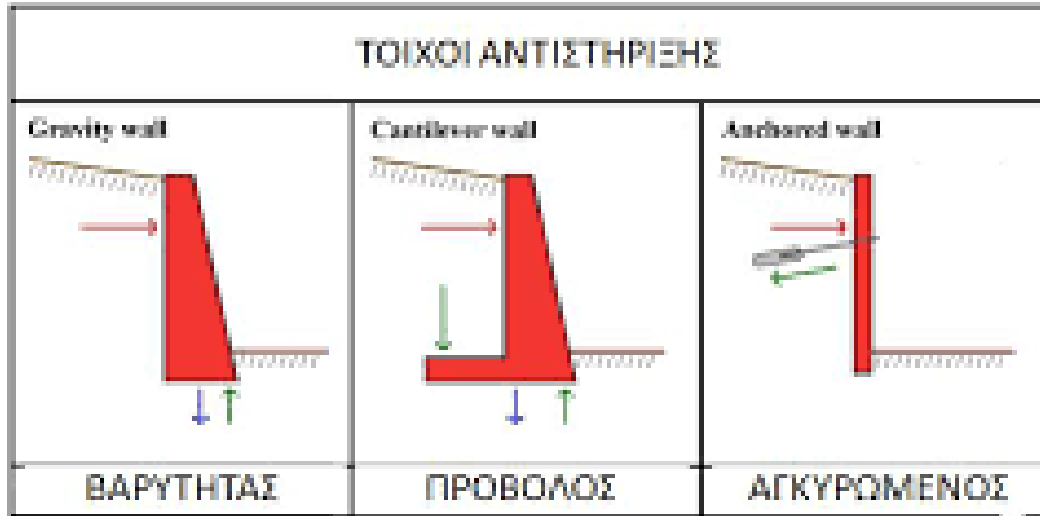


# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

## ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-- ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

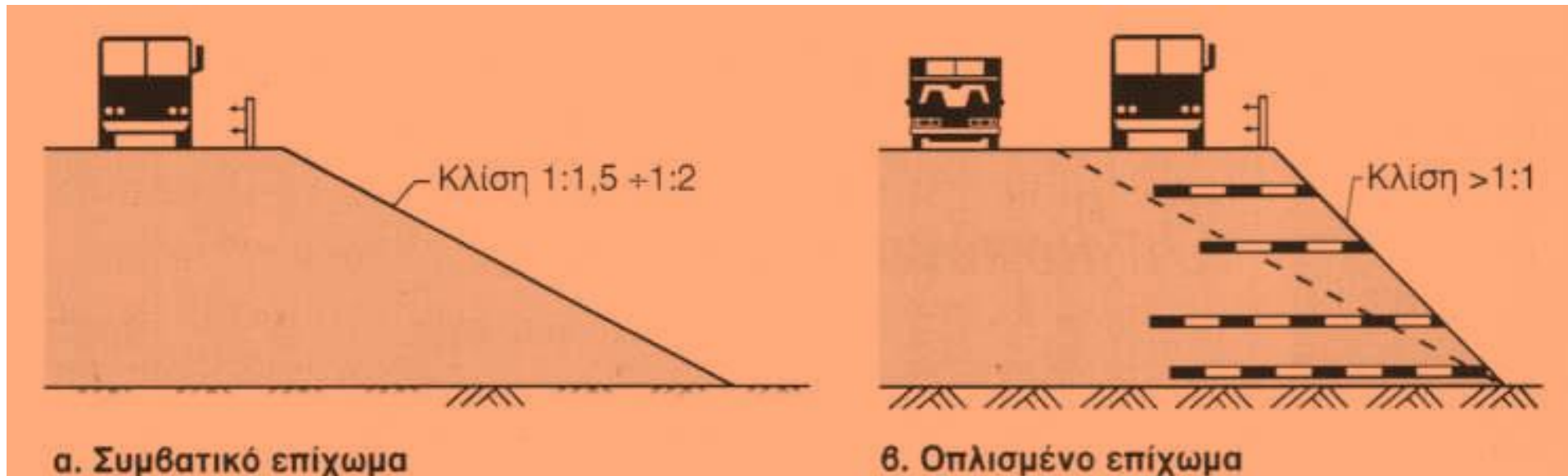


**ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ**  
**8<sup>η</sup> ΔΙΑΛΕΞΗ - ΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ**  
**ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ**  
**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2021**

# ΟΠΙΛΙΣΜΕΝΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΠΡΑΝΩΝ

# 16.1. Ορισμοί και πεδίο εφαρμογής

- **Οπλισμένα επιχώματα** : γεωκατασκευές στις οποίες τα υλικά επίχωσης ενισχύονται με παρεμβολή μεταλλικών και, κυρίως, συνθετικών στοιχείων.
- Η ενίσχυση των επιχωμάτων γίνεται πρωτίστως με γεφυφάσματα ή με γεωπλέγματα. Η εφαρμογή της αρχής της “οπλισμένης γης” στην κατασκευή επιχωμάτων καλύπτει ένα ευρύ πεδίο, ωστόσο, αναφέρονται συνήθως ως “οπλισμένα επιχώματα” οι γεωκατασκευές με πρανή που έχουν ενισχυθεί με συνθετικά ή μεταλλικά στοιχεία.
- Η ενίσχυση των επιχωμάτων επιτρέπει την αύξηση της κλίσης των πρανών, που για τα συνήθη επιχώματα κυμαίνεται μεταξύ 1:1,5 και 1:2, μέχρι και σε γωνία 90°, τη διαμόρφωση, δηλαδή, κατακόρυφου πρανούς.
- Ακόμη, μέσω της ενίσχυσης των επιχωμάτων αντιμετωπίζονται φαινόμενα παραμορφώσεων, καθιζήσεων και συνιζήσεων αλλά και βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας (Σχ. 126).



Σχήμα 126. Εφαρμογές οπλισμένης γης σε οδικά επιχώματα.

# 16.1. Ορισμοί και πεδίο εφαρμογής

Οι εφαρμογές, συνεπώς, του οπλισμένου εδάφους στην περίπτωση των οδικών επιχωμάτων είναι :

- ❖ όπλιση πρανών για βελτίωση ευστάθειας του επιχώματος έναντι περιστροφικής ολίσθησης
- ❖ ενίσχυση παρειάς για βελτίωση ευστάθειας έναντι επίπεδης επιφανειακής /τοπικής αστοχίας
- ❖ ενίσχυση σώματος επιχώματος για μείωσης της συνίζησης
- ❖ ενίσχυση επιφάνειας έδρασης επιχώματος για μείωση καθιζήσεων και βελτίωση ευστάθειας
- ❖ όπλιση υλικού επίχωσης τοίχων αντιστήριξης.

➤ Γενικώς, τα πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζουν οι διάφορες τεχνικές όπλισης του εδάφους στην οδοποιία είναι οι εξής:

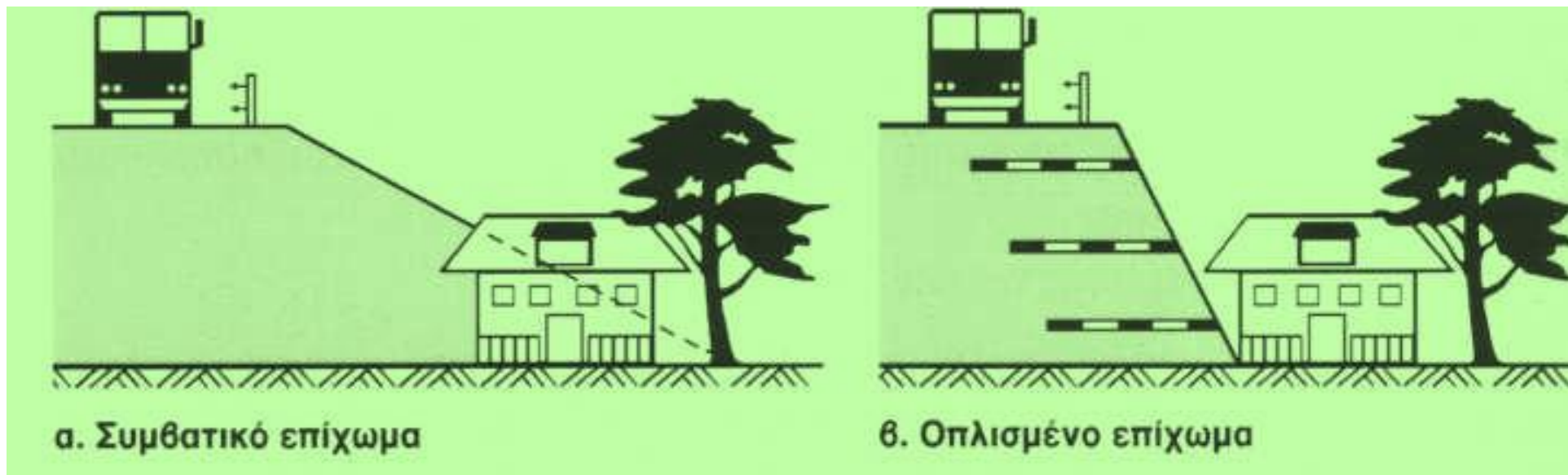
- α) μεγάλη ευκαμψία και ικανότητα προσαρμογής σε παραμορφώσεις και καθιζήσεις της γεωκατασκευής
- β) μικρό κόστος κατασκευής
- γ) απλή και σύντομη διαδικασία τοποθέτησης
- δ) δυνατότητα αποστράγγισης.

## 16.1. Ορισμοί και πεδίο εφαρμογής

- Για τους λόγους αυτούς, οι τεχνικές όπλισης του εδάφους σε έργα οδοποιίας αποτελούν πλέον μια μέθοδο συστηματικής εφαρμογής σε κατασκευές επιχωμάτων.
- Τα στοιχεία όπλισης των επιχωμάτων διακρίνονται σε όλκιμα ή εύκαμπτα (*extensible*) και σε άκαμπτα (*inextensible*).
- Στην πρώτη κατηγορία υπάγονται τα γεωυφάσματα και τα γεωπλέγματα, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι μεταλλικές ράβδοι και τα χαλύβδινα πλέγματα.

## 16.2 Όπλιση πρανών

- Η όπλιση των πρανών επιχώματος (reinforced slopes) είναι η περισσότερο διαδεδομένη εφαρμογή οπλισμένου εδάφους στην οδοποιία. Τα οπλισμένα πρανή διαμορφώνονται με κλίσεις περισσότερο απότομες από εκείνες των συμβατικών επιχωμάτων, με αποτέλεσμα να μειώνεται το εύρος κατάληψης και να εξοικονομούνται υλικά (Σχ. 127).
- Εναλλακτικά, η όπλιση πρανών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαπλάτυνση οδών σε επίχωμα και για αύξηση πλάτους οδοστρώματος σε φάση κατασκευής οδικών έργων (Σχ. 126).
- Η ανάλυση προβλημάτων ενίσχυσης πρανών και η διαστασιολόγηση των στοιχείων όπλισης γίνεται με κλασσικές μεθόδους οριακής ισορροπίας.
- Μια προσεγγιστική μέθοδος ανάλυσης που μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις μη συνεκτικών εδαφικών υλικών ( $c = 0$ ) και διαστασιολόγησης για γεωσυνθετικά υλικά όπλισης είναι η μέθοδος Schmertmann (§16.7).



Σχήμα 127. Μείωση εύρους κατάληψης στο οπλισμένο επίχωμα.

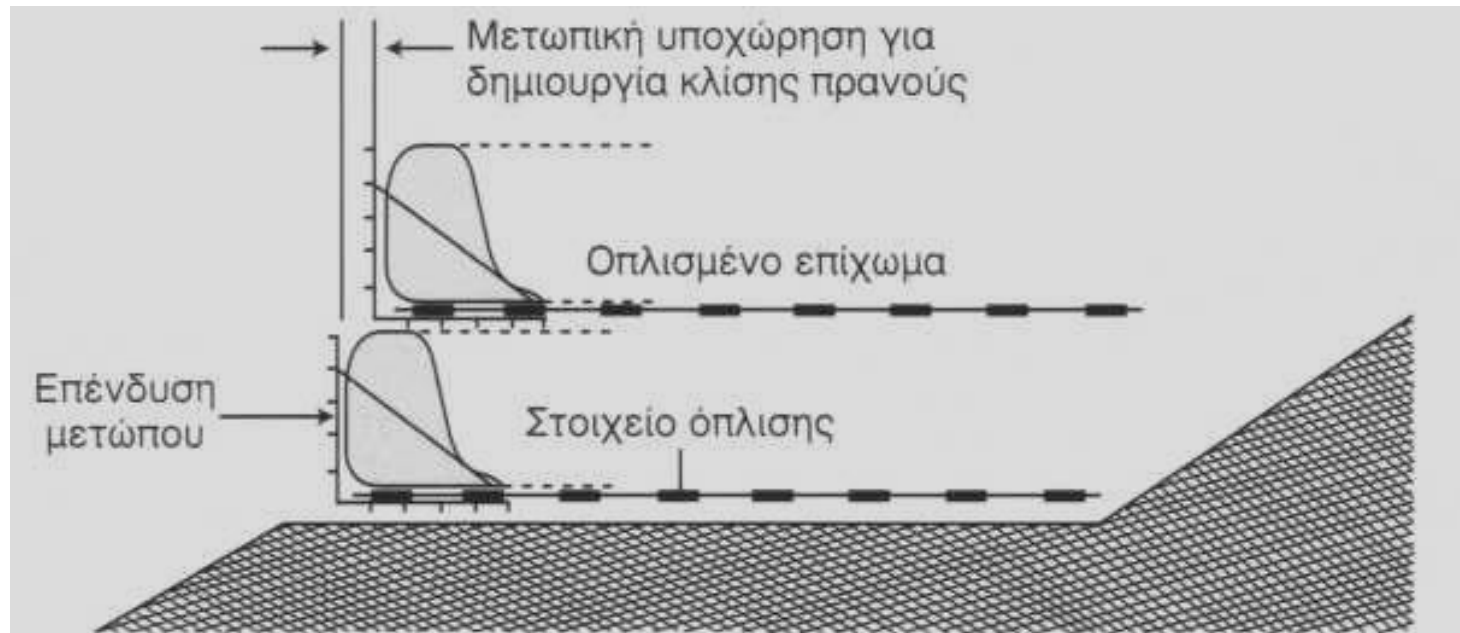
## 16.3. Επιφανειακή ευστάθεια

- ✓ Ο πρωτεύων οπλισμός ενός επιχώματος έχει ως στόχο να εξασφαλίσει ικανοποιητικές συνθήκες ευστάθειας έναντι περιστροφικής ή επίπεδης ολίσθησης σε πρηνή με απότομες κλίσεις.
- ✓ Η μέθοδος διαστασιολόγησης προσδιορίζει το μέγεθος και την πυκνότητα του πρωτεύοντος οπλισμού, ώστε να προκύπτει ο απαιτούμενος, από την περίπτωση και τη σημασία του έργου, συντελεστής ασφαλείας.
- Αν, ωστόσο, κατά τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζεται η ευστάθεια του πρηνούς του επιχώματος, δεν αποτρέπεται κάποια επιφανειακή αστοχία στο ενδιάμεσο των ενισχυμένων στρώσεων, ειδικότερα όταν η καθ' ύψος πυκνότητα των οπλισμών δεν είναι μεγάλη (120-150 cm) και η κλίση του πρηνούς απότομη.
- Στις περιπτώσεις αυτές, μεταξύ των στρώσεων του κυρίως οπλισμού, τοποθετούνται μια ή περισσότερες στρώσεις δευτερεύοντος οπλισμού.



## 16.3. Επιφανειακή ευστάθεια

- ✓ Όταν η γωνία πρανούς του οπλισμένου επιχώματος είναι περίπου  $45^\circ$ , ο δευτερεύων οπλισμός τοποθετείται ανά καθ' ύψος αποστάσεις 30-60 cm και έχει μήκος 2 m.
- Η αναδίπλωση των φύλλων των γεωσυνθετικών υλικών και η αγκύρωση τους στην αμέσως ανώτερη στρώση βελτιώνει την επιφανειακή ευστάθεια και προστατεύει από διάβρωση (Σχ. 128).
- Όταν η γωνία πρανούς τείνει προς τις  $90^\circ$ , ακόμη αποτελεσματικότερα μέτρα προστασίας είναι απαραίτητα. Η αναδίπλωση των γεωσυνθετικών φύλλων είναι απαραίτητη και η επιφάνεια του πρανούς διαμορφώνεται από τα κατακόρυφα μέτωπα των στρώσεων μέσω συρματοκιβωτίων ή άλλων μεθόδων κατασκευής.

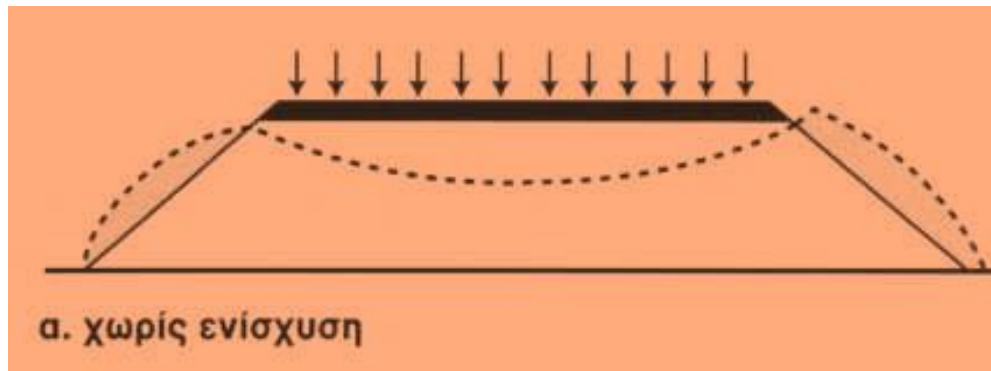


Σχήμα 128. Μέτωπο πρανούς οπλισμένου επιχώματος [41].



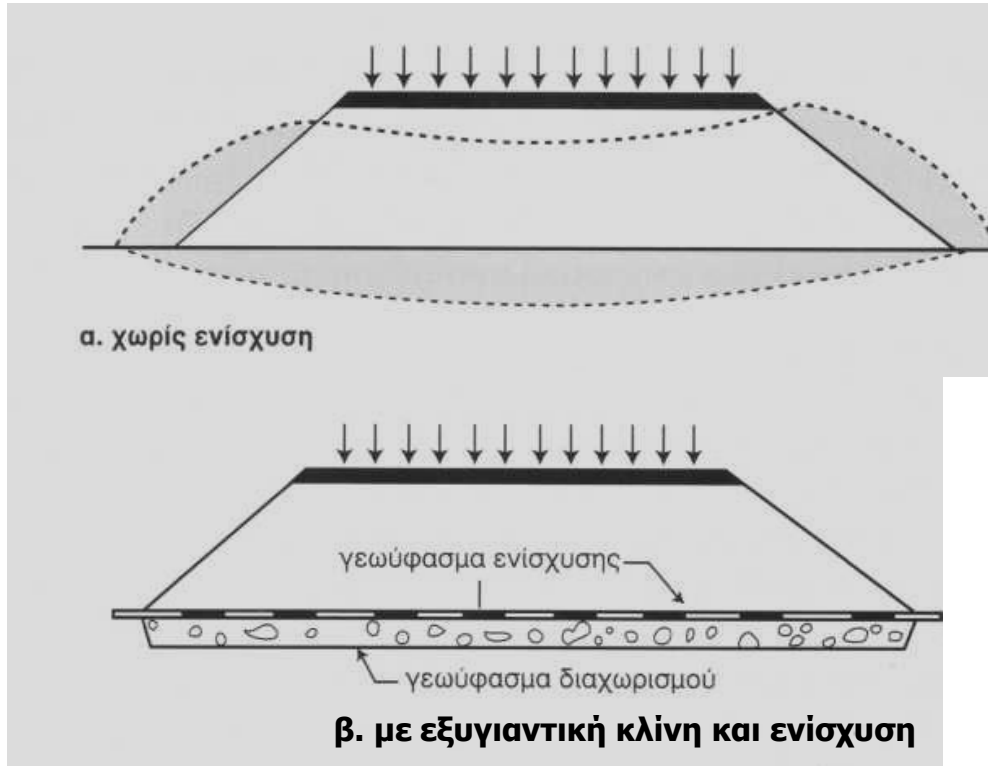
## 16.4. Διαμπερής ενίσχυση επιχώματος

- ✓ Γεωσυνθετικά υλικά ενίσχυσης τοποθετούνται στο σώμα του επιχώματος για μείωση της παραμορφωσιμότητας και της συνίζησης.
- ✓ Η πρακτική αυτή εφαρμόζεται σε υψηλά επιχώματα ( $h > 10$  m) που κατασκευάζονται από συνεκτικά εδαφικά υλικά μεγάλης παραμορφωσιμότητας (Σχ. 129).
- Στις περιπτώσεις αυτές, τα στοιχεία όπλισης τοποθετούνται ανά 2-3 μέτρα (καθ' ύψος) ανάλογα με τη φύση του υλικού και τη γεωμετρία της διατομής.
- ✓ Η παρεμβολή γεωφασμάτων είναι δυνατόν να συνδυασθεί και με την κατασκευή στρώσης στράγγισης, εφόσον το υλικό επίχωσης είναι μικρής διαπερατότητας και η πιθανότητα διείσδυσης όμβριων σοβαρή.

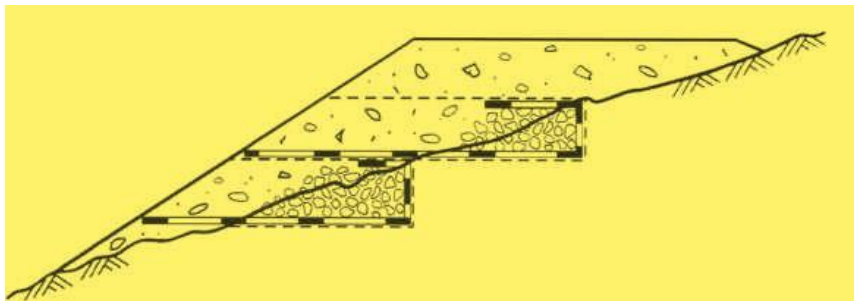


Σχήμα 129. Ενίσχυση επιχώματος από μαλακά εδαφικά υλικά.

## 16.5. Ενίσχυση θεμελίωσης επιχώματος



Σχήμα 130. Γεωυφάσματα στη στρώση έδρασης επιχώματος.

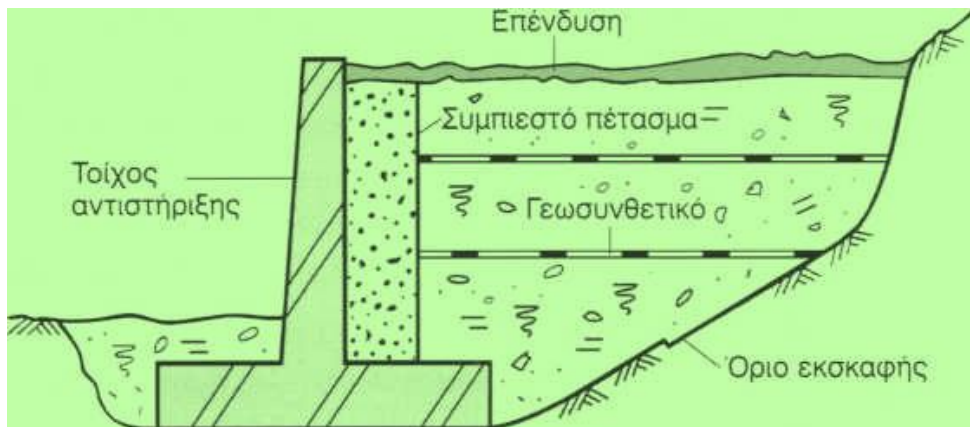


Σχήμα 131. Ενίσχυση έδρασης επιχώματος επί κλιτύος.

- Η ενίσχυση της θεμελίωσης του επιχώματος μέσω γεωυφασμάτων γίνεται σε περιπτώσεις έδρασης των γεωκατασκευών σε συμπιεστά εδαφικά στρώματα μεγάλου πάχους (αργιλοϊλεις, μαλακές άργιλοι, οργανικά εδάφη).
- Ένα πρώτο γεωύφασμα τοποθετείται στον πυθμένα της εξυγιαντικής κλίνης.
- Ακολουθεί η κατασκευή της “εξυγίανσης” από κροκάλες ή θραυστό υλικό, μεγάλων διαστάσεων 100/200 mm.
- Η εξυγιαντική στρώση καλύπτεται εν από γεωύφασμα ενίσχυσης, που σε συνδυασμό με το σύνολο της κατασκευής της θεμελίωσης, βελτιώνει την ευστάθεια της γεωκατασκευής και συντελεί στη μείωση της δευτερογενούς καθίζησης (Σχ. 130).
- Εξίσου σημαντική μπορεί να είναι η συμβολή του γεωυφάσματος ή του γεωπλέγματος στην έδραση επιχώματος επί φυσικού πρανούς.
- Ανάλογα με τη γεωμετρία της κατασκευής και τη φύση των υλικών, η παρεμβολή γεωσυνθετικών υλικών σε συνδυασμό με αποστραγγιστική κλίση μειώνει σημαντικά τις πιθανότητες ολίσθησης του επιχώματος (Σχ. 131).

