

# 3. Ανάλυση & Σχεδιασμός

## ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Γιώργος Μπουκοβάλας  
*Καθηγητής Ε.Μ.Π.*

Φεβρουάριος 2016

### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3.1 Τύποι αντιστηρίξεων

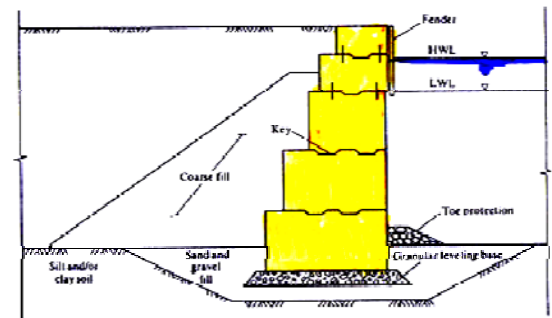
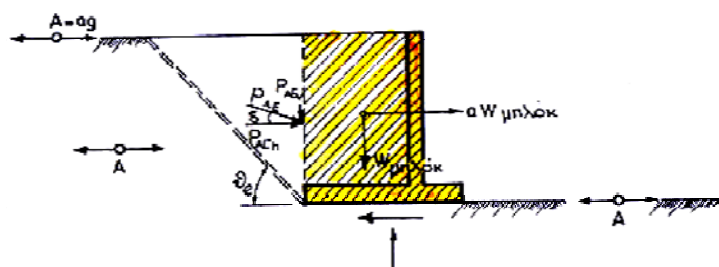
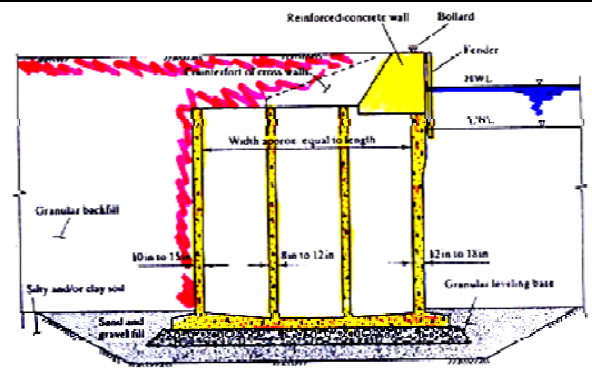
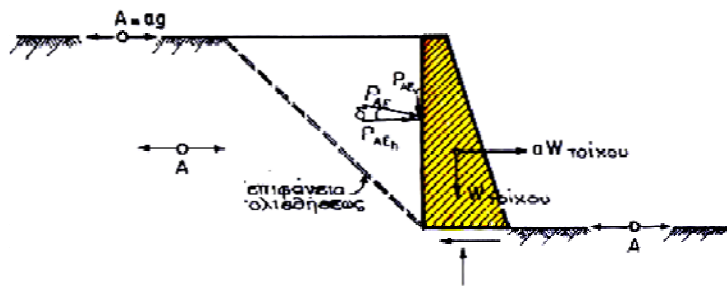
3.2 Αυτοφερόμενες αντιστηρίξεις (“πρόβολοι”)

3.3 Αντιστηρίξεις με αγκύρωση της κεφαλής

3.4 Αντιστηρίξεις με πολλαπλή αγκύρωση



## 3.1 ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ



**A. αντιστηρίξεις ΒΑΡΥΤΗΤΟΣ:** η αντίσταση προέρχεται από το βάρος (μάζα) του τοίχου

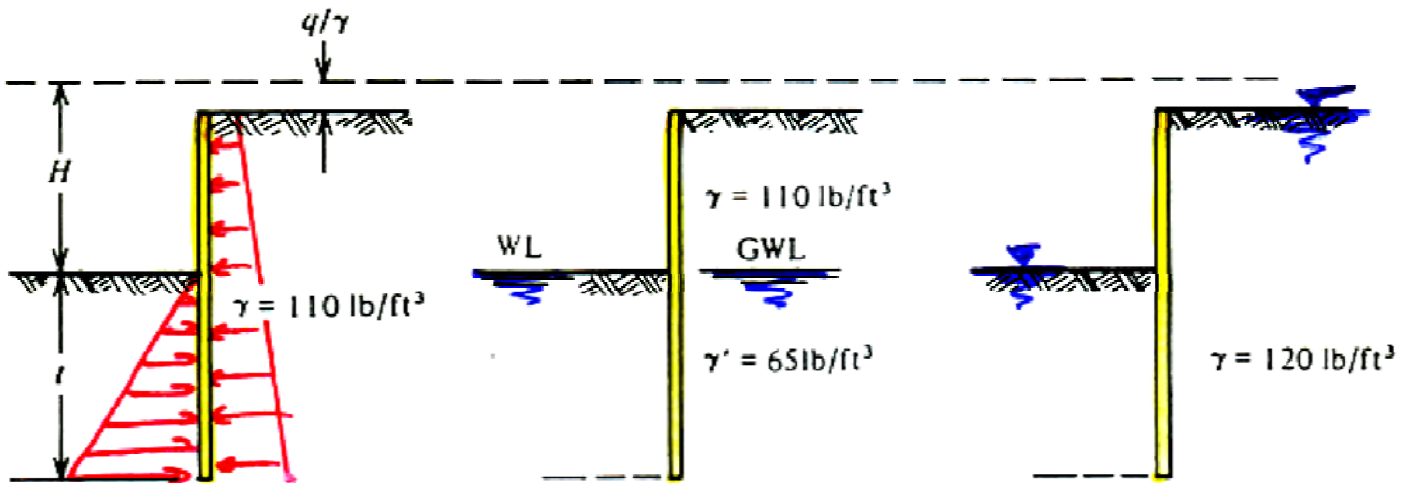
**Οι τοίχοι αντιστηρίξεως ΒΑΡΥΤΗΤΟΣ είναι**

- ✚ οι περισσότεροι και από παλαιότερα χρησιμοποιούμενοι
- ✚ έχουν πλεονεκτήματα αισθητικής (π.χ. κρηπιδότοιχοι)

**α λ λ ά . . . .**

- ✚ προϋποθέτουν ανοχή στις μετακινήσεις
- ✚ είναι ογκώδεις
- ✚ υφίστανται αυξημένη καταπόνηση σε σεισμό

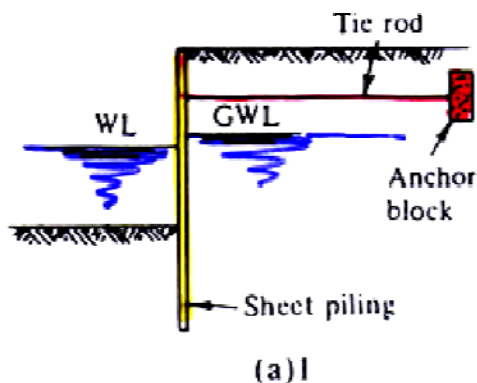
## B. ΑΥΤΟΦΕΡΟΜΕΝΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ (ή ΠΡΟΒΟΛΟΙ)



Οι ωθήσεις των γαιών εξισορροπούνται από το κατάντη έδαφος κατά μήκος της έμπτυξης.

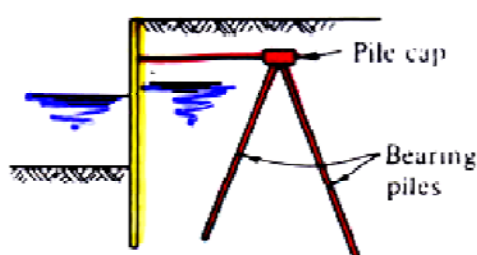
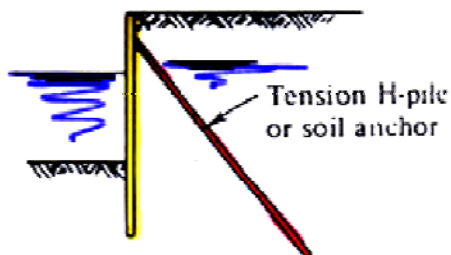
- Περιορισμένη εφαρμογή λόγω κυρίως των σχετικά μεγάλων πλευρικών μετατοπίσεων που επιτρέπουν.  
(μικρού βάθους εκσκαφές, προσωρινές αντιστηρίξεις κ.λ.π.)

