

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ

ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ: Β΄

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΑ: ΜΗΛΙΤΣΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ (Α.Μ.31899)

ΣΑΒΒΙΔΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ (Α.Μ.32713)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΙΡΑΚΤΑΡΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 4
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ 5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 5
ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΩΘΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΓΑΙΩΝ 5
ΔΟΜΗ ΕΔΑΦΩΝ 6
ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΕΔΑΦΩΝ 6
ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ 7
ΤΥΠΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ 9
ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ 10
ΑΛΛΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΩΘΗΣΗΣ 13
Σχηματισμός πάγου 13
Εδαφικές τάσεις από σεισμό 13
Πίεση διόγκωσης 13
Ωθήσεις λόγω θερμοκρασίας 14
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ 14
ΤΥΠΟΙ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ 15
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ 24
ΘΕΩΡΙΕΣ ΤΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ 25
ΘΕΩΡΙΑ C. A. COULOMB 25
ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ RANKINE 30
ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ MOHR – COULOMB 31
ΚΥΡΙΕΣ ΤΑΣΕΙΣ 31
ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ 33
ΑΡΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΟΛΟΣΩΜΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ 34
Δυνάμεις που ενεργούν στον τοίχο 34
Αρχή του υπολογισμού 34
Επαλήθευση της ευστάθειας του τοίχου αντιστήριξης 36
Έλεγχος εσωτερικής ευστάθειας του τοίχου 37
Έλεγχος ευστάθειας του τοίχου σε ανατροπή 37
Έλεγχος ευστάθειας του τοίχου σε ολίσθηση 38
ΕΥΚΑΜΠΤΕΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ - ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ 40
ΓΕΝΙΚΑ 40
ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΘΗΣΕΩΝ 40
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ 40
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ 41
ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΑΠΛΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗ 41
ΓΕΝΙΚΑ 41
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ 41
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ 42
ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗ 42
ΓΕΝΙΚΑ 42
ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΘΗΣΕΩΝ 43
ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ 44
Η ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ 44
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ 45
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ 46
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 46

ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ 47
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ 51
ΓΕΝΙΚΑ 51
ΤΟΙΧΟΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ 55
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 57
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 58
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΣ ΤΟΙΧΟΣ 62
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 64
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 67
ΕΥΚΑΜΠΤΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ - ΠΕΤΑΣΜΑ 71
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 72
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 75
ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ – ΠΕΤΑΣΜΑ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ 79
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 80
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 83
ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ 87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 89

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο τοίχος αντιστήριξης είναι μια κατασκευή με την οποία μπορουμε να επιτύχουμε και να διατηρήσουμε τη διαφορά στάθμης μεταξύ δύο διαφορετικών επιφανειών στο έδαφος. Οι τοίχοι αντιστήριξης του εδάφους αποτελούν μια από τις πιο κοινές εφαρμογές της Εδαφομηχανικής. Οι πρώτες προσπάθειες για τη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους αφορούσαν την ευστάθεια των τοίχων.

Σε αυτή την εργασία μελετήθηκαν οι τοίχοι αντιστήριξης με τις μεθόδους των αναλυτικών και αριθμητικών προσομοιωμάτων. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν οι θεωρίες των Coulomb και Rankine, ενώ στην δεύτερη περίπτωση έγινε εφαρμογή του υπολογιστικού προγράμματος Plaxis®, με τη χρήση των πεπερασμένων στοιχείων. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μια σύγχρονη μέθοδος σχεδιασμού τεχνικών έργων, η οποία αυξάνει την ακρίβεια των υπολογισμών.

Η εκτίμηση της πραγματικής εσωτερικής εντατικής κατάστασης του εδάφους είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό τόσο της συμπεριφοράς του εδάφους όσο και την επιλογή και διαστασιολόγηση του στοιχείου αντιστήριξης. Η μηχανική συμπεριφορά των εδαφικών υλικών απέχει σημαντικά από τις προβλέψεις της γραμμικής ισότροπης ελαστικότητας, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τάσεων στο εσωτερικό του εδάφους.

Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα είδη προσομοιωμάτων: τοίχος βαρύτητας, οπλισμένος, εύκαμπτη αντιστήριξη και αντιστήριξη με απλή αγκύρωση. Η ανάλυση τους έγινε με διαφορετικές εδαφικές παραμέτρους και στάθμες υδροφόρων ορίζοντων, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το έδαφος περιέχει κόκκους διαφόρων μεγεθών, σε διάταξη που ποικίλλει και από αυτή τη σύνθεση καθώς και τη δομή του, εξαρτώνται οι μηχανικές του ιδιότητες. Σκοπός ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις διαφορετικές εδαφικές παραμέτρους και η σύγκριση της αριθμητικής – αναλυτικής μεθόδου.

Τέλος, τα αποτελέσματα από όλες τις αναλύσεις και προσομοιώματα, συγκρίνονται μεταξύ τους.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο τοίχος αντιστήριξης είναι μία κατασκευή με την οποία μπορούμε να επιτύχουμε και να διατηρήσουμε τη διαφορά στάθμης μεταξύ δύο διαφορετικών επιφανειών στο έδαφος. Οι πρώτες προσπάθειες για την μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους αφορούσαν την ευστάθεια των τοίχων. Η εκτίμηση της πραγματικής εσωτερικής εντατικής κατάστασης του εδάφους είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό, τόσο της συμπεριφοράς του εδάφους, όσο και την επιλογή και διαστασιολόγηση του στοιχείου αντιστήριξης. Σύμφωνα με αυτήν την άποψη ο VAUBAN [3], χωρίς να κάνει υπολογισμούς, προσπάθησε να τυποποιήσει τις διαστάσεις των τοίχων των οχυρών της Γαλλίας. Ένα αιώνα περίπου μετά, το 1776 ένας άλλος Γάλλος στρατιωτικός μηχανικός, ο COULOMB [3], ασχολήθηκε ιδιαίτερα με το θέμα των ωθήσεων στους τοίχους και με τις απόψεις του έβαλε τις βάσεις για τη γενικότερη μελέτη της αντοχής του εδάφους. Το 1857 ο RANKINE [2], θέλοντας να προσδιορίσει τις ωθήσεις του εδάφους, ξεκινά από διάφορες υποθέσεις - παραδοχές αρκετά απλοποιημένες, που προκύπτουν σαν συμπέρασμα από τη γενική θεωρία της ελαστικότητας. Σε αντίθεση με τον RANKINE, ο RESAL [2] συνεχιστής των απόψεων του BOUSSINESQ, θεωρεί ότι ένας όγκος εδάφους, μπορεί να περιορίζεται, όχι μόνο από την επάνω πλευρά του εδάφους αλλά και με ένα διαφορετικής κλίσεως επίπεδο από την κάτω και πλάγια πλεύρα. Στην συνέχεια ο PONCELET και ο CULMAN [1], [2] θέλησαν να προσδιορίσουν τον υπολογισμό των ωθήσεων των γαιών χρησιμοποιώντας γραφικές μεθόδους.