## 16.6. Ενίσχυση υλικού επίχωσης τοίχων αντιστήριξης

- Η παρεμβολή φύλλων γεωσυνθετικών υλικών σε υλικά επανεπίχωσης τοίχων αντιστήριξης είναι μια χρήσιμη πρακτική που προσφέρει τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα.
- Η πρακτική συνήθως εφαρμόζεται όταν υλικό επανεπίχωσης με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά συνδυάζεται με μεγάλο ύψος τοίχου.
- Οι απαιτούμενες διαστάσεις της διατομής του οπλισμένου σκυροδέματος γίνονται πολύ μεγάλες στην περίπτωση αυτήν και το έργο, ενδεχομένως, ασύμφορο.
- Η παρεμβολή φύλλων γεωφασμάτων ή γεωπλεγμάτων στο υλικό επανεπίχωσης μειώνει τις ενεργητικές ωθήσεις που ασκούνται στον τοίχο και, κατά συνέπεια, και τις διαστάσεις της διατομής εκ σκυροδέματος.
- Μεταξύ του μετώπου της επανεπίχωσης και του τοίχου εκ σκυροδέματος παρεμβάλλεται ένα πέτασμα από συμπιεστό υλικό (άμμος, διογκωμένη πολυστερίνη) το οποίο παραλαμβάνει επίσης ένα μέρος των ενεργητικών ωθήσεων (Σχ. 132).
- Η διαδοχή των εργασιών και το είδος του υλικού του πετάσματος εξαρτώνται από τη μέθοδο κατασκευής.



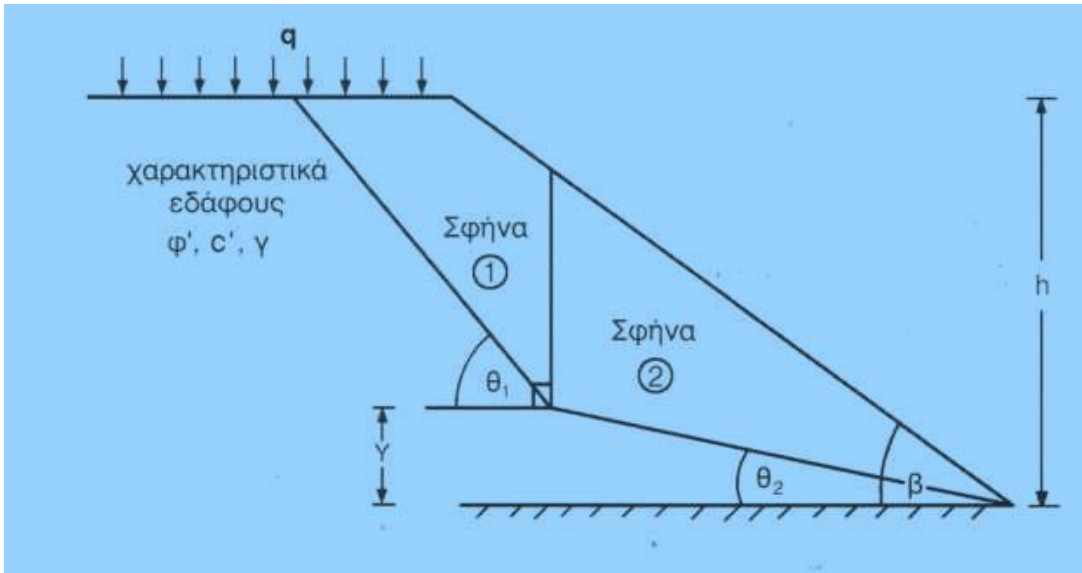
Σχήμα 132. Ενίσχυση επανεπίχωσης σε τοίχο αντιστήριξης.

## 16.7. Μέθοδοι διαστασιολόγησης

- Οι μέθοδοι διαστασιολόγησης που εφαρμόζονται διεθνώς για τη διαστασιολόγηση οπλισμένων επιχωμάτων βασίζονται στη θεωρητική προσέγγιση οριακής ισορροπίας των “δύο σφηνών” (two-part wedge mechanism).
- Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτήν [10], η οριακή ισορροπία της γεωκατασκευής μελετάται σε επίπεδη παραμόρφωση μέσω μιας ειδικής γεωμετρικής αναπαράστασης της ολισθαίνουσας μάζας που θεωρείται ότι αποτελείται από δύο “μπλοκ”, δύο διακριτές, δηλαδή, και ενιαίες εδαφικές δομές εν είδει σφηνών, των οποίων η διεπιφάνεια είναι κατακόρυφη.
- Η πιθανή αστοχία, κατά τη μέθοδο αυτήν, θεωρείται ότι είναι πάντοτε αστοχία ποδός.
- ✓ Βασικές παραδοχές της μεθόδου είναι ότι το υλικό επίχωσης είναι ομοιογενές και το υπέδαφος απαραμόρφωτο.

## 16.7. Μέθοδοι διαστασιολόγησης

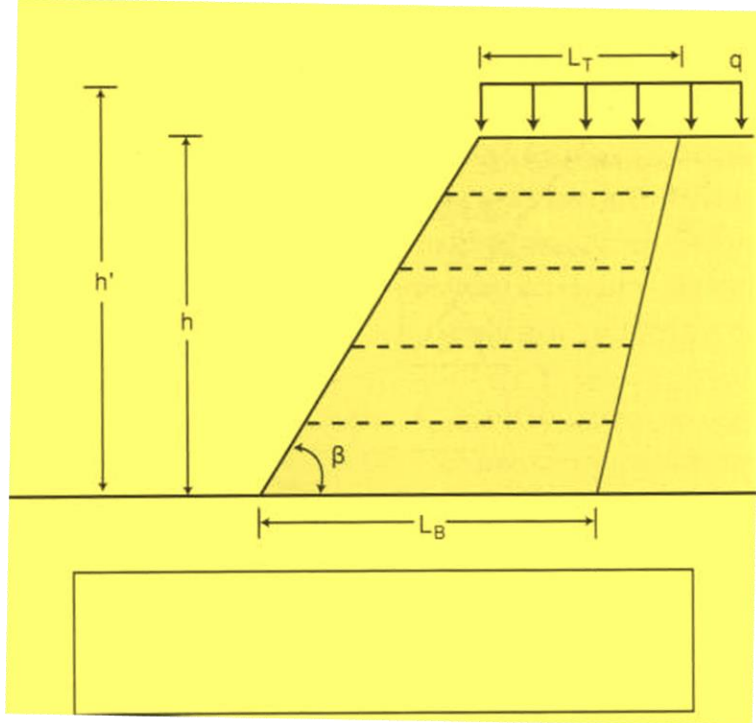
- Κατά την εφαρμογή μέσω νομογραφημάτων της μεθόδου (Σχ. 134) μπορούν να διαστασιολογηθούν επιχώματα με κλίση πρανούς  $\beta = 10^\circ - 70^\circ$ , και με υλικό επίχωσης γωνίας τριβής  $\phi = 15^\circ - 50^\circ$ .
- Πρόσθετα δεδομένα, όπως η επιφόρτιση κατανεμημένου φορτίου  $q$  και η πίεση ύδατος πόρων  $u$ , μπορούν επίσης να ληφθούν υπόψη.



Σχήμα 133. Μηχανισμός αστοχίας “δύο σφηνών”.



## 16.7. Μέθοδοι διαστασιολόγησης



$h$ : Ύψος πρανούς

$h'$ : Ισοδύναμο ύψος πρανούς

$q$ : Επιφόρτιση

$\beta$ : Γωνία πρανούς

$L_B$ : Μήκος ενίσχυσης στον πυθμένα

$L_T$ : Μήκος ενίσχυσης στη στέψη

□ Η μέθοδος χρησιμοποιεί νομογραφήματα υπολογισμού του συντελεστού πλευρικής ώθησης  $K$  και του ελάχιστου μήκους  $L_B$  του στοιχείου όπλισης στη βάση του επιχώματος (Σχ. 135). Μέσω των παραμέτρων αυτών καθορίζονται:

✓ Η μέγιστη αναπτυσσόμενη δύναμη  $T_{max}$  που πρέπει να παραληφθεί από τα στοιχεία όπλισης

$$T_{max} = \frac{1}{2} K \gamma h^2$$

✓ η κατακόρυφη απόσταση  $S_v$  των στοιχείων όπλισης  $S_v = P_0 / K_v z_i$

όπου :

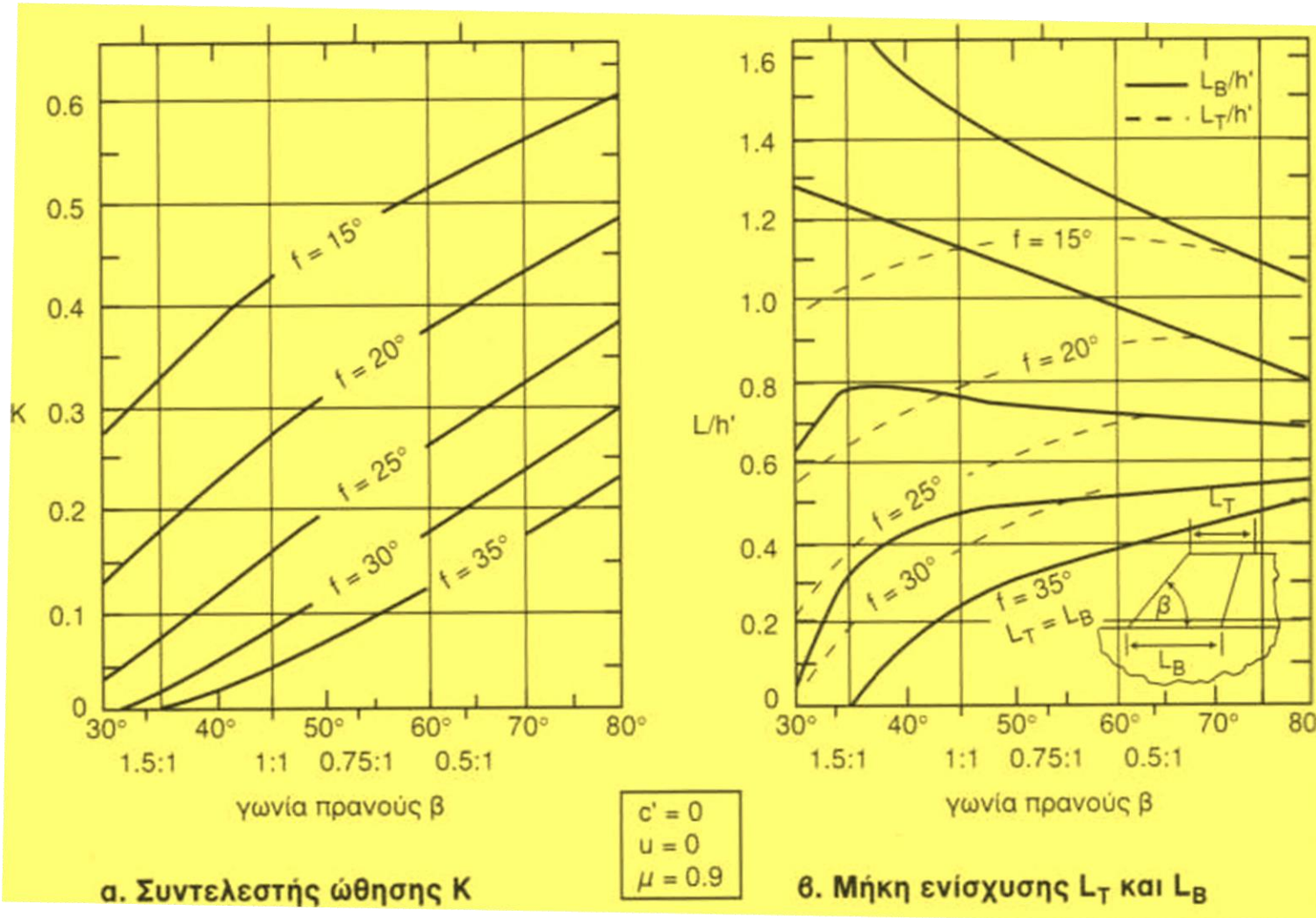
- $\gamma$  : το ειδικό βάρος του υλικού επίχωσης
- $h$  : το ύψος του επιχώματος
- $P_0$  : η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του στοιχείου όπλισης
- $z_i$  : το βάθος της στρώσης  $i$  από την επιφάνεια του επιχώματος
- $\mu$  : ο συντελεστής αλληλεπίδρασης (Πίν. 58).

Σχήμα 134. Γεωμετρία οπλισμένου επιχώματος.



# 16.7. Μέθοδοι διαστασιολόγησης

- Σχήμα 135. Νομογραφήματα υπολογισμού  $K$  και  $L$  [41].



• Στην πραγματικότητα, η τιμή του μήκους  $L_B$  στη βάση του επιχώματος προσδιορίζεται από έναν έλεγχο έναντι ολίσθησης του συνόλου της σπλισμένης μάζας και αντίστοιχα ένα μήκος  $L_T$  προσδιορίζεται για το στοιχείο όπλισης της ανώτερης στρώσης.

• Η τιμή της γωνίας τριβής  $f$  που υπεισέρχεται στους υπολογισμούς και στα νομογραφήματα είναι:

$$\tan f = \tan \varphi' / SF$$

όπου ο συντελεστής ασφαλείας  $SF$  παίρνει τιμές από 1,3 έως 1,5 ανάλογα με τη φύση του προβλήματος.

• Ακόμη, για να ληφθεί υπόψη η επιφόρτιση  $q$ , το ύψος του επιχώματος για την εκτίμηση της οριζόντιας δύναμης  $T_{max}$ , ορίζεται:

$$h' = h + q/\gamma$$

## 16.7. Μέθοδοι διαστασιολόγησης

□ Η αναλυτική διαδικασία διαστασιολόγησης [31] ακολουθεί τα εξής βήματα:

- α) Προσδιορίζεται η ανηγμένη γωνία τριβής  $f$  και ο συντελεστής  $K$ , υπολογίζεται το ιδεατό ύψος  $h'$  και εν συνεχεία, η μέγιστη πλευρική δύναμη  $T_{max}$  επί του πρανούς της γεωκατασκευής.
- β) Επιλέγεται ένα στοιχείο όπλισης, συνήθως ενιαίο για το σύνολο του ύψους του επιχώματος, με αντοχή σχεδιασμού  $P$ . Η αντοχή  $P_0$  δίδεται συνήθως έτοιμη, ως προϊόν δοκιμαστικών φορτίσεων και ελέγχων, από τον προμηθευτή των στοιχείων όπλισης. Σε αντίθετη περίπτωση, προκύπτει από την αντοχή σε εφελκυσμό του στοιχείου και από έναν συνολικό συντελεστή ασφαλείας, στον οποίο ενσωματώνονται επί μέρους συντελεστές ασφαλείας έναντι ερπυσμού, αστοχιών τοποθέτησης, βιολογικής προσβολής κλπ.
- ✓ Ο συνολικός συντελεστής ασφαλείας παίρνει τιμές από 2,5 έως 10, με συνήθη τιμή  $F_0 = 3$ .
- γ) Η συνολική δύναμη εφελκυσμού των στοιχείων όπλισης θα πρέπει να είναι:

$$T_0 > T_{max}$$

- Η συνολική αυτή δύναμη  $T_0$  θα αναληφθεί από  $N$  τον αριθμό στοιχεία όπλισης (κατανεμημένα αντίστοιχα σε  $N$  στρώσεις) το καθένα από τα οποία έχει αντοχή σχεδιασμού  $P_0 = NP_0$
- δ) Η κατακόρυφη απόσταση  $S_v$  των στοιχείων όπλισης που προκύπτει από τον αριθμό των στρώσεων  $N$  ( $S_v = h/N$ ), θα πρέπει να μην ξεπερνά μια οριακή, για κάθε στρώση, τιμή:

$$S_v = P_0 / K\gamma Z_i$$

## 16.7. Μέθοδοι διαστασιολόγησης

- Αν η διαστασιολόγηση προβλέπει απόσταση  $S_v$  ενιαία για το σύνολο του ύψους του επιχώματος, ο έλεγχος αυτός περιορίζεται μόνον στην κατώτερη στρώση.
- Στην ουσία, η ως άνω απαίτηση σημαίνει ότι σε κάθε στοιχείο όπλισης, και ιδιαίτερα σε εκείνο που έχει τοποθετηθεί στη χαμηλότερη στρώση, η αντοχή σχεδιασμού του γεωσυνθετικού πρέπει να εξισορροπεί τη δύναμη της ενεργητικής ώθησης που αντιστοιχεί στο ιδεατό στρώμα του επιχώματος που περιβάλλει το γεωσυνθετικό και έχει πάχος  $S_v$ .
- ✓ ε) Προσδιορίζονται μέσω νομογραφημάτων [31] οι λόγοι  $(L/h)_{ov}$  και  $(L/h)_{ds}$  αντίστοιχα από τους ελέγχους γενικής (overall) ευστάθειας και άμεσης ολίσθησης (direct sliding). Τα ελάχιστα μήκη των στοιχείων όπλισης στην ανώτερη και κατώτερη στρώση υπολογίζονται ( $L_T \leq L_B$ ):

$$L_T = h' / (L/h)_{ov} \quad L_B = h' / (L/h)_{ds}$$

ή απευθείας από το νομογράφημα του Σχήματος 135β.

- στ) Οι εκτιμήσεις των ελάχιστων μηκών  $L_T$  και  $L_B$  βασίζονται στην παραδοχή σταθερής τιμής συντελεστή αλληλεπίδρασης μεταξύ εδάφους και στοιχείου όπλισης,  $\mu = 0,9$ .

## 16.7. Μέθοδοι διαστασιολόγησης

- Σε περίπτωση συνεκτικών υλικών επίχωσης, μικρότερου συντελεστή  $\mu$ , είναι σκόπιμο να γίνονται και οι εξής έλεγχοι:
- $T_{max} \leq L_B * \gamma * Z_2 * \mu * \tan f$ , για την κατώτερη στρώση και
- $P_o < 2I_c * \gamma * Z_1 * \mu * \tan f$ , για την ανώτερη στρώση
- όπου  $I_c$  το μήκος αγκύρωσης του στοιχείου όπλισης της ανώτερης στρώσης πίσω από την πιθανή επιφάνεια αστοχίας (για τις ανώτερες δύο στρώσεις του επιχώματος).
- Το βάθος  $Z_2$  προσδιορίζεται μέχρι την επιφάνεια της κατώτερης οπλισμένης στρώσης, ενώ το βάθος  $Z_1$  μέχρι τη στάθμη της ανώτερης οπλισμένης επιφάνειας.
- Τιμές του συντελεστή αλληλεπίδρασης  $\mu$ , για διάφορα είδη εδαφών και στοιχείων όπλισης δίδονται στον Πίνακα 58.

Ομάδα εδάφους	Γωνία τριβής	Γεώπλεγμα	Γεώφασμα
GW, GM	$\varphi \geq 34^\circ$	$\mu = 0,80$	$\mu = 0,90$
SW, SM	$\varphi \geq 30-33^\circ$	$\mu = 0,75$	$\mu = 0,80$
SC, ML	$\varphi \geq 27-29^\circ$	$\mu = 0,60$	$\mu = 0,70$

Πίνακας 58. Τιμές του συντελεστή αλληλεπίδρασης  $\mu$

## 16.7. Μέθοδοι διαστασιολόγησης

- ✓ Η μεταξύ των οπλισμών απόσταση  $S_v$  συνήθως επιλέγεται ενιαία και κυμαινόμενη μεταξύ 30 και 120 cm, ενώ συχνά και το μήκος των στοιχείων όπλισης δεν μεταβάλλεται καθ' ύψος για λόγους κατασκευαστικούς. Για επιχώματα ύψους μικρότερου των 10 m, συνιστάται η διαστασιολόγηση να είναι ενιαία, τόσο ως προς την πυκνότητα όσο και ως προς το μήκος των οπλισμών.
- Σε περιπτώσεις υψηλότερων επιχωμάτων, το σύνολο του ύψους μπορεί να διαιρεθεί σε δύο ή περισσότερα τμήματα, με περισσότερο ενισχυμένο το κατώτερο τμήμα.
- Στην ως άνω μέθοδο διαστασιολόγησης οπλισμένων επιχωμάτων είναι δυνατόν να ληφθεί υπόψη και η πίεση του ύδατος πόρων  $u$ . Παρουσία υδροφόρου ορίζοντα σε οδικά επιχώματα είναι σπάνια και μπορεί να οφείλεται σε αρτεσιανισμό ή σε παρακείμενο φυσικό πρανές υψηλής υδροφορίας. Ο συντελεστής πίεσης πόρων προσδιορίζεται, ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του επιχώματος και τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μέσα στο οπλισμένο τμήμα, ως συνάρτηση της γωνίας  $\beta$  του πρανούς.
- Για τα συνήθη οδικά επιχώματα, ωστόσο, ισχύει  $u = 0$ .



## 16.7. Μέθοδοι διαστασιολόγησης

- Η συγκεκριμένη μέθοδος διαστασιολόγησης οπλισμένων επιχωμάτων αγνοεί την πιθανή, έστω και μικρή, τιμή της συνοχής του υλικού επιχώματος.
- Γενικώς, τα συνεκτικά υλικά μικρής έως μέσης πλαστικότητας,  $IP = 5 - 25$ , είναι δυνατόν να αναπτύξουν κάποια συνοχή ως υλικά επίχωσης, που δεν ξεπερνά σε επίπεδο μελέτης, την τιμή  $c = 20 \text{ kN/m}^2$  ( $0,2 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Στη μέθοδο διαστασιολόγησης οπλισμένων επιχωμάτων, η συνεισφορά της συνοχής στη συνολική ευστάθεια της κατασκευής εκφράζεται μέσω της τιμής της οριζόντιας δύναμης  $T_{\max}$ , που για συνεκτικά εδάφη, παίρνει τιμή:

$$T_{\max} = \frac{1}{2} K \gamma h^2 - c h \sqrt{K}$$

- Η υπόλοιπη διαδικασία είναι ανάλογη εκείνης που ακολουθείται και για τα μη συνεκτικά υλικά επίχωσης.



## 16.8. Μέθοδοι κατασκευής

□ Η εν γένει διαδικασία κατασκευής ακολουθεί τα όσα ισχύουν για την κατασκευή των οδικών επιχωμάτων, σε ό,τι αφορά υλικά, εξοπλισμό, διάστρωση, συμπύκνωση, ποιοτικό έλεγχο. Επιπρόσθετα, για τα οπλισμένα επιχώματα ισχύουν ορισμένοι κανόνες που παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

### ❖ α) Διάταξη φύλλων ενίσχυσης

- Τα φύλλα των γεωσυνθετικών υλικών διατάσσονται σε διεύθυνση κάθετη προς τον άξονα της οδού. Σε περίπτωση γεωσυνθετικών υλικών διαφορετικής αντοχής προς τις δύο διευθύνσεις, θα πρέπει η κύρια διεύθυνση να διατάσσεται κάθετα στον άξονα της οδού. Η τοποθέτηση των στοιχείων όπλισης πραγματοποιείται αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία διάστρωσης και συμπύκνωσης του υλικού επίχωσης. Αν και δεν είναι απαραίτητη, μια μικρή επικάλυψη (20- 30 cm) των φύλλων είναι χρήσιμη.

### ❖ β) Στερέωση φύλλων ενίσχυσης

- Η στερέωση των γεωσυνθετικών υλικών είναι απαραίτητη. Απλές μεταλλικές ράβδοι, μήκους 50 cm, χρησιμοποιούνται για τη στερέωση των γεωσυνθετικών υλικών. Η στερέωση δεν είναι απαραίτητη όταν προβλέπεται αναδίπλωση του γεωσυνθετικού υλικού. Η πρακτική της αναδίπλωσης, ωστόσο, αν και αποτελεσματική από τεχνικής πλευράς, παρουσιάζει κάποιες κατασκευαστικές δυσκολίες και συχνά αποφεύγεται. Από το σύνολο των γεωσυνθετικών υλικών, η αναδίπλωση εφαρμόζεται στα γεωυφάσματα και σε ορισμένα εύκαμπτα γεωπλέγματα χαμηλής αντοχής.
- Το μήκος αναδίπλωσης, σε οριζόντια επιφάνεια, μπορεί να υπολογισθεί μέσω της μεθόδου οριακής ισορροπίας που περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο, σε κάθε περίπτωση όμως, δεν μπορεί να είναι μικρότερο από 1,50 m.

## 16.8. Μέθοδοι κατασκευής

### ❖ γ) Τραυματισμός φύλλων γεωσυνθετικών υλικών

- Η διάστρωση και συμπύκνωση της στρώσης της υπερκείμενης του γεωσυνθετικού υλικού θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή.
- Η κίνηση οχημάτων - μηχανημάτων επί του γεωσυνθετικού υλικού προ διάστρωσης υλικού επίχωσης κίνδυνος βλαβών –καταστροφής φύλλου ενίσχυσης. Η κίνηση των μηχανημάτων διάστρωσης, κατά προτίμηση ελαφρού τύπου, θα πρέπει να γίνεται μόνον επί υλικού επίχωσης πάχους κατ' ελάχιστον 20 cm και με απόλυτη προσοχή προς αποφυγή τραυματισμού του γεωσυνθετικού υλικού. Το ίδιο ισχύει και για τα μηχανήματα συμπύκνωσης.
- Γωνιώδεις λίθοι, αιχμηρά αντικείμενα, ράβδοι σιδηρού οπλισμού και άλλα μεταλλικά στοιχεία μπορούν, στη φάση κατασκευής, να σχίσουν το γεωύφασμα ή το γεώπλεγμα.
- Ακόμη, και απλή διέλευση οχημάτων σε φύλλα γεωσυνθετικών υλικών προκαλεί απόσπαση και αναδίπλωση των φύλλων, τα οποία θα χρειασθεί να επανατοποθετηθούν εφόσον δεν έχουν καταστραφεί.
- ✓ Δεν συνιστάται η χρήση δονητικών οδοστρωτήρων ή οδοντωτών κυλίνδρων σε στρώση πάχους 30 cm ή μικρότερου πάνω από τον κύριο οπλισμό.

