



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

« ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Ι - Τμήμα 2 (Μ-Ω) »

4<sup>ο</sup> ΕΞ. ΠΟΛ-ΜΗΧ. ΕΜΠ - Ακαδ. Έτος 2020 - 21

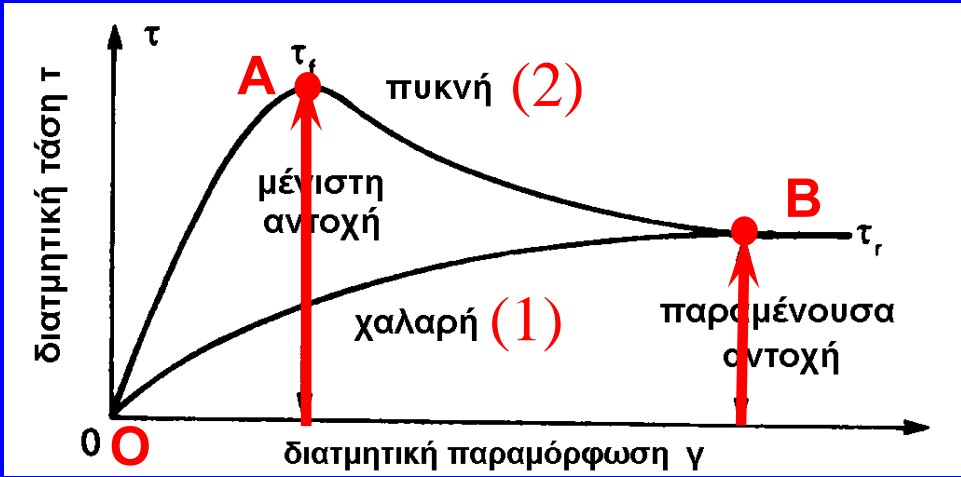
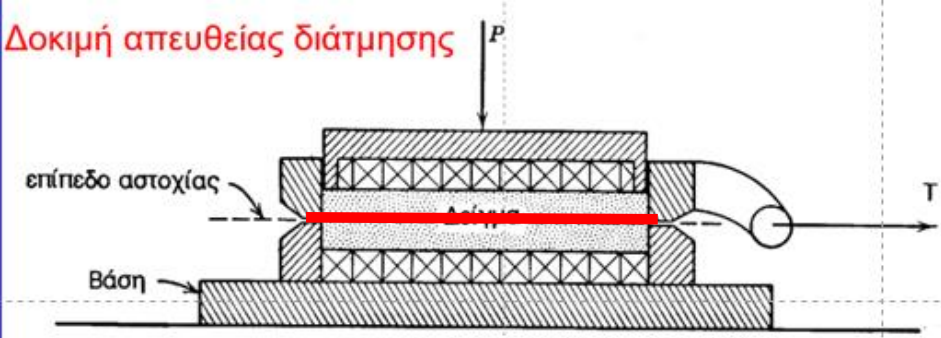
ΔΙΑΛΕΞΗ 9 – Μέρος 4

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ  
& ΦΟΡΤΙΣΗ ΥΠΟ ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

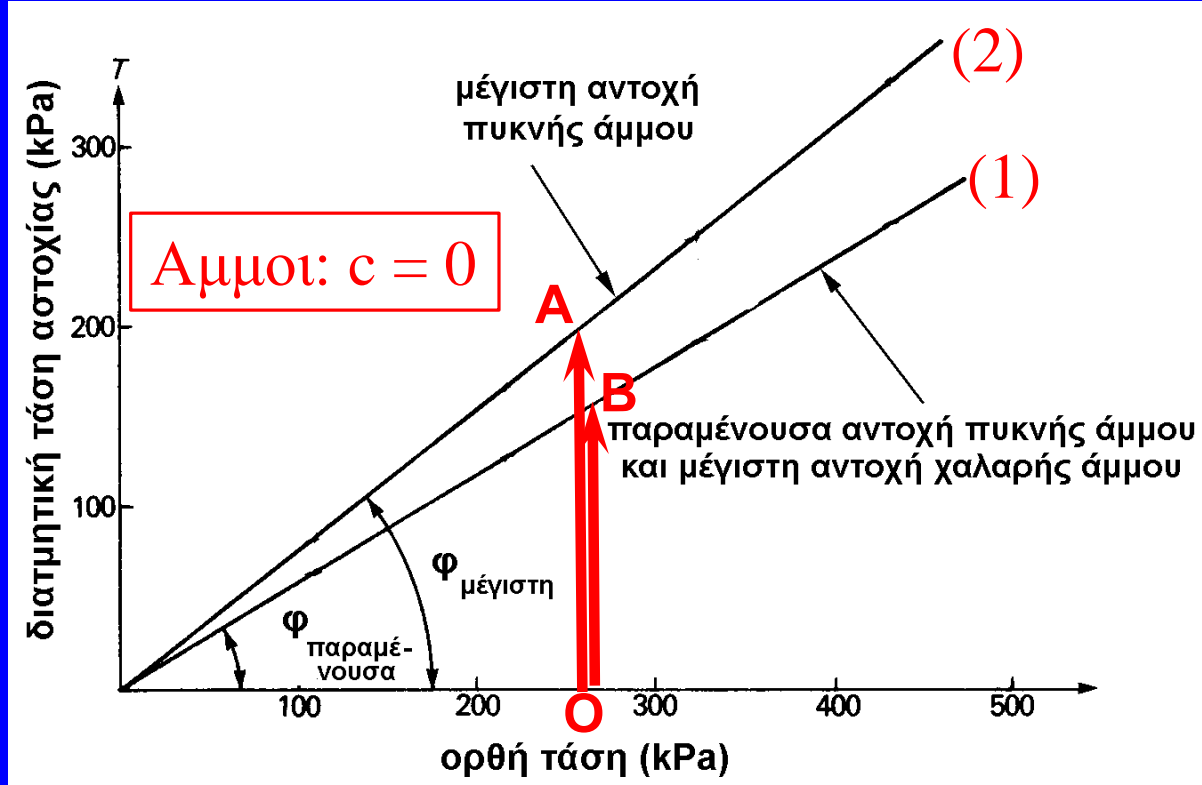
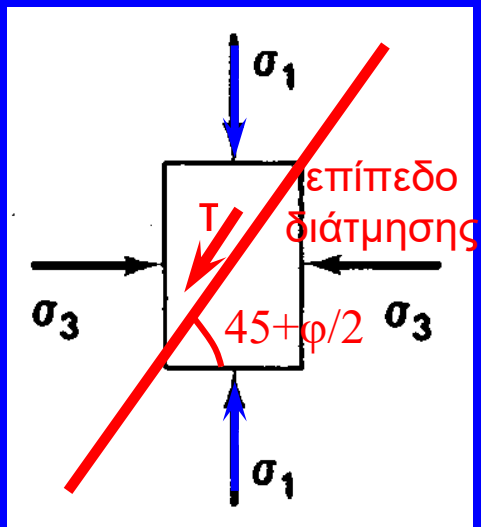
18.05.2021

