



Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Γεωτεχνικής

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Ι

ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Β.Ν. Γεωργιάννου, Α. Ζερβός

Καθηγήτρια, Επ. Καθ. Ε.Μ.Π.

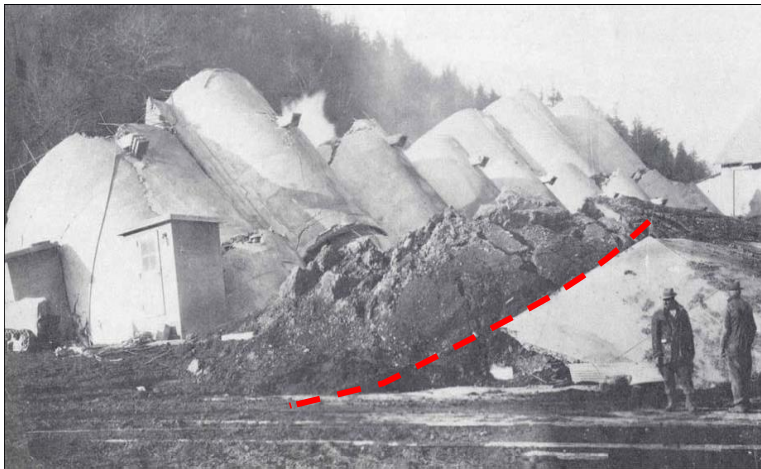
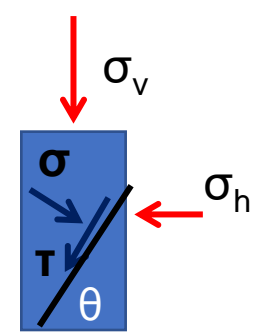
Τάσεις στο έδαφος

- 1. Τάσεις σε συνεχή μέσα
- Θεωρία ελαστικότητας
- Σχέσεις τάσεων παραμορφώσεων
- 2. Τάσεις σε ασυνεχή μέσα (έδαφος με κόκκους/πλακίδια)
- Ορθές και διατμητικές τάσεις μέσα σε εδαφικό στοιχείο λόγω επιβαλλόμενης ορθής κατακόρυφης τάσης
- Κύκλος Mohr
- 3. Υπολογισμός τάσεων που ασκούνται σε ένα εδαφικό στοιχείο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους
- 4. Η θεμελιώδης έννοια της 'ενεργού τάσης' στο έδαφος
- 5. Μέθοδος υπολογισμού κατακόρυφων ολικών τάσεων, πίεσης πόρων και κατακόρυφης ενεργού τάσης εδαφικού στοιχείου, για διάφορες συνθήκες φόρτισης στο έδαφος
- 5.1 Γεωστατικές τάσεις (λόγω βάρους υπερκειμένου εδάφους)
- 5.2 Εμποδιζόμενης πλευρικής παραμόρφωσης (λόγω εκτεταμένης ομοιόμορφης φόρτισης)
- 5.3 Επίπεδης παραμόρφωσης (λόγω φόρτισης μεγάλου μήκους σε μία διεύθυνση)
- 5.4 Τάσεις στο έδαφος λόγω σημειακού επιφανειακού φορτίου

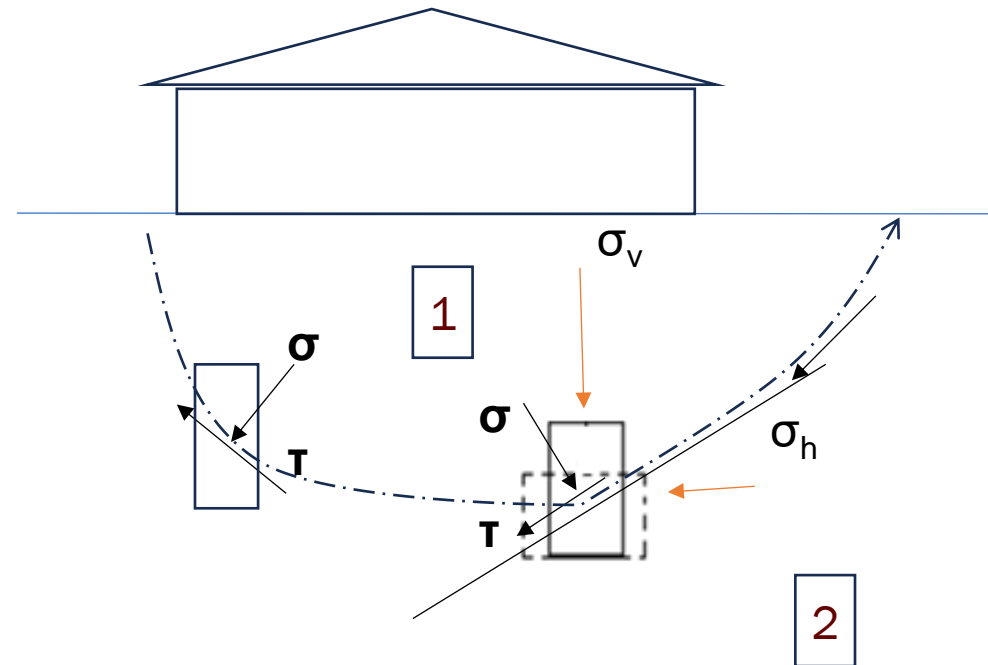
Τάσεις μέσα στο εδαφικό στοιχείο

ΚΥΚΛΟΣ ΜΟΗΡ

Γιατί μας ενδιαφέρουν οι τάσεις μέσα στο εδαφικό στοιχείο?



Εδαφική μάζα



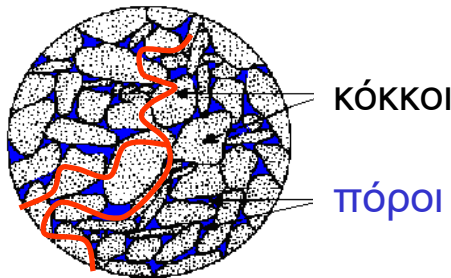
Η αστοχία γίνεται κατά μήκος μιάς επιφάνειας αστοχίας που αποτελείται από σειρά εδαφικών στοιχείων δηλ. τα εδαφικά στοιχεία που αστοχούν οριοθετούν την επιφάνεια ή τον μηχανισμό αστοχίας

Ερώτηση: (α) τα εδαφικά στοιχεία 1 & 2 αστοχούν;
(β) έχουν ορθές και διατμητικές τάσεις, σ & τ ;

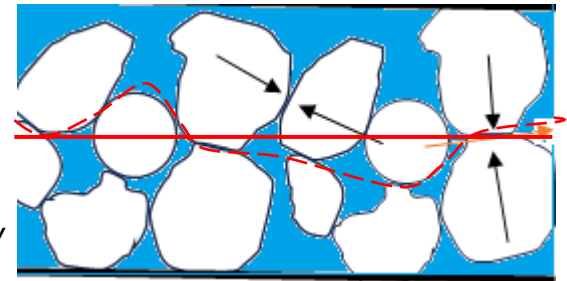
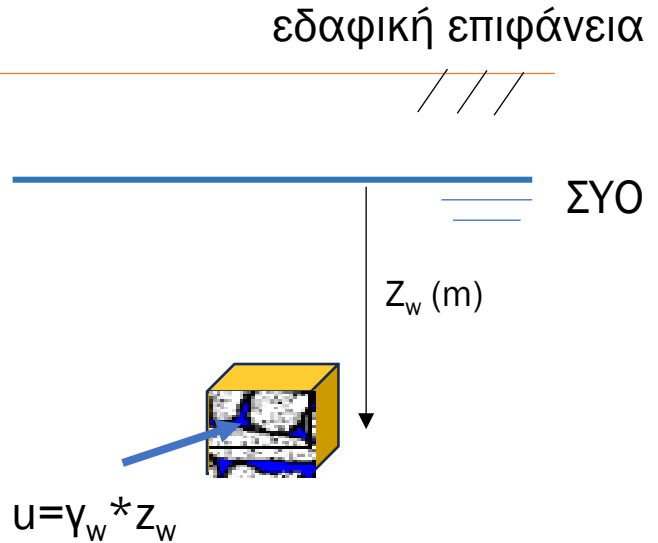
3. Πίεση του νερού των πόρων εδαφικού στοιχείου

- Στην περίπτωση κορεσμένου εδάφους υπάρχει επικοινωνία του νερού που γεμίζει τους πόρους του εδάφους.
- Στην περίπτωση που ο υδροφόρος ορίζοντας είναι οριζόντιος, άρα δεν υπάρχει ροή, η πίεση του νερού των πόρων σε ένα σημείο κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα μπορεί να καθοριστεί από την υδροστατική πίεση.
- Η πίεση του νερού των πόρων στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (ΣΥΟ) είναι μηδέν.

