



## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΑ ΕΡΓΑ: *Τοίχοι* *Αντιστήριξης*

**Β.Ν. ΓΕΩΡΓΙΑΝΝΟΥ**  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.



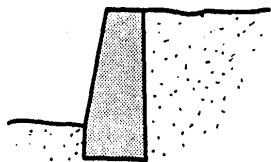
## ΤΟΙΧΟΙ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

**1.** Λόγω μάζας και διατμητικής αντίστασης ανάμεσα στη βάση τους και το υποκείμενο έδαφος παραλαμβάνουν τις οριζόντιες ωθήσεις γαιών:

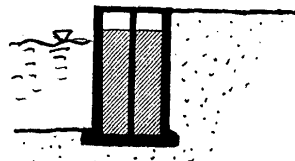
- ❑ συμπαγείς από άοπλο σκυρόδεμα ή λιθοδομή
- ❑ οπλισμένου σκυροδέματος με πέλμα
- ❑ κυψελωτοί (στοιχεία τους πληρώνονται με κοκκώδη υλικά)

**• για περιορισμό των μετακινήσεων καταλληλότεροι οι πασσαλότοιχοι**

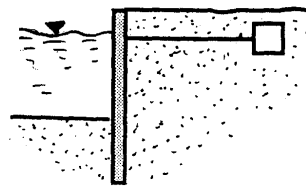
# ΤΥΠΟΙ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ



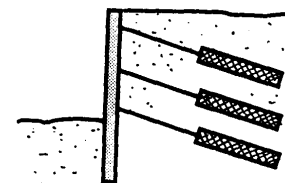
τοίχος βαρύτητας



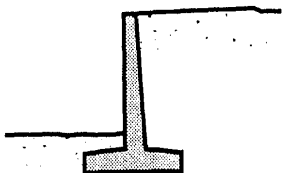
λιμενικός  
κρηπιδότοιχος



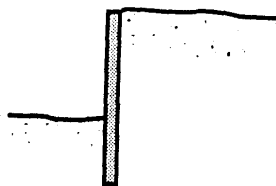
πασσαλοσανίδες ή πασσαλότοιχοι ή διαφράγματα  
με απλή  
αγκύρωση



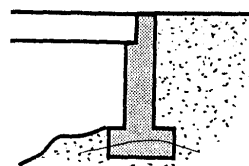
με προεντεταμένα  
αγκύρια



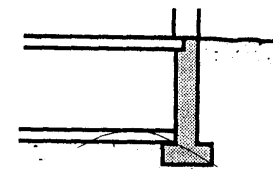
τοίχος πρόβολος  
(ωπλισμένου σκυροδέματος)



εγκιβωτισμένος  
προβολότοιχος



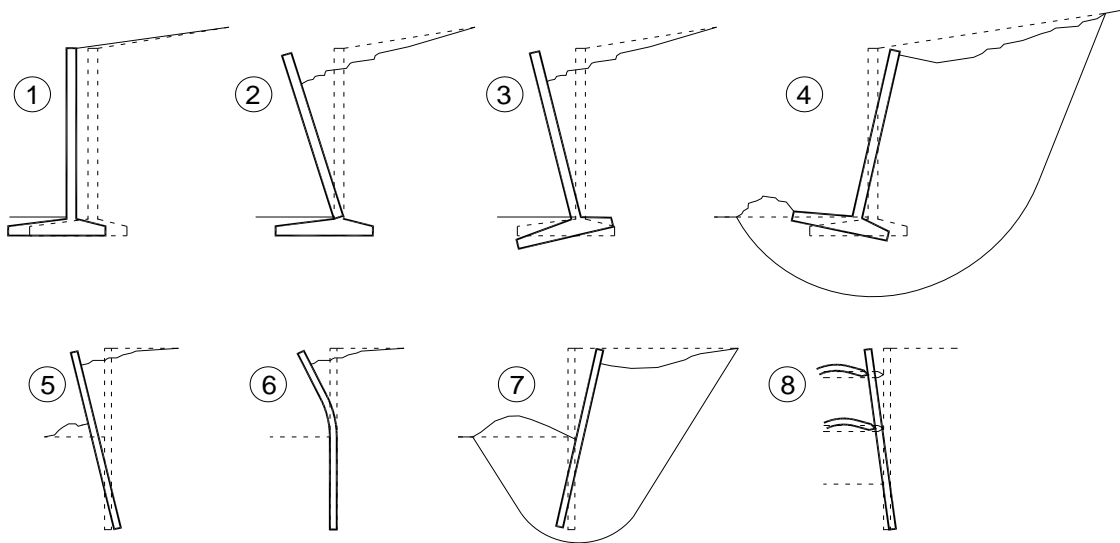
τοίχος ακροβάθρου  
γεφύρας



(περιμετρικός)  
τοίχος υπογείου

μείωση μετατοπίσεων στους πασσαλότοιχους

# ΑΣΤΟΧΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ



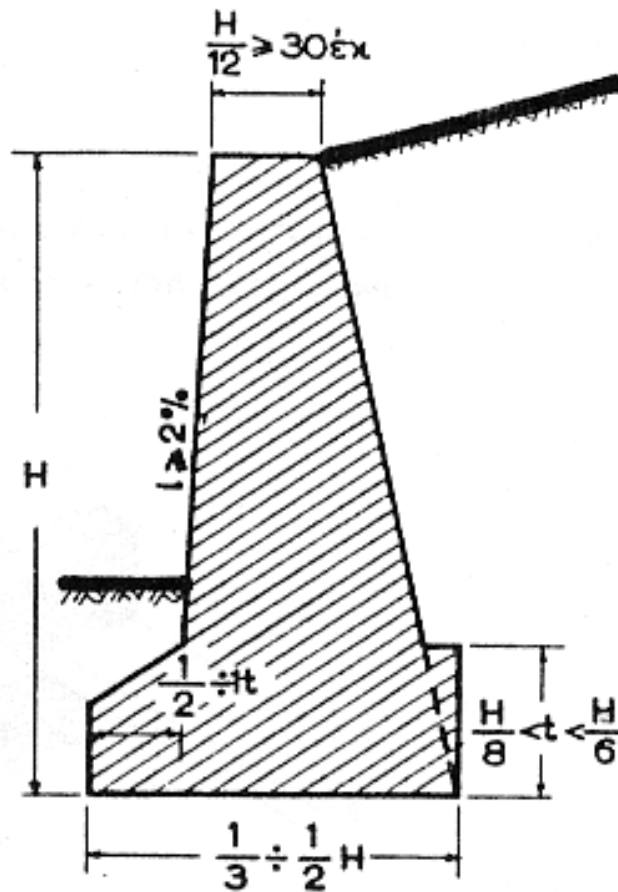
□ Τρόποι αστοχίας κατασκευών αντιστήριξης

## **ΒΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

- ❑ καθορισμός εδαφικών ιδιοτήτων ( $\gamma, c, \phi$ ), κατανομής πίεσης του νερού των πόρων, γωνίας τριβής τοίχου-εδάφους,  $\delta$ .
- ❑ επιλογή τύπου (συμπαγής, οπλισμένου σκυροδέματος, συρματοκιβώτια)
- ❑ επιλογή βάθους θεμελίωσης (απομάκρυνση επιφανειακών εδαφικών αποθέσεων)
- ❑ υπολογισμός εντατικών μεγεθών, έκκεντρης φόρτισης
- ❑ έλεγχος σε ολίσθηση, ανατροπή, αστοχία θεμελίωσης,  $q_{ult} = f(N_c, N_\gamma, N_q)$
- ❑ έλεγχος καθιζήσεων

# ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

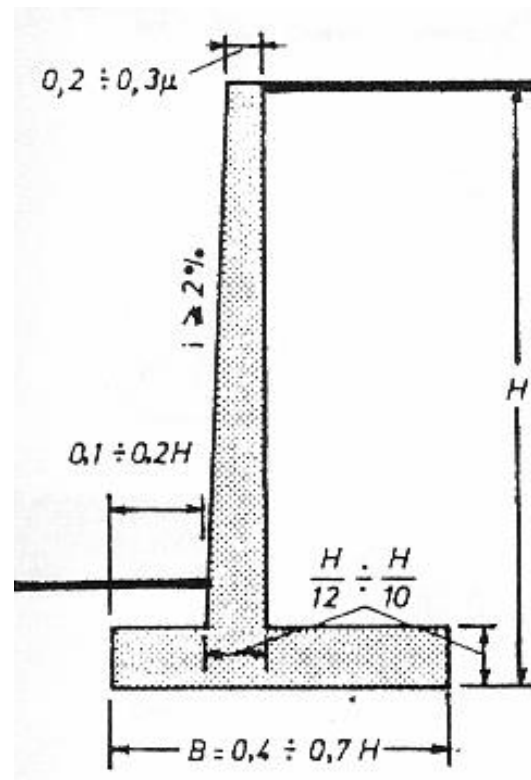
- Συμπαγής τοίχος από άοπλο σκυρόδεμα



↪ Προκαταρκτικός σχεδιασμός τοίχου βαρύτητας προς έλεγχο

# ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

- Τοίχος οπλισμένου σκυροδέματος με πέλμα

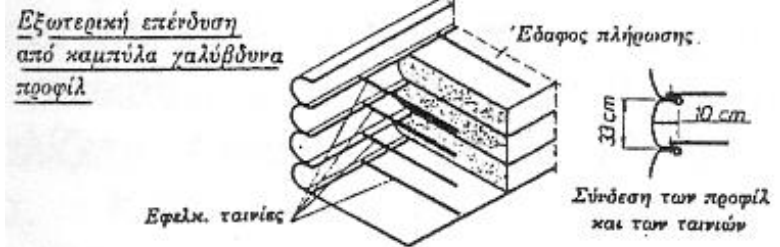
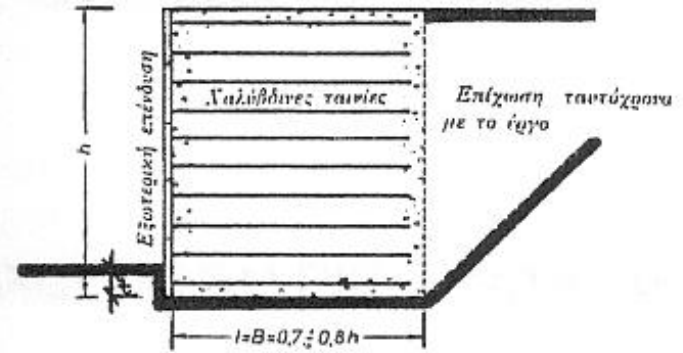


↪ Προκαταρκτικός σχεδιασμός τοίχου προς έλεγχο

# ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

- Οπλισμένη γή

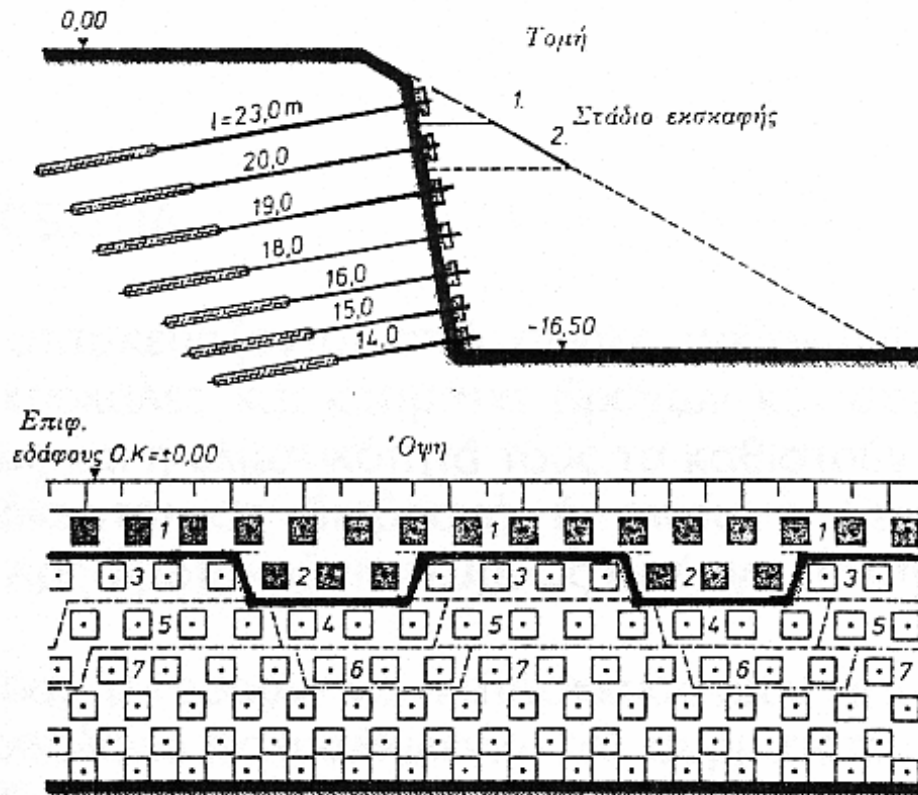
↙ Προκαταρκτικός σχεδιασμός οπλισμένης γής προς έλεγχο





# ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

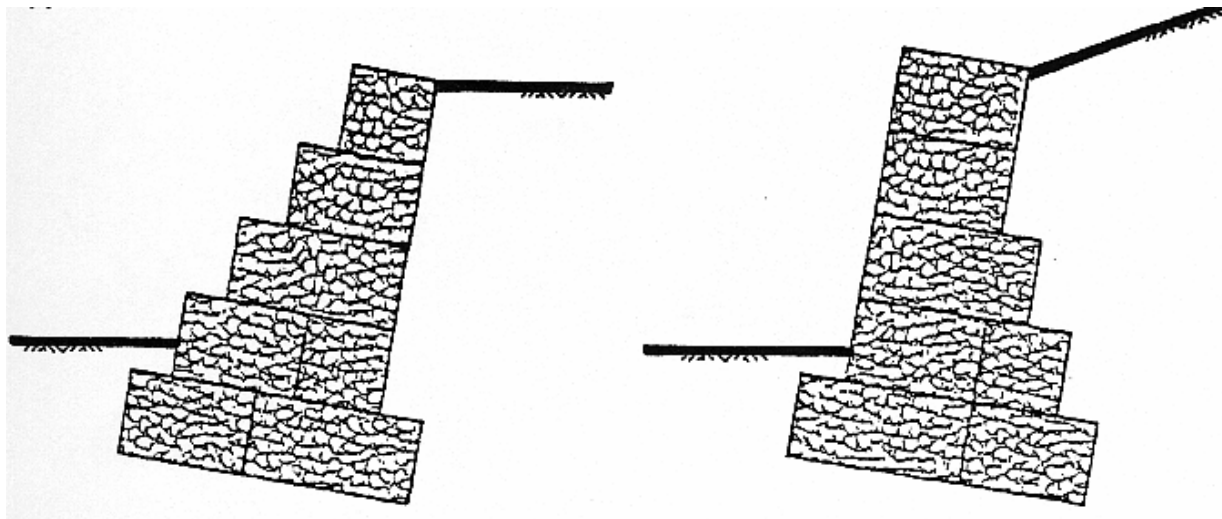
- Κατασκευή τοίχων με εδαφοηλώσεις



⇒ Προκαταρκτικός σχεδιασμός οπλισμένης γής προς έλεγχο

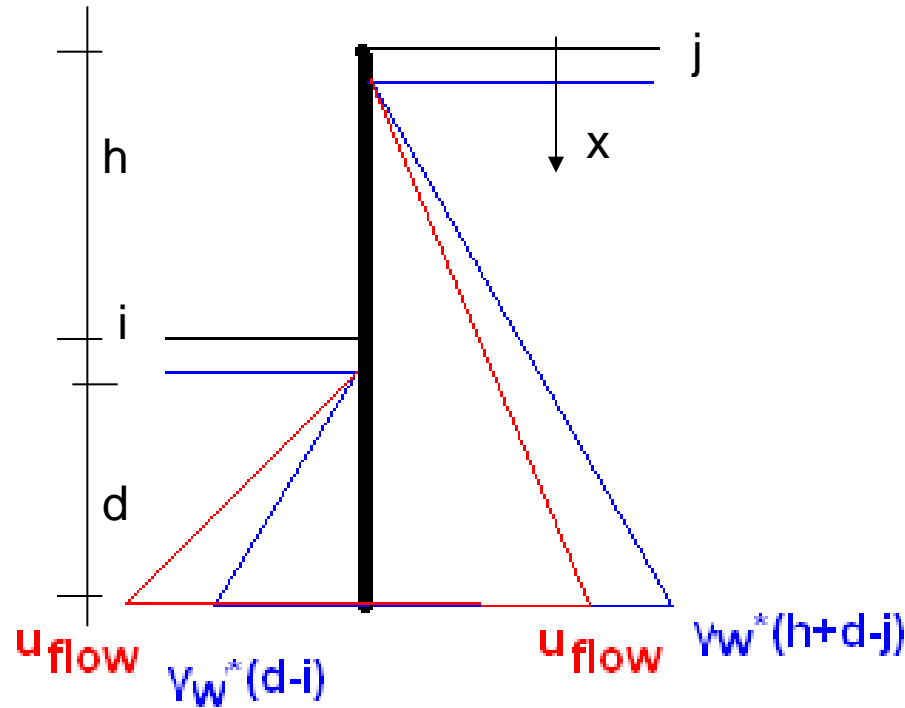
# ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