# Συμπεριφορά στο επίπεδο διάτμησης:

- 1. Χαλαρές άμμοι και μαλακές άργιλοι
- 2. Πυκνές άμμοι και σκληρές άργιλοι

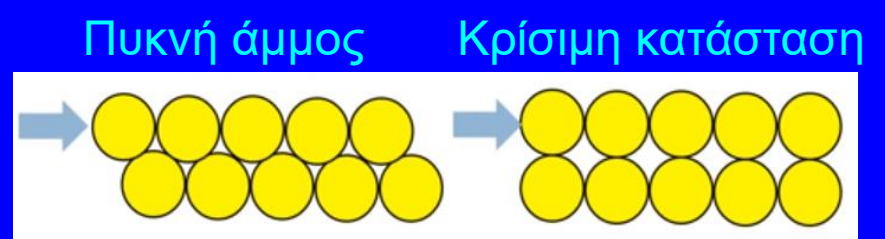
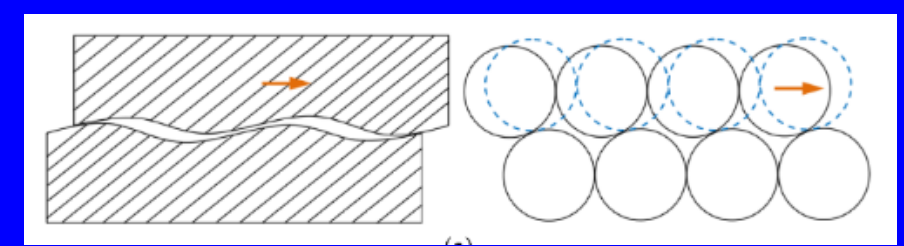
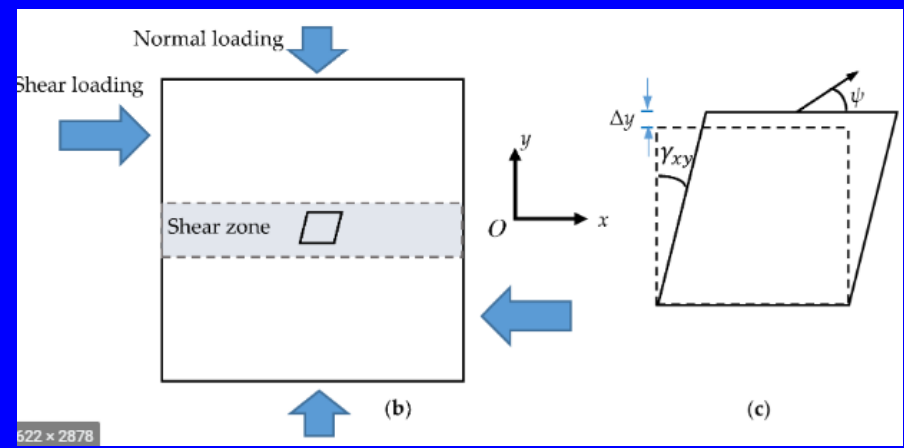
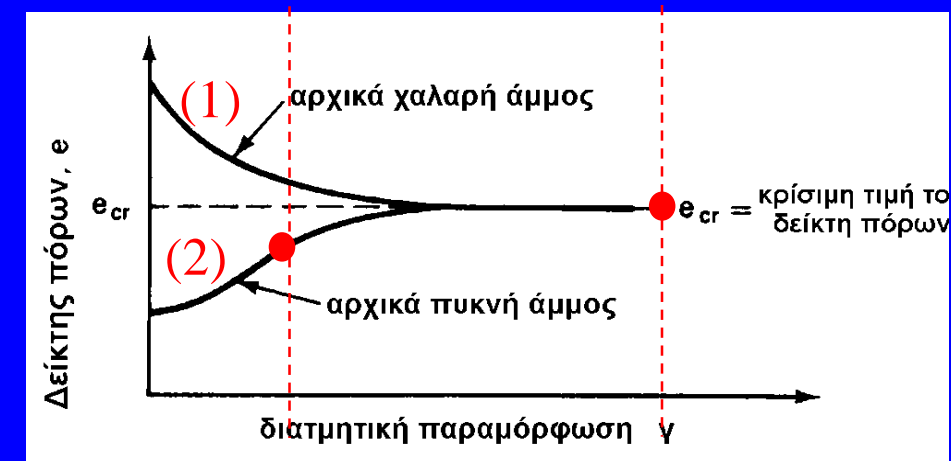
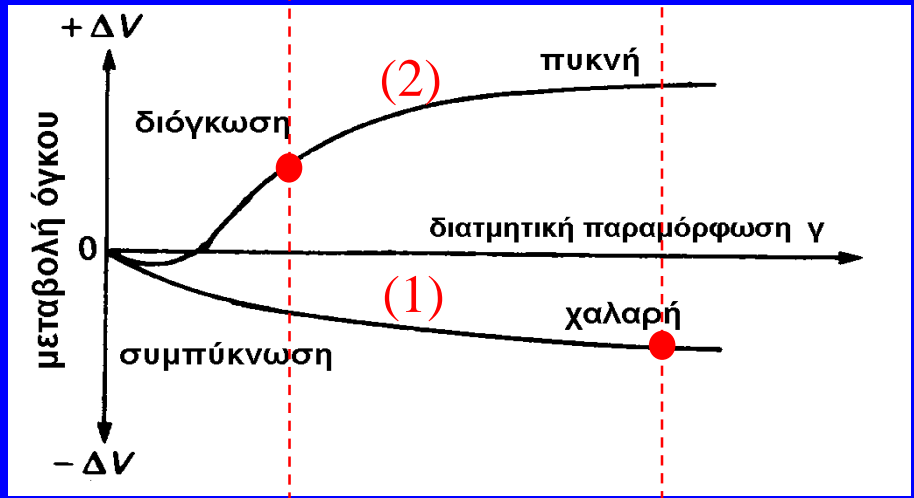
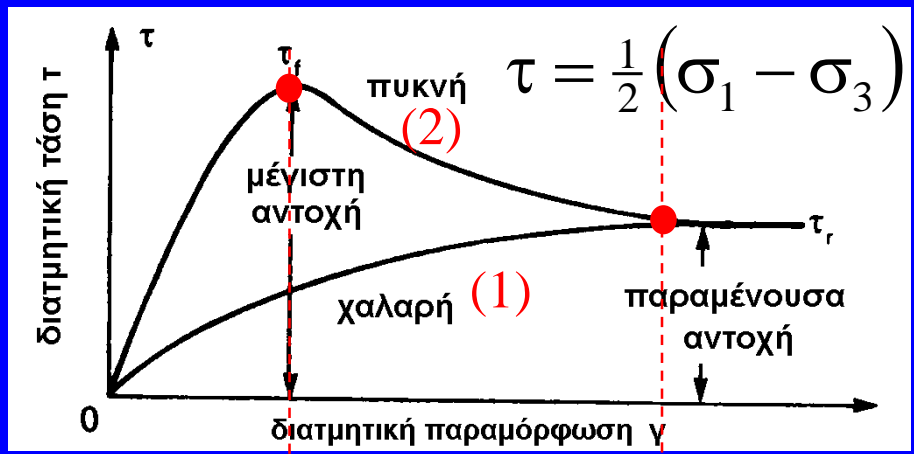


## Τριαξονική δοκιμή



# Συμπεριφορά στο επίπεδο διάτμησης:

1. Χαλαρές άμμοι και μαλακές άργιλοι
2. Πυκνές άμμοι και σκληρές άργιλοι



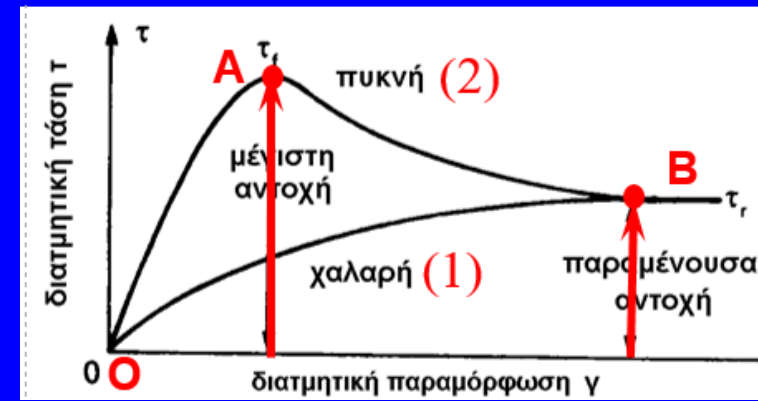
Διαστολικότητα πυκνής άμμου: Η διόγκωση απαιτεί την κατανάλωση πρόσθετου έργου για την ανύψωση του ορθού (κατακόρυφου) φορτίου. Άρα :  $\Phi_{\text{πυκνής}} > \Phi_{\text{χαλαρής}}$

# Χαρακτηριστικά της γωνίας τριβής

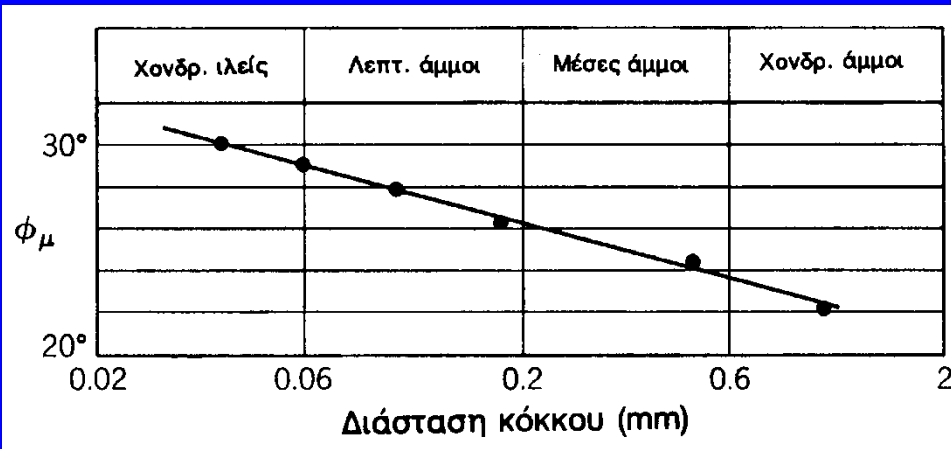
Η γωνία τριβής έχει τρεις συνιστώσες :

1. Καθαρή τριβή του υλικού ( $\phi_\mu$ )
2. Αλληλεμπλοκή μεταξύ των κόκκων ( $\phi_{cv} - \phi_\mu$ )
3. Διαστολικότητα (διασταλτικότητα) του υλικού