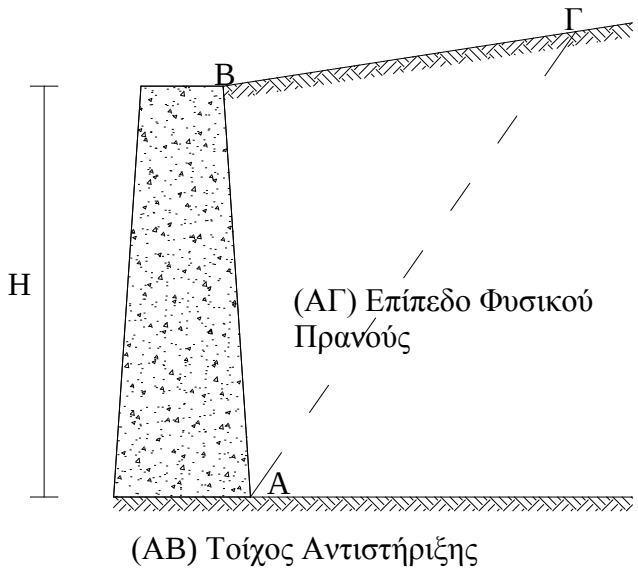
Σε πρόσφατη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι οι διαφορές μεταξύ της πραγματικής εντατικής κατάστασης του εδάφους και της υπολογιζόμενης με χρήση γραμμικής και ισότροπης συμπεριφοράς του εδάφους είναι σημαντικές [**28**]. Ακριβέστερη προσομοίωση μπορεί να γίνει με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων κα συγκεκριμένα με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων [25].

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΩΘΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΓΑΙΩΝ

Οι ωθήσεις που ασκεί το έδαφος πάνω στις κατασκευές που το συγκρατούν (τοίχοι αντιστήριξης, πασσαλότοιχοι) οφείλονται κυρίως στο ίδιο βάρος του εδάφους και εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του αλλά και τον τύπο της κατασκευής αντιστήριξης.

Τα εξωτερικά φορτία που δρουν κοντά στις κατασκευές αυτές καθώς και η πιθανή παρουσία υπόγειου νερού αυξάνουν σε μεγάλο βαθμό τις ωθήσεις αυτές.



Εικ. 1 Τοίχος Αντιστήριξης

Οι ωθήσεις του εδάφους που ασκούνται σ' ένα έργο αντιστήριξης, σύμφωνα με τον Coulomb [4], υπολογίζονται κατά την στιγμή που επανέρχεται η θραύση των αντιστηριζόμενων γαιών και για την ακρίβεια, λίγο πριν εκδηλωθεί η θραύση.

ΔΟΜΗ ΕΔΑΦΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΕΔΑΦΩΝ

Ο σχεδιασμός των θεμελιώσεων έχει άμμεση σχέση και απόλυτη επιρροή από το έδαφος, στο οποίο θα εδραστεί. Ως και το 1925 οι γνώσεις αναφορικά με την εδαφομηχανική και τις θεμελιώσεις ήταν σε μεγάλο βαθμό εμπειρικές. Στη συνέχεια η εδαφομηχανική αναπτύχθηκε στηριζόμενη περισσότερο πάνω σε ορθολογιστικές επιστημονικές βάσεις και λιγότερο πάνω σ' ένα σύνολο εμπειρικών γνώσεων.

Δυστυχώς όμως τα εδάφη δεν λειτουργούν μόνα τους αλλά σε συνεργασία με τις ιδιοτροπίες της φύσης και είναι αβέβαιο αν θα γίνει ποτέ ακριβής αποτύπωση των στοιχείων του εδάφους σε μια θεμελίωση, όταν μελετάμε κατασκευές από σκυρόδεμα ή και μεταλλικές κατασκευές.

Οι ιδιότητες του εδάφους μπορεί να μεταβάλλονται σημαντικά από θέση σε θέση, ακόμα και όταν αυτές βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Από την άλλη όμως πλευρά

μέσα σε λίγα εκατοστά του μέτρου το έδαφος μπορεί να αλλάξει τελείως μορφή και ιδιότητες [4].

ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ

Το έδαφος περιέχει κόκκους διαφόρων μεγεθών και σε διάταξη που ποικίλλει. Από αυτή τη σύνθεση και τη δομή του εξαρτώνται οι μηχανικές του ιδιότητες, δηλαδή η αντοχή του και οι καθιζήσεις που εκδηλώνονται όταν ασκηθούν σε αυτό δυνάμεις. Τα εδάφη χωρίζονται σε κοκκώδη και συνεκτικά.

Τα κοκκώδη εδάφη περιλαμβάνουν χονδρόκοκκες ιλύες, άμμους, χαλίκια και άλλα χονδρότερα υλικά [6]. Η εδαφική τους δομή εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- το μέγεθος, το σχήμα και την επιφανειακή τραχύτητα των μεμονωμένων κόκκων
- το εύρος των μεγεθών των κόκκων
- τον τρόπο απόθεσης
- τις τάσεις στις οποίες έχει υποβληθεί το έδαφος
- το βαθμό της σιμέντωσης των κόκκων, την ύπαρξη λεπτόκοκκου υλικού, την κατάσταση διάβρωσης.