- Συρματοκιβώτια



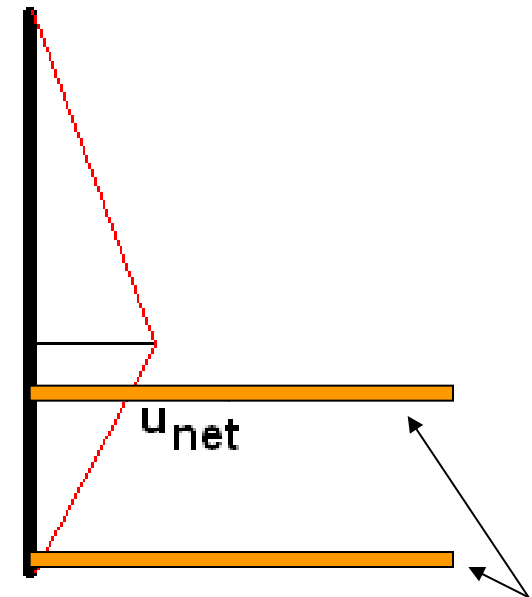
↪ **Κλίση 1/10 ή 1/6 ή 1/4 στην πλευρά των γαιών για τοίχους ύψους περίπου 3 μέτρων**

# DESIGN WATER PRESSURE



Porewater pressure = (hydraulic head - elevation head)  $\gamma_w$   
 $U_f = [2(d+h-j)(d-i)] * \gamma_w / (2d+h-i-j)$

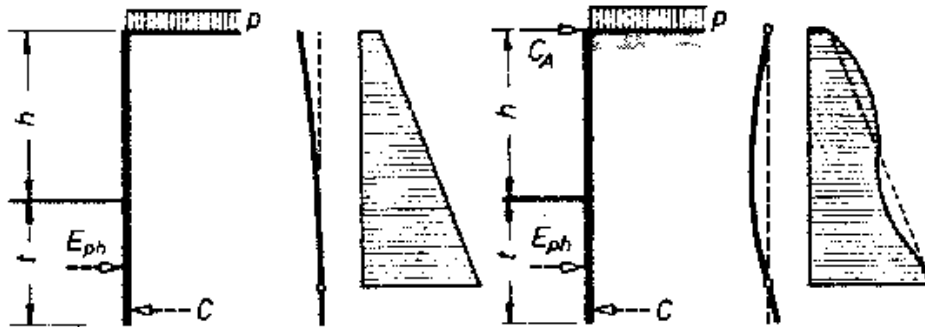
(a) Gross water pressures



sand or silt interlayers  
 convey water at  
 hydrostatic pressure to  
 base of wall

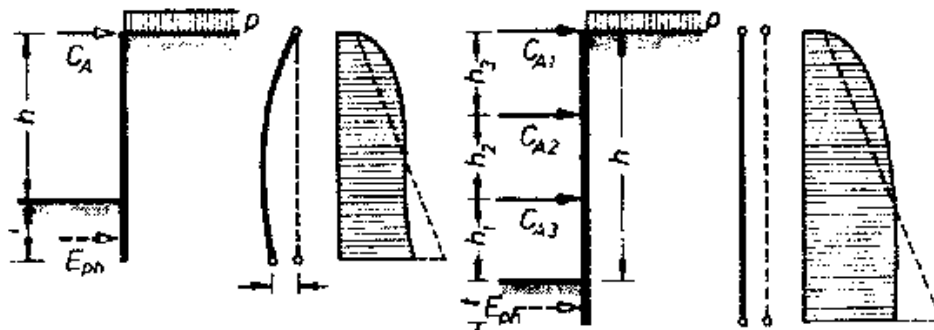
(b) net water pressures

# ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ - ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ



## Αντιστηρίξεις:

- αντιρήδες
- έγχυτα χαλαρά αγκύρια
- προεντεταμένα αγκύρια



Αγκύρια & αντηρίδες προκαλούν μετατόπιση του διαγράμματος των ωθήσεων προς τα πάνω

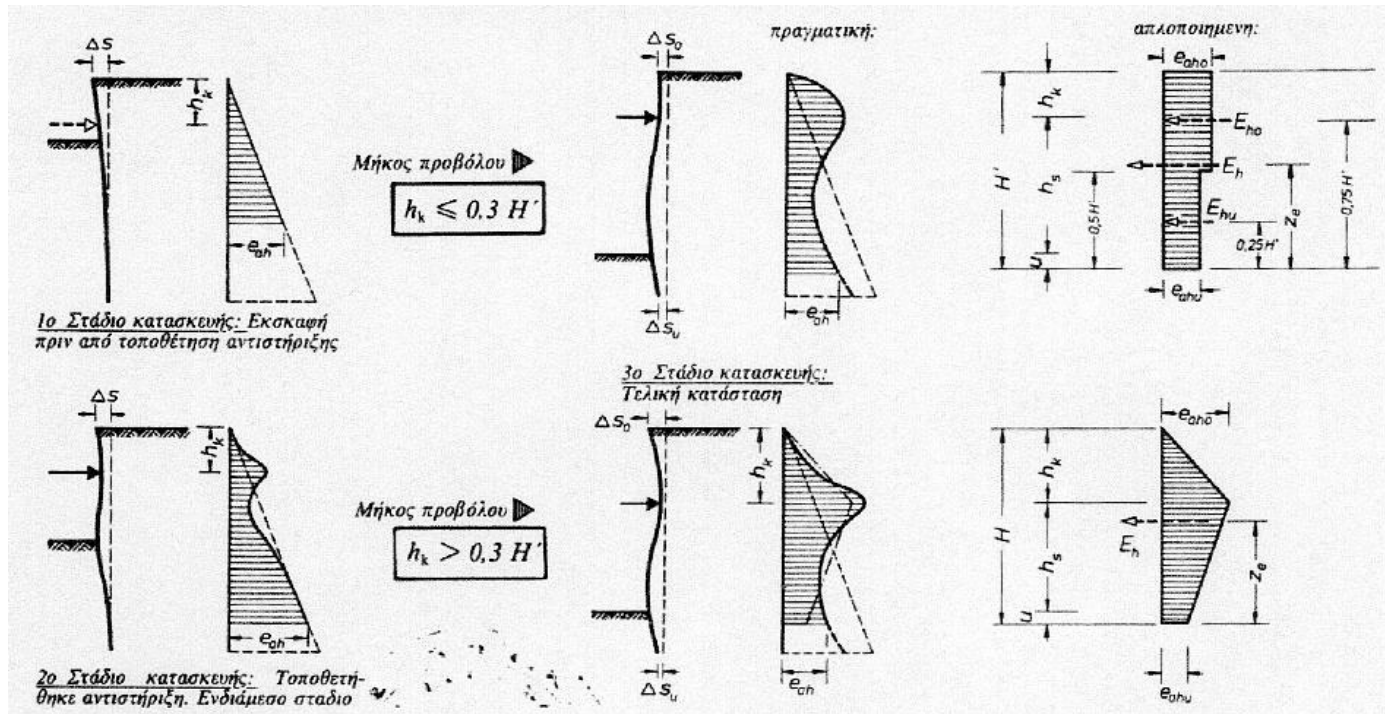
(1) Πάκτωση στο έδαφος, τριγωνική κατανομή ώθησης γαιών

$$E_{\alpha} = 0.5 * \gamma * k_{\alpha} * h^2 - 2 * c * \sqrt{k_{\alpha}} * h + p * k_{\alpha} * h$$

(2), (3) Απλή αντιστήριξη, παραμόρφωση στο μεσαίο ελεύθερο τμήμα

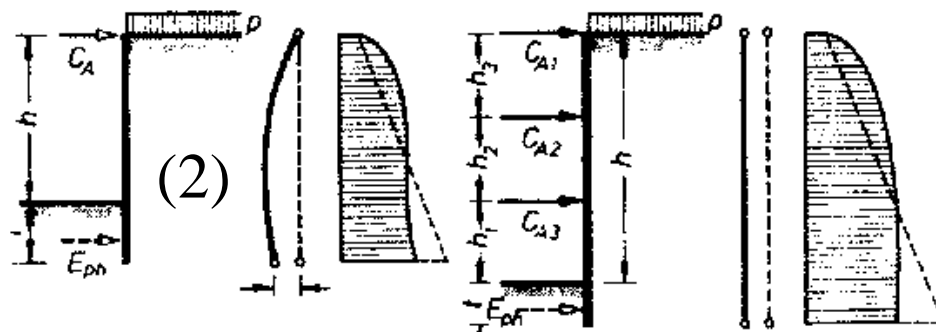
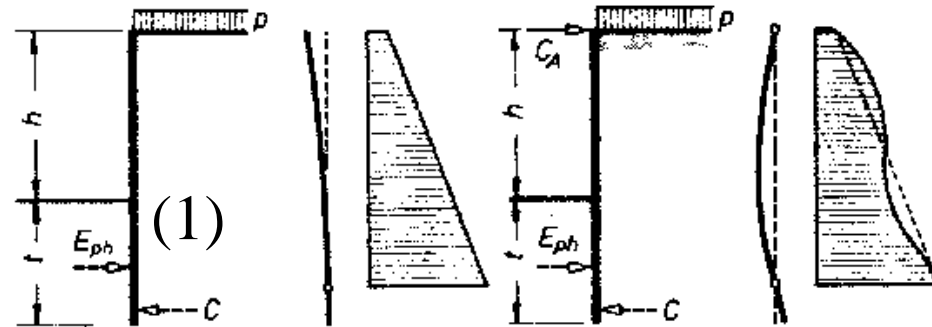
(4) το τοίχωμα συγκρατείται με πολλαπλές αντιστηρίξεις, συνολική οριζόντια μετατόπιση

## Απλοποιημένη κατανομή ωθήσεων σε στεγανωτικό διάφραγμα με απλή αντιστήριξη



📖 Αγκύρια & αντηρίδες προκαλούν μετατόπιση του διαγράμματος των ωθήσεων προς τα πάνω

# ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ - ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ



- τοίχοι με απλή αντιστήριξη και πλήρη ή μερική πάκτωση έχουν 1 βαθμό στατικής αοριστίας
- για ανώτερο βαθμό αοριστίας χρήση νομογραφημάτων

(1) & (2)

στατικά ορισμένα συστήματα  
 $\Sigma H=0, \Sigma V=0, \Sigma M=0$

(1) πλήρως πακτωμένος τοίχος

- μεγάλες ροπές πάκτωσης
- μεγάλα βάθη έμπηξης
- μεγάλες παραμορφώσεις στην κεφαλή

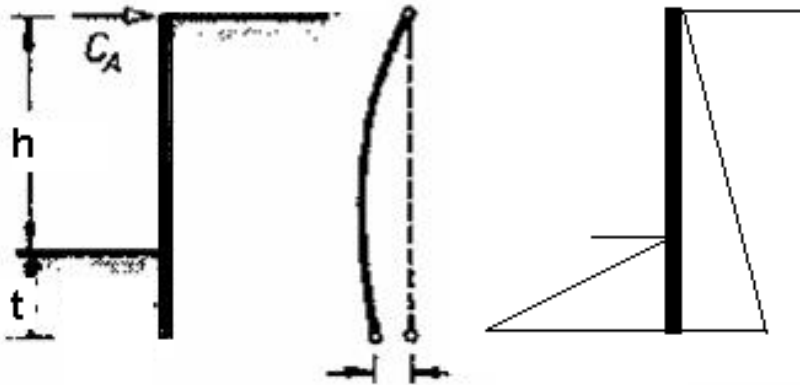
(2) αντιστήριξη, ελεύθερη έδραση στο έδαφος

- αμφιέριστη δοκός φορτιζόμενη με την ώθηση γαιών (σημείο έδρασης=κέντρο βάρους επιφάνειας αντίδρασης)

# Influence of wall flexibility on pressure distribution

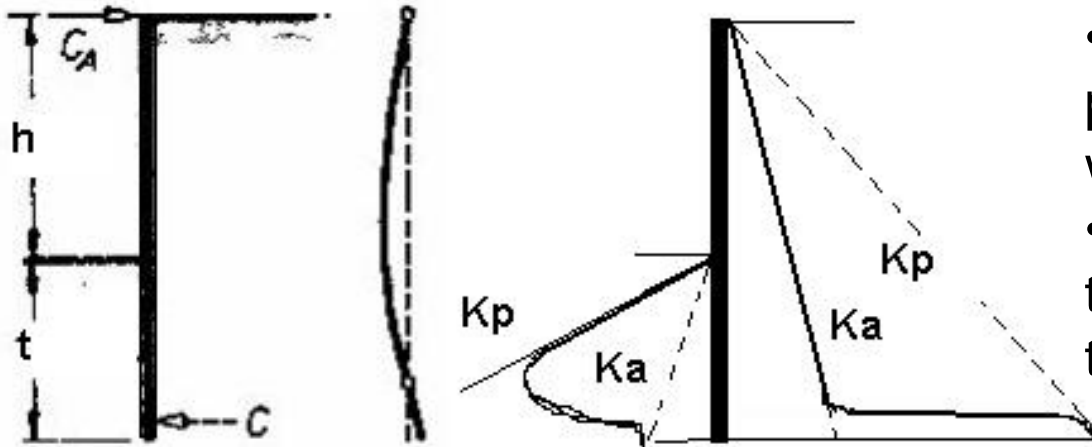
## FREE-EARTH AND FIXED-EARTH CONDITIONS

Free earth support conditions- Propped wall



- not sufficient embedment to prevent rotation of the toe of the wall
- wall in equilibrium with idealized pressure distribution shown

Fixed earth support conditions- Propped wall



- increased embedment, below point C rotation of the toe of the wall becomes negligible
- a fixing moment is provided by the large reaction at the back of the wall close to its toe

deflected shape      earth pressure distribution

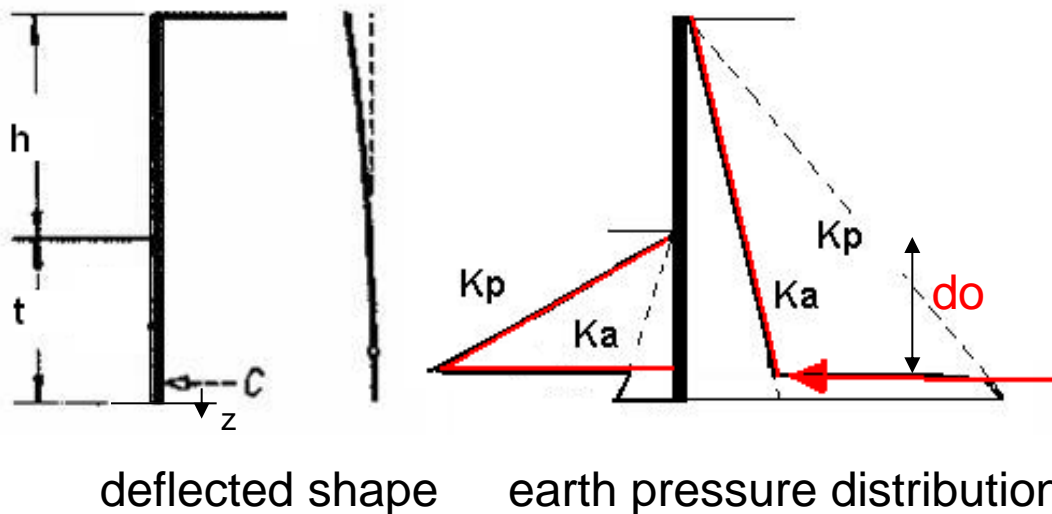
Overall stability checks in terms of rotation about the prop only applicable to free-earth conditions. No failure mechanism relevant to fixed-earth. Reduction of design bending moment, deeper embedment though.



# FREE-EARTH AND FIXED-EARTH WALLS -LIMITING CONDITION (on the point of collapse)

- for a **propped** wall, the failure mechanism considered in overall stability calculations is rotation about the position of the prop, assuming free-earth support conditions
- depth of embedment determined by taking moments about the position of the prop

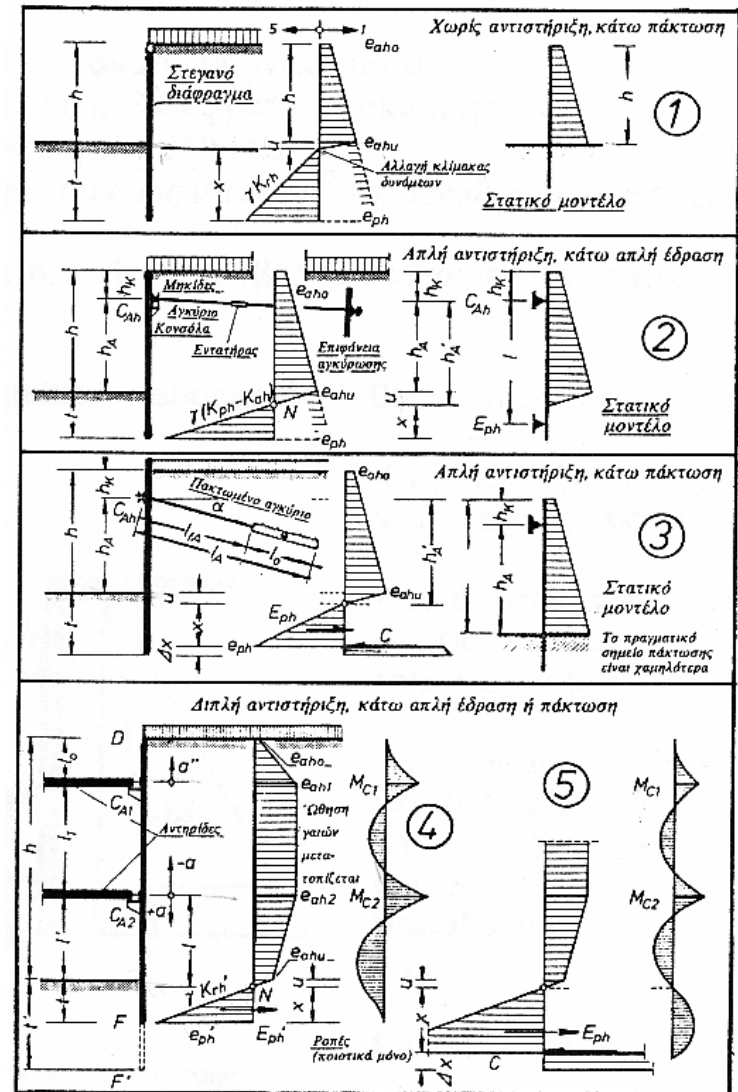
## Fixed earth support conditions- **cantilever wall**