## Γ. ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ



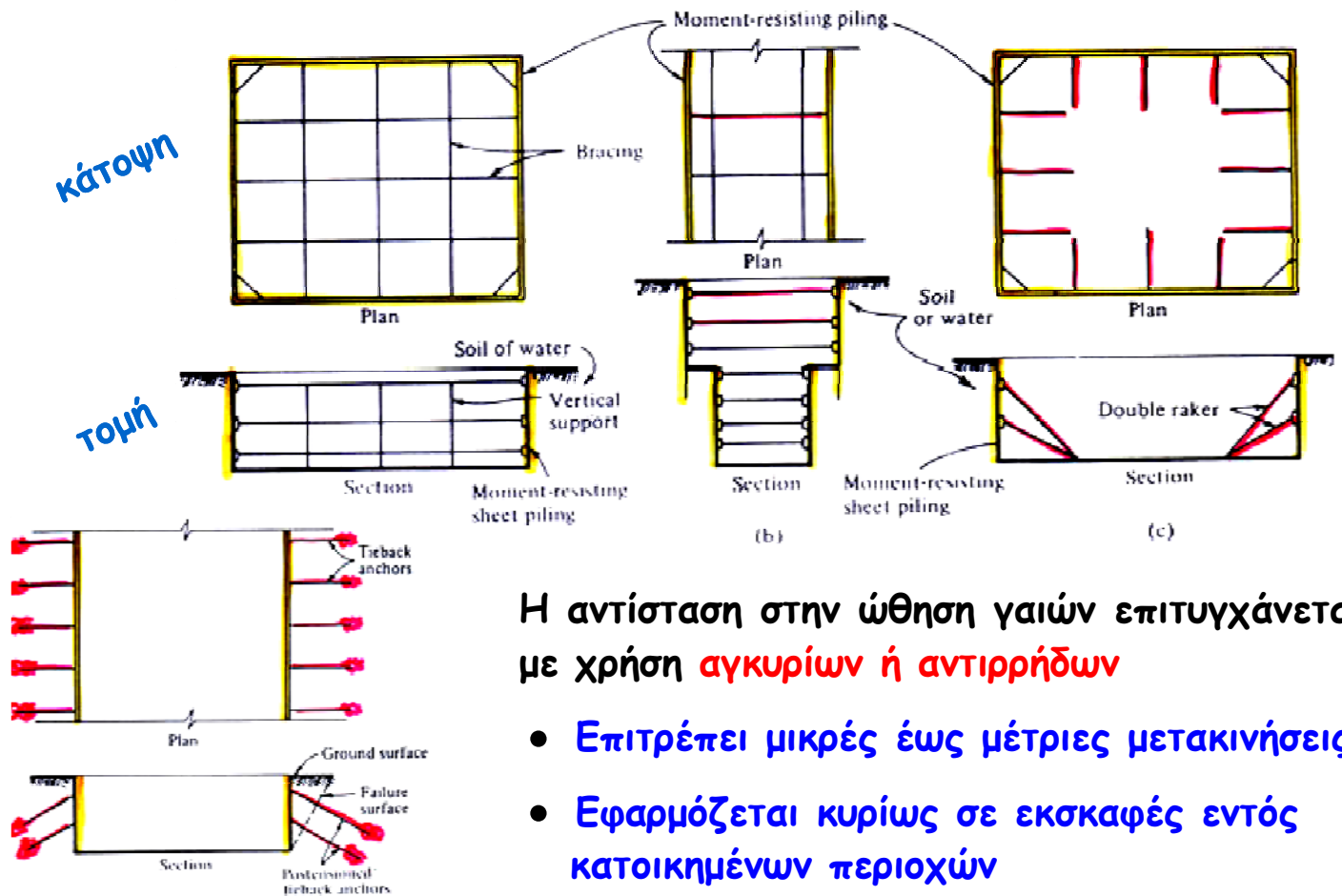
η αντίσταση στην ώθηση γαιών προέρχεται:

- (α) από το κατάντη έδαφος
- (β) από το αγκύριο

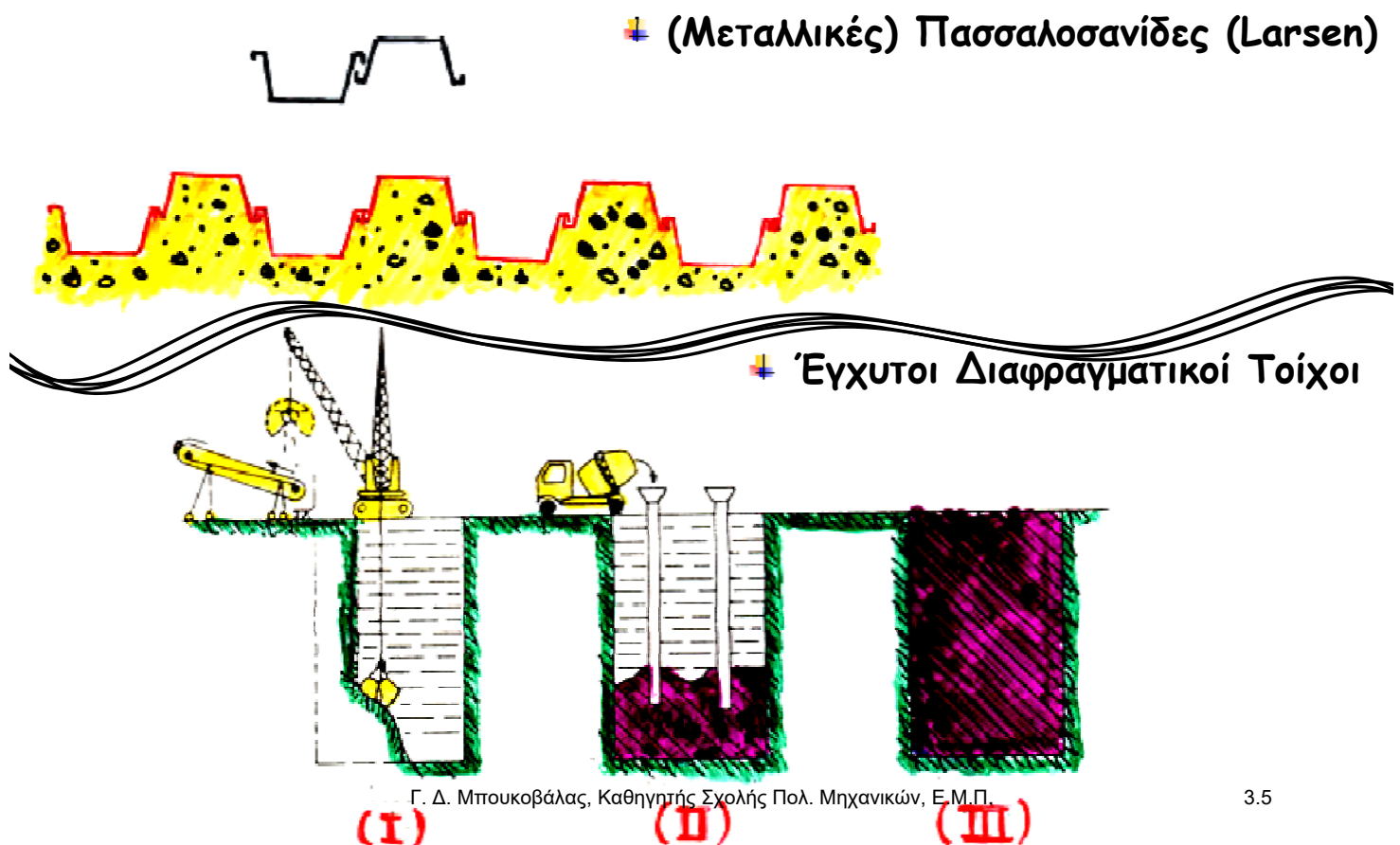


- Επιτρέπονται μέτριες μετακινήσεις
- Εφαρμόζονται συχνά στην κατασκευή λιμενικών κρηπιδοτοίχων όπου δεν είναι δυνατή η πολλαπλή αγκύρωση (κάτω από το νερό)

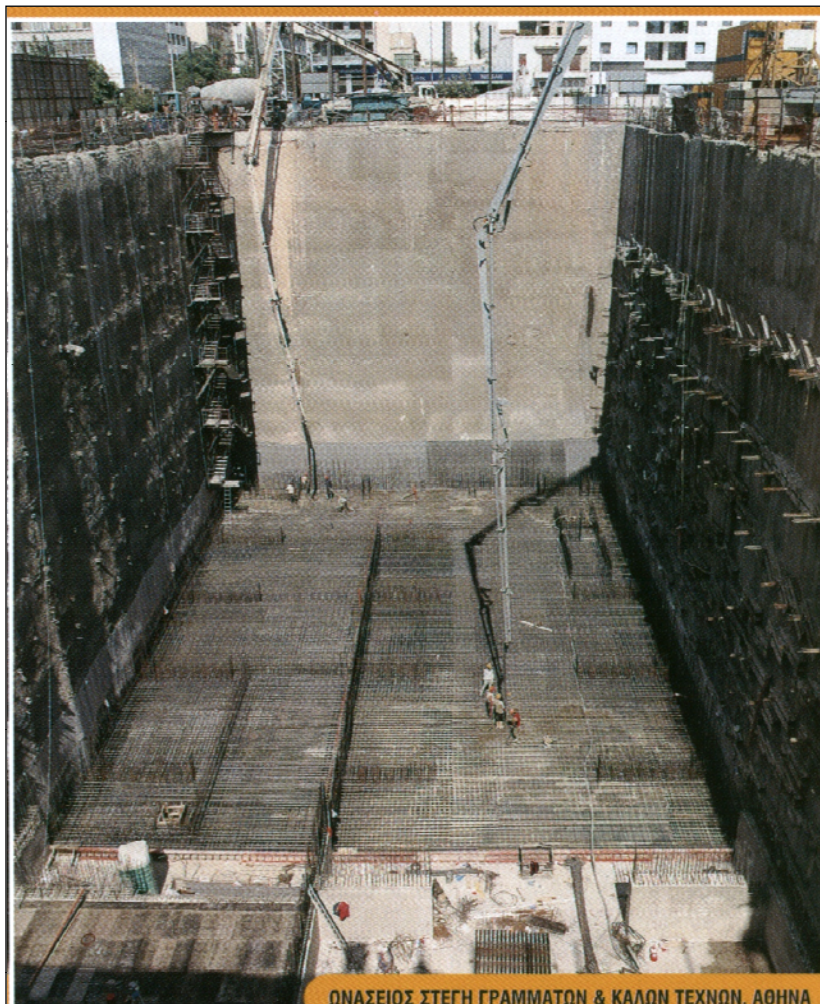
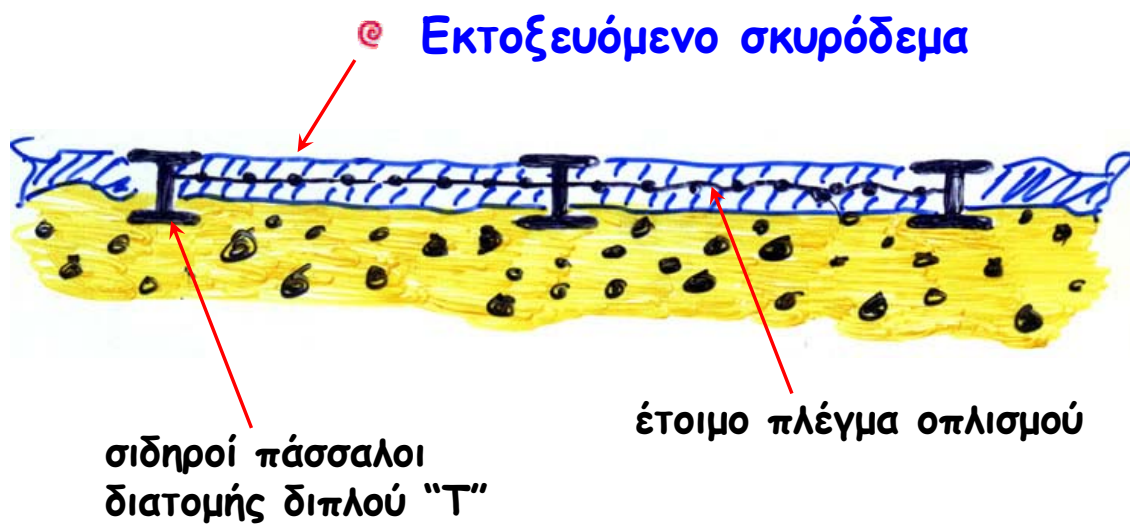
## Δ. ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗ (ή αντιστήριξη) γνωστά και ως «Βερολινέζικοι τοίχοι» ή Berlinoise



## ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ







ΩΝΑΣΕΙΟΣ ΣΤΕΓΗ ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ & ΚΑΛΩΝ ΤΕΧΝΩΝ, ΑΘΗΝΑ





## ✚ Πασσαλότοιχοι

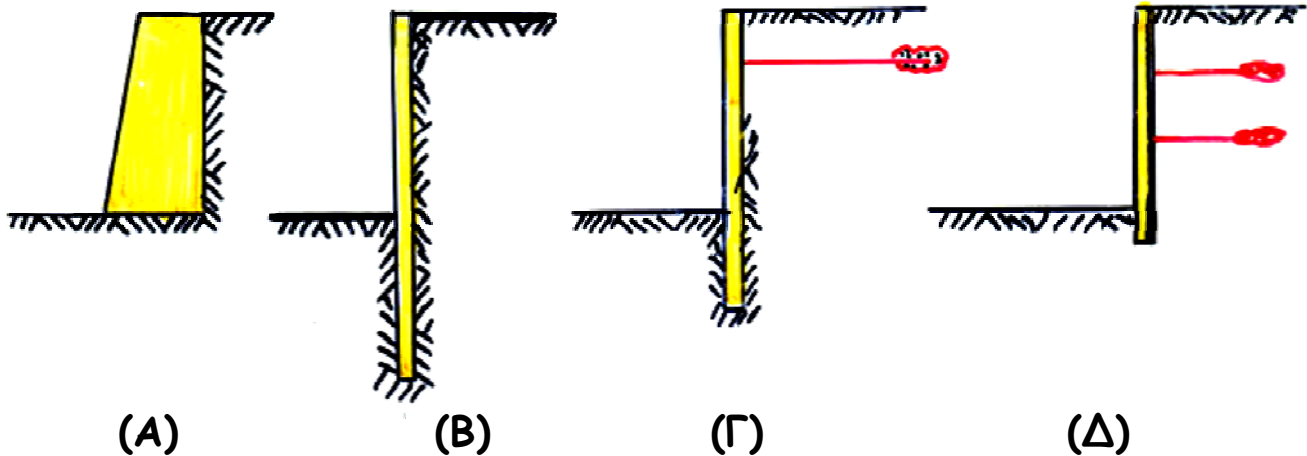


ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ

Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σχολής Πολ. Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

● Πασσαλό - τοίχος  
με αντιστήριξη της κεφαλής

## περίληψη

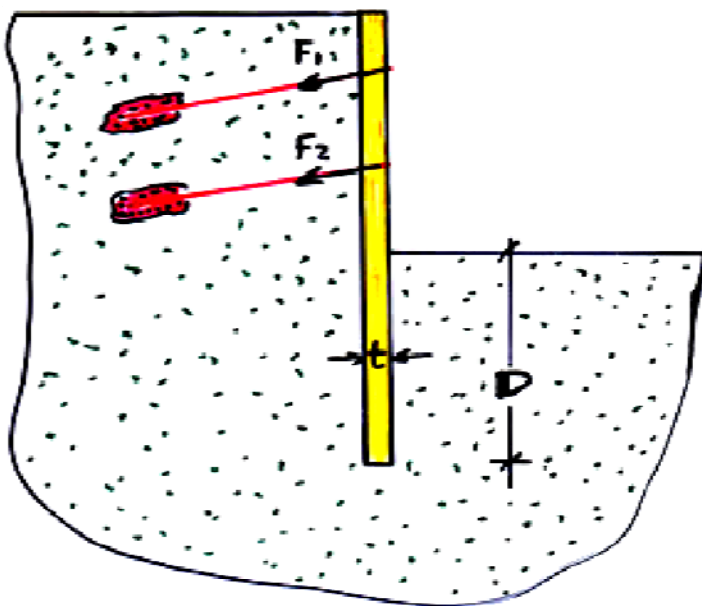


Όλοι οι τοίχοι αντιστηρίξεως έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό:

✚ Σε όλες τις περιπτώσεις (εκτός ίσως από τη Δ) οι μετακινήσεις του πετάσματος είναι αρκετές για να δώσουν “ενεργητική” ώθηση και εν μέρει “παθητική” αντίσταση του εδάφους.

Τα υπόλοιπα είναι θέμα στατικής ισορροπίας του πετάσματος ή του τοίχου.

## ΣΤΑΔΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ



Στάδιο 1: Διαστασιολόγηση πετάσματος ( $D$ ,  $t$ , σπλισμός,  $F_1$ ,  $F_2$ )

Στάδιο 2: Διαστασιολόγηση αγκυρίων  
(μήκος, διατομή, πάκτωση, θέσεις)

Στάδιο 3: Έλεγχος ολικής ευσταθείας πετάσματος – αγκυρίου – εδάφους

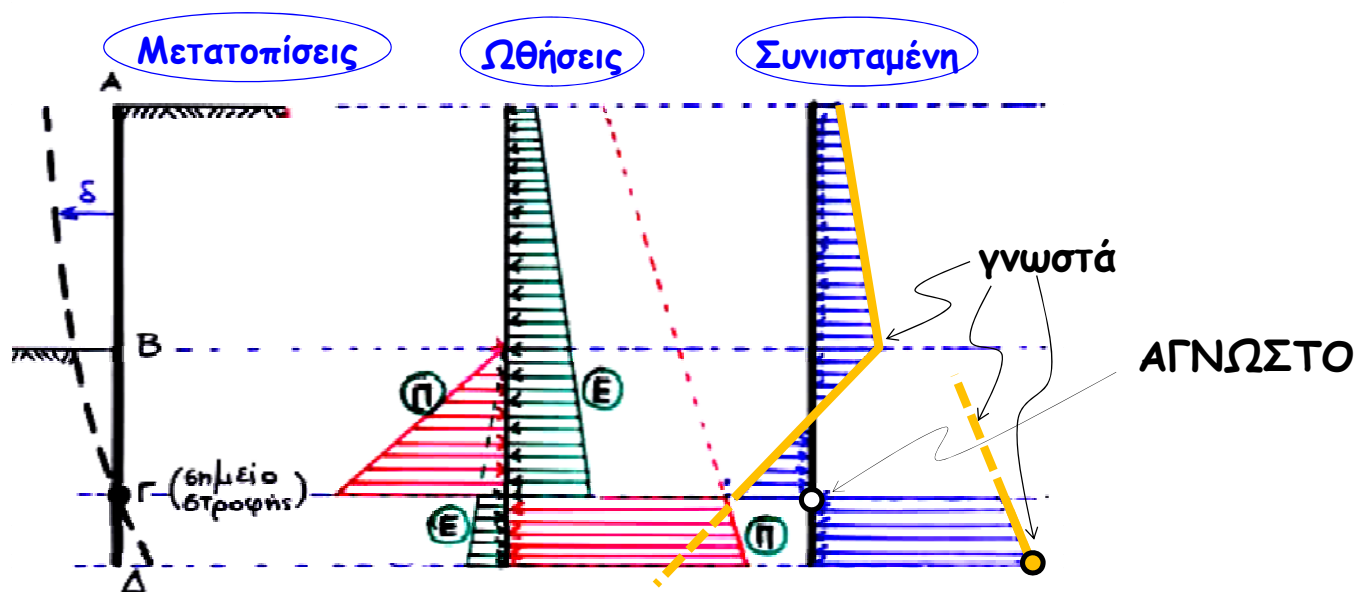
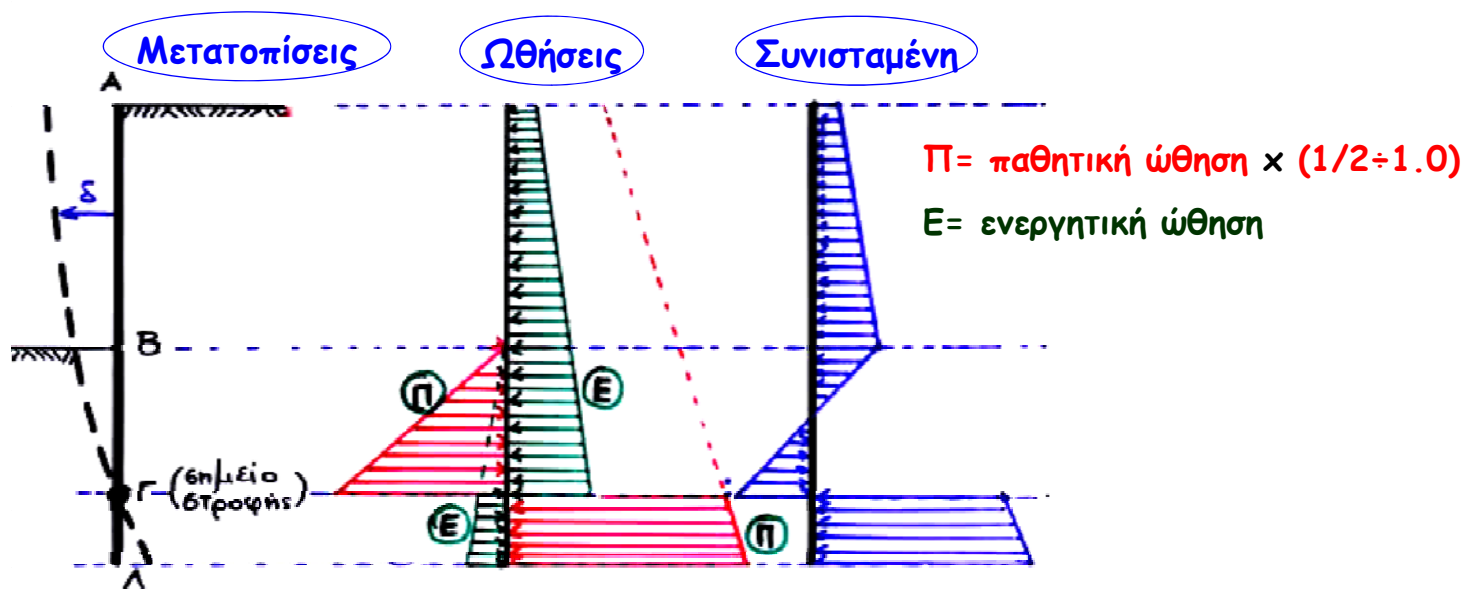


## 3.2 ΑΥΤΟΦΕΡΟΜΕΝΕΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ (κοινώς «πρόβολοι»)

### A. Ανάλυση Ωθήσεων

Για την ΠΟΙΟΤΙΚΗ ανάλυση των ωθήσεων που ασκούνται στα αυτό-ευσταθή πετάσματα αρκεί η θεώρηση των μετατοπίσεων του πετάσματος.