Στο Σχήμα, η πίεση του νερού των πόρων δίνεται από την υδροστατική πίεση



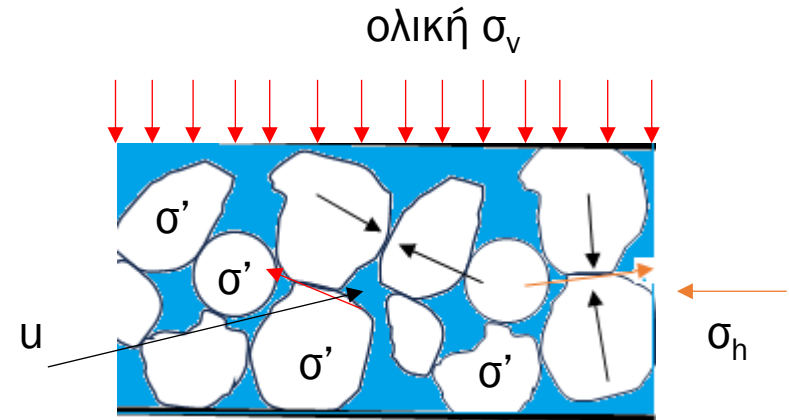
Είδαμε: Ο εδαφικός σκελετός παραλαμβάνει τα εξωτερικά φορτία ως τάση θεωρώντας ότι η κυματοειδής επιφάνεια (διακεκομμένη γραμμή) που περνά μέσα από τις επαφές των κόκκων προσεγγίζεται από ένα επίπεδο (συνεχής γραμμή)



Η πίεση του νερού ασκείται επίσης στο ίδιο επίπεδο, θεωρώντας ότι οι επιφάνειες επαφής των κόκκων είναι πολύ μικρες

4. Η θεμελιώδης έννοια της ‘ενεργού τάσης’ στο έδαφος

- Είδαμε ότι μια μάζα εδάφους αποτελείται από ένα σύνολο σωματιδίων με κενά μεταξύ τους. Αυτά τα κενά είναι πληρωμένα με νερό, αέρα και νερό, ή μόνο αέρα.
- Προς το παρόν, θα εξεταστούν μόνο τα κορεσμένα εδάφη.
- Ένα φορτίο που εφαρμόζεται σε κορεσμένο έδαφος, θα μοιράζεται μεταξύ του νερού που βρίσκεται στα κενά του εδάφους (προκαλώντας αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων) και του εδαφικού σκελετού (με τη μορφή τάσεων επαφής μεταξύ των κόκκων). Η μοιρασιά εξαρτάται από τις συνθήκες φόρτισης όπως θα δούμε στη συνέχεια.
- Το τμήμα της συνολικής τάσης που φέρει ο εδαφικός σκελετός είναι γνωστό ως ενεργός τάση, $\sigma' = \sigma - u$ (Terzaghi, 1925, 1936).
- Η ενεργός τάση καθορίζει την αντοχή του εδάφους κατά τη φόρτισή του και όχι η πίεση του νερού π.χ. για φορτίο $\sigma=500\text{kPa}$ & $u=300\text{kPa}$ και για φορτίο 300kPa & $u=100\text{kPa}$ το έδαφος έχει την ίδια ενεργό τάση άρα και αντοχή.

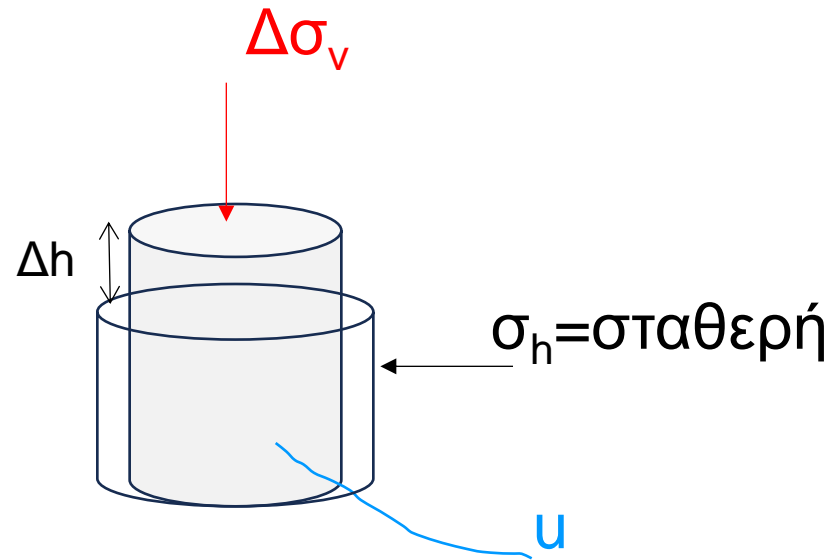
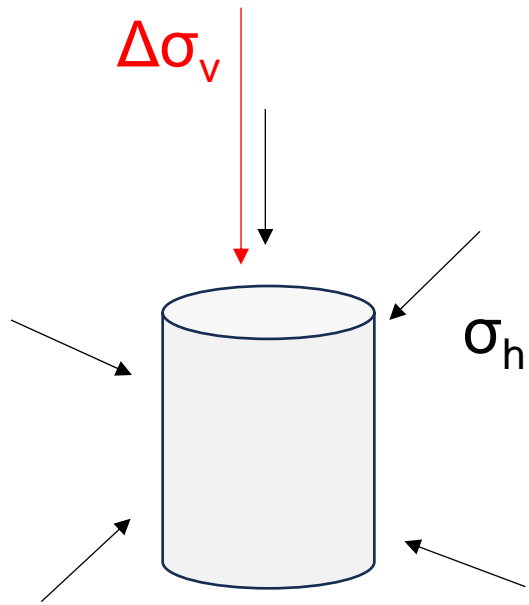


$$\sigma'_v = \sigma_v - u$$

Αν υπάρχει και σ_h πάλι τμήμα της θα παραληφθεί από τον εδαφικό σκελετό.

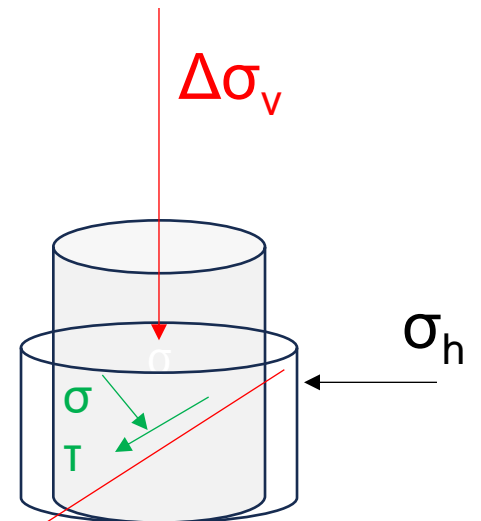
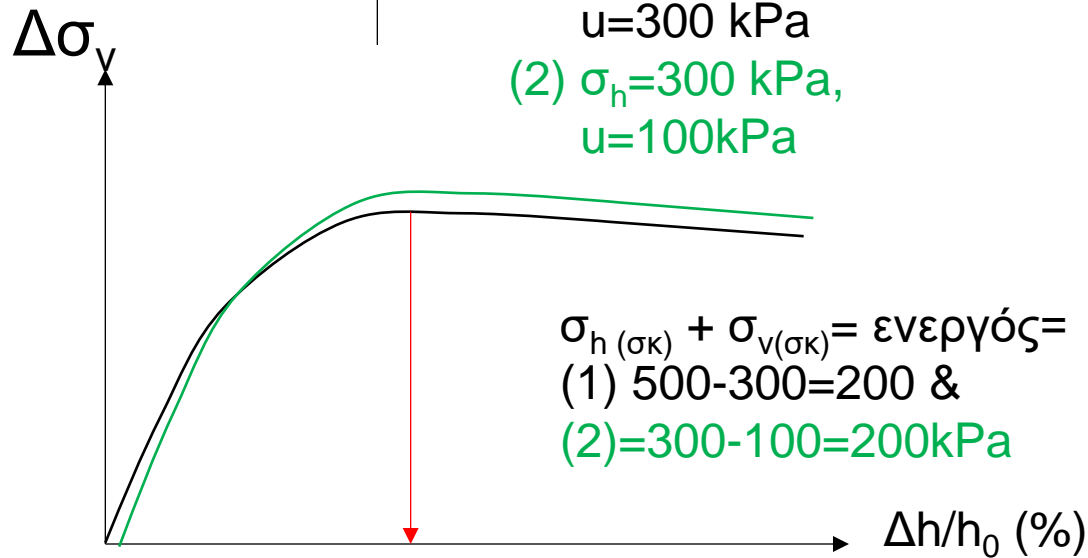
$$\sigma'_h = \sigma_h - u$$

Σε τυχαίο επίπεδο ο εδαφικός σκελετός θα παραλάβει $\sigma' = \sigma - u$ και T γιατί το νερό δεν παραλαμβάνει διάτμηση

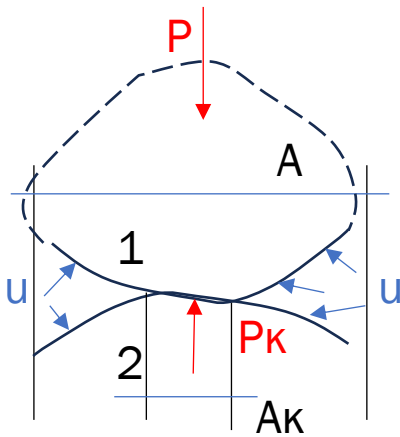


(1) $\sigma_h = 500 \text{ kPa (kN/m}^2\text{)}$,
 $u = 300 \text{ kPa}$

(2) $\sigma_h = 300 \text{ kPa}$,
 $u = 100 \text{ kPa}$



Ενεργός τάση-κορεσμένα εδάφη



Θεωρούμε 2 κόκκους σε επαφή επιφάνειας A_{κ} και A την συνολική επιφάνεια παράλληλη στην επιφάνεια επαφής.