Στα συνεκτικά εδάφη, οι κόκκοι των αργιλικών ορυκτών είναι πάρα πολύ μικροί ώστε να είναι ορατοί με γυμνό μάτι. Έχουν επιφάνειες ηλεκτρικά φορτισμένες, οι οποίες κυριαρχούν σε οποιαδήποτε διάταξη των κόκκων. Η μικροδομή των αργιλικών εδαφών είναι εξαιρετικά πολύπλοκη αλλά φαίνεται να επηρεάζεται κυρίως:

- από την ποσότητα και τον τύπο των αργιλικών ορυκτών
- την αναλογία ιλύος και άμμου
- το περιβάλλον της απόθεσης
- την χημική φύση του νερού των πόρων.

Και τα κοκκώδη και τα συνεκτικά εδάφη μπορούν να συμπεριφερθούν με τρόπο στραγγισμένο ή αστράγγιστο. Για να αποφευχθεί η σύγχυση μεταξύ των όρων, τα εδάφη χωρίζονται σε:

- Πολύ χονδρόκοκκα εδάφη (κόκκοι μεγαλύτεροι από 60mm)
- Χονδρόκοκκα εδάφη (περισσότερο από το 65% άμμος ή και χαλίκι)
- Λεπτόκοκκα εδάφη (περισσότερο από 35% άργιλος ή και ιλύς)
- Οργανικά εδάφη (αποτελούμενα από τύρφη, από λεπτόκοκκα, χονδρόκοκκα ή πολύ χονδρόκοκκα εδάφη με οργανική σύσταση).

Τα χονδρόκοκκα εδάφη προέρχονται κυρίως από τη μηχανική αποσάθρωση των βράχων, ενώ τα λεπτόκοκκα εδάφη από τη χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων. Οι διαφορές μεταξύ των χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων εδαφών εκτείνονται και πέραν του τρόπου γένεσής τους. Ειδικότερα, το μέγεθος των κόκκων τους διαφέρει σημαντικά: εδάφη με κόκκους μεγαλύτερους από 2mm ανήκουν στην κατηγορία των χαλίκων, οι άμμοι έχουν κόκκους με διαστάσεις από 2mm έως 0,06mm (η διάσταση αυτή είναι περίπου ίση με το μικρότερο μέγεθος κόκκου που είναι ορατός με γυμνού μάτι), οι ιλείς έχουν κόκκους από 0,06mm έως 0,002mm και τέλος οι άργιλοι έχουν κόκκους με μέγεθος μικρότερο από 0,002mm. Οι κόκκοι των άμμων και των χαλίκων είναι γενικά σφαιροειδείς, με την έννοια ότι η μέγιστη και η ελάχιστη διάσταση του κόκκου δεν διαφέρουν σημαντικά: ακόμη και στην περίπτωση πολύ πεπλατυσμένων κόκκων, ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη διάσταση δεν υπερβαίνει το πέντε. Η μορφή της επιφάνειας των κόκκων ποικίλλει και κυμαίνεται μεταξύ λείας (στην περίπτωση εδαφών που η επιφάνεια των κόκκων τους έχει λειανθεί από τη διάβρωση) και γωνιώδους (στην περίπτωση πρόσφατων κλασικών ιζημάτων). Η διάταξη των κόκκων των χονδρόκοκκων εδαφών καθορίζεται από το βάρος, τις διαστάσεις, τη μορφή της επιφάνειας και τις μηχανικές δυνάμεις επαφής που ασκούνται μεταξύ των κόκκων. Η μηχανική αυτή διάταξη των κόκκων δημιουργεί μια δομή (εδαφικός σκελετός) με πυκνότητα που κυμαίνεται μεταξύ μιας ελάχιστης τιμής (πολύ χαλαρή δομή) και μιας μέγιστης τιμής (πολύ πυκνή δομή). Πάντως, η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης πυκνότητας δεν είναι σημαντική, επειδή σε όλες τις περιπτώσεις οι κόκκοι βρίσκονται σε επαφή.

Σε αντίθεση με τα χονδρόκοκκα εδάφη, οι κόκκοι των λεπτόκοκκων εδαφών είναι πολύ πεπλατυσμένοι και έχουν τη μορφή πλακιδίων (αργιλικά πλακίδια) με μικρό πάχος που είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το μόριό τους. Αντίθετα, στις άλλες δύο διαστάσεις ο κρύσταλλος των αργιλικών πλακιδίων αναπτύσσεται κανονικά με τη διάταξη μεγάλου αριθμού μορίων.

Τα λεπτόκοκκα εδάφη ονομάζονται επίσης και συνεκτικά, επειδή παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους (που οφείλεται στις ηλεκτρικές έλξεις μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων). Αντίστοιχα, τα χονδρόκοκκα εδάφη ονομάζονται και μή-συνεκτικά, επειδή δεν παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους.

ΤΥΠΟΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ

Το είδος, το μέγεθος και η διανομή των ωθήσεων που ασκεί το έδαφος στην κατασκευή εξαρτάται και από τις δυνατότητες μετακινήσεως και παραμορφώσεως του αντιστηριζόμενου εδάφους. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες ωθήσεων [4]:

- η ουδέτερη ώθηση,
- η ενεργητική ώθηση και
- η παθητική ώθηση.