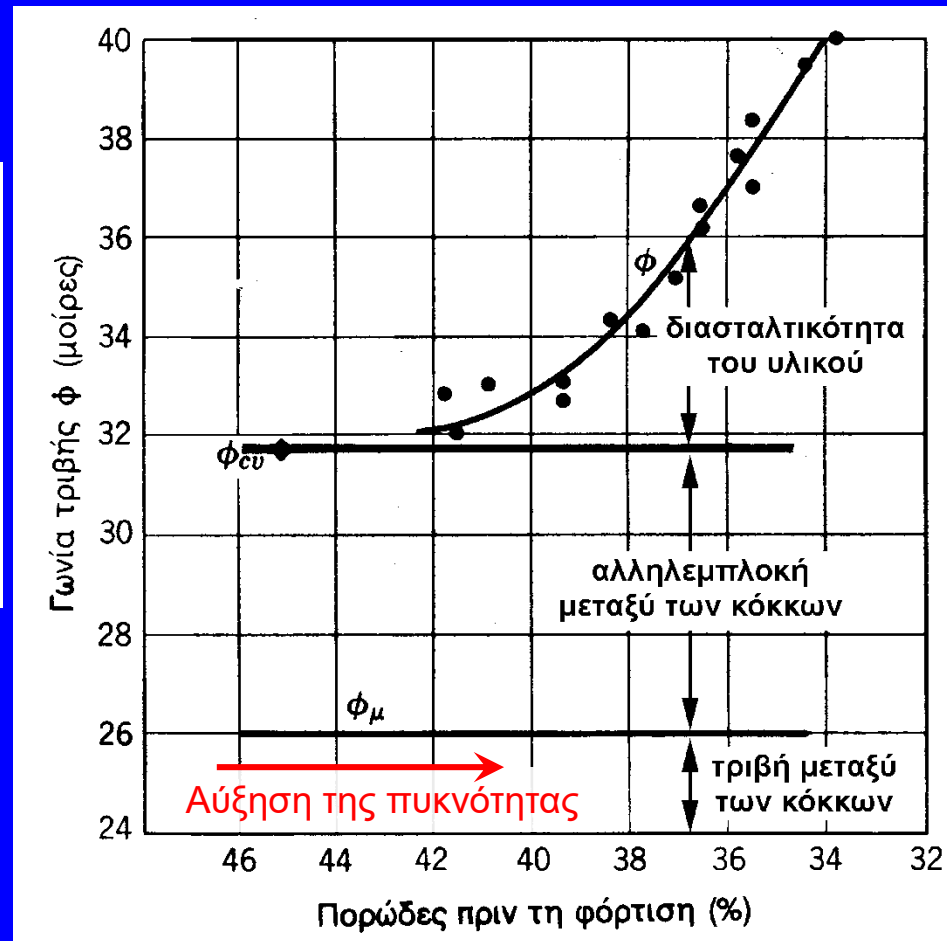
$$\tau_f = \sigma'_n \tan \phi$$



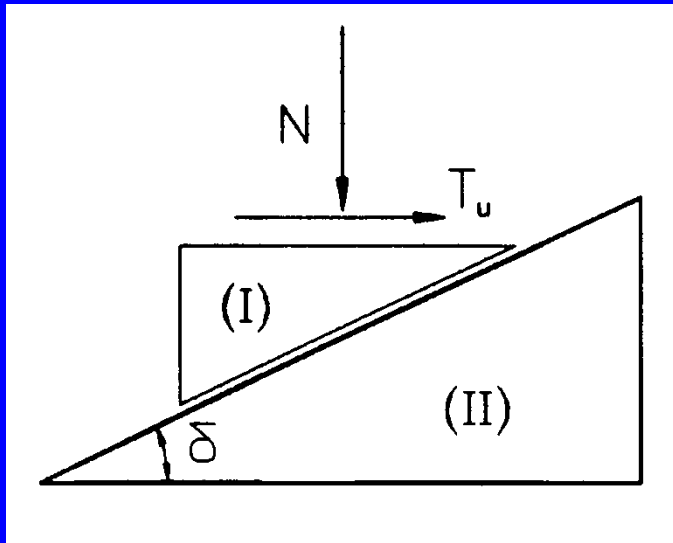
## Τυπικές τιμές του $\phi_\mu$



Η διαστολικότητα εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού. Όσο μεγαλύτερη η σχετική πυκνότητα, τόσο μεγαλύτερη και η διαστολικότητα.



# Χαρακτηριστικά της γωνίας τριβής - Η επιρροή της διασταλτικότητας



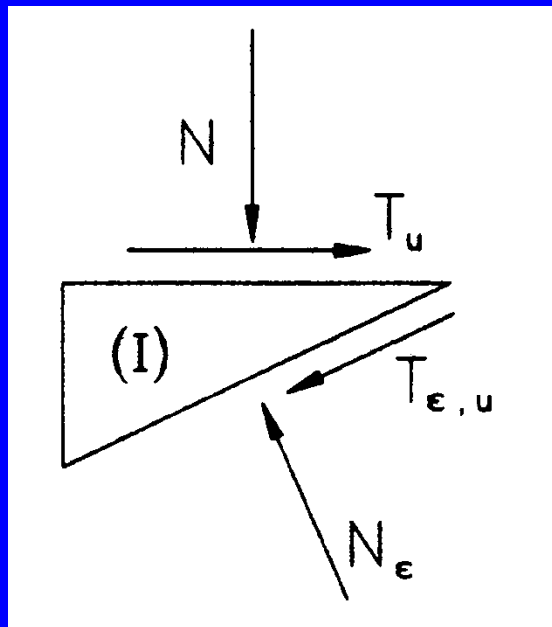
Η απαιτούμενη δύναμη ολίσθησης  $T_u$  για κίνηση σώματος σε κεκλιμένο επίπεδο, είναι μεγαλύτερη της απαιτούμενης για κίνηση σε οριζόντιο επίπεδο

Καθαρή τριβή στην επιφάνεια επαφής :

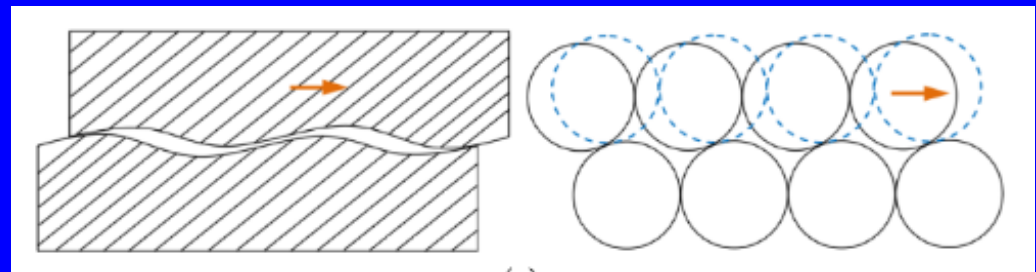
$$T_{\varepsilon,u} = N_{\varepsilon} \tan \varphi_{\mu}$$

Ισορροπία των δυνάμεων δίνει :

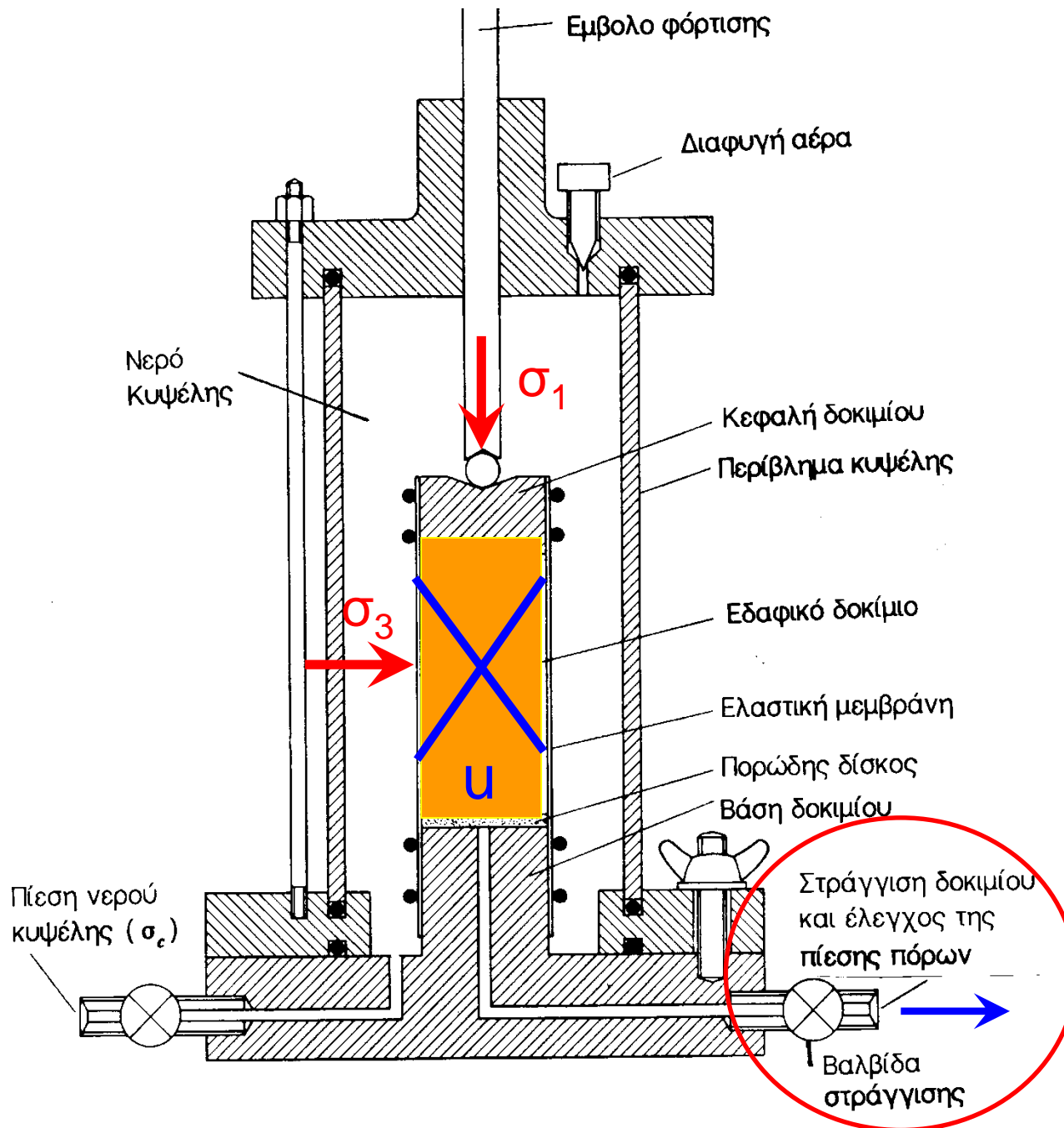
$$T_u = N \tan(\varphi_{\mu} + \delta)$$



Η τελευταία σχέση ισοδυναμεί με αύξηση της γωνίας τριβής κατά ( $\delta$ ), λόγω της διασταλτικότητας (αύξησης του όγκου)



# Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας με την τριαξονική δοκιμή



Ενεργές τάσεις:

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u$$

Βαλβίδα στράγγισης:

**Ανοικτή:**  $u = u_o = \text{σταθ.}$   
Όγκος δοκιμίου μεταβλητός ( $\Delta V \neq 0$ )

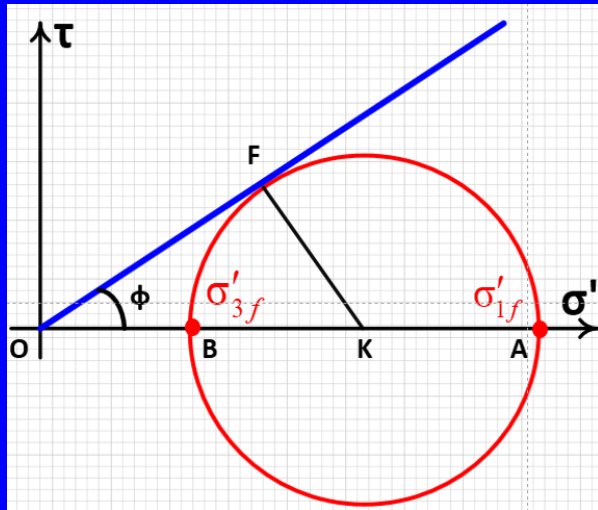
**Κλειστή:**  $u = \text{μεταβλ.}$   
 $u = u_o + \Delta u$  ( $\Delta u \neq 0$ )

όγκος δοκιμίου = σταθ  
 $\Delta V = 0$

Κατά τη φόρτιση, εάν ο όγκος τείνει να μειωθεί  $\rightarrow \Delta u > 0$  (αντίσταση στη μείωση του όγκου), ενώ Εάν τείνει να αυξηθεί  $\rightarrow \Delta u < 0$

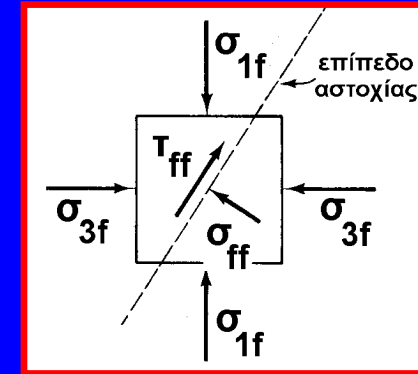
# Περιβάλλουσα αστοχίας από τριαξονικές δοκιμές

## 1. Αμμος και κανονικά στερεοποιημένη άργιλος (υλικά χωρίς c) :

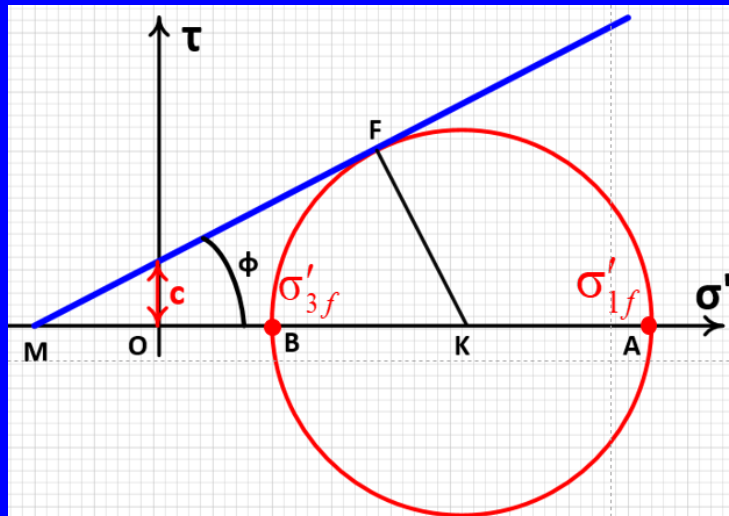


Αρκεί μια δοκιμή με μέτρηση των  $(\sigma'_{1f}, \sigma'_{3f})$

$$\frac{\sigma'_{1f}}{\sigma'_{3f}} = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$



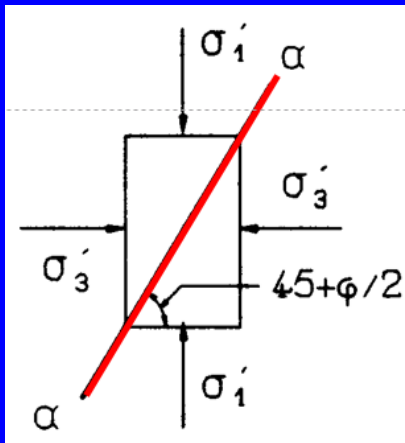
## 2. Στιφρή άργιλος (υλικό με c) :



Απαιτούνται δύο δοκιμές με μέτρηση των  $(\sigma'_{1f}, \sigma'_{3f})$

$$\sigma'_{1f} = \sigma'_{3f} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

# Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας με την τριαξονική δοκιμή



## Παράδειγμα εφαρμογής – αναλυτική λύση:

- Τριαξονική δοκιμή εκτελείται υπό στραγγισμένες συνθήκες (δηλ. με ανοικτή βαλβίδα στράγγισης), με σταθερή πίεση πόρων  $u = 150$  kPa και πίεση νερού στην κυψέλη  $\sigma_3 = 250$  kPa. Κατά την αστοχία του δοκιμίου μετρήθηκε  $\sigma_1 = 484.6$  kPa.
- Άλλη τριαξονική δοκιμή σε όμοιο δοκίμιο εκτελείται επίσης υπό στραγγισμένες συνθήκες με πίεση πόρων  $u = 150$  kPa και πίεση νερού στην κυψέλη  $\sigma_3 = 350$  kPa. Κατά την αστοχία του δοκιμίου μετρήθηκε  $\sigma_1 = 784.6$  kPa.

Να προσδιορισθούν οι παράμετροι αντοχής ( $c, \varphi$ ) του εδάφους

Δοκιμή 1:  $\sigma'_{3f} = 250 - 150 = 100$  kPa ,  $\sigma'_{1f} = 484.6 - 150 = 334.6$  kPa

Δοκιμή 2:  $\sigma'_{3f} = 350 - 150 = 200$  kPa ,  $\sigma'_{1f} = 784.6 - 150 = 634.6$  kPa

Εφαρμογή της παρακάτω σχέσης, και αφαίρεση κατά μέλη:

$$\sigma'_{1f} = \sigma'_{3f} \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$634.6 - 334.6 = (200 - 100) \tan^2 (45 + \varphi/2) \rightarrow \tan^2 (45 + \varphi/2) = 3 \rightarrow \varphi = 30^\circ$$

Εφαρμογή της παραπάνω σχέσης για την πρώτη δοκιμή:

$$334.6 = 100 \times 3 = (2c) \times 1.734 \rightarrow c = 10 \text{ kPa}$$



# Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας με την τριαξονική δοκιμή

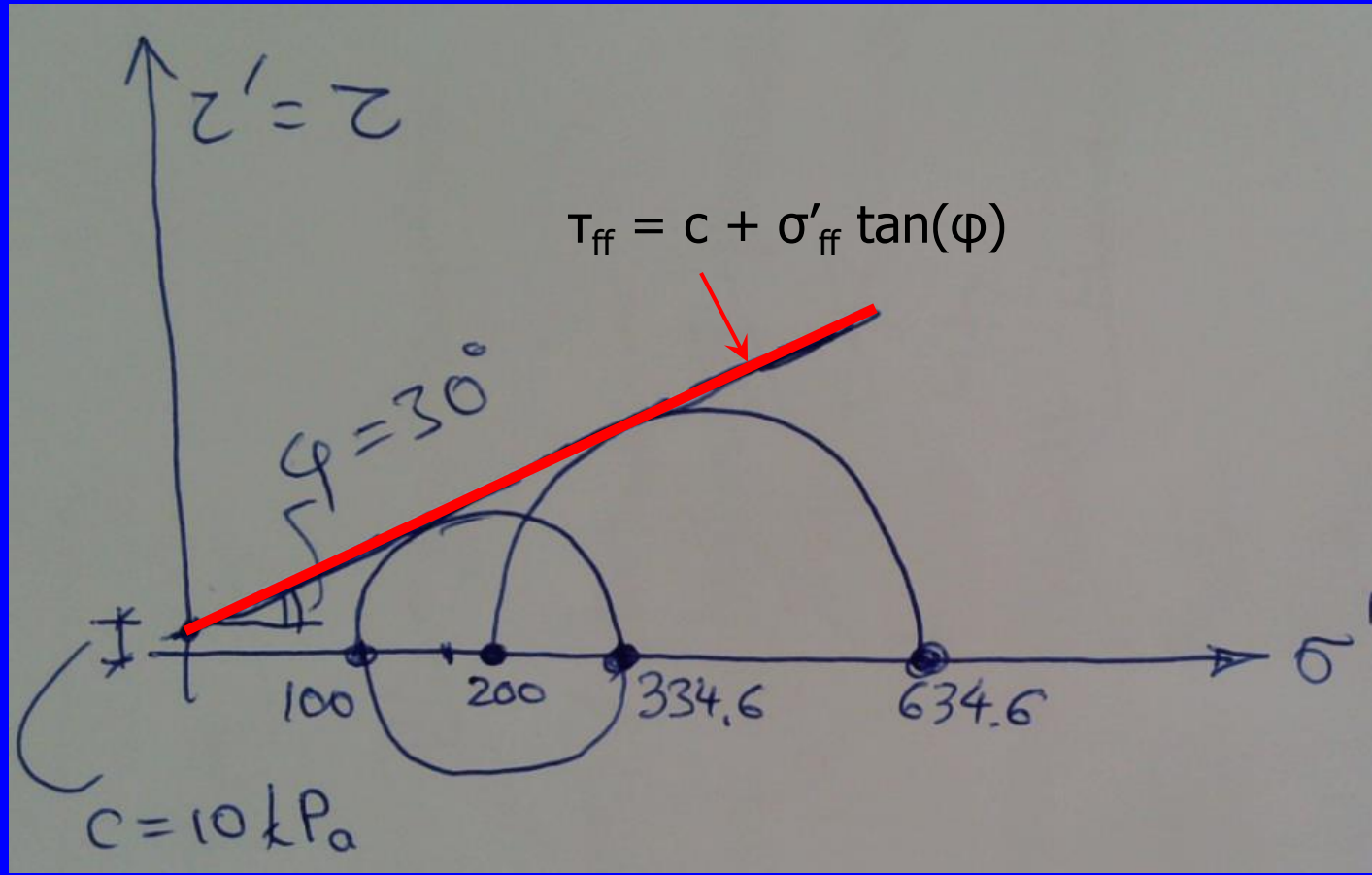
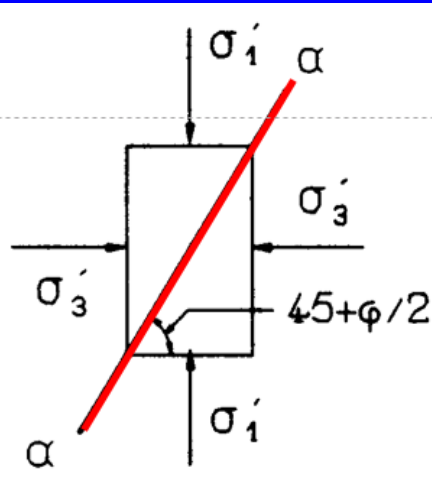
## Παράδειγμα εφαρμογής – γραφική λύση:

Δοκιμή 1:  $\sigma'_3 = 250 - 150 = 100 \text{ kPa}$  ,  $\sigma'_1 = 484.6 - 150 = 334.6 \text{ kPa}$

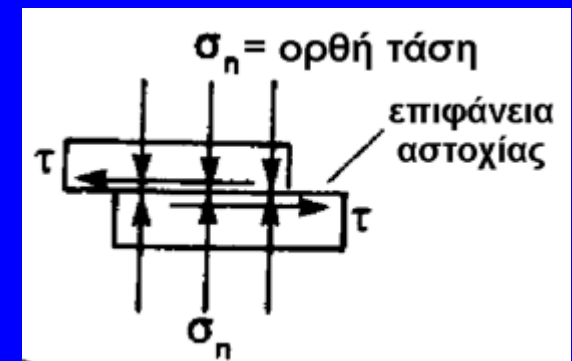
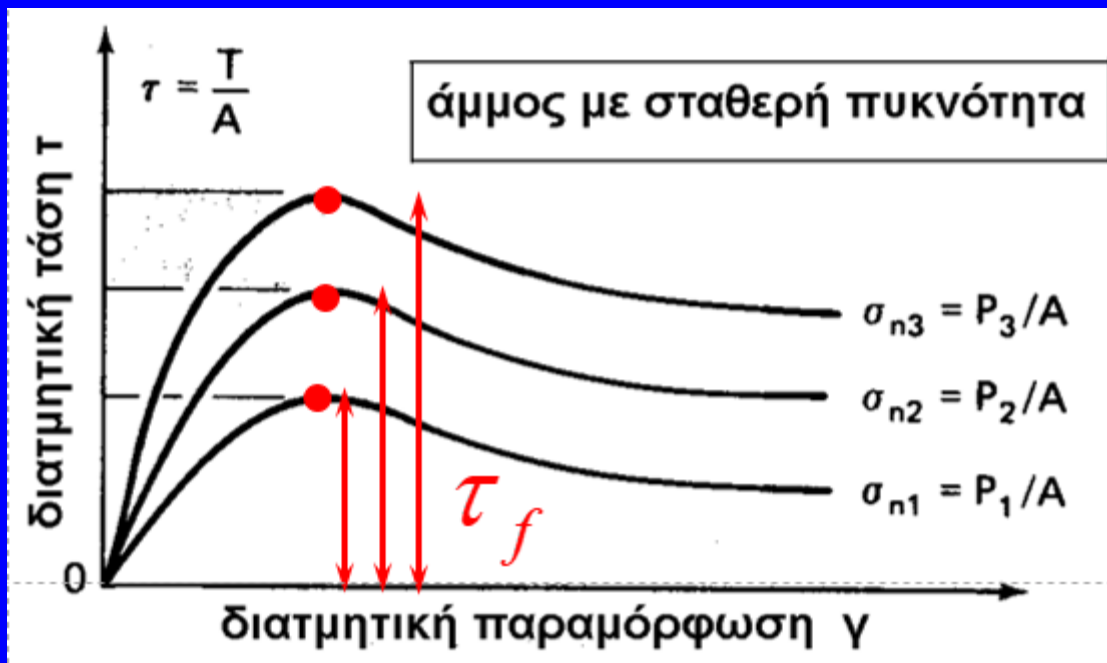
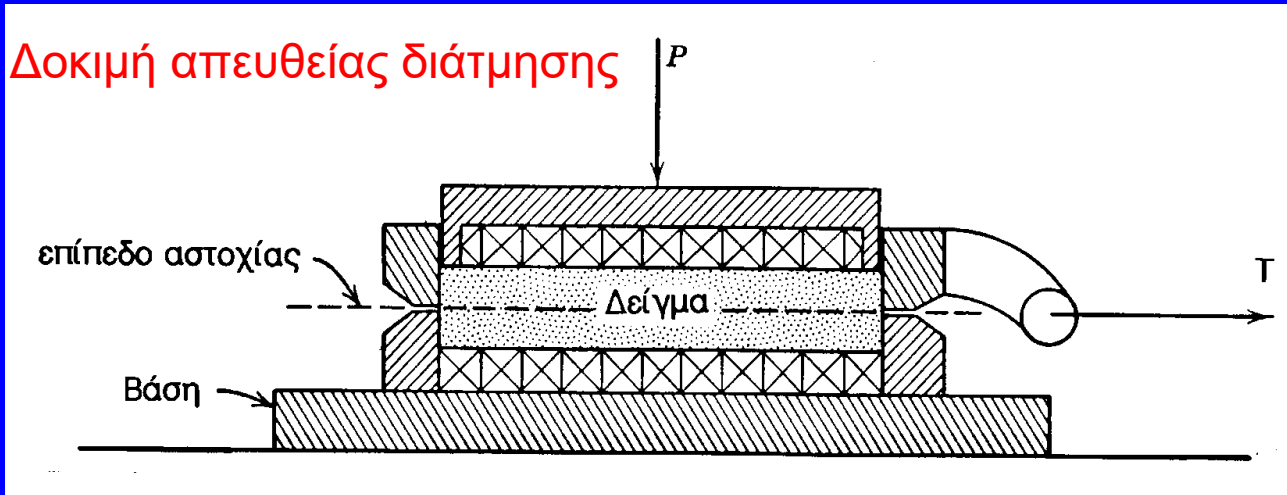
Δοκιμή 2:  $\sigma'_3 = 350 - 150 = 200 \text{ kPa}$  ,  $\sigma'_1 = 784.6 - 150 = 634.6 \text{ kPa}$

Σχεδιάζονται οι δύο κύκλοι Mohr, και άγεται η κοινή εφαπτομένη

→  $\varphi = 30^\circ$  και  $c = 10 \text{ kPa}$



# Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας (c, φ) από δοκιμές απευθείας διάτμησης

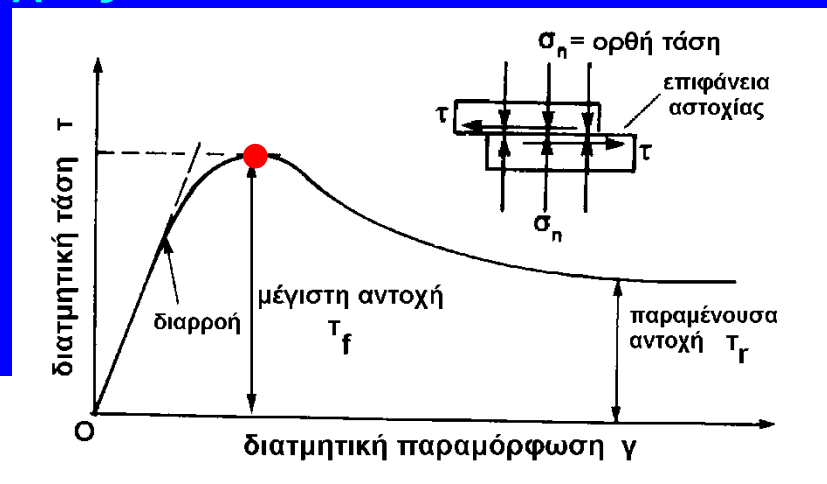


Αύξηση της αντοχής ( $\tau_f$ ) με  
αύξηση της ορθής ενεργού  
τάσης ( $\sigma'_n$ ):