εξ. ισορροπίας: $P = P_{\kappa} + (A - A_{\kappa}) * u$ (1)

μέση τάση εδαφικού σκελετού: $\sigma_{\sigma\kappa} = P_{\kappa} / A$

(1): $P / A = P_{\kappa} / A + (1 - A_{\kappa} / A) * u$

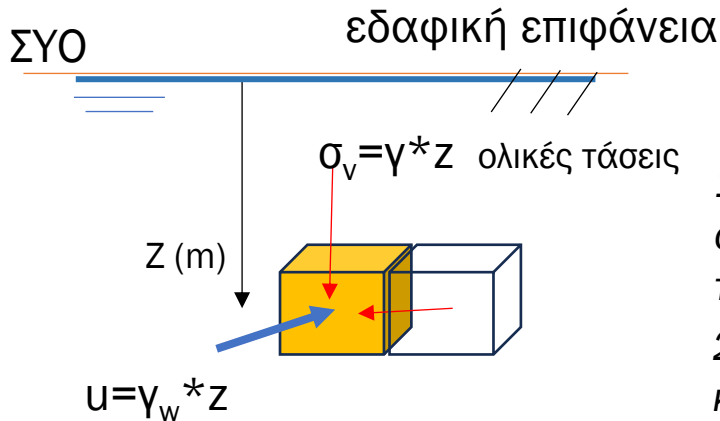
$$\sigma = \sigma_{\sigma\kappa} + (1 - A_{\kappa} / A) * u = \sigma_{\sigma\kappa} + u \quad \text{ή} \quad \sigma_{\sigma\kappa} = \sigma - u$$

θεωρώντας ότι οι επιφάνειες επαφής των κόκκων είναι πολύ μικρές

Άρα η ενεργός τάση όπως ορίστηκε από τον Terzaghi είναι ίση με την τάση που αναλαμβάνει ο εδαφικός σκελετός. ΠΡΟΣΟΧΗ: σε κορεσμένα εδάφη

5. Γεωστατικές τάσεις (λόγω βάρους υπερκειμένου εδάφους χωρίς εξωτερική φόρτιση)

- Είδαμε ότι πολλά εδάφη σχηματίστηκαν με απόθεση των κόκκων σε ωκεανούς και πεδιάδες (ιζηματογενή) όπου καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση.
- Σε κάθε βάθος το έδαφος μεταφέρει το βάρος του εδάφους που βρίσκεται πάνω από αυτό το βάθος και το βάρος του νερού εφόσον δεν υπάρχει άλλο φορτίο στην επιφάνεια.
- Για οριζόντιο υδροφόρο ορίζοντα η πίεση του νερού είναι υδροστατική καθώς το νερό παραμένει στατικό δηλ. δεν κινείται μέσα στο έδαφος. Για ΣΥΟ στην επιφάνεια του εδάφους, γ το ειδικό βάρος του κορεσμένου εδάφους (βάρος κόκκων και νερού των πόρων) και γ_w το ειδικό βάρος του νερού, σε βάθος z έχουμε:

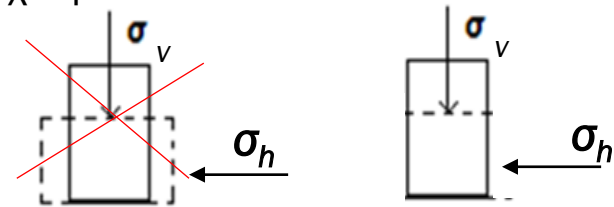


Κατακόρυφη ενεργός τάση:

$$\sigma_v' = \sigma_v - u = (\gamma - \gamma_w) * z$$

Οριζόντια ενεργός τάση:

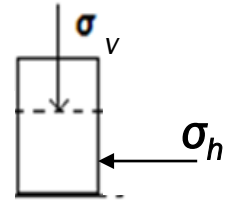
$$\sigma_h' = \sigma_h - u$$



1. Έχουμε οριζόντιες τάσεις? Ναι αφού το εδαφικό στοιχείο παραμορφώνεται κατακόρυφα πιέζει το διπλανό του.

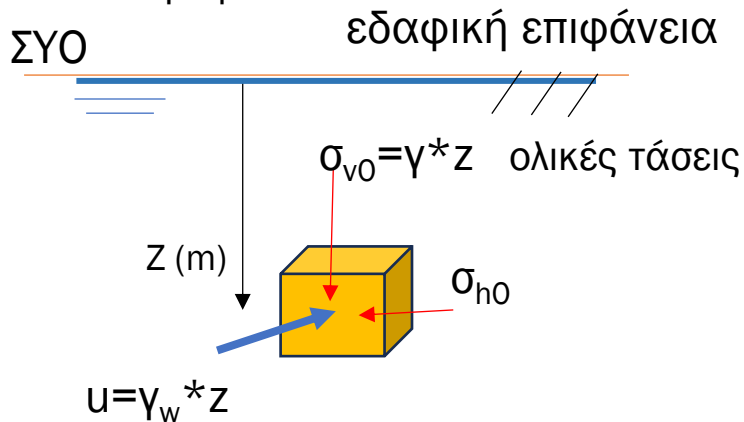
2. Παραμορφώσεις? Υπό την επίδραση της κατακόρυφης τάσης το εδαφικό στοιχείο τείνει να παραμορφωθεί και πλευρικά. Όμως το διπλανό του στοιχείο δέχεται εντελώς συμμετρική κατακόρυφη φόρτιση εφόσον η εδαφική επιφάνεια είναι εκτεταμένη και περίπου οριζόντια. Άρα και οι παραμορφώσεις τους πρέπει να είναι συμμετρικές δηλ. **ΜΗΔΕΝΙΚΕΣ**

5.1 Γεωστατικές τάσεις & παραμορφώσεις



ΤΑΣΕΙΣ: Επειδή οι τάσεις αυτές υπάρχουν στο έδαφος λόγω ιδίων βαρών και όχι λόγω εξωτερικής φόρτισης ονομάζονται και ΑΡΧΙΚΕΣ τάσεις του εδάφους και συμβολίζονται σαν σ_0

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ: για να αναπτυχθούν αυτές οι τάσεις το έδαφος παραμορφώνεται ΜΟΝΟ κατακόρυφα



Κατακόρυφη ενεργός τάση:

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u = (\gamma - \gamma_w) * z \quad (1)$$

Οριζόντια ενεργός τάση:

$$\sigma'_{h0} = \sigma_{h0} - u \quad (2)$$

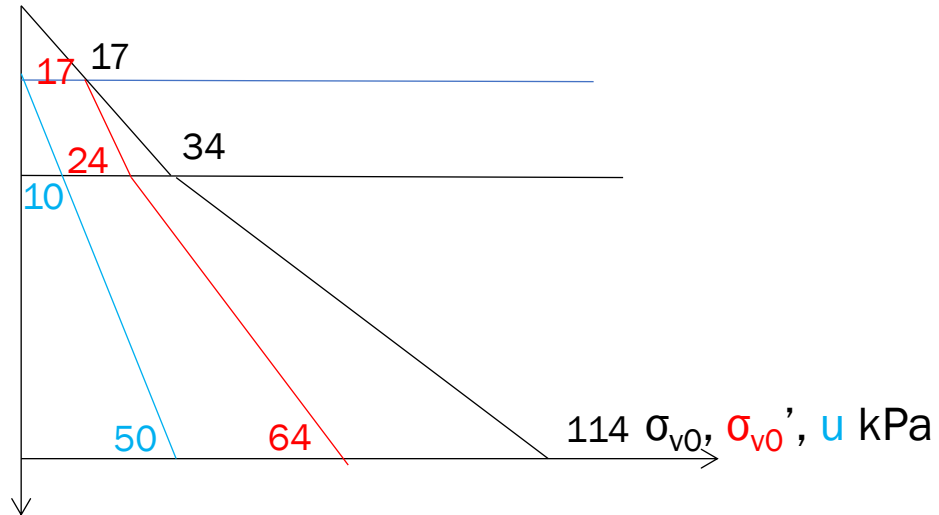
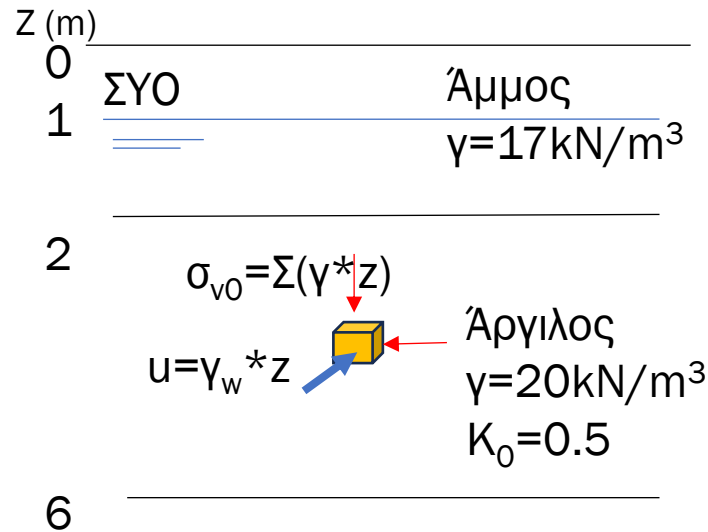
$$\sigma'_{h0} = K_0 * \sigma'_{v0}$$

K_0 = συντελεστής εμποδιζόμενης πλευρικής παραμόρφωσης (σταθερός για κάθε εδαφική στρώση και προσδιορίζεται πειραματικά)
 $K_0 \sim 0.5$ για χαλαρά εδάφη, ~ 1 για πυκνά

- ΞΗΡΟ έδαφος: γεωστατικές ολικές τάσεις = ενεργές, τα υπερκείμενα βάρη παραλαμβάνονται από τον εδαφικό σκελετό. Παραμορφώσεις ΜΟΝΟ κατακόρυφες (μηδενικές οριζόντιες λόγω συμμετρίας).
- ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ έδαφος: η αρχική γεωστατική ενεργός τάση, σ' (Terzaghi, 1925, 1936) καθορίζει την αντοχή του εδάφους π.χ. την απόκριση του εδάφους σε μελλοντική εξωτερική φόρτιση.
- Μεγαλύτερη αρχική ενεργός σημαίνει μεγαλύτερη αντοχή διότι ο εδαφικός σκελετός είναι ισχυρότερος π.χ. πολλές επαφές μεταξύ των κόκκων κατά την αναδιάταξή του για να παραλάβει τα υπερκείμενα βάρη (βλ. πούλια).
- Η αρχική ενεργός τάση αυξάνεται με το βάθος (βλ. 1) άρα και η αντοχή του εδάφους αυξάνεται με το βάθος π.χ. όσο βαθύτερα θεμελιώνουμε τόσο μεγαλύτερη αντοχή θα έχει το έδαφος.

