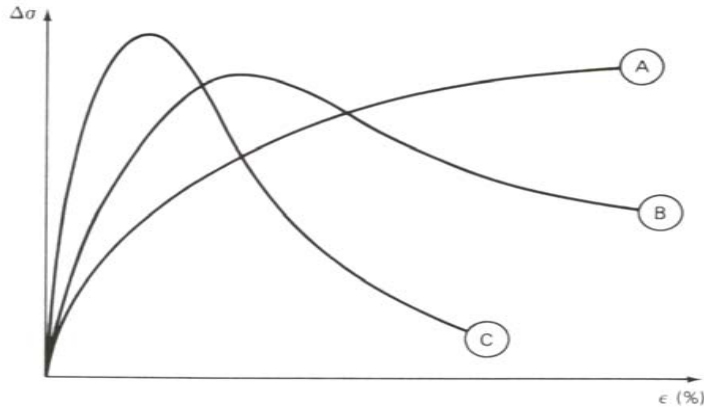
The shear strength under undrained loading depends only on the initial void ratio or the initial water content. An increase in initial normal stress, sometimes called confining pressure, cause a decrease in initial and larger change in excess pore water pressure when a soil is sheared under undrained condition. The result is that the Mohr's circle of total stress expands and the undrained shear strength increases.

- The specimen must be 100% saturated; otherwise compression of the air in the voids will occur and cause a decrease in void ratio and an increase in strength
- The specimen must not contain any fissures, silt seams, varves, or other defects; this means that the specimen must be intact, homogeneous clay. Rarely are overconsolidated clays intact, and often even normally consolidated clays have some fissures
- The specimen must be sheared rapidly to failure; it is a total stress and the condition must be undrained throughout the test. **If the time to failure is too long, evaporation and surface drying will increase the confining pressure and too high a strength will result.** Typical time to failure is 5 to 15 min.

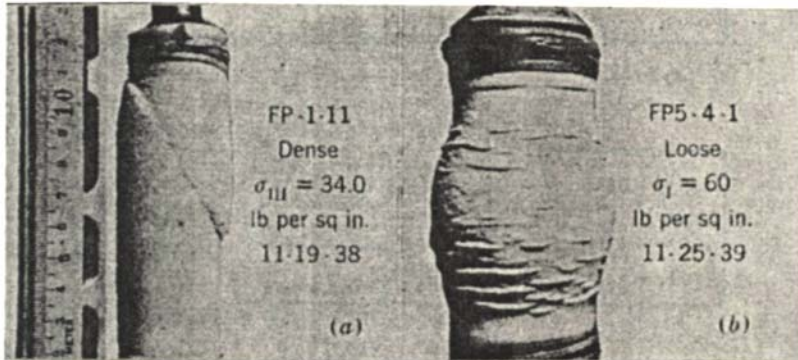


Shear strength of soils

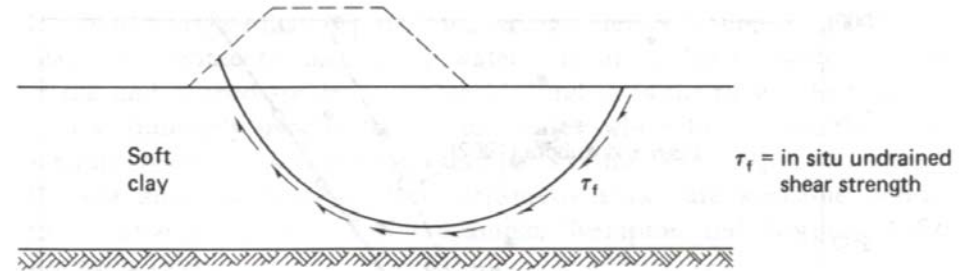
Typical UU stress-strain curves



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



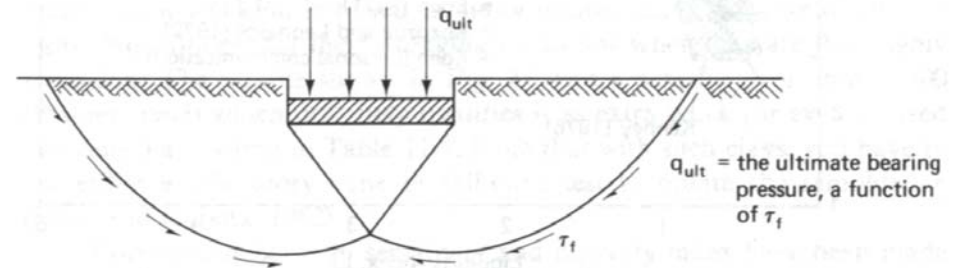
Examples of UU analyses for clays



(a) Embankment constructed rapidly over a soft clay deposit

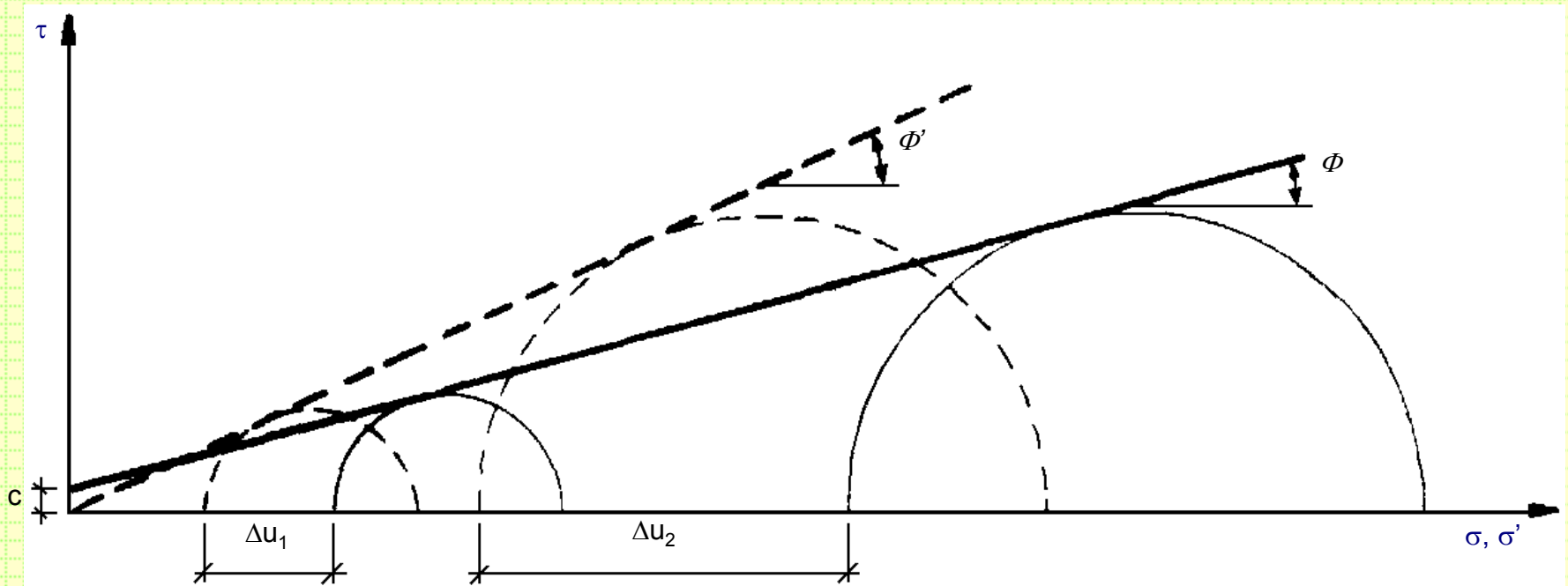


(b) Large earth dam constructed rapidly with no change in water content of clay core