Για την ΠΟΣΟΤΙΚΗ ανάλυση, γίνεται επιπλέον η παραδοχή ότι οι μετακινήσεις του πετάσματος είναι ικανές για την ανάπτυξη **πλήρους ενεργητικής ώθησης** και **μέρους (1/2÷2/3) της παθητικής ώθησης**.



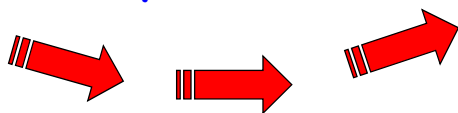
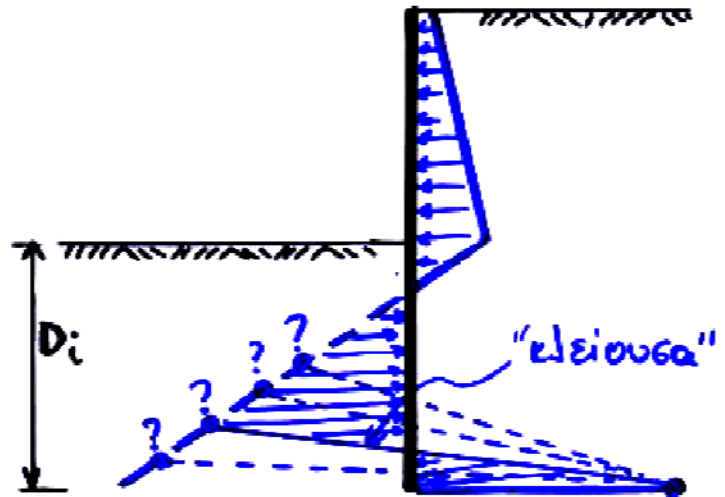
## B. Διαστασιολόγηση

Οι δύο άγνωστοι σχεδιασμού είναι

- Το μήκος πάκτωσης  $D=B\Delta$
- Η κατανομή των ωθήσεων σε όλο το ύψος του πετάσματος με βάση την οποία καθορίζεται η διατομή (πάχος, οπλισμός, κλπ)

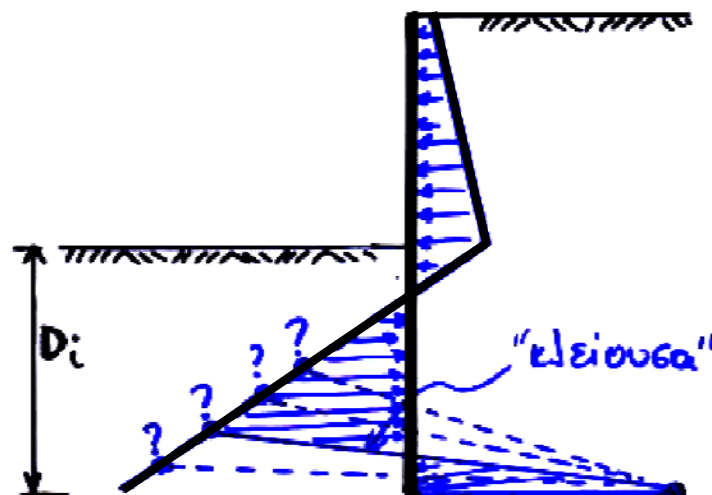
### Επαναληπτική μέθοδος

Οι ανωτέρω άγνωστοι υπολογίζονται με συνεχείς επαναλήψεις οι οποίες αποσκοπούν στην κατασκευή ενός διαγράμματος ωθήσεων το οποίο να ικανοποιεί τόσο την **ισορροπία των δυνάμεων** όσο και την **ισορροπία των ροπών**:



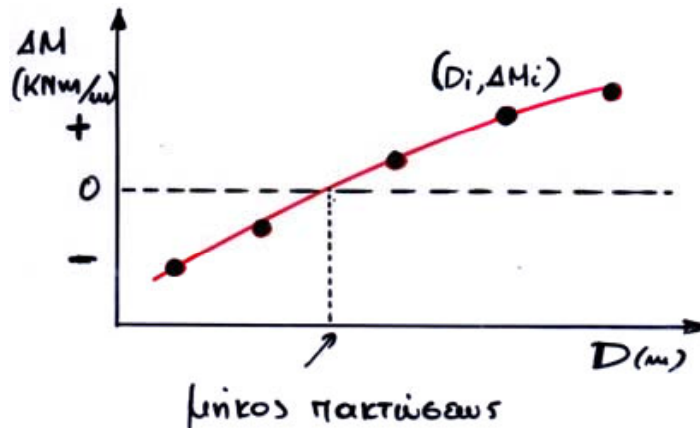
βήμα - βήμα.....

- Υποθέτω κάποιο βάθος έμπηξης  $D_i$  και φέρω την «κλείουσα» η οποία ικανοποιεί την ισορροπία των οριζοντίων δυνάμεων
- Υπολογίζω το άθροισμα των εξωτερικών ροπών  $\Delta M_i$  ως προς τυχόν σημείο του πετάσματος.
- Επαναλαμβάνω τα βήματα α & β για διαφορετικό  $D_i$  και βρίσκω εκείνο το  $D$  για το οποίο  $\Delta M_i = 0$



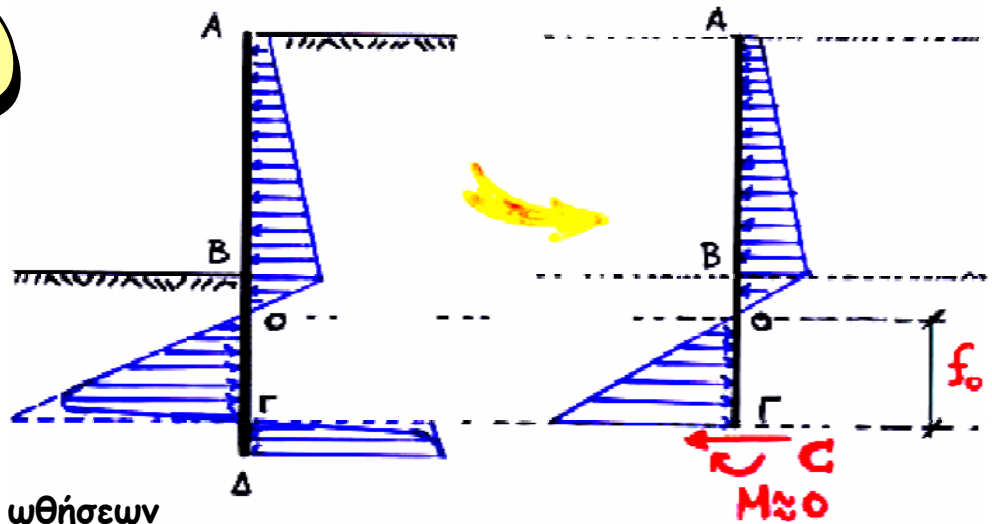
βήμα - βήμα....

- Υποθέτω κάποιο βάθος έμπηξης  $D_i$  και φέρω την «κλείουσα» η οποία ικανοποιεί την ισορροπία των οριζοντίων δυνάμεων
- Υπολογίζω το άθροισμα των εξωτερικών ροπών  $\Delta M_i$  ως προς τυχόν σημείο του πετάσματος.
- Επαναλαμβάνω τα βήματα α & β για διαφορετικό  $D_i$  και βρίσκω εκείνο το  $D$  για το οποίο  $\Delta M_i = 0$



Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι αρκετά χρονοβόρος, εκτός και εάν κωδικοποιηθεί σε ένα (απλό) πρόγραμμα Η/Υ. **ΔΟΚΙΜΑΣΤΕ!**