### ❖ δ) Έκθεση σε ακτινοβολία

- Λόγω ευαισθησίας των συστατικών υλικών των γεωσυνθετικών φύλλων στην υπεριώδη ακτινοβολία, επιβάλλεται η προστασία τους καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευαστικής διαδικασίας.
- Κατά την κατασκευή επιχωμάτων, η διάστρωση του υλικού επίχωσης επί του πρωτεύοντος οπλισμού θα πρέπει να γίνει σε διάστημα μικρότερο των 48 ωρών για προστασία του υλικού.

17

Τεχνικά Έργα Αντιστήριξης

- **ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ**

# 17.1. Διάκριση έργων αντιστήριξης

- ✓ Τα έργα αντιστήριξης στην οδοποιία κατασκευάζονται για να εξασφαλίσουν την ευστάθεια εδαφικών μαζών, εκεί όπου οι συνθήκες δεν επιτρέπουν στα πρανή να διαμορφωθούν κατά τη φυσική τους κλίση, εκείνη δηλαδή, που καθορίζουν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους, και κυρίως οι παράμετροι διατμητικής αντοχής.
- Σε έργα οδοποιίας η εκτέλεση διατάξεων αντιστήριξης επιβάλλεται όταν, λόγω περιορισμένου εύρους κατάληψης, δεν είναι δυνατή η διαμόρφωση των πρανών με την ενδεδειγμένη, από γεωτεχνικής άποψης, κλίση.
- ✓ Ακόμα, έργα αντιστήριξης μπορεί να προβλέπονται για προστασία της οδού από τοπικές καταπτώσεις ή κατολισθήσεις γαιωδών και βραχωδών πρανών ορυγμάτων, για προστασία των κατόντη κατασκευών από πιθανή ολίσθηση οδικών επιχωμάτων και σε θέσεις επανεπίχωσης τεχνικών έργων (οχετών, γεφυρών).
- Ένα έργο αντιστήριξης (earth-retaining structure) είναι μια κατασκευή που σκοπό έχει να εμποδίσει οποιαδήποτε οριζόντια μετακίνηση του εδάφους προς τα κατόντη, η οποία αναπτύσσεται σε ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα της οδού.
- Τα έργα αντιστήριξης είναι έργα ανάσχεσης των μικρών και μεγαλύτερων μετακινήσεων του εδάφους, οι οποίες τείνουν να δημιουργήσουν πρανή κατά τη φυσική κλίση απόθεσης του συγκεκριμένου γεωϋλικού.

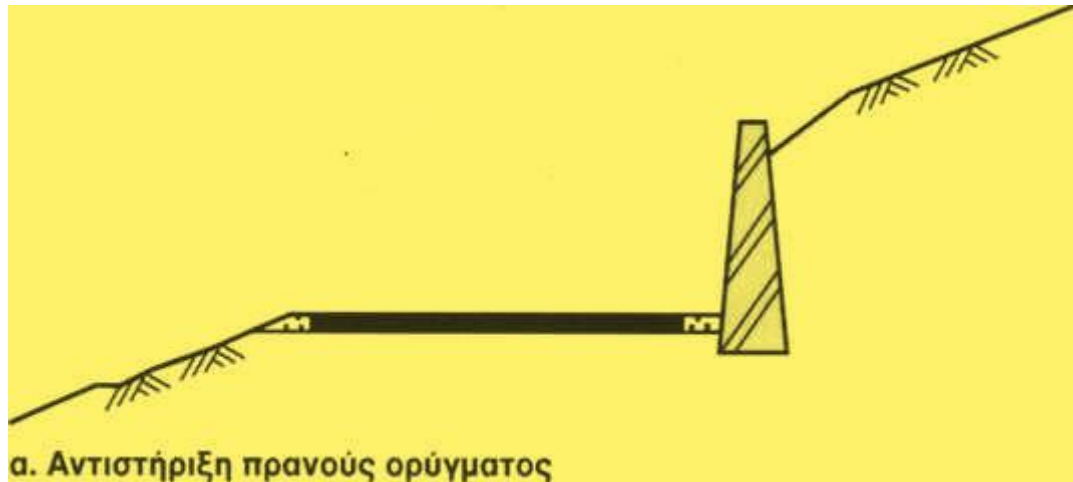
# 17.1. Διάκριση έργων αντιστήριξης

□ Ανάλογα με το είδος της κάθε κατασκευής και με τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η ευστάθεια σε κάθε περίπτωση, τα έργα αντιστήριξης διακρίνονται σε:

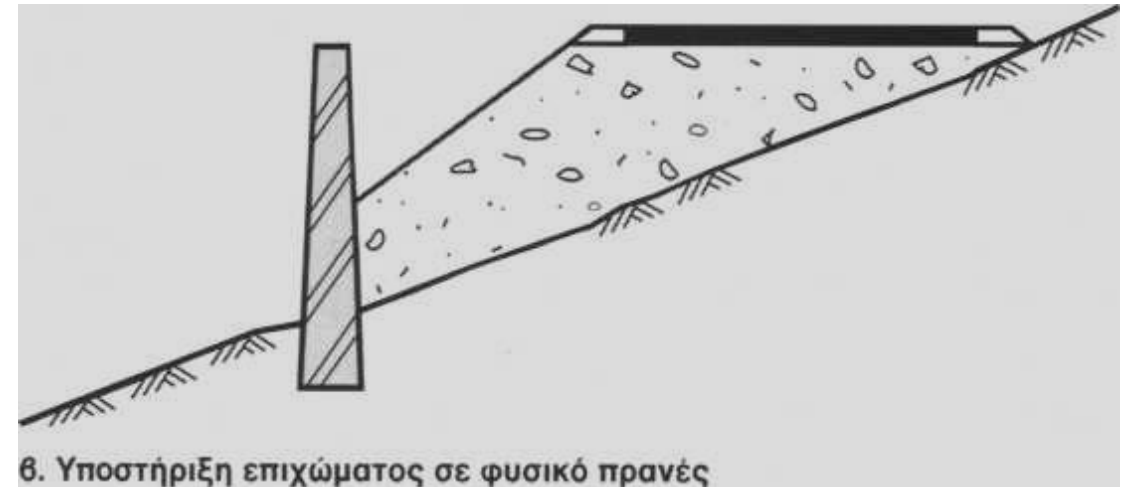
- α) τοίχους βαρύτητας (gravity walls)
- β) τοίχους αντιστήριξης ή “τοίχους-προβόλους” (cantilever walls)
- γ) αντηριδωτούς τοίχους (counterfort walls)
- δ) “τοίχους Βερολίνου” (Berlin-type retaining walls)
- ε) ειδικά έργα αντιστήριξης, με σπάνια εφαρμογή στην οδοποιία, όπως τα
  - ❖ διαφράγματα,
  - ❖ οι πασσαλοσανίδες,
  - ❖ οι κιβωτιόσχημοι τοίχοι (timber crib walls),
  - ❖ οι σπονδυλωτοί τοίχοι από προκατασκευασμένα στοιχεία (modular block walls)
  - ❖ και άλλες ειδικές κατασκευές.

# 17.1. Διάκριση έργων αντιστήριξης

Σχήμα 136. Έργα αντιστήριξης στην οδοποιία.



α. Αντιστήριξη πρανούς ορύγματος



β. Υποστήριξη επιχώματος σε φυσικό πρανές



γ. Μείωση εύρους κατάληψης και περιβαλλοντικών επιπτώσεων



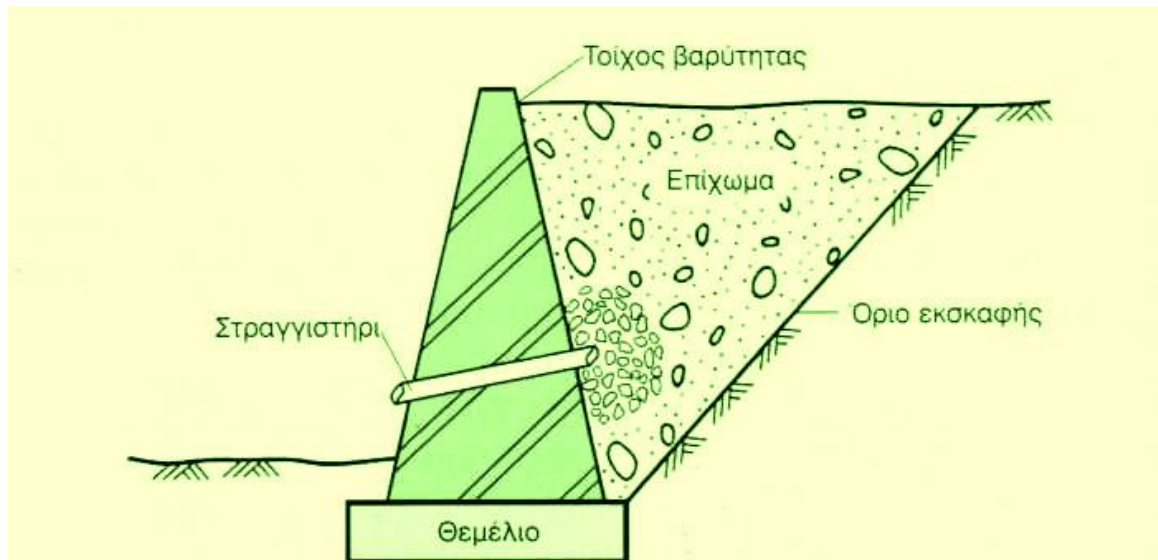
# 17.1. Διάκριση έργων αντιστήριξης

- ✓ Στα έργα αντιστήριξης θα μπορούσαν να ενταχθούν και οι διάφορες εφαρμογές της οπλισμένης γης, όπως τα οπλισμένα επιχώματα και οι τοίχοι οπλισμένης γης.
- Το θέμα αυτό αποτελεί ωστόσο μια ιδιαίτερη κατηγορία γεωκατασκευών που το παρόν εγχειρίδιο διαπραγματεύεται σε ξεχωριστό κεφάλαιο.
- Ειδικές περιπτώσεις έργων αντιστήριξης αποτελούν τα ακρόβαθρα γεφυρών, οι πτερυγότοιχοι και οι τοίχοι αντεπιστροφής τεχνικών έργων, των οποίων η διαμόρφωση ποικίλλει ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τα ιδιαίτερα στοιχεία (φορτία, συνθήκες θεμελίωσης, εδαφικά υλικά, υλικά κατασκευής) του κάθε έργου.
- Εκτός από την ως άνω κατάταξη των έργων αντιστήριξης στην οδοποιία υπάρχουν και πολλές άλλες.
  - Μια από αυτές προτείνει κατάταξη των έργων σε τοίχους βαρύτητας (οπλισμένα επιχώματα κατακόρυφων πρανών, τοίχους άοπλου σκυροδέματος, τοίχους από κυβόλιθους ή πλίνθους, σπονδυλωτούς τοίχους), τοίχους ημιβαρύτητας (τοιχους αντιστήριξης, διατομής L ή T, από έγχυτο σκυρόδεμα ή προκατασκευασμένα στοιχεία) και έργα πλήρους αντιστήριξης όπου το βάρος δεν παίζει κανέναν απολύτως ρόλο (διαφράγματα, πασσαλοσανίδες, “τοιχοι Βερολίνου”, αγκυρωμένοι τοίχοι, πασσαλοσυστοιχίες).
  - Αν και η σημασία των ως άνω έργων για την οδοποιία είναι δεδομένη και η εφαρμογή καθολική, υπάρχει, ωστόσο, μια επιλεκτική αντιμετώπιση από τους μελετητές-μηχανικούς που οδηγεί σταδιακά τα κλασικά έργα αντιστήριξης σε δεύτερο ρόλο σε σχέση με περισσότερο σύγχρονες τεχνικές, όπως είναι οι “τοιχοι Βερολίνου”, οι πασσαλότοιχοι και όλες οι εφαρμογές της “οπλισμένης γης”.

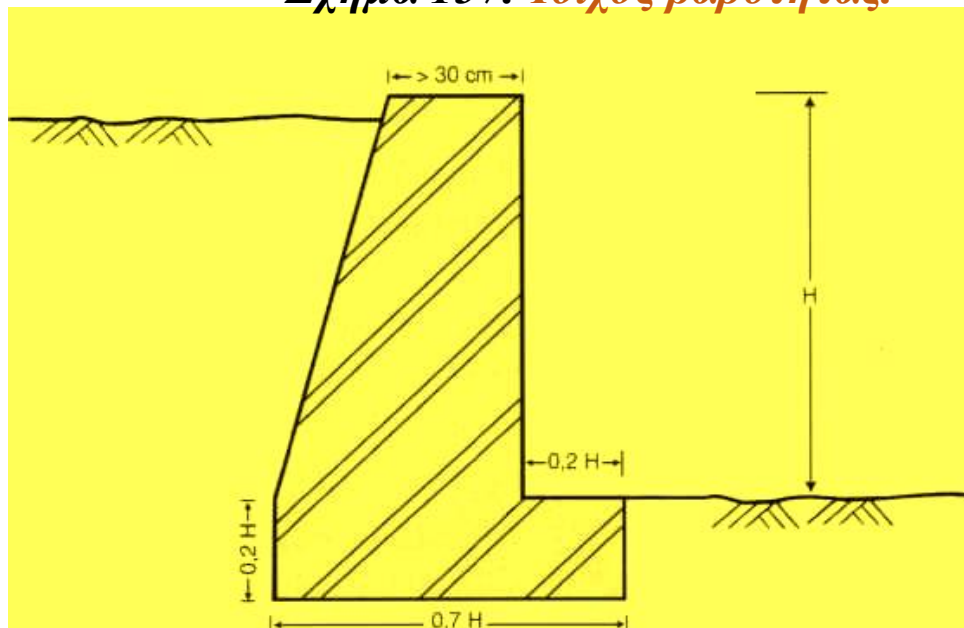
## 17.2. Τοίχοι βαρύτητας

- Οι τοίχοι βαρύτητας είναι η παλαιότερη κατηγορία έργων αντιστήριξης.
- Λιθοδομές, πλινθοδομές και, μεταγενέστερα, άοπλο σκυρόδεμα απετέλεσαν τα συστατικά υλικά των τοίχων βαρύτητας.
- Οι τοίχοι βαρύτητας λειτουργούν ως έργα ανάσχεσης των οριζόντιων μετακινήσεων του εδάφους, με τις προϋποθέσεις ευστάθειας να οφείλονται αποκλειστικά και μόνον στη μεγάλη τους μάζα.
- Ωστόσο, η ικανότητα αντίστασης που εμφανίζουν στις ενεργητικές ωθήσεις του εδάφους είναι μικρή και η εφαρμογή τους σε έργα οδοποιίας είναι πλέον περιορισμένη.
- Οι τοίχοι βαρύτητας έχουν συνήθως κορμό τραπεζοειδούς μορφής.
- Οι παρειές του κορμού μορφώνονται συνήθως με μικρή κλίση ως προς την κατακόρυφο.
- Η συνισταμένη των οριζοντίων ωθήσεων και των δυνάμεων βαρύτητας πρέπει να διέρχεται από το μεσαίο τρίτο του πέλματος για εξασφάλιση της ευστάθειας, ενώ οι αναπτυσσόμενες τάσεις εφελκυσμού πρέπει να παραμένουν μικρές  $\sigma_t < 4 \text{ kg/cm}^2$ .

## 17.2. Τοίχοι βαρύτητας



Σχήμα 137. Τοίχος βαρύτητας.



Σχήμα 138. Διαστασιολόγηση Τοίχου βαρύτητας.

- Τοίχοι βαρύτητας είναι δυνατό να κατασκευαστούν και ως επενδύσεις κατακόρυφων πρανών συνεκτικών εδαφών.
- Οι ασκούμενες πιέσεις επί της εσωτερικής παρειάς, στην περίπτωση αυτήν, είναι μικρές και ο τοίχος παίζει ένα ρόλο προστασίας από μικρές τοπικές καταπτώσεις λόγω εποχιακών φαινομένων διάβρωσης.
- Φαινόμενα υποσκαφής ή πλευρικής ολίσθησης είναι συχνά σε τοίχους βαρύτητας και, αντίστοιχα, θα πρέπει να προβλεφθούν οι κατάλληλες διατάξεις αποστράγγισης του εδάφους και των υλικών επίχωσης.
- Σε κάθε περίπτωση, η εφαρμογή τοίχων βαρύτητας ως διατάξεων αντιστήριξης θα πρέπει να περιορίζεται σε έργα για τα οποία το ύψος της προς αντιστήριξης εδαφικής μάζας δεν ξεπερνά τα 4 μέτρα.



# 17.2. Τοίχοι βαρύτητας

## ❖ Συρματοκιβώτιο

- Ειδική περίπτωση τοίχων βαρύτητας που έχουν ευρεία εφαρμογή και σήμερα σε έργα οδοποιίας είναι οι διατάξεις συρματοκιβωτίων.
- Τα συρματοκιβώτια ή σαρζανέτια (gabions) είναι φάτνες από σύρμα μέσα στις οποίες τοποθετούνται αργοί λίθοι, συνήθως λίθοι λατομείου διαστάσεων 7,5-20 cm ανάλογα και με τη βροχίδα της φάτνης (Εικ. 59).



**Εικόνα 59.** Αντίβαρο ποδός επιχώματος με διάταξη συρματοκιβωτίων



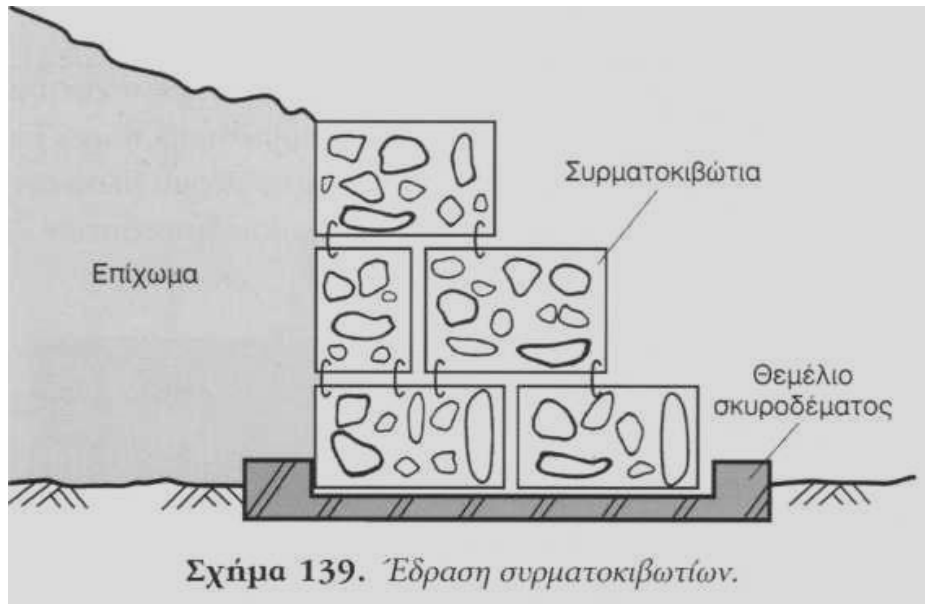
**Εικόνα 60.** Διατάξεις αντιστήριξης-προστασίας από συρματοκιβώτια

## 17.2. Τοίχοι βαρύτητας

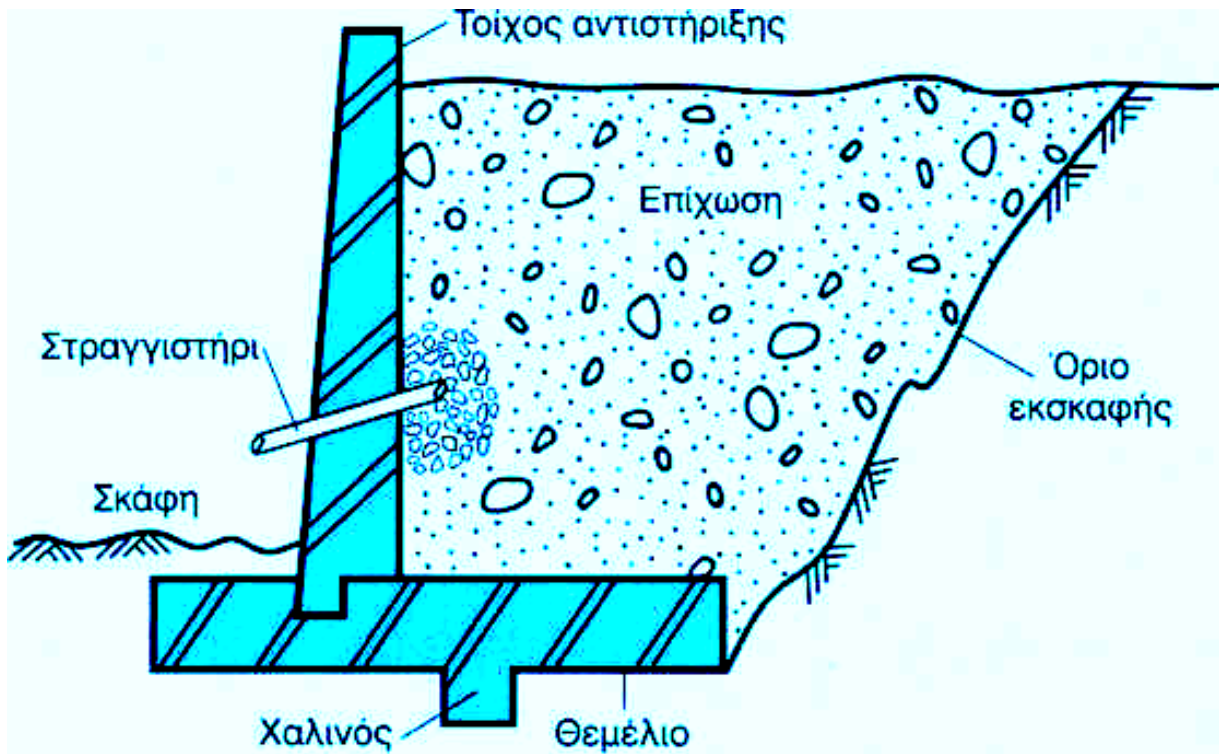
✓ Αν και ευρύτερα χρησιμοποιούμενα σε έργα προστασίας χείμαρρων και ποταμών, τα συρματοκιβώτια έχουν ποικίλες εφαρμογές σε έργα οδοποιίας: αντίβαρα ποδός επιχωμάτων, διαμόρφωση όψεων πρανών επιχωμάτων, αντιστήριξη γαιωδών πρανών.

➤ Ο σχεδιασμός των διατάξεων των συρματοκιβωτίων περιλαμβάνει αρκετά θέματα, μεταξύ των οποίων θα πρέπει να αναφερθούν τα εξής:

- η κοκκομετρία του υλικού πλήρωσης
- η σύνδεση των συρματοκιβωτίων μεταξύ τους
- οι διατάξεις ενίσχυσης των συρματοκιβωτίων (τραβέρσες)
- η πιθανή σύνδεσή τους με πλέγματα όπλισης επιχωμάτων
- οι συνθήκες έδρασης των συρματοκιβωτίων
- η πιθανή επένδυση της εξωτερικής πλευράς (όψης).
- Ως προς τη θεμελίωση και ιδιαίτερα εφόσον υπάρχει κίνδυνος μετατόπισης του τοίχου, σκόπιμο είναι να δημιουργείται ένα θεμέλιο εκ σκυροδέματος με ειδική βάση προσαρμοσμένη στις διαστάσεις των κιβωτίων.



## 17.3. Τοίχοι αντιστήριξης

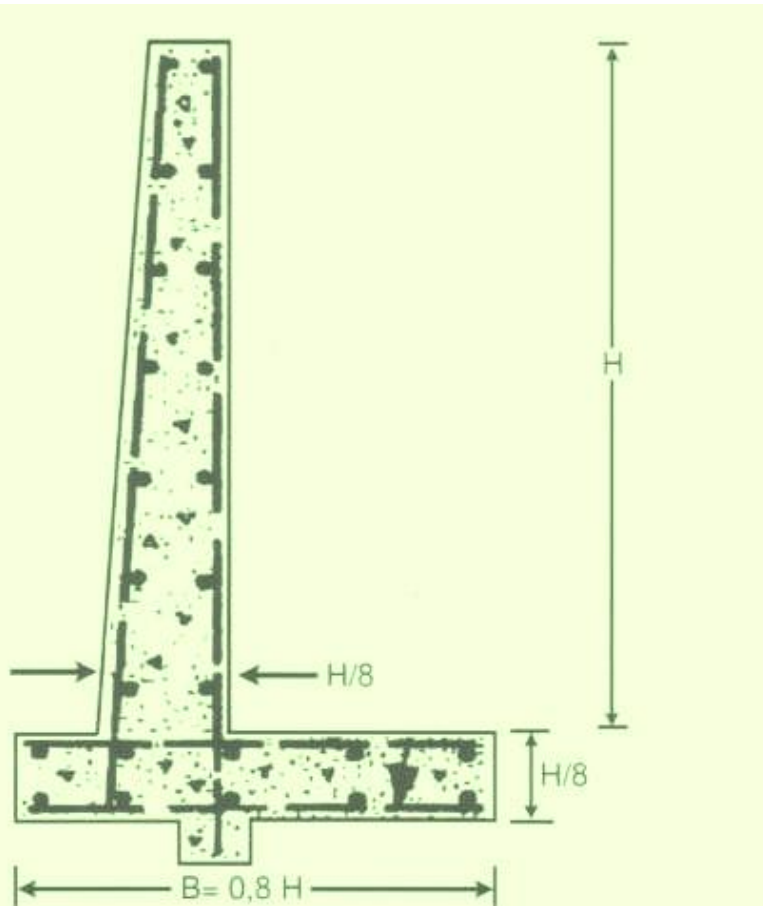


Σχήμα 140. Διατομή τοίχου αντιστήριξης.