Shear strength of soils

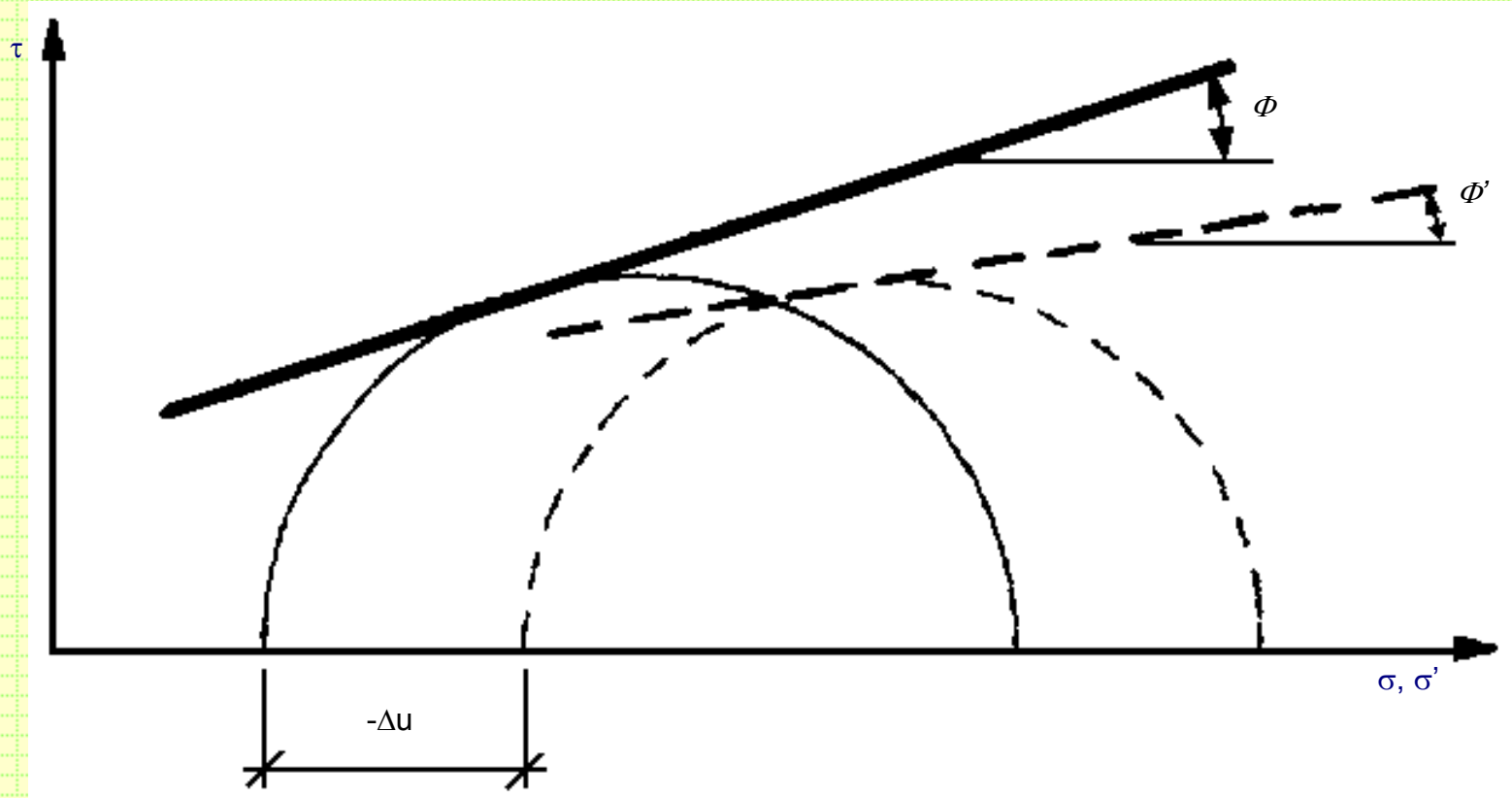
Wytrzymałość na ścinanie CU występuje, gdy po wcześniejszym skonsolidowaniu gruntu, w czasie ścinania uniemożliwiony jest odpływ wody. W praktyce warunki takie zdarzają się, gdy np. po powolnym wznoszeniu budowli wprowadza się obciążenie zmienne w stosunkowo krótkim czasie. W badaniach trójosiowych warunki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



Obwiednie zniszczenia z badań CU gliny normalnie skonsolidowanej.

Shear strength of soils

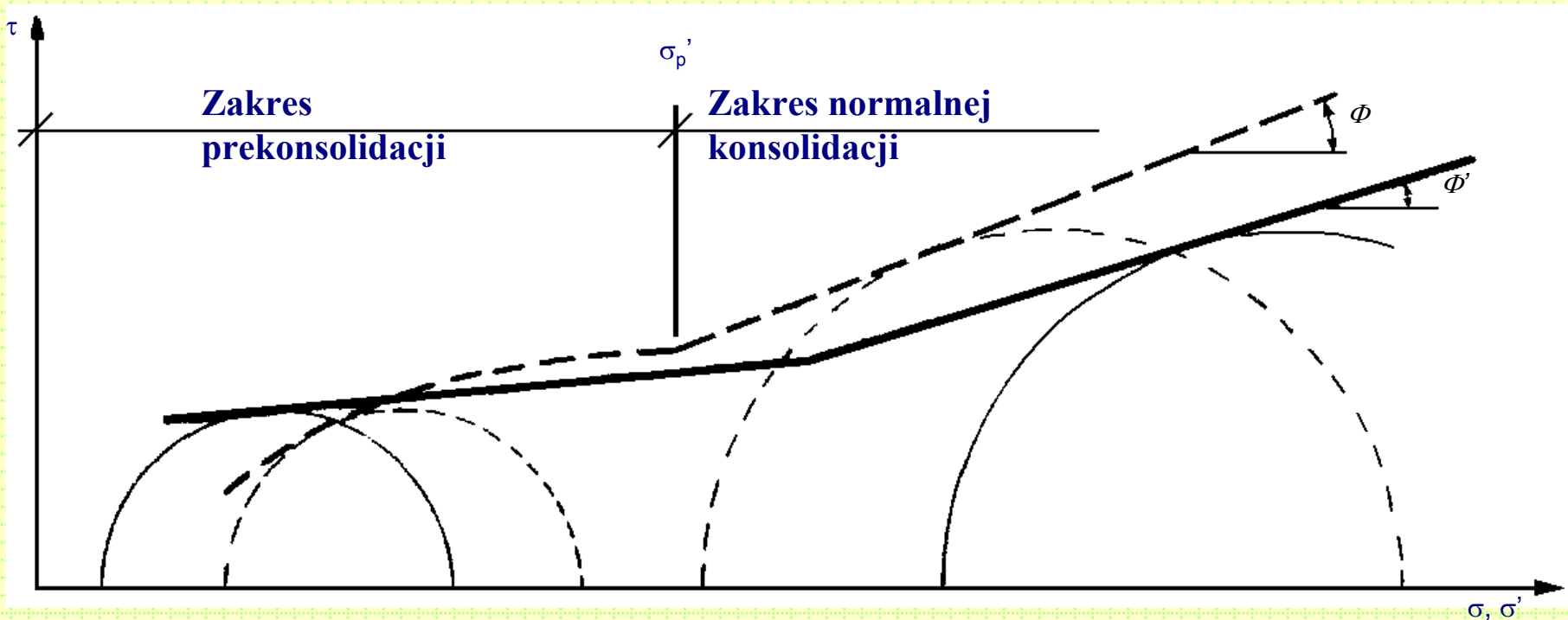
Próbka gruntu prekonsolidowanego wykazuje przy ścinaniu tendencję do zwiększania objętości, ciśnienie wody w porach maleje, a nawet może przyjąć wartość ujemną.