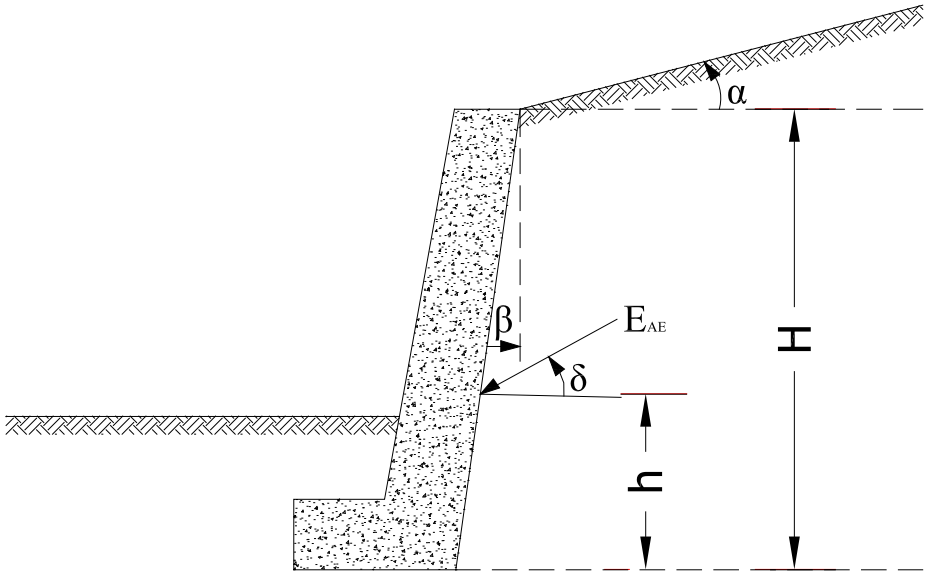
Στην ουδέτερη ώθηση, η κατασκευή δεν μπορεί να μετακινηθεί προς καμία κατεύθυνση αλλά ούτε και το έδαφος. Στην ενεργητική ώθηση, η κατασκευή και το έδαφος μετακινούνται προς την ίδια κατεύθυνση. Τέλος στην παθητική ώθηση, η κατασκευή μετακινείται σε αντίθετη κατεύθυνση με το έδαφος.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ωθήσεων των γαιών, στηρίζονται σε διάφορες θεωρίες και εμπειρικά δεδομένα. Ανάλογα με το αντικείμενο του προβλήματος επιλέγουμε και την κατάλληλη μέθοδο. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές είναι [4], [7]:

1. Η μέθοδος του Coulomb, δια της θεωρήσεως του πρίσματος των γαιών.
2. Η μέθοδος του Rankine που βασίζεται στην θεωρία της πλαστικότητας.
3. Η μέθοδος που βασίζεται στην θεωρία της ελαστικότητας και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό κατακόρυφων και πλευρικών πιέσεων από εξωτερικά φορτία.
4. Η μέθοδος που βασίζεται σε εμπειρικές προσεγγίσεις και χρησιμοποιείται κυρίως για τον υπολογισμό αγκυρωμένων πασσαλοσανίδων.

ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η πλευρική ώθηση εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:



Εικ. 2 Τοίχος Αντιστήριξης (Χαρακτηριστικά Εδάφους)

- ***Φαινόμενο βάρος εδάφους*** $\left(\gamma_{\text{εδάφους}}\right)$***:*** Η πλευρική πίεση είναι ανάλογη με το φαινόμενο βάρος του εδάφους. Η τιμή του $\gamma_{\text{εδάφους}}$ πρέπει να καθορίζεται με δοκιμές, αλλά για χαμηλούς τοίχους μπορεί να εκτιμηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα γεώμορφα χαρακτηριστικά του εδάφους (συντηρητικές εκτιμήσεις). Αν παραλείψουμε τη διαδικασία συμπύκνωσης, το φαινόμενο βάρος του εδάφους εξαρτάται επίσης από τα ορυκτολογικά συστατικά και από την ποσότητα νερού που περιέχεται στους πόρους. Η επίδραση του νερού θα εξαρτηθεί από το αν το έδαφος είναι (α) ακόρεστο, (β) κεκορεσμένο και (γ) κάτω από το φρεάτιο ορίζοντα (βυθισμένο φαινόμενο βάρος). Σε κοκκώδη εδάφη η πυκνότητα μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο λόγω δονήσεων από μηχανήματα ή από αυτοκίνητα. Η συμπύκνωση λόγω επιφόρτισης μπορεί να αυξήσει επίσης την πυκνότητα.
- ***Γωνία εσωτερικής τριβής*** (ϕ)***:*** Ορίζεται η γωνία διατμητικής αντοχής του εδάφους. Εξαρτάται από την πυκνότητα, το είδος του υλικού και την παρουσία του νερού. Το νερό τείνει να μειώσει τη γωνία εσωτερικής τριβής των κόκκων. Αν η πίεση πόρων υπερβεί μία συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου, το έδαφος συμπεριφέρεται σαν να έχει λίγη ή να μην έχει καθόλου γωνία εσωτερικής τριβής (η αντοχή σε διάτμηση τείνει στο μηδέν). Σε περίπτωση ενεργών τάσεων, όσο μικρότερη είναι η γωνία εσωτερικής τριβής,

τόσο μεγαλύτερη γίνεται η πλευρική πίεση, διότι ο όρος $\tan^2\left(45-\frac{\phi}{2}\right)$ τείνει προς τη μονάδα. Πηλώδη υλικά συνήθως έχουν μικρότερες εσωτερικές γωνίες τριβής, πράγμα που προκαλεί την αύξηση των συντελεστών ώθησης. Για το λόγο αυτό τα κοκκώδη υλικά είναι προτιμητέα για επιχώσεις. Δεύτερον πλεονέκτημα του κοκκώδους υλικού είναι η καλύτερη αποστράγγιση.

- ***Γωνία*** (a)***:*** Η γωνία a που σχηματίζει η πίσω επιφάνεια του τοίχου με το οριζόντιο επίπεδο αποτελεί γεωμετρικό στοιχείο της κατασκευής. Σήμερα, σε τοίχους από οπλισμένο σκυρόδεμα, για ευκολία στο καλούπωμα, συνηθίζεται γωνία $a = 90^o$.