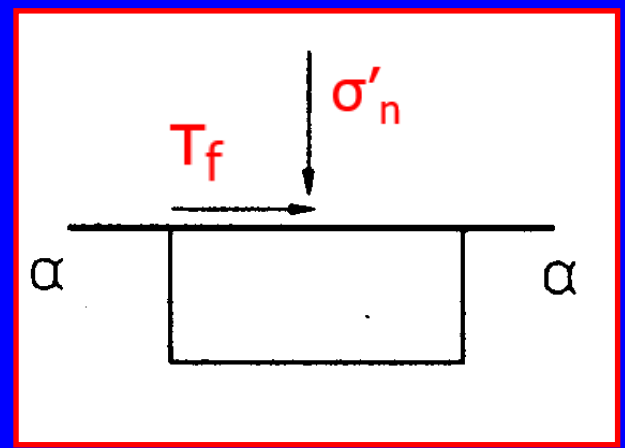
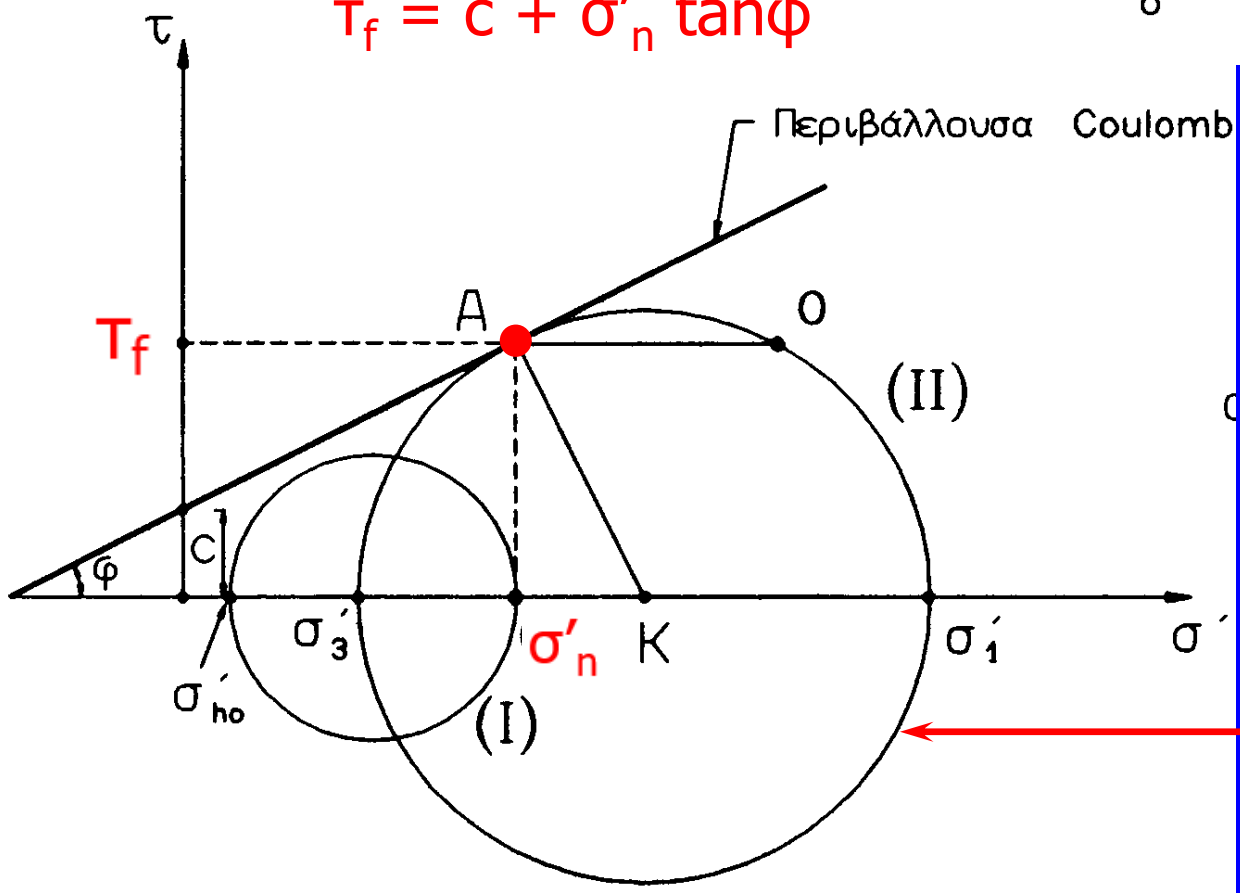
$$\tau_f = c + \sigma'_n \tan \varphi$$

# Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας από δοκιμές απευθείας διάτμησης

Για υλικά με συνοχή απαιτούνται δύο δοκιμές. Για υλικό χωρίς συνοχή ( $c=0$ ) αρκεί μια δοκιμή.



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

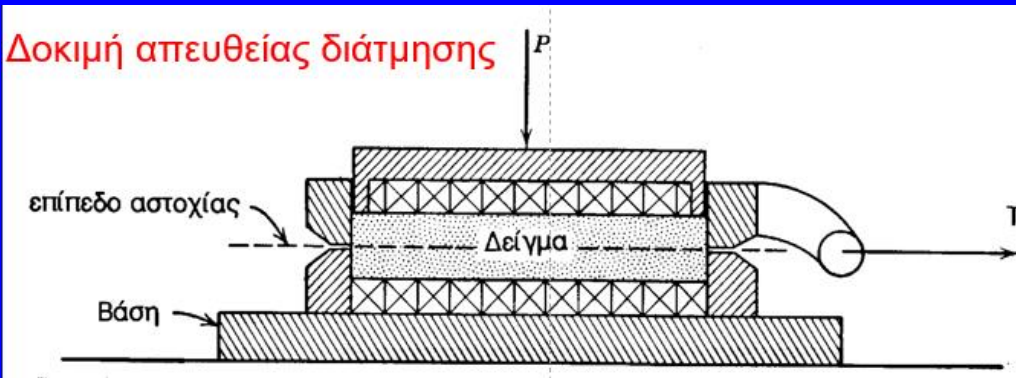


Κύκλος Mohr κατά την αστοχία στη δοκιμή απευθείας διάτμησης

# Περιβάλλουσα αστοχίας από δοκιμές απευθείας διάτμησης

## Παράδειγμα εφαρμογής:

Δύο δοκιμές απευθείας διάτμησης υπό συνθήκες πλήρους στράγγισης ( $u=0$ ) έδωσαν τα εξής αποτελέσματα: (1) Για  $\sigma'_n = 100 \text{ kPa} \rightarrow \tau_f = 67.7 \text{ kPa}$   
(2) Για  $\sigma'_n = 200 \text{ kPa} \rightarrow \tau_f = 125.4 \text{ kPa}$