Obwiednie zniszczenia z badań CU gliny prekonsolidowanej.

Shear strength of soils

Jeżeli badania obejmują zakresem naprężeń stan prekonsolidowany i normalnie skonsolidowany, to wyniki badań będą odpowiadały przedstawionym na rysunku:

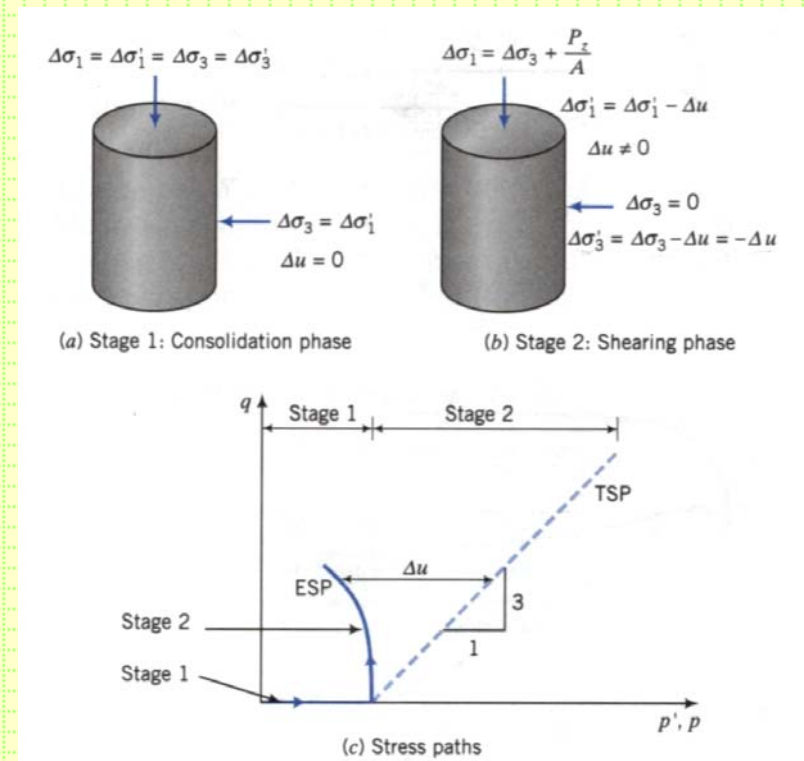


Obwiednie zniszczenia przy naprężeniach mniejszych i większych od naprężenia prekonsolidacji.

Shear strength of soils

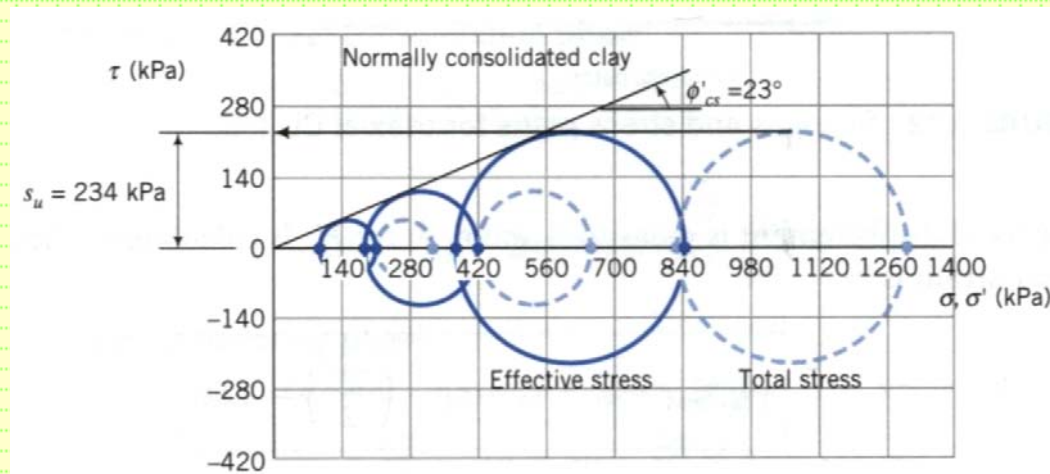
The purpose of a Consolidated Drained test is to determine the undrained and drained shear strength parameters (s_u , ϕ_{cs}' , ϕ_p') where s_u is undrained shear strength. The CU test is conducted in a similar manner to the CD test except that after isotropic consolidation, the axial load is increased under undrained condition and the excess pore water pressure is measured

While the total stress path is determined, the effective stress path can be determined only if we measure the change in excess pore water pressures. The effective stress path is nonlinear because when the soil yields, the excess pore water pressure increase nonlinearly to cause the ESP to bend.



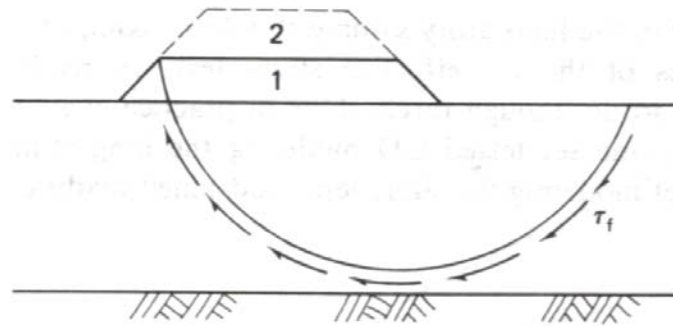
Shear strength of soils

- The CU test is the most popular triaxial test because you can obtain not only s_u but ϕ_{cs}' and ϕ_p' , and most tests can be completed within a few minutes after consolidation compared with more than a day for a CD test
- Fine-grained soils with low permeability must be sheared slowly to allow the excess pore water pressure to equilibrate throughout the test sample.
- The results from CU tests are used analyze the stability of slopes, foundations, retaining walls, excavations, and other earthwork



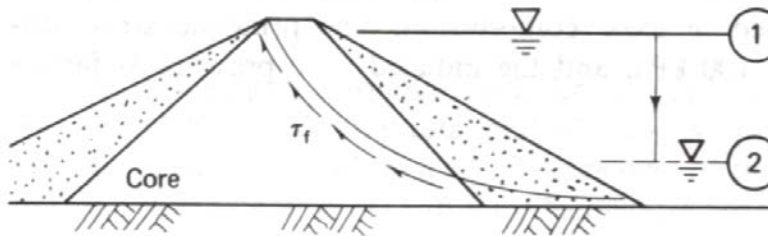
Shear strength of soils

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



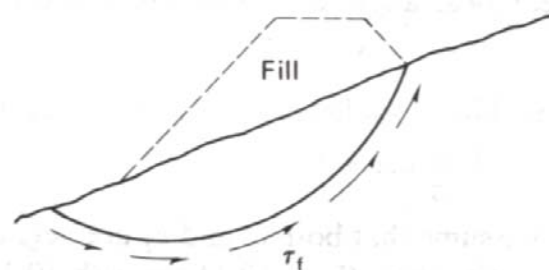
τ_f = in situ undrained shear strength after consolidation under layer 1

(a) Embankment raised (2) subsequent to consolidation under its original height, (1).