### Απλοποιητική Μέθοδος



Οι άγνωστοι είναι τέσσερις:  $f_0$ ,  $C$ ,  $M$  &  $\Gamma\Delta$

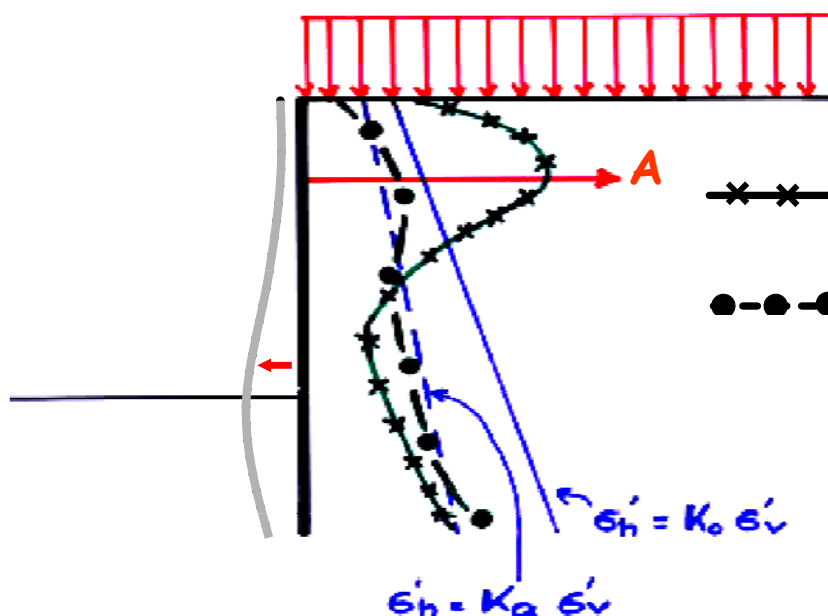
- Θεωρώ ότι  $M \approx 0$
- Ισορροπία δυνάμεων  $\rightarrow C$
- Ισορροπία ροπών  $\rightarrow f_0$
- Θεωρώ ότι  $\Gamma\Delta = (0,20 \div 0,40) f_0$



### 3.3 ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΜΕ ΑΠΛΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗ

#### Α. Μετατοπίσεις-Ωθήσεις-κλπ.

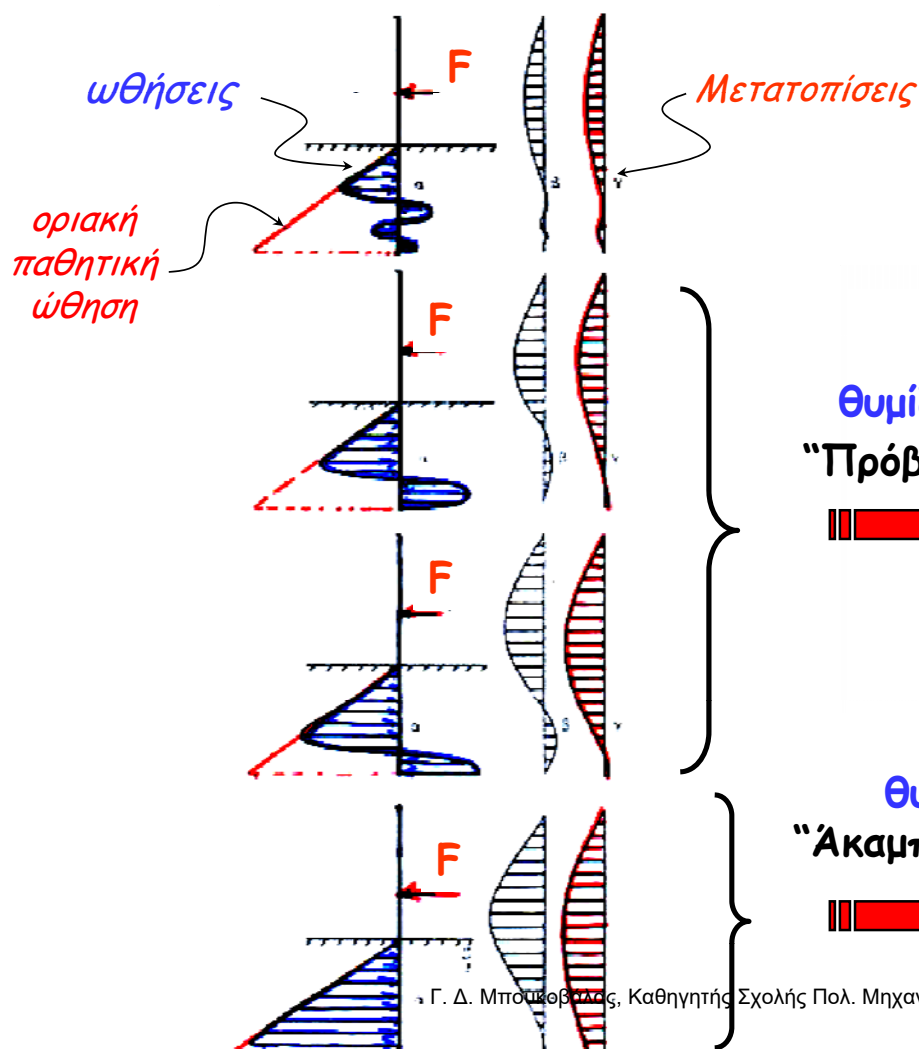
ωθήσεις ανάντη



××××× Πραγματικές ωθήσεις για αμετακίνητο τοίχο ( $Y_A = 0$ )

●-●-●-● Πραγματικές ωθήσεις για μικρή προς τα έξω μετακίνηση της κεφαλής τοίχο ( $Y_A = 0.001H$ )

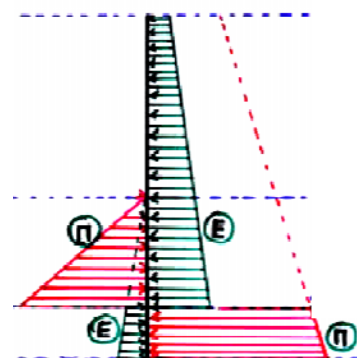
περίπου ίσες προς τις ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΕΣ



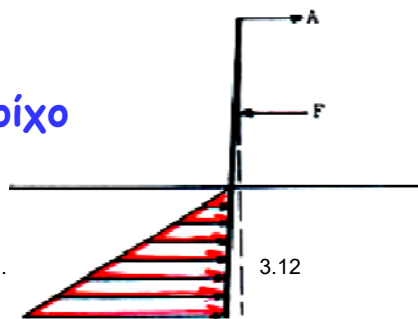
ωθήσεις κατάντη

για σταδιακή αύξηση της ώθησης  $F$

Θυμίζει "Πρόβολο"



Θυμίζει "Άκαμπτο" τοίχο



# Σύνοψη . . . .

---

## ωθήσεις ανάντη

Όπως και στα αυτοφερόμενα πετάσματα (προβόλους) οι ωθήσεις είναι κατά προσέγγιση **ενεργητικές**

## ωθήσεις κατόντη

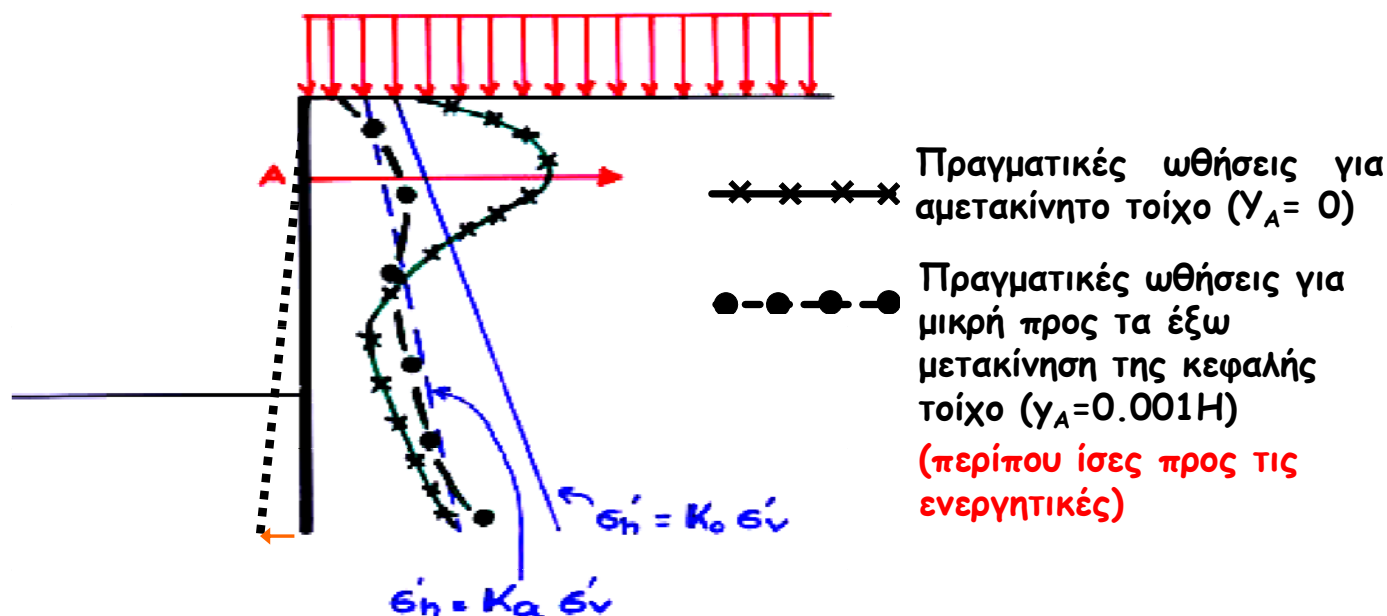
Στην περίπτωση αυτή η κατανομή των ωθήσεων μεταβάλλεται ανάλογα με το στάδιο της φόρτισης. Έτσι,

- **κατά την αστοχία** προσεγγίζει τις παθητικές ωθήσεις, όπως περίπου σε ένα **άκαμπτο πέτασμα** που στρέφεται περί το σημείο αγκύρωσης
- **μακράν της αστοχίας** προσεγγίζει την κατανομή που έχουμε στα **αυτοφερόμενα πετάσματα**

## B. Μέθοδος του «ελεύθερου κάτω άκρου»

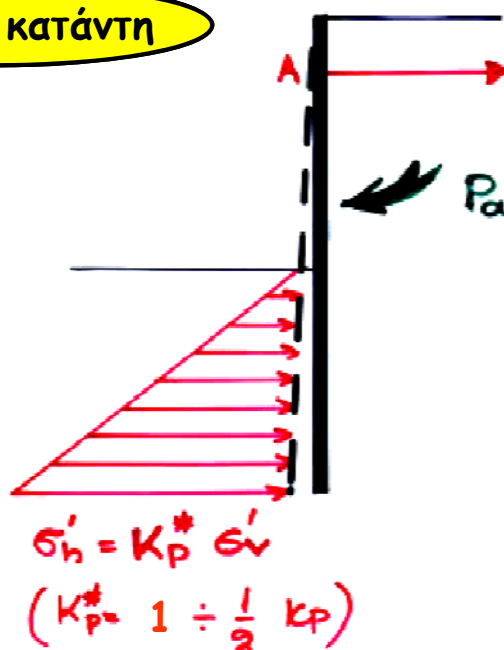
(«free earth support» ή μέθοδος του «ακάμπτου πετάσματος»)

