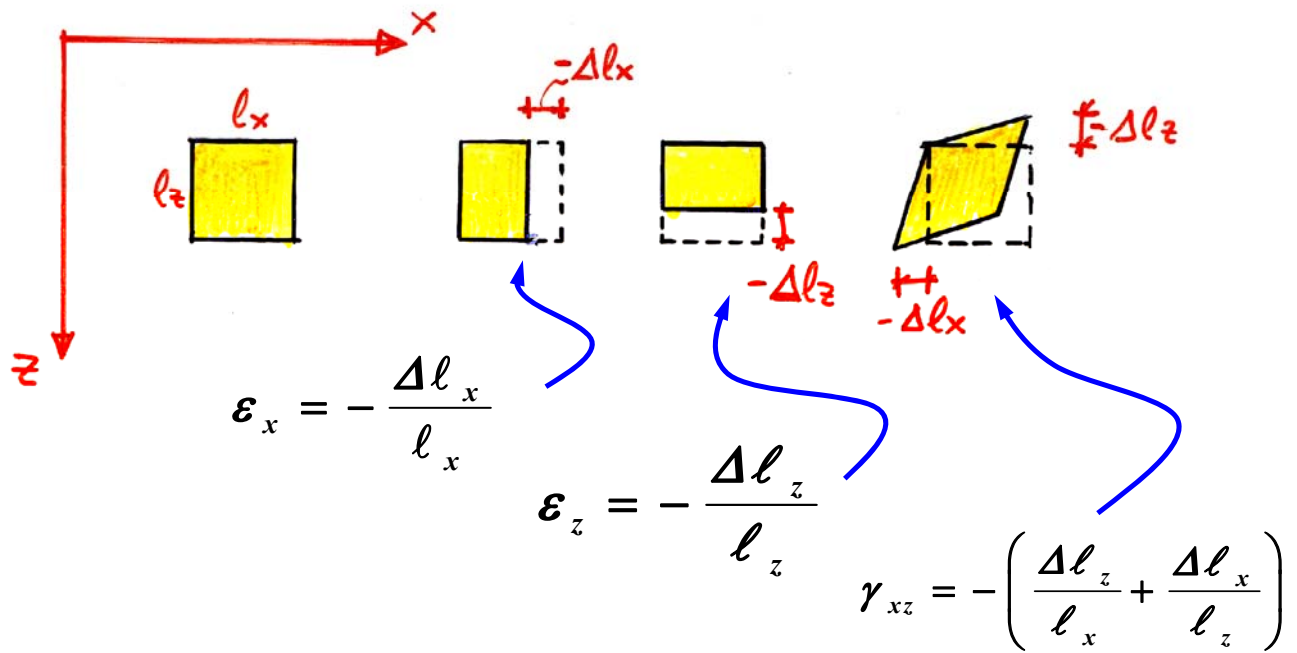


ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV:

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

1. Παραμορφώσεις σε συνεχή μέσα : Ορισμοί
2. Σχέσεις τάσεων - παραμορφώσεων:
Υπενθύμιση από την «Μηχανική»
3. Παραμορφώσεις σε α-συνεχή μέσα:
Φύση και προέλευση των ελαστικών και των πλαστικών παραμορφώσεων
4. Έδαφος & Νερό:
Πως επηρεάζει το νερό την ανάπτυξη των παραμορφώσεων;

1. Παραμορφώσεις σε συνεχή μέσα : Ορισμοί



όταν $l_x, l_z \rightarrow 0$

$$\epsilon_x = -\frac{\partial u_x}{\partial x}$$

$$\gamma_{xy} = 2\epsilon_{xy} = -\left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}\right)$$

$$\epsilon_y = -\frac{\partial u_y}{\partial y}$$

$$\gamma_{yz} = 2\epsilon_{yz} = -\left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y}\right)$$

$$\epsilon_z = -\frac{\partial u_z}{\partial z}$$

$$\gamma_{zx} = 2\epsilon_{zx} = -\left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z}\right)$$

Τι σημαίνει το "-" στις παραπάνω σχέσεις:

Η ογκομετρική παραμόρφωση είναι:

$$\epsilon_v = -dV/V = \epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z \quad (\text{γιατί:})$$

2. Σχέσεις Τάσεων - Παραμορφώσεων

• Γραμμικώς Ελαστικά Υλικά

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ & & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 2(1+\nu) & 0 & 0 \\ & & & 0 & 2(1+\nu) & 0 \\ & & & 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix}$$