- for **cantilever** wall the theoretical pressure distribution is of the fixed-earth form
- at point of rotation full passive pressure at the front of the wall and full passive pressure behind the wall is assumed
- equating horizontal forces and taking moments about  $C$  defines  $t$  and  $z$  (2 equations, 2 unknowns)
- simplification: take moments about  $C$  to define  $d_o$



- (1). Πάκτωση στο έδαφος  
**embedded cantilever wall**
- (2). Απλή αντιστήριξη, απλή έδραση  
στο έδαφος  
**free earth support**
- (3). Απλή αντιστήριξη, πλήρης ή  
μερική πάκτωση στο έδαφος  
**fixed earth support**
- (4). Πολλαπλή αντιστήριξη, απλή  
έδραση στο έδαφος  
**free earth multi propped support**
- (5). Πολλαπλή αντιστήριξη,  
πάκτωση στο έδαφος  
**fixed earth multi propped support**



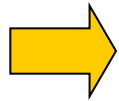
# SHEET PILES

Removable thick sheets driven by crane mounted pile drivers



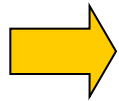
# DRIVEN SHEET PILE WALLS

**REQUIREMENT:** soil strength allows driving process

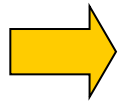


via hydraulic pressure or blows

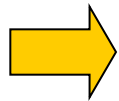
- **water tight sheet pile walls**



metal profiles interfacing to seal against water



profiles can be reused



applications to narrow lanes, close to houses, swage works

## Εφαρμογή κατάλληλη για αντιστηρίξεις πλησίον κτιρίων

-μετακινήσεις και καθιζήσεις πίσω από τον τοίχο  
ελαχιστοποιούνται με προσεκτική κατασκευή

1. Έγχυτοι πάσσαλοι που σκυροδετούνται σε οπές που διανοίγονται με γεωτρύπανο
2. Οι οπές σωληνώνονται ή πληρούνται με υγρό μέχρι τη σκυροδέτηση-ελαχιστη διατάραξη περιβάλλοντος εδάφους
3. Οι πασσαλότοιχοι αντίθετα με τους σανιδότοιχους και τις στεγανωτικές πασσαλοσανίδες, έχουν σημαντικά **μεγαλύτερη ροπή αδρανείας και αντίστασης**

# ΤΥΠΟΙ ΠΑΣΣΑΛΟΤΟΙΧΩΝ

## ■ αλληλοτεμνόμενοι

- $0 < \alpha < 1D$ ,  
 $\alpha$ =απόσταση μεταξύ  
πασσάλων,  
 $D$ =διάμετρος πασ.

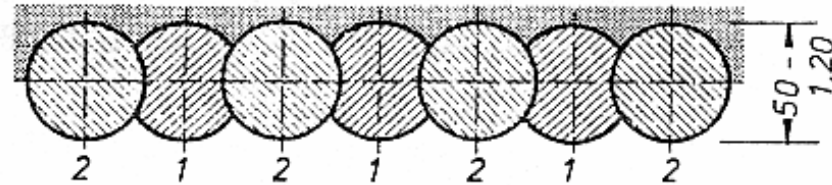
## ■ πάσσαλοι σε επαφή

- $1D < \alpha < 2D$

## ■ αλληλοτεμνόμενοι

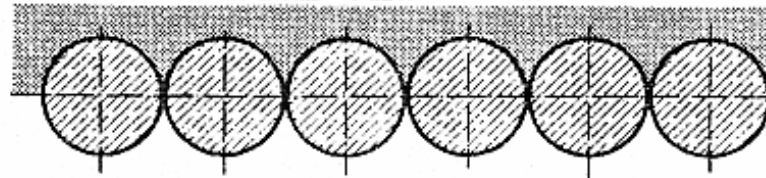
- $A > 2D$

a. Με επικαλυπτόμενους πασσάλους

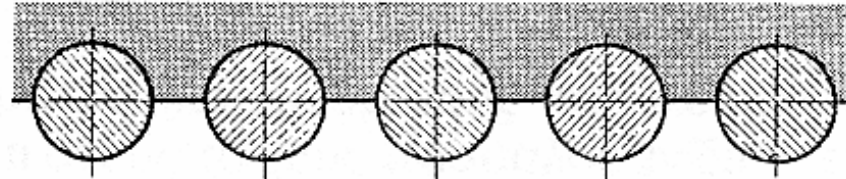


- 1 Χίνονται πρώτα οι άοπλοι πάσσαλοι
- 2 Μετά, οι από οπλ. σκυρόδεμα

b. Με αλληλοεφαπτόμενους πασσάλους

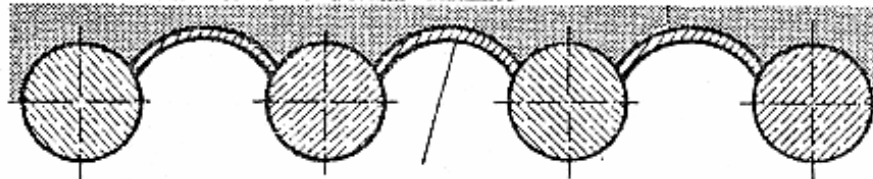


c. Με ελεύθερο χώρο ανάμεσα στους πασσάλους



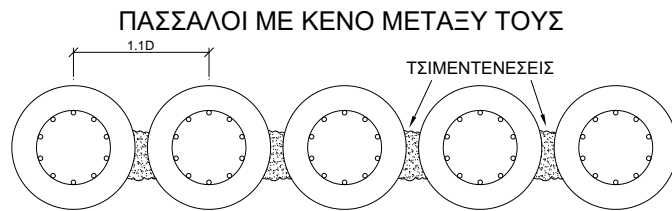
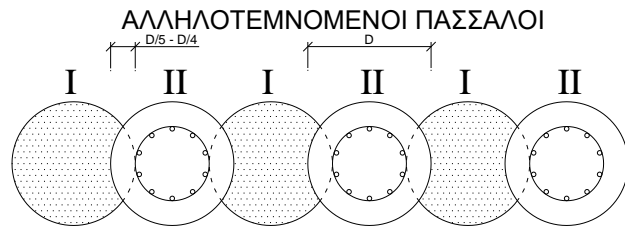
(Εφαρμόζονται μόνο σε στέρεα, στεγνά ή προετοιμασμένα εδάφη)

d. Πάσσαλοι με ενδιάμεσους θόλους

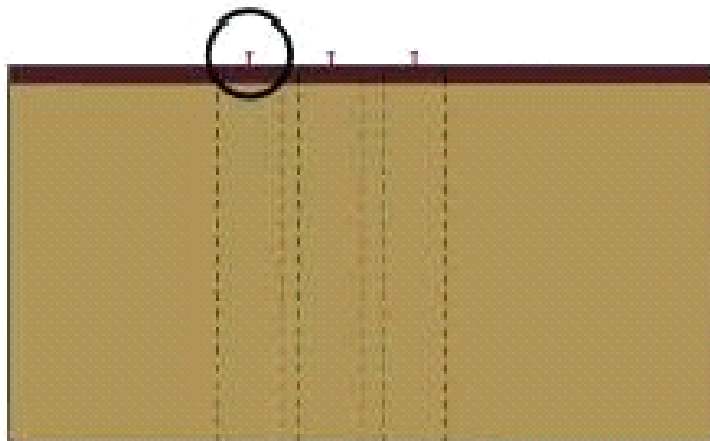


Επί τόπου ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

# ΑΛΛΗΛΟΤΕΜΝΟΜΕΝΟΙ ΠΑΣΣΑΛΟΙ



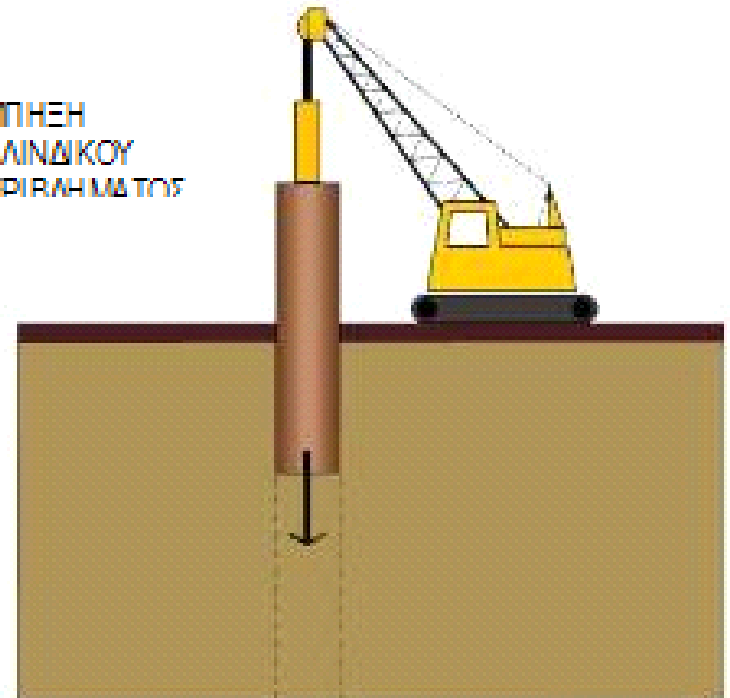
ΧΑΡΑΞΗ ΘΕΣΕΩΝ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ



1

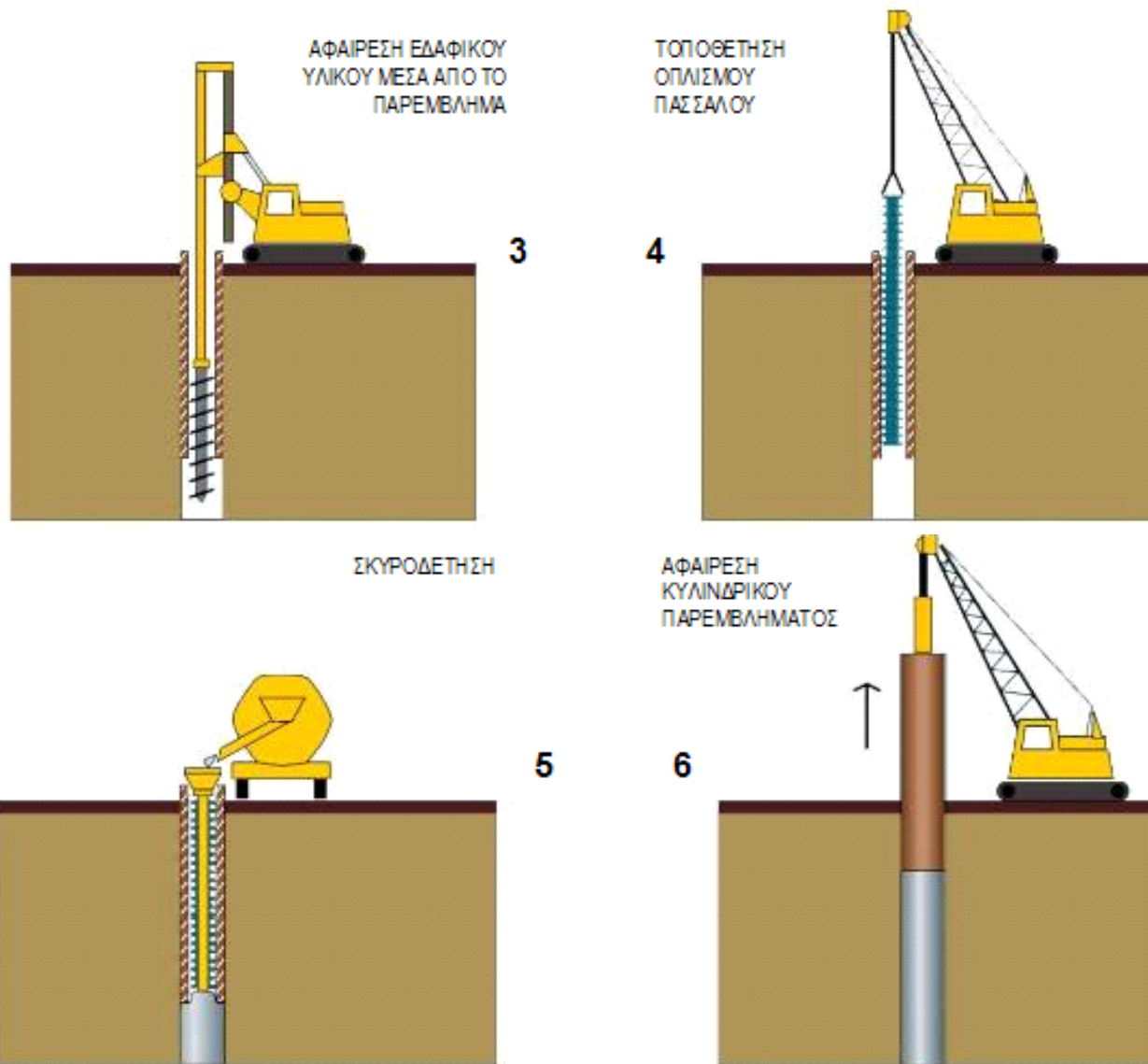
ΕΜΠΛΗΞΗ  
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ

2

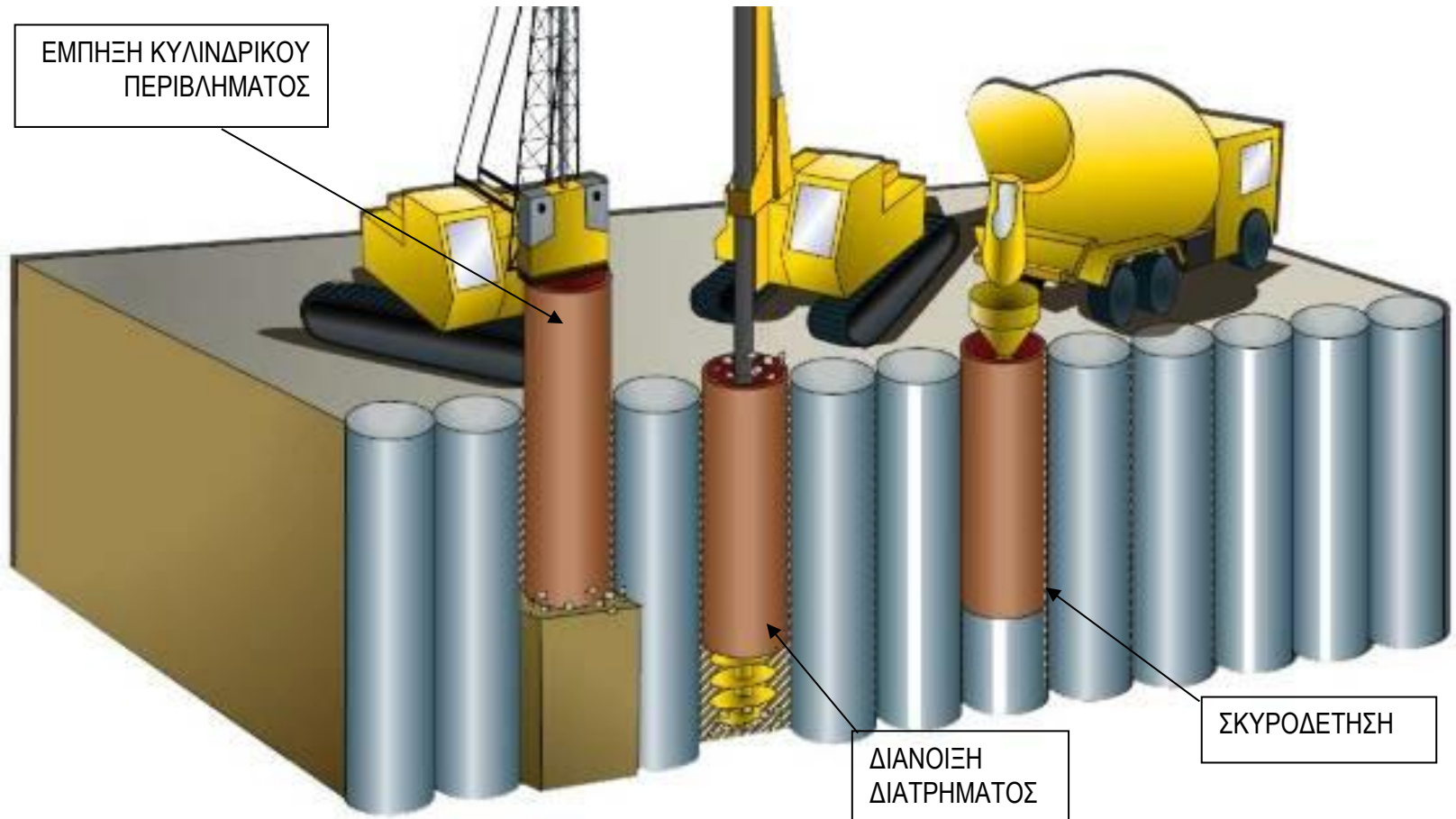




# ΑΛΛΗΛΟΤΕΜΝΟΜΕΝΟΙ ΠΑΣΣΑΛΟΙ

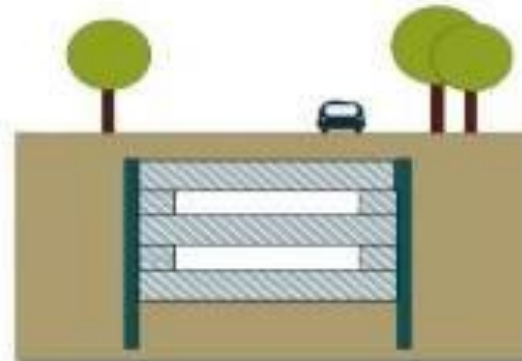
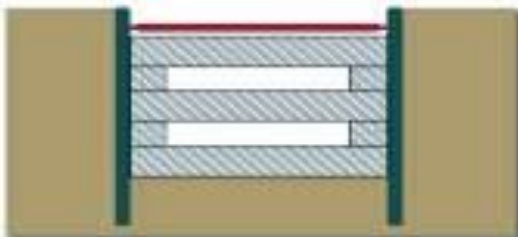
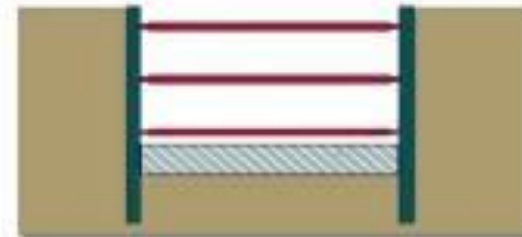
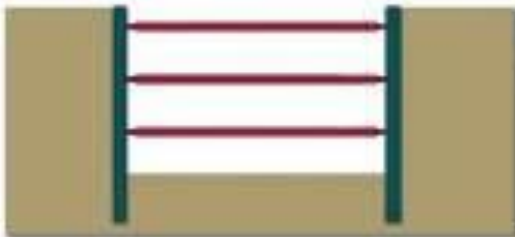
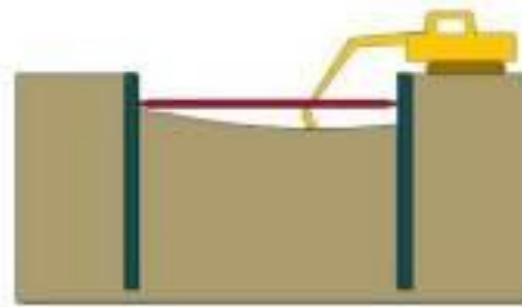
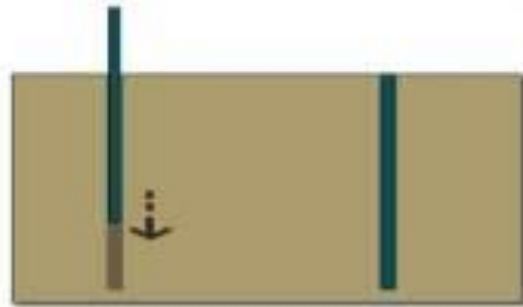