τ_f of core corresponding to consolidation under steady-state seepage prior to drawdown

(b) Rapid drawdown behind an earth dam. No drainage of the core. Reservoir level falls from ① → ②.



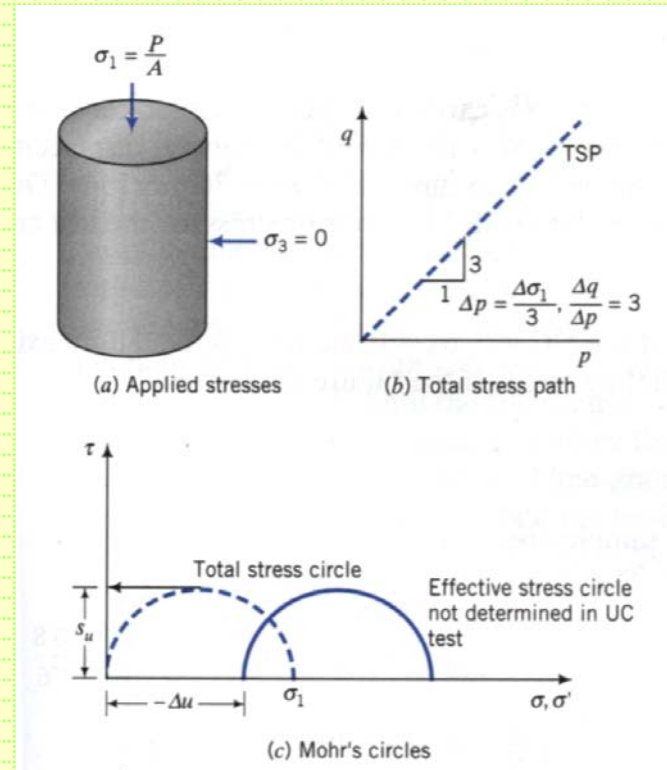
τ_f = in situ undrained shear strength of clay in natural slope prior to construction of fill

Shear strength of soils

The purpose of a **Unconfined Compression** test is to determine the undrained shear strength of a saturated soil, s_u . In the UC test, no radial stress (confinement) is applied to the sample. The plunger load (axial load) is increased rapidly until the soil sample fails. The loading is applied quickly so that the pore water cannot drain from the soil; the sample is sheared at constant volume.

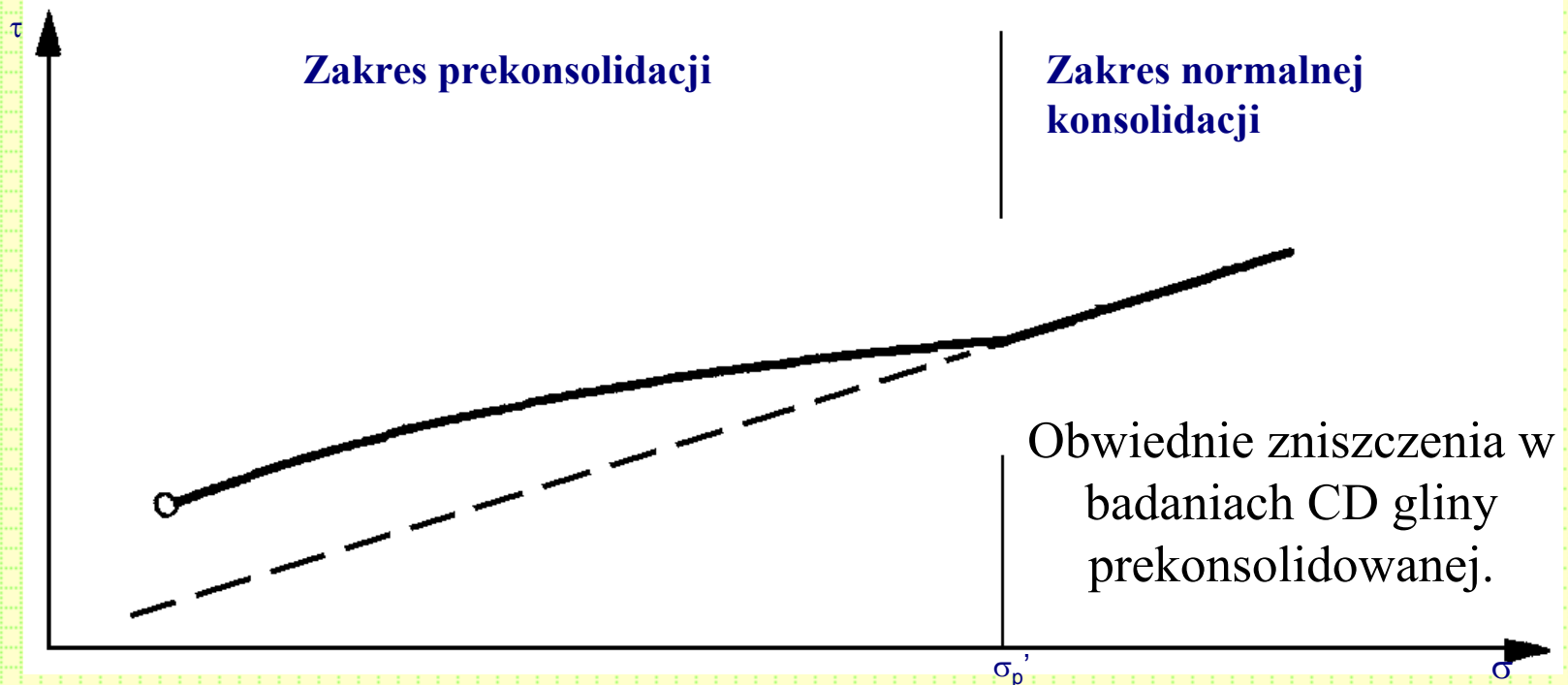
The results from UC tests are used to:

- Estimate the short-term bearing capacity of fine-grained soils for foundations.
- Estimate the short-term stability of slopes
- Compare the shear strengths of soils from site to establish soil strength variability quickly and cost-effectively (the UC test is cheaper to perform than other triaxial test).
- Determine the stress-strain characteristics under fast (undrained) loading conditions