- ***Συνοχή*** (c)***:*** Είναι η «συγκόλληση» των κόκκων λόγω ηλεκτροχημικών ή άλλων δυνάμεων και είναι σημαντικός παράγοντας που συντελεί στην παραμόρφωση των εδαφών. Η τιμή της πρέπει να καθορίζεται εργαστηριακά. Ορισμένα βιβλία παρέχουν πίνακες με τις συνηθισμένες τιμές. Καθώς η συνοχή εξαρτάται από το βαθμό διατάραξης, τον τροχό δοκιμής, το είδος του εδάφους και από άλλους παράγοντες, η τιμή της πρέπει να καθορίζεται με εργαστηριακές δοκιμές. Μπορεί να χρειαστεί να καθορίσουμε την επίδραση του νερού στη συνοχή. Σύμφωνα με τον κώδικα του STRUCTURAL ENGINEERS INSTITUTION [1] αναφέρει ότι μπορούμε να θεωρήσουμε τη προσφυγή του τοίχου ίση με τη συνοχή του εδάφους, με μέγιστη τιμή $0,5\frac{Kgr}{cm^2}$ εκτός αν οι δοκιμές μας παρέχουν μεγαλύτερες τιμές. Ο Huntington [1] συνιστά πρόσφυση τοίχου - γαιών ίση προς $c' = \frac{2c}{3}$ για τον υπολογισμό τοίχων αντιστήριξης. Ορισμένοι μελετητές δεν λαμβάνουν υπ' όψη την επίδραση της πρόσφυση, μεταξύ τοίχου και γαιών, και κάνουν πιο συντηρητικό υπολογισμό.

- ***Γωνία τριβής τοίχου – γαιών*** (δ)***:*** Ο καθορισμός αυτής της παραμέτρου είναι δύσκολος μολονότι εξαρτάται από το είδος και την πυκνότητα του εδάφους, το πόσο λείος είναι ο τοίχος και από την παρουσία νερού. Η τριβή μεταξύ τοίχου και γαιών επηρεάζεται επίσης από διάφορες δονήσεις και αλλαγές της θερμοκρασίας. Αν η πίσω πλευρά του τοίχου είναι λεία τότε η $\delta \Rightarrow 0$ και αν είναι πολύ τραχεία, το χώμα γεμίζει τις ανωμαλίες και η αστοχία σε διάτμηση θα γίνει κατά μήκος επιφανειών του χώματος, δηλαδή $\delta \Rightarrow \phi$. Η γωνία τριβής τοίχου - γαιών μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, ανάλογα με την κατακόρυφη μετακίνηση του τοίχου σε σχέση με τη μάζα εδάφους (θετική αν ο τοίχος κινείται προς τα κάτω).

Η γωνία τριβής δ επηρεάζει σημαντικά τους συντελεστές ώθησης των γαιών της θεώρησης του COULOMB, ανάλογα με τη κλίση του επιχώματος, β. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι, αν το $\beta = 0$ και $\phi = 20^o$, η ώθηση των γαιών επάνω στον τοίχο παρουσιάζει αύξηση κατά 10% αν πάρουμε $\delta = 0$ αντί του σωστού $\delta = 10^o$.

Οι τιμές τριβής τοίχου - γαιών που προτείνει ο Teng [1] έχουν ως εξής:

Υλικό τοίχου	**Γωνία τριβής τοίχου δ**
Σιδερένιες πασσαλοσανίδες με ασφαλτική επάλειψη	30^o
Τοίχος από σκυρόδεμα ή τούβλα	20^o
Σιδερένιες πασσαλοσανίδες χωρίς επάλλειψη	15^o
Όταν τοίχος και έδαφος υφίσταται την ίδια μετακίνηση	0^o
Όταν τοίχος και έδαφος υπόκεινται σε δονήσεις	0^o

Οι TERZAGHI και PECK [1] έχουν προτείνει την τιμή της γωνίας τριβής τοίχου - γαιών $\delta = \frac{1}{2}$ (επί ϕ) έως $\frac{3\phi}{4}$. Ο Huntington προτείνει την τιμή $\frac{2\phi}{3}$ όταν δεν υπάρχουν εργαστηριακά στοιχεία. Οι τιμές $\delta < \varphi$ δικαιολογούνται από το γεγονός ότι οι τοίχοι από το μπετόν είναι σχετικά λείοι λόγω των ξυλοτύπων. Οι σιδερένιες πασσαλοσανίδες θεωρούνται επίσης σχετικά λείες, λόγω της κατεργασίας της ελάσεως. Σήμερα πάντως οι πιο πολλοί μελετητές χρησιμοποιούν τις παρακάτω γωνίες δ:

1)Εσωτερική επιφάνεια λεία, ή με κορεσμό υγρασίας $\delta = 0$

2)Εσωτερική επιφάνεια τοίχου τραχεία (beton arme) $\delta = \frac{2\phi}{3}$

3)Εσωτερική επιφάνεια τοίχου πάρα πολύ τραχεία (ξηρολιθοδομή) $\delta = \phi$.

- ***Γωνία κλίσης επιχώματος*** (β)***:*** Η γωνία κλίσης του επιχώματος είναι ένα δοσμένο γεωμετρικό στοιχείο του προβλήματος. Από τις λύσεις RANKINE και COULOMB παρατηρούμε ότι η κατακόρυφη συνιστώσα της ώθησης των γαιών, βοηθά τη αύξηση της σταθερότητας του τοίχου, αντισταθμίζοντας κάπως την αύξηση της πλευρικής ώθησης που προκαλείται από το κεκλιμένο επίχωμα. Συνήθως, επί το συντηριτικότερον δεν λαμβάνεται υπόψη τους στους υπολογισμούς η κατακόρυφη συνιστώσα της ώθησης των γαιών.

- ***Γωνία διασταλτικότητας*** (ψ^o)***:*** εξαρτάται από την πυκνότητα και από την γωνία τριβής (ϕ). Στις περισσότερες περιπτώσεις η γωνία διασταλτικότητας είναι μηδέν για τιμές

$\phi < 30^{o}$. Αρνητική τιμή της γωνίας αυτής είναι δυνατόν να παρατηρηθεί στην περίπτωση εξαιρετικά χαλαρών άμμων.