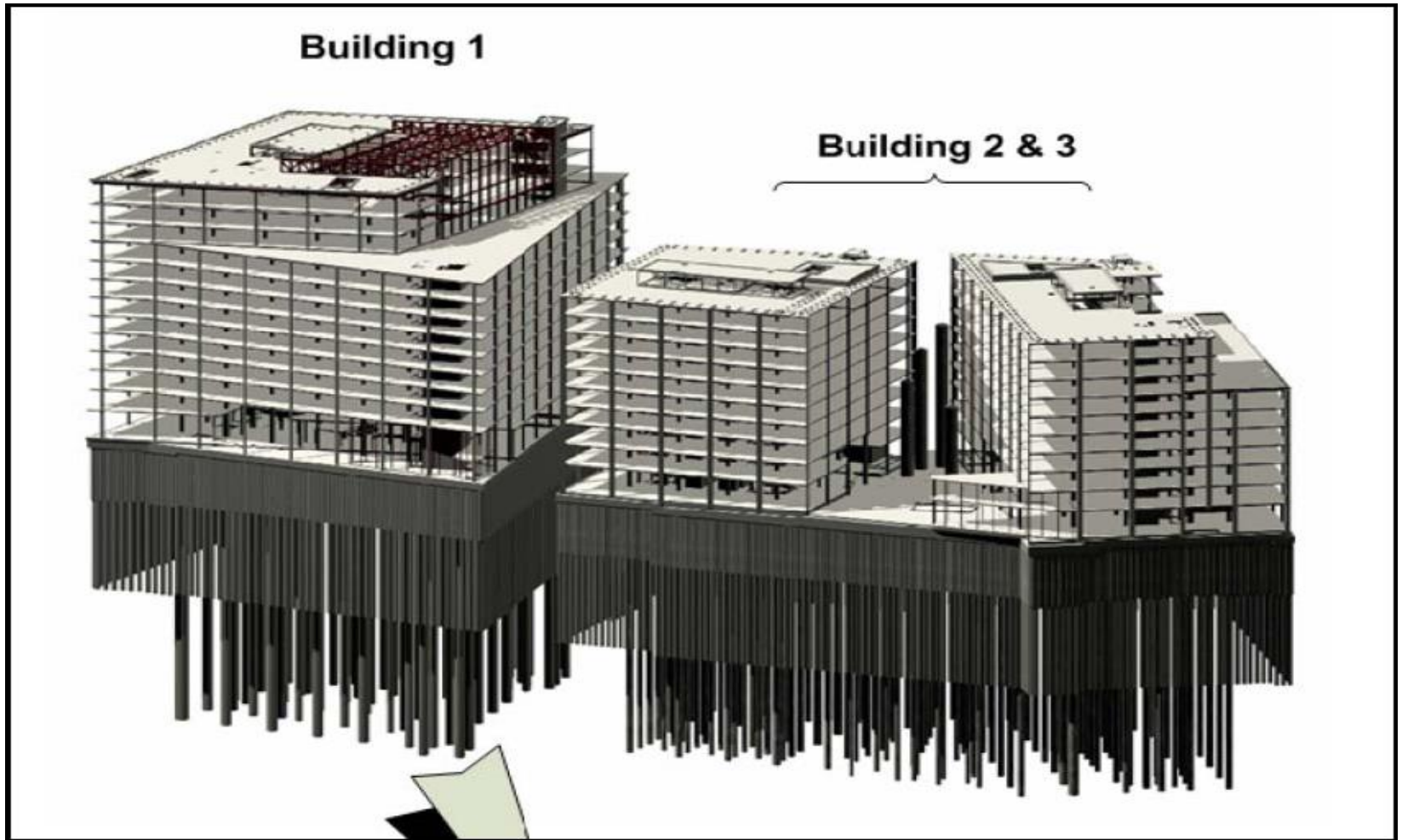
# ΓΡΑΜΜΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΑΣΣΑΛΟΤΟΙΧΟΥ



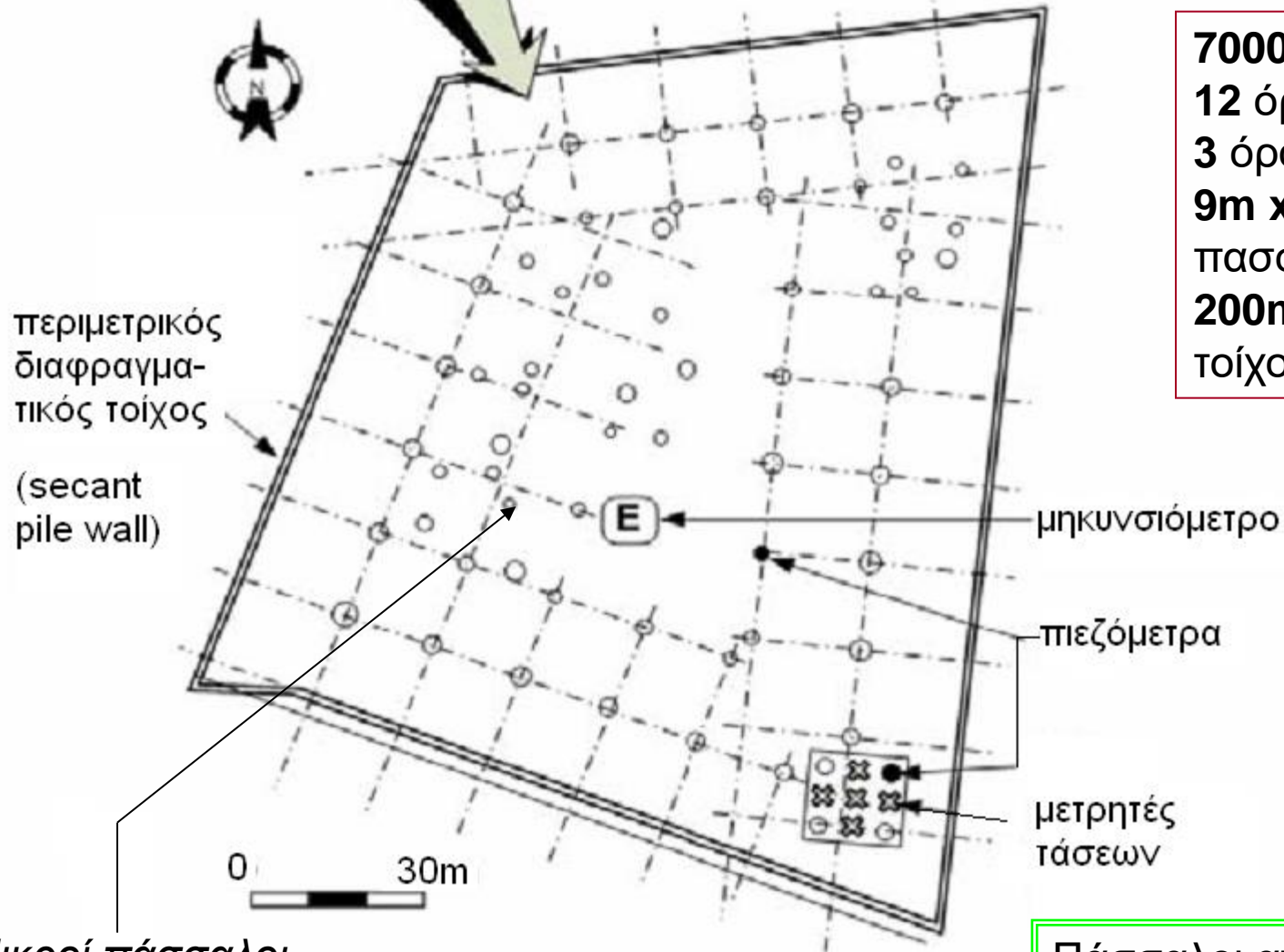


# ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΟΔΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΤΗΡΙΑΩΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΟΤΟΙΧΩΝ





# ΚΤΙΡΙΟ 1



**70000 m<sup>2</sup>** γραφεία  
**12** όροφοι  
**3** όροφοι υπόγειοι  
**9m x 9m** κάναβος  
πασσάλων  
**200m** διαφραγματικός  
τοίχος

περιμετρικός  
διαφραγμα-  
τικός τοίχος  
(secant  
pile wall)

μηκυνσιόμετρο

πιεζόμετρα

μετρητές  
τάσεων

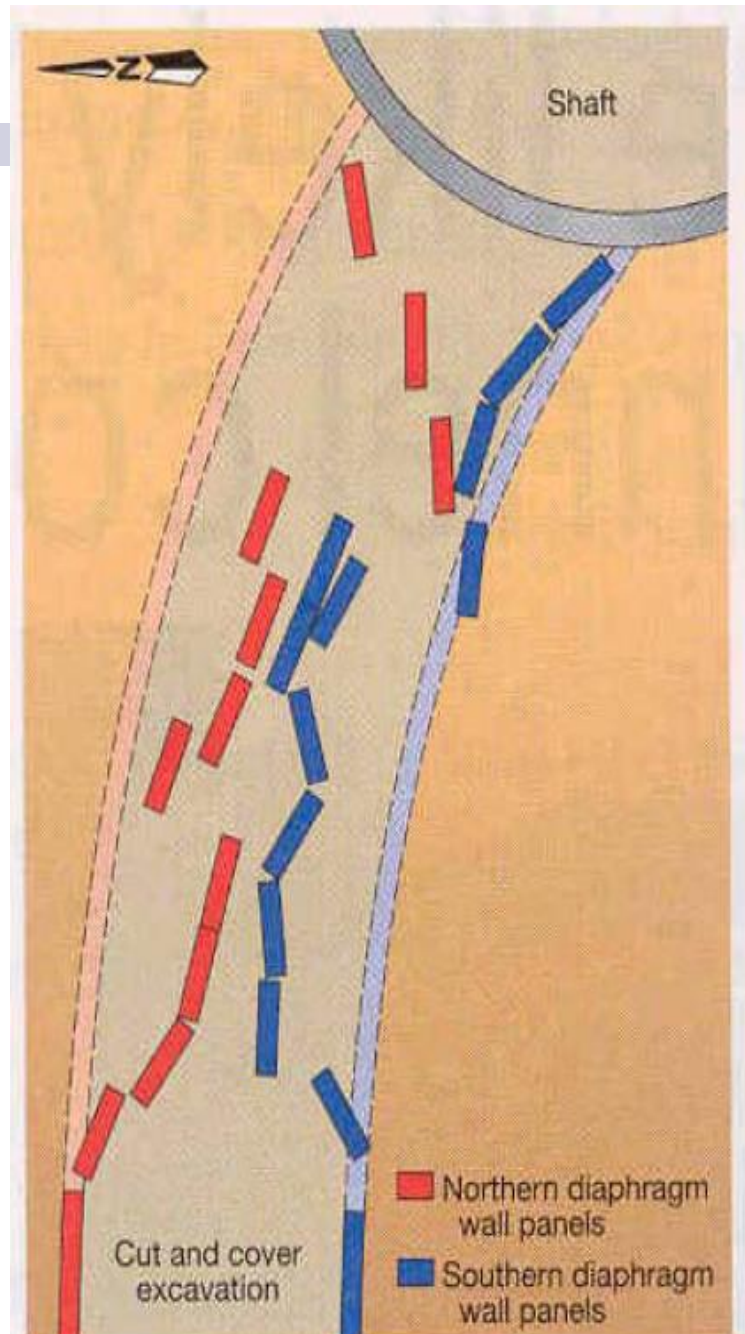
0 30m

*Μικροί πάσσαλοι  
από προηγούμενη  
κατασκευή*

Πάσσαλοι από μπεντονίτη  
**D = 1.2-2.4m** (διάμετρος)  
**L = 53m** (μήκος)

Κατασκευάστηκαν σε 3 στάδια



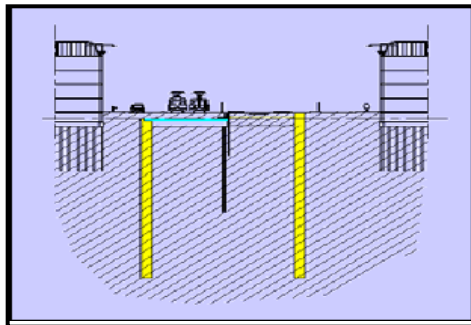
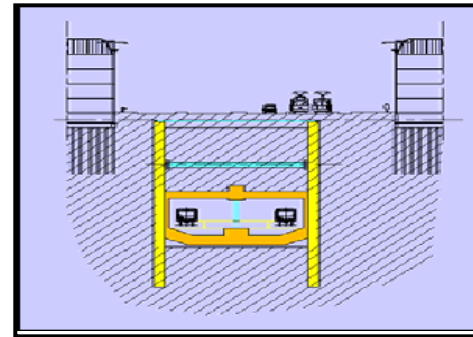
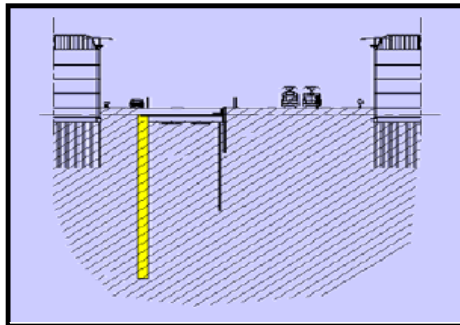
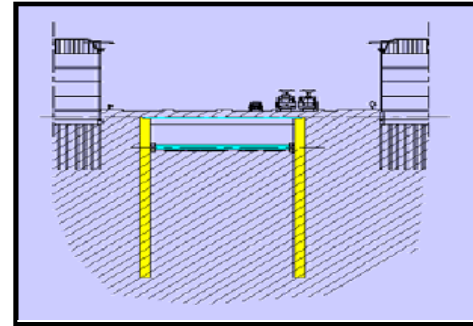
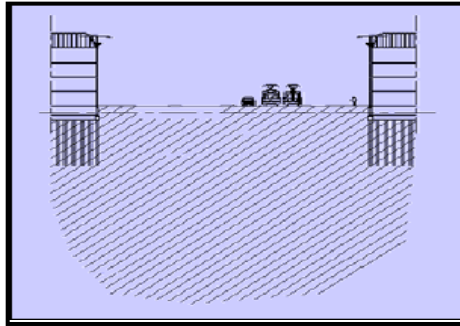