Shear strength of soils

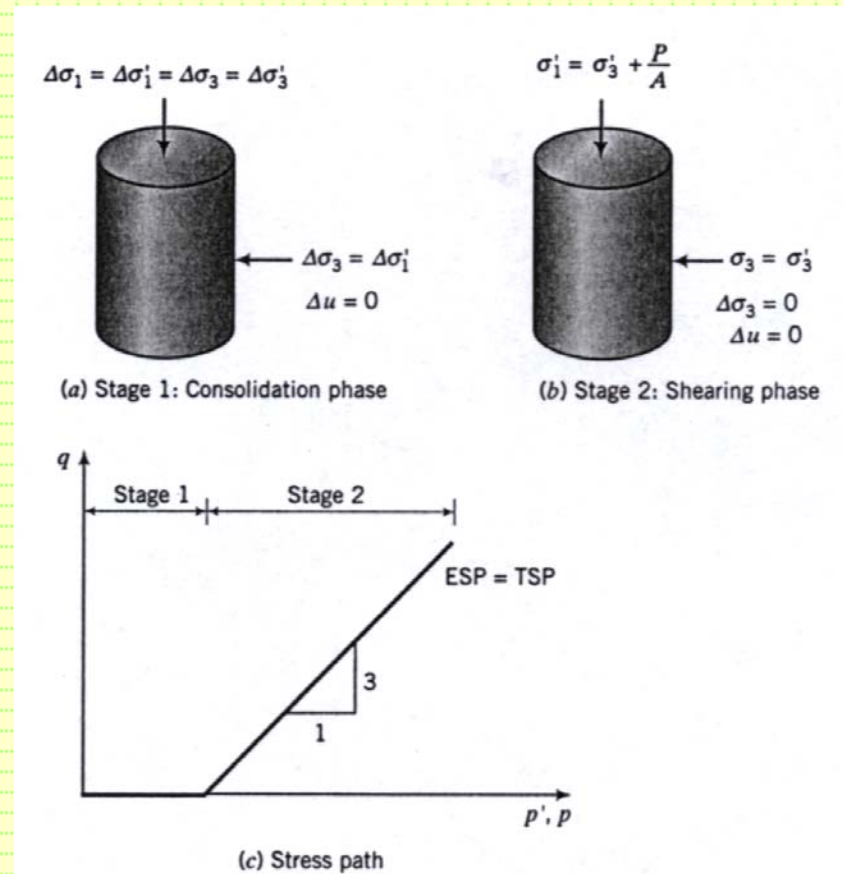
Wytrzymałość na ścinanie CD występuje gdy po wcześniejszym skonsolidowaniu gruntu, również w czasie ścinania odpływ wody jest możliwy w takim stopniu, że nie powstaje nadwyżka ciśnienia wody w porach. Warunki takie występują w okresie eksploatacji budowli, gdy nie ma dodatkowych obciążeń. W badaniach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



Shear strength of soils

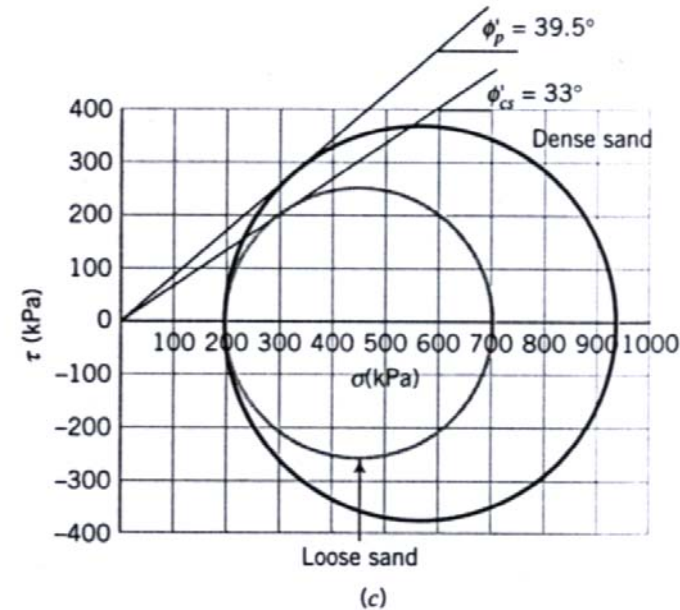
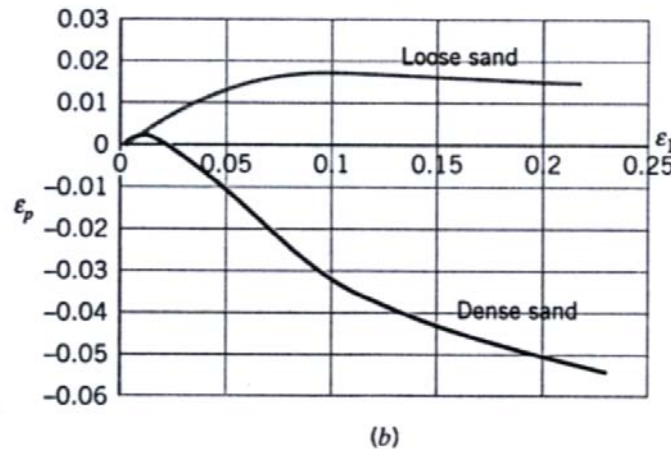
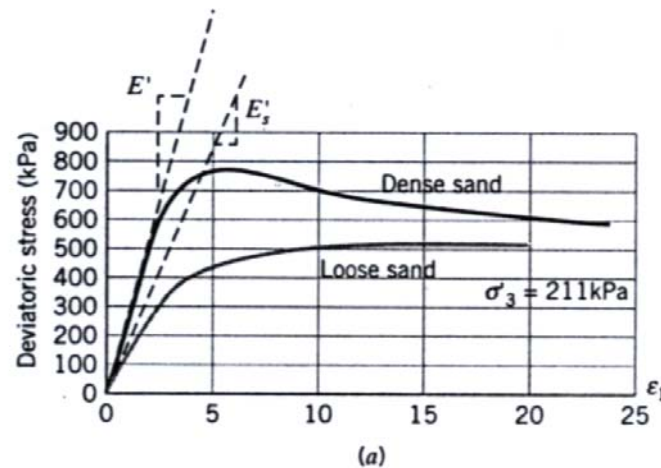
The purpose of a Consolidated Drained test is to determine the drained shear strength parameters, ϕ_{cs}' and ϕ_p' to analyze long-term loading of a soil mass. The effective elastic moduli for drained condition E' and E_s' (tangential and secant moduli) are also obtained.