- ✓ Οι τοίχοι αντιστήριξης αποτελούν την εξέλιξη των τοίχων βαρύτητας
- Έχουν μια σημαντικά μικρότερη διατομή και χρειάζονται, αντίστοιχα, λιγότερα υλικά κατασκευής.
- Κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και παραλαμβάνουν τις ενεργητικές ωθήσεις λειτουργώντας ως πρόβολοι, ενώ το ύψος τους φθάνει συχνά και τα 8 μέτρα.
- ✓ Οι τοίχοι αντιστήριξης είναι τα συνήθη έργα αντιστήριξης σε κατασκευές οδοποιίας.
- Κατασκευάζονται συνήθως με κεκλιμένη την εξωτερική παρειά του κορμού και κατακόρυφη την εσωτερική.
- Οι υπολογισμοί εδώ δεν περιορίζονται στους γεωτεχνικούς ελέγχους ευστάθειας αλλά περιλαμβάνουν συγχρόνως και τους ελέγχους χαρακτηριστικών διατομών σε κάμψη και διάτμηση καθώς και προσδιορισμό των απαιτούμενων οπλισμών.



# 17.3. Τοίχοι αντιστήριξης



Σχήμα 141. Διαστασιολόγηση τοίχου αντιστήριξης.

□ Η διαστασιολόγηση του θεμελίου (footing) και του κορμού (stem) του τοίχου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και συγκεκριμένα:

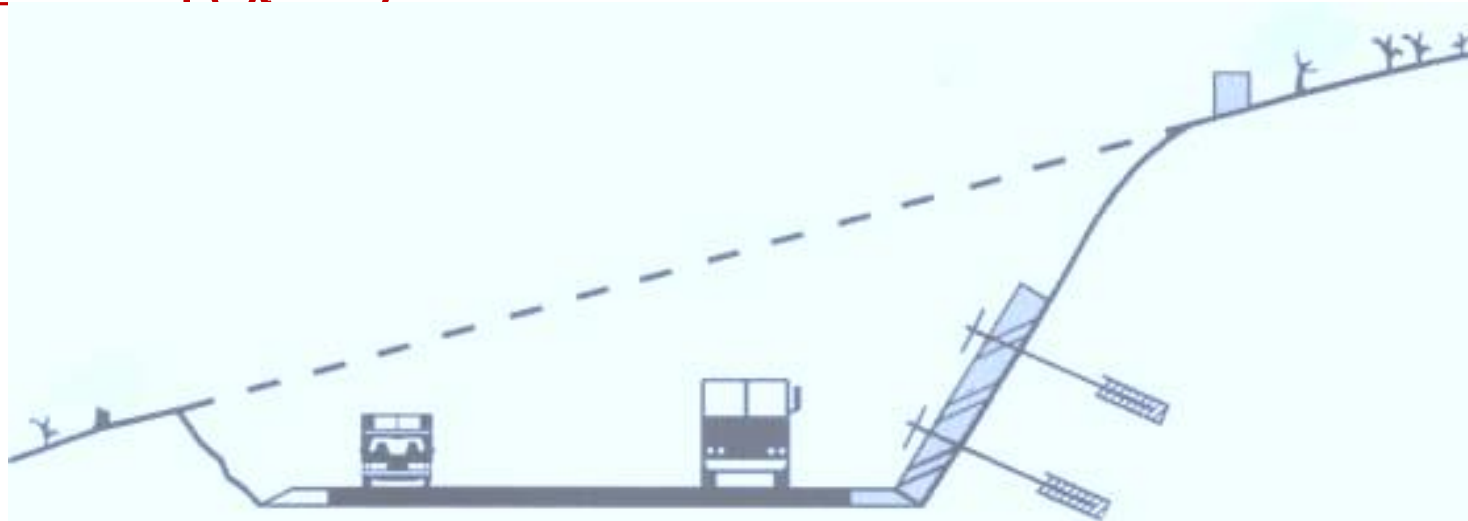
- από την ποιότητα των υλικών επίχωσης
- από τη γεωμετρία της εκσκαφής και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του φυσικού εδάφους
- από την επιφόρτιση
- από το ύψος  $H$  της διαφοράς στάθμης σκάφης-επιφάνειας επίχωσης και τη γενική διαμόρφωση του τοίχου.

□ Ορισμένοι απλοί κανόνες για μια πρώτη προσέγγιση στη διαστασιολόγηση ενός τοίχου αντιστήριξης είναι οι εξής:

- Η στέψη του τοίχου (top of the wall) πρέπει να έχει ένα πάχος όχι μικρότερο από 20 cm ενώ ο τοίχος πρέπει να διαμορφώνεται με μικρό στηθαίο, να εξέχει δηλαδή από τη στάθμη επίχωσης κατά 20-30 cm.
- Όταν η εξωτερική παρειά είναι κεκλιμένη, η κλίση αυτή πρέπει να είναι 2% περίπου.
- Το πλάτος του θεμελίου πρέπει να είναι περίπου ίσο με  $B = 0,8 H$ , ενώ το πάχος του θεμελίου θα πρέπει να είναι ίσο με  $H/8$  (Σχ. 141).
- Όλες οι διαστάσεις θα πρέπει να υπολογίζονται σε μέτρα ή σε εκατοστά και να στρογγυλεύονται κατάλληλα.

## 17.3. Τοίχοι αντιστήριξης

- Εκτός από την παραπάνω χαρακτηριστική διατομή είναι δυνατό να κατασκευασθούν τοίχοι αντιστήριξης με πολλές παραλλαγές.
  - Έτσι για διευκόλυνση της τοποθέτησης των ξυλοτύπων είναι δυνατό να προτιμηθούν οι κατακόρυφες παρειές αντί των κεκλιμένων σε συνδυασμό με την εκτέλεση αναβαθμού.
  - Ακόμη πολλές φορές για αύξηση της ευστάθειας κατασκευάζεται ένας χαλινός (shear key) στο άκρο του πέλματος (Σχ. 141).
  - Τέλος, μια απλή παραλλαγή τοίχου αντιστήριξης, αρκετά συνήθης σε οδικά έργα, είναι ο αγκυρωμένος τοίχος (tieback retaining wall) που λειτουργεί ως έργο ανάσχεσης των εδαφικών μετακινήσεων χάρη στη δράση των αγκυρίων.
- ✓ Οι τοίχοι αυτού του είδους δε φέρουν καμία θεμελίωση και εφαρμόζονται σε περιπτώσεις όπου η εκσκαφή δεν είναι δυνατή (Σχ. 142).



Σχήμα 142. Τοίχος αντιστήριξης με αγκύρια

## 17.3. Τοίχοι αντιστήριξης

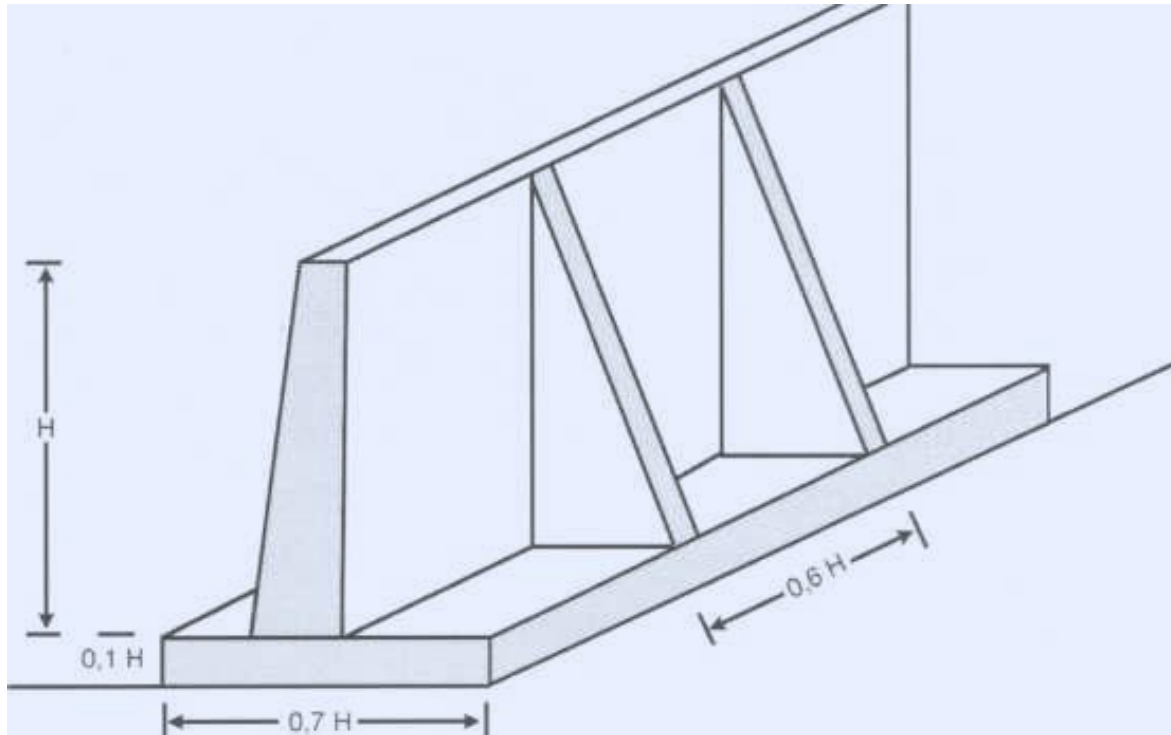


- ✓ Οι αγκυρωμένοι τοίχοι δίδουν μια θετική απάντηση στο ερώτημα -και πολλές φορές σημαντικότερο πρόβλημα- που θέτει η κατασκευή συμβατικών τοίχων αντιστήριξης, σε θέσεις απότομων φυσικών πρανών.
- Εκεί, δηλαδή, όπου οι συνθήκες επιβάλλουν εκτεταμένη, εκσκαφή ανάντη, χωρίς να εξασφαλίζεται ταυτόχρονα η γεωστατική ευστάθεια.
- Το θέμα της ευστάθειας του πρανούς της προσωρινής εκσκαφής όπως και το κατασκευαστικό ζήτημα της επανεπίχωσης αντιμετωπίζονται απλά με την επιλογή του αγκυρωμένου τοίχου, όπου η διάτρηση και τοποθέτηση των αγκυρίων προηγείται της κατασκευής του τοίχου.
- ✓ Προϋπόθεση είναι να μπορεί να ανευρεθεί βράχος σε ικανοποιητική κατάσταση, σε βάθος σχετικά μικρό, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία των αγκυρίων.

*Εικόνα 61. Αγκυρωμένος τοίχος αντιστήριξης και αγκυρωμένο μεταλλικό πλέγμα πρανούς*

## 17.4. Αντηριδωτοί τοίχοι

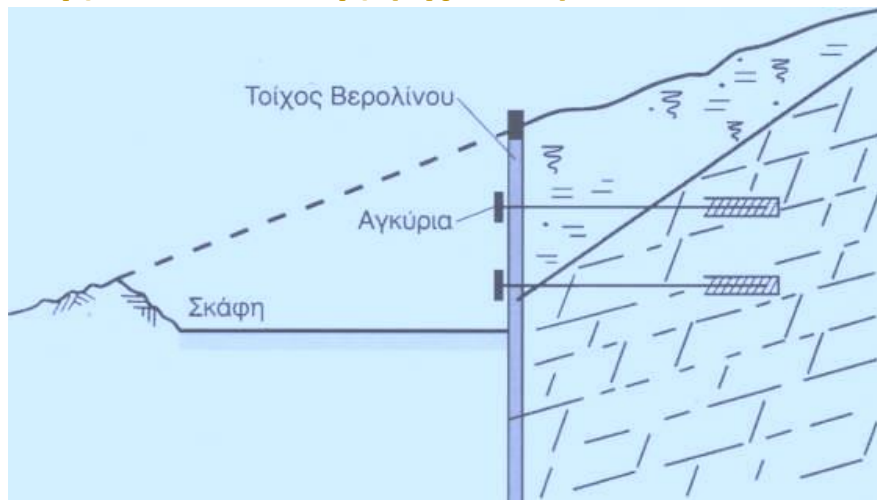
- Αντηριδωτοί τοίχοι κατασκευάζονται σε περίπτωση που το ύψος  $H$  των γαιών είναι τόσο μεγάλο που η λύση του απλού τοίχου αντιστήριξης είναι αντιοικονομική.
- ✓ Το ύψος των αντηριδωτών τοίχων ποικίλλει από 8 έως 12 μέτρα.
- ✓ Οι αντηρίδες έχουν πάχος 20 cm κατ' ελάχιστο και τοποθετούνται ανά αποστάσεις 4-5 m περίπου (Σχ. 143).
- Παραλλαγή του συμβατικού αντηριδωτού τοίχου που φέρει αντηρίδες προς το εσωτερικό, είναι ο τοίχος με τις αντηρίδες στην όψη, ο οποίος αποτελεί μια περισσότερο σπάνια εφαρμογή.



Σχήμα 143. Διαστασιολόγηση αντηριδωτού τοίχου

## 17.5. “Τοίχοι Βερολίνου”

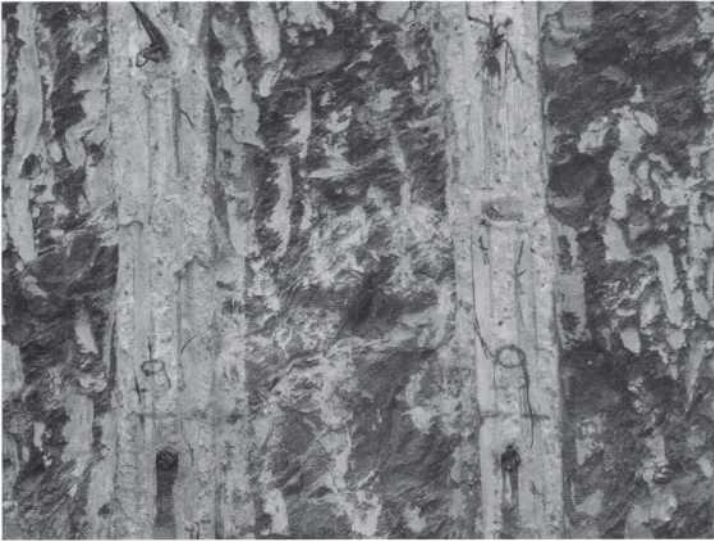
- Οι τοίχοι “τύπου Βερολίνου” είναι μια ειδική κατηγορία έργων αντιστήριξης, που έχουν ευρεία εφαρμογή σε αστικές κατασκευές και στην αστική οδοποιία. Η λειτουργία τους, υπό μορφή κατακόρυφων προβόλων, είναι εντελώς ανάλογη με εκείνη των διαφραγμάτων σκυροδέματος από τα οποία ωστόσο υπερτερούν λόγω της απλότητας των μέσων εκσκαφής που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή.
- Οι “τοίχοι Βερολίνου” κατασκευάζονται σταδιακά προ και κατά τη φάση εκσκαφής. Πριν από οποιαδήποτε εκτέλεση χωματουργικών εργασιών, τοποθετείται εντός του εδάφους στο όριο ή στο περίγραμμα του προς διάνοιξη σκάμματος, μια σειρά πασσάλων, μεταλλικών ή εκ σκυροδέματος, σε πυκνή διάταξη και σε βάθος μεγαλύτερο αυτού του σκάμματος. Εν συνεχεία, εκτελείται σταδιακά η εκσκαφή και αποκαλύπτεται, παράλληλα με τη διαδικασία εκσκαφής, η εξωτερική (προς το σκάμμα) επιφάνεια των πασσάλων. Τα κενά μεταξύ πασσάλων καλύπτονται με πρόχυτες πλάκες σκυροδέματος, με μεταλλικά φύλλα, ξύλινες σανίδες και, συνηθέστερα, με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οπλισμένο με μεταλλικό πλέγμα. Έτσι δημιουργείται ένα είδος κατακόρυφου διαφράγματος, το οποίο αποτελείται από τους πασσάλους και τα ενδιάμεσα επίπεδα στοιχεία που αντιστηρίζουν την εδαφική μάζα στην εξωτερική παρειά της κατασκευής (Σχ. 144).



Σχήμα 144. Αντιστήριξη κατακόρυφης εκσκαφής με “τοίχο Βερολίνου



## 17.5. “Τοίχοι Βερολίνου”



Εικόνα 62. Πάσσαλοι και αγκύρια σε “τοίχο Βερολίνου”

- Ανάλογα με το μέγεθος των ενεργητικών ωθήσεων, κατά τη σταδιακή εκτέλεση του σκάμματος, η δράση αντιστήριξης των πασσάλων μπορεί να ενισχύεται από προεντεταμένα ή αυτοδιατηρήσιμα αγκύρια.
- Κατά την ολοκλήρωση της εκσκαφής το σύνολο των στοιχείων της κατασκευής, πάσσαλοι - πλάκες - αγκύρια, δημιουργεί τις προϋποθέσεις ευστάθειας και αντιστήριξης του εδάφους. Το βάθος έμπηξης και, επακόλουθα, το συνολικό μήκος των πασσάλων, αποτελεί βασικό αντικείμενο σχεδιασμού.
- Οι “τοίχοι Βερολίνου” εφαρμόζονται σε έργα όπου η οποιαδήποτε εκσκαφή ανάντη (όπισθεν) του τοίχου, για λειτουργικούς λόγους ή λόγω κινδύνου κατολίσθησης, δεν είναι επιτρεπτή.
- Τέτοιες συνθήκες συναντιόνται συχνά σε αστικό περιβάλλον, όπου η εκτέλεση υπόγειων οδικών ή σιδηροδρομικών έργων δεν μπορεί να διακόπτει την καθημερινή λειτουργία των αστικών αρτηριών και την κυκλοφορία των οχημάτων. Η ως άνω μέθοδος, στις περιπτώσεις αυτές, αποτελεί μια από τις πλέον ενδεδειγμένες και συνήθεις τεχνικές εφαρμογής.
- Στην υπεραστική οδοποιία, η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί, όταν η εκτέλεση μιας εκσκαφής φυσικού πρανούς εγκυμονεί κινδύνους κινητοποίησης και κατολίσθησης μεγάλων εδαφικών μαζών με αποτέλεσμα, πριν από κάθε χωματουργική εργασία, να είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η ευστάθεια των γεωσχηματισμών στα ανάντη της οδού.



## 17.6. Υπολογισμοί - Διαστασιολόγηση

- Η επιλογή των διαστάσεων ενός έργου αντιστήριξης είναι συνάρτηση της γεωμετρίας του προβλήματος, των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του εδάφους και του υλικού επίχωσης, των συνθηκών υπόγειας υδροφορίας και της επιφόρτισης.
- Ο υπολογισμός διαστασιολόγησης ενός τοίχου αντιστήριξης, ο έλεγχος δηλαδή της γεωστατικής και γεωδυναμικής επάρκειας της κατασκευής, είναι ένα πρόβλημα οριακής ισορροπίας για την αντιμετώπιση του οποίου έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι:
  - Rankine,
  - Coulomb,
  - Sokolovski,
  - Culmann.
- ❖ Στην περίπτωση των οδικών έργων μπορεί να προτιμηθεί η μέθοδος Rankine που είναι από τις απλούστερες.

## 17.6. Υπολογισμοί - Διαστασιολόγηση

- Βασική παραδοχή της μεθόδου είναι ότι η τριβή μεταξύ του κορμού του τοίχου και του εδάφους μπορεί να αγνοηθεί και, συνεπώς, η διεύθυνση των κύριων τάσεων στη διεπιφάνεια “τοίχου - εδάφους” συμπίπτει με εκείνη των ορθών τάσεων.
- Το μέγεθος της ενεργητικής ώθησης, σε βάθος  $h$  κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, για οριζόντια επιφάνεια γαιών, είναι (Σχ. 145):

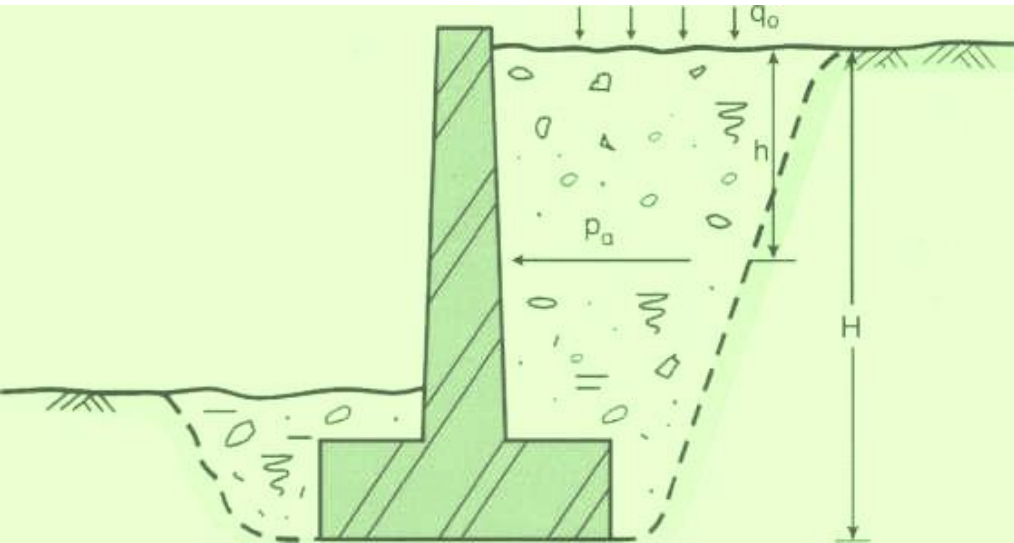
$$P_a = (\gamma \cdot h + q_0) K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

Όπου  $\gamma$ : το ειδικό βάρος του εδάφους

$K_a$ : ο συντελεστής ενεργητικής ώθησης  $K_a = \tan^2 (\pi/4 - \varphi/2)$

$c, \varphi$ : παράμετροι διατμητικής αντοχής του υλικού επίχωσης

$q_0$ : η επιφόρτιση.



Σχήμα 145. Ενεργός ώθηση κατά Rankine.

## 17.6. Υπολογισμοί - Διαστασιολόγηση

□ Γενικά στους διάφορους ελέγχους που εκτελούνται για διαπίστωση της επάρκειας της διατομής λαμβάνονται υπ' όψη:

- η ενεργητική ώθηση γαιών που είναι συνάρτηση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του εδάφους  $c$  και  $\phi$ . Για υλικά επίχωσης συνήθως λαμβάνεται  $c = 0$ , ενώ σε καμία περίπτωση δεν λαμβάνεται  $c > 20 \text{ kPa}$  ( $= 0,2 \text{ kg/cm}^2$ ) τα εξ ίδιου βάρους φορτία τοίχου και εδάφους η επιφόρτιση τα υδροστατικά φορτία τα δυναμικά φορτία
- οι παθητικές ωθήσεις. Συνήθως οι παθητικές ωθήσεις στα κατάντη του τοίχου και στο πέλμα θεμελίωσης αγνοούνται.
- Η ως άνω σχέση ισχύει για τοίχους των οποίων επιτρέπεται μικρή μετακίνηση ή περιστροφή (yielding walls) ούτως ώστε να αναπτυχθεί η ενεργητική ώθηση.
- Σε τοίχους “άκαμπτους” (restrained walls) η οριζόντια πίεση που αναπτύσσεται στον τοίχο, υπολογίζεται μέσω του συντελεστή  $K_0$  αντί του συντελεστή  $K_a$ .

## 17.6. Υπολογισμοί - Διαστασιολόγηση

- Από πλευράς μηχανικής αντοχής πρέπει, εκτός από τα χαρακτηριστικά σκυροδέματος και χάλυβα, να είναι γνωστή η φέρουσα ικανότητα του εδάφους έδρασης του τοίχου, συναρτήσει των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών  $c_0$  και  $\phi_0$ .
- Στη γενική και περισσότερο συνηθισμένη περίπτωση το έδαφος έδρασης είναι το φυσικό έδαφος, ενώ πίσω από τον τοίχο τοποθετείται υλικό επανεπίχωσης με διαφορετικά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά  $c_1$  και  $\phi_1$ .
- Βασική παραδοχή για την επίλυση του προβλήματος αποτελεί συνήθως η υπόθεση της επίπεδης παραμόρφωσης και κατά συνέπεια η διαστασιολόγηση της χαρακτηριστικής διατομής του τοίχου γίνεται σε έναν χώρο δύο διαστάσεων.