### ωθήσεις ανάντη

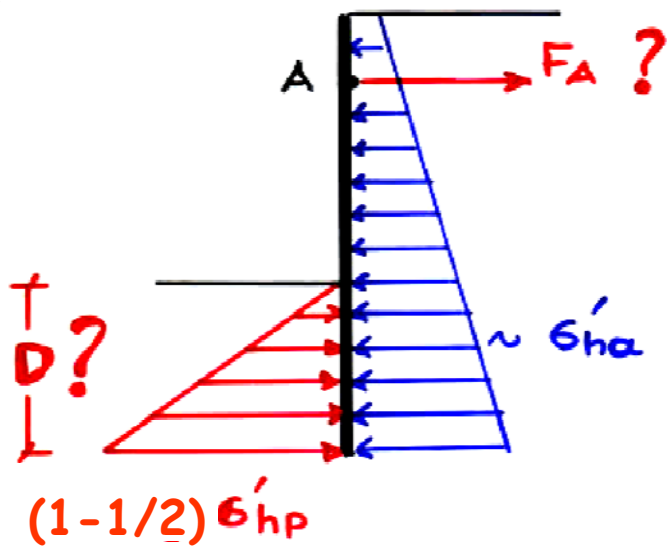


### ωθήσεις κατάντη

ενεργοποίηση μέρους  
(1.0 έως 1/2) της  
παθητικής ώθησης



## Διαστασιολόγηση



ισορροπία δυνάμεων και ροπών

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow D = \dots$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow F_A = \dots$$

## Εναλλακτικά .....

Η διαστασιολόγηση γίνεται θεωρώντας ότι αναπτύσσονται οι **πλήρεις παθητικές ωθήσεις**, και με τον τρόπο αυτό υπολογίζονται τα άγνωστα μεγέθη  $M$ ,  $F_A$  &  $D$ .

Ακολουθως όμως λαμβάνεται μήκος έμπηξης ίσο με:

$D$  ..... για συνεκτικά εδάφη  
(π.χ. άργιλοι)

$2D$  ..... για μη συνεκτικά εδάφη  
(π.χ. άμμοι)

## Ερώτηση

Κατά την διαστασιολόγηση λαμβάνεται:

$$\begin{array}{llll} \sigma'_{hp}^* = 1/2 \sigma'_{hp} & \text{ή} & D^* = 2D & \text{για άμμους} \\ \sigma_{hp}^* = \sigma_{hp} & \text{ή} & D^* = D & \text{για αργίλους} \end{array}$$

**γιατί :::**

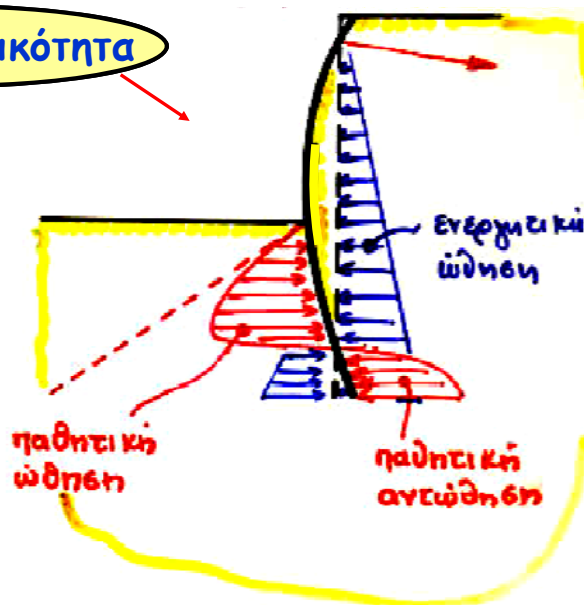
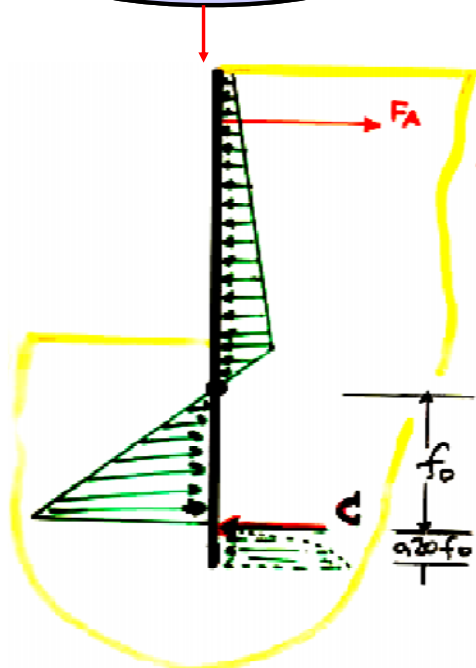


## Γ. Μέθοδος του «τριαρθρωτού τόξου»

(«fixed earth support» ή μέθοδος του «ευ-κάμπτου πετάσματος»)

στην πραγματικότητα

προσομοίωμα



Το στατικό σύστημα είναι παρόμοιο με αυτό που είχαμε για τα αυτοφερόμενα πετάσματα, μόνο που τώρα οι άγνωστοι είναι 3:  $F_A$ ,  $C$ ,  $f_0$

## ✱ Επαναληπτική Μέθοδος της Ελαστικής Γραμμής

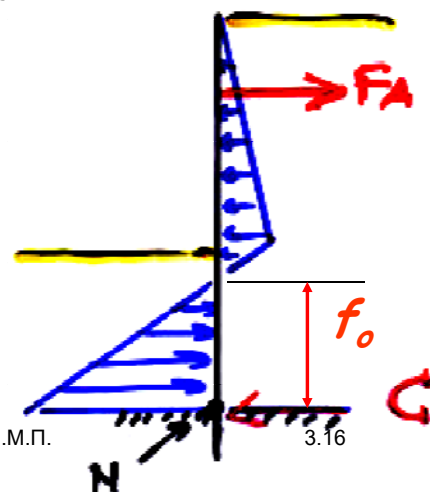
➡ **Βήμα 1:** υποθέτω μια τιμή του  $f_0$

↓  
**Βήμα 2:** επιλύω το ισοστατικό σύστημα του πετάσματος,  $\sum F_y$  &  $\sum M = 0$

↓  
**Βήμα 3:** υπολογίζω τις καμπτικές ροπές κατά μήκος του πετάσματος και τα αντίστοιχα βέλη κάμψεως (ελαστική νοσσιμή) από την σχέση  $EI \gamma'' = M \Rightarrow$