Παραδείγματα υπολογισμού αρχικών γεωστατικών τάσεων μέσα σε ένα εδαφικό στρώμα

Να υπολογιστούν α) οι ενεργές τάσεις στο μέσο του στρώματος της αργίλου β) η κατανομή των ενεργών τάσεων σ_{v0}' με το βάθος z . Σημ. η άμμος είναι κορεσμένη πάνω όπως και κάτω από τη ΣΥΟ



$$\sigma_{v0} = 17 \times 1 + 17 \times 1 + 20 \times 2 = 74 \text{ kN/m}^2 = 74 \text{ kPa}$$

$$u = 3 \text{ m} * 10 \text{ kN/m}^3 = 30 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{v0} = 74 - 30 = 44 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{h0} = 44 \times 0.5 = 22 \text{ kPa}$$

Βάθος (m)	σ_{v0} (kPa)	u (kPa)	σ_{v0}' (kPa)
0	0	0	0
1	$1 \times 17 = 17$	0	17
2	$2 \times 17 = 34$	1×10	24
6	$34 + 4 \times 20 = 114$	5×10	64

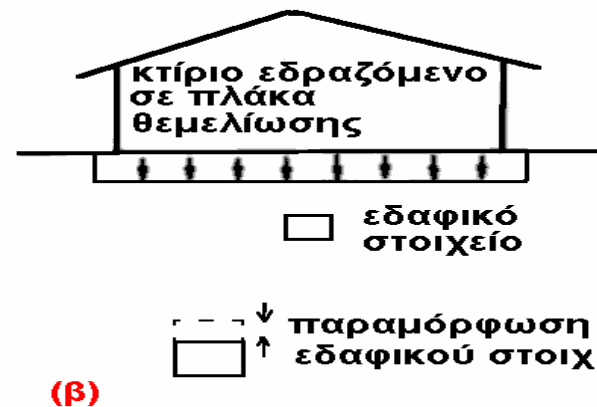
Ερώτηση: γιατί η άμμος πάνω από τη ΣΥΟ έχει το ίδιο γ

Απ.: θεωρούμε ότι οι πόροι είναι γεμάτοι με νερό πάνω από τη ΣΥΟ

5.2 Τάσεις λόγω ‘επιβαλλόμενης’ εκτεταμένης ομοιόμορφης φόρτισης (Εμποδιζόμενη Πλευρική Παραμόρφωση)

- Είδαμε τάσεις & παραμορφώσεις στο εδαφικό στοιχείο λόγω ιδίων βαρών (γεωστατικές συνθήκες) (α)
- Αυτές υπάρχουν στο έδαφος πριν επιβάλλουμε εξωτερική φόρτιση π.χ. μέσω της κατασκευής μας
- Θα δούμε τις τάσεις & παραμορφώσεις που αναπτύσσονται στο έδαφος λόγω εξωτερικής φόρτισης ξεκινώντας από την περίπτωση της «εκτεταμένης ομοιόμορφης κατακόρυφης φόρτισης» (β)

1. Το σκεπτικό της συμμετρίας ισχύει και στη (β) περίπτωση,
2. η εξωτερική φόρτιση θα μπορούσε να ήταν μία ακόμη εδαφική στρώση, άρα υπό τις ίδιες συνθήκες παραμόρφωσης θα παραληφθεί από τον εδαφικό σκελετό.
3. Αστοχεί το έδαφος στις συνθήκες (α) & (β) ???



Τάσεις λόγω 'επιβαλλόμενης' εκτεταμένης ομοιόμορφης φόρτισης στην επιφάνεια (Εμποδιζόμενη Πλευρική Παραμόρφωση)

Στην περίπτωση ομοιόμορφης επιφόρτισης που κατανέμεται σε μεγάλη περιοχή, μπορεί να υποθεθεί ότι η αύξηση της κατακόρυφης τάσης που προκύπτει είναι σταθερή σε όλο το έδαφος. Εδώ, η κατακόρυφη ολική τάση σε βάθος z , δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_v = \gamma z + q$$

όπου q είναι το μέγεθος της επιφόρτισης (kPa).

Η ενεργός τάση:

$$\sigma_v' = \sigma_v - u = (\gamma - \gamma_w)z + q = \sigma_{v0}' + q$$

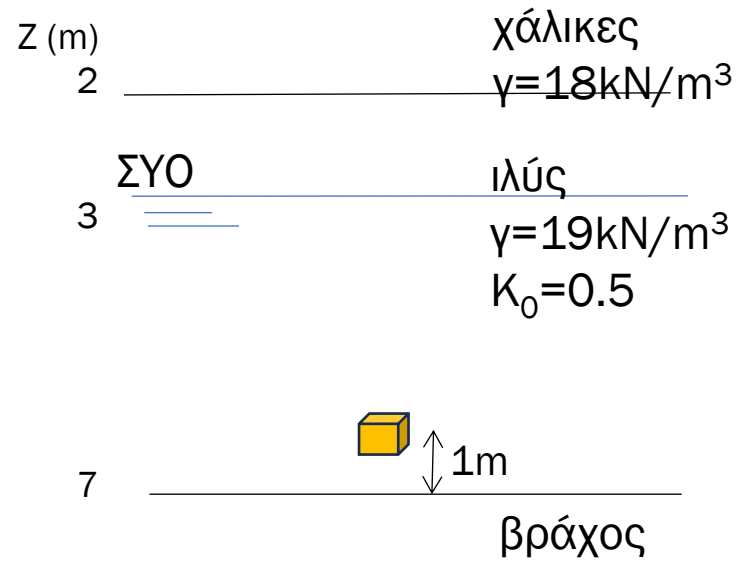
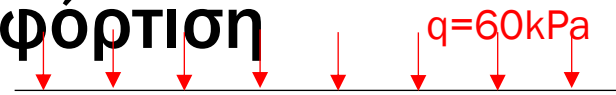
Θεωρώντας ότι η στάθμη του νερού βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους και η πίεση είναι υδροστατική.

Κατά την ιζηματογένεση η πίεση του νερού των πόρων παραμένει υδροστατική. Κατά την επιβολή επιφανειακού φορτίου αν αυτή γίνει αργά και το έδαφος έχει μεγάλη διαπερατότητα καθώς οι κόκκοι έρχονται πιο κοντά και μειώνεται ο όγκος των κενών η αντίστοιχη ποσότητα νερού έχει τη δυνατότητα να διαφύγει από τους πόρους χωρίς να μεταβάλλεται η πίεσή του (παραμένει υδροστατική). Οι συνθήκες αυτές ονομάζονται 'συνθήκες ελεύθερης στράγγισης'. Σε αντίθετες συνθήκες δηλ. 'συνθήκες εμποδιζόμενης στράγγισης' θα δούμε πώς μεταβάλλεται η πίεση του νερού.

Ενεργός τάση με επιφανειακή επιφόρτιση

Εφαρμογή:

Η επιφάνεια του εδάφους υποβάλλεται σε ομοιόμορφη επιφόρτιση 60 kPa και η στάθμη των υπόγειων υδάτων είναι 1 m κάτω από την άνω επιφάνεια της ιλύος. Το στρώμα ιλύος είναι πλήρως κορεσμένο και έχει μεγάλη διαπερατότητα. Να προσδιοριστούν η κατακόρυφη και οριζόντια ενεργός τάση που δρουν σε σημείο 1 m πάνω από τη διεπιφάνεια ιλύος/βράχου και να σχεδιαστεί ο κύκλος του Mohr. Αν ο μέγιστος λόγος (τ/σ) που μπορεί να αναπτυχθεί στο συγκεκριμένο έδαφος είναι $\max(\tau/\sigma)=0.700$, αστοχεί η εδαφική στρώση?



$$\sigma_{v0} = 18 \times 2 + 19 \times 1 + 19 \times 3 = 112 \text{ kN/m}^2 = 112 \text{ kPa}$$

$$\sigma_v = \sigma_{v0} + 60 = 172 \text{ kPa}$$

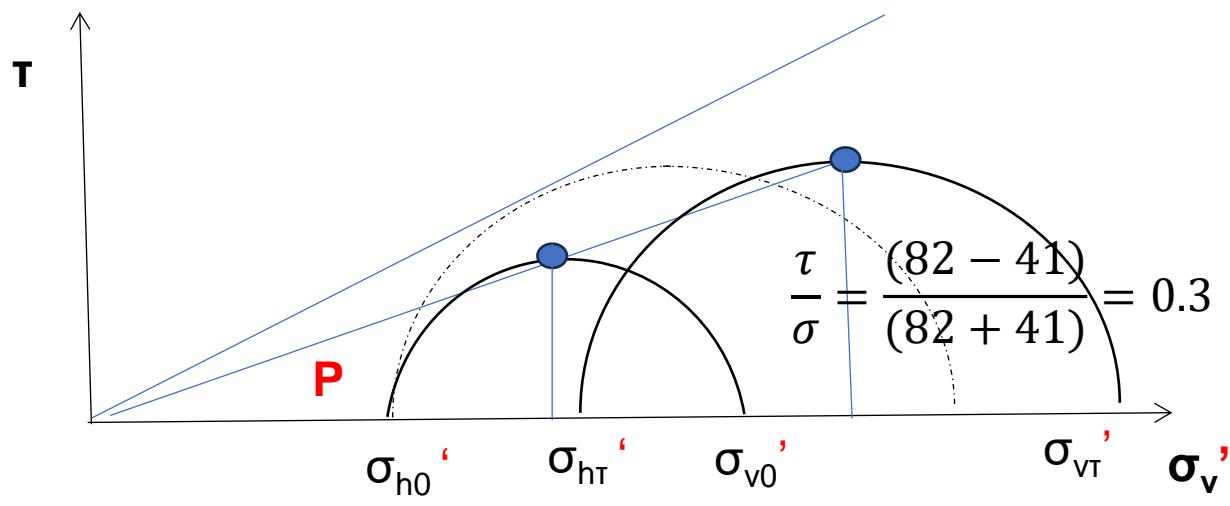
$$u = 3 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 30 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{v0} = 112 - 30 = 82 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{h0} = 82 \times 0.5 = 41 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{vT} = 172 - 30 = 142 \text{ kPa}$$

