



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

« ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Ι - Τμήμα 2 (Μ-Ω) »

4^ο ΕΞ. ΠΟΛ-ΜΗΧ. ΕΜΠ - Ακαδ. Έτος 2020 - 21

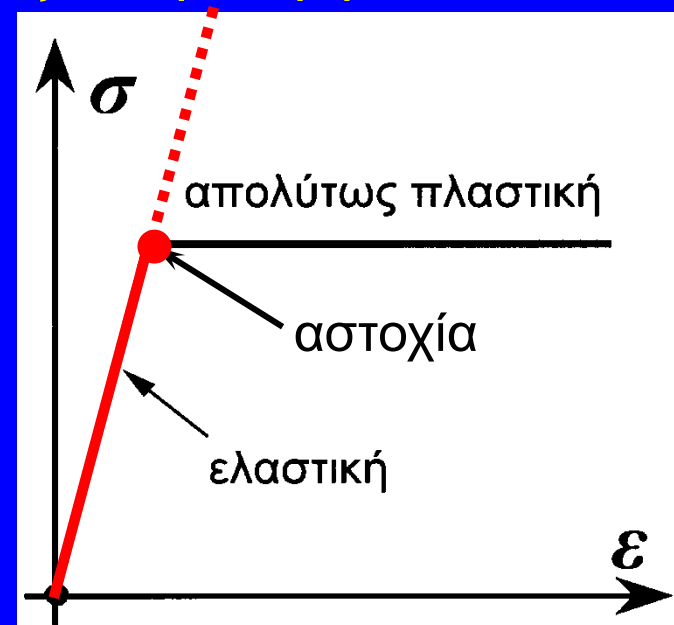
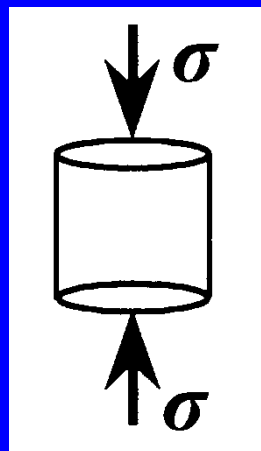
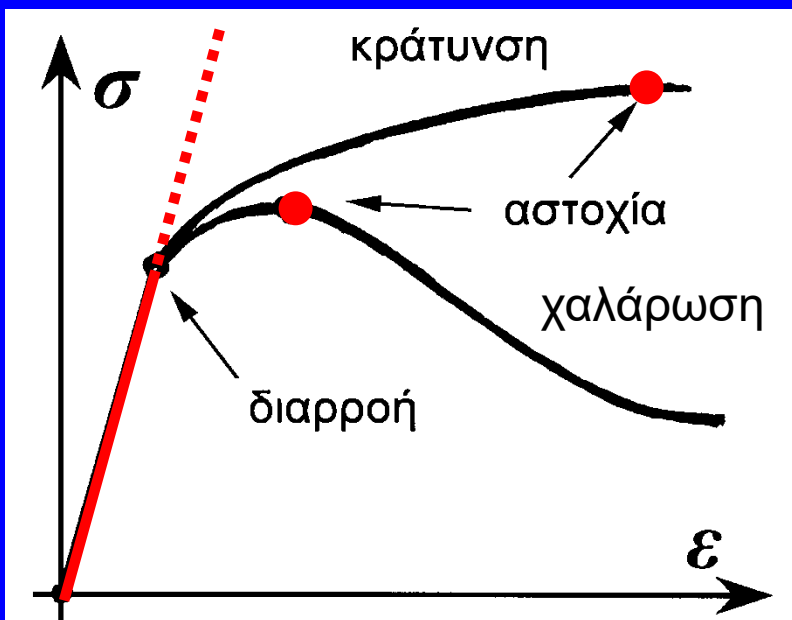
ΔΙΑΛΕΞΗ 9 – Μέρος 3

**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
& ΦΟΡΤΙΣΗ ΥΠΟ ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

12.05.2021

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Παράδειγμα : Φόρτιση σε μονοαξονική θλίψη

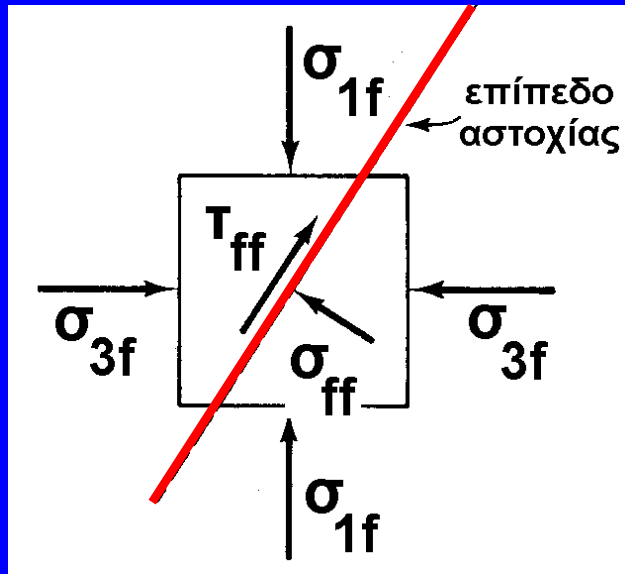


- Στα αρχικά στάδια της φόρτισης, όλα τα υλικά παρουσιάζουν γραμμικώς ελαστική συμπεριφορά
- Σε μεγαλύτερες τάσεις η συμπεριφορά γίνεται μη-γραμμική (διαρροή), και τελικώς ορισμένοι συνδυασμοί τάσεων οδηγούν σε αστοχία

Αστοχία : Η κατάσταση κατά την οποία το έδαφος έχει φθάσει την αντοχή του (παραμόρφωση ίση ή μεγαλύτερη της αντοχής). Το έδαφος δεν μπορεί να αναλάβει μεγαλύτερες τάσεις.

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Γενίκευση του νόμου της τριβής σε πολυδιάστατη εντατική κατάσταση :



Ένα εδαφικό στοιχείο αστοχεί αν σε κάποιο επίπεδο (επίπεδο αστοχίας) ισχύει :

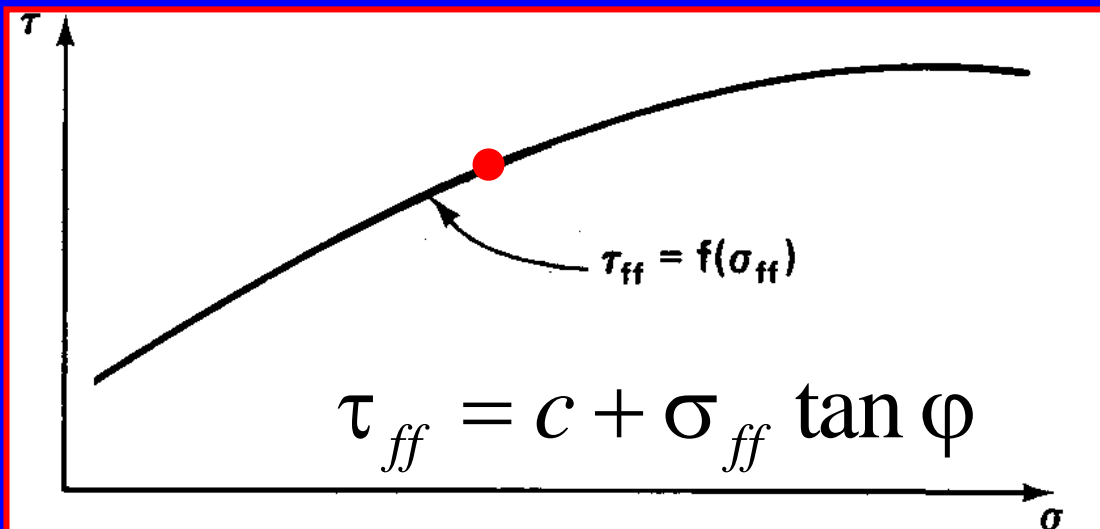
$$\tau_{ff} = c + \sigma_{ff} \tan \varphi$$

ενώ σε οποιοδήποτε άλλο επίπεδο ισχύει :

$$\tau < c + \sigma \tan \varphi$$

(σ, τ) = τάσεις σε ένα τυχαίο επίπεδο

(σ_{ff}, τ_{ff}) = τάσεις στο επίπεδο αστοχίας



Σημ: Η περίπτωση:

$$\tau > c + \sigma \tan \varphi$$

δεν υπάρχει, καθώς το υλικό θα έχει αστοχήσει όταν:

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

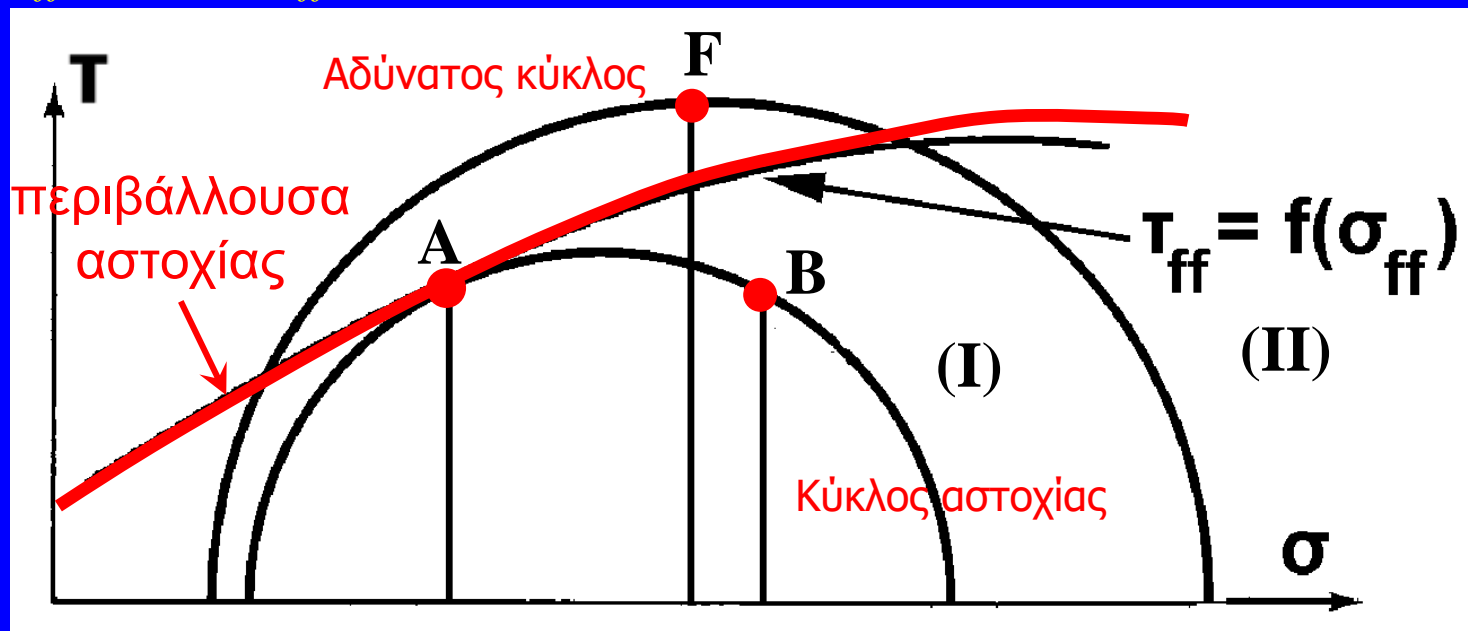
Κριτήριο αστοχίας Mohr – Coulomb

Ένα εδαφικό στοιχείο αστοχεί αν σε κάποιο επίπεδο (α-α) ισχύει :

$$\tau_{ff} = c + \sigma_{ff} \tan \varphi$$

ενώ σε οποιοδήποτε άλλο επίπεδο ισχύει : $\tau < c + \sigma \tan \varphi$

Το επίπεδο αστοχίας (α-α) είναι το σημείο επαφής του κύκλου Mohr με την ευθεία $\tau_{ff} = c + \sigma_{ff} \tan \varphi \rightarrow$ περιβάλλουσα αστοχίας



Στο σημείο A : $\tau = c + \sigma \tan \varphi$

Στο σημείο B : $\tau < c + \sigma \tan \varphi$

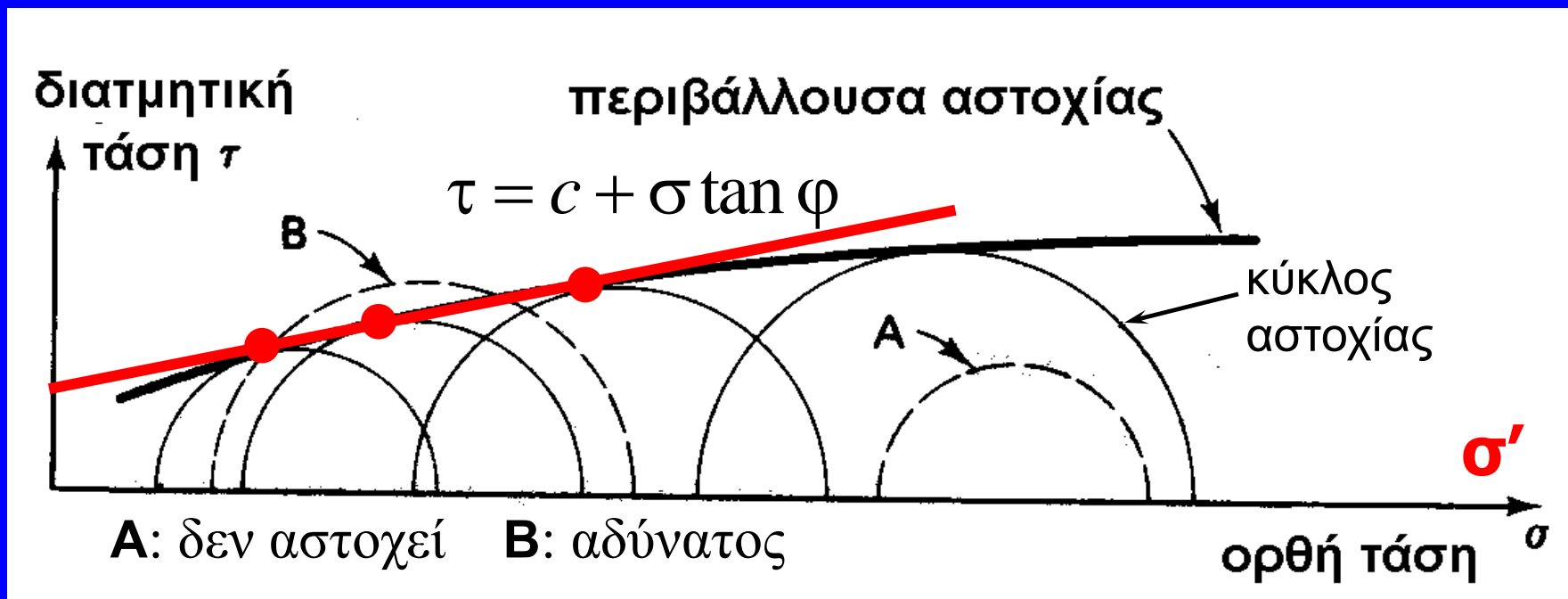
Στο σημείο F : $\tau > c + \sigma \tan \varphi$

} Ο κύκλος (I) αστοχεί

Ο κύκλος (II) δεν μπορεί να συμβεί

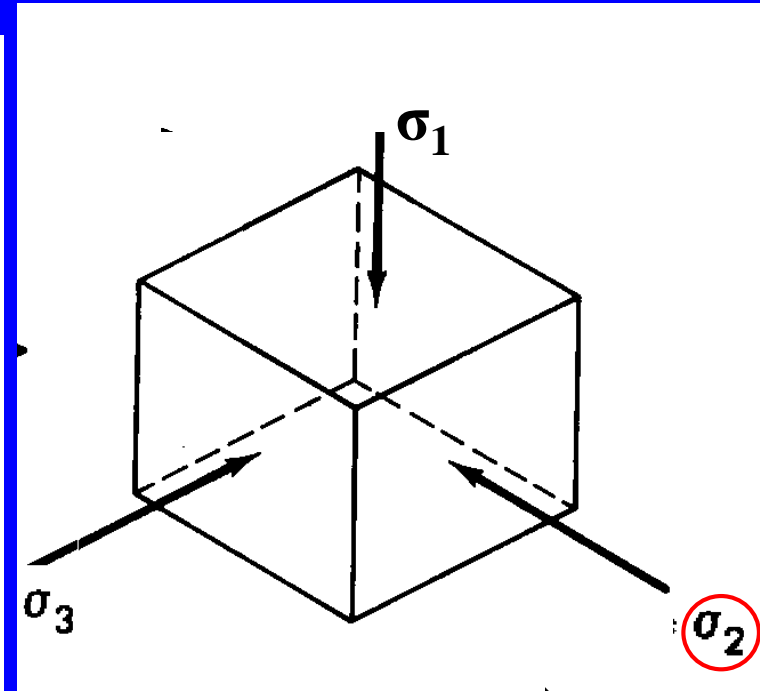
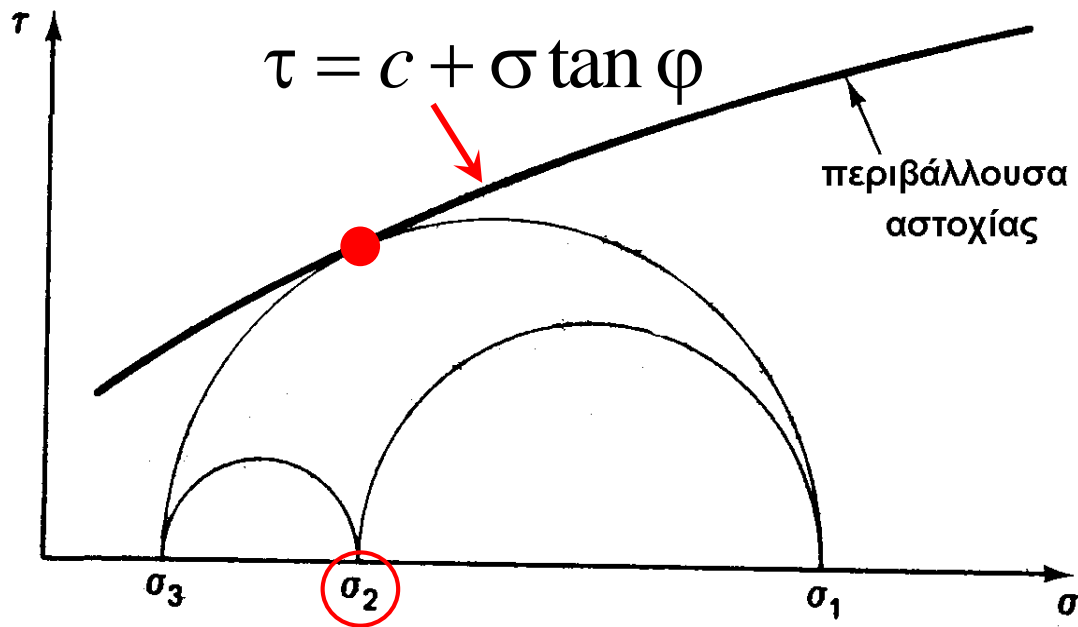
Κριτήριο αστοχίας Mohr – Coulomb