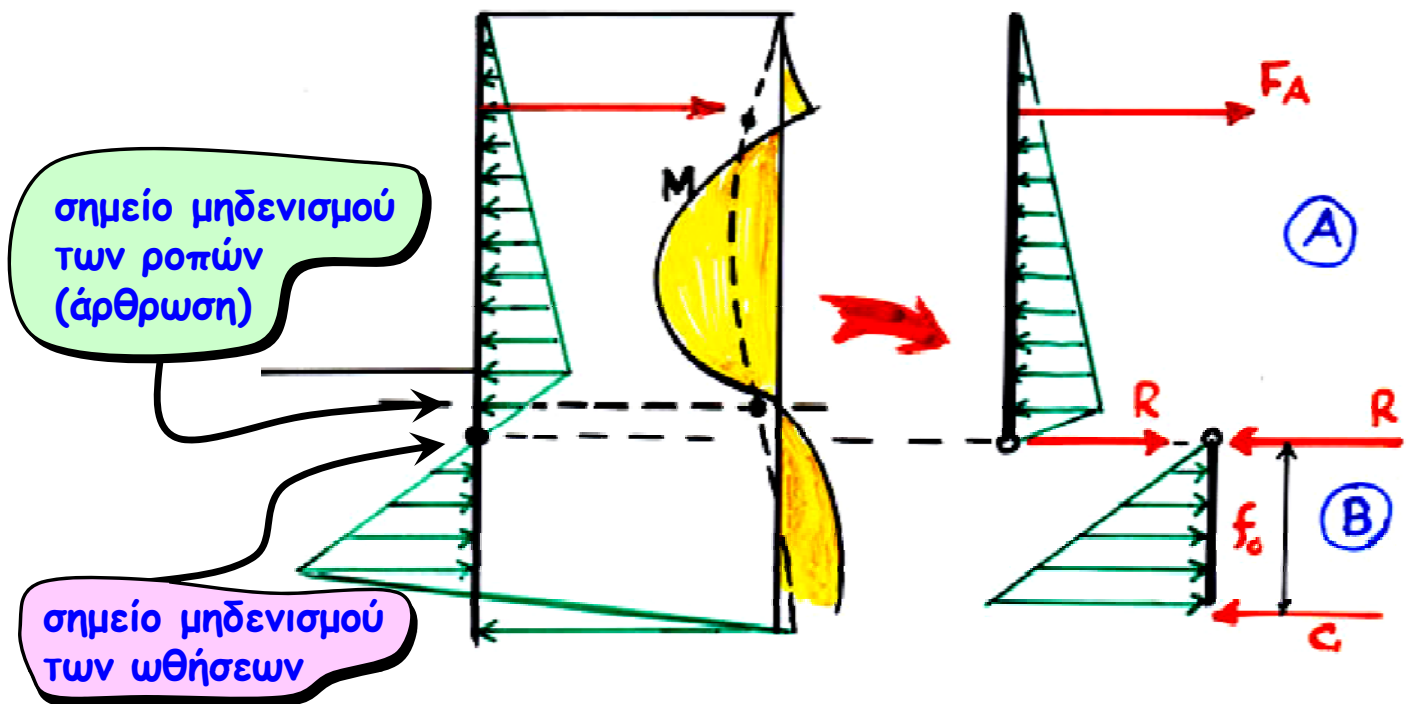
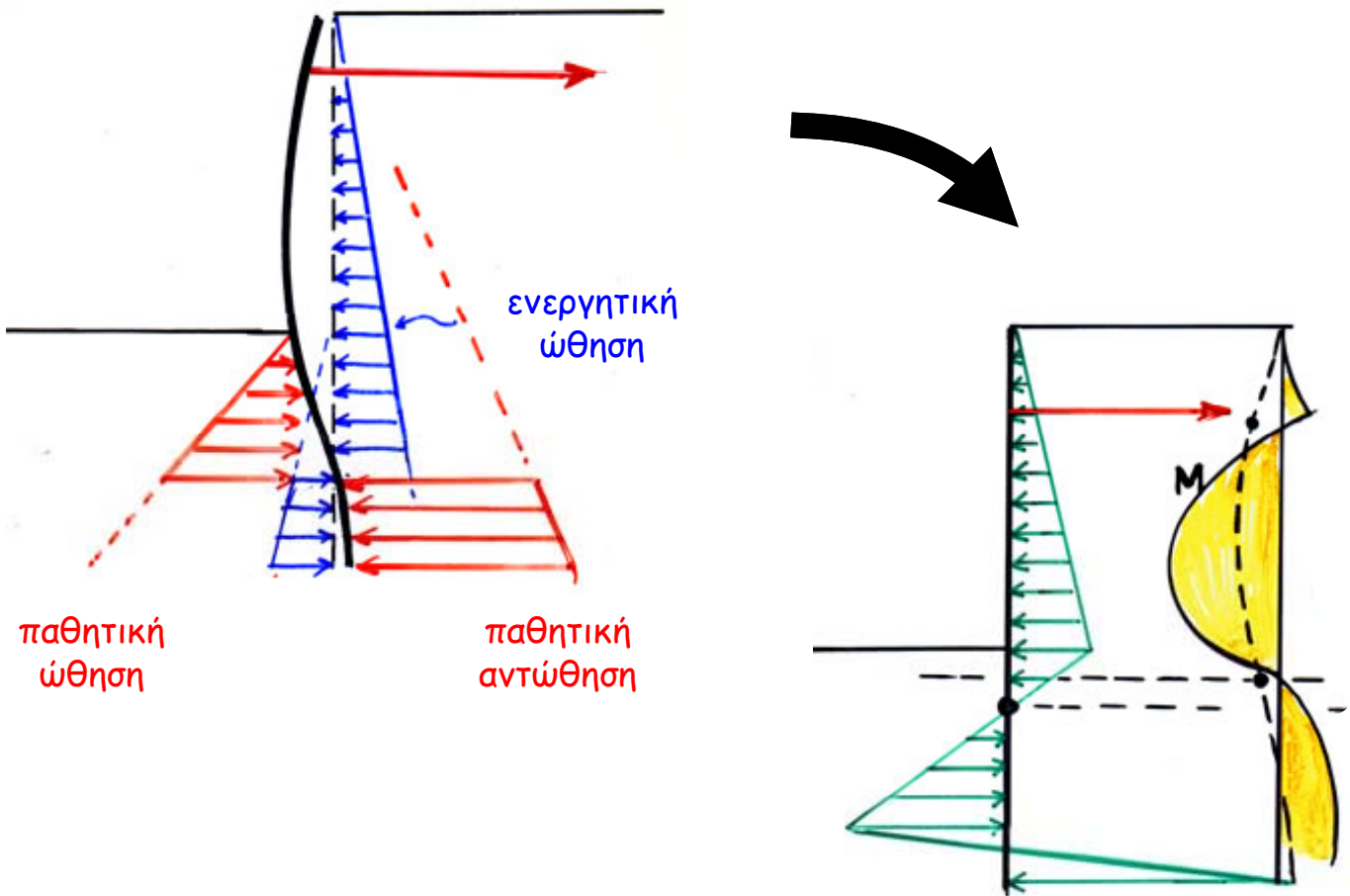
$$\gamma(h) = \frac{1}{EI} \iint M(h) dh dh$$

↓  
↖ **Βήμα 4:** ελέγχω εάν  $\left. \frac{dy}{dh} \right|_{\text{σημείο N}} \approx 0$



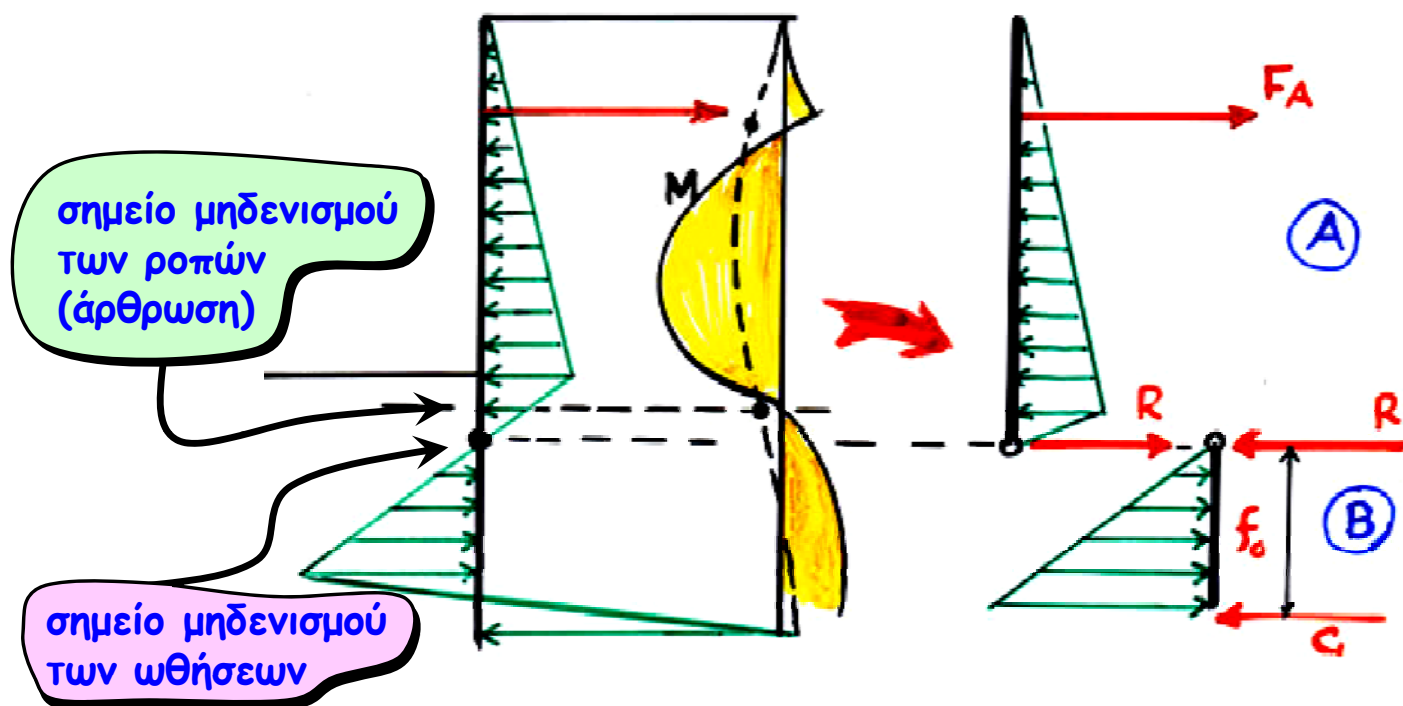


## Μέθοδος του Τριαρθρωτού Τόξου

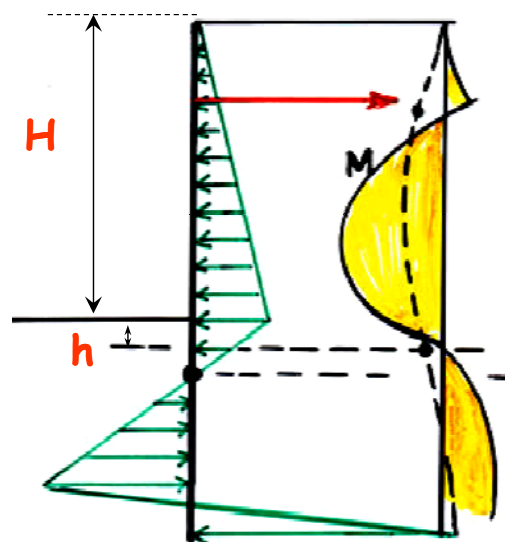


η βασική παραδοχή είναι ότι .....

το σημείο μηδενισμού των ροπών (άρθρωση) ταυτίζεται με το σημείο μηδενισμού των ωθήσεων.