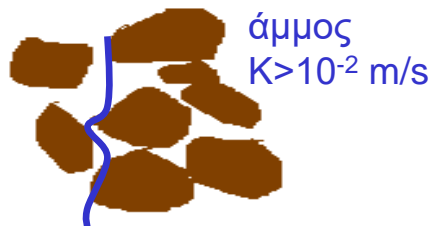
$$\sigma'_{hT} = 142 \times 0.5 = 76 \text{ kPa}$$



$$\frac{\tau}{\sigma} = \frac{(82 - 41)}{(82 + 41)} = 0.3$$

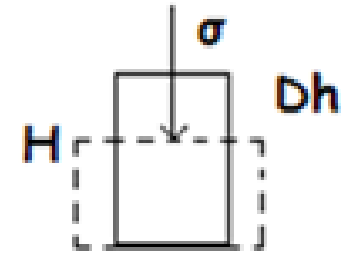
Μεταβολή της πίεσης του νερού των πόρων λόγω εξωτερικής φόρτισης

1. Όταν εφαρμόζεται μια κατακόρυφη τάση σε ένα κορεσμένο έδαφος, η πίεση του νερού των πόρων αυξάνεται (υπερπίεση) και ταυτόχρονα ο εδαφικός σκελετός αναδιατάσσεται (οι κόκκοι έρχονται πιο κοντά) και παραλαμβάνουν και αυτοί φορτίο. Η μείωση των κενών των πόρων οδηγεί στη ροή μιάς ποσότητας νερού έξω από τα κενά.
2. Καθώς το νερό ρέει υπό πίεση, παρατηρείται μείωση στην υπερπίεση του νερού των πόρων. **Τελικά**, η πίεση των πόρων επιστρέφει στην αρχική της υδροστατική τιμή (δηλαδή η υπερπίεση είναι μηδέν). Ο ρυθμός ροής του νερού ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Τα κοκκώδη εδάφη (π.χ. άμμος) έχουν πολύ μεγαλύτερη διαπερατότητα από τα συνεκτικά εδάφη (π.χ. αργίλοι), έτσι το νερό ρέει πολύ πιο γρήγορα π.χ. σε λεπτά ή ώρες σε αμμώδεις στρώσεις, σε μήνες ή χρόνια σε αργίλους. Στις αργίλους βραχυπρόθεσμα δηλ. για μικρά χρονικά διαστήματα η ροή του νερού είναι ελάχιστη και οι συνθήκες φόρτισης μπορούν να θεωρηθούν ως 'αστράγγιστες'. Φυσικά μακροπρόθεσμα οι υπερπιέσεις θα μηδενιστούν.



- Το τμήμα της εξωτερικής φόρτισης που παραλαμβάνεται από το νερό ως υπερπίεση σε σχέση με το υπόλοιπο που παραλαμβάνεται από τον εδαφικό σκελετό εξαρτάται από την πυκνότητα του εδάφους αλλά και τη φόρτιση (A)
- Υπό ειδικές συνθήκες που δεν επιτρέπουν την άμεση μετακίνηση των κόκκων για να αναλάβουν φορτίο αρχικά το φορτίο αναλαμβάνεται από το νερό αλλά στη συνέχεια καθώς νερό απομακρύνεται από τους πόρους η υπερπίεση μειώνεται σταδιακά και τελικά μηδενίζεται.
- Ποιές είναι οι 'ειδικές συνθήκες' ? (B)

Ειδικές συνθήκες παραμόρφωσης μη εκτεταμένη & εκτεταμένη φόρτιση



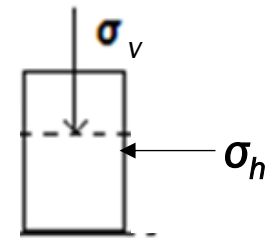
A. Ένα έδαφος που παραμορφώνεται όπως στο σχήμα αναπτύσσει υπερπίεσεις λόγω φόρτισης αλλά ταυτόχρονα οι κόκκοι έχουν τη δυνατότητα να μετακινηθούν άμεσα. Άρα το νερό ΔΕΝ αναλαμβάνει ΟΛΟ το φορτίο.

ΕΡ. Ποια φόρτιση οδηγεί στην παραμόρφωση του σχήματος?

ΑΠ. Όλες εκτός της ομοιόμορφης εκτεταμένης φόρτισης

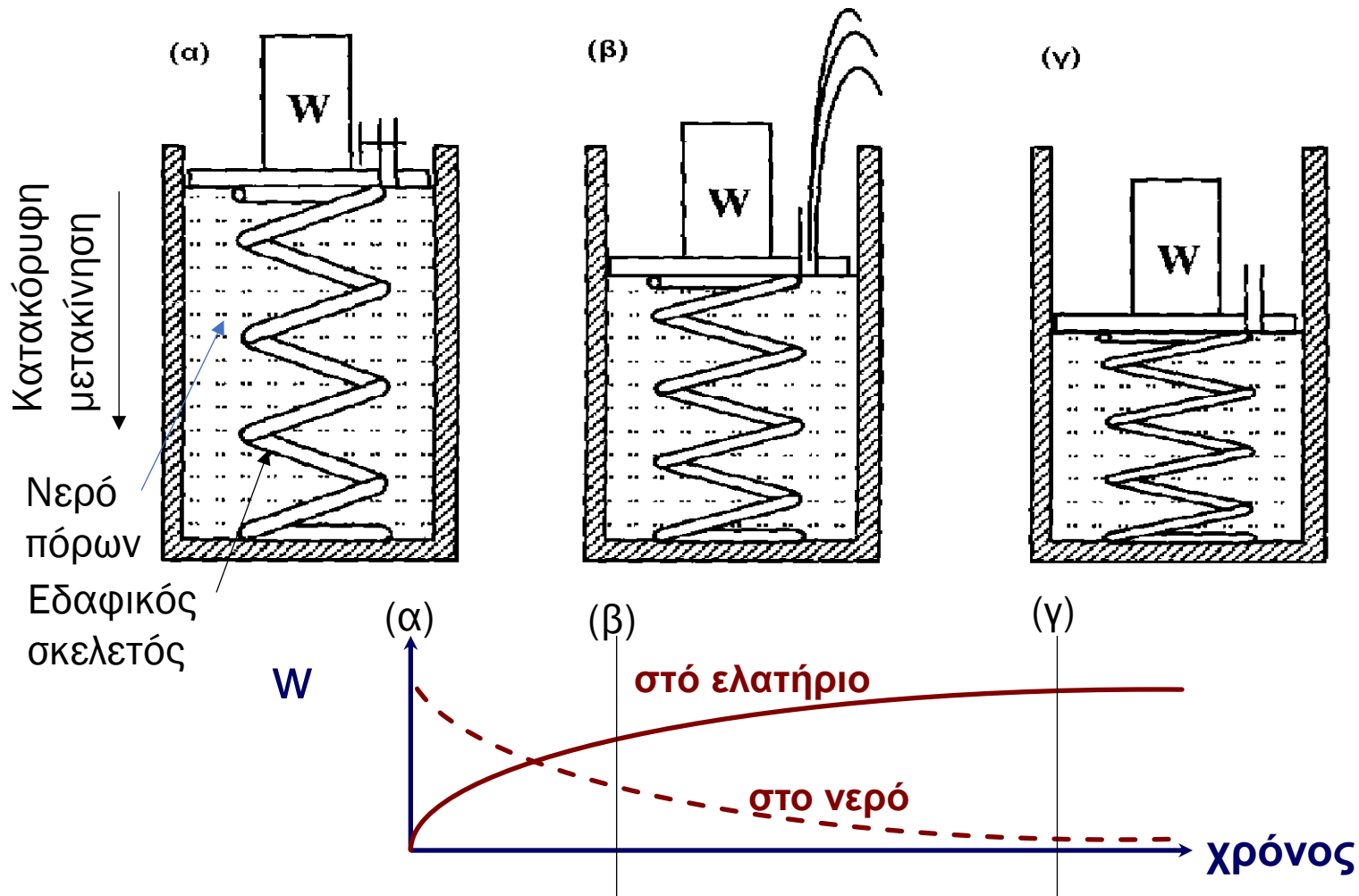
$$\varepsilon = Dh/H$$

B. Όταν όμως το έδαφος παραμορφώνεται μόνο κατακόρυφα όπως στο σχήμα π.χ. λόγω επιβαλλόμενης **εκτεταμένης** ομοιόμορφης φόρτισης ο μόνος τρόπος να μετακινηθούν οι κόκκοι προς τα κάτω είναι να απομακρυνθεί κάποια ποσότητα νερού από τους πόρους. Στην περίπτωση αυτή και για υλικά μικρής διαπερατότητας ΑΡΧΙΚΑ το νερό θα παραλάβει ΟΛΟ το εξωτερικό φορτίο ως υπερπίεση, στη συνέχεια καθώς απομακρύνεται σταδιακά ανάλογα με τη διαπερατότητα του εδάφους ο εδαφικός σκελετός συμπιέζεται και αναλαμβάνει μέρος του φορτίου και ΤΕΛΙΚΑ οι υπερπίεσεις μηδενίζονται και ο ΕΔΑΦΙΚΟΣ ΣΚΕΛΕΤΟΣ παραλαμβάνει ΟΛΟ το φορτίο. Στα υλικά με μεγάλη διαπερατότητα όπως άμμοι και ιλείς η εκτόνωση της υπερπίεσης γίνεται πολύ γρήγορα (βλ. προηγούμενη εφαρμογή)