- Η καμπύλη $\tau_{ff} = f(\sigma_{ff})$ είναι ιδιότητα του υλικού και ονομάζεται περιβάλλουσα αστοχίας
- Τα κριτήρια αστοχίας καθορίζουν το σχήμα και την θέση της περιβάλλουσας αστοχίας για κάθε υλικό
- Το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb ορίζει ως περιβάλλουσα αστοχίας την ευθεία γραμμή : $\tau = c + \sigma \tan \varphi$ που ορίζεται από δύο παραμέτρους : $c =$ συνοχή , $\varphi =$ γωνία τριβής
- Η περιβάλλουσα αστοχίας ορίζεται ως προς τις ενεργές τάσεις



Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb

Το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb δεν εξαρτάται από την ενδιάμεση κύρια τάση σ_2



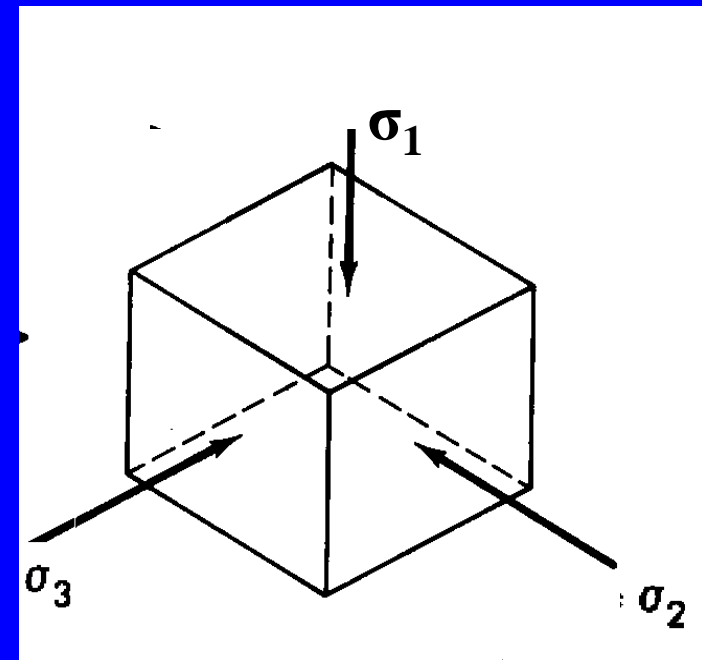
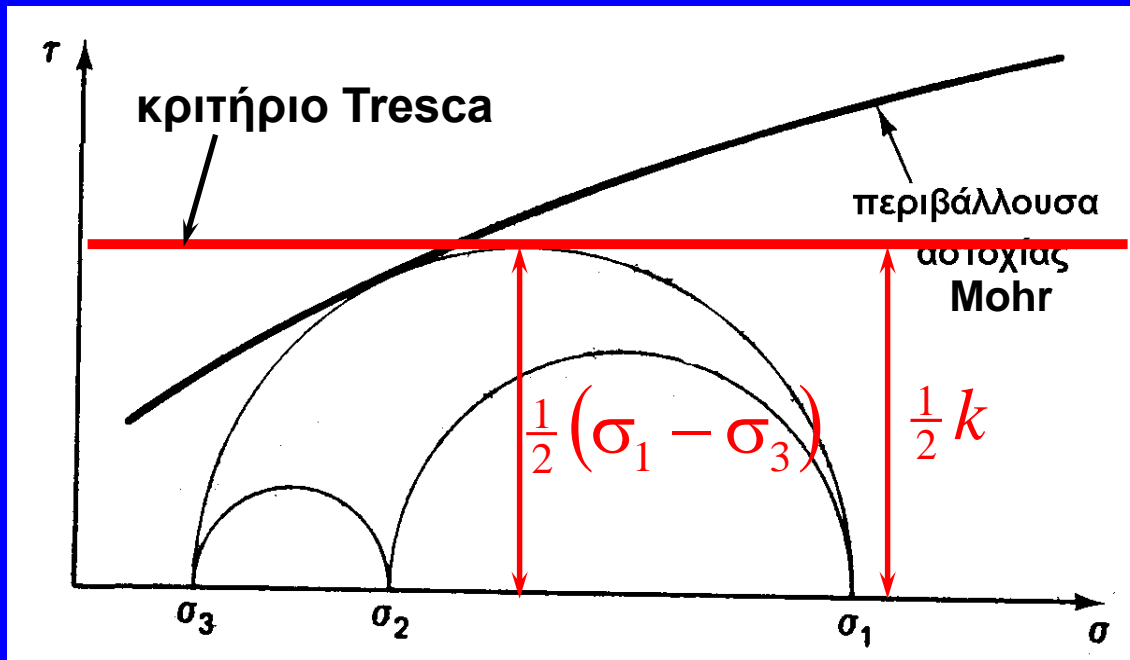
Άλλα κριτήρια αστοχίας (με εφαρμογή κυρίως στα μέταλλα)

1. Κριτήριο μέγιστης διατμητικής τάσης (Tresca) : $\sigma_1 - \sigma_3 = k$

2. Γενικευμένο κριτήριο μέγιστης διατμητικής τάσης (Mises) :

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2k^2$$

Στα ανωτέρω κριτήρια, η αστοχία δεν εξαρτάται από την ορθή τάση (σ), δηλαδή τα κριτήρια αυτά δεν έχουν τα χαρακτηριστικά του νόμου τριβής. Συνεπώς δεν εφαρμόζονται στα εδαφικά υλικά.