## ☀ Μέθοδος του Τριαρθρωτού Τόξου κατά **BLUM**



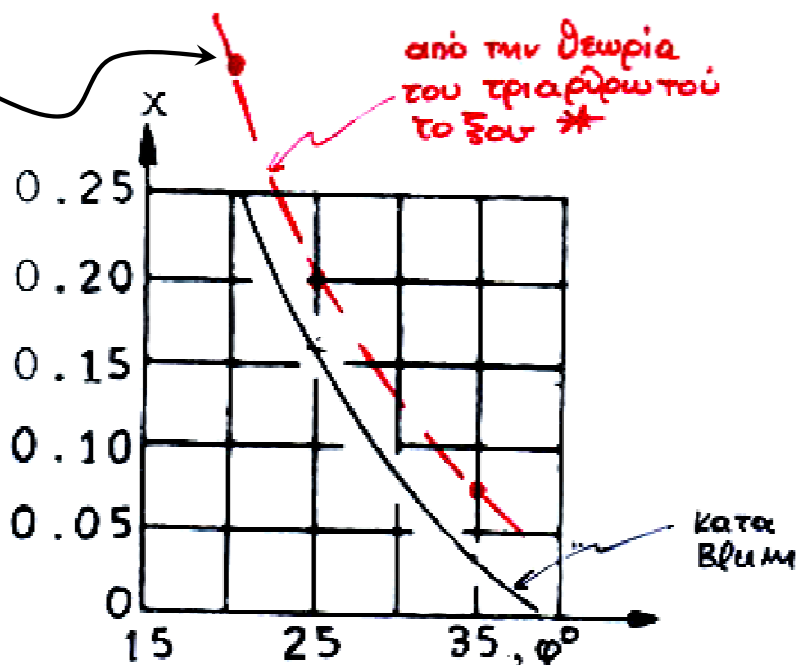
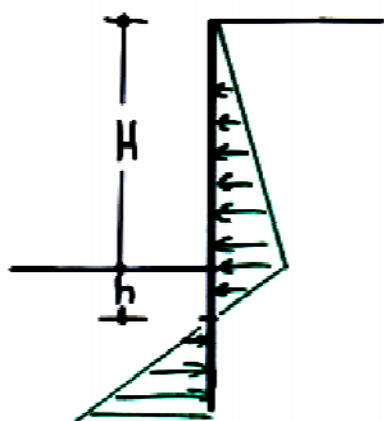
Η μέθοδος Blum είναι παρόμοια με την μέθοδο του τριαρθρωτού τόξου με μία μόνον διαφορά:

Το βάθος  $h$  κάτω από τον πυθμένα της εκσκαφής στο οποίο θεωρείται η άρθρωση (σημείο μηδενισμού των ροπών) είναι συνάρτηση της γωνίας τριβής  $\phi$  του εδάφους και του βάθους  $H$  της εκσκαφής. (βλ. σχήμα)

## Σύγκριση BLUM & συμβατικού ΤΡΙΑΡΘΡΩΤΟΥ ΤΟΞΟΥ

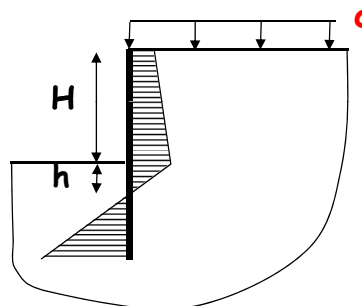
✚ Για **ομοιόμορφο, μη συνεκτικό** έδαφος, το βάθος από την επιφάνεια εκσκαφής όπου γίνεται μηδενισμός των πιέσεων δίνεται από την σχέση (να αποδειχθεί):

$$x = \frac{h}{H} = \frac{K_a}{K_p - K_a}$$



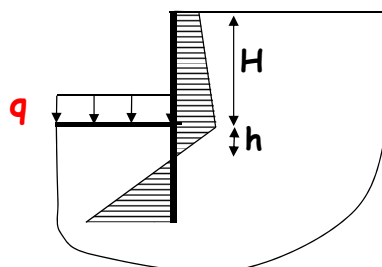
### ΕΡΩΤΗΣΗ #1:

Πως εφαρμόζεται η μέθοδος Blum (ποια είναι τα h & H) στην περίπτωση ομοιόμορφης επιφόρτισης του φυσικού εδάφους;



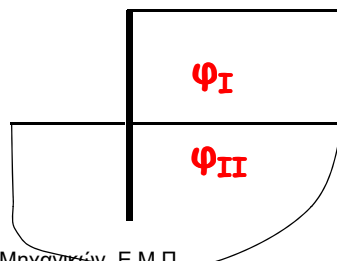
### ΕΡΩΤΗΣΗ #2:

Πως εφαρμόζεται η μέθοδος Blum (ποια είναι τα h & H) στην περίπτωση ομοιόμορφης επιφόρτισης της εκσκαφής;



### ΕΡΩΤΗΣΗ #3:

Πως εφαρμόζεται η μέθοδος Blum (ποια είναι η φ) στην περίπτωση ανομοιόμορφου εδάφους;



### 3.4 ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗ

Ο υπολογισμός των ωθήσεων στην περίπτωση αυτή είναι αρκετά πολύπλοκος και διαφέρει ανάλογα:

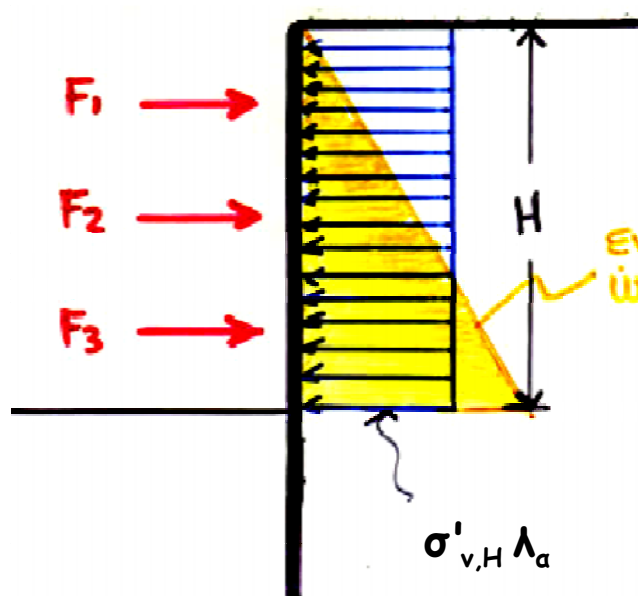
- + με τον αριθμό, την θέση και την χρονική σειρά κατασκευής των αντιστηρίξεων (αγκυρώσεων)
- + τον τύπο του εδάφους
- + το βάθος εκσκαφής
- + τον τρόπο κατασκευής της εκσκαφής και της αντιστήριξης

Για τον λόγο αυτό, οι ωθήσεις υπολογίζονται από **εμπειρικά διαγράμματα περιβαλλουσών** που έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές βάσει πειραματικών μετρήσεων

Ενδεικτικά θα εξετασθούν ακολούθως

τα συνηθέστερον χρησιμοποιούμενα σήμερα **διαγράμματα PECK**.

Α Μ Μ Ο Σ



ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ  
ΩΘΗΣΗ

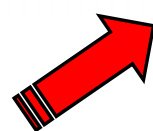
$$\sigma'_{v,H} \lambda_a$$



$$\lambda_a \cong 0,65 K_a$$

$$= 0,65 \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Θεωρητικά αποδεικνύεται ότι



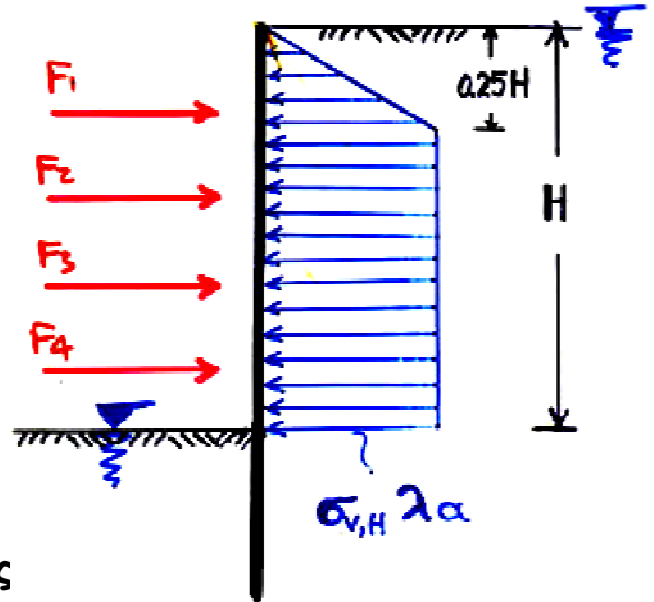


## “μαλακές” ΑΡΓΙΛΟΙ

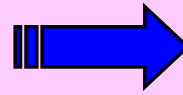
$$\lambda_a = 1 - \frac{4mC_u}{\sigma_{v,H}}$$

**m=0.40** Μαλακή άργιλος για μεγάλο βάθος

**m=1.00** Στιφρή στρώση αργίλου πλησίον της βάσης εκσκαφής

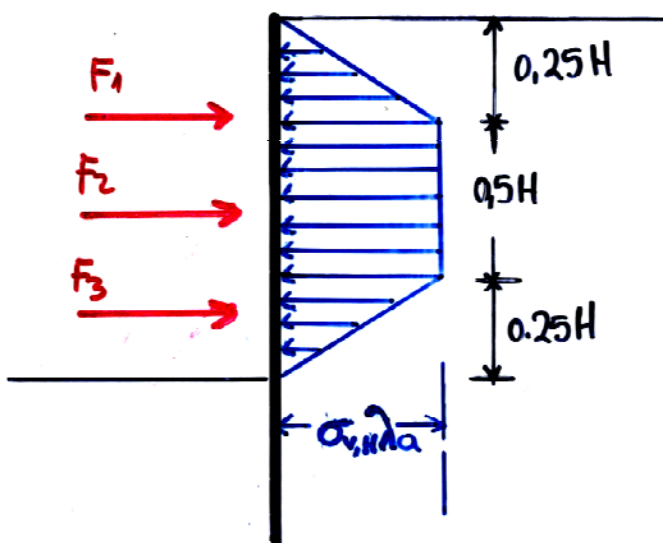


**ΠΡΟΣΟΧΗ:** “μαλακή” άργιλος



$$\frac{\sigma_{v,H}}{C_u} > 6$$

## “στιφρές” Άργιλοι



$$\lambda_a = 0,20 \div 0,40$$

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** “στιφρή” άργιλος



$$4 > \frac{\sigma_{v,H}}{C_u}$$

## ερώτηση . . . . Μηχανικού:

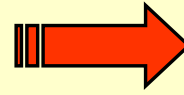
**ΠΡΟΣΟΧΗ:** “μαλακή” άργιλος



$$\frac{\sigma_{v,H}}{C_u} > 6$$

ΤΙ ΓΙΝΕΤΑΙ ΟΜΩΣ ΟΤΑΝ  $6 > \frac{\sigma_{v,H}}{C_u} > 4$  ;

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** “στιφρή” άργιλος



$$4 > \frac{\sigma_{v,H}}{C_u}$$

### Παρατήρηση

Σε όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις, οι δυνάμεις αγκυρώσεως ή αντιστηρίξεως υπολογίζονται με την παραδοχή της ισο-κατανομής των περιβαλλουσών ωθήσεων:

π.χ.