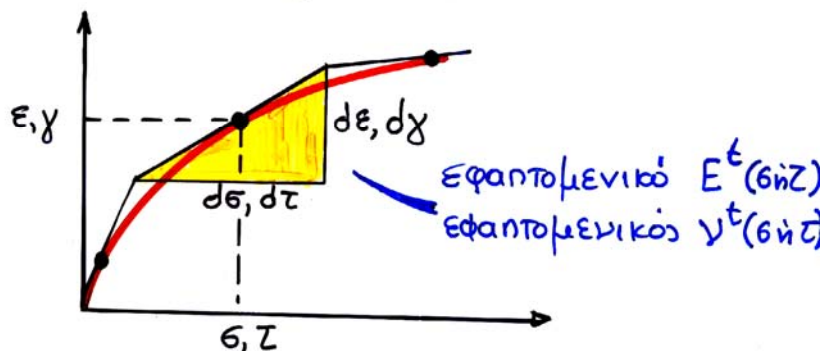
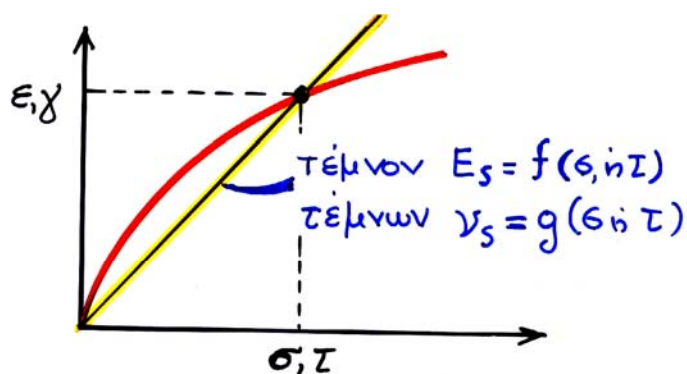
(συμμετρικός)

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_y - \nu \sigma_z)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy}$$



• Ελαστο-πλαστικά εδάφη

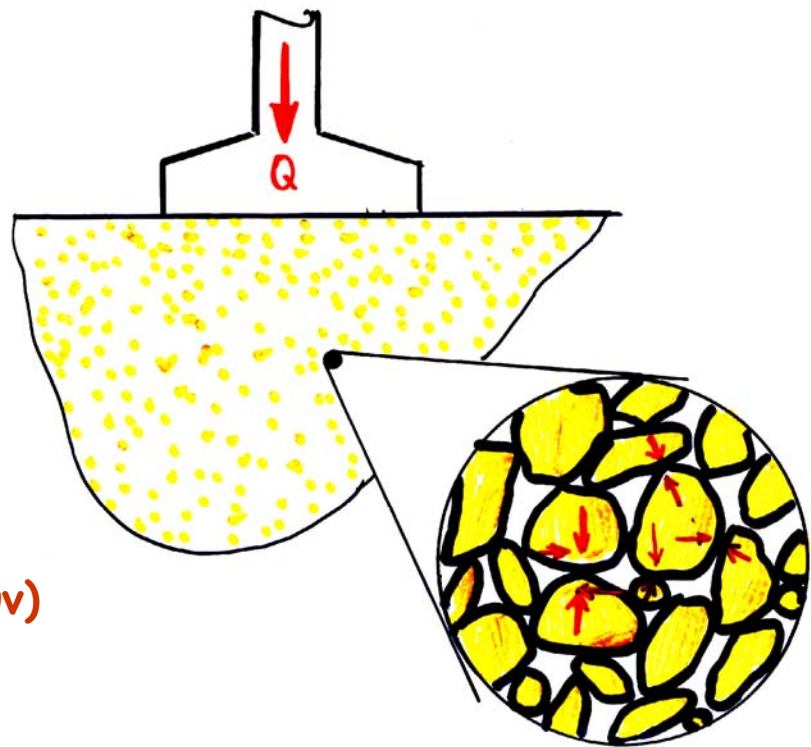


Για τα ελαστο-πλαστικά εδάφη ισχύουν οι «ελαστικές» σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων, μόνον που τώρα συνδέουν την μεταβολή της τάσης και της παραμόρφωσης. Επιπλέον, οι ελαστικές σταθερές (E και ν) αντικαθίστανται με τις

$$E_s \text{ ή } E^t \text{ και } \nu_s \text{ ή } \nu^t$$

$$d\epsilon_x = \frac{1}{E^t} (d\sigma_x - \nu^t d\sigma_y - \nu^t d\sigma_z)$$

3. Παραμορφώσεις σε Α-συνεχή μέσα



Φύση και προέλευση των
(ελαστικών και πλαστικών)
παραμορφώσεων:

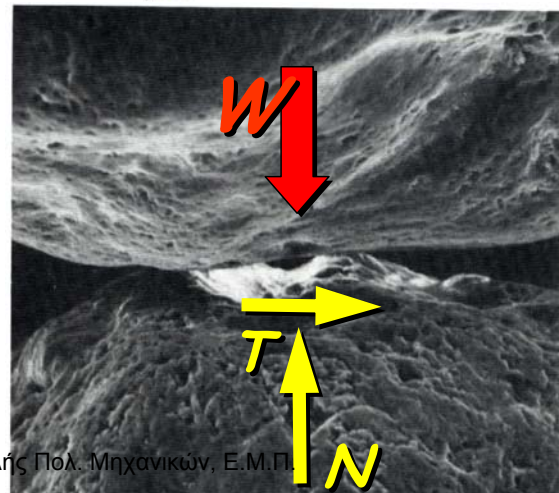
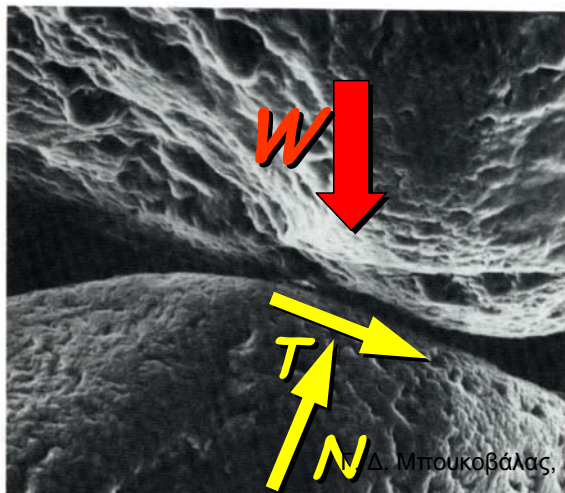
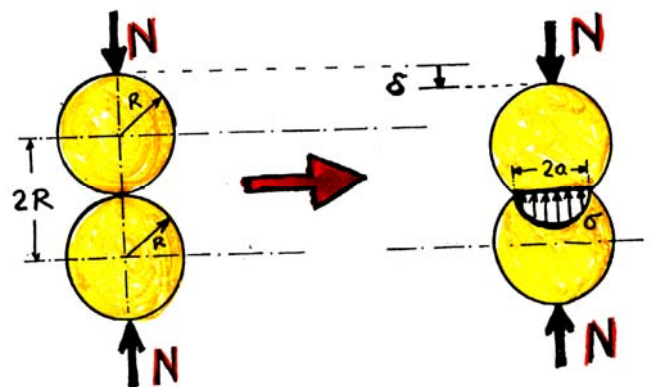
- παραμόρφωση κόκκων
- σχετική μετακίνηση (ολίσθηση και στροφή) των κόκκων

Παραμόρφωση των ΚΟΚΚΩΝ μη-συνεκτικών εδαφών (άμμων, χαλίκων, κλπ.)

Hertz (1881):

κατακόρυφη
παραμόρφωση

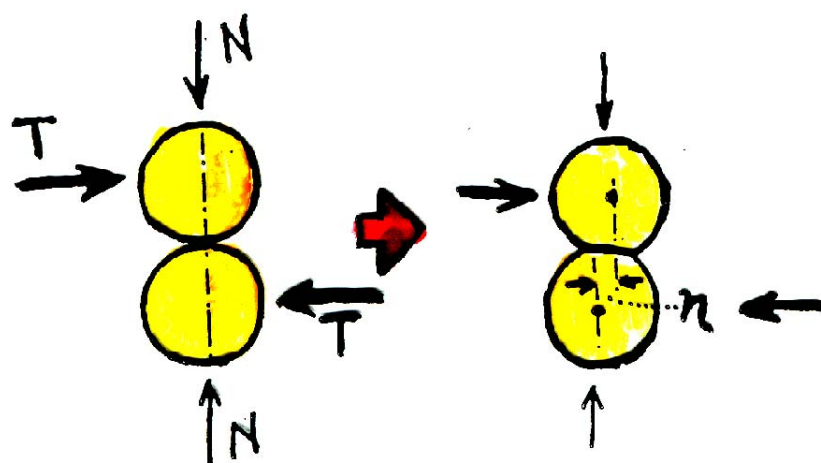
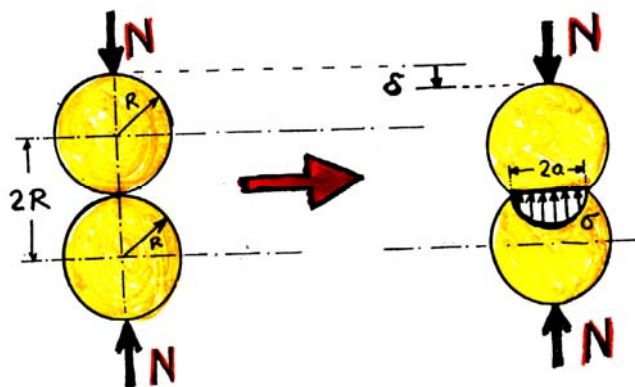
$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{3(1-\nu)}{G} \right\}^{2/3} \cdot R^{-1/3} \cdot N^{2/3}$$