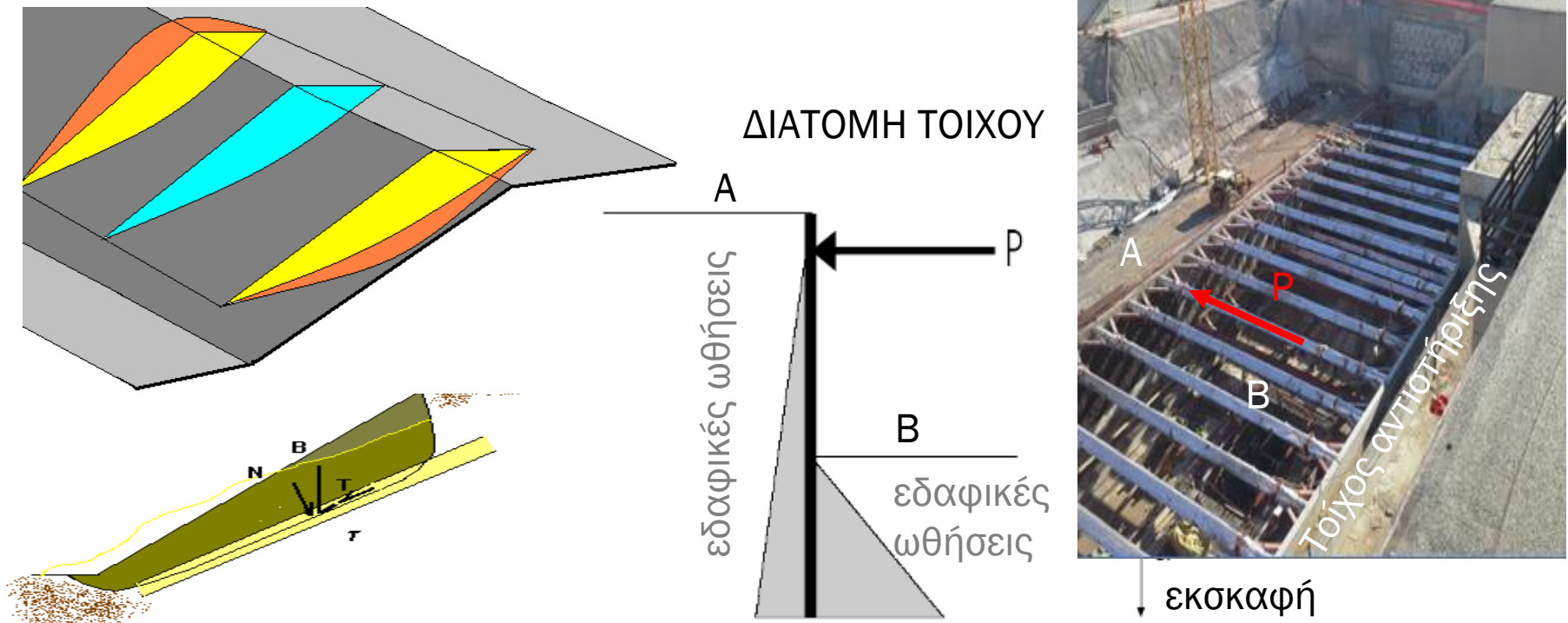
- Το αποτέλεσμα της εκτεταμένης φόρτισης ονομάζεται και ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ή ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ

Υδρομηχανικό ανάλογο μονοδιάστατης στερεοποίησης εδαφών



5.3 Ειδικές συνθήκες παραμόρφωσης: επίπεδη παραμόρφωση

Κάτω από πολύ μεγάλο μήκος κατασκευές, όπως ένας τοίχος αντιστήριξης ή μία πεδιλοδοκός, ή σε ένα μεγάλο μήκος πρανές, η παραμόρφωση στη διαμήκη διεύθυνση θα είναι μηδέν ΛΟΓΩ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ (εκτός των άκρων). Συνεπώς, παραμόρφωση παρατηρείται μόνο στο επίπεδο της διατομής του προβλήματος. Η κατάσταση αυτή αναφέρεται ως *συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης (plain strain)*. Τα περισσότερα γεωτεχνικά προβλήματα σχεδιασμού που αφορούν τοίχους, πεδιλοδοκούς και ευστάθεια πρανών θεωρούν συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης.



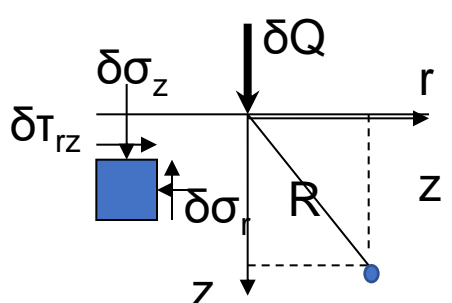
5.4 Τάσεις στο έδαφος λόγω σημειακού επιφανειακού φορτίου

- Η απλούστερη περίπτωση επιφόρτισης είναι η εκτεταμένη ομοιόμορφη φόρτιση, βλ. εφαρμογή με επίχωμα, η οποία ασκείται επίσης ομοιόμορφα σε όλο το φέρον εδαφικό στρώμα.
- Ωστόσο, τα περισσότερα φορτία εφαρμόζονται στο έδαφος μέσω θεμελίων πεπερασμένης έκτασης, έτσι ώστε οι τάσεις που προκαλούνται στο έδαφος στην περιοχή κάτω από ένα θεμέλιο να είναι διαφορετικές από εκείνες που προκαλούνται στο έδαφος που βρίσκεται στο ίδιο βάθος αλλά σε κάποια απόσταση ακτινικά από τον άξονα του θεμελίου.
- Ο προσδιορισμός των κατανομών των τάσεων είναι μία δύσκολη διαδικασία και η βασική παραδοχή που γίνεται στις περισσότερες αναλύσεις είναι ότι η μάζα του εδάφους λειτουργεί ως ένα συνεχές, ομοιογενές και ελαστικό μέσο.
- Η παραδοχή της ελαστικότητας προφανώς εισάγει σφάλματα, αλλά προσεγγίζει σχετικά καλά τις πραγματικές τιμές τάσεων, τουλάχιστον για την ακρίβεια που απαιτείται στις περισσότερες τυπικές μελέτες σχεδιασμού.
- Ο Boussinesq (1885) ανέπτυξε εξισώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν τις έξι συνιστώσες τάσεων που δρουν σε ένα σημείο σε ένα ημιάπειρο ελαστικό μέσο λόγω της δράσης ενός κατακόρυφου σημειακού φορτίου που εφαρμόζεται στην οριζόντια επιφάνεια του.

Ελαστικές λύσεις

Στα περισσότερα προβλήματα θεμελιώσεων, ωστόσο, είναι κυρίως απαραίτητος ο υπολογισμός της αύξησης των κατακόρυφων τάσεων (για αναλύσεις καθιζήσεων) και της αύξησης των διατμητικών τάσεων (για αναλύσεις διατμητικής αστοχίας).

Οι εξισώσεις του Boussinesq που ΠΡΟΒΛΕΠΟΥΝ την μεταβολή της **κατακόρυφης τάσης**, $\delta\sigma_z$, και την **κατακόρυφη μετακίνηση**, $\delta\rho$, σημείου σε ελαστικό έδαφος λόγω αύξησης ενός **σημειακού φορτίου**, δQ , στην επιφάνεια του εδάφους είναι:



$$\delta\sigma_z = \frac{3\delta Q}{2\pi R^2} \left(\frac{z}{R}\right)^3 \quad \& \quad \delta\rho = \frac{\delta Q(1+\nu)}{2\pi ER} \left[\left(\frac{z}{R}\right)^2 + 2(1-\nu) \right]$$

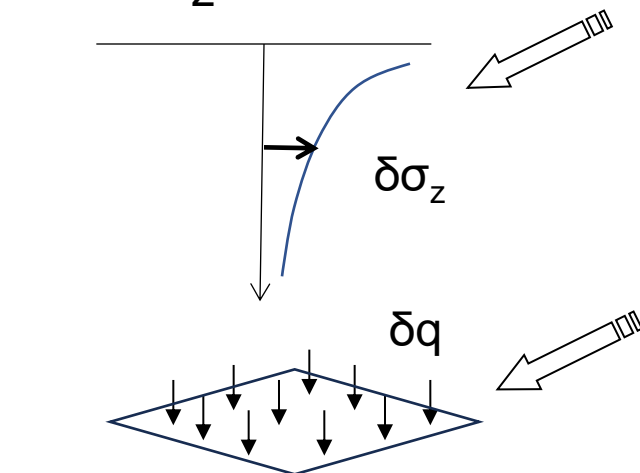
όπου E και ν είναι το μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος του Poisson

1. Η τάση κάτω από το σημείο φόρτισης και η παραμόρφωση για $z=R=0$ τείνουν στο άπειρο αλλά για μεγαλύτερα βάθη οι σχέσεις υπολογίζουν τις τάσεις και μετακινήσεις

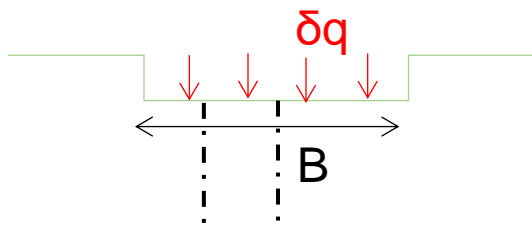
2. Τάσεις σε ελαστικό έδαφος ανεξάρτητες των E και ν

3. Η περίπτωση σημειακού φορτίου παρατηρείται σπάνια.

Ωστόσο, μέσω της αρχής της επαλληλίας η ομοιόμορφη φόρτιση θεμελίου είναι ισοδύναμη με την ολοκλήρωση της δράσης των σημειακών φορτίων στην επιφάνειά του.