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



Shear strength of soils

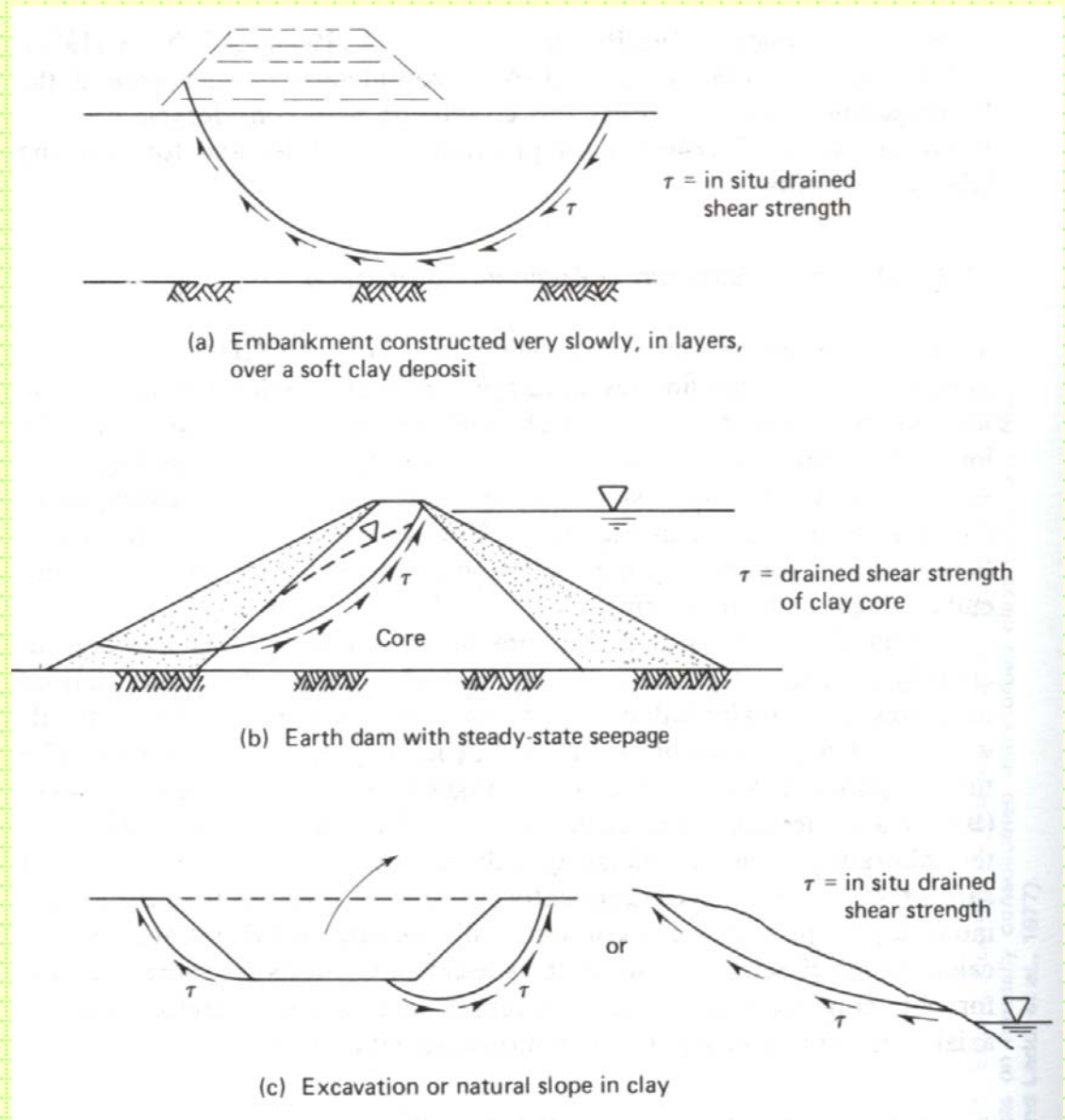
Since the CD test is a drained test, a single test can take several days if the permeability of the soil is low.



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

Shear strength of soils

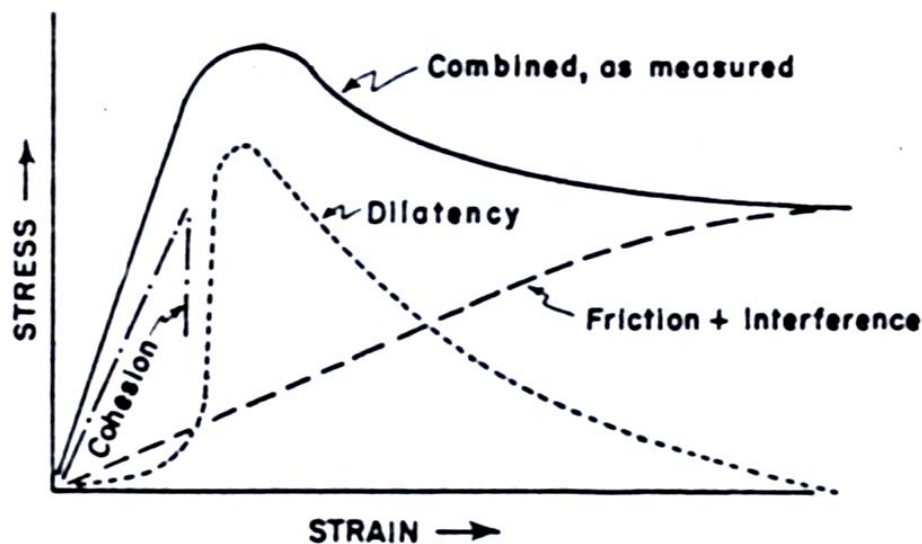
Examples of CD analyses for clays (Ladd, 1971) (from Holtz and Kovacs, 1981).



Shear strength of soils

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

Shear strength of soils

Przykład liczbowy 3

W aparacie trójosiowego ściskania zbadano próbkę suchego piasku przy ciśnieniu płynu w komorze równym 54.8 kPa. Próbka miała średnicę 38 mm, zaś maksymalna siła osiowa była równa 155.8 N. Obliczyć wartość kąta tarcia wewnętrznego piasku.

$$\sigma_1 = \sigma_c + \frac{F}{A} = 54.8 + \frac{155.8}{1.134115 \cdot 10^{-3}} = 54.8 + 137.376 = 192.175 \text{ kPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_c = 54.8 \text{ kPa}$$

$$\sin \varphi = \frac{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)}{c \cot \varphi + \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)} = \frac{68.6875}{123.4875} = 0.55623$$

$$\varphi = \arcsin 0.55623 = 33.795^\circ$$



Shear strength of soils

Przykład liczbowy 4

Przeprowadzono dwie próby trójosiowego ściskania i dały one następujące wyniki:
Próba nr 1: $p_1 = 28.91$ kPa, $q_1 = 26.74$ kPa. Próba nr 2: $p_2 = 77.06$ kPa, $q_2 = 51.17$ kPa.
Określić na podstawie tych danych wartość kąta tarcia wewnętrznego w stopniach.

$$p = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} \quad q = \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}$$

$$\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} \sin \varphi - c \cos \varphi = 0 \quad \text{lub} \quad q - p \sin \varphi - c \cos \varphi = 0$$

$$q_1 - p_1 \sin \varphi - c \cos \varphi = 0 \quad c = \frac{q_1 - p_1 \sin \varphi}{\cos \varphi}$$
$$q_2 - p_2 \sin \varphi - c \cos \varphi = 0$$

$$q_2 - p_2 \sin \varphi - \frac{q_1 - p_1 \sin \varphi}{\cos \varphi} \cos \varphi = 0$$

$$\sin \varphi = \frac{q_1 - q_2}{p_1 - p_2} = \frac{26.74 - 51.17}{28.91 - 77.06} = 0.5074 \quad \varphi = \arcsin 0.5074 = 30.489^\circ$$



Shear strength of soils

Przykład liczbowy 5

Przeprowadzono badanie próbki iłu w reżimie Cu (z konsolidacją bez odsączenia). Stałe ciśnienie płynu w komorze było równe 10.0 kPa, a próbka uległa zniszczeniu przy sile osiowej wywołującej naprężenie pionowe równe 30.0 kPa. Określić wytrzymałość na ścinanie gruntu.

$$s_u = \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} = \frac{30 - 10}{2} = 15 \text{ kPa}$$

Przykład liczbowy 6

Przeprowadzono badania trójosiowego ściskania dla dwóch identycznych próbek iłu. Średnica próbek była równa 38 mm. Dla pierwszej próbki otrzymano wartość niszczącej siły osiowej równą 116.2 N przy ciśnieniu w komorze równym 20 kPa, w momencie zniszczenia ciśnienie porowe było równe 16.4 kPa. Dla drugiej próbki otrzymano wartość niszczącej siły osiowej równą 166.6 N przy ciśnieniu w komorze równym 60 kPa, w momencie zniszczenia ciśnienie porowe było równe 23.5 kPa. Obliczyć wartość kąta tarcia wewnętrznego dla iłu.

$$p = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} \quad q = \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}$$