## 17.6. Υπολογισμοί - Διαστασιολόγηση

Ένας πλήρης υπολογισμός τοίχου αντιστήριξης διαρθρώνεται από ένα σημαντικό αριθμό ελέγχων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι οι εξής:

- ❖ **α) έλεγχος σε ανατροπή του τοίχου**
- ❖ **β) έλεγχος σε ολίσθηση τοίχου-θεμελίου**
- ❖ **γ) έλεγχος του εδάφους θεμελίωσης σε θραύση**
- ❖ **δ) έλεγχος σε γενική ολίσθηση τοίχου-γεωκατασκευής**
- ❖ **ε) έλεγχος σε εφελκυσμό εκ κάμψης του κορμού και του πέλματος στ) έλεγχος σε διάτμηση του κορμού και του πέλματος**
- ❖ **ζ) έλεγχος καθιζήσεων του θεμελίου**
- ❖ **η) έλεγχος σε δυναμικά φορτία του τοίχου.**

✓ Στα συνηθισμένα οδικά έργα ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής, ολίσθησης και γενικής ολίσθησης λαμβάνεται ίσος προς 1,5.

## 17.7. Αρμοί - Διαμόρφωση όψης

- Ανάλογα με το συνολικό μήκος του τοίχου, επιβάλλεται η πρόβλεψη εγκάρσιων αρμών που συνήθως έχουν άνοιγμα 1-2 cm και πληρώνονται με ασφαλική μαστίχη ή άλλα παρόμοια υλικά στη φάση κατασκευής.
- Ακόμη, όταν το μήκος είναι σημαντικό, η βαθμιδωτή διάταξη κατά την έννοια του άξονα της οδού εξυπηρετεί την κάλυψη υψομετρικών διαφορών.
- Η διαμόρφωση όψεων φιλικών προς το περιβάλλον, μπορεί να γίνει με λιθοεπένδυση μετά το πέρας της κατασκευής, αλλά και με ειδικούς ανάγλυφους τύπους, στις φάσεις της σκυροδέτησης, ώστε να προκύπτει μια όψη που να προσιδιάζει προς μια κατακόρυφη πλακόστρωτη επιφάνεια από φυσικούς λίθους.



## 17.8. Αποστράγγιση

- Διατάξεις αποστράγγισης θα πρέπει απαραίτητα να προβλέπονται και να τοποθετούνται κατάλληλα ούτως ώστε να αποφευχθούν οι υψηλές υδροστατικές πιέσεις επί του τοίχου.
- Η κλασική αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού συνίσταται στην τοποθέτηση στραγγιστηρίων σωλήνων (weep holes), πλαστικών ή αμιαντοσιμεντοσωλήνων κατά την εγκάρσια έννοια μέσα στον τοίχο.
- Οι σωλήνες αποστράγγισης έχουν συνήθως διάμετρο 10 cm και πρέπει να προβλέπονται καθ' όλο το μήκος του τοίχου ανά αποστάσεις 3-4 m σε μία ή περισσότερες σειρές ανάλογα με το ύψος τους τοίχου.
- Στην εσωτερική παρειά του τοίχου και γύρω από το στόμιο του σωλήνα τοποθετείται υλικό φίλτρου έτσι ώστε να δημιουργείται υδραυλική βαθμίδα με κατεύθυνση προς τον σωλήνα. .
- Εναλλακτικά, το υλικό φίλτρου μπορεί να καλύπτει όλη την εσωτερική παρειά του τοίχου και να τοποθετείται βαθμιδωτά κατά τη φάση επανεπίχωσης.
- Γεωυφάσματα είναι σκόπιμο να περιβάλλουν τα υλικά φίλτρου.

## 17.8. Αποστράγγιση

- Όταν υπάρχει μια ανοικτή τάφρος απαγωγής όμβριων στην περιοχή του τοίχου και ο τοίχος έχει κάποια, έστω και μικρή, κατά μήκος κλίση, τότε η διάταξη αποστράγγισης μπορεί να είναι εντελώς διαφορετική. Ένας διάτρητος φιλτροσωλήνας διαμέτρου 20 cm τοποθετείται κατά την έννοια του μήκους του τοίχου στη βάση της εσωτερικής παρειάς.
- Θραυστό υλικό φίλτρου τοποθετείται σε στρώση πάχους 1 μέτρου, κατ' ελάχιστον, ώστε να καλύπτει το σωλήνα. Εναλλακτικά, το σύνολο της ανάντη επιφάνειας του τοίχου καλύπτεται με αποστραγγιστικά γεωσυνθετικά φύλλα (geocomposite drains) που συλλέγουν τα στραγγίσματα και να οδηγούν στον αγωγό αποστράγγισης.
- Στο χαμηλότερο σημείο της κατασκευής, ο φιλτροσωλήνας συνδέεται, με διάταξη απαγωγής, με την τάφρο, στην οποία και οδηγούνται τα στραγγίσματα της εδαφικής μάζας.
- Γεωυφάσματα θα πρέπει να περιβάλλουν, και στην περίπτωση αυτήν, τον φιλτροσωλήνα και το υλικό φίλτρου, ξεχωριστά κατά προτίμηση, ούτως ώστε να αποφευχθεί αφενός η κατείσδυση άμμου στον φιλτροσωλήνα αλλά και η διείσδυση λεπτόκοκκων στο υλικό φίλτρου αφετέρου.

## 17.9. Υλικά και διαδικασία επανεπίχωσης

- Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της επανεπίχωσης πίσω από ένα τοίχο αντιστήριξης είναι μια πολύ σημαντική υπόθεση. Ο σχεδιασμός της επανεπίχωσης (design of the backfill) περιλαμβάνει:
  - τον γεωμετρικό καθορισμό της εκσκαφής στις διάφορες εγκάρσιες διατομές του τοίχου
  - τον γεωμετρικό καθορισμό της επανεπίχωσης και της τελικής μορφής της κατασκευής στις διάφορες θέσεις/διατομές του τοίχου
  - τις προδιαγραφές του υλικού επανεπίχωσης
  - τις προδιαγραφές του υλικού φίλτρου
  - τη διαδικασία επανεπίχωσης (πάχος στρώσεων, εξοπλισμός διάστρωσης)
  - τον εξοπλισμό και τις προδιαγραφές συμπύκνωσης
  - περιγραφή πρόσθετων υλικών (στεγάνωση/υγρομόνωση τοίχου, γεφυφάσματα, στραγγιστήρια)
  - την τελική διαμόρφωση της επιφάνειας επανεπίχωσης (υλικά, κλίσεις, χλοοφύτευση).
- Τα θέματα γεωμετρίας εκσκαφής και τελικής μορφής της γεωκατασκευής και του τοίχου καθορίζονται από τις λειτουργικές απαιτήσεις του έργου. Συνήθως, επιδιώκεται η όσο το δυνατόν μικρότερη εκσκαφή, ώστε να αποφευχθούν οι μεγάλοι όγκοι χωματισμών και η διατάραξη του φυσικού ή δομημένου περιβάλλοντος. Τα πρηνή μιας περιορισμένης σε όγκο εκσκαφής είναι, ωστόσο, σχετικά απότομα και κατά συνέπεια είναι δυνατόν να δημιουργείται πρόβλημα ευστάθειας. Η επιλογή, λοιπόν, του περιγράμματος της εκσκαφής γίνεται με γνώμονα τόσο τη λειτουργικότητα και την οικονομία του έργου, όσο και την ασφάλεια γεωκατασκευών και εργαζομένων, πράγμα που συχνά έχει ως αποτέλεσμα να προτιμώνται πιο ήπιες κλίσεις.

## 17.9. Υλικά και διαδικασία επανεπίχωσης

- Τα υλικά επανεπίχωσης θα πρέπει να είναι χονδρόκοκκα, κατά προτίμηση θραυστά, απαλλαγμένα από προσμίξεις, μεγάλης διαπερατότητας και μηχανικής αντοχής.
- Τα καλύτερα υλικά είναι τα φυσικά αμμοχάλικα, οι καθαρές άμμοι και τα θραυστά λατομείου.
- Γενικά, θεωρούνται κατάλληλα υλικά αυτά που ανήκουν στις ομάδες GW και SW κατά το ενοποιημένο σύστημα (USCS) με ποσοστό λεπτόκοκκων μικρότερο του 5%, ενώ ικανοποιητικά κρίνονται τα υλικά των ομάδων GP και SP.
- Σε επίπεδο εφαρμογής, όταν χρησιμοποιούνται τέτοιας ποιότητας υλικά, δεν είναι απόλυτα απαραίτητη η διάκριση μεταξύ υλικού επανεπίχωσης και υλικού φίλτρου, δεδομένου ότι τα υλικά αυτά παρουσιάζουν υψηλή διαπερατότητα.
- ✓ Υλικά των ομάδων GM, GC, SM και SC μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά επανεπίχωσης σε συνδυασμό με στρώσεις υλικών φίλτρου από θραυστά λατομείου.
- ✓ Λεπτόκοκκα εδάφη θα πρέπει να αποφεύγονται για επανεπίχωση τεχνικών έργων.

## 17.9. Υλικά και διαδικασία επανεπίχωσης

- Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ένα και μόνον υλικό για επανεπίχωση του τεχνικού έργου, η διαδικασία ξεκινά μόλις το σκυρόδεμα αποκτήσει την κατάλληλη αντοχή.
- Δεδομένου ότι η ποιότητα των εδαφικών υλικών είναι καλή, οι στρώσεις έχουν πάχος 50 cm ή και μεγαλύτερο, ενώ οι δονητικοί οδοστρωτήρες φέρουν τα καλύτερα αποτελέσματα συμπύκνωσης.
- Όταν χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά υλικά, η επανεπίχωση ξεκινά από τα ανάντη με τη διάστρωση του εδαφικού υλικού, αφήνοντας το κατάλληλο κενό πίσω από τον τοίχο για τοποθέτηση του υλικού φίλτρου, εν είδει στραγγιστικού πετάσματος.
- Στην περίπτωση αυτήν, το υλικό φίλτρου, λόγω περιορισμένου εύρους διάστρωσης, συμπυκνώνεται με μικρούς δονητικούς οδοστρωτήρες βάρους 1,5-2,5 t, σε στρώσεις πάχους 30-50 cm.
- Η μόρφωση της τελικής επιφάνειας της επανεπίχωσης υπαγορεύεται από τις λειτουργικές απαιτήσεις του κάθε έργου.
- *Αυτονόητη, ωστόσο, είναι η ανάγκη προστασίας της γεωκατασκευής από κατείσδυση όμβριων και, κατά συνέπεια, η στεγανοποίηση της τελικής επιφάνειας της επανεπίχωσης.*

## 17.9. Υλικά και διαδικασία επανεπίχωσης

- Πίνακας 59. Πεδίο εφαρμογής διαφόρων έργων αντιστήριξης

Έργο αντιστήριξης	Πρανή ορυγμάτων από συμπαγή ή συνεκτικά εδάφη	Πρανή ορυγμάτων από χαλαρά εδάφη	Στόμα σπράγγων	Cut and cover	Κατασκευή επιχωμάτων	Υδραυλικά τεχνικά έργα	Παρόχθιες οδικές κατασκευές
Τοίχοι αντιστήριξης	**	**	*	*	**	*	*
Αντηριδωτοί τοίχοι	*	**	—	—	*	—	—
Τοίχοι βαρύτητας		*	—	—	*	—	*
Αγκυρωμένοι τοίχοι	**	(*)	*	**	—	(*)	—
Πασσαλοσυστοιχίες	**	**	**	**	—	*	—
Διαφράγματα	—	*	*	**	—	(*)	(*)
Τοίχοι Βερολίνου	(*)	*	—	**	—	*	(*)
Συρματοκιβώτια	*	(*)	—	—	**	—	**
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	*	—	*	*	—	—	—
Αγκύρια – Ηλώσεις	**	(*)	*	*	—	—	—

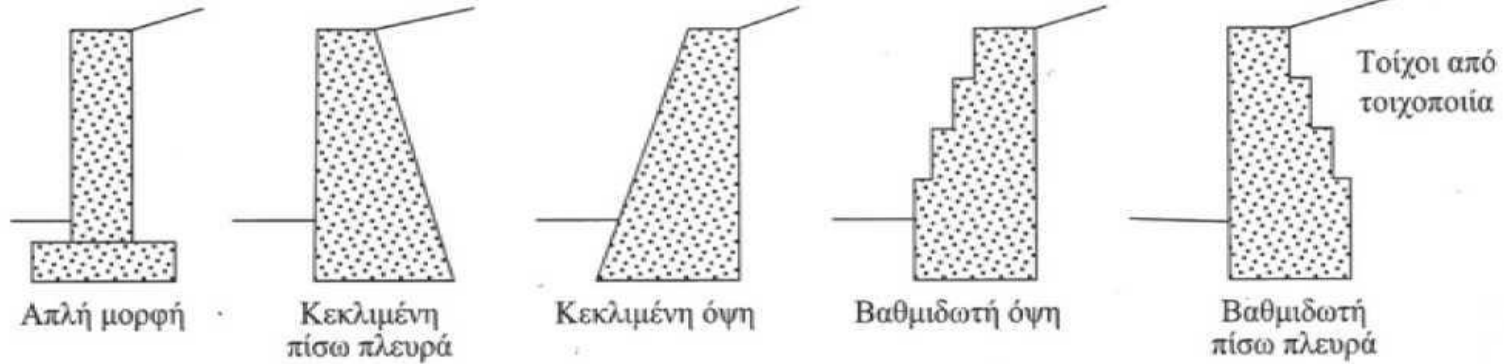


# 17.10.Πεδίο εφαρμογής τεχνικών αντιστήριξης

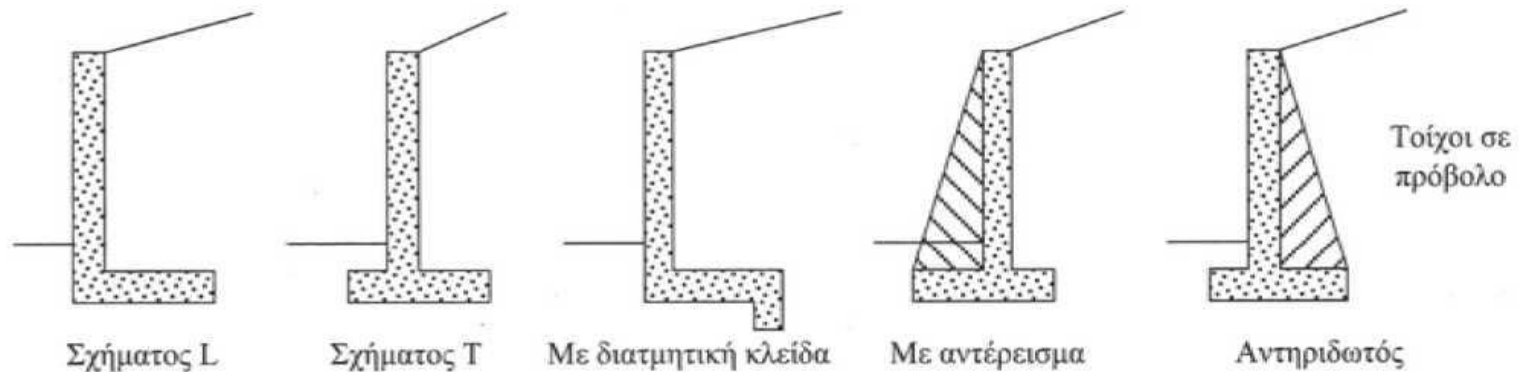
- Σύγχρονες τεχνικές αντιστήριξης εφαρμόζονται, σε μεγάλο βαθμό, σε οδικές χαράξεις που διασχίζουν περιοχές με χαλαρούς εδαφικούς σχηματισμούς.
- Η επιλογή σε κάθε έργο και σε κάθε ειδικό πρόβλημα της καταλληλότερης τεχνικής αποτελεί αντικείμενο του βασικού σχεδιασμού και γίνεται με τεχνικοοικονομικά κριτήρια.
- Στον Πίνακα 59 παρουσιάζεται η καταλληλότητα της κάθε τεχνικής σε συγκεκριμένα πεδία, κατά τρόπο ώστε, τουλάχιστον από πλευράς κατασκευής, να δοθούν ενδείξεις για την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου σε αντίστοιχα τεχνικά έργα.
- Ο Μηχανικός θα πρέπει να κρίνει, ανεξαρτήτως των γενικών αυτών κατευθύνσεων, και να προτείνει την καταλληλότερη, σε κάθε περίπτωση, τεχνική, συνεκτιμώντας θέματα ποιότητας υλικών και γεωμετρίας, οικονομικά στοιχεία, αλλά και κατασκευαστικά ζητήματα που μπορεί να είναι πολύ σημαντικά.
- Θα πρέπει, επίσης, να υπογραμμισθεί ότι σε σύνθετα ή ιδιότυπα έργα, όπως είναι οι σήραγγες “cut and cover” αλλά και τα υψηλά πρανή ορυγμάτων, είναι δυνατό να εφαρμοσθεί ένας συνδυασμός από τις εν λόγω τεχνικές αντιστήριξης.

# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- Τυπικές κατασκευές αντιστήριξης

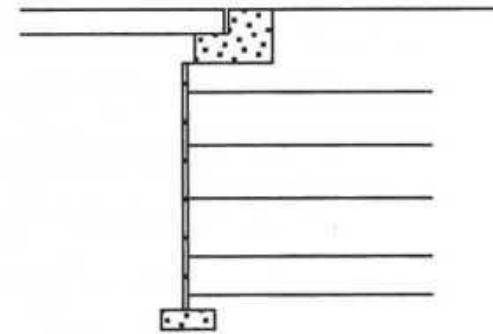
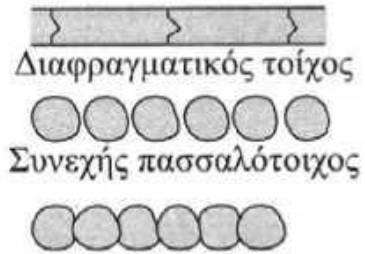
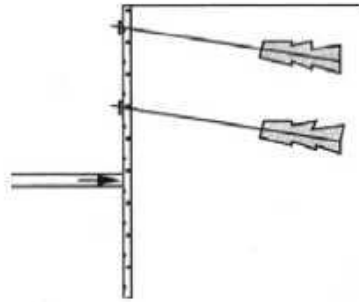


## ΤΟΙΧΟΙ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

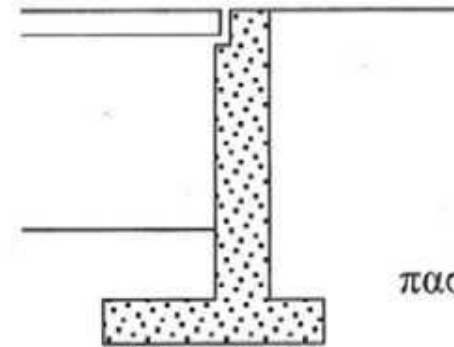
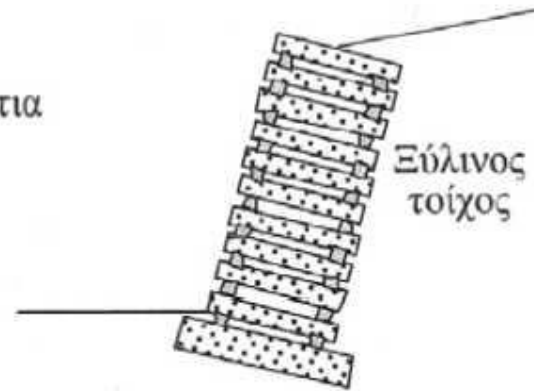
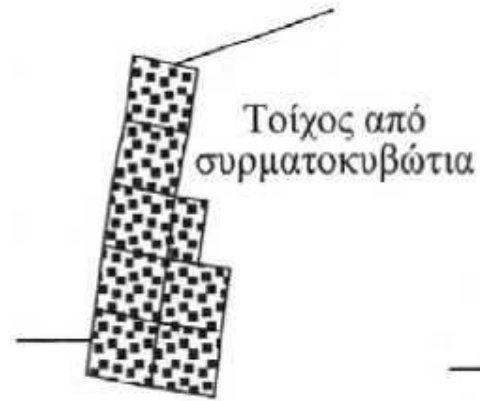


## ΤΟΙΧΟΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

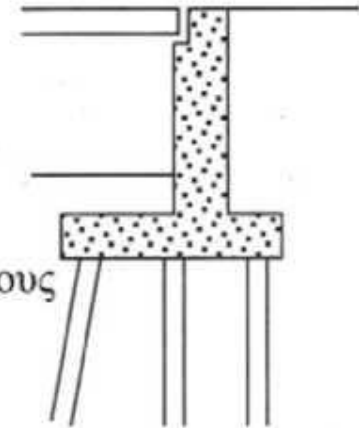
# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ



Βάθρα  
γεφυρών

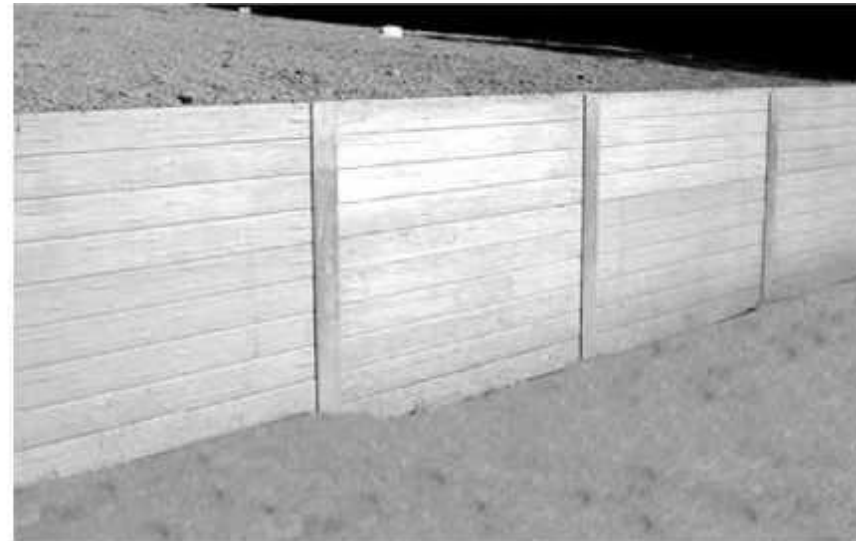


Με  
πασσάλους



# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- Τυπικές κατασκευές αντιστήριξης





# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- Κατασκευή τοίχου οπλισμένου σκυροδέματος



# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

## ❖ Ανάπτυξη εδαφικών ωθήσεων

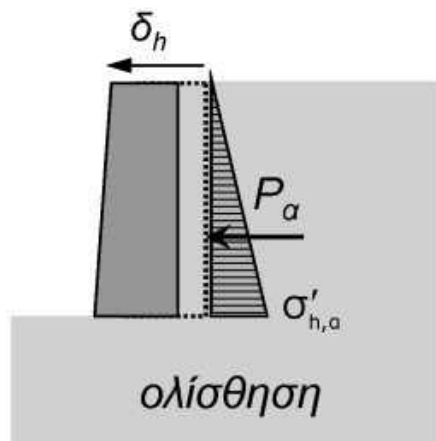
- Το ίδιο βάρος του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη κατακόρυφων γεωστατικών τάσεων οι οποίες αυξάνονται με το βάθος.
- Αν αφαιρεθεί η επιρροή της πίεσης του νερού των πόρων  $u_w$ , η ενεργός κατακόρυφη τάση συμβολίζεται κατά τα γνωστά ως  $\sigma'_v$
- Η οριζόντια γεωστατική ενεργός τάση μπορεί να υπολογιστεί από την  $\sigma'_v$  και έναν συντελεστή  $K$  και συμβολίζεται ως  $\sigma'_m$
- Η συνισταμένη των οριζόντιων εδαφικών τάσεων ονομάζεται εδαφική ώθηση και έχει μεγάλο ενδιαφέρον στην μελέτη έργων αντιστήριξης (συγκράτησης εδαφικών πρανών ή μαζών).
- Η τιμή των πλευρικών ωθήσεων δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται μεταξύ μιας μέγιστης και μιας ελάχιστης τιμής, ανάλογα με την σχετική μετακίνηση του έργου αντιστήριξης



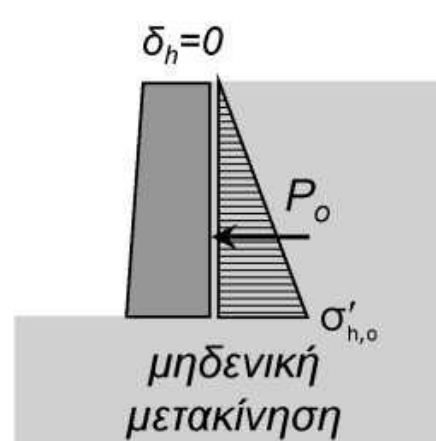
# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- Μορφές κατάστασης τοίχων

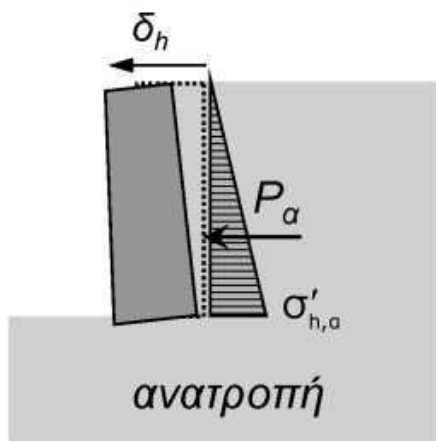
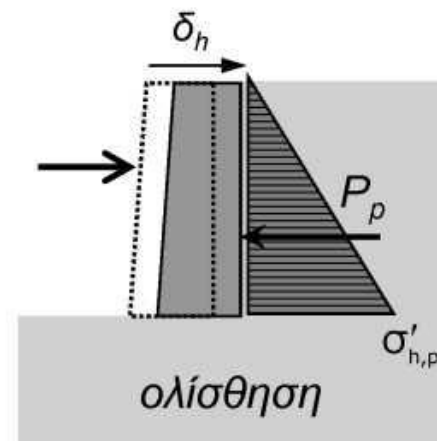
Ενεργητική κατάσταση