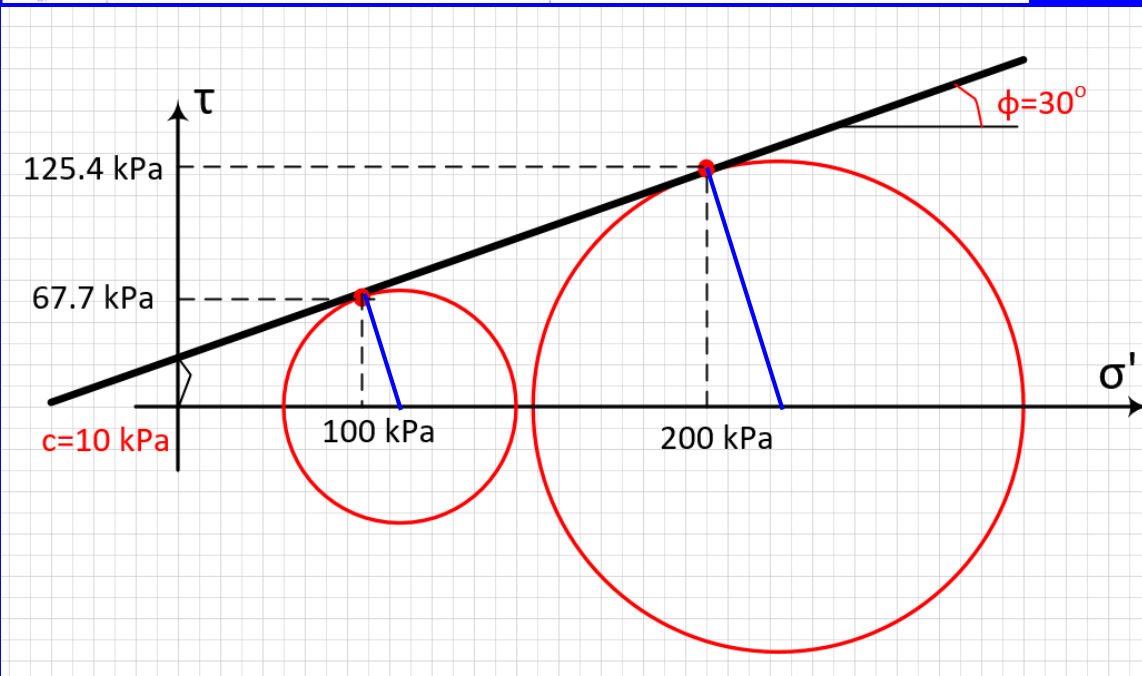
$$\tau_f = c + \sigma'_n \tan \phi$$

$$67.7 = c + 100 \tan \phi$$

$$125.4 = c + 200 \tan \phi$$

$$\tan \phi = 0.577 \rightarrow$$

$$\phi = 30^\circ, \quad c = 10 \text{ kPa}$$



Περιβάλλουσα αστοχίας από τριαξονικές δοκιμές & απευθείας διάτμησης

### Παράδειγμα εφαρμογής:

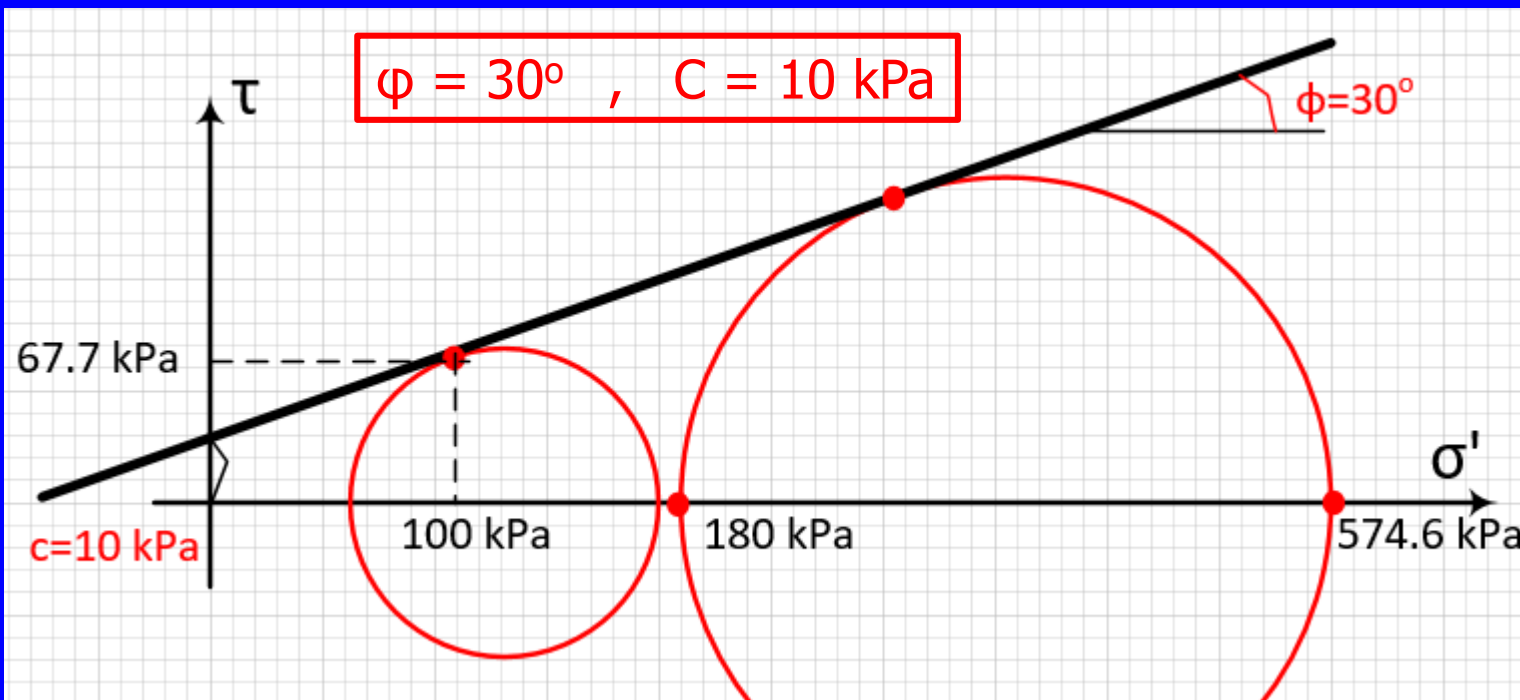
Τριαξονική δοκιμή με  $\sigma'_3 = 180$  kPa αστοχεί όταν  $\sigma'_1 = 574.6$  kPa.

Δοκιμή απευθείας διάτμησης με  $\sigma'_n = 100$  kPa αστοχεί όταν  $\tau_f = 67.7$  kPa

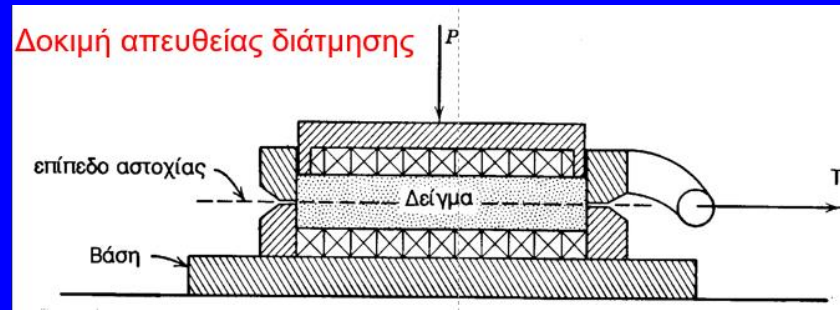
Να προσδιορισθούν τα  $c, \phi$

$$\begin{aligned} \sigma'_1 &= 574.6 \text{ kPa} \\ \sigma'_3 &= 180 \text{ kPa} \end{aligned} \Rightarrow \sigma'_{1f} = \sigma'_{3f} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\tau_f = c + \sigma'_n \tan \phi \rightarrow 67.7 = c + 100 \tan \phi$$

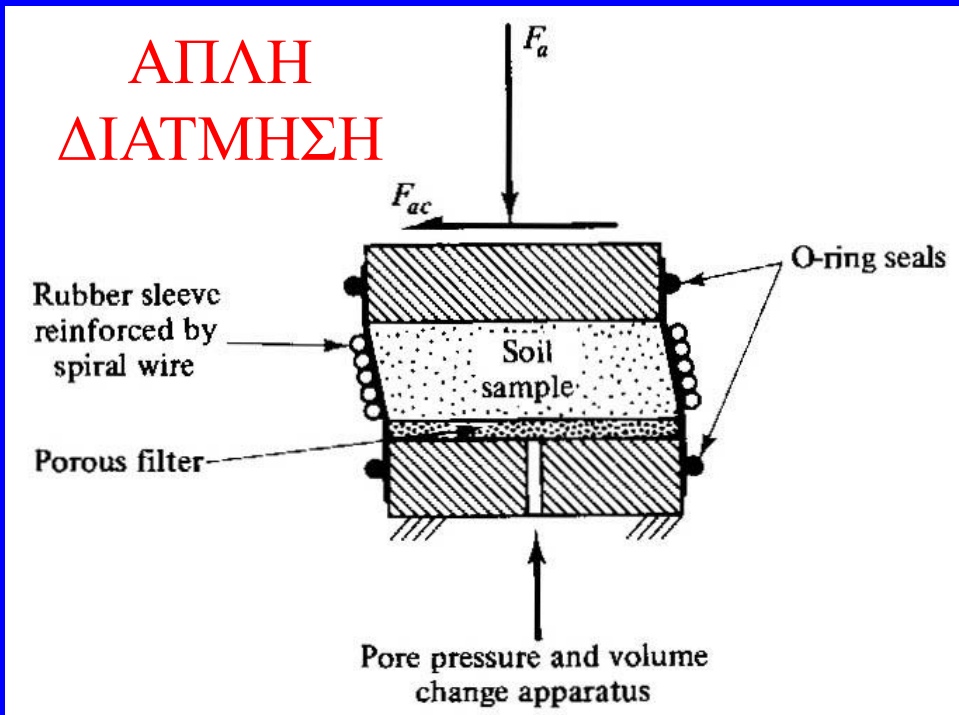
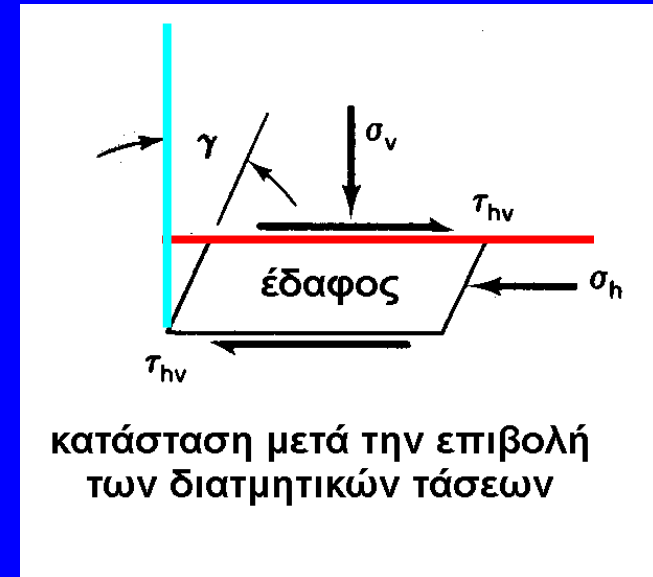
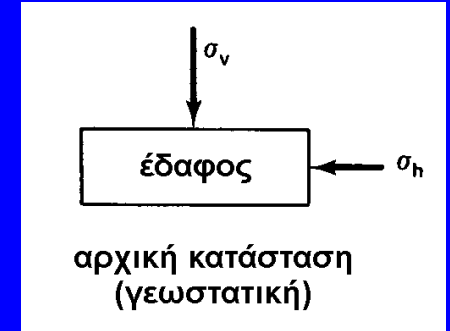


# Προσδιορισμός περιβάλλουσας αστοχίας από δοκιμές απλής διάτμησης



Στην δοκιμή απλής διάτμησης, οι παραμορφώσεις και (συνεπώς) οι τάσεις του δοκιμίου είναι ομοιόμορφες:  $\rightarrow$  οριζόντια παραμόρφωση = 0  
 Η κατακόρυφη και οριζόντια τάση παραμένει σταθερή ( $\sigma_v = \text{σταθ}$ ,  $\sigma_h = K_o \sigma_v = \text{σταθ}$ ).