- ***Λόγος Poisson*** (ν)***:*** είναι ο λόγος της πλευρικής (εγκάρσιας) προς την αξονική παραμόρφωση σε περίπτωση μονο-αξονικής καταπόνησης.

ΑΛΛΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΩΘΗΣΗΣ

Σχηματισμός πάγου

Μπορούν να αναπτυχθούν πλευρικές ωθήσεις, όταν παγώσει το νερό των πόρων του εδάφους. Αυτό συνήθως δεν είναι σοβαρό πρόβλημα, εκτός αν σχηματισθούν εντός των εδαφικών στρώσεων φακοί πάγου. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας για το επίχωμα κοκκώδες υλικό και με την υλοποίηση κατάλληλων διατάξεων αποστράγγισης της εδαφικής μάζας [1], [2].

Εδαφικές τάσεις από σεισμό

Η ώθηση των γαιών μπορεί να αυξηθεί λόγω σεισμικών δονήσεων του εδάφους. Για τους τοίχους με συνηθισμένο ύψος, παίρνουμε την αύξηση αυτή ίση με 10% της υπολογισμένης ώθησης. Η αύξηση είναι συνάρτηση και της σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής [1], [2].

Δονήσεις μακράς διαρκείας, μπορούν να επιφέρουν αυξήσεις των ωθήσεων πολύ μεγαλύτερες αυτών που προκαλούνται λόγω σεισμού. Ο Barkan αναφέρει ότι ο συντελεστής τριβής $(\tan\phi)$ με δονήσεις μπορεί να λάβει τιμή 25 έως 30% μικρότερη του αρχικού συντελεστή. Αυτό αυξάνει την ώθηση των γαιών στον τοίχο για έδαφος με $\phi = 30^{o}$ (χωρίς δονήσεις) γύρω στα 30% [1], [2].

Πίεση διόγκωσης

Μπορούν να αναπτυχθούν μεγάλες ωθήσεις πίσω από ένα τοίχο αν το επίχωμα είναι από άργιλο που διογκώνεται όταν βραχεί. Ο υπολογισμός αυτών των ωθήσεων είναι πολύ δύσκολος. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται, αν το επίχωμα κατασκευαστεί από κοκκώδες υλικό [1], [2].

Ωθήσεις λόγω θερμοκρασίας

Τοίχοι που συγκρατούν υλικά που παρουσιάζουν θερμότητα μπορεί να υποστούν ανεπιθύμητα φορτία. Αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα αυτό παρεμβάλλοντας αρθρώσεις, κυλίσεις [1], [2].

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΙΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Σήμερα υπάρχουν κανονισμοί και οδηγίες [8] που λαμβάνουν υπόψη τους την επίδραση των σεισμικών εντάσεων σε τοίχους αντιστήριξης και θεμέλια και δίνουν υπολογιστικές και κατασκευαστικές συμβουλές.

Τα έργα αντιστήριξης σχεδιάζονται έτσι ώστε να εκπληρώνουν το σκοπό τους κατά τη διάρκεια και μετά το σεισμό, χωρίς να υποστούν σημαντικές βλάβες, ούτε τα ίδια αλλά ούτε και τα αντιστηριζόμενα στοιχεία.

Οι κανόνες εφαρμογής που αναφέρονται παρακάτω είναι εν μέρει επαρκώς συντηρητικοί για τις συνήθεις περιπτώσεις τοίχων αντιστήριξης [3], [8]. Σε ειδικές περιπτώσεις υψηλών τοίχων (με ύψος μεγαλύτερο από $10m$) οι οποίοι εδράζονται σε μαλακές εδαφικές στρώσεις μεγάλου πάχους (άνω των $30m$) πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης των γαιών. Εάν δεν γίνεται ακριβέστερη εκτίμηση, οι ωθήσεις από τον σεισμό μπορούν να εκτιμηθούν με τις ακόλουθες μεθόδους:

- Τοίχοι που διαθέτουν δυνατότητα μετακίνησης και παραμόρφωσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τοίχοι που είτε διαθέτουν δυνατότητα ολίσθησης - στροφής στην έδραση είτε είναι παραμορφώσιμοι με αναμενόμενη μετακίνηση στην κορυφή τουλάχιστον $0{,}10\%$ του ύψους [8].
- Ακλόνητοι τοίχοι. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τοίχοι που είναι πρακτικώς απαραμόρφωτοι και έχουν ακλόνητη έδραση. Τέτοιοι τοίχοι είναι οι περιμετρικοί τοίχοι υπογείων ορόφων κτιρίων συνδεδεμένοι με τις πλάκες ή τοίχοι φρεάτων, υπογείων δεξαμενών [8].
- Κορεσμένα εδάφη – υδροδυναμική πίεση. Στα περισσότερα εδάφη, στο τμήμα που βρίσκεται κάτω από τον υπόγειο ορίζοντα, δεν είναι δυνατή κατά την διάρκεια του σεισμού, κίνηση του νερού ανεξάρτητη από τον εδαφικό ιστό [8].
- Αγκυρώσεις. Οι αγκυρώσεις πρέπει να εξασφαλίζουν την ισορροπία του κρίσιμου πρίσματος ολισθήσεως υπό σεισμικές συνθήκες [8].

ΤΥΠΟΙ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

α. Τοίχοι αντιστήριξης από ξηρολιθοδομή

Πρόκειται ίσως για την παλαιότερη μορφή κατασκευής. Ένας τοίχος αντιστήριξης από ξηρολιθοδομή είναι κατασκευασμένος από πλατειές συνήθως πέτρες (για την καλύτερη κατανομή των εσωτερικών δυνάμεων), χωρίς μεταξύ τους συνδετικό κονίαμα [2].