Hertz (1881):

κατακόρυφη
παραμόρφωση

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{3(1-\nu)}{G} \right\}^{\frac{2}{3}} \cdot R^{-\frac{1}{3}} \cdot N^{\frac{2}{3}}$$

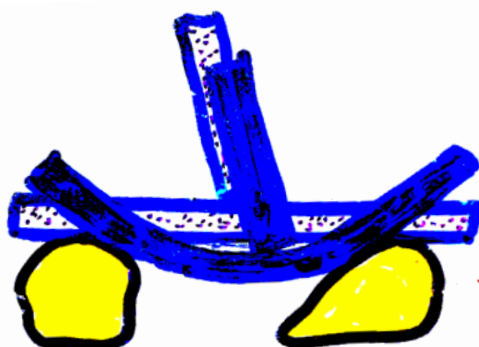


Mindlin (1949):

οριζόντια
παραμόρφωση

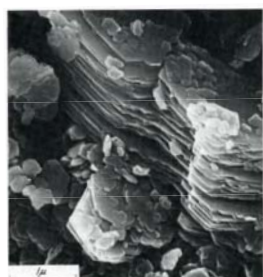
$$\eta \propto \left[1 - \left(1 - \frac{T}{f * N} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

Παραμόρφωση των ΚΟΚΚΩΝ συνεκτικών εδαφών (αργίλων, ιλύων, κλπ.)



Κάμψη κυρίως των
αργιλικών πλακιδίων

βέλος κάμψης δ



Καολινίτης
Ε.Ε. = 5-15 m²/gr



Μοντμοριλονίτης
Ε.Ε. = 800 m²/gr



Ιλλίτης
Ε.Ε. = 80-100 m²/gr

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

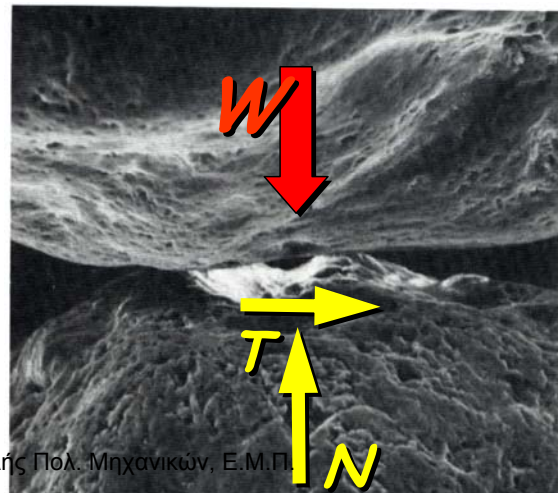
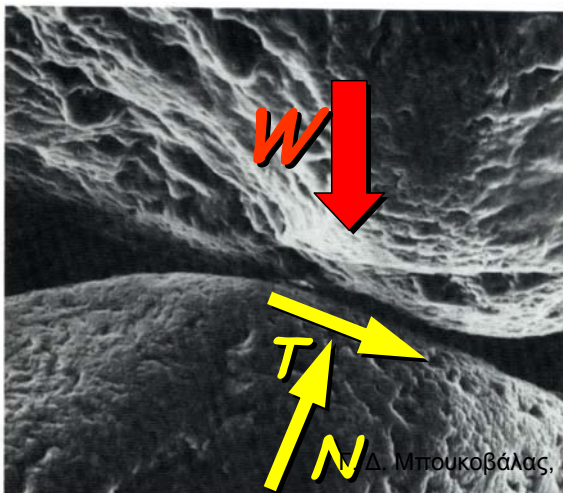
Τόσο στα συνεκτικά όσο και στα μη-συνεκτικά εδάφη
η παραμόρφωση των κόκκων είναι
σχετικά ΜΙΚΡΗ και επιπλέον ΕΛΑΣΤΙΚΗ,
δηλαδή **αντιστρεπτή,**
(εκτός βέβαια και εάν επέλθει θραύση λόγω
επιβολής πολύ μεγάλων τάσεων)