Η τριαξονική δοκιμή



Τοποθέτηση του δοκιμίου στη βάση της κυψέλης



Τοποθέτηση της μεμβράνης, της κεφαλής και των σφραγιστικών ελαστικών δακτυλίων

Τριαξονική δοκιμή



Πλήρωση της κυψέλης με νερό



Μέτρηση του
αξονικού φορτίου P
 $\sigma_1 = \sigma_3 + P/A$

Μέτρηση της
βράχυνσης
(παραμόρφωσης)
του δοκιμίου

Βαλβίδα στράγγισης

Ανοικτή: $u = \text{σταθ.}$
Όγκος δοκιμίου
μεταβλητός

Κλειστή: $u = \text{μεταβλ.}$
όγκος δοκιμίου = σταθ

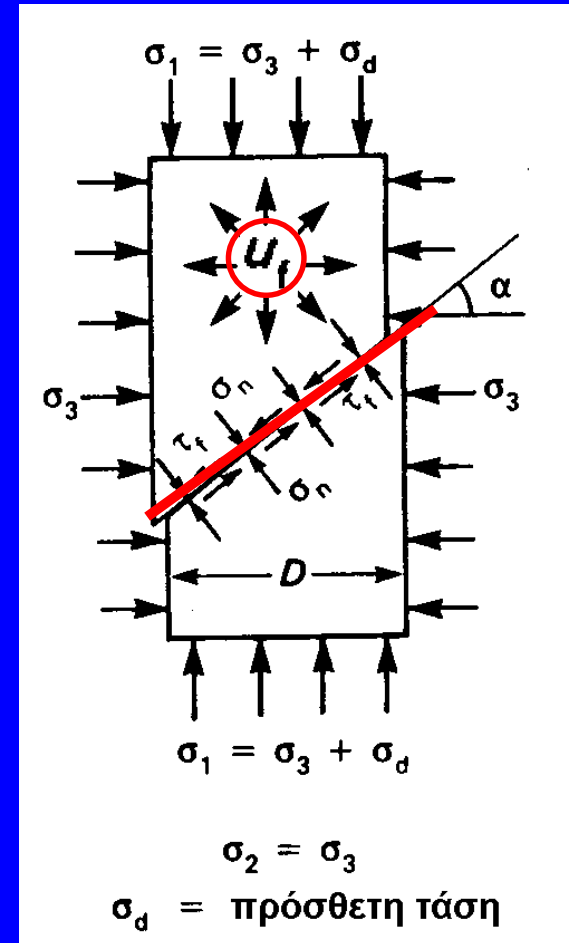
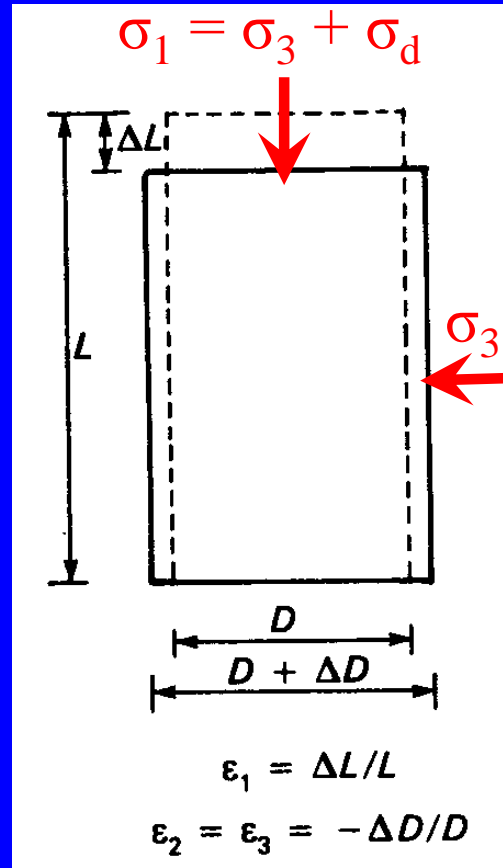
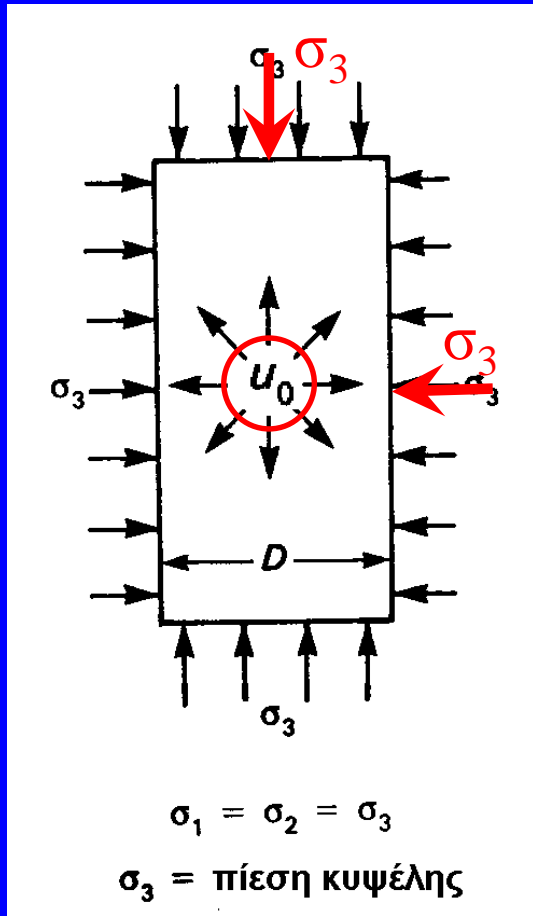
Φόρτιση του δοκιμίου
με ανύψωση της βάσης

Εκτέλεση της δοκιμής:

1. Αύξηση της πίεσης του νερού της κυψέλης: $\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma_c$
2. Αύξηση του σ_1 μέσω του κατακόρυφου εμβόλου

Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας με την τριαξονική δοκιμή

$$\tau_{ff} = c + \sigma_{ff} \tan \varphi$$



1. Επιβολή ομοιόμορφης πίεσης ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$)

2. Αύξηση της κατακόρυφης τάσης μέχρι την αστοχία του δοκιμίου

Αναλόγως των συνθηκών στράγγισης (ανοικτή ή κλειστή βαλβίδα), μπορεί να μεταβάλλεται η πίεση πόρων κατά τη διάρκεια της δοκιμής ($u_o \rightarrow u_f$)

Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας με την τριαξονική δοκιμή

Ενεργές τάσεις:

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

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

Βαλβίδα στράγγισης:

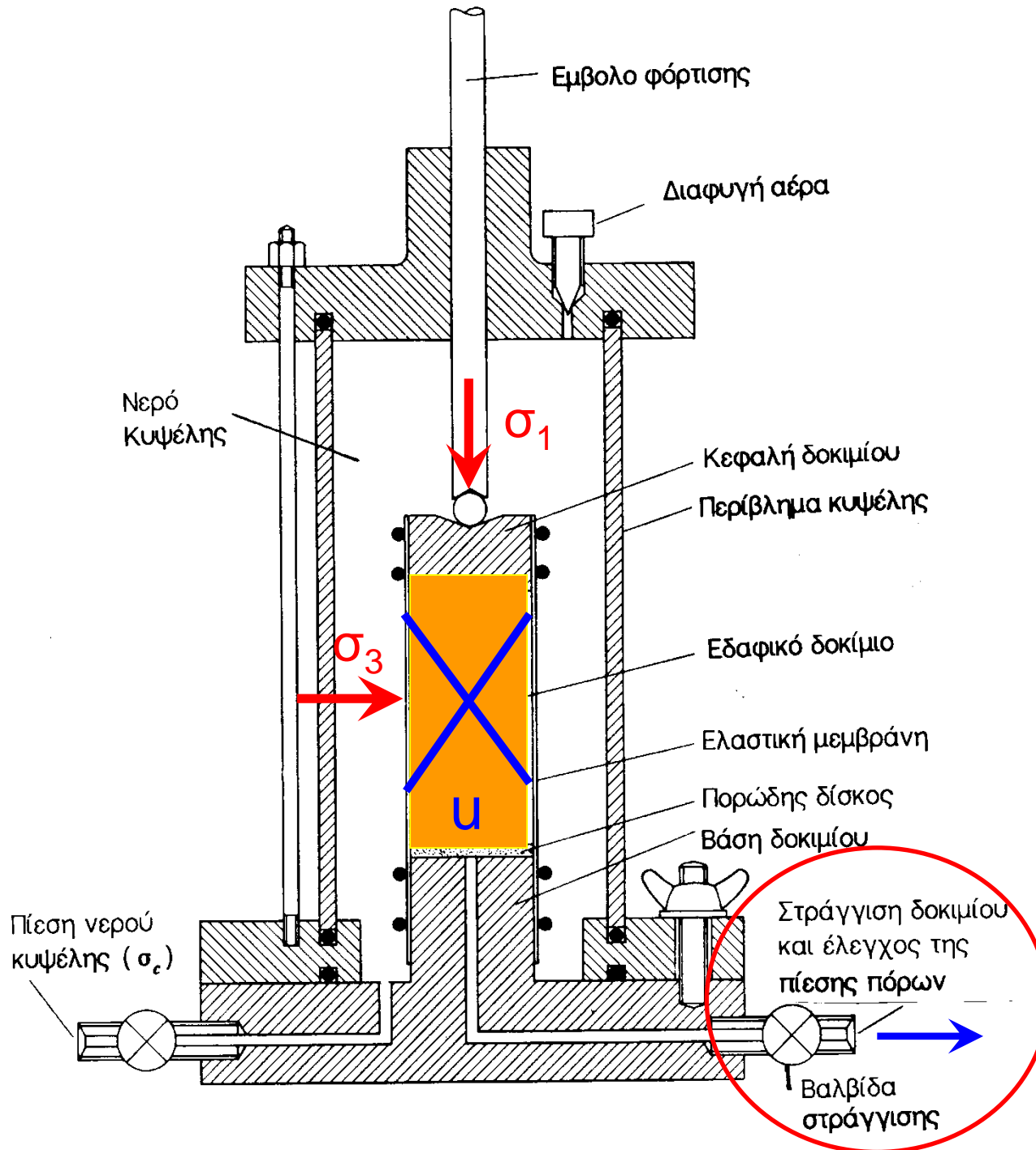
Ανοικτή: $u = \text{σταθ.}$

Όγκος δοκιμίου μεταβλητός

Κλειστή: $u = \text{μεταβλ.}$

όγκος δοκιμίου = σταθ

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

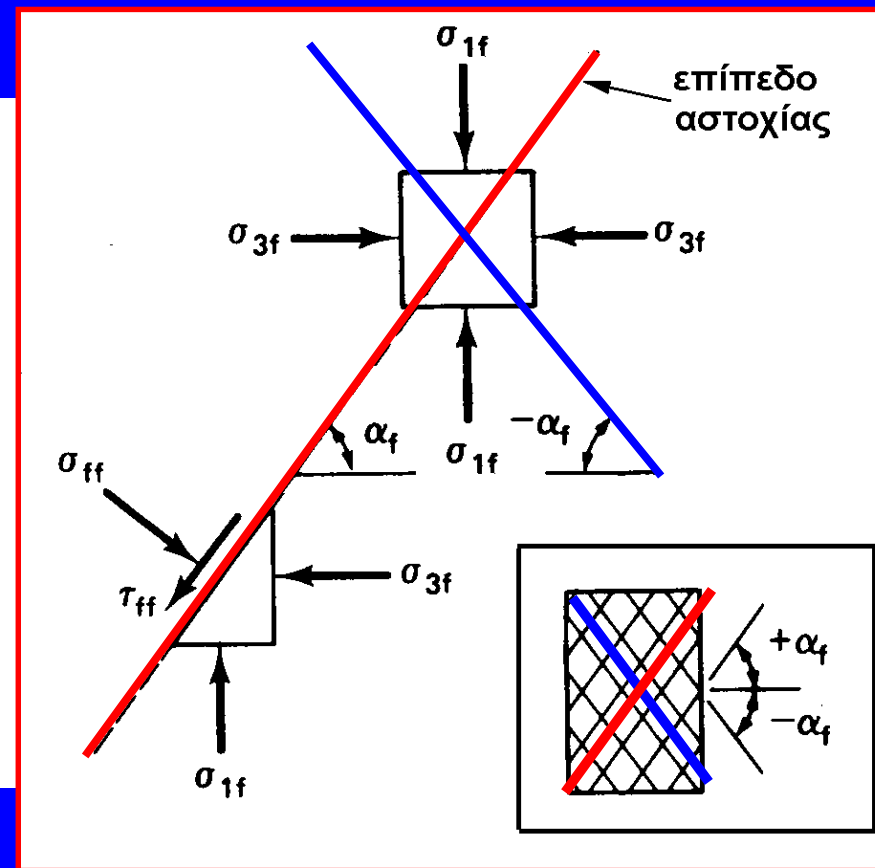
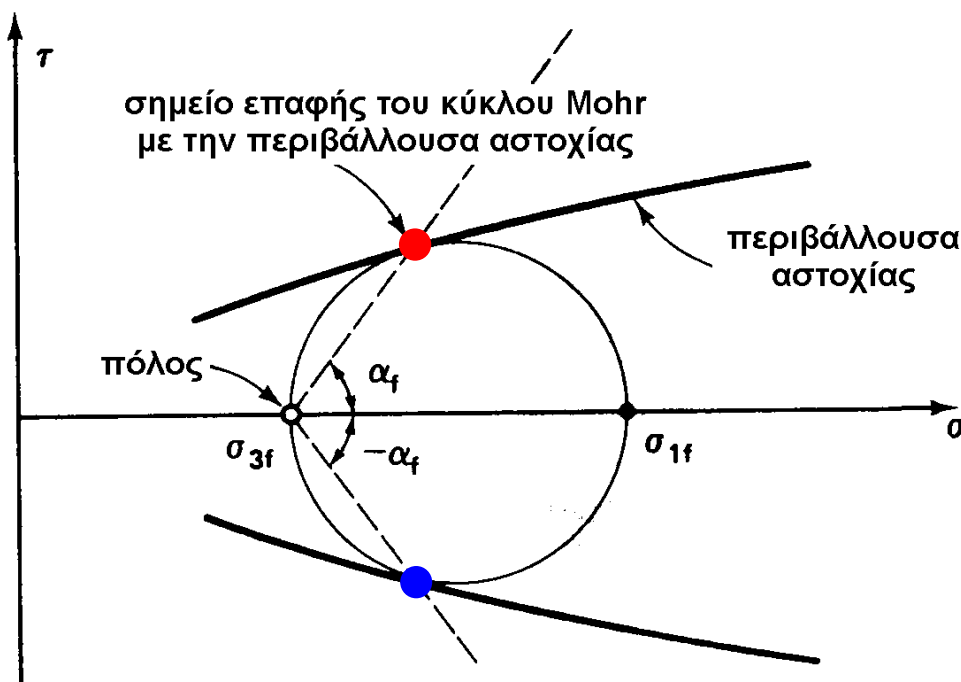


Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb

- Ένα εδαφικό στοιχείο αστοχεί αν ο κύκλος Mohr εφάπτεται στην περιβάλλουσα αστοχίας : $\tau = c + \sigma \tan \varphi$
- Το επίπεδο αστοχίας αντιστοιχεί στο σημείο επαφής του κύκλου με την περιβάλλουσα αστοχίας

$$\tau_{ff} = c + \sigma_{ff} \tan \varphi$$

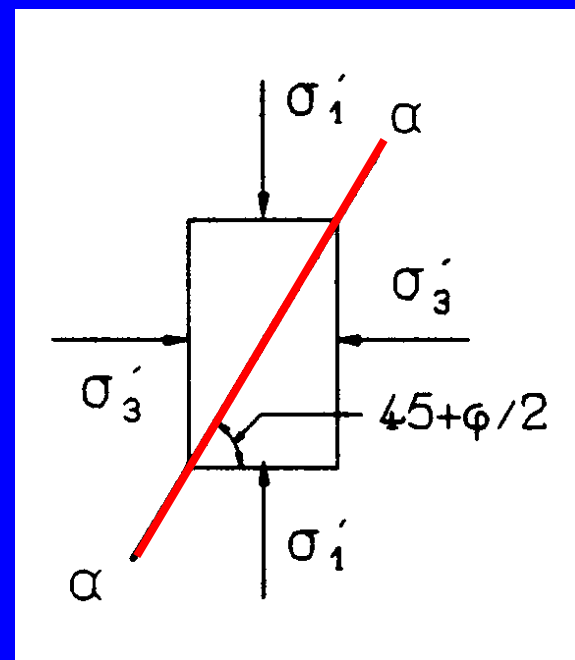
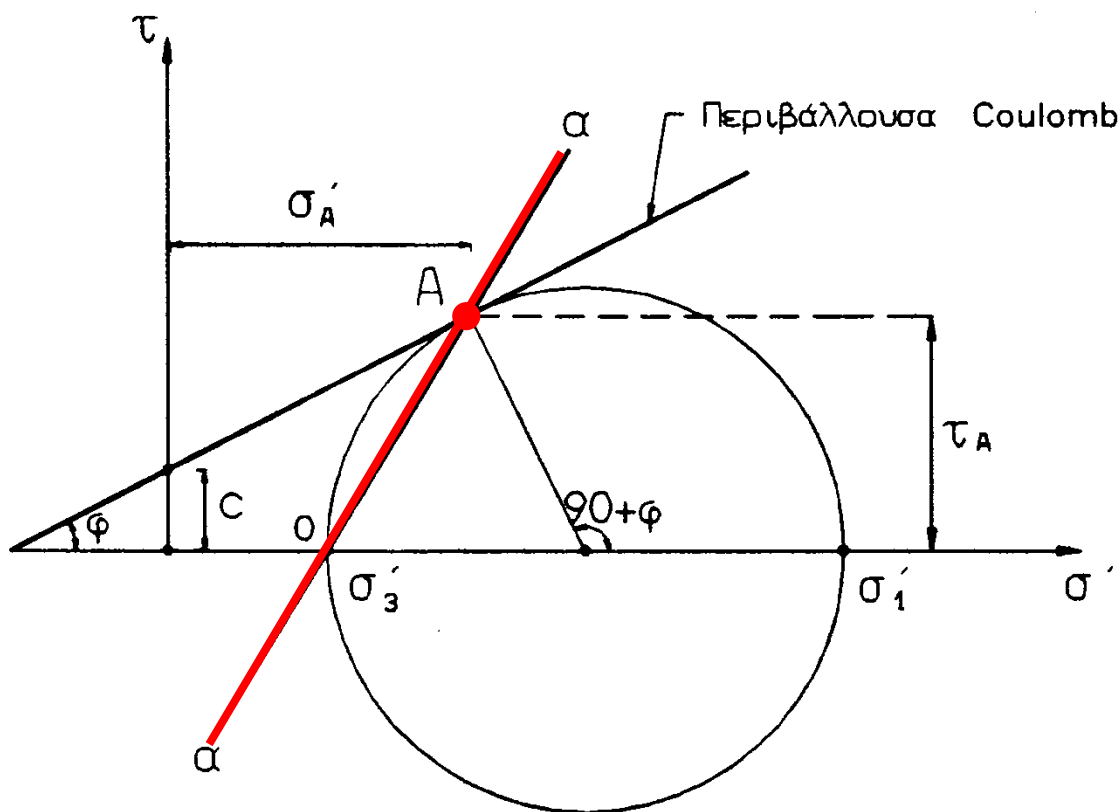
$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$