Shear strength of soils

Przykład liczbowy 6 cd.

$$\sigma_1' = 20 + \frac{116.2}{1.13411495 \cdot 10^{-3}} - 16.4 = 106.0587 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2' = 20 - 16.4 = 3.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma_1' = 60 + \frac{166.6}{1.13411495 \cdot 10^{-3}} - 23.5 = 183.3987 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2' = 60 - 23.5 = 36.5 \text{ kPa}$$

$$\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} \sin \varphi - c \cos \varphi = 0 \quad \text{lub} \quad q - p \sin \varphi - c \cos \varphi = 0$$

$$q_1 - p_1 \sin \varphi - c \cos \varphi = 0 \quad c = \frac{q_1 - p_1 \sin \varphi}{\cos \varphi}$$

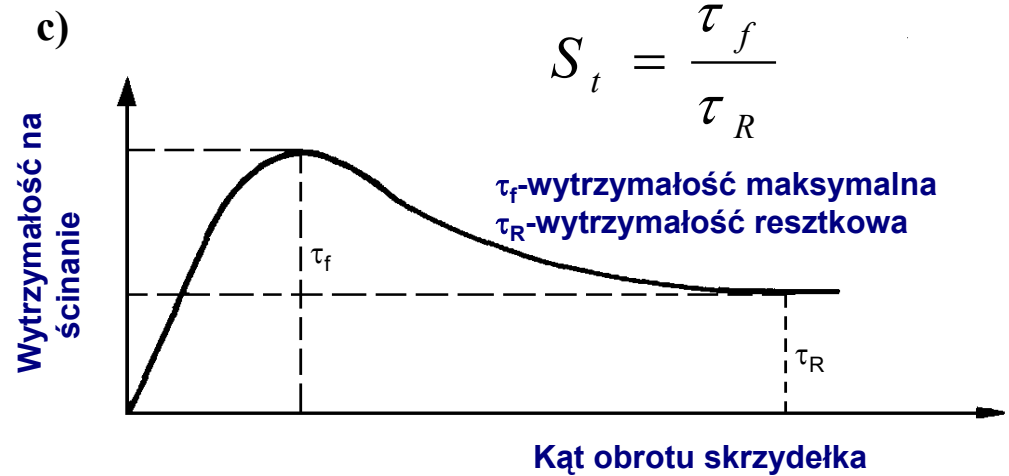
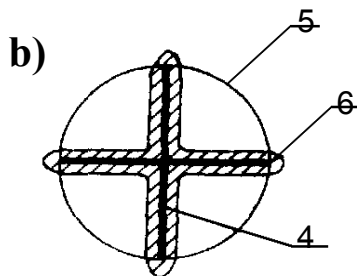
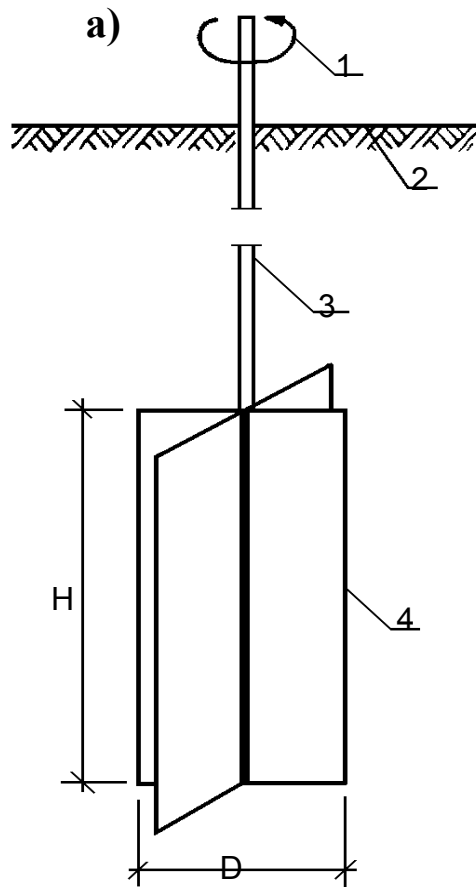
$$q_2 - p_2 \sin \varphi - c \cos \varphi = 0$$

$$q_2 - p_2 \sin \varphi - \frac{q_1 - p_1 \sin \varphi}{\cos \varphi} \cos \varphi = 0$$

$$\sin \varphi = \frac{q_1 - q_2}{p_1 - p_2} = \frac{51.23 - 73.45}{54.83 - 109.95} = 0.4031 \quad \varphi = \arcsin 0.4031 = 23.773^\circ$$



Shear strength of soils



Typowe wymiary
wg PN-74/B-04452
lab. 34 x 17 mm
pol. 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.*

Shear strength of soils

Badania sondą statyczną CPT polegają na wciskaniu końcówki stożka ze stałą prędkością (0,02 m/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 Δu wywołanej przez
- penetrację stożka, (uzależnionej od zachowania gruntu i geometrii stożka)



Shear strength of soils

Wykorzystując wyniki badań sondą statyczną można obliczyć wartość wytrzymałości na ścinanie bez odpływu 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,

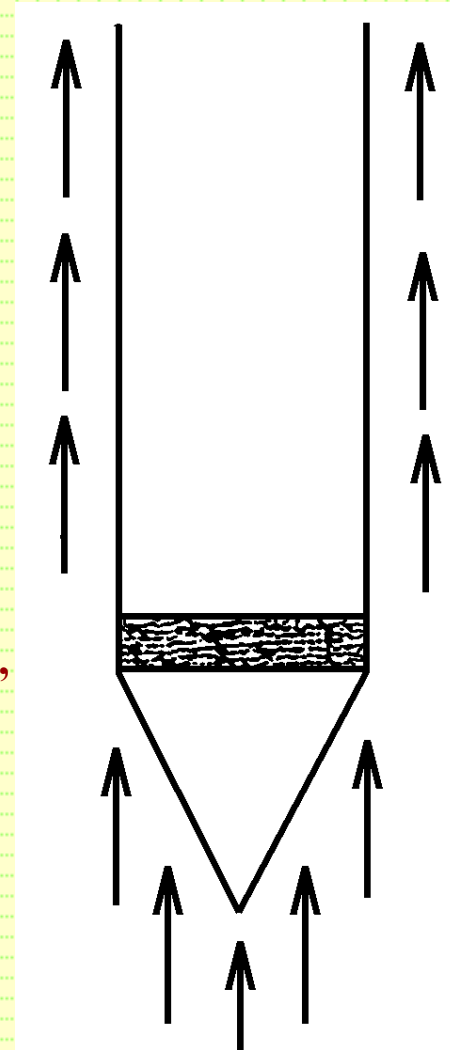
σ_{vo} - całkowite pionowe naprężenia od nadkładu *in situ*

N_{KT} - empiryczny współczynnik stożka, w odniesieniu do q_t .