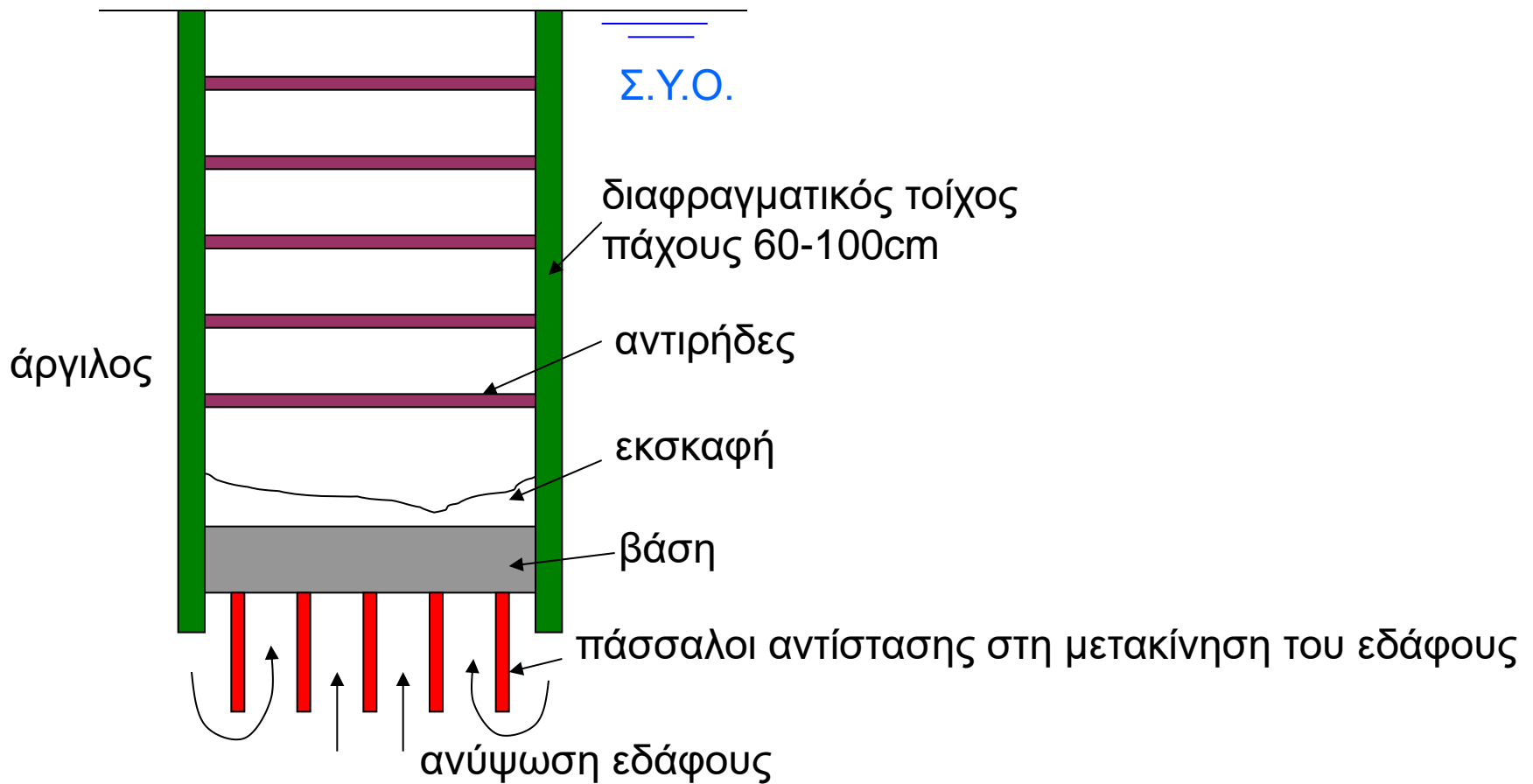


# Κατασκευή υπόγειου σταθμού





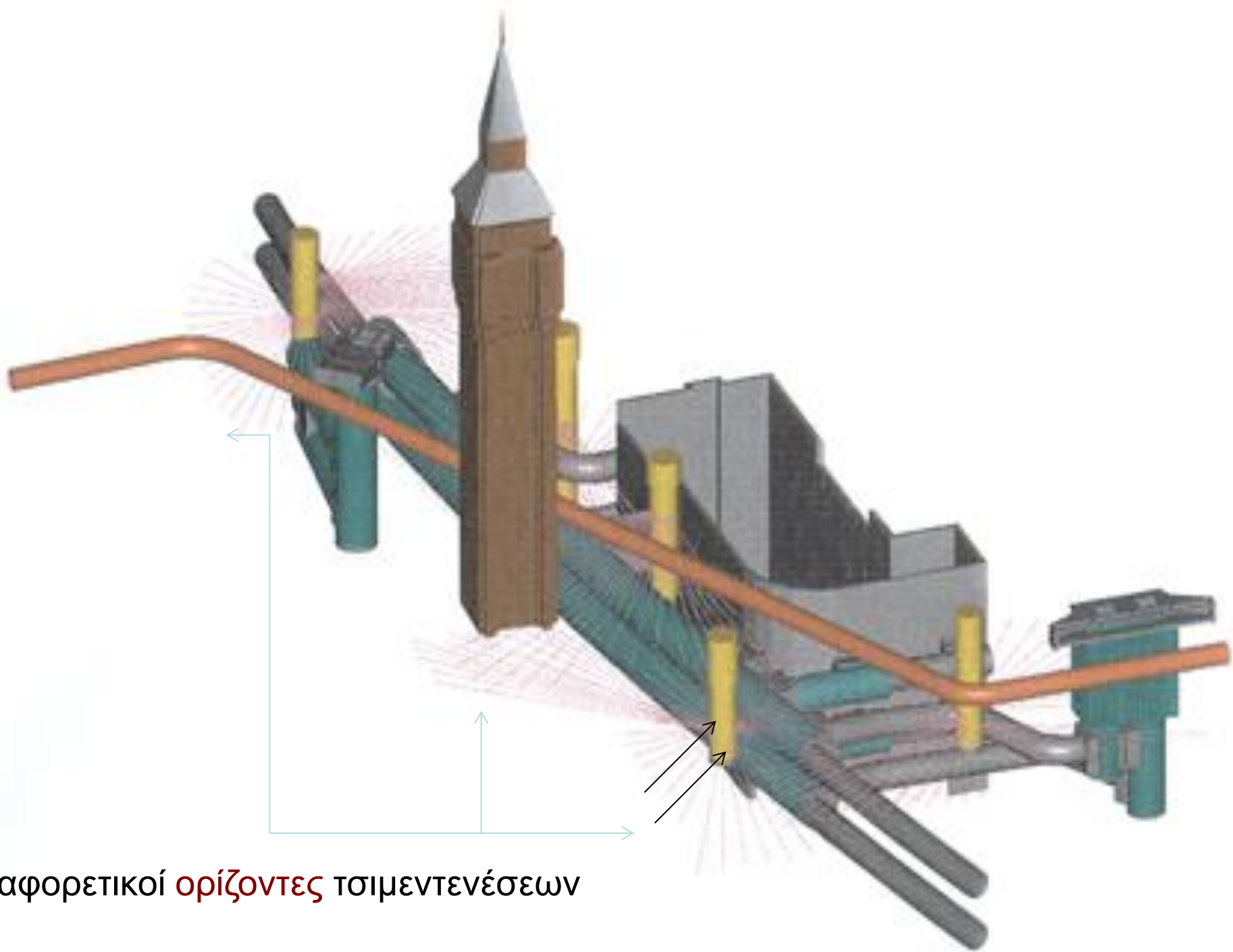
# Ανύψωση εδάφους στη βάση εκσκαφής











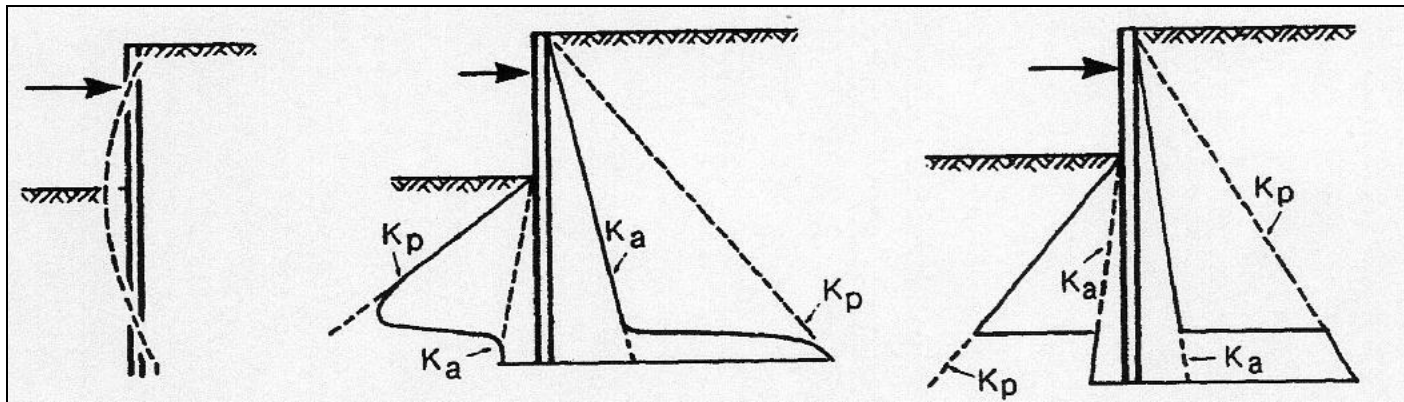
διαφορετικοί **ορίζοντες** τσιμεντενέσεων

## Μεθοδοι υπολογισμού

- ① Μέθοδος οριακής αστοχίας π.χ. Weissenbach, Brom, Blum
  - ② Ελαστικές μέθοδοι π.χ. Sherif, Wemer
- ① Διαρροή εδάφους σε όλο το βάθος του πασσάλου, δεν προσομοιώνει τη φάση λειτουργίας (παραμορφώσεις)
  - ② Ελαστική επίλυση δοκού στη φάση λειτουργίας-καλή προσομοίωση για ορθή επιλογή συντελεστών ώθησης του εδάφους

# ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

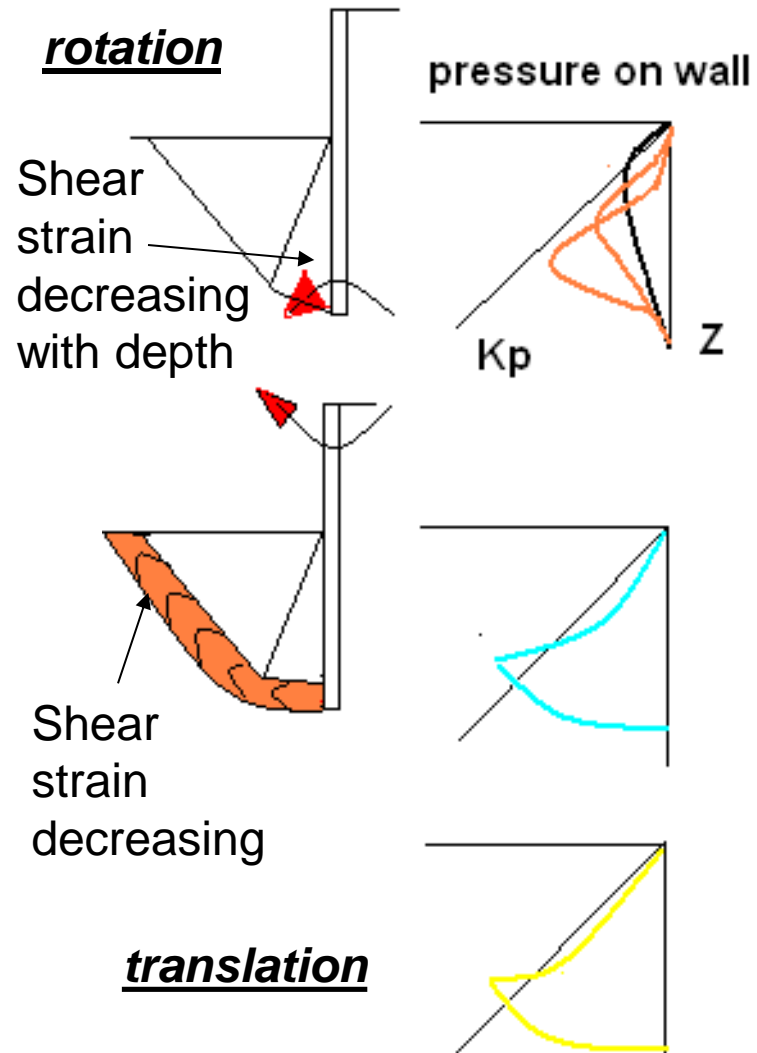
- 1 Κατάσταση Λειτουργίας: όριο επιτρεπομένων παραμορφώσεων, ή τάσεων που μπορούν να επηρεάσουν τα υλικά κατασκευής
- 2 Κατάσταση Οριακής ισοροπίας: συντελεστές ασφάλειας ώστε η πιθανότητα αστοχίας ελαχιστοποιείται



☞ Κατανομή ωθήσεων σε κατάσταση λειτουργίας

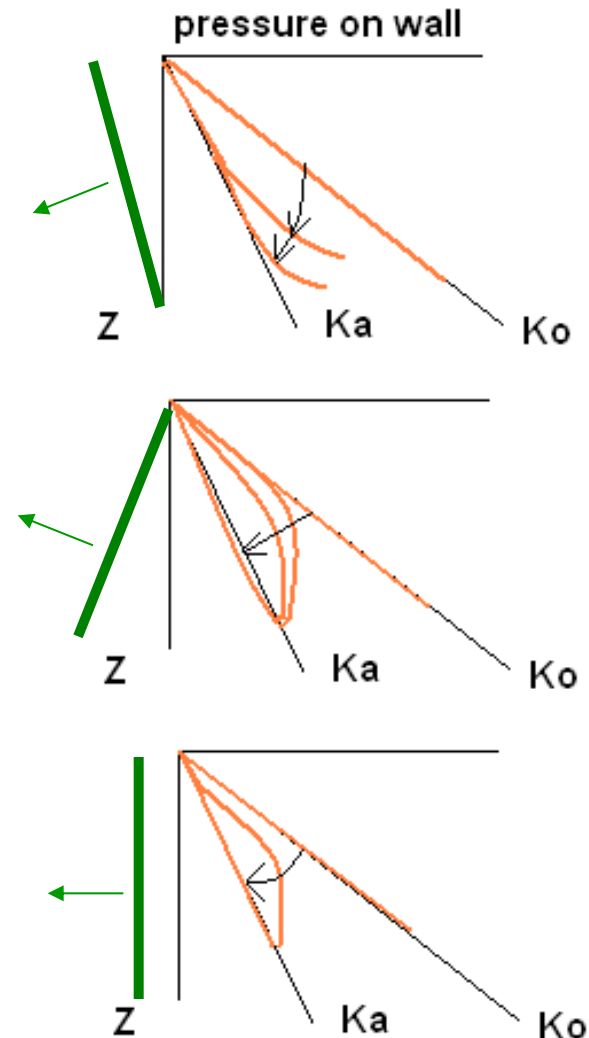
# Passive pressure distribution with wall movement

- Rotation about the **toe** of the wall mobilizes the peak stress ratio near the top. With further rotation the soil near the top deforms past peak, while material lower down mobilises peak strength.
- Rotation about the top of the wall causes the shear to be concentrated in a band simulating wedge sliding.
- Wall translation resembles the linear pressure distribution developed by Rankine.



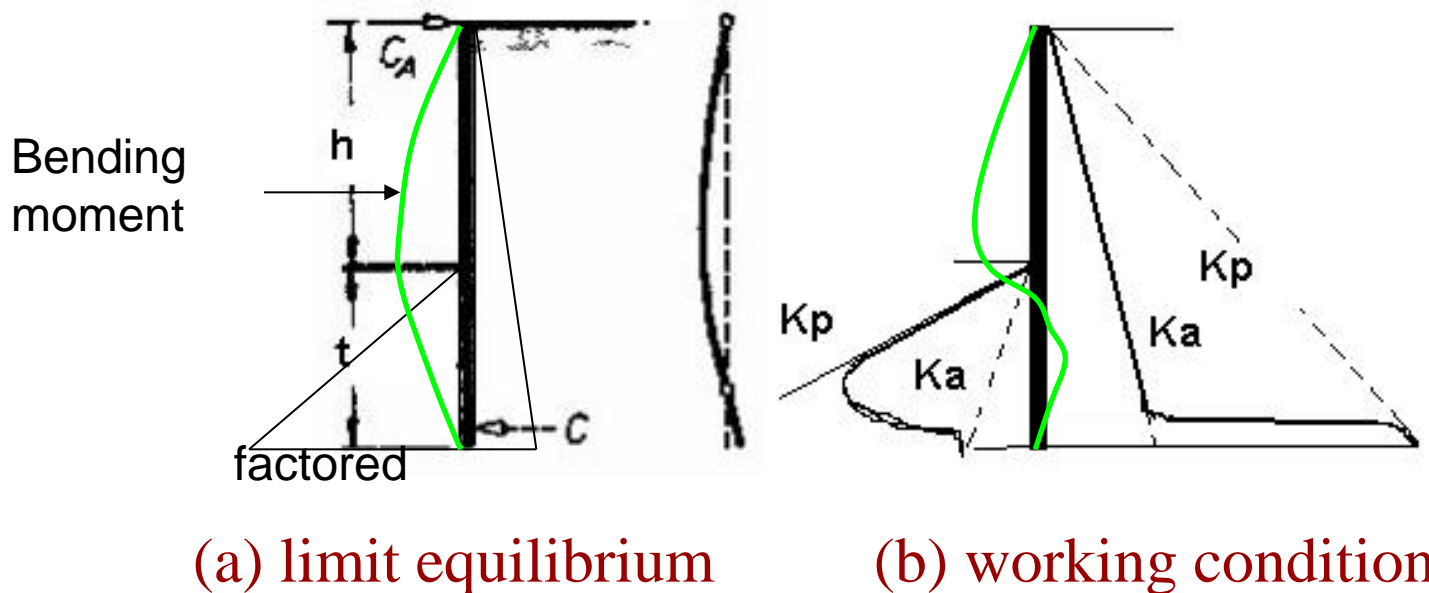
# Active pressure distribution with wall movement

- Rotation about the **toe** of the wall mobilizes the active state stress ratio near the top. **At large deformations earth pressure approaches a straight line distribution ( $K_a$  or  $K_p$  in previous slide)**
- Rotation about the top of the wall mobilises active stresses near the bottom of the wall.
- Wall translation resembles the linear pressure distribution developed by Rankine.