Κατάσταση ηρεμίας



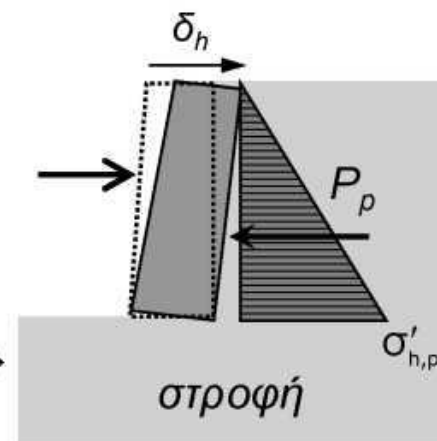
Παθητική κατάσταση



Ωθήσεις ηρεμίας  $P_o$

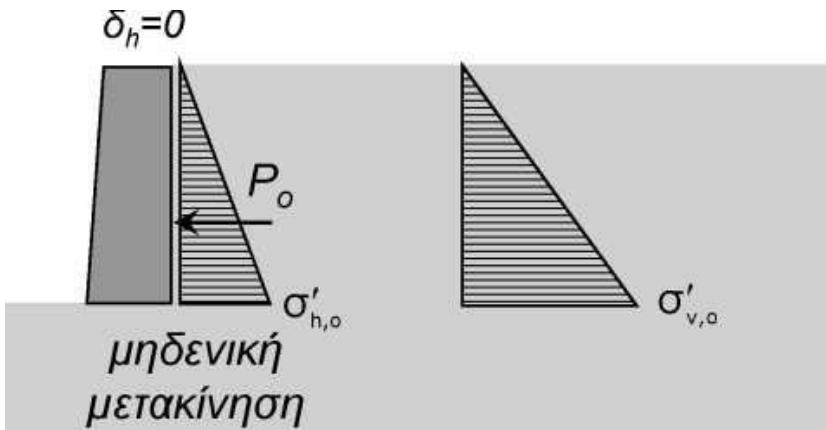
Ενεργητικές ωθήσεις  $P_\alpha$   
(ελάχιστη τιμή πλευρικών τάσεων εδάφους)

Παθητικές ωθήσεις  $P_p$   
(μέγιστη τιμή πλευρικών τάσεων εδάφους)



# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

## Κατάσταση ηρεμίας

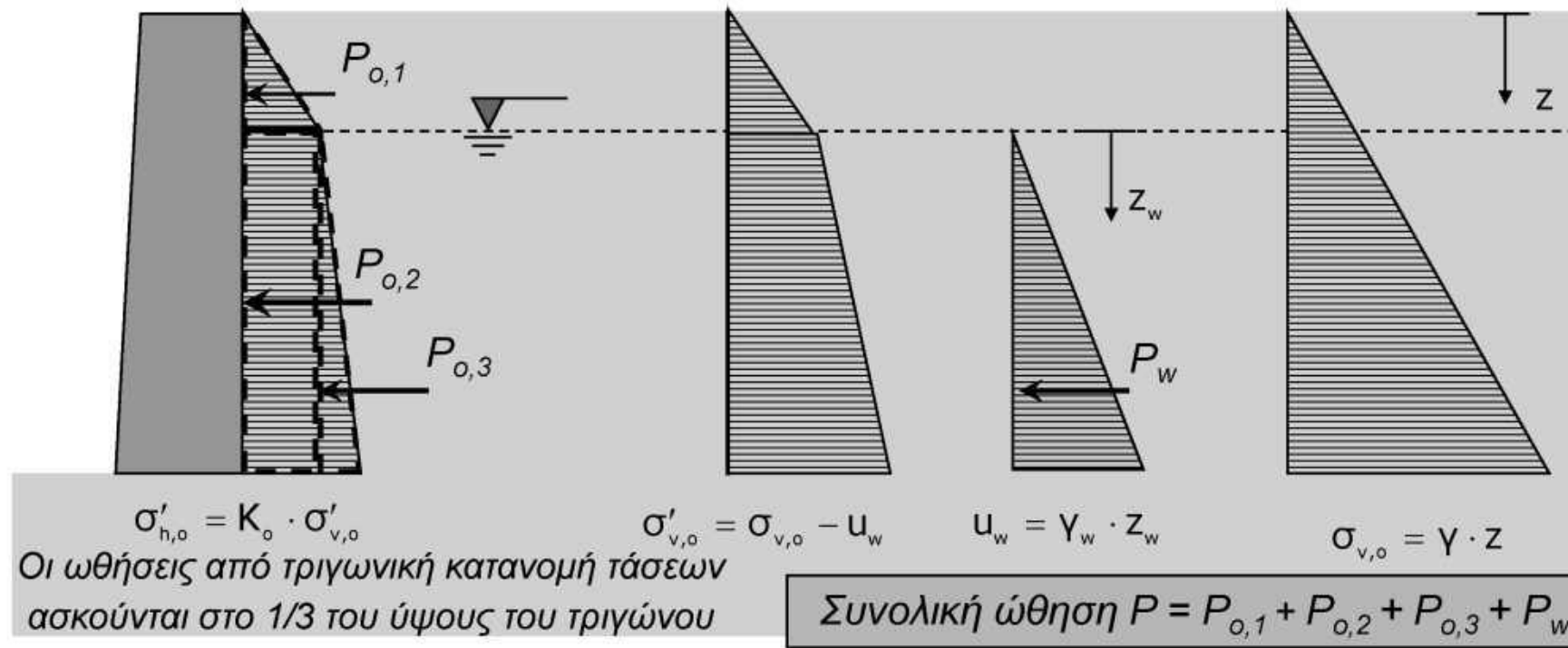


- Ο προσδιορισμός των εδαφικών ωθήσεων σε κατάσταση ηρεμίας (μηδενική μετακίνηση εδάφους-τοίχου) γίνεται ως εξής:
- 1) Υπολογίζονται οι κατακόρυφες ενεργές τάσεις στο έδαφος  $\sigma'_{v,0}$
- 2) Προσδιορίζεται ο συντελεστής ωθήσεων σε ηρεμία  $K_0$
- 3) Υπολογίζονται οι οριζόντιες εδαφικές τάσεις στο έδαφος  $\sigma'_{h,0}$  από τη σχέση:
  - $\sigma'_{h,0} = K_0 \cdot \sigma'_{v,0}$
  - $K_0 = \nu / (1 - \nu)$  για ισότροπο γραμμικά ελαστικό έδαφος (συνήθως δεν ισχύει)
  - $K_0 = 1 - \sin \phi$  για κανονικά στερεοποιημένες άμμους-αργίλους (Jaky, 1944)
  - $K_0 = (1 - \sin \phi) \cdot OCR^{0.5}$  για υπερστερεοποιημένα εδάφη (EC7, έδαφος δίχως κλίση)
- 4) Η συνισταμένη των οριζόντιων εδαφικών τάσεων δίνει την ώθηση ηρεμίας  $P_0$

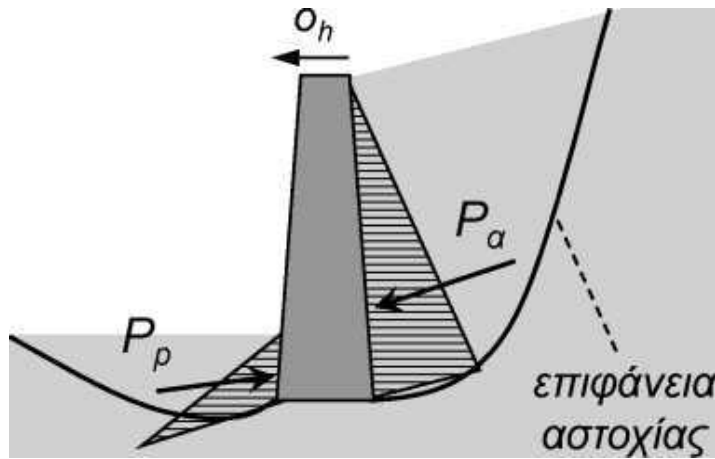
# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

## □ Υπολογισμός ωθήσεων σε κατάσταση ηρεμίας

- Σε περίπτωση που υπάρχει υπόγειος υδάτινος ορίζοντας, πέραν της ώθησης του εδάφους στον τοίχο ασκείται και η υδροστατική πίεση, σύμφωνα με το σχήμα:
- Κατάσταση ηρεμίας (μηδενική μετακίνηση τοίχου-εδάφους)



# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ



- Υπολογισμός ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων
- Ο προσδιορισμός των εδαφικών ωθήσεων σε κατάσταση αστοχίας (ενεργητικών ή παθητικών) δεν είναι εύκολη διαδικασία καθώς εμπλέκεται σημαντικός αριθμός παραμέτρων όπως:
- Η ύπαρξη τριβής μεταξύ τοίχου-εδάφους
- Η ύπαρξη κλίσης στην επιφάνεια του εδαφικού πρανούς
- Η πολυπλοκότητα της κατανομής των τάσεων στο έδαφος πίσω από τον τοίχο
- Η πραγματική επιφάνεια αστοχίας στο έδαφος δεν είναι ευθεία αλλά καμπύλη, και δεν είναι πάντα απλός ο προσδιορισμός της
- Στη συνέχεια του Κεφαλαίου θα παρουσιαστεί ο προσδιορισμός των εδαφικών ωθήσεων με τη μέθοδο του Rankine (1857) που θεωρεί λεία επιφάνεια τοίχου και μηδενική κλίση του εδαφικού πρανούς που αντιστηρίζεται.

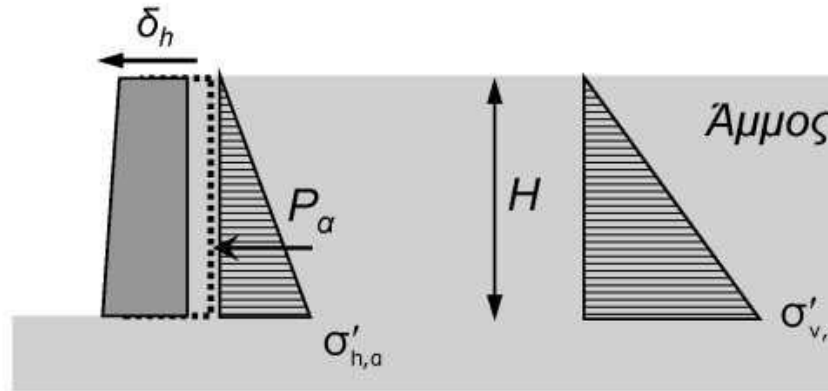
# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

Αμμώδη εδάφη ( $c=0$ ):

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad \text{Συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων}$$

$$\sigma'_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_{v,o}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{h,a} \cdot H \quad \text{Υπολογίζεται ανάλογα με τη μορφή των } \sigma'_h \text{ κάθε φορά}$$

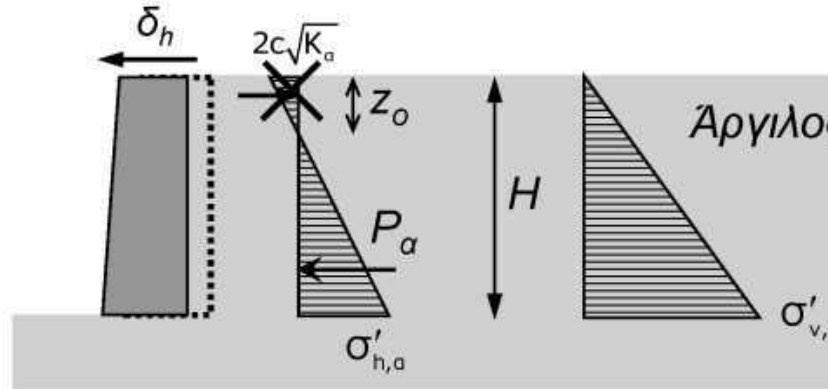


Αργιλικά εδάφη ( $c \neq 0$ ):

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad \text{Συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων}$$

$$\sigma'_{h,a} = K_a \cdot \sigma'_{v,o} - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{h,a} \cdot (H - z_o) \quad \text{Υπολογίζεται ανάλογα με τη μορφή των } \sigma'_h \text{ κάθε φορά}$$



- Υπολογισμός ενεργητικών ωθήσεων
- Ο προσδιορισμός των ενεργητικών εδαφικών ωθήσεων κατά Rankine συμβαίνει τη στιγμή που ο τοίχος κινείται προς την εκσκαφή και το έδαφος πίσω από τον τοίχο αστοχεί, άρα αναπτύσσεται η ελάχιστη οριζόντια τάση.

# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

Αμμώδη εδάφη ( $c=0$ ):

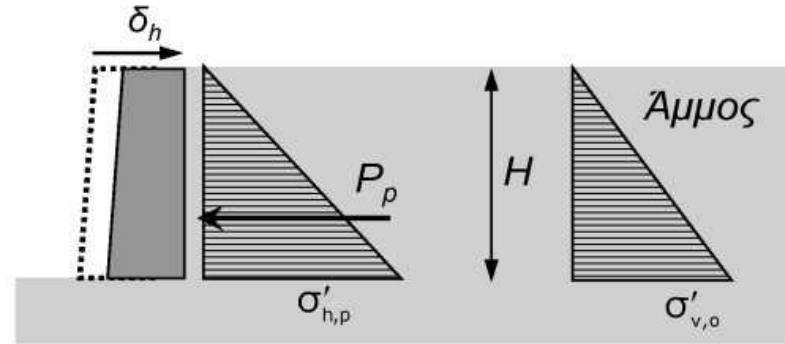
$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Συντελεστής  
παθητικών ωθήσεων

$$\sigma'_{h,p} = K_p \cdot \sigma'_{v,o}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{h,p} \cdot H$$

Υπολογίζεται ανάλογα με τη  
μορφή των  $\sigma'_h$  κάθε φορά



Αργιλικά εδάφη ( $c \neq 0$ ):

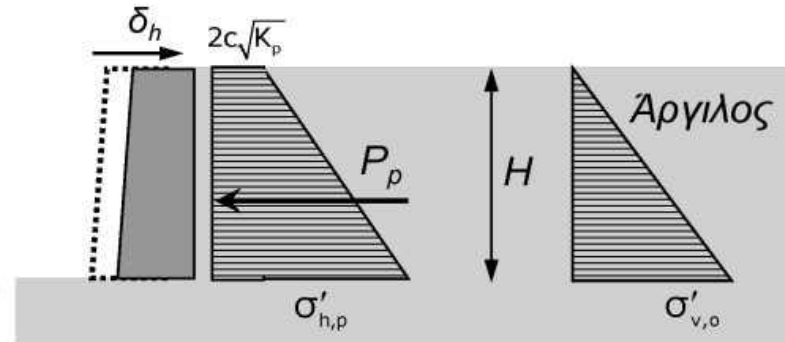
$$K_p = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Συντελεστής  
παθητικών ωθήσεων

$$\sigma'_{h,p} = K_p \cdot \sigma'_{v,o} + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}$$

$$P_p = \frac{\sigma'_{h,p} + 2c\sqrt{K_p}}{2} \cdot H$$

Υπολογίζεται ανάλογα με τη  
μορφή των  $\sigma'_h$  κάθε φορά



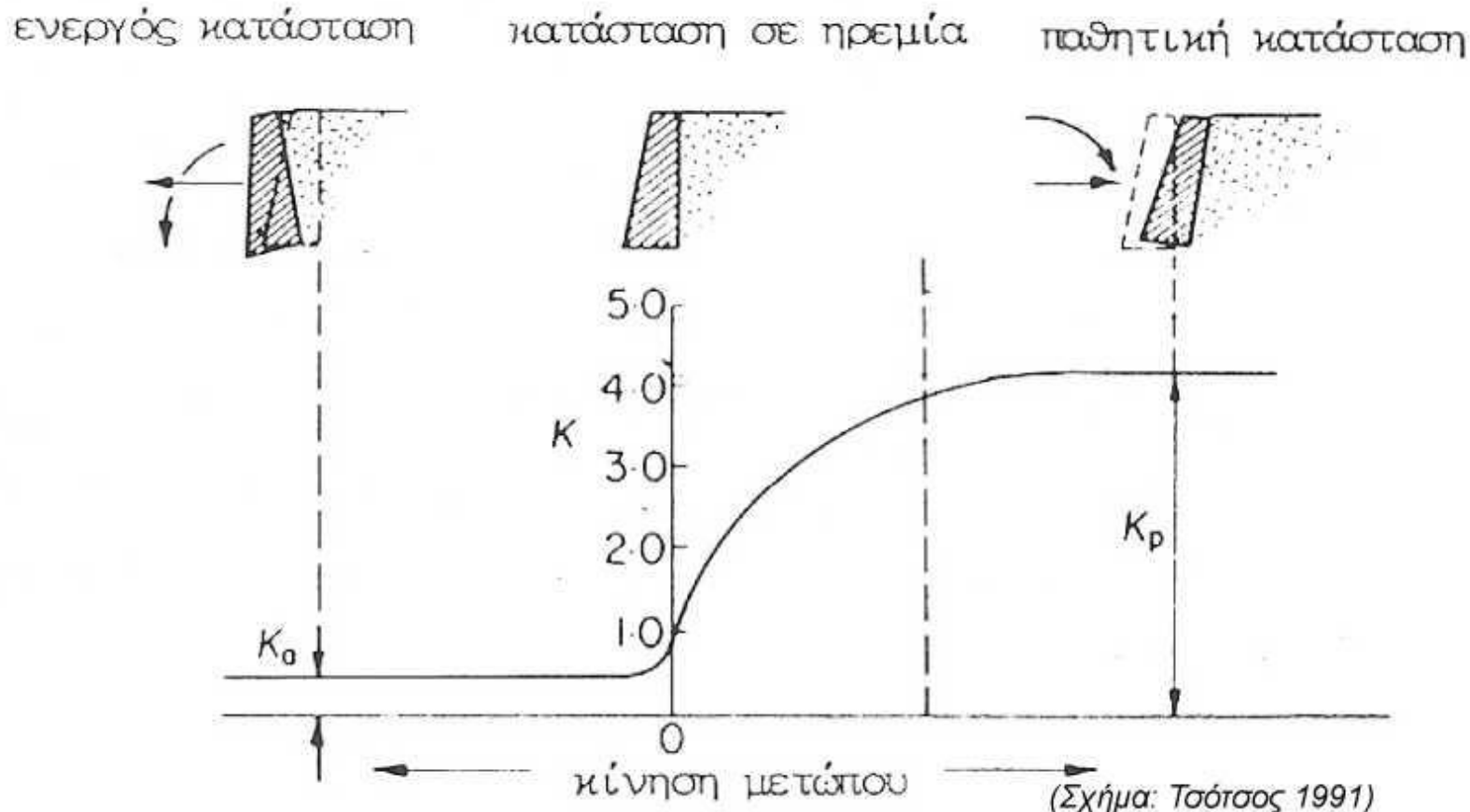
- Υπολογισμός παθητικών ωθήσεων

- Ο προσδιορισμός των παθητικών εδαφικών ωθήσεων κατά Rankine συμβαίνει τη στιγμή που ο τοίχος κινείται προς το έδαφος, το οποίο εξαντλεί την αντοχή του και αστοχεί, άρα αναπτύσσεται η μέγιστη οριζόντια τάση.



# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- Υπολογισμός ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων
- Για την πλήρη ανάπτυξη της ενεργητικής ή της παθητικής ώθησης απαιτείται μετακίνηση του τοίχου, σαφώς σημαντικότερη στην περίπτωση της παθητικής κατάστασης. Προκύπτουν μεγάλη τιμή του  $K_p$  και μεγάλες τιμές παθητικών ωθήσεων.



# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

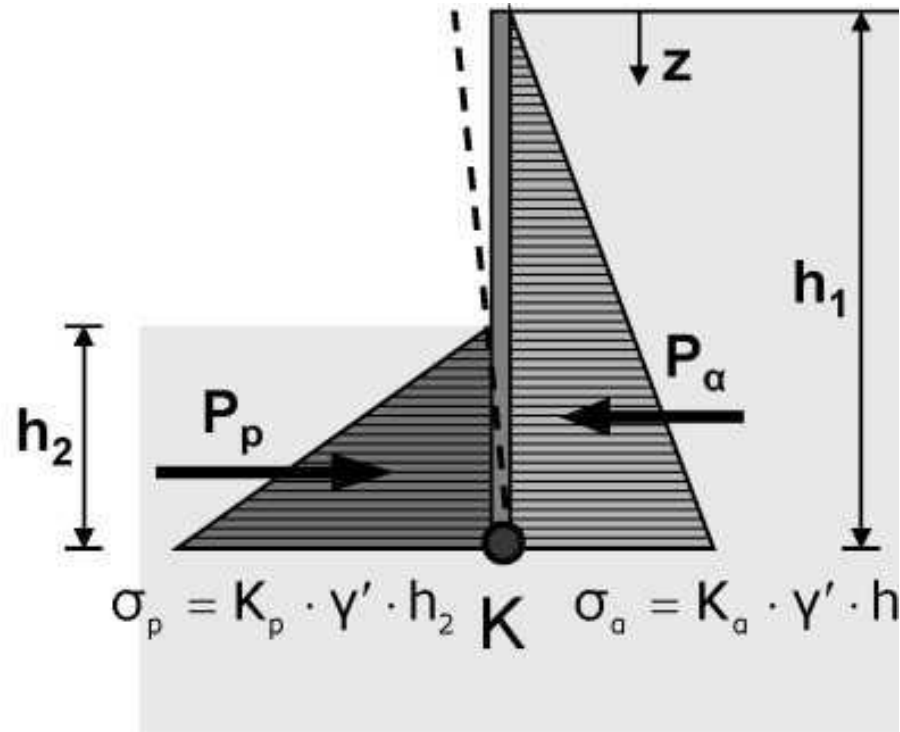
$\varphi$ (°)	$K_a$	$K_p$		$\varphi$ (°)	$K_a$	$K_p$
10	0.7041	1.4203		36	0.2596	3.8518
11	0.6795	1.4716		37	0.2486	4.0228
12	0.6558	1.5250		38	0.2379	4.2037
13	0.6327	1.5805		39	0.2275	4.3955
14	0.6104	1.6383		40	0.2174	4.5989
15	0.5888	1.6984		41	0.2077	4.8150
16	0.5678	1.7610		42	0.1982	5.0447
17	0.5475	1.8263		43	0.1891	5.2893
18	0.5279	1.8944		44	0.1802	5.5500
19	0.5088	1.9655		45	0.1716	5.8284
20	0.4903	2.0396		46	0.1632	6.1261
21	0.4724	2.1171		47	0.1552	6.4447
22	0.4550	2.1980		48	0.1474	6.7865
23	0.4381	2.2826		49	0.1398	7.1536
24	0.4217	2.3712		50	0.1325	7.5486
25	0.4059	2.4639		51	0.1254	7.9745
26	0.3905	2.5611		52	0.1186	8.4344
27	0.3755	2.6629		53	0.1120	8.9322
28	0.3610	2.7698		54	0.1056	9.4721
29	0.3470	2.8821		55	0.0994	10.0590
30	0.3333	3.0000		56	0.0935	10.6985
31	0.3201	3.1240		57	0.0877	11.3970
32	0.3073	3.2546		58	0.0822	12.1621
33	0.2948	3.3921		59	0.0769	13.0024
34	0.2827	3.5371		60	0.0718	13.9282
35	0.2710	3.6902				

Στον πίνακα δίνονται υπολογισμένες οι τιμές του συντελεστή ενεργητικών ωθήσεων  $K_a$  και του συντελεστή παθητικών ωθήσεων  $K_p$  κατά Rankine, για διάφορες γωνίες τριβής εδάφους

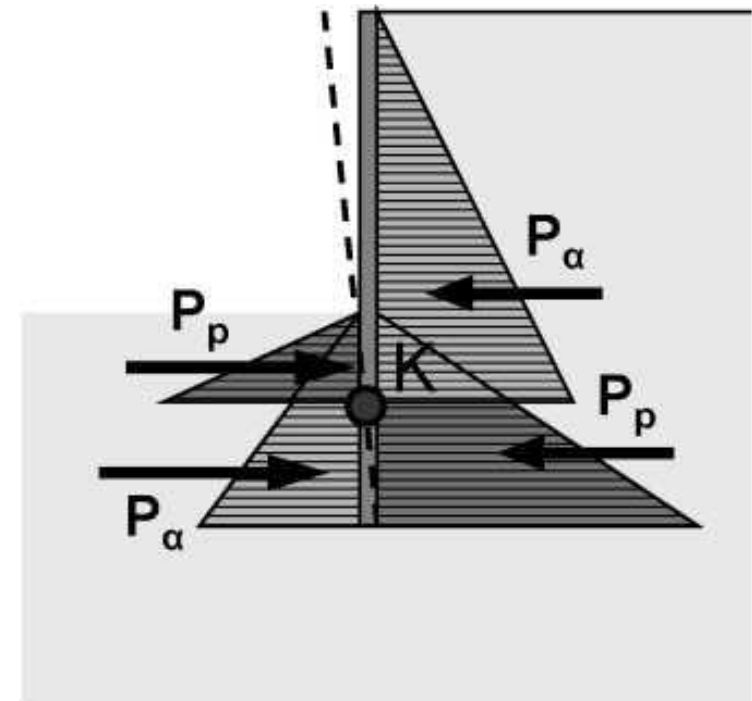
# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- Ενδεικτικά η ανάπτυξη ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων σε διάφραγμα για διαφορετική θέση του σημείου στροφής κατά την οριακή κατάσταση δίνεται στα παρακάτω σχήματα (Μαραγκός, 2009)

Το σημείο στροφής  $K$  βρίσκεται στη βάση του διαφράγματος



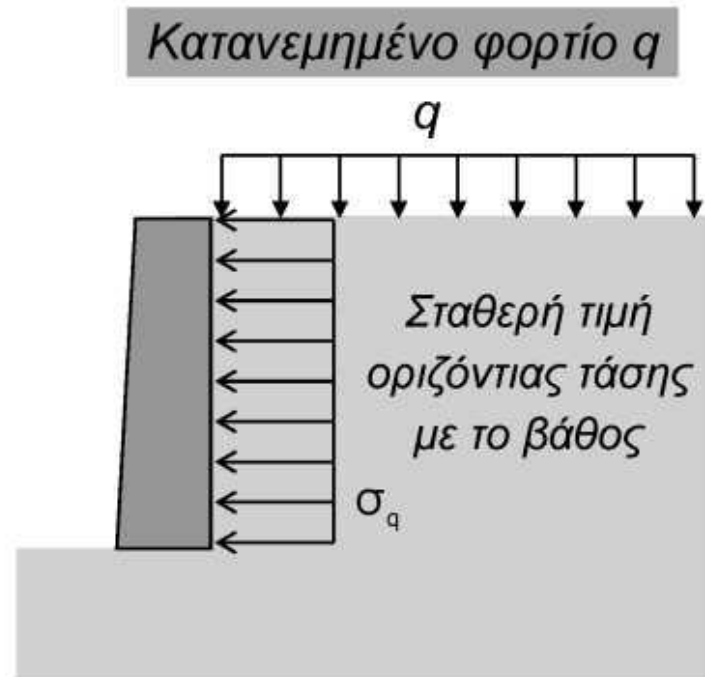
Το σημείο στροφής  $K$  βρίσκεται ψηλότερα από τη βάση του διαφράγματος



# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- Ωθήσεις λόγω επιφόρτισης

- Παρακάτω δίνονται οι πρόσθετες εδαφικές ωθήσεις λόγω επιφόρτισης είτε κατανεμημένης με άπειρο μήκος και πλάτος είτε λόγω σημειακού φορτίου. Περισσότερες περιπτώσεις δίνονται από τους Γραμματικόπουλο κ.α. (1994).