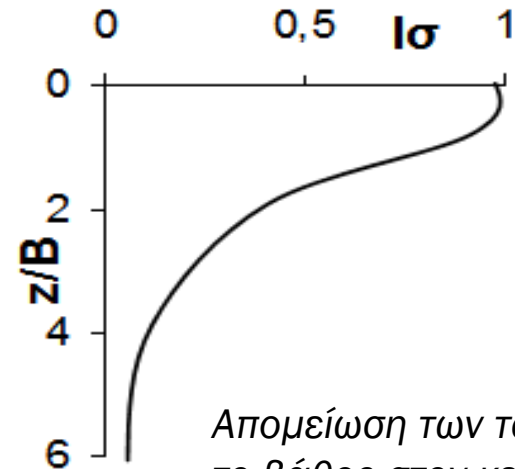
Κατανομή των τάσεων κάτω από αβαθή 4γωνικά & κυκλικά πέδιλα



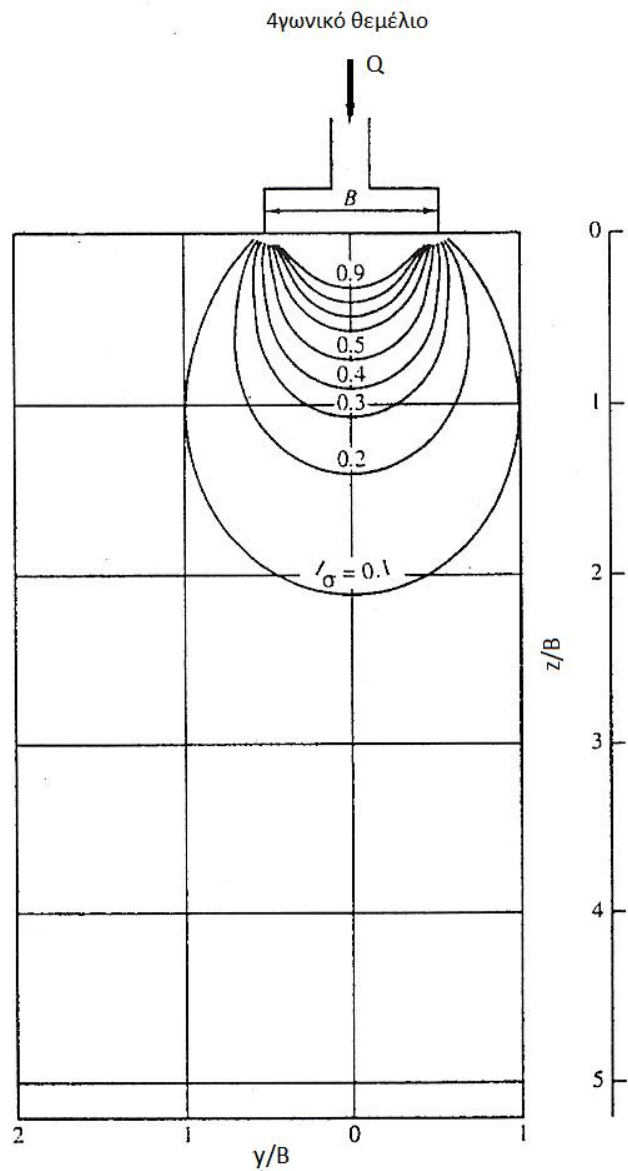
ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ της σχέσης του Boussinesq (1885) (για την κατανομή τάσεων με το βάθος σε ελαστικό υλικό λόγω σημειακού φορτίου)

Όπου: $\delta\sigma_z = I_\sigma * \delta q$

$I_\sigma = 1$ στην επιφάνεια θεμελίωσης αλλά καθώς οι τάσεις κατανέμονται με το βάθος σε μεγαλύτερης έκτασης περιοχή I_σ μειώνεται με το βάθος.



Απομείωση των τάσεων με το βάθος στον κεντρικό άξονα. Άλλη καμπύλη σε άλλη θέση. Ο συνδυασμός όλων των θέσεων = βολβοί τάσεων



Λωριδωτό θεμέλιο

Βολβοί τάσεων για 4γωνικό και λωριδωτό θεμέλιο

Οριοθετούν την περιοχή του εδάφους που αναλαμβάνει τα επιβαλλόμενα επιφανειακά φορτία

Τι είδαμε

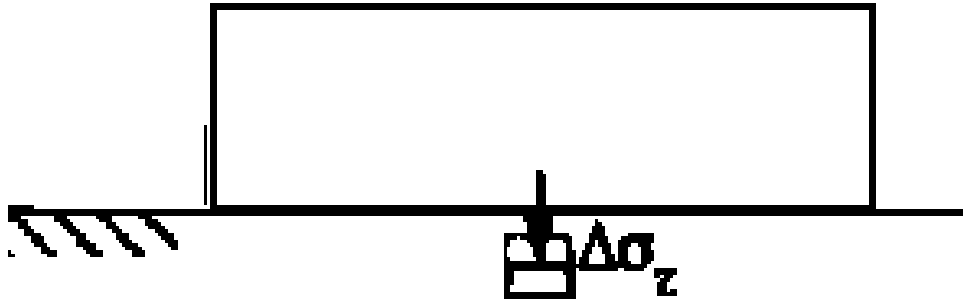
Τάσεις μέσα στο έδαφος

- Γεωστατικές τάσεις: πίεση του νερού των πόρων (υδροστατική), αρχικές ολικές και ενεργές τάσεις σε διάφορα βάθη λόγω βάρους του υπερκείμενου εδάφους.
- Η σημασία της αρχικής ενεργού τάσης στην αντοχή και παραμορφωσιμότητα του εδάφους λόγω εξωτερικής φόρτισης. Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων σε εδαφικό στοιχείο.
- Υπολογισμός των ορθών και διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται σε διάφορα επίπεδα μέσα σε εδαφικό στοιχείο λόγω επιβαλλόμενης ορθής κατακόρυφης και οριζόντιας τάσης. Κύκλος του Mohr.
- Μεταβολή της υδροστατικής πίεσης του νερού (υπερπίεση) λόγω εξωτερικής φόρτισης. Μηδενική υπερπίεση υπό συνθήκες ελεύθερης στράγγισης, υπερπίεση διαρκώς μειούμενη υπό συνθήκες εμποδιζόμενης στράγγισης (εδάφη μικρής διαπερατότητας) λόγω ροής από την περιοχή φόρτισης στο γειτονικό έδαφος έξω από την περιοχή φόρτισης όπου η πίεση παραμένει υδροστατική, έως τον μηδενισμό της.
- Τάσεις και παραμορφώσεις λόγω εξωτερικής φόρτισης του εδάφους, ομοιόμορφη εκτεταμένη φόρτιση, σημειακό φορτίο, επίπεδη παραμόρφωση.

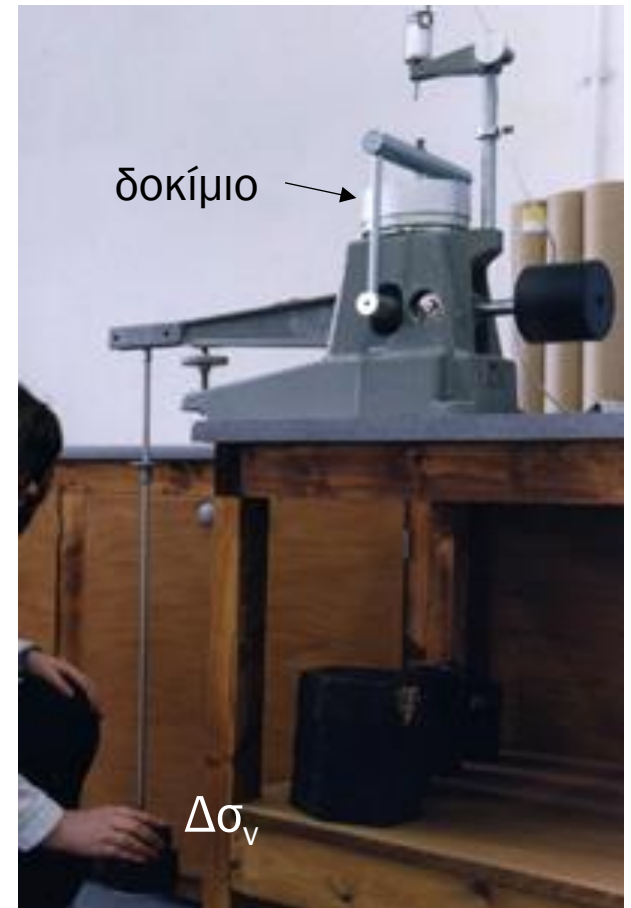
Οι βασικές αυτές αρχές ισχύουν για όλα τα εδάφη, όμως ΚΑΘΕ έδαφος είναι διαφορετικό, π.χ. για την ίδια εξωτερική φόρτιση αναπτύσσει διαφορετική παραμόρφωση. Έτσι για να προβλέψουμε την καθίζηση μίας κατασκευής θα πρέπει να έχουμε μετρήσεις από ανάλογες κατασκευές στο ίδιο έδαφος ή να κάνουμε κοστοβόρες δοκιμές στο πεδίο.

Η εδαφική συμπεριφορά μελετάται στο ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ με συσκευές που προσομοιώνουν τις συνθήκες φόρτισης & παραμόρφωσης στο πεδίο όπως θα δούμε στη συνέχεια.