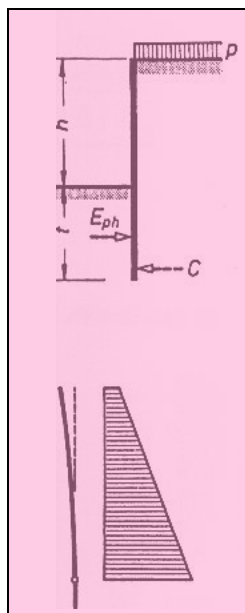
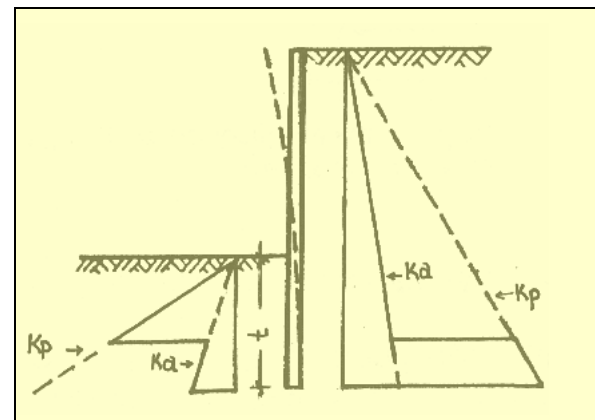
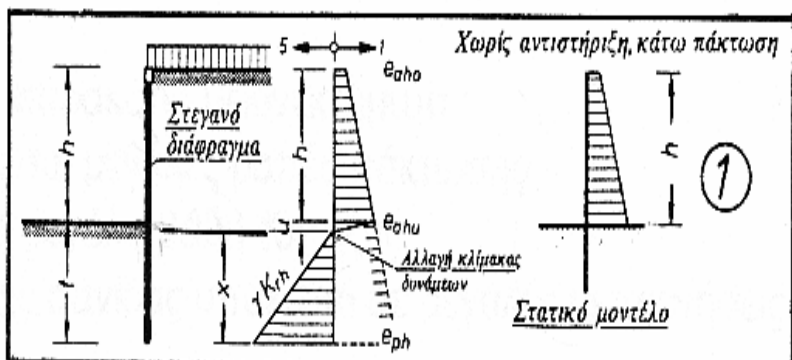


# LIMIT STATE DESIGN

- **SERVICABILITY LIMIT STATE DESIGN:** ensure a specified threshold deformation is not exceeded and stresses applied to the construction materials will not affect their durability
- ② **ULTIMATE LIMIT STATE DESIGN:** factors of safety so that probability of collapse of the structure acceptably small.



# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΘΟΥΣ ΕΜΠΗΞΗΣ (1/3)

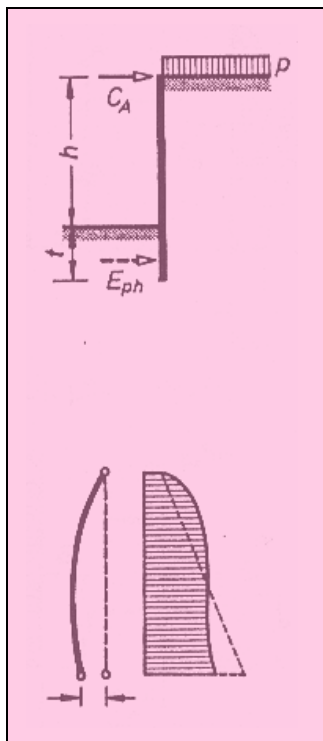
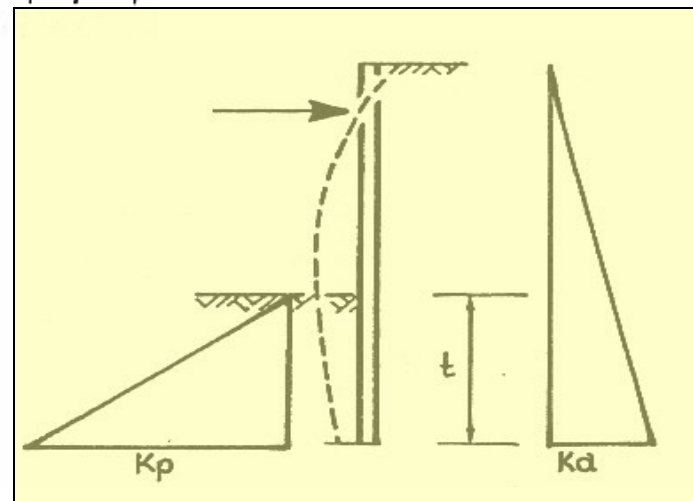
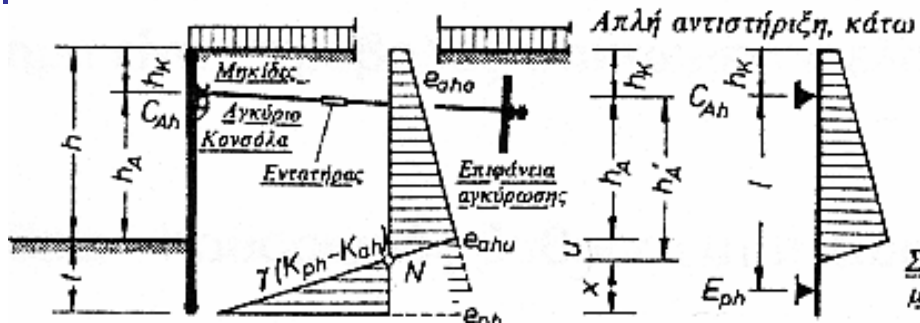


## ΠΛΗΡΩΣ ΠΑΚΤΩΜΕΝΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ( $H < 3\mu$ )

- ➔ θεωρητικό σημείο πάκτωσης κοντά στον πόδα
- ➔ υπολογισμός βάθους έμπτυξης θεωρώντας ροπές ως προς τον πόδα, προσαύξηση με ένα εμπειρικό διορθωτικό συντελεστή



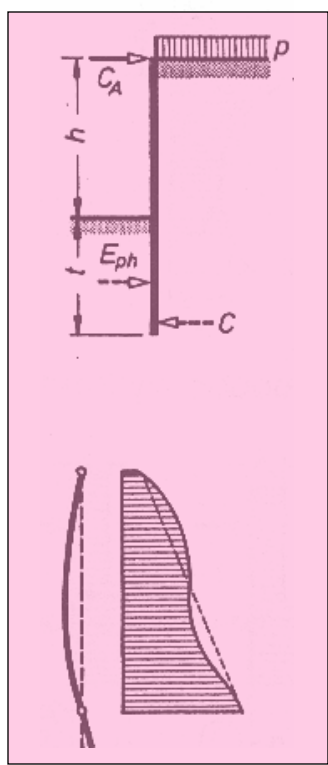
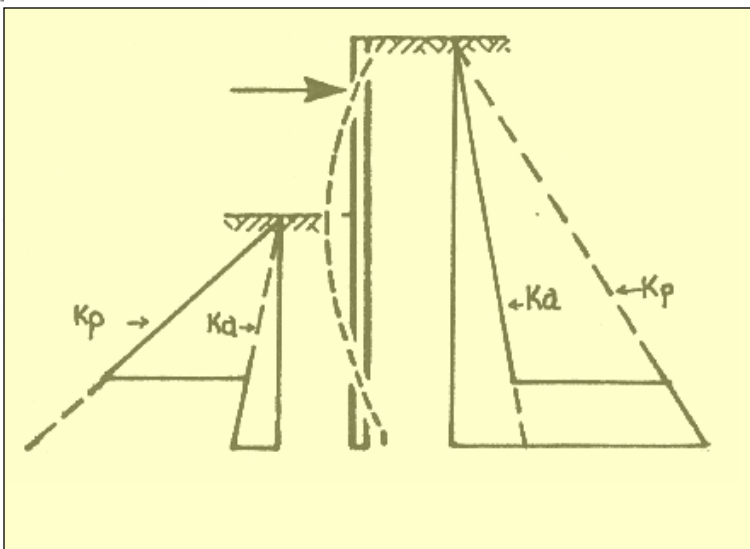
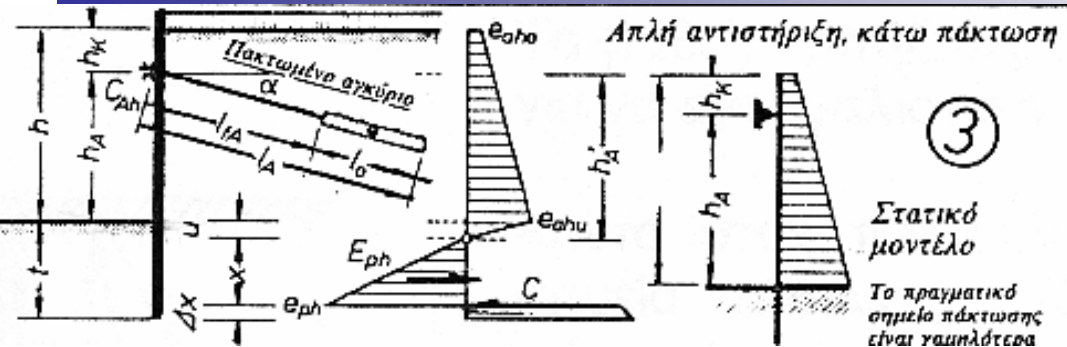
# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΘΟΥΣ ΕΜΠΗΞΗΣ (2/3)



## ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΠΛΗ ΣΤΗΡΙΞΗ & ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΔΡΑΣΗ

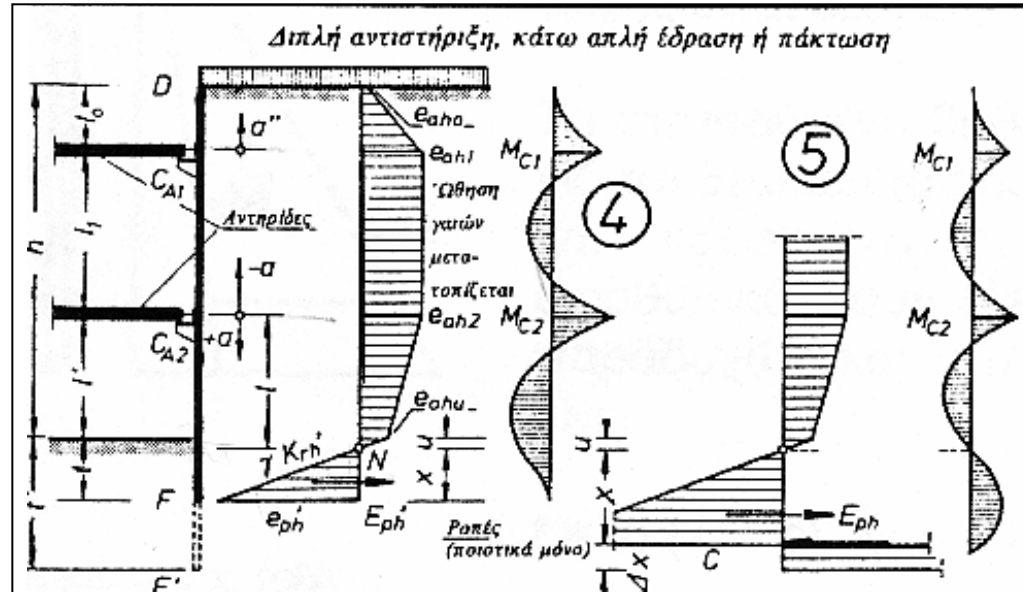
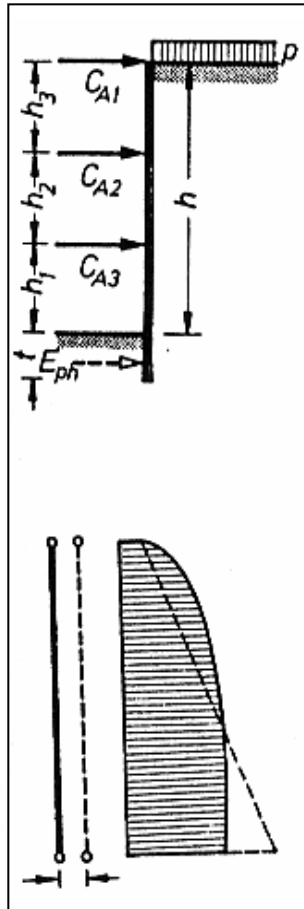
- Βάθος έμπτυξης ( $t$ ) ορίζεται με ισορροπία ροπών ως προς το σημείο αγκύρωσης. Ισορροπία δυνάμεων ορίζει την δύναμη αγκύρωσης

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΘΟΥΣ ΕΜΠΗΞΗΣ (3/3)



## ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΠΛΗ ΣΤΗΡΙΞΗ & ΠΛΗΡΗ Ή ΜΕΡΙΚΗ ΠΑΚΤΩΣΗ

- θεωρητικό σημείο πάκτωσης κοντά στον πόδα
- πάνω από σημείο μηδενισμού των ροπών ενεργούν πλήρεις ενεργητικές και παθητικές ωθήσεις.
- κάτω από αυτό το σημείο αναπτύσσονται παθητικές ωθήσεις όπισθεν του τοίχου και ενεργητικές έμπροσθεν.
- το βάθος έμπηξης υπολογίζεται για δοκό εδραζόμενη στον πόδα και στηριζόμενη στο σημείο αγκύρωσης και προσαυξάνεται κατά 20% όπως και στον πρόβολο.



## Κατανομή ωθήσεων κατά Peck

➔ Μέθοδος αρθρώσεων (αρθρώσεις σε όλες τις στηρίξεις πλην της πρώτης και επίλυση αμφιερέιστων δοκών. Από τη χαμηλότερη στήριξη και κάτω ο τοίχος θεωρείται απλής στήριξης.

➔ Μέθοδος της συνεχούς δοκού εδραζόμενης στις στηρίξεις και μια θεωρητική στήριξη κάτω από το επίπεδο εκσκαφής στο σημείο μηδενισμού των απομειωμένων ενεργητικών ωθήσεων, επίλυση κατά Cross, Kany, κ.λπ.

η χρήση τους βασίζεται:

- ☒ στη μείωση της αντίστασης των παθητικών ωθήσεων
- ☒ στη μείωση των παραμέτρων αντοχής

 **περιθώριο ασφάλειας σε αστοχία λόγω αβεβαιοτήτων π.χ. Υποσκαφή, κατασκευαστικές ατέλειες**

➤ Μετά την εφαρμογή των συντελεστών προσδιορίζεται το βάθος έμπηξης ώστε να εξασφαλίζεται το αναγκαίο περιθώριο ασφαλείας σε αστοχία

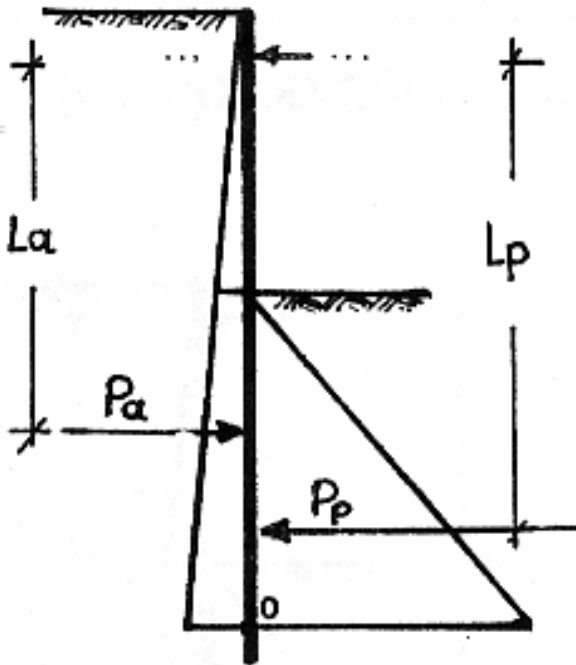
# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (1/4)

## ⊗ Συντελεστής Παθητικών Ωθήσεων $F_p=1.5-2$

$F_p =$

Ροπές πλήρων παθητικών ωθήσεων

Ροπές πλήρων ενεργητικών ωθήσεων+Ροπή συνιστ. Πίεσης νερού



📖 Η ολική ενεργητική ώθηση

$$P_a * L_a \leq \frac{1}{F_p} * (P_p * L_p)$$



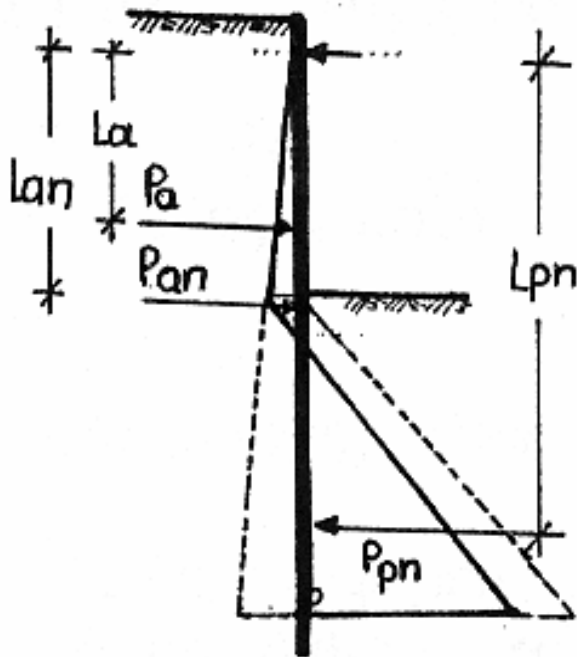
# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (2/4)