Εικ. 3 Τοίχος Αντιστήριξης Από Ξηρολιθοδομή [12]

Η ευστάθεια των έργων αυτών εξαρτάται κυρίως από την τεχνική του κτισίματός τους, δηλαδή την πρόσφυση κατακόρυφων αρμών και τη διατήρηση οριζόντιων αρμών. Τα διάφορα φορτία (ωθήσεις και ίδιο βάρος), κατανέμονται μεταξύ των πετρών, κατά την κατακόρυφη έννοια, σημειακά. Με τον τρόπο αυτό η επιλογή από τον κατασκευαστή πεπλατυσμένων πετρών είναι αναγκαία για την αποφυγή της σημειακής στηρίξεως και τη μετατροπή της σε κατανεμημένη. Τα έργα αυτά δεν υπερβαίνουν, συνήθως, τα δύο μέτρα ελεύθερο ύψος, εκτός βέβαια από ορισμένες περιπτώσεις παλαιών κατασκευών, που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό ογκόλιθοι. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα διατηρούμενα μέχρι σήμερα τείχη αρχαίων ακροπόλεων (Μυκήνες, Τίρυνθα, κλπ.) και διαφόρων άλλων οχυρωματικών έργων. Σήμερα τέτοιες κατασκευές συναντάμε στις διαμορφώσεις αναβαθμών σε καλλιεργήσιμες συνήθως περιοχές.

β. Τοίχοι αντιστηρίξεως από λιθοδομή

Είναι κατασκευές ανάλογες, μορφολογικά τουλάχιστον, με τους τοίχους από ξηρολιθοδομή, με τη διαφορά ότι η σύνδεση των λίθων γίνεται με κονίαμα απλό ή ενισχυμένο (ασβεστοκονίαμα, ασβεστοτσιμεντοκονίαμα) [4]. Τα διάφορα φορτία (ίδιο

βάρος, ωθήσεις γαιών) κατανέμονται πλέον επιφανειακά στις επιφάνειες των στρώσεων από πέτρες και κονίαμα με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αντοχής.

Η καλή εσωτερική κατανομή των δυνάμεων στους τοίχους από λιθοδομή είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ελεύθερου ύψους του τοίχου στις διάφορες χρήσεις του. Το μειονέκτημα όμως των έργων αυτών ήταν ότι λόγω του μεγάλου σχετικά ίδιου βάρους, είναι αντιοικονομική σε αρκετές περιπτώσεις, η θεμελίωση τους σε εδάφη όχι συνεκτικά, δηλαδή χαμηλής αντοχής [2], [3].



Εικ. 4 Τοίχος Αντιστήριξης Από Λιθοδομή [13]

Η ψαθυρότητα που χαρακτηρίζει τη φύση των υλικών που αποτελούν ένα τοίχο αντιστήριξης από λιθοδομή, δηλαδή οι πέτρες και το κονίαμα, δεν επιτρέπουν την παραλαβή, δυνάμεων ελκυσμού αλλά και την παρακολούθηση των παραμορφώσεων (λόγω καθιζήσεων) στον ορίζοντα θεμελίωσής του.

Οι τοίχοι αντιστήριξης από λιθοδομή είχαν παλαιότερα μεγάλη εφαρμογή. Με την εισαγωγή όμως νέων υλικών δομήσεως (πχ. σκυρόδεμα) άρχισε σταδιακά η εγκατάλειψη της κατασκευής τους, αφού κρίθηκε σαν αντιοικονομική σε σύγκριση με τους τοίχους από άοπλο και οπλισμένο σκυρόδεμα.

γ. Τοίχοι αντιστήριξης από άοπλο σκυρόδεμα

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, το σκυρόδεμα αποκτά ουσιαστική συμμετοχή στην κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, κατ' αρχήν με την υλοποίηση έργων αντιστήριξης από άοπλο σκυρόδεμα [2].



Εικ. 5 Τοίχος Αντιστήριξης Από Λιθόδεμα [15]

Το μεγάλο πλεονέκτημα της έγχυσης του σκυροδέματος σε ξυλότυπους, έδωσε τη δυνατότητα, στο σχεδιασμό διατομών με στόχο την εκμετάλλευση του τρόπου εδράσεως, των κλίσεων του τοίχου κατά τα ανάντι και κατάντι κλπ. Καθώς οι τοίχοι αντιστήριξης από άοπλο σκυρόδεμα είναι έργα βαριά, ογκώδους κατασκευής, δύσκαμπτα όπως και οι τοίχοι από λιθοδομή, πρέπει να κατασκευάζονται σε εδάφη κατά το πλείστον συνεκτικά.



Εικ. 6 Τοίχοι Αντιστήριξης Από Άοπλο Σκυρόδεμα [16]

Λόγω της μονολιθικότητας της κατασκευής, η κατανομή των φορτίων (ίδιο βάρος, ωθήσεις γαιών) είναι στην περίπτωση αυτή αρμονικά κατανεμημένα στον κορμό του τοίχου, με αποτέλεσμα να πλεονεκτεί ως προς την στατική ευστάθεια σε σύγκριση με τους λιθοδόμητους τοίχους (με ή χωρίς συνεκτική κονία).

Η ανάπτυξη όμως εσωτερικών εντατικών καταστάσεων, λόγω αυξήσεως της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (διαστολή) αλλά και λόγω πήξεως του σκυροδέματος

σε αυξομείωση βαθμών κελσίου όπως ορίζει ο κανονισμός, απαιτεί κατακόρυφους αρμούς διακοπής (αρμοί διαστολής) για την αποφυγή εμφάνισης ρηγματώσεων.

Στην κατηγορία των τοίχων από άοπλο σκυρόδεμα εντάσσονται και οι τοίχοι από λιθόδεμα. Η ανάγκη της χρησιμοποίησης, λιθοδέματος σ' αυτού του είδους τις κατασκευές έγκειται σε λόγους καθαρά οικονομικούς. Αντικαθίσταται δηλαδή ένα μέρος του όγκου του έργου, της τάξεως συνήθως του 15%, με πέτρες ή λιθοσυντρήματα λατομείου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται περισσότερη οικονομία στην κατασκευή χωρίς ουσιαστικά να αλλάζει όμως η στατική ευστάθεια του έργου [3].