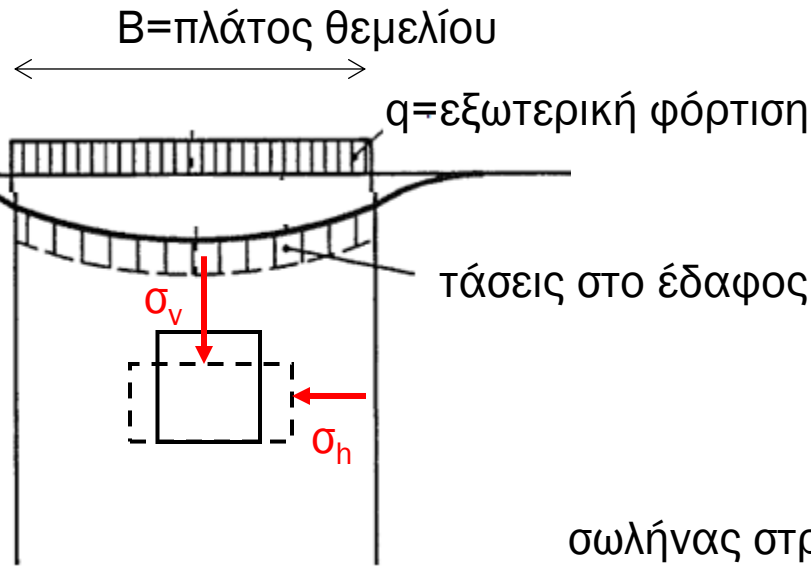
Εκτεταμένη φόρτιση-Δοκιμή Συμπιεσομέτρου



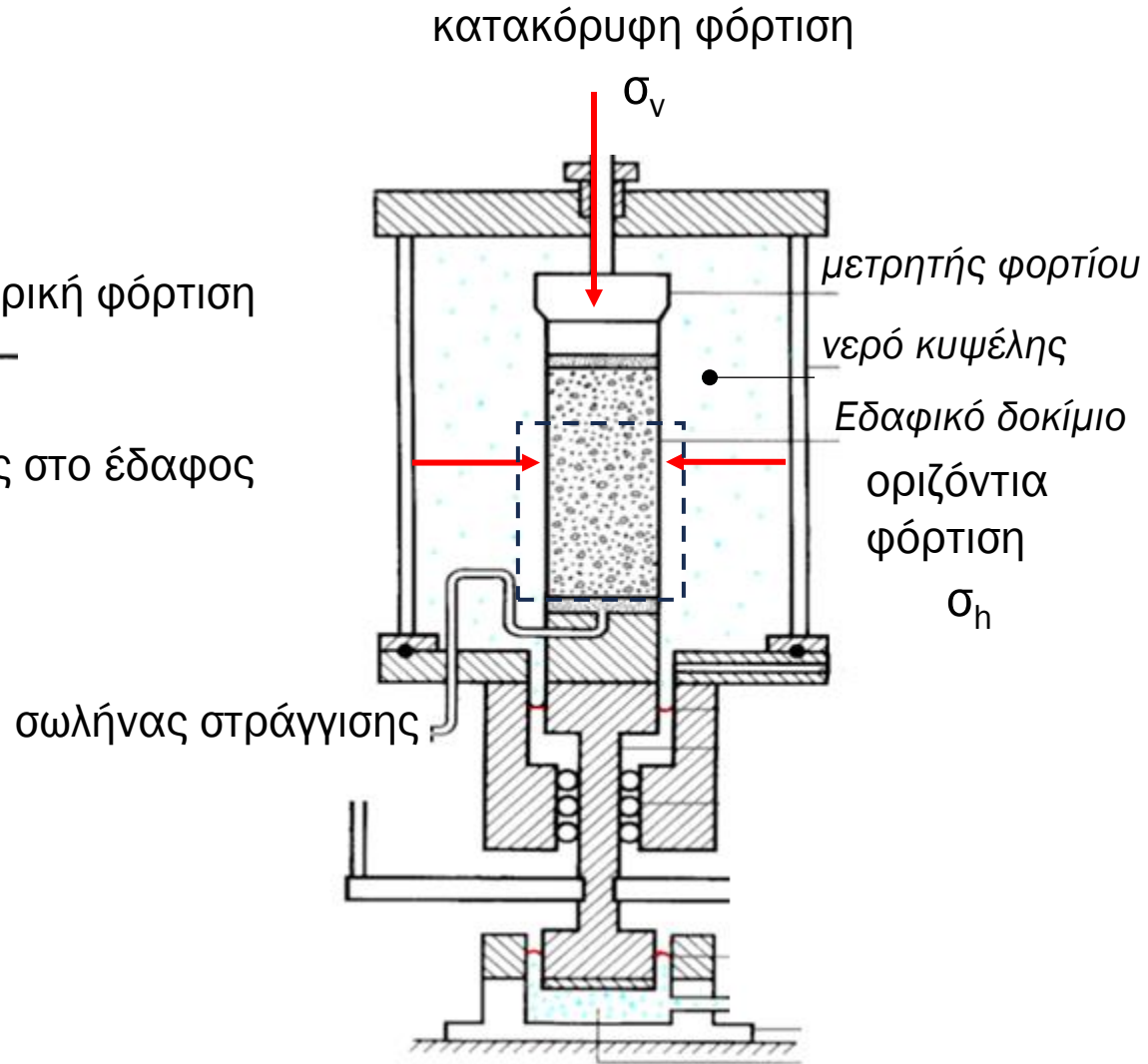
Μηδενική πλευρική παραμόρφωση



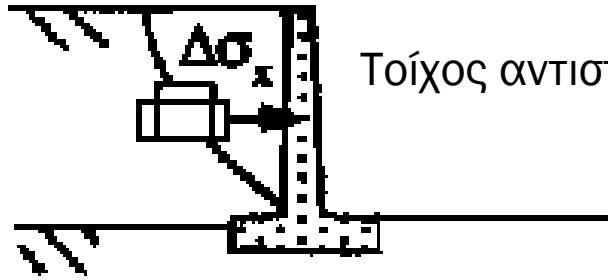
Φόρτιση θεμελίου – Τριαξονική Συσκευή



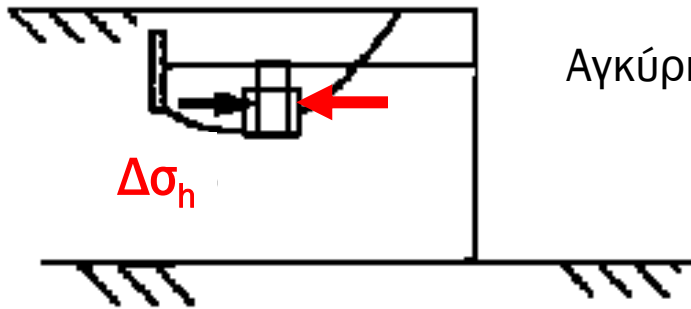
ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ???



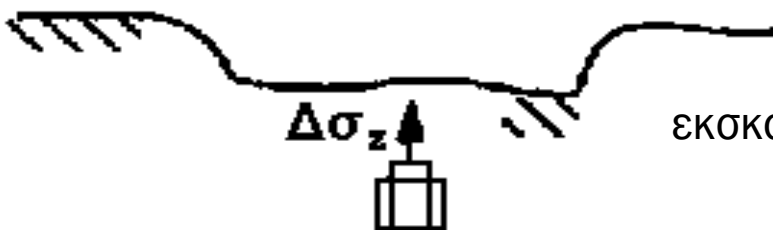
Τοίχος αντιστήριξης, Αγκύριο, Εκσκαφή-Τριαξονική Συσκευή



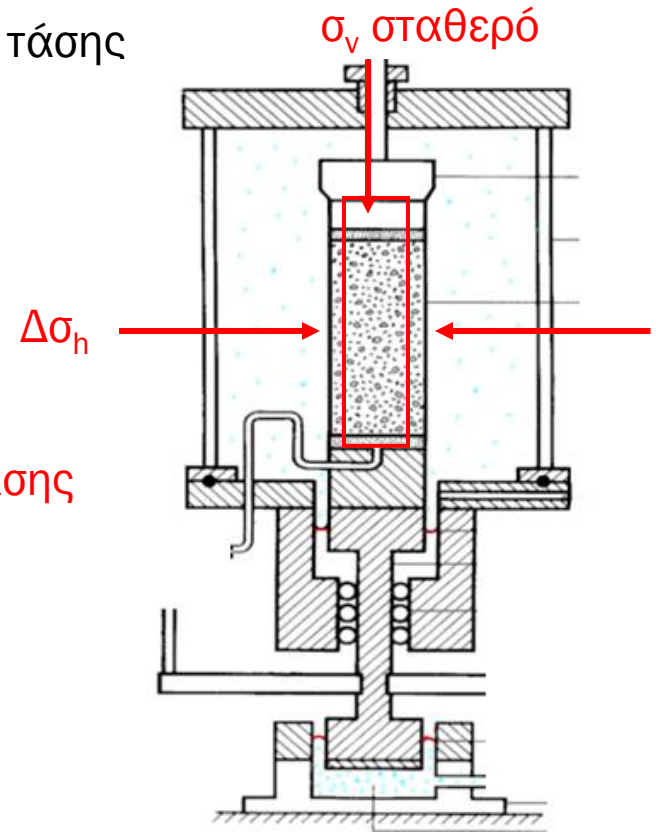
Τοίχος αντιστήριξης: μείωση οριζόντιας τάσης



Αγκύριο: αύξηση οριζόντιας τάσης



εκσκαφή: μείωση κατακόρυφης τάσης



Σύγκριση εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών. Τι ελέγχουμε στο εργαστήριο

	<i>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ</i>	<i>ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ</i>
■ Αρχική εντατική κατάσταση	+	- ενεργός τάση
■ Επιβαλλόμενο τασικό πεδίο	+	αλλάζει με το βάθος - ομοίως το φορτίο
■ Επιβαλλόμενος ρυθμός παραμόρφωσης	+	-
■ Συνθήκες στράγγισης	+	-
■ Ομοιογένεια τάσεων	+	-
■ Διαταραχή δοκιμίου	-	+ ποιοτική Δειγματοληψία
■ Αντιπροσωπευτικότητα δοκιμίου	-	+ πολλά δοκίμια

Στο εργαστήριο γίνονται πολλές δοκιμές για να προσδιοριστεί η μηχανική συμπεριφορά του κάθε εδάφους.

Στη συνέχεια θα δούμε πώς οι εργαστηριακές δοκιμές προσομοιώνουν την απόκριση του εδάφους σε διάφορες φορτίσεις στο πεδίο.