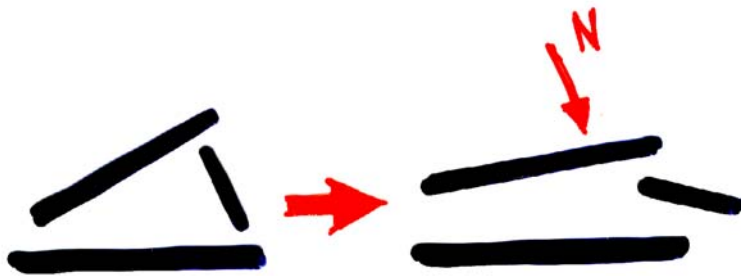
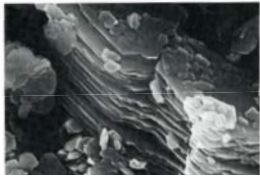


Σχετική Μετακίνηση των ΚΟΚΚΩΝ

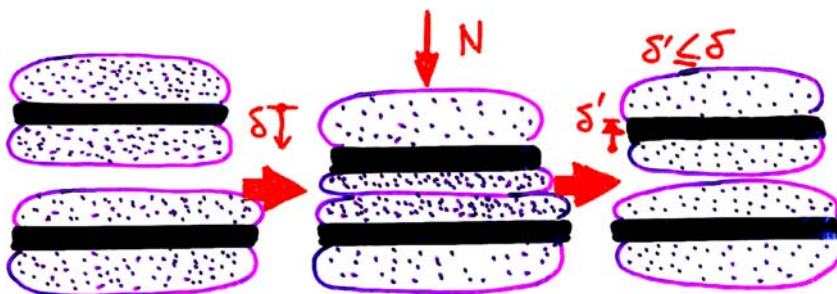


- ολίσθηση και στροφή κόκκων ΑΜΜΟΥ
- **ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΗ,**
δηλαδή πλαστική παραμόρφωση

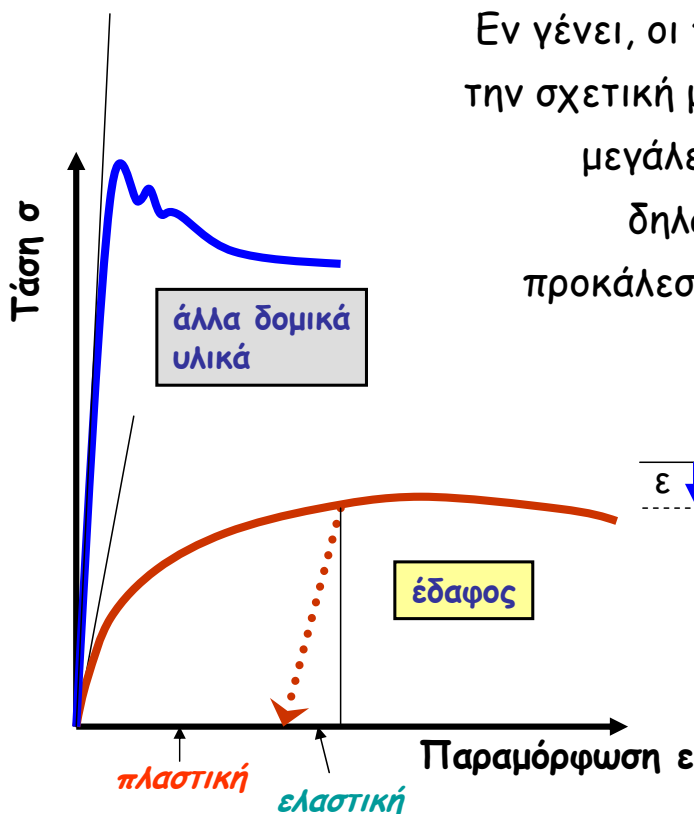




- αναδιάταξη πλακιδίων ΑΡΓΙΛΟΥ (αλλαγή δομής)
(έντονα **πλαστική**,
μη αναστρέψιμη
παραμόρφωση)



- "πλησίασμα" πλακιδίων ΑΡΓΙΛΟΥ
(**ελαστο-πλαστική**
παραμόρφωση)

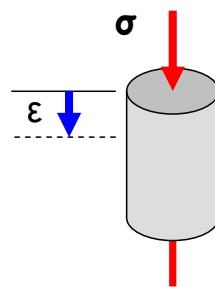


Εν γένει, οι παραμορφώσεις που προκύπτουν από την σχετική μετακίνηση των κόκκων είναι σχετικά μεγάλες και "πλαστικές" δεν αναστρέφονται δηλαδή όταν αφαιρεθεί το φορτίο που τις προκάλεσε. Πλαστικές παραμορφώσεις έχουμε

και σε άλλα δομικά υλικά (π.χ. χάλυβας, σκυρόδεμα).