Ζεύγος επιπέδων αστοχίας κατά το κριτήριο Mohr-Coulomb

Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας με την τριαξονική δοκιμή

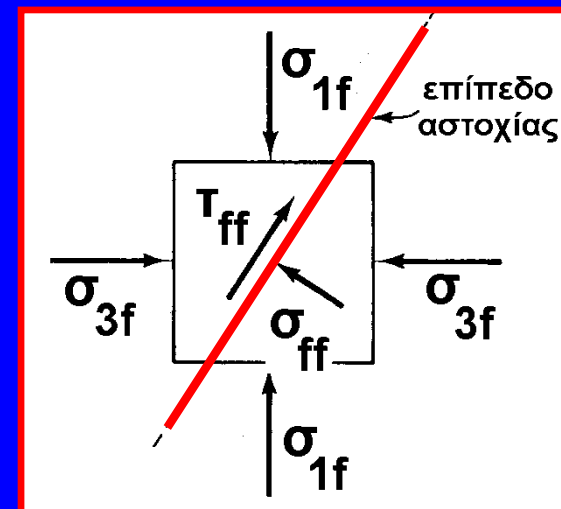
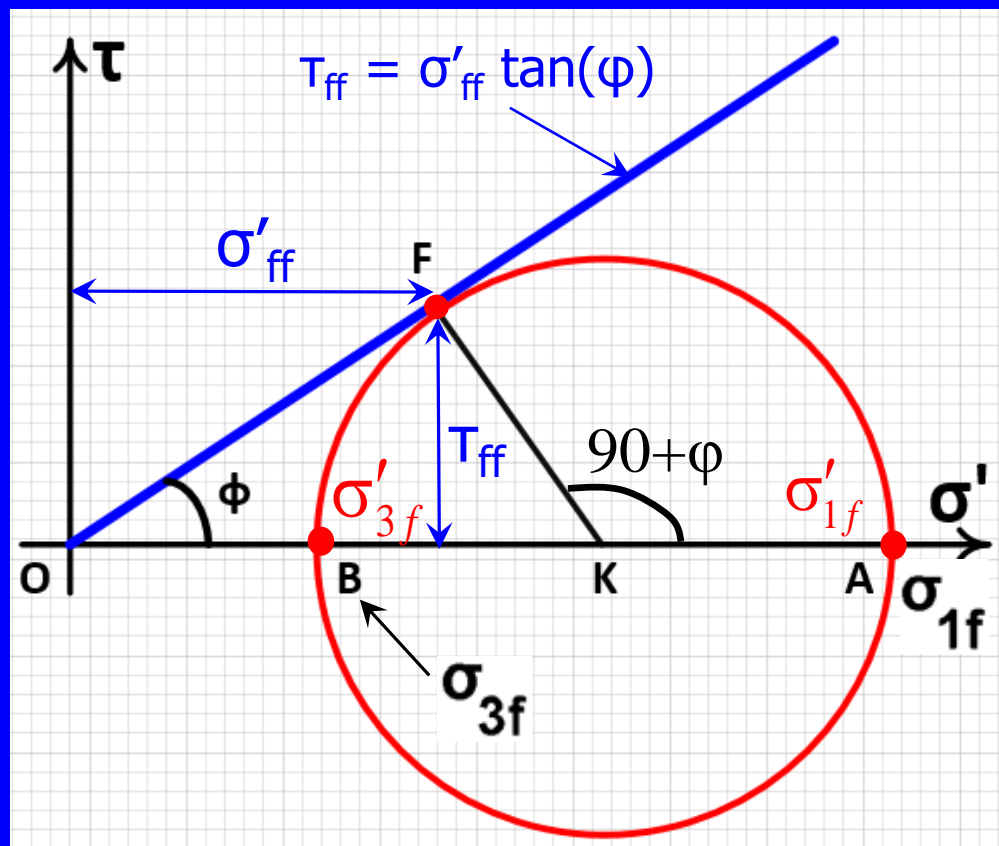
1. Ένα εδαφικό στοιχείο αστοχεί αν ο κύκλος Mohr εφάπτεται στην περιβάλλουσα αστοχίας
2. Το επίπεδο αστοχίας αντιστοιχεί στο σημείο επαφής του κύκλου με την περιβάλλουσα αστοχίας



Το επίπεδο αστοχίας σχηματίζει γωνία $45 + \phi/2$ με το επίπεδο της σ_1

Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας με την τριαξονική δοκιμή

1. Άμμος (υλικό χωρίς c) :



Μία δοκιμή αρκεί για τον προσδιορισμό της περιβάλλουσας, όταν το υλικό δεν έχει συνοχή (π.χ. άμμος)

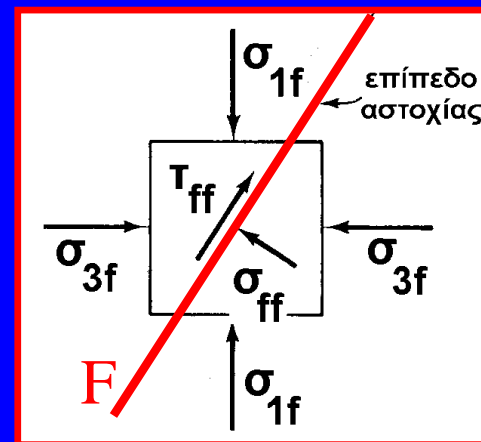
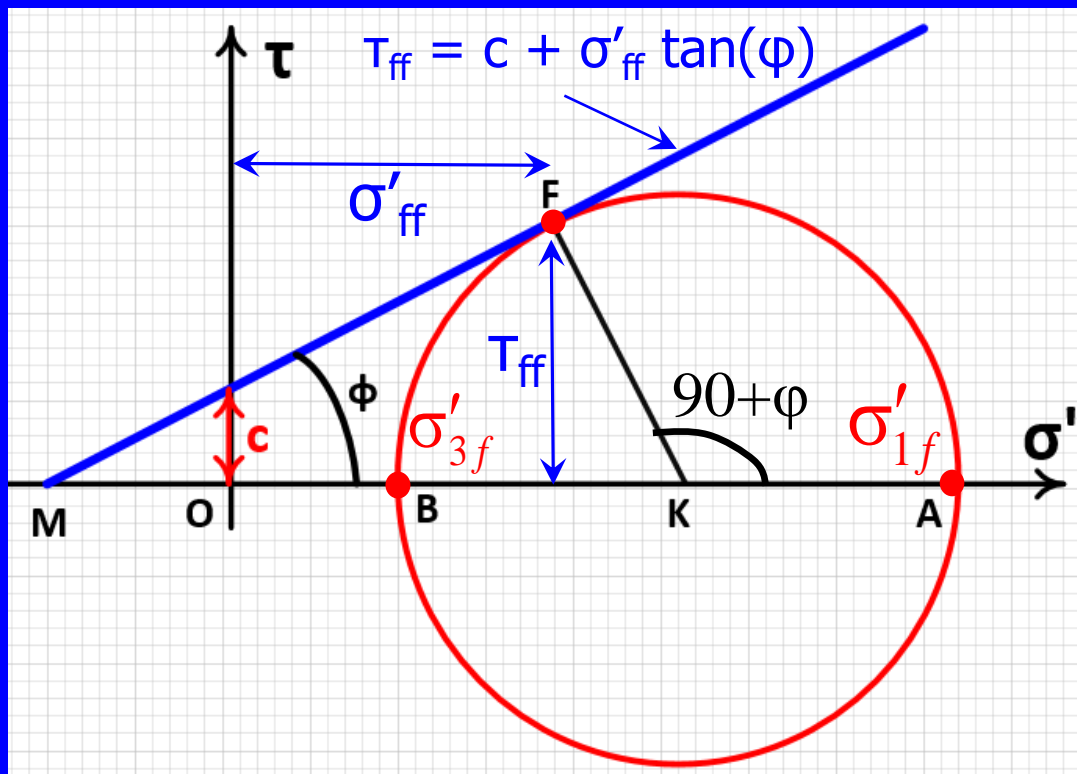
$$KF = OK \sin(\varphi) \Rightarrow \frac{(\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f})}{2} = \frac{(\sigma'_{1f} + \sigma'_{3f})}{2} \sin(\varphi) \Rightarrow$$

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

Προσοχή : Το κριτήριο αστοχίας εκφράζεται ως προς τις ενεργές τάσεις

Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας με την τριαξονική δοκιμή

2. Στιφρή άργιλος (υλικό με c) :



Η Σχέση (2) είναι ισοδύναμη με την:

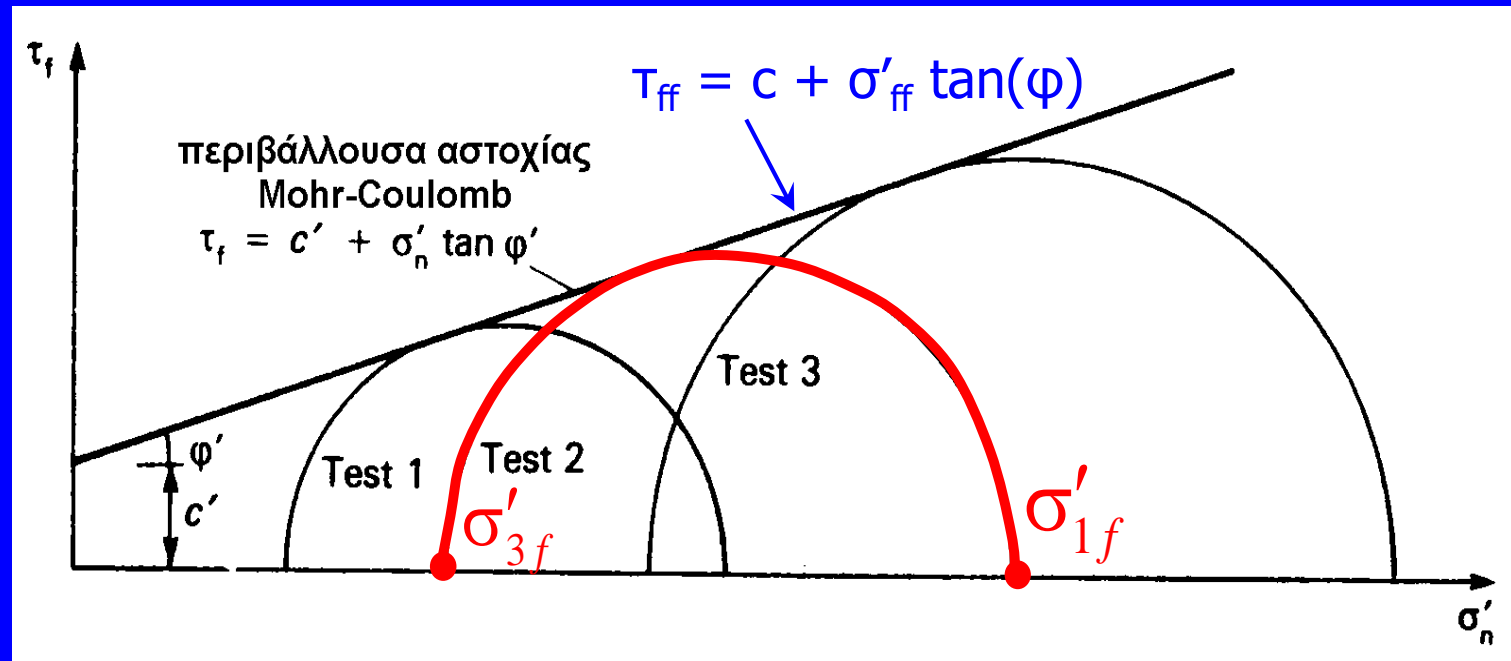
$$\tau_{ff} = c + \sigma'_{ff} \tan(\varphi) \quad \text{Σχέση (1)}$$

δηλαδή, όταν οι κύριες τάσεις (σ'_{1f} , σ'_{3f}) συνδέονται με την Σχέση (2), σε κάποιο επίπεδο (F) ισχύει η Σχέση (1)

$$KF = [MO + OK] \sin(\varphi) \Rightarrow \frac{(\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f})}{2} = \left[\frac{c}{\tan(\varphi)} + \frac{(\sigma'_{1f} + \sigma'_{3f})}{2} \right] \sin(\varphi) \Rightarrow$$

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

Προσδιορισμός της περιβάλλουσας αστοχίας με την τριαξονική δοκιμή



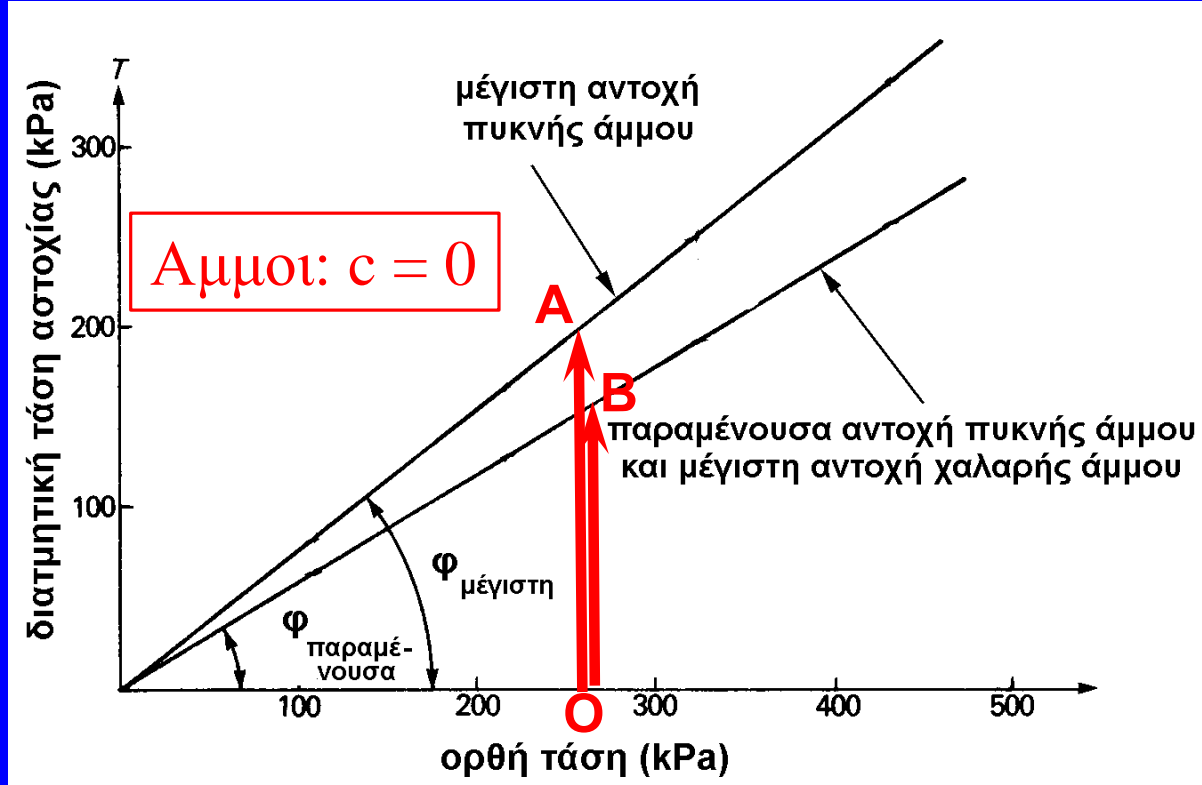
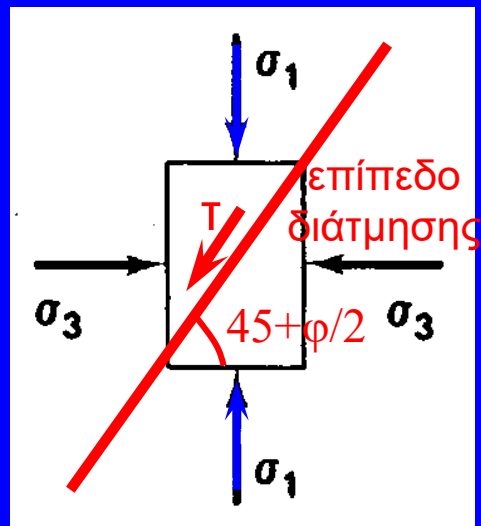
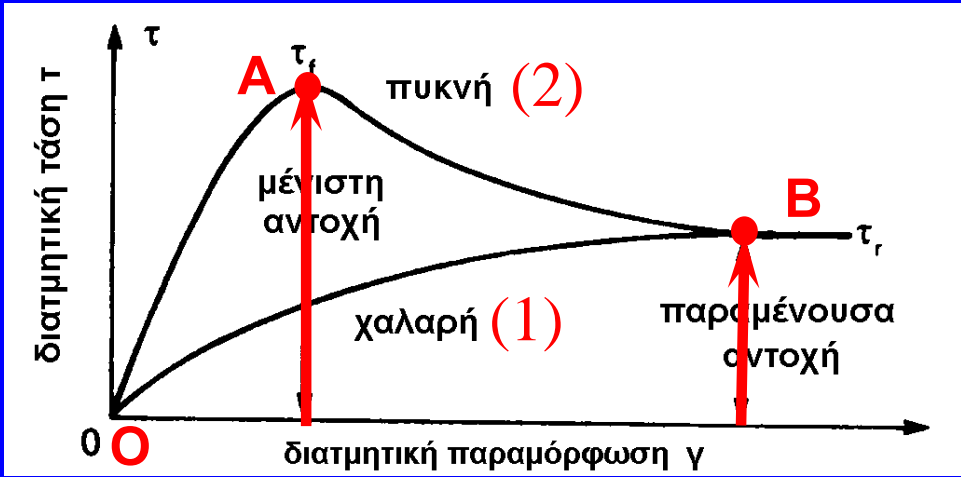
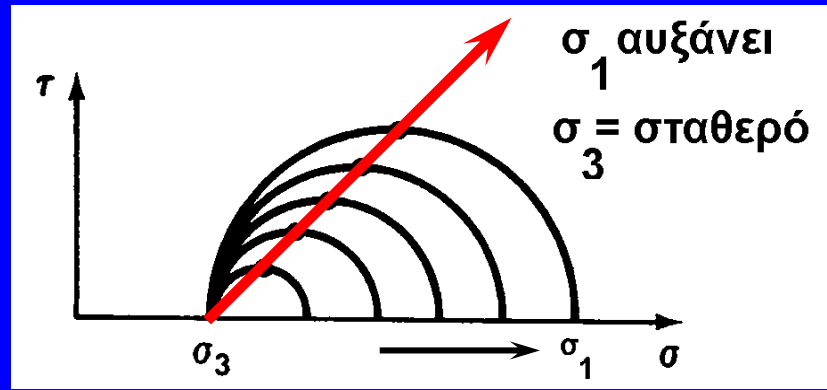
Εάν το υλικό έχει συνοχή, απαιτούνται τουλάχιστον δύο δοκιμές, για να προσδιορισθεί η κοινή εφαπτομένη στους δύο κύκλους Mohr κατά την αστοχία. Ισοδυνάμως, απαιτούνται δύο ζεύγη τιμών (σ'_{1f} , σ'_{3f}) ώστε να προσδιορισθούν τα (c , φ) με εφαρμογή της παρακάτω σχέσης:

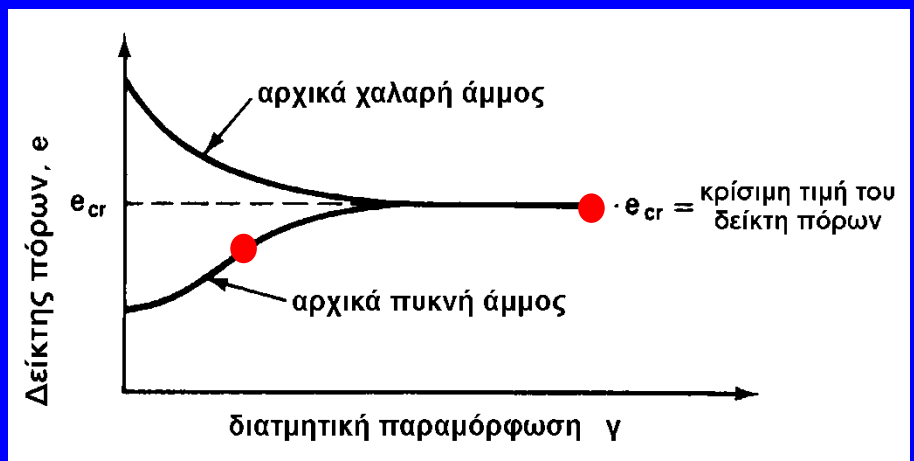
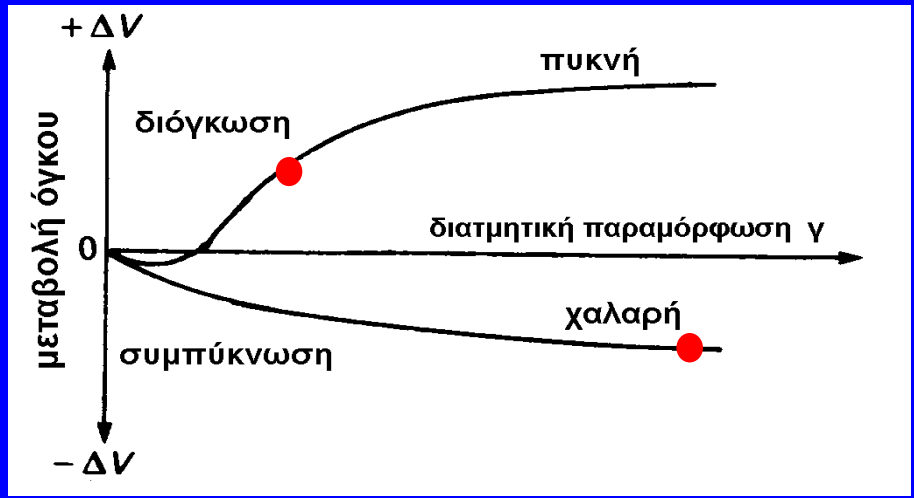
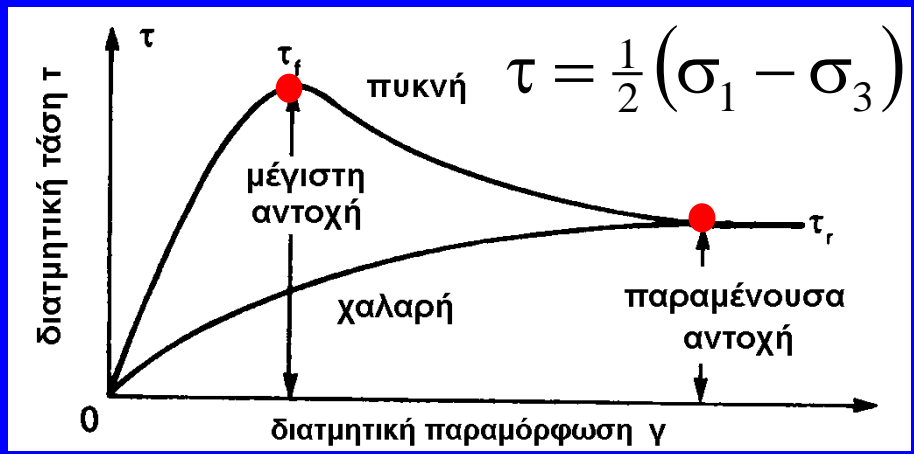
$$\sigma'_{1f} = \sigma'_{3f} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Προσοχή : Το κριτήριο αστοχίας εκφράζεται ως προς τις ενεργές τάσεις

Συμπεριφορά στο επίπεδο διάτμησης:

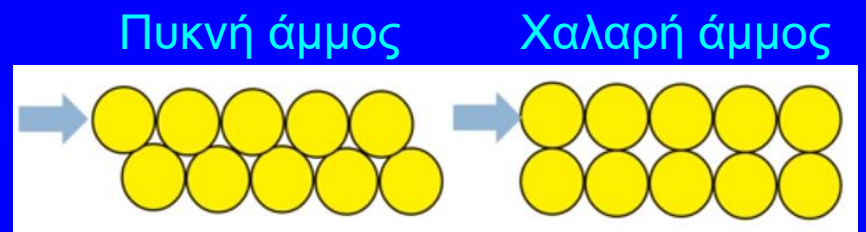
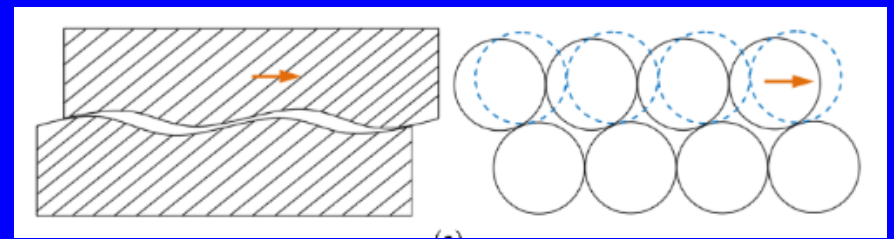
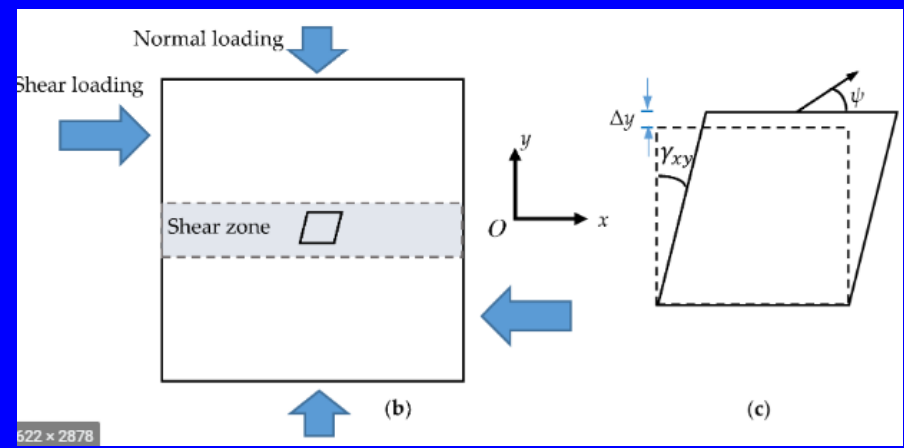
1. Χαλαρές άμμοι και μαλακές άργιλοι
2. Πυκνές άμμοι και σκληρές άργιλοι





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 : $\Phi_{\text{πυκνής}} > \Phi_{\text{χαλαρής}}$