Ενεργητική τάση

$$\sigma_{a,q} = K_a \cdot q$$

Παθητική τάση

$$\sigma_{p,q} = K_p \cdot q$$



Ενεργητική τάση

$$\sigma_{a,Q} = K_a \cdot \frac{Q}{4 \cdot s^2}$$

Παθητική τάση

$$\sigma_{p,Q} = K_p \cdot \frac{Q}{4 \cdot s^2}$$

# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

## □ Υπολογισμός ωθήσεων σε τοίχο αντιστήριξης

- Ο υπολογισμός της ενεργητικής και της παθητικής ώθησης κατά Rankine είναι περισσότερο πολύπλοκος από τις απλές περιπτώσεις των προηγούμενων διαφανειών λόγω της ενδεχόμενης ταυτόχρονης:
- (α) ύπαρξης υπόγειου υδάτινου ορίζοντα
- (β) ύπαρξης διαφορετικών εδαφικών στρώσεων στο ύψος του τοίχου αντιστήριξης (γ) ύπαρξης επιφόρτισης στην επιφάνεια του εδάφους

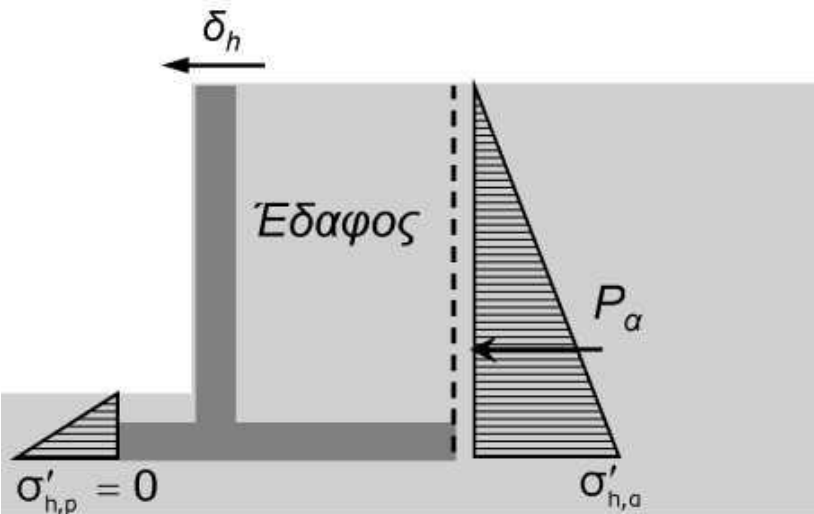
Η διαδικασία προσδιορισμού των ωθήσεων κατά Rankine μπορεί να περιγραφεί ως:

- 1) Υπολογισμός των κατακόρυφων ενεργών τάσεων λόγω ιδίου βάρους του εδάφους με το βάθος
- 2) Υπολογισμός των οριζόντιων τάσεων λόγω ιδίου βάρους του εδάφους με το βάθος
- 3) Υπολογισμός των οριζόντιων υδροστατικών τάσεων με το βάθος
- 4) Υπολογισμός των οριζόντιων τάσεων λόγω επιφόρτισης με το βάθος
- 5) Προσδιορισμός της τιμής και θέσης εφαρμογής της οριζόντιας ώθησης για κάθε ένα από τα (2) - (3) - (4) ως συνισταμένη των αντίστοιχων οριζόντιων τάσεων

# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

## ❖ *Τοίχοι οπλισμένου σκυροδέματος*

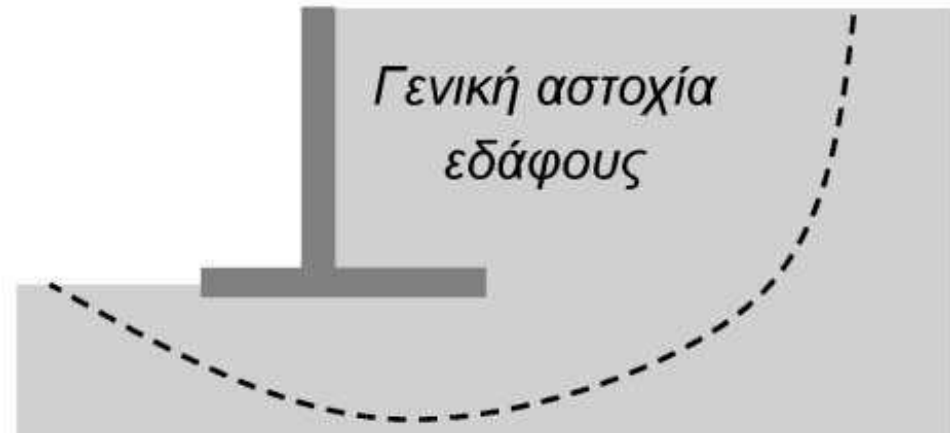
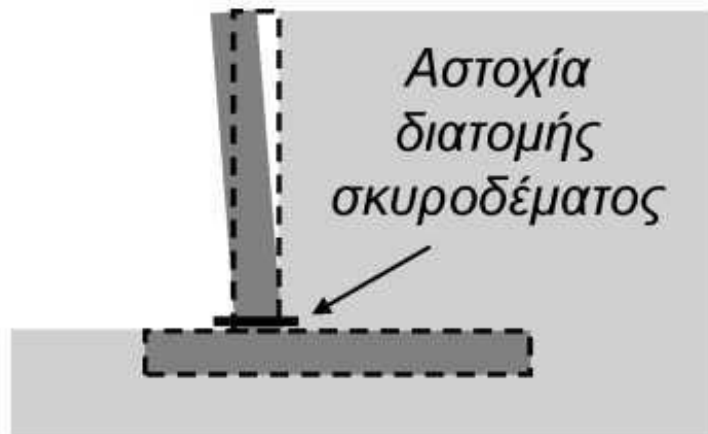
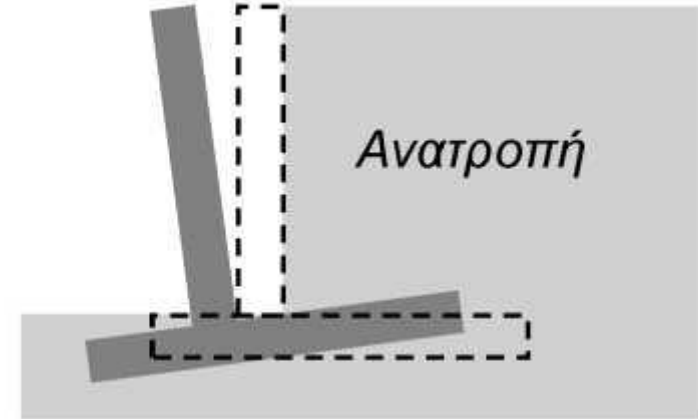
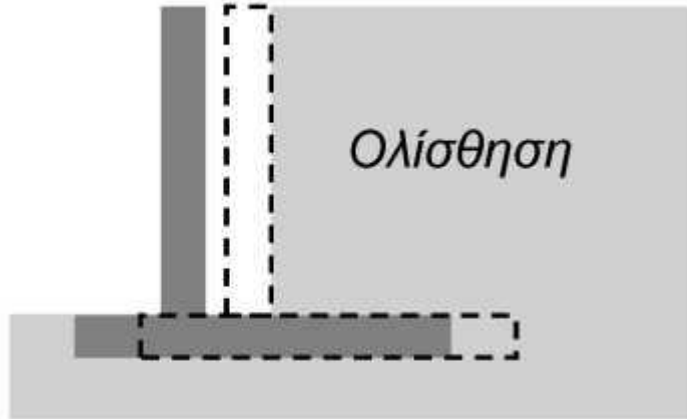
- Πρόκειται για πολύ συνηθισμένη μορφή τοίχου αντιστήριξης όπου ρόλο σταθεροποιητικής δύναμης λαμβάνει κατά ένα μέρος και το βάρος του εδάφους πάνω στο πέλμα του τοίχου.
- Στη μελέτη τοίχων αυτού του τύπου θεωρείται πως ο τοίχος και το έδαφος πάνω από τη βάση του αποτελούν μια ενιαία αντιστήριξη όπου ασκούνται οριζόντιες ενεργητικές τάσεις από το επίχωμα (Γεωργιάδης Κ & Μ, 2009)
- Τα σκέλη του τοίχου μελετώνται και διαστασιολογούνται ως πρόβολοι Ο/Σ
- Οι παθητικές ωθήσεις που αναπτύσσονται μπροστά από τη βάση του τοίχου συνήθως αγνοούνται λόγω μικρού βάθους σε έδαφος πιθανώς μη υγιές επιφανειακά.





# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- Η αστοχία των τοίχων οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να οφείλεται σε:



# ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ

- **Τοίχοι οπλισμένου σκυροδέματος**

Η διαδικασία μελέτης των τοίχων οπλισμένου σκυροδέματος περιλαμβάνει:

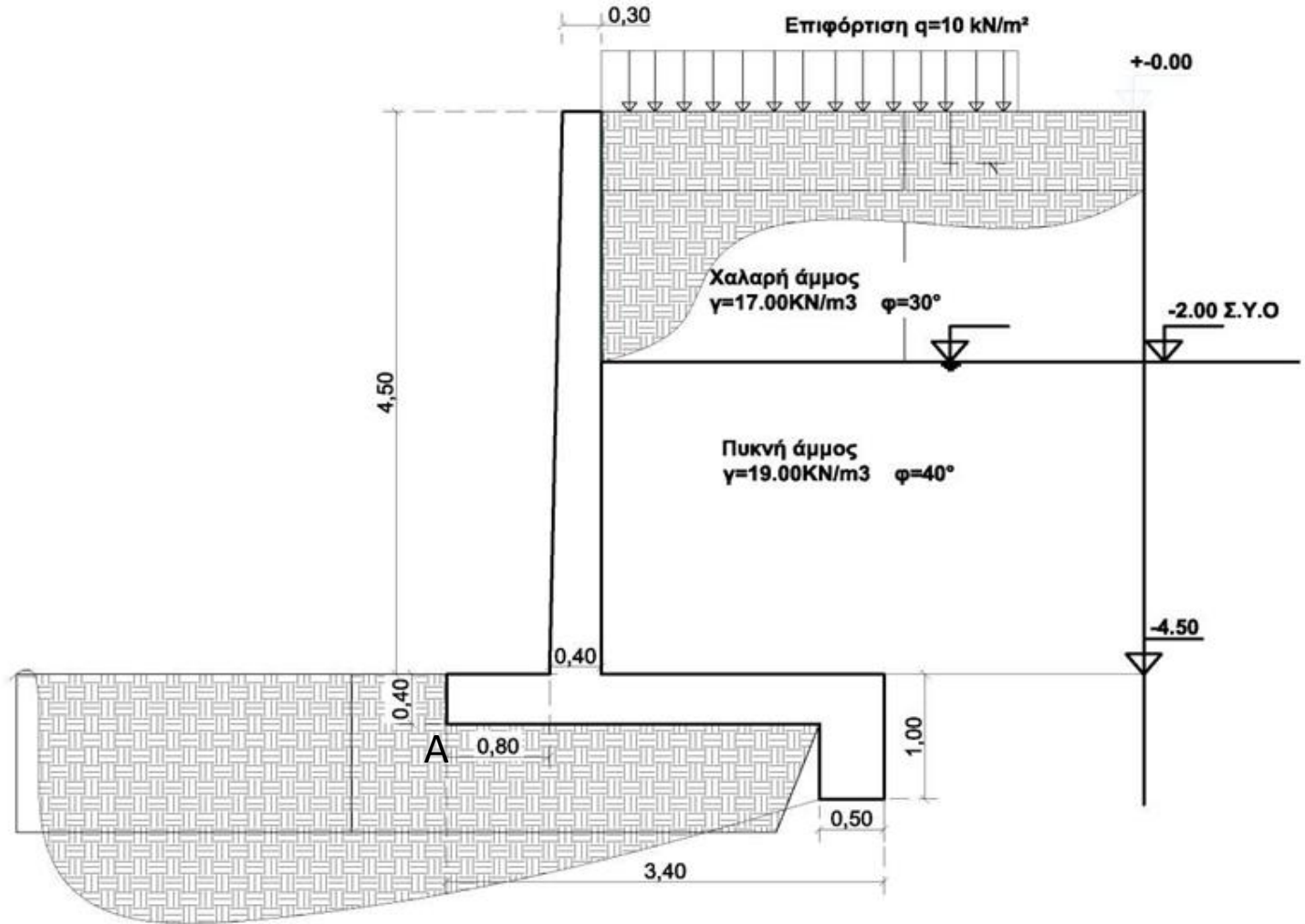
- 1) **Εκτίμηση των απαιτούμενων διαστάσεων του τοίχου (κυρίως του πλάτους B) βάσει του ελέγχου του τοίχου σε ανατροπή**
- 2) **Έλεγχος του τοίχου αντιστήριξης σε ολίσθηση**
- 3) **Έλεγχος φέρουσας ικανότητας του εδάφους κάτω από τον τοίχο (μετά από υπολογισμό των τάσεων στο έδαφος)**
- 4) **Διαστασιολόγηση του τοίχου (υπολογισμός οπλισμού) σε διάφορες κρίσιμες διατομές με έλεγχο σε κάμψη και εφόσον απαιτηθεί αύξηση της διατομής (πάχους του κορμού ή του πέλματος)**
- 5) **Έλεγχος σε διάτμηση και εφόσον απαιτηθεί αύξηση της διατομής (πάχους του κορμού ή του πέλματος)**

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Δίνεται ο τοίχος στο σχήμα 1 και  
ζητούνται οι έλεγχοι σε ευστάθεια -  
ολίσθηση -φέρουσα ικανότητα  
εδάφους και διαστασιολόγηση σε  
κάμψη -διάτμηση των κρίσιμων  
διατομών.

Η μέθοδος που θα ακολουθηθεί είναι  
η RANKINE.

Στην παρούσα άσκηση δεν θα ληφθεί  
υπ' όψιν η σεισμική επίδραση αλλά  
θα αναφερθεί πως μπορεί να  
εκτιμηθεί.  $\sigma_{εδ,επ}=250 \text{ kPa}$ . C30/37- B500



Σχήμα 1

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## 1. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ( έλεγχος σε ανατροπή και ολίσθηση )

Ο έλεγχος ανατροπής θα γίνει στο σημείο A.

- Δυνάμεις ανατροπής οι εδαφικές ωθήσεις το νερό και η επιφόρτιση.
- Δυνάμεις ευστάθειας το ι.β. του τοίχου, το έδαφος και η επιφόρτιση
- ο Ο έλεγχος γίνεται ανά μ/μήκους του τοίχου.

❖  Ενεργητικές ωθήσεις από την εδαφική μάζα 1 (χαλαρή άμμος)  $\phi=30^{\circ}$   $K_a=0,333$

$Z=-2,00 \text{ m}$  :  $\sigma_{v,o} = 17,00 \text{ kN/m}^3 * 2,00\text{m} = 34,00 \text{ kN/m}^2$

νερό  $u_w=0$   $\sigma'_{v,o} = \sigma_{v,o} - u_w = 34,00 \text{ kN/m}^2$

$Z=-4,90\text{m}$  :  $\sigma_{v,o} = 17,00 \text{ kN/m}^3 * 2,00 + 19,00 \text{ kN/m}^3 * 2,90\text{m}$

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

- $Z=-4,90\text{m} : \sigma_{v,o} = 17,00 \text{ kN/m}^3 * 2,00 + 19,00 \text{ kN/m}^3 * 2,90\text{m} = 89,10 \text{ kN/m}^2$
- $u_w = 10,00 \text{ kN/m}^3 * 2,90\text{m} = 29,00 \text{ kN/m}^2$
- $\sigma'_{v,o} = \sigma_{v,o} - u_w = 89,10 \text{ kN/m}^2 - 29,00 \text{ kN/m}^2 = 60,10 \text{ kN/m}^2$

## Οριζόντιες τάσεις εδάφους λόγω ι.β. εδάφους:

- $Z=\pm 0,00 \text{ m} : \phi=30^\circ \text{ Ka}=0,333$
- $\sigma'_{h,o} = \text{Ka} * \sigma'_{v,o} = 0,333 * 0,00 \text{ kN/m}^2 = 0,00$
- $Z=-2,00 \text{ m} : \sigma'_{h,o} = \text{Ka} * \sigma'_{v,o} = 0,333 * 34,00 \text{ kN/m}^2 = 11,322 \text{ kN/m}^2$
- **ΑΛΛΑΓΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ  $\text{Ka}=0,2174 \text{ } \phi=40^\circ$  (πυκνή άμμος)**
- $Z=-2,00 \text{ m} : \sigma'_{h,o} = \text{Ka} * \sigma'_{v,o} = 0,2174 * 34,00 \text{ kN/m}^2 = 7,39 \text{ kN/m}^2$
- $Z=-4,90 \text{ m} : \sigma'_{h,o} = \text{Ka} * \sigma'_{v,o} = 0,2174 * 60,10 \text{ kN/m}^2 = 13,06 \text{ kN/m}^2$

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ❖ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ (Υδροφόρος ορίζοντας -2,00m)

- Οι οριζόντιες υδροστατικές τάσεις είναι ίδιες με τις κατακόρυφες υδροστατικές τάσεις.

Έτσι :  $u_w = 2,90\text{m} * 10,00 \text{ kN/m}^2 = 29,00 \text{ kN/m}^2$

- Οριζόντιες τάσεις λόγω επιφόρτισης  $q$  :

Για επιφόρτιση με οριζόντιο κατανεμημένο φορτίο  $q=10,00 \text{ kN/m}^2$

- $Z=-2,00 \text{ m}$  :  $\sigma'_{a,q} = K_a * q = 0,333 * 10,00 \text{ kN/m}^2 = 3,33 \text{ kN/m}^2$

- $Z=-4,90 \text{ m}$  :  $\sigma'_{a,q} = K_a * q = 0,2174 * 10,00 \text{ kN/m}^2 = 2,17 \text{ kN/m}^2$

υπολογίζονται οι θέσεις και οι τιμές εφαρμογής (συνιστάμενες) ενεργητικών ωθήσεων γαιών:

- $P_{a,1} = \frac{1}{2} * 11,322 * 2 = 11,322 \text{ KN}$  απέχει από A:  $\frac{1}{3} * 2 + 2,90 = 3,566 \text{ m}$

- $P_{a,2} = 7,39 * 2,90 = 21,43 \text{ KN}$  απέχει από A:  $\frac{1}{2} * 2,90 = 1,45 \text{ m}$

- $P_{a,3} = \frac{1}{2} * (13,06 - 7,39) * 2,90 = 8,22 \text{ KN}$  απέχει από A:  $\frac{1}{3} * 2,90 = 0,966 \text{ m}$

- υπολογίζονται οι θέσεις και οι τιμές εφαρμογής (συνιστάμενες) υδροστατικών πιέσεων:

- $P_w = \frac{1}{2} * 2,90 * 29 = 42,05 \text{ KN}$  απέχει από A:  $\frac{1}{3} * 2,90 = 0,966 \text{ m}$

υπολογίζονται οι θέσεις και οι τιμές εφαρμογής (συνιστάμενες) της επιφόρτισης:

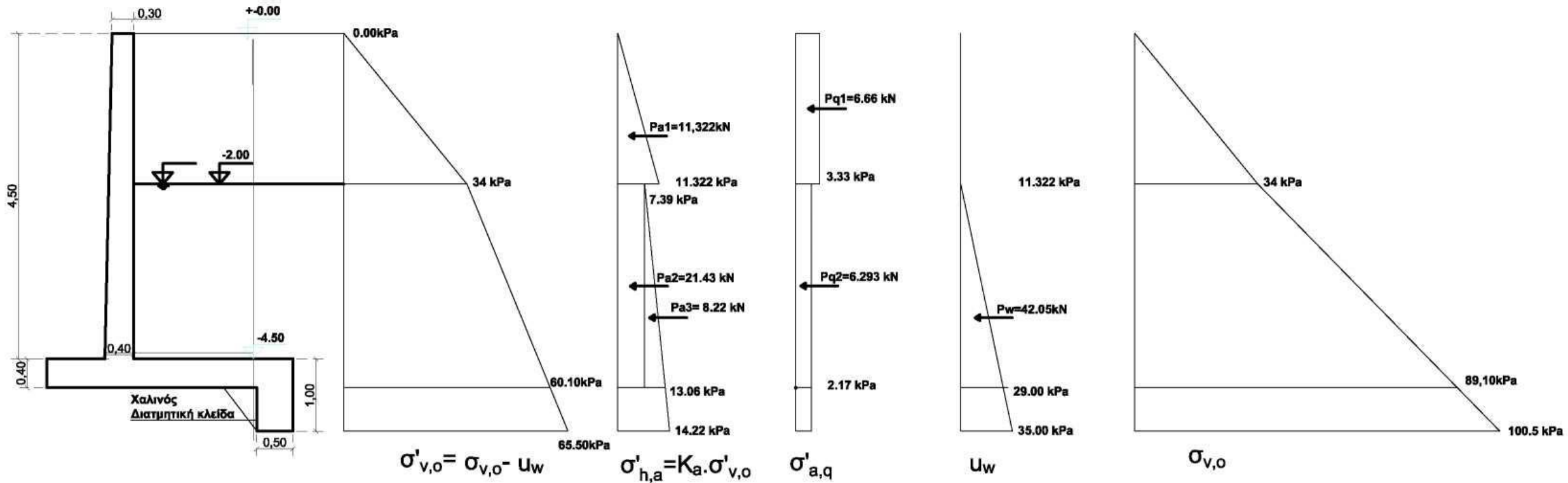
- $P_{q,1} = 3,33 * 2,00 = 6,66 \text{ KN}$  απέχει από A:  $1 + 2,90 = 3,90 \text{ m}$

- $P_{q,2} = 2,17 * 2,90 = 6,293 \text{ KN}$  απέχει από A:  $2,90 / 2 = 1,45 \text{ m}$



# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ❖ Σχηματικά διαγράμματα τάσεων



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ**

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ❖ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

### ▪ ΒΑΡΗ ΤΟΙΧΟΥ- ΓΑΙΩΝ- ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗΣ:

- Κορμός  $G_1$ :  $\frac{1}{2}(0,40+0,30)*4,50*25=39,38$  KN απέχει από A  $0,20+0,80=1,00$  m
- Βάση  $G_2$ :  $0,40*3,40*25=34,00$  KN απέχει από A  $3,40/2=1,70$  m ,
- Έδαφος<sub>1</sub>  $G_{e1}$ :  $2,00*17*2,20=74,80$  KN απέχει από A  $1,1+1,20=2,30$  m
- Έδαφος<sub>2</sub>  $G_{e2}$ :  $2,50*19*2,20=104,50$  KN απέχει από A  $1,1+1,20=2,30$  m
- Επιφόρτιση  $G_Q$ :  $10,00*2,20= 22,00$  KN απέχει από A  $1,1+1,20=2,30$  m