Εκεί όμως εμφανίζονται για μεγάλα σχετικά φορτία (πλησίον της αστοχίας) αντίθετα με τα εδάφη όπου

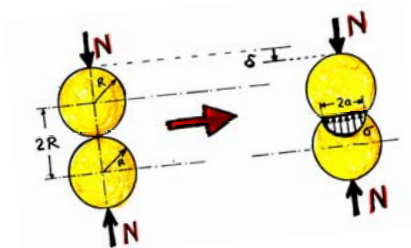
η εμφάνισή τους γίνεται αισθητή ακόμη και κατά τα αρχικά στάδια επιβολής της φόρτισης.



Παράγοντες που επηρεάζουν την παραμορφωσιμότητα

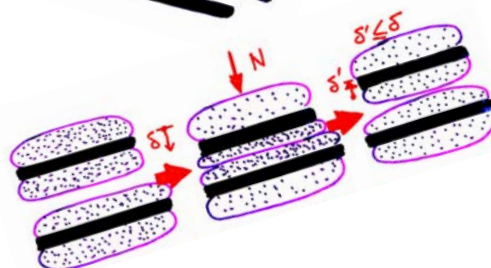
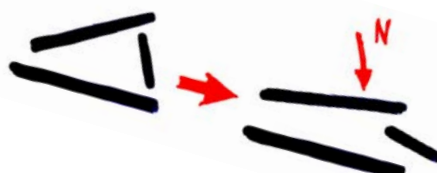
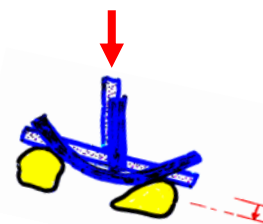
μη συνεκτικά εδάφη
(άμμοι, χάλικες)

- σχήμα κόκκων
- κοκκομετρική διαβάθμιση
- πυκνότητα δομής (e , n , D_r)



συνεκτικά εδάφη
(άργιλοι, ιλύες)

- Φυσική Υγρασία
- Όρια Atterberg (LL, PL, PI,...)



4. ΕΔΑΦΟΣ με ΝΕΡΟ:

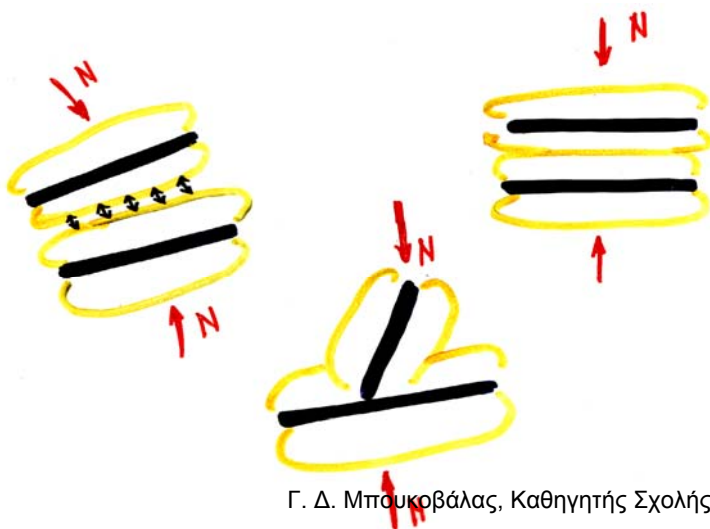
ο «τρίπτυχος» ρόλος του νερού των πόρων . . .

Αυτό το πολύ ενδιαφέρον αντικείμενο δεν θα το αναπτύξουμε τώρα, αλλά στο τέλος του μαθήματος, σε συνδυασμό με την μηχανική συμπεριφορά εδαφικού στοιχείου υπό «αστράγγιστες» συνθήκες φόρτισης.

Χημική αλληλεπίδραση

Την έχουμε κουβεντιάσει ήδη.

Αφορά το “**διπλό στρώμα**” νερού που επηρεάζει τον τρόπο μεταφοράς των δυνάμεων μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων.



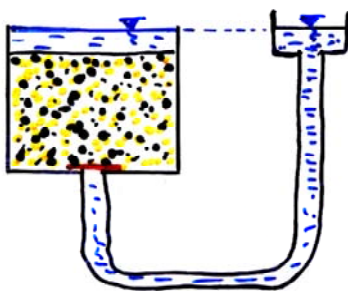
Είναι σημαντική μόνον για **λεπτόκοκκα εδάφη**, δηλαδή αργίλους και κάποιους τύπους (πλαστικών) ιλύων. Δεν παίζει κανένα ρόλο σε πιο χονδρόκοκκα εδάφη, όπως άμμους και χάλικες (γιατί άραγε;)



Όταν υπάρχει ροή νερού μέσω των πόρων του εδάφους, τότε ασκούνται δυνάμεις επί των στερεών κόκκων (κάτι ανάλογο προς τις δυνάμεις που ασκεί ένας χείμαρρος σε ογκόλιθους που βρίσκονται εντός της κοίτης του), οι οποίες μεταβάλλουν τις τάσεις επαφής.