## ⊗ Συντελεστής Απομειωμένων Παθητικών Ωθήσεων $F_{np}=1.5-2$

Ροπές απομειωμένων παθητικών ωθήσεων

$$F_{np} =$$

Ροπές απομειωμένων ενεργητικών



📖 Η ροπή των απομειωμένων ενεργητικών ωθήσεων

$$(P_a * L_a + P_{an} * L_{an}) \leq \frac{1}{F_{np}} * (P_{pn} * L_{pn})$$

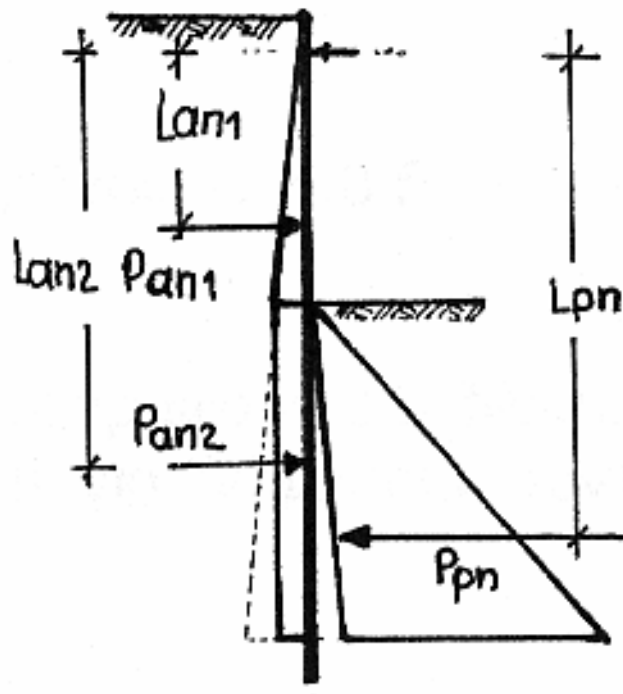
# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (3/4)

## ⊗ Διορθωτικός Συντελεστής Ασφάλειας $F_r$

$F_r =$

Ροπές συνισταμένων παθητικών ωθήσεων

Ροπές συνιστ. ενεργητικών ωθήσεων+συνιστ. Πίεσης νερού+εξ. Φορτίων

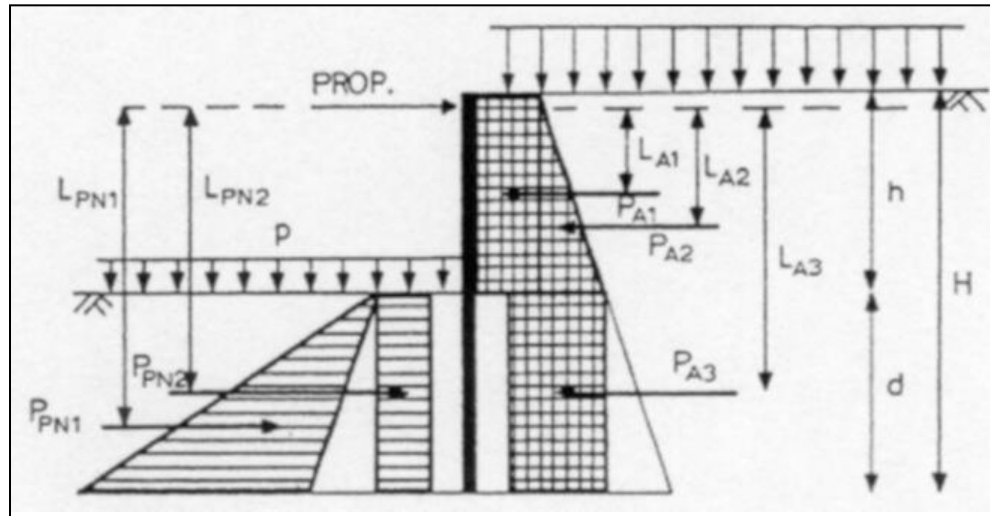


## 📖 Συντελεστής ασφάλειας

$$F_r = \frac{P_{pn} * L_{pn}}{P_{an1} * L_{an1} + P_{an2} * L_{an2}}$$

<sup>1</sup> μη συνεκτικό έδαφος

# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ( $F_r$ )



$$F_r = \frac{P_{PN1} * L_{PN1} + P_{PN2} * L_{PN2}}{P_{A1} * L_{A1} + P_{A2} * L_{A2} + P_{A3} * L_{A3}}$$

↗ κατανομή ωθήσεων κατά το σχεδιασμό με  $F_r$  για πασσαλότοιχο με εξωτερικά κατανομημένο φορτίο

# ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (4/4)

## ☒ Συντελεστής Αντοχής Εδάφους $F_s$

↪ Προσδιορίζεται το αναγκαίο βάθος έμπηξης ώστε η αντοχή που απαιτείται από το έδαφος στην κατάσταση οριακής ισορροπίας  $P_p * L_p - \delta P_a * P_a = 0$  ξεπερνά το  $1/F_s$  πραγματικής αντοχής του εδάφους

## 📖 αντοχή εδαφικού υλικού

$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{lim}}$$

<sup>1</sup> μη συνεκτικό έδαφος

$\phi_{lim}$  = γωνία διατμητικής αντοχής στην κατάσταση οριακής ισορροπίας

$$F_s = \frac{S_u}{S_{u lim}} \quad \text{Εμποδιζόμενη στράγγιση}$$

$$c_m = \frac{c}{F_c}, \varphi_m = \tan^{-1}(\tan \varphi / F_\varphi), F_c = F_\varphi = 1.2 \quad \text{Ελεύθερη στράγγιση}$$

# ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Σε κάθε μέθοδο εφαρμόζεται ένας των ανωτέρω συντελεστών:

- ⊗ στις παραμέτρους αντοχής ( $F_s$ )
- ⊗ στις ροπές ευστάθειας ( $F_r$ ,  $F_p$ ,  $F_{pn}$ )

- 📖 **CIRIA,**
- 📖 **Κανονισμός CP2,**
- 📖 **British Steel Handbook,**
- 📖 **Μέθοδος Rowe,**
- 📖 **Δανικοί Κανονισμοί.**



τοίχος απλής στήριξης:

⊗ Υπολογισμός βάθους έμπτηξης για

↗  $F_r=2$  ή  $F_p=2$

↗ υπολογισμός καμπτικών ροπών, τεμνουσών και δύναμης αγκυρίου στην κατάσταση αστοχίας

↗ προσαύξηση δύναμης αγκυρίου κατά 25%

☒ τοίχος με πάκτωση ή ελεύθερη έδραση:

☒ Υπολογισμός βάθους έμπηξης για τοίχους με ελεύθερη έδραση

↗  $F_p=2$

↗ υπολογισμός εντατικών μεγεθών στην κατάσταση λειτουργίας

↗ Παθητικές ωθήσεις διαιρούνται με  $F_p$

↗ μείωση ροπών κατά 25%

↗ προσαύξηση δύναμης αγκυρίου κατά 15%

⊗ τοίχος με ελεύθερη έδραση:

⊗ Υπολογισμός βάθους έμπτυξης

↗  $F_{np}=2$

↗ υπολογισμός εντατικών μεγεθών  
στην κατάσταση αστοχίας

↗ μείωση ροπών μέχρι 25% ανάλογα  
με το σχήμα του τοίχου

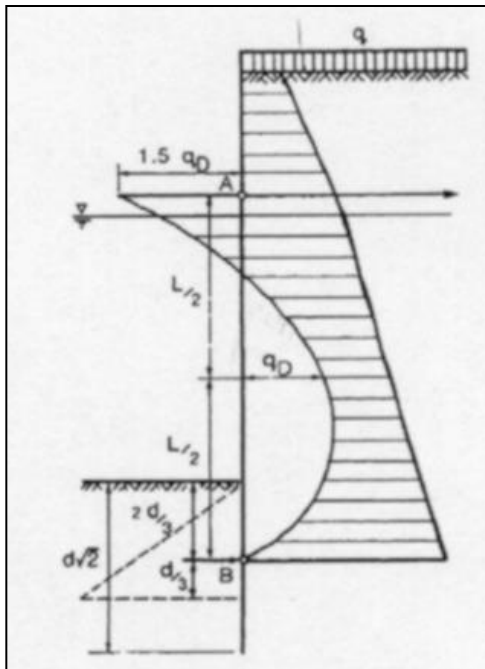
↗ δύναμη αγκυρίου χωρίς συντελεστή

# ΜΕΘΟΔΟΣ ROWE

- ↗ συντελεστές ώθησης κατά Coulomb
- ↗ ενεργητικές ωθήσεις  $\delta=2/3*\varphi$
- ↗ παθητικές ωθήσεις  $\delta=0$
- ↗ υπολογισμός εντατικών μεγεθών στην κατάσταση λειτουργίας,  $F_p=1.5$
- ↗ μείωση καμπτικών ροπών
- ↗ επαύξηση δύναμης αγκυρίου

## ☒ μέθοδος Hansen, εμπειρική μέθοδος

📖 κατανομή ενεργητικών ωθήσεων παραβολικής μορφής



📖 βάθος έμπηξης από ισοροπία δυνάμεων αντίδραση στο B (ενεργητική+δράση αγκυρίου)=παθητική δύναμη

📖 προσαύξηση βάθους κατά  $\sqrt{2}$

📖 ενεργητικές  $\delta=0$ , παθητικές ωθήσεις  $\delta=1/2*\varphi$

📖 εντατικά μεγέθη  $\xrightarrow{\text{θεωρία}}$  ελαστική δοκός με στηρίξεις στα B & A και φόρτιση με το διάγραμμα ενεργητικών ωθήσεων



# ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ

- Για πρόβολο κατανομή Coulomb, για στηρίξεις ανακατανομή ωθήσεων
- Παθητικές ωθήσεις με συντελεστή ασφάλειας  $F_{np}=1.5$ .
- Βάθος έμπηξης κατά Blum ή Lackner και επαυξάνεται κατά 1.2 ~ 1.6.
- Εντατικά μεγέθη υπολογίζονται σε κατάσταση λειτουργίας
- Επιτρεπόμενες τάσεις μειώνονται κατά 15~30%

# ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ

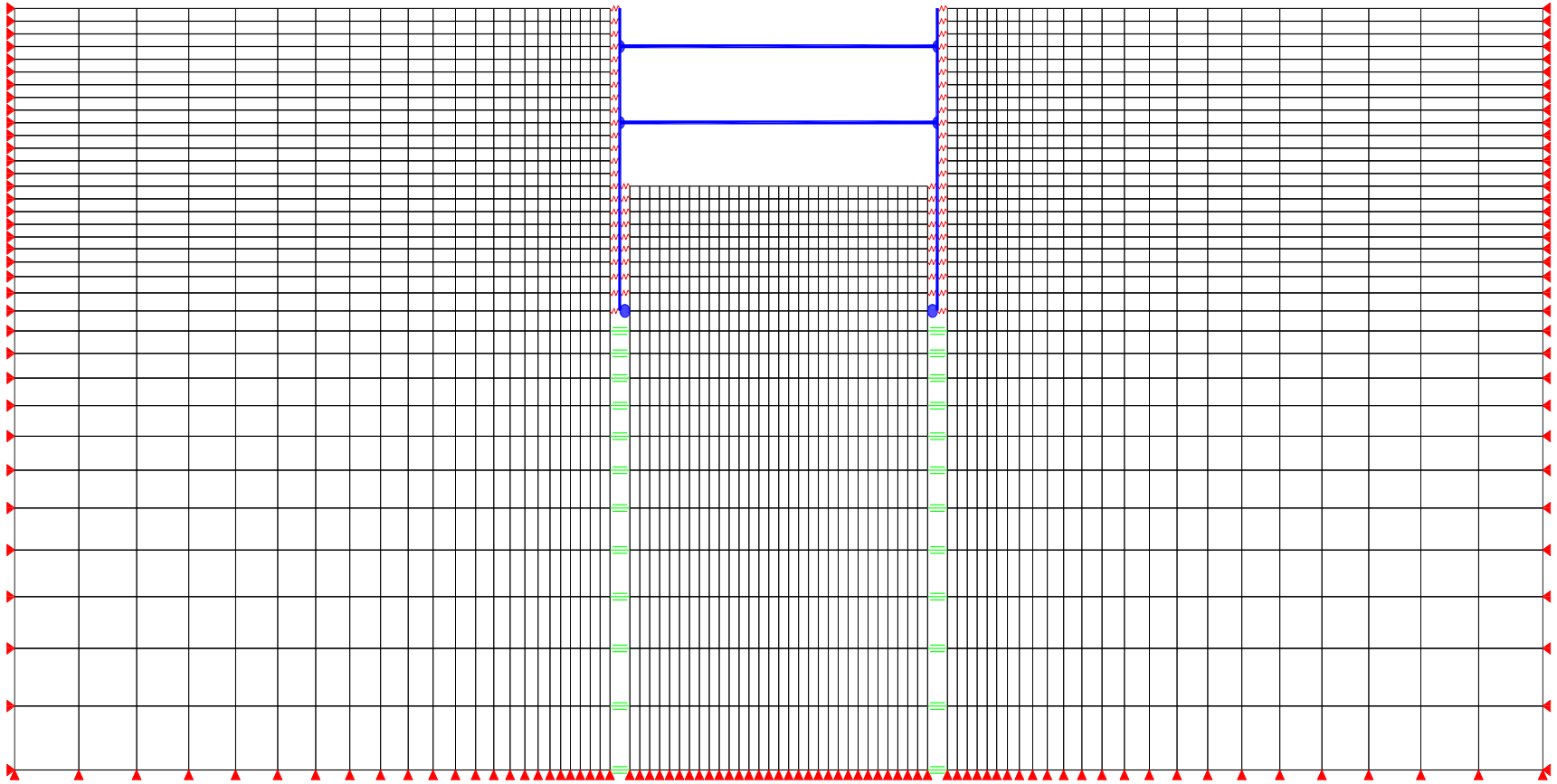
## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

- Συνήθως οι μετρούμενες ροπές είναι μικρότερες, και οι μετρούμενες δυνάμεις αγκύρωσης μεγαλύτερες, από τις τιμές των μεθόδων σχεδιασμού
- Οι θεωρητικές μέθοδοι υπολογίζουν τις ροπές και δυνάμεις στην οριακή ισορροπία με ή χωρίς συντελεστές ασφάλειας
- Επί τόπου στην κατάσταση λειτουργίας οι ωθήσεις δεν αντιστοιχούν στην οριακή κατάσταση ούτε στις κατανομές των μεθόδων. Καμία μέθοδος δεν προσομοιώνει τον τρόπο κατασκευής π.χ. Προένταση αντιρήδων

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

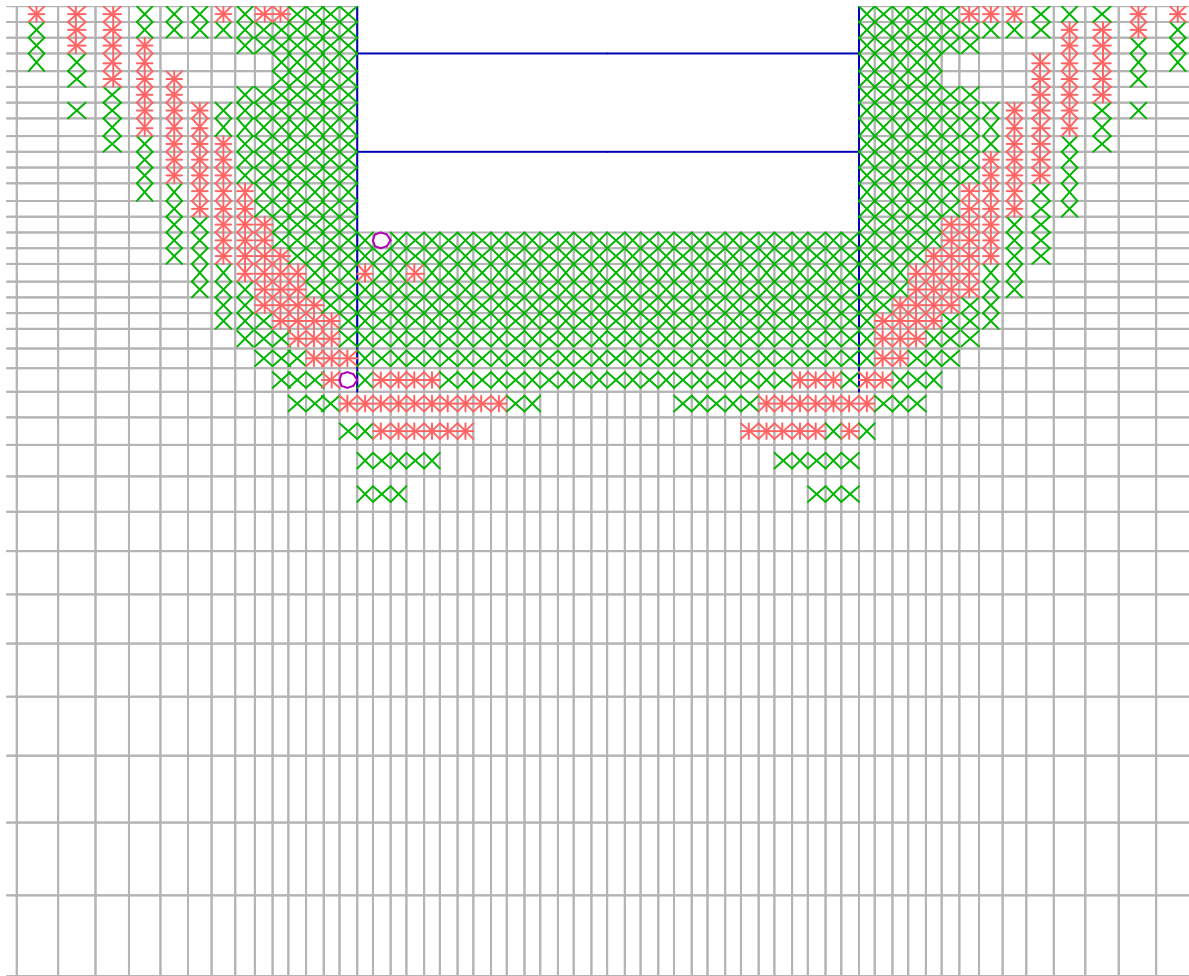
- Προσομοιώνουν την πολύπλοκη συμπεριφορά του εδάφους (σχέση τάσεων-παραμορφώσεων),
  - την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής,
  - τις φάσεις κατασκευής,
  - την αρχική συμπεριφορά του εδάφους πριν την έναρξη της κατασκευής.
- ⊗ Δισδιάστατα 4πλευρα στοιχεία περιγράφουν το έδαφος και μονοδιάστατα την πασσαλοσανίδα. Προσομοίωση εκσκαφής με αφαιρούμενα στοιχεία