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ✓ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ (ως προς σημείο A),

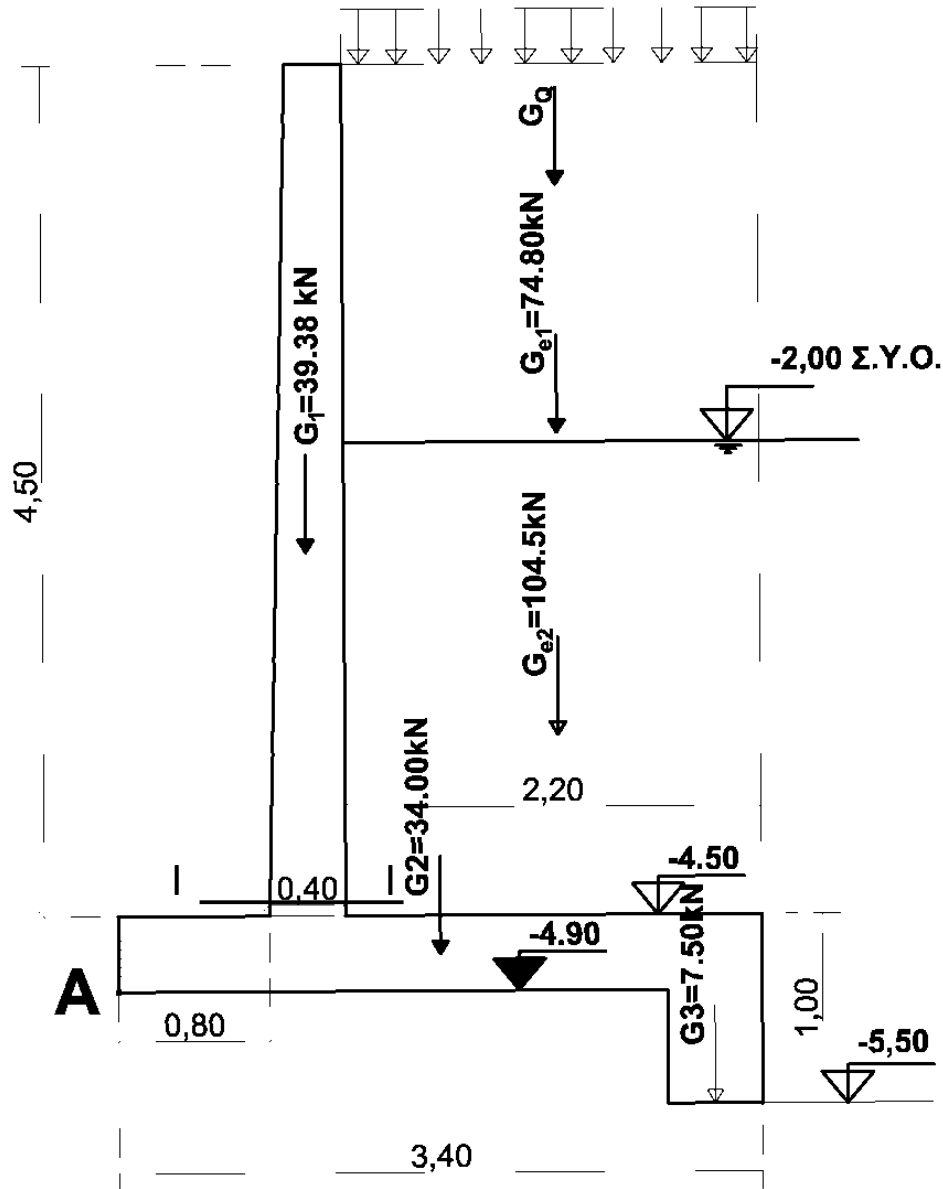
- $M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau} = G_1 * 1,00 + G_2 * 1,70 + G_{e1} * 2,30 + G_{e2} * 2,30 + G_Q * 2,20 = 39,38 * 1,00 + 34 * 1,70 + 74,80 * 2,30 + 104,50 * 2,30 + 22 * 2,30 = \underline{560,17 \text{ kN}}$
- $M_{\alpha\nu\alpha\tau\rho} = P_{a,1} * 3,566 + P_{a,2} * 1,45 + P_{a,3} * 0,966 + P_w * 0,966 + P_{q,1} * 3,90 + P_{q,2} * 1,45 = 11,322 * 3,566 + 21,43 * 1,45 + 8,22 * 0,966 + 42,05 * 0,966 + 6,66 * 3,90 + 6,293 * 1,45 = \underline{155,10 \text{ Kv}}$
- Έλεγχος συντελεστή Ανατροπής  $SF_{\alpha\nu\alpha\tau\rho} = \frac{M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau}}{M_{\alpha\nu\alpha\tau\rho}} = \frac{560,19}{155,10} = 3,61 > 2,50 = SF_{\epsilon\pi}$
- ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ
- Συνολικό φορτίο  $\Sigma(G+Q) = 274,68 \text{ kN}$
- Θεωρώ γωνία τριβής την γωνία του τελευταίου εδαφικού στρώματος ( $\phi = 40^\circ$ )

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ✓ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ (ως προς σημείο A),

- $M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau} = G_1 * 1,00 + G_2 * 1,70 + G_{e1} * 2,30 + G_{e2} * 2,30 + G_Q * 2,20 = 39,38 * 1,00 + 34 * 1,70 + 74,80 * 2,30 + 104,50 * 2,30 + 22 * 2,30 = \underline{560,17 \text{ kN}}$
- $M_{\alpha\nu\alpha\tau\rho} = P_{a,1} * 3,566 + P_{a,2} * 1,45 + P_{a,3} * 0,966 + P_w * 0,966 + P_{q,1} * 3,90 + P_{q,2} * 1,45 = 11,322 * 3,566 + 21,43 * 1,45 + 8,22 * 0,966 + 42,05 * 0,966 + 6,66 * 3,90 + 6,293 * 1,45 = \underline{155,10 \text{ kN}}$
- Έλεγχος συντελεστή Ανατροπής  $SF_{\alpha\nu\alpha\tau\rho} = \frac{M_{\epsilon\upsilon\sigma\tau}}{M_{\alpha\nu\alpha\tau\rho}} = \frac{560,17}{155,10} = 3,61 > 2,50 = SF_{\epsilon\pi}$
- ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ
- Συνολικό φορτίο  $\Sigma(G+Q) = 274,68 \text{ kN}$
- Θεωρώ γωνία τριβής την γωνία του τελευταίου εδαφικού στρώματος ( $\phi = 40^\circ$ )

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ



- Συνολικό φορτίο  $\Sigma(G+Q)=274,68 \text{ kN}$
- Ο χαλινός δεν προσμετράται στα φορτία (δυσμενής περίπτωση)

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ΡΟΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

- $F_{\epsilon\upsilon\sigma\tau} = \Sigma(G+Q)\tan\phi = 274,68 * \tan 40 = 274,68 * 0,8391 = \underline{230,48 \text{ kN}}$
- $F_{\alpha\nu\alpha\tau\rho} = P_{a,1} + P_{a,2} + P_{a,3} + P_w + P_{q,1} + P_{q,2} = 11,32 + 21,43 + 8,22 + 42,05 + 6,66 + 6,293 = \underline{95,97 \text{ kN}}$
- Έλεγχος συντελεστή Ολίσθησης  $SF_{ολισθ} = \frac{F_{\epsilon\upsilon\sigma\tau}}{F_{ολισθ}} = \frac{230,48}{95,97} = 2,40 > 1,50 = SF_{\epsilon\pi}$
- Σε οριακές περιπτώσεις στον έλεγχο ολίσθησης συμμετέχει και η διατμητική κλείδα(χαλινός)
- Στο παράδειγμα  $\sigma'_{h,p} = 0,60 * 19 * 3 = 34,20 \text{ kPa}$  ( $K_p = 3$  για  $\phi = 40^\circ$ )
- Άρα  $P_{\kappa\lambda} = 0,60 * 34,20 / 2 = 10,62 \text{ kN}$  που συμμετέχει στα συνολικά φορτία ευστάθειας!!!



# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

- ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

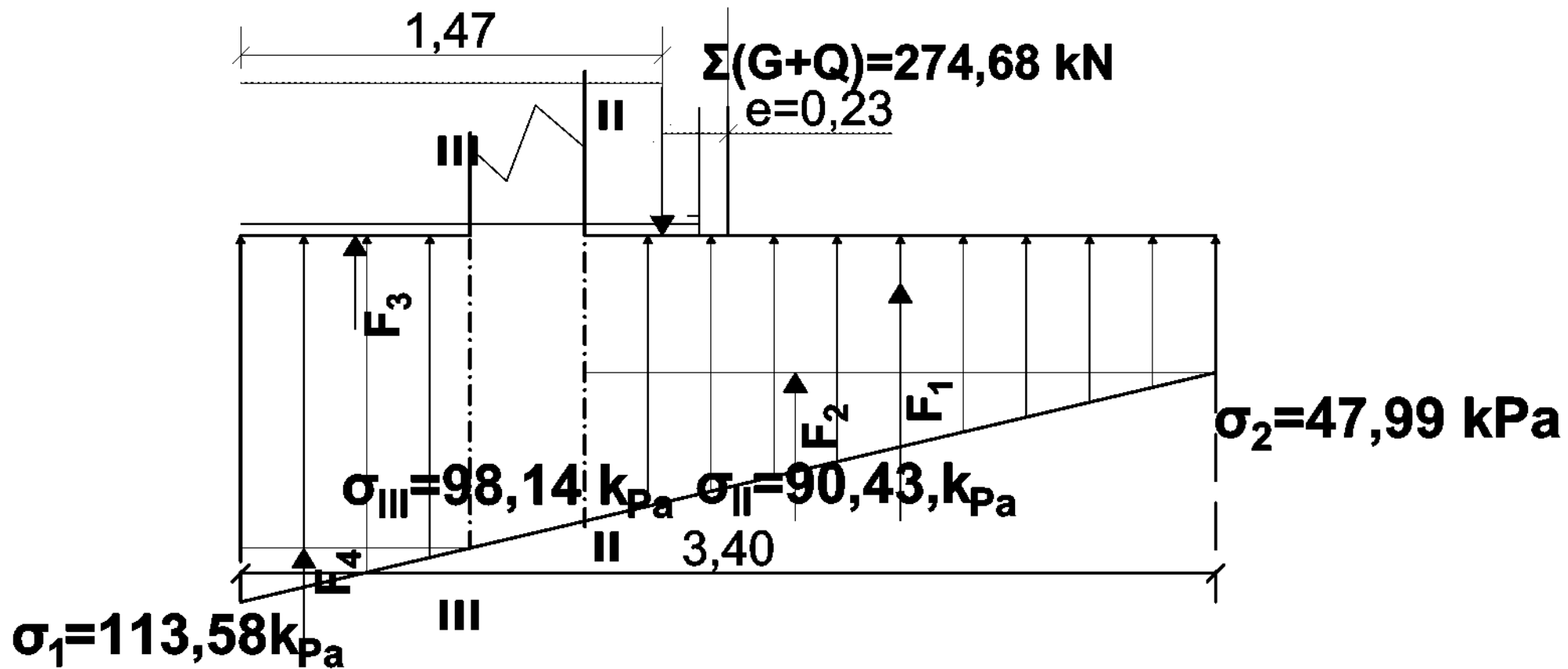
- Εκκεντρότητα=  $e=P/2-x$  (βλέπε σχήμα 4.1)

- $x = \frac{M_A}{\Sigma(G+Q)} = \frac{M_{A\epsilon\upsilon\sigma\tau} - M_{A\alpha\nu\alpha\tau\rho}}{\Sigma(G+Q)} = \frac{560,19 - 155,10}{274,68} = 1,47m$

- $e=b/2-1,47=3,40/2-1,47=0,23 < b/6=3,40/6=0,56$  αρά η συνισταμένη εντός πυρήνα

- $\sigma_{1,2} = \frac{\Sigma(G+Q)}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{b}\right) = \frac{274,48}{3,40 \cdot 1,00} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,23}{3,40}\right) \rightarrow \sigma_1 = 113,58kPa - \sigma_2 = 47,99kPa$

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ



## Σ5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ❖ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ (I-I,II-II,III-III) ΤΟΙΧΟΥ

➤ Διατομή I-I :  $z=-2,00\text{m}$   $\sigma'_{h,a}=11,322 \text{ kPa}$  ( $\phi=30^\circ$  χαλαρή άμμος)

•  $z=-2,00\text{m}$   $\sigma'_{h,a}=7,39 \text{ kPa}$  ( $\phi=40^\circ$  πυκνή άμμος)

•  $z=-4,50\text{m}$   $\sigma'_{h,a}=12,28 \text{ kPa}$  ( $\phi=40^\circ$  πυκνή άμμος)

και προκύπτουν :  $P_{a,1}=2,0*11,32/2=11,32 \text{ kN}$  -----Σημείο εφαρμογής :  $2/3+2,50=3,166\text{m}$

•  $P_{a,2}=2,5*7,39=18,475 \text{ kN}$  -----Σημείο εφαρμογής :  $2,5/2=1,25\text{m}$

•  $P_{a,3}=2,5*(12,28-7,39/2=6,73 \text{ kN}$  -----Σημείο εφαρμογής :  $2,5/3=0,833\text{m}$

•  $P_{q,1}=2,0*10,00*0,333=6,66 \text{ kN}$  -----Σημείο εφαρμογής :  $2/2+2,50=3,50\text{m}$

•  $P_{q,2}=2,5*10,00*0,2174=5,43 \text{ kN}$  -----Σημείο εφαρμογής :  $2,50/2=1,25\text{m}$

•  $P_w=2,5*10/2=12,50\text{kN}$  -----Σημείο εφαρμογής :  $2,5/3=0,833\text{m}$

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

□ Ροπή κάμψης I-I:

$$M_I = 11,32 * 3,166 + 18,475 * 1,25 + 6,73 * 0,833 + 6,66 * 3,50 + 5,43 * 1,25 + 12,5 * 0,833 = 105,05 \text{ kN}$$

- Αξονικό φορτίο στο μέσον της I-I :  $-G_1 = -39,38 \text{ kN}$
- Τέμνουσα στην I-I:  $V_I = -11,32 - 18,475 - 6,73 - 6,46 - 5,43 - 12,5 = 61,115 \text{ kN}$
- $M_{sd-I} = M_I - N * t_{\text{κορ}} / 2 = 105,05 - (-39,38) * 0,40 / 2 = 112,92 \text{ kNm}$
- Υπολογισμός οπλισμού κάμψης:  $K = \frac{M_{sd}}{b * d^2 * f_{ck}} = \frac{112,92 * 10^6}{1000 * 330^2 * 30} = 0,034$  άρα  $I_a = 0,95$  (πιν. 4.5)
- $A_s = \frac{112,92 * 10^6}{0,95 * 330 * 0,87 * 500} = 828 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} = \text{cm}^2/\text{m}$
- ✓ *Τίθεται στατικό ύψος  $d = 330 \text{ mm}$  (λαμβάνεται δυσμενής επικάλυψη  $7 \text{ mm}$  λόγω εδαφικών συνθηκών -υδροφόρος)*

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ❖ Ελάχιστος οπλισμός για κύριο οπλισμό και διανομή

- $A_{smin} = 0,15 * b * d / 100 = 0,0015 * 1000 * 330 = 495 \text{ mm}^2 = 4,95 \text{ cm}^2$

## ❖ Μέγιστος οπλισμός για κύριο οπλισμό

- $A_{smin} = 4\% * b * d = 0,04 * 100 * 33 = 132 \text{ cm}^2$

- Τοποθετείται:  $\Phi 14/40 + \Phi 16/40 = 7,69/2 + 10,05/2 = 8,87 \text{ cm}^2 / \text{m} > 8,28 \text{ cm}^2 / \text{m}$

και  $\Phi 10/20 / \text{m}$  Οριζόντιος

✓ Επίσης τοποθετείται  $\Phi 10/20 / \text{m}$  σχάρα σαν θλιβόμενος στην παρειά του τοίχου για την αποφυγή ρηγματώσης.

## ❖ Διάτμηση θέση I-I

- $V_{RdI} = \tau_{Rd} * k_l (1,2 + 40 \rho_{l,I}) d_l * b$  Για σκυρόδεμα C30 :  $\tau_{Rd} = 0,34 \text{ MPa}$  -  $k_l = 1,60$  -  $d_l = 1,60 - 0,33 = 1,27 > 1$

- $\rho_{l,I} = \frac{A_{sl,I}}{l * d_l} \leq 0,02 \rightarrow \rho_{l,I} = \frac{8,87}{100 * 33} = 0,00268 \leq 0,02$

- $V_{RdI} = 0,34 * 10^3 * 1,27 (1,2 + 40 * 0,00268) 0,33 * 1,0 = 170,99 \text{ kN} < 61,115 \text{ kN} = V_l$

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

✓ Η διατομή επαρκεί έναντι διάτμησης

❖ Διατομή II-II : Αυτή αφορά την παρειά του θεμελίου και καταπονείται από τις τάσεις εδάφους  $\sigma_1$  και  $\sigma_2$ .

▪ Τάσεις εδάφους στις θέσεις II και III

- $\sigma_{II} = 47,99 + (113,58 - 47,99) * 2,20 / 3,40 = 90,43 \text{ kPa}$

- $\sigma_{III} = 47,99 + (113,58 - 47,99) * 2,60 / 3,40 = 98,14 \text{ kPa}$

□ Εντατικά μεγέθη στην II-II:

- $F_1 = 47,99 * 2,20 = 105,58 \text{ kN}$

- $F_2 = 1/2(90,43 - 47,99) * 2,20 = 46,68 \text{ kN}$

- $M_{II} = F_1 * 2,20 / 2 + F_2 * 2,20 / 3 - 1,1(G_{\varepsilon\delta 1} + G_{\varepsilon\delta 1} + Q) = 105,58 * 2,2 / 2 + 46,68 * 2,2 / 3 - 1,1(104,5 + 74,8 + 22) = 69,59 \text{ kNm}$

- $V_{II} = (104,5 + 74,8 + 22) - 105,58 - 46,68 = 49,04 \text{ kN}$



# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ❖ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΙΙ-ΙΙ

$$\bullet K = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{ck}} = \frac{69,59 \cdot 10^6}{1000 \cdot 330^2 \cdot 30} = 0,021 \quad \text{άρα } I_a = 0,95 \text{ (πιν. 4.5)}$$

$$\bullet A_{sII} = \frac{69,59 \cdot 10^6}{0,95 \cdot 330 \cdot 0,87 \cdot 500} = 511 \frac{mm^2}{m} = 5,11 cm^2/m$$

✓ Ελάχιστος οπλισμός για κύριο οπλισμό και διανομή

$$\bullet A_{smin} = 0,15 \cdot b \cdot d / 100 = 0,0015 \cdot 1000 \cdot 330 = 495 mm^2$$

✓ Μέγιστος οπλισμός για κύριο οπλισμό

$$\bullet A_{smin} = 4\% \cdot b \cdot d = 0,04 \cdot 100 \cdot 33 = 132 cm^2$$

• Τοποθετείται οπλισμός  $\Phi 12/20/m$  ( $A_s = 5,66 cm^2 > 5,11 cm^2$ ) σε διπλή σχάρα (άνω και κάτω και διανομής αντίστοιχα άνω και κάτω (κατά το μήκος l)

## ❖ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

$$\bullet V_{RdII} = \tau_{Rd} \cdot k_{II} (1,2 + 40 \rho_{l,II}) d_{II} \cdot b \quad \rho_{l,II} = 5,66 / 100 \cdot 33 = 0,0017 < 0,02$$

$$\bullet V_{RdII} = 0,34 \cdot 103 \cdot 1,27 (1,2 + 40 \cdot 0,0017) \cdot 033 \cdot 1,00 = 134,71 kN > 49,04 kN = V_{II}$$

✓ Η διατομή επαρκεί έναντι διάτμησης

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ❖ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΙΙΙ-ΙΙΙ

- Εντατικά μεγέθη στην ΙΙΙ-ΙΙΙ:

- $F_3 = 98,14 * 0,80 = 78,51 \text{ kN}$

- $F_4 = 1/2(113,58 - 98,54) * 0,80 = 6,176 \text{ kN}$

- $M_{III} = F_3 * 2,20/2 + F_4 * 0,80 * 2/3 = 78,51 * 0,4 + 6,176 * 0,8 * 2,00/3 = 34,69 \text{ kNm}$

- $V_{III} = F_3 + F_4 = 78,51 + 6,176 = 84,68 \text{ kN}$

- ✓ Επειδή η ροπή στην ΙΙΙ-ΙΙΙ είναι σημαντικά μικρότερη από ότι στην ΙΙ-ΙΙ Τίθεται ο ίδιος οπλισμός  $\Phi 12/20 /\text{m}$

- Η τέμνουσα  $V_{III} = 84,68 \text{ kN} < V_{Rd,II} = V_{Rd,III} = 134,71 \text{ kN}$

- ✓ Η διατομή επαρκεί έναντι διάτμησης

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

## ❖ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΚΛΕΙΔΑΣ (ΧΑΛΙΝΟΣ)

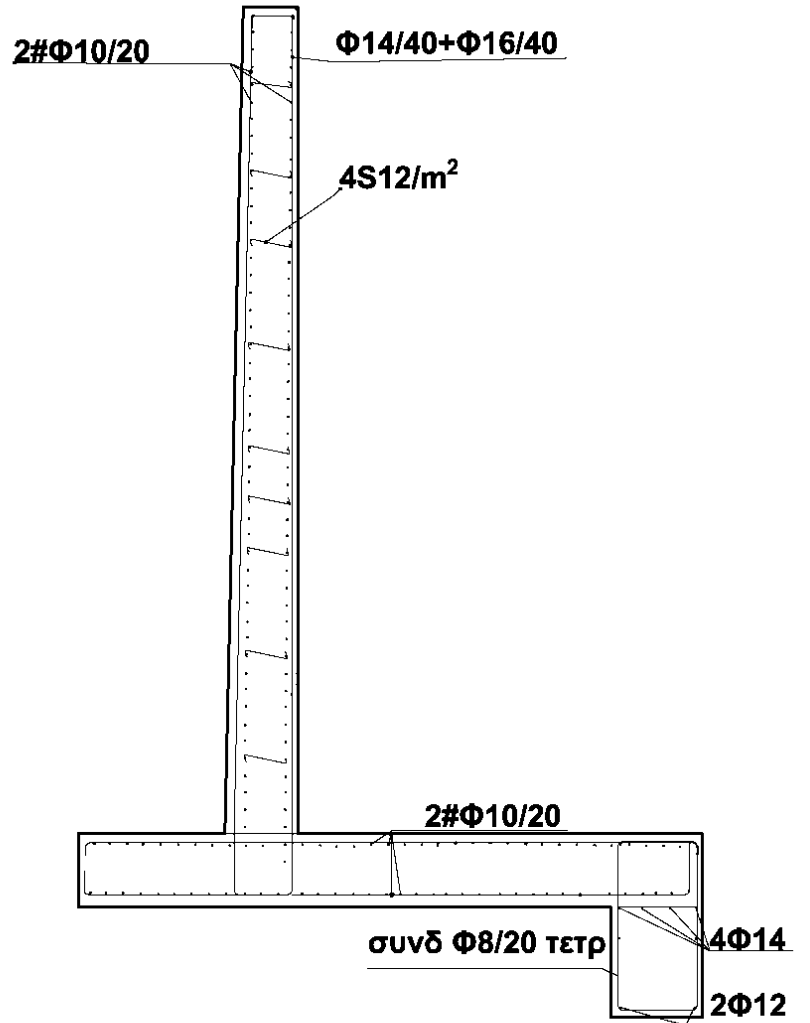
- $z = -5,50\text{m}$      $\sigma'_{v,a} = 17 \cdot 2,00 + 19 \cdot 3,50 - 10 \cdot 3,50 = 65,50 \text{ kPa}$
- $\sigma_{h,a} = 0,2174 \cdot 65,5 = 14,22 \text{ kPa}$
- $\sigma'_{v,p} = 0,60 \cdot 19 - 0,60 \cdot 10 = 5,40 \text{ kPa}$      $\sigma_{h,p} = 3 \cdot 5,40 = 16,20 \text{ kPa}$

## □ ΕΝΤΑΤΙΚΑ

- $F_1 = (14,22 - 13,06) \cdot 0,60 / 2 = 0,348 \text{ kN}$      $F_2 = 13,06 \cdot 0,60 = 7,83 \text{ kN}$      $F_3 = 16,20 \cdot 0,60 / 2 = 4,86 \text{ kN}$
- Ροπή στο Π.:
- $M_{\Pi} = 0, F_1 \cdot 0,6 \cdot 2/3 + F_2 \cdot 0,6/2 - F_3 \cdot 0,60 \cdot 2/3 = 0,348 \cdot 0,40 + 7,83 \cdot 0,30 - 4,86 \cdot 0,40 = 0,5442 \text{ kNm}$
- Τέμνουσα στο Π :  $V_{\Pi} = F_1 + F_2 - F_3 = 0,348 + 7,83 - 4,86 = 3,32 \text{ kN}$
- ✓ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: Λόγω των μικρών τιμών τίθεται ελάχιστος οπλισμός 4Φ14ανω +4Φ12 κάτω και συνδετήρες Φ8/20

# ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

- ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΙΧΙΟΥ



## ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