Η μορφή αυτή αλληλεπίδρασης είναι **σημαντική**

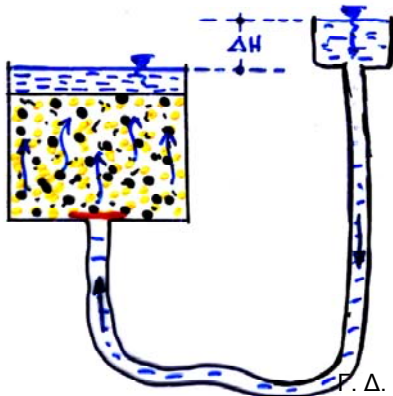
σε **χονδρόκοκκα** κυρίως εδάφη (άμμους, χάλικες, κλπ..) όπου το νερό δεν είναι δεσμευμένο στο “διπλό στρώμα” αλλά είναι ελεύθερο και μπορεί να δημιουργήσει εσωτερική ροή.



Υδροστατικές συνθήκες – δεν υπάρχει ροή νερού προς τα άνω.

Η μόνη δύναμη που ασκείται στους κόκκους είναι η άνωση A , η οποία μειώνει το βάρος του κόκκου από G σε $G'=G-A$.

Για συνήθη εδάφη $G' > 0$ (**γιατί ;**)



Ροή προς τα άνω.

Τώρα, εκτός από την άνωση A , ασκείται και μία υδροδυναμική δράση $F_{υδρ}$ και επομένως το βάρος του κόκκου μειώνεται ακόμη περισσότερο, από G σε $G'=G-A-F_{υδρ}$, και μπορεί ακόμη και να μηδενισθεί ($G'=0$ **φαινόμενο ρευστής άμμου**)

Ερώτηση:

Ένας μικρός και αμέριμνος βεδουίνος πέφτει κατά λάθος σε ρευστή (κινούμενη κατά κόσμον) άμμο. Τι θα του συμβεί; Θα πνιγεί άραγε ή όχι;

(από την κλασσική ταινία *Laurence of Arabia* με πρωταγωνιστή τον Peter O'Toul)



1, 2, 3 ή 4;

Μηχανική αλληλεπίδραση

Να σχεδιασθεί η μεταβολή των

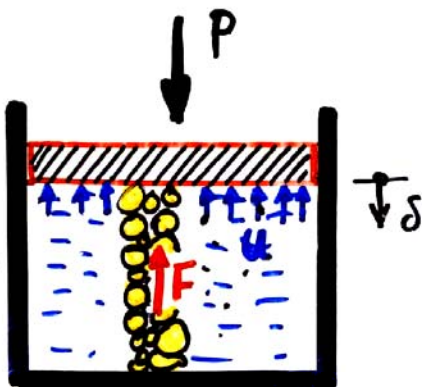
P, U, F, δ

με τον χρόνο στις παρακάτω περιπτώσεις :

(α) $P = 0$

(β) $P = \text{σταθ.}$, αδιαπέρατη πλάκα φόρτισης

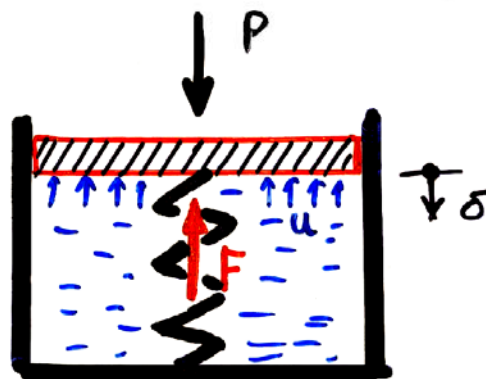
(γ) $P = \text{σταθ.}$, διαπερατή πλάκα φόρτισης