Αυξάνει μόνον η επιβαλλόμενη διατμητική τάση ( $\tau_h$ )

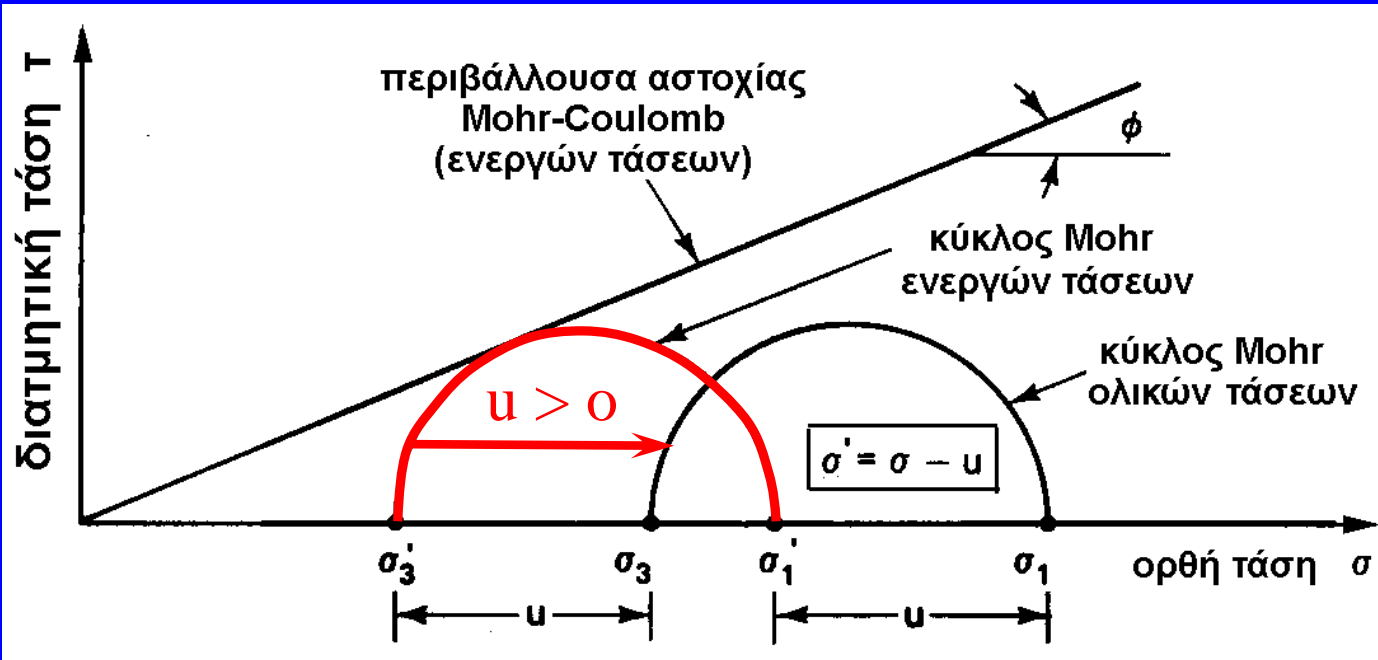




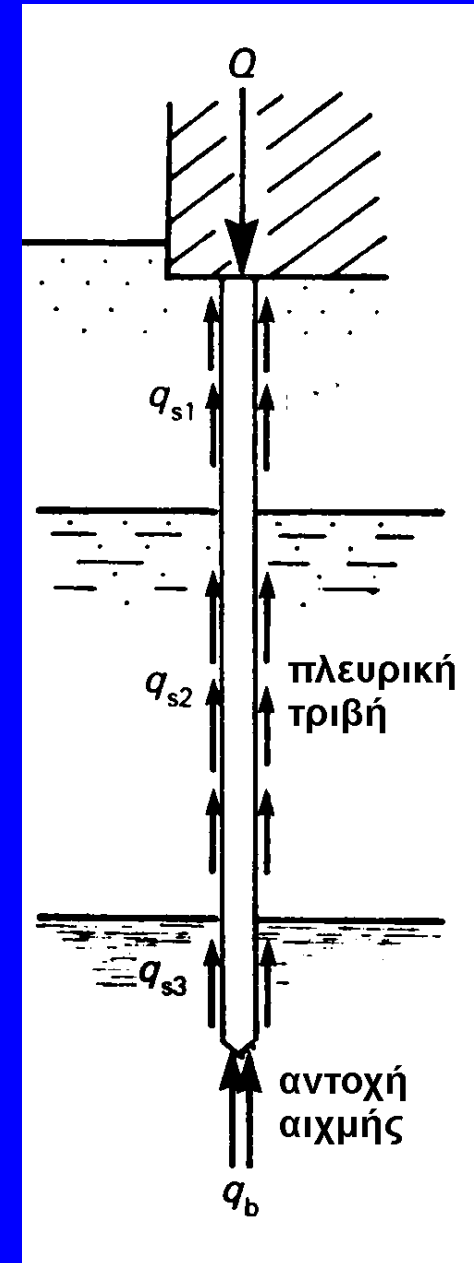




# Το κριτήριο αστοχίας εκφράζεται ως προς τις ενεργές τάσεις



$$\sigma'_{1f} = \sigma'_{3f} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

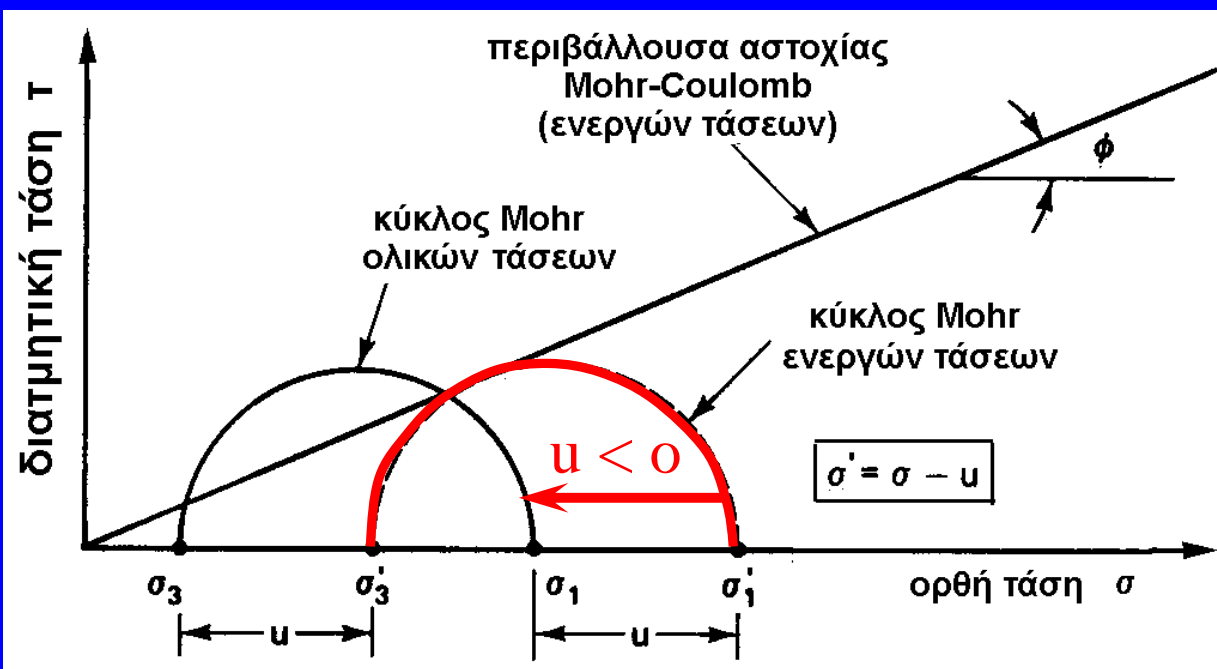


Περίπτωση θετικής υπερπίεσης πόρων ( $u$ ):

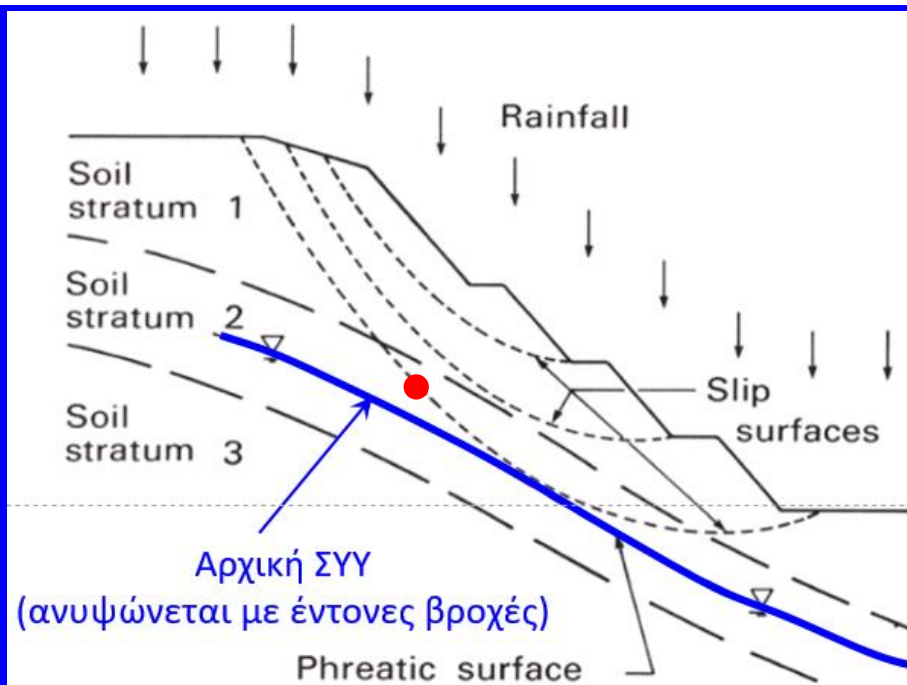
Εάν η υπερπίεση πόρων μειωθεί με την πάροδο του χρόνου (τείνοντας να μηδενισθεί), αυξάνει η ασφάλεια έναντι αστοχίας (ο κύκλος των ενεργών τάσεων κινείται προς τα δεξιά και απομακρύνεται από την αστοχία)

Παράδειγμα : Αύξηση της αντοχής εμπτηγνυόμενων πασσάλων με την πάροδο του χρόνου

# Το κριτήριο αστοχίας εκφράζεται ως προς τις ενεργές τάσεις



Περίπτωση αρνητικής υπερπίεσης πόρων ( $u$ ) :  
Εάν η αρνητική υπερπίεση πόρων αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου (τείνοντας να μηδενισθεί), μειώνεται η ασφάλεια έναντι αστοχίας (ο κύκλος των ενεργών τάσεων κινείται προς τα αριστερά και πλησιάζει στην αστοχία)



Αστοχία λόγω αύξησης των αρνητικών πιέσεων πόρων:  $u < 0 \rightarrow 0$



Παράδειγμα : Χρονική υστέρηση της αστοχίας πρσανών ορυγμάτων σε στιφρές αργίλους λόγω καθυστέρησης της «κατείσδυσης» των ομβρίων υδάτων