Tarcie na tulei,
(f_s)

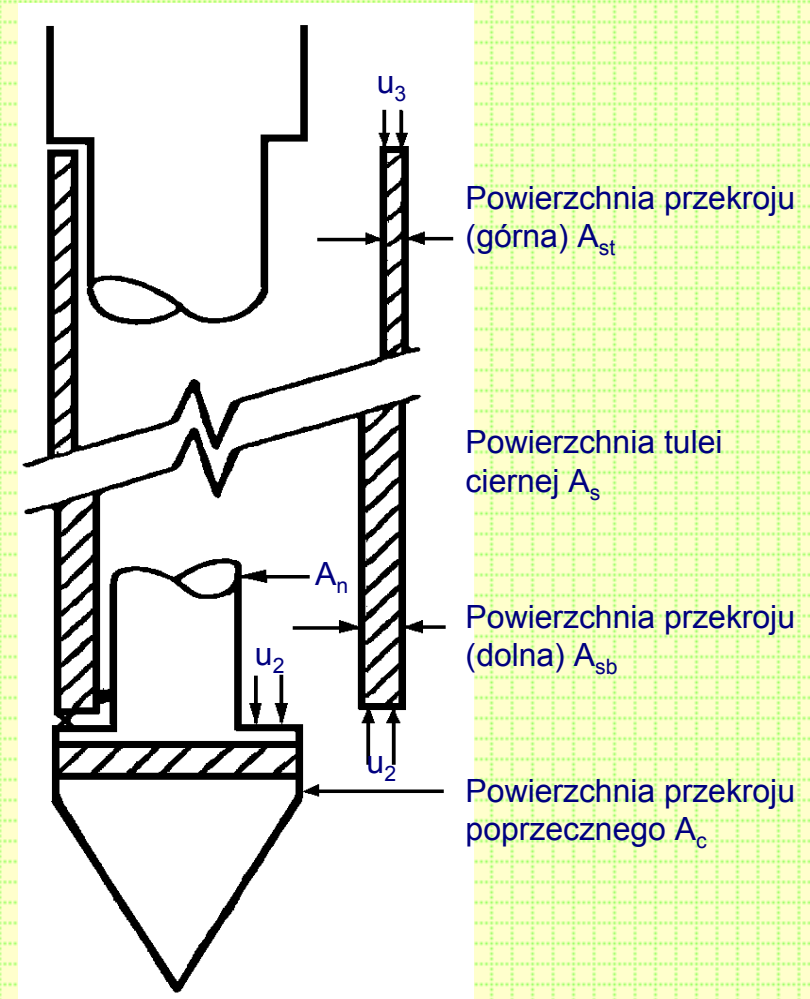
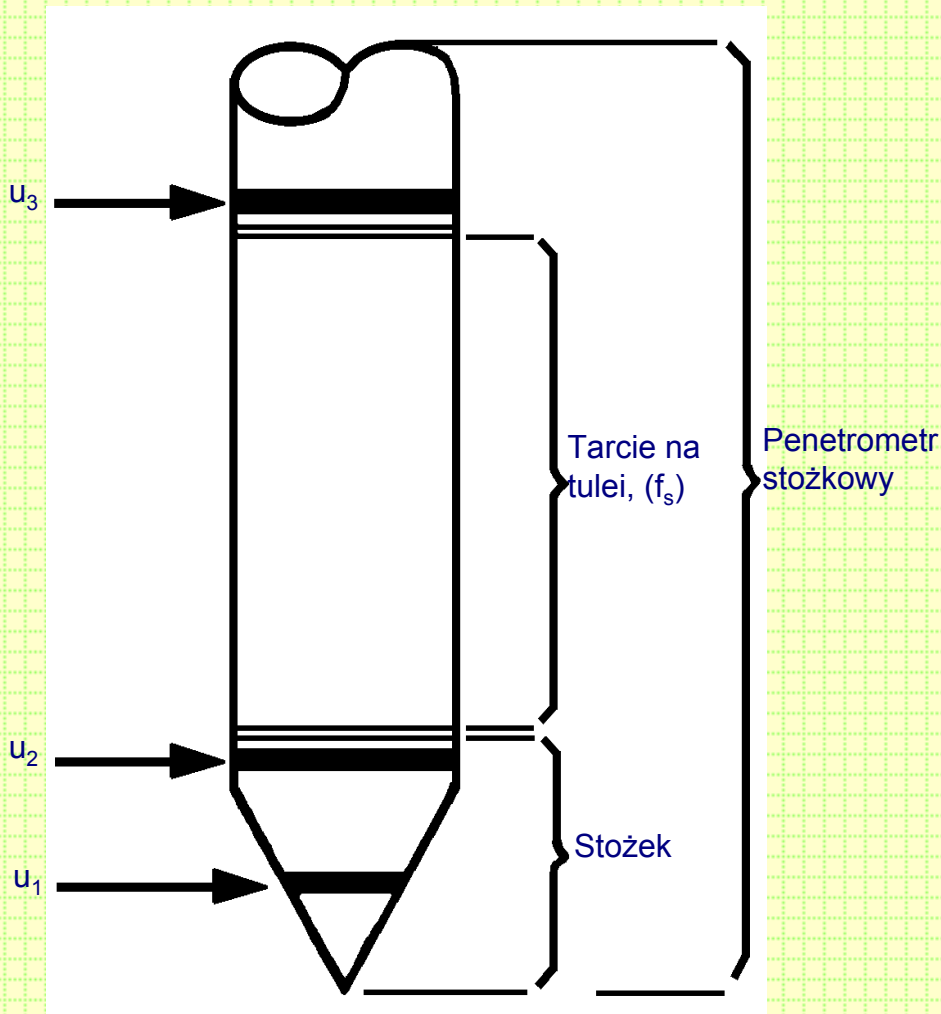
Ciśnienie porowe,
(u)

Opór stożka, (q_c)



Schemat piezostožka.

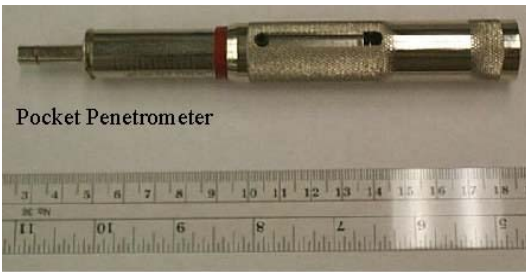
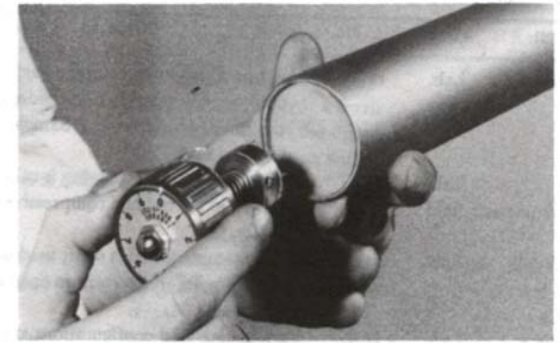
Shear strength of soils



Lokalizacja filtrów do pomiaru ciśnienia porowego.

Schemat korekty oporu stożka i tarcia na tulei.

Shear strength of soils



Pocket Penetrometer

Penetrometr
tłoczkowy

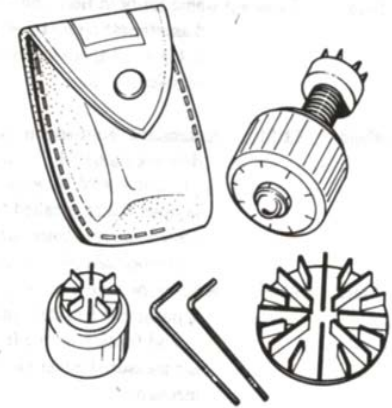


Undrained compressive strength read directly from scale at prescribed penetration

Prescribed penetration into cohesive soil sample



Shearvane (or Torvane)



(a)

Sonda skrzydełkowa

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

(b)

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.)

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



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.