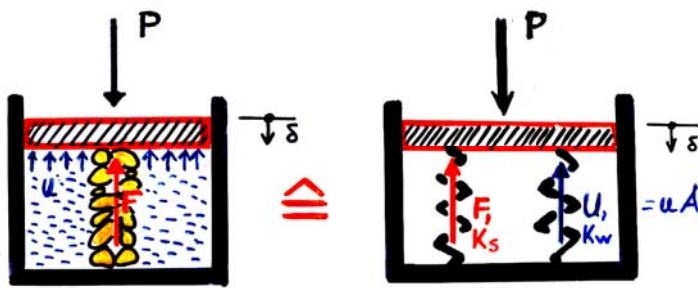


$$P = U + F$$

$$U = u A$$

$A = \text{επιφάνεια πλάκας}$





(α) **Αδιαπέρατη πλάκα**
(χωρίς διαφυγή νερού)

$$K_w \gg K_s \rightarrow \left. \begin{array}{l} K_w/K_s \rightarrow \infty \\ K_s/K_w \rightarrow 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \delta \rightarrow 0 \\ U \rightarrow P \\ F \rightarrow 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} K_w = 10^8 \text{ kPa} \\ K_s = 10^5 \text{ kPa} \end{array}$$

(β) **Διαπερατή πλάκα**
(σταδιακή διαφυγή νερού)

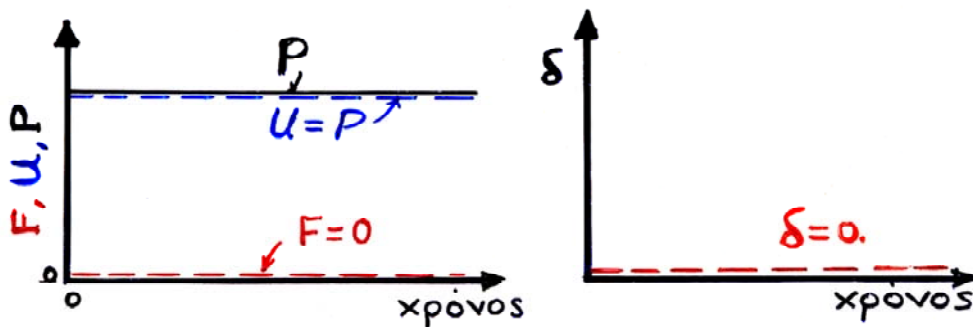
t=0+ δεν έχει προλάβει να διαφύγει νερό, **άρα ως (α)**

t=∞ έχει προλάβει να διαφύγει όλο το νερό

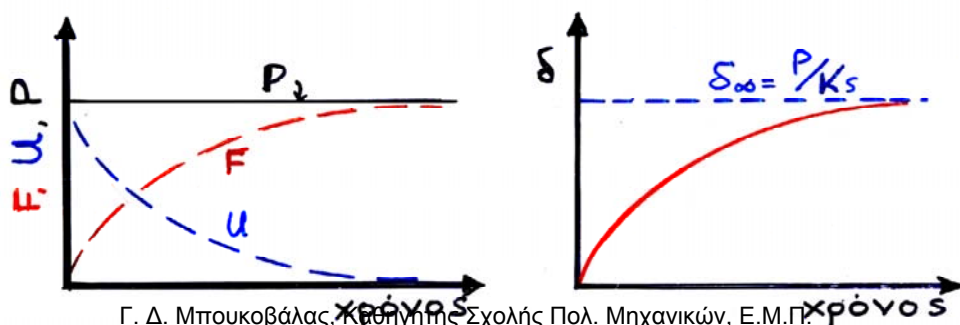
$$K_w = 0 \rightarrow \left. \begin{array}{l} K_w/K_s = 0 \\ K_s/K_w = \infty \end{array} \right\} \begin{array}{l} \delta = P/K_s \\ U = 0 \\ F = P \end{array}$$

$$\begin{array}{l} K_s \cdot \delta + K_w \cdot \delta = P \rightarrow \delta = \frac{P}{K_s} \left(\frac{1}{1 + K_w/K_s} \right) \\ U = K_w \cdot \delta \rightarrow U = P \left(\frac{K_w/K_s}{1 + K_w/K_s} \right) \\ F = K_s \cdot \delta \rightarrow F = P \left(\frac{1}{1 + K_w/K_s} \right) \end{array}$$

(α) χωρίς δυνατότητα στράγγισης :



(β) με δυνατότητα στράγγισης



- ✚ Ορισμός θετικών/αρνητικών παραμορφώσεων εδαφικού σημείου.
- ✚ Μηχανισμοί (αίτια) παραμόρφωσης των κοκκωδών εδαφών.
- ✚ Μηχανισμοί (αίτια) παραμόρφωσης των αργιλικών εδαφών.
- ✚ Ποιοι από τους παραπάνω μηχανισμούς οδηγούν σε «ελαστικές» (αντιστρέψιμες) και ποιοι σε πλαστικές (μη αντιστρέψιμες) παραμορφώσεις;
- ✚ Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων για γραμμικώς ελαστικά μέσα.