# Προσομοίωμα φορέα εδάφους-πασσαλότοιχων-αντηρίδων



- ΤΑΥΤΗΣΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ
- ⋈ ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕΣΩ ΣΥΝΟΧΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΒΗΣ
- ≡ ΠΛΗΡΗΣ ΤΑΥΤΗΣΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ & ΣΤΡΟΦΗΣ
- ┆ ΣΤΗΡΙΞΗ: ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ
- ┆ ΣΤΗΡΙΞΗ: ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

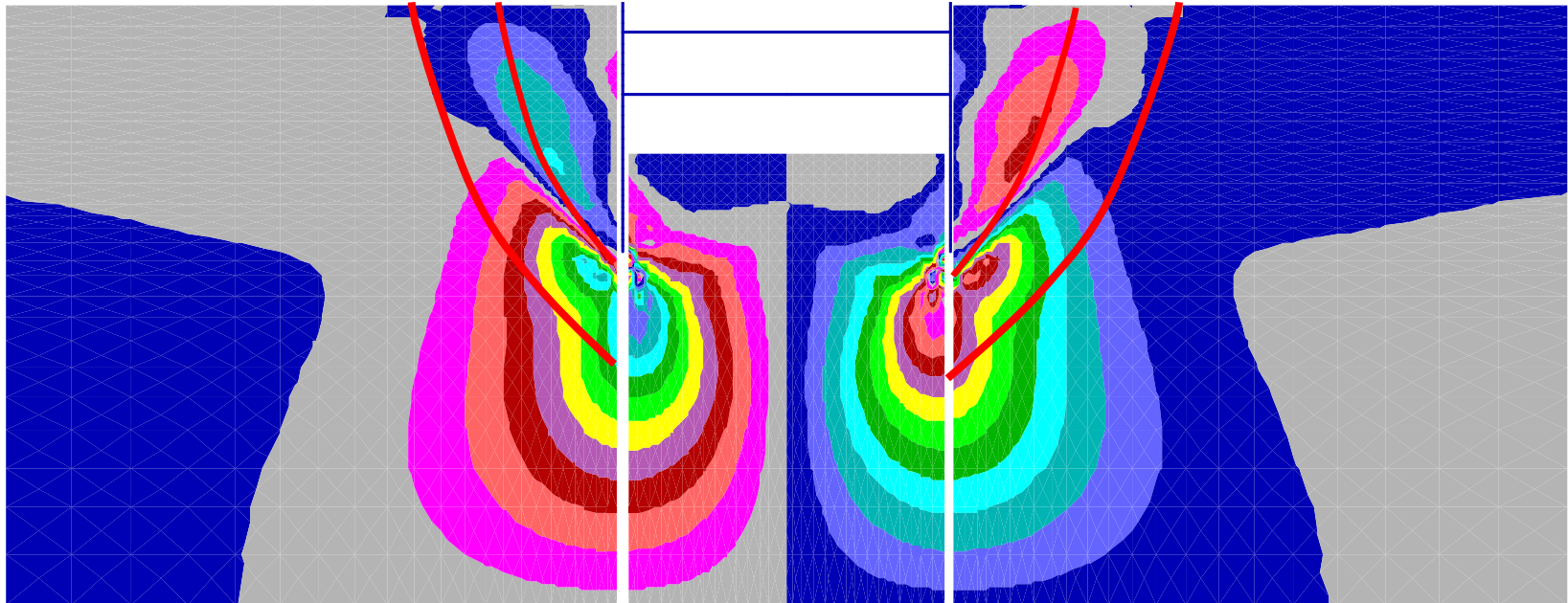


Περιοχές αστοχίας (x) σύμφωνα με το κριτήριο Mohr-Coulomb

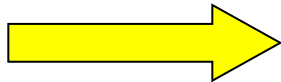


# ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

## Κατανομή διατμητικών τάσεων



\_\_\_\_\_ Ζώνες αυξημένων διατμητικών τάσεων



Υπολογισμός  
Εντατικών  
Μεγεθών

Βρετανικοί Κανονισμοί, CIRIA 104, Ευρωκώδικας 7, I

- **earth pressures as built**

Εδαφικές πιέσεις με δεδομένους συντελεστές ασφάλειας. Τοίχος είτε ασταθής (μικρό βάθος έμπηξης) είτε ευσταθής (ικανό βάθος έμπηξης)

- **earth pressures at minimum safe embedment**

Μείωση βάθους έμπηξης έως ότου οι εδαφικές πιέσεις με δεδομένους συντελεστές ασφάλειας εξισορροπηθούν

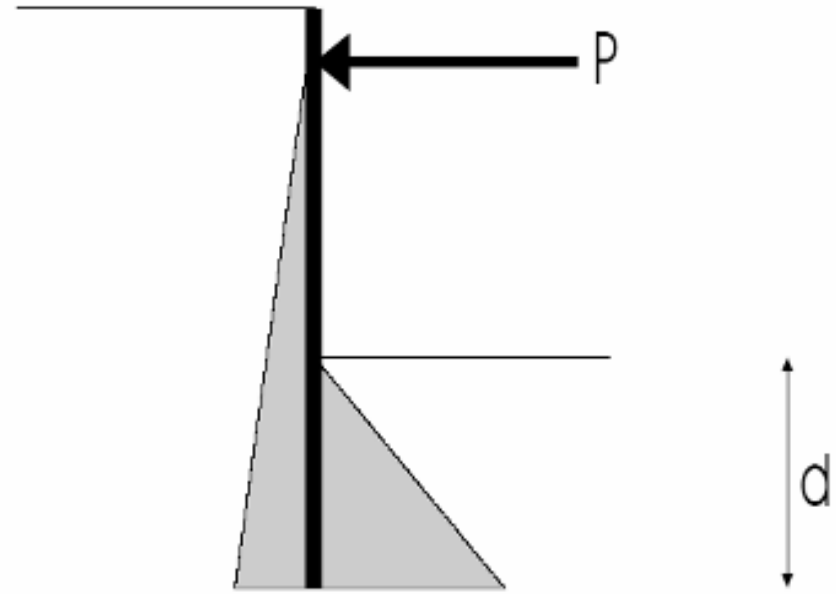
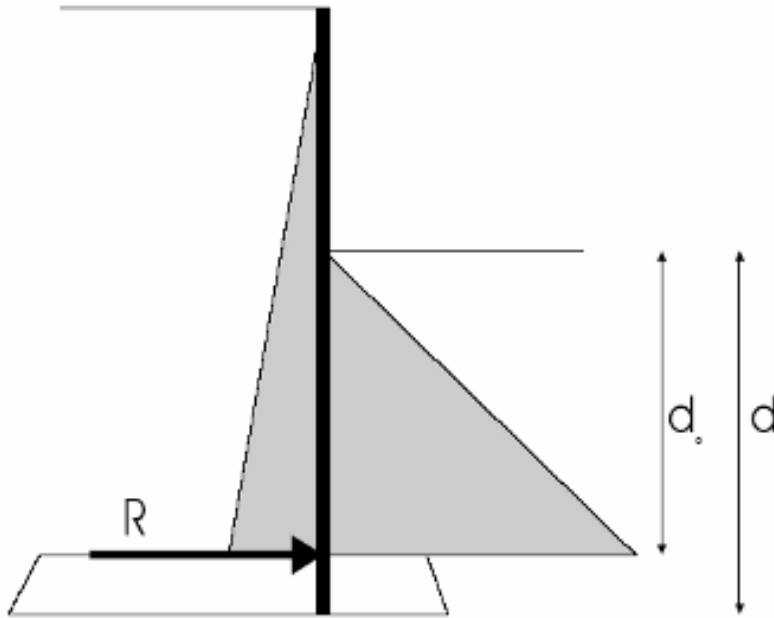
- **earth pressures with maximum safety factors**

Αύξηση των συντελεστών ασφάλειας ώστε να εξασφαλίζεται η ισορροπία μεταξύ των εδαφικών πιέσεων για το δοθέν μήκος τοίχου

- **earth pressures at failure**

Μείωση μήκους τοίχου ώστε οι εδαφικές πιέσεις να έρθουν σε ισορροπία χρησιμοποιώντας μοναδιαίους συντελεστές ασφάλειας

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΙΧΩΝ



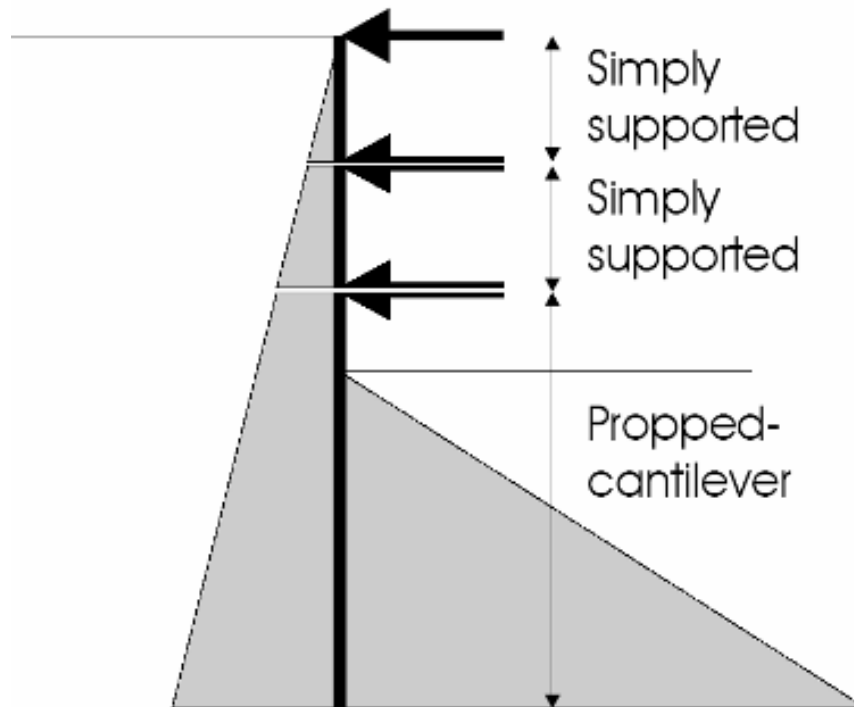
Τοίχος πρόβολος\_cantilever

- πλήρης ή μερική πάκτωση (fixed earth support)

Τοίχος με ένα επίπεδο Αντηρίδων\_single-propped

- απλή στήριξη και ελεύθερη έδραση (free earth support)

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΙΧΩΝ



Τοίχος με πολλαπλά επίπεδα αντηρίδων\_Multi-propped

- **ULTIMATE LIMIT STATE DESIGN**: factors of safety so that probability of collapse of the structure acceptably small. Stability assessed using deformation (FEM techniques) or limit equilibrium analysis (determination of disrupting and resisting forces about a potential failure surface as in slope stability)



# ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΙΧΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

- Έλεγχος *φέρουσας ικανότητας* (οριακού φορτίου) του εδάφους στη βάση του τοίχου.
- Έλεγχος *εσωτερικών δυνάμεων* (ροπών κάμψης, τεμνουσών δυνάμεων, αξονικών δυνάμεων) στον τοίχο.
- Έλεγχος του όλου συστήματος έναντι κινδύνου *συνολικής αστάθειας* (τύπου ολίσθησης πρανούς).
- Έλεγχος *καθιζήσεων* του τοίχου και του αντιστηριζομένου εδάφους.
- Έλεγχος αστοχίας λόγω *διάβρωσης, υδραυλικής υποσκαφής* στον πόδα του τοίχου και έλεγχος του τοίχου σε *σεισμική επιπόνηση*.

- **ULTIMATE LIMIT STATE DESIGN**: factors of safety so that probability of collapse of the structure acceptably small. Stability assessed using deformation (FEM techniques) or limit equilibrium analysis (determination of disrupting and resisting forces about a potential failure surface as in slope stability)
- **SERVICABILITY LIMIT STATE DESIGN**: ensure
  - A specified threshold deformation is not exceeded
  - Stresses applied to the construction materials will not affect their durability

## Περιπτώσεις A, B, C, σχεδιασμού σε οριακή ισορροπία

- **A:** απώλεια στατικής ισορροπίας της κατασκευής ή του εδάφους. Οι δυνάμεις που αναπτύσσουν τα υλικά κατασκευής, αλλά και το έδαφος, ασήμαντες στο να προσφέρουν αντίσταση.
- **B:** εσωτερική αστοχία ή υπερβολική παραμόρφωση της κατασκευής ή των δομικών στοιχείων της κατά την οποία οι δυνάμεις που αναπτύσσουν τα δομικά υλικά είναι σημαντικές στο να προσφέρουν αντίσταση.
- **C:** αστοχία ή υπερβολικές παραμορφώσεις του εδάφους κατά την οποία η αντοχή του εδάφους ή του βράχου είναι σημαντική στο να προσφέρει αντίσταση.

# FACTORS OF SAFETY

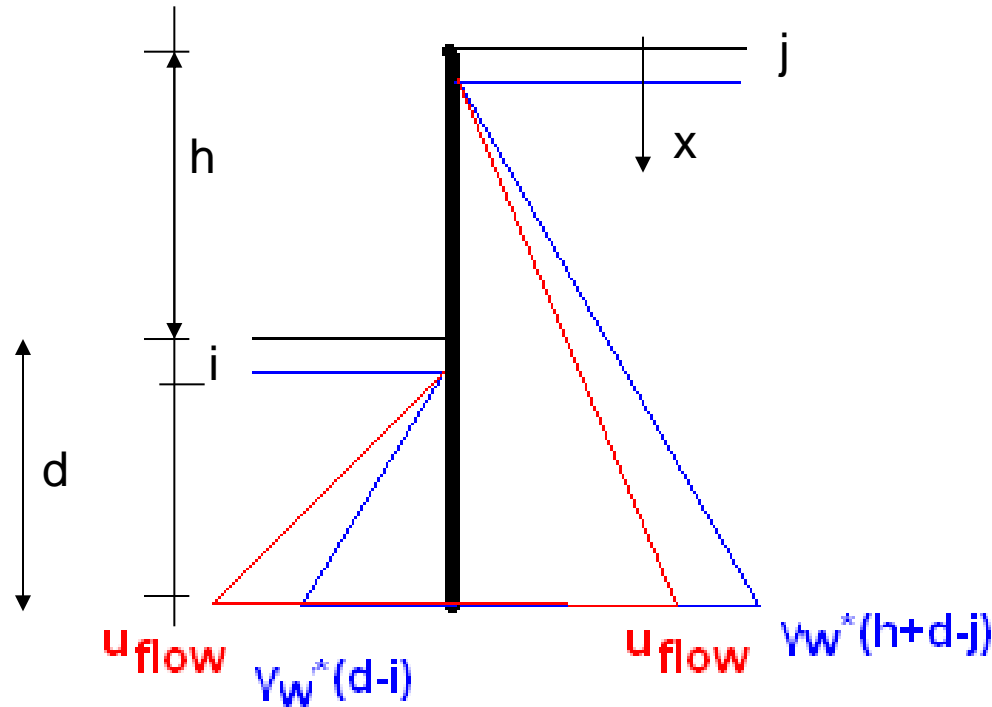
CIRIA 104		A. Moderately Conservative (Permanent works)		
Gross pressure method		$F_p=1.2-2.0$ for $\varphi'=20-30^\circ$		
Nett pressure method		$F_r=1.5-2.0$		
Strength factor method		$F_s=1.2$ $\varphi'>30^\circ$ else $F_s=1.5$		
<b>Action</b>				
DESIGN STANDARD		Unfav. (permanent)		Fav. (permanent)
BS 8002		1.0		
EUROCODE 7	A-B-C	1.0-1.35-1		0.95-1-1
	Serviceability	1.0		1.0
<b>Material Properties</b>				
DESIGN STANDARD		$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_{cu}$
BS 8002		1.2		1.5
EUROCODE 7	A-B-C	1.1-1-1.25		1.3-1-1.6
	Serviceability	1.0		
<b>Geometric Properties</b>				
DESIGN STANDARD		Unplanned Excavation ( $\Delta_H$ )		
BS 8002		10% of the clear height/minimum of 0.5 m		
EUROCODE 7	A-B-C	10% of the clear height/maximum of 0.5 m		
	Serviceability	None		

# ΕΥΡΟΚΩΔΙΚΑΣ (ENV1997-1)

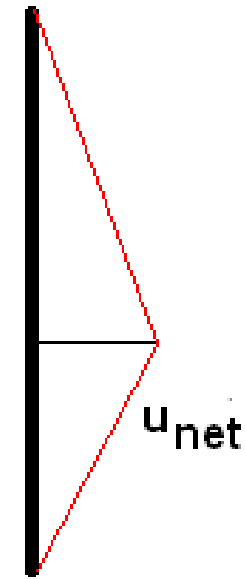
- **UPL**: αστοχία που οφείλεται σε αναπτυσσόμενες πιέσεις πόρων
- **HYD**: υδραυλική υποσκαφή, διάβρωση εδάφους λόγω υδραυλικής κλίσης
- **ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (SERVICEABILITY)**: παραμορφώσεις και εντάσεις σύμφωνα με τα προκαθορισμένα όρια λειτουργίας, μοναδιαίοι συντελεστές ασφάλειας



# DESIGN WATER PRESSURE



(a) Gross water pressures



(b) net water pressures

$$Hx = \text{hydraulic head at distance } x = -(h+i-j) \cdot x / (2d+h-i-j)$$

$$\text{Porewater pressure} = (\text{hydraulic head} - \text{elevation head}) \gamma_w$$

$$U_f = [2(d+h-j)(d-i)] \cdot \gamma_w / (2d+h-i-j)$$

Porewater pressure distribution resulting from steady-state seepage flow-net