δ. Τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η χρησιμοποίηση του οπλισμένου σκυροδέματος στην κατασκευή τοίχων αντιστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των διαστάσεων και του ίδιου βάρους του τοίχου. Το ίδιο βάρος ενός τοίχου αντιστήριξης επιδρά μεν ευνοϊκά στην ευστάθεια του τοίχου έναντι ανατροπής, επαυξάνει δε, σημαντικά την πίεση του εδάφους στη βάση της θεμελιώσεως του τοίχου [2].

Με κατάλληλη διαμόρφωση της προεξοχής του θεμελίου προς την πλευρά των γαιών που πρέπει να αντιστηριχθούν και με την ευνοϊκή επίδραση του ίδιου βάρους έναντι ανατροπής αντικαθίσταται από το ίδιο βάρος. Το ίδιο βάρος είναι, είτε των υπερκειμένων γαιών, είτε άλου υλικού (π.χ. λιθορριπή) που τοποθετείται πάνω από την προεξοχή του θεμελίου, χωρίς να αυξάνεται υπερβολικά η τάση στο έδαφος θεμελιώσεως.

Όταν το ύψος των γαιών που πρέπει ν' αντιστηριχθούν είναι μεγάλο, οι τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι οικονομικότεροι από τοίχους από άλλα υλικά (πχ. λιθοδομή ή λιθόδεμα).



Εικ. 7 Τοίχος Αντιστήριξης Από Οπλισμένο Σκυρόδεμα [17]

Η μεγάλη μείωση του ίδιου βάρους στους τοίχους από οπλισμένο σκυρόδεμα και η πλήρη εκμετάλλευση του βάρους του πρίσματος των γαιών σαν δύναμη ευστάθειας, έχει σαν αποτέλεσμα την χρησιμοποίηση τέτοιων κατασκευών σε εδάφη όχι συνεκτικά χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις θεμελιώσεως [3].

ε. Τοίχοι μεταλλικοί

Αποτελούνται από ένα απλό διάφραγμα από πασσαλοσανίδες που πακτώνονται στο έδαφος και αγκυρώνονται σε ένα ή περισσότερα σημεία [2].

Η λύση των μεταλλικών τοίχων είναι δαπανηρή λόγω του μεγάλου κόστους των πασσαλοσανίδων για αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως για προσωρινές αντιστηρίξεις κάτω από τη στάθμη του υπογείου ορίζοντα. Μετά το τέλος της εκσκαφής και του έργου που πρόκειται να κατασκευασθεί (π.χ. αποχέτευση), αφαιρούνται για να χρησιμοποιηθούν σε άλλο έργο. Ο μεταλλικός τοίχος αντιστήριξης μπορεί να κατασκευασθεί από κυματοειδή ελάσματα που δημιουργούν κιβώτια τα οποία γεμίζονται με χώμα για να αποκτήσουν την απαιτούμενη ευστάθεια.



Εικ. 8 α)Μεταλλικός Τοίχος [18] β)Μεταλλικός Τοίχος Από Κυματοειδή Ελάσματα [19]

ζ. Διαφραγματικοί τοίχοι (Πετάσματα)

Αυτοί οι τοίχοι διαφέρουν από τους τοίχους βαρύτητας από το γεγονός ότι κατασκευάζονται επιτόπου πριν από την εκσκαφή ώστε να υποστηρίξουν το έδαφος. Οι διαφραγματικοί τοίχοι είναι λυγηρές κατασκευές και αυτό σημαίνει ότι: α) το ίδιο βάρος τους αγνοείται και κανονικά δεν αλληλεπιδρούν κατακόρυφα με το έδαφος από κάτω τους, β) δε χρειάζονται έλεγχο έναντι ολίσθησης ή αστοχίας φέρουσας ικανότητας, γ) βασίζονται στην ενεργοποίηση της παθητικής ώθησης στο εμπρός τμήμα τους για στήριξη κάτω από στάθμη εκσκαφής, δ) αναμένεται ότι θα παραμορφωθούν, τουλάχιστον κάτω από στάθμη εκσκαφής, ε) συνήθως αντιστηρίζονται ή αγκυρώνονται επάνω από το βάθος εκσκαφής, οπότε οι πιέσεις που μπορεί να αναπτυχθούν πίσω από έναν τοίχο εξαρτώνται από την ευκαμψία του τοίχου, το μέγεθος της αντιστήριξης που παρέχεται και τη στάθμη στην οποία εφαρμόζεται [6].



Εικ. 9 Διαφραγματικός Τοίχος [20]

Οι τοίχοι αυτοί πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να αποτρέπουν:

1) την γενική αστοχία λόγω περιστροφής ή ολίσθησης σε βάθος
2) την έλλειψη κατακόρυφης ισορροπίας
3) την δομική αστοχία λόγω καμπτικής ροπής ή διάτμησης
4) την υπερβολική παραμόρφωση
5) την αστάθεια σε ανατροπή – ισορροπία ροπών
6) την αστοχία λόγω μετακίνησης.

Τους διαφραγματικούς τοίχους τους διακρίνουμε ως εξής:

- Για την αντιστήριξη γαιών σε:
  - ***Έγχυτους διαφραγματικούς τοίχους από σκυρόδεμα:*** Τοίχοι από άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα, των οποίων η κατασκευή περιλαμβάνει τη διάνοιξη κατάλληλης τάφρου εντός του εδάφους, με ή χωρίς την υποστήριξη των τοιχωμάτων της, με τη βοήθεια ειδικού κοπτικού (μπένας ή φρέζας) ορθογωνικής διατομής και υδραυλικής ή μηχανικής λειτουργίας και στη συνέχεια την πλήρωση της τάφρου με σκυρόδεμα.
  - ***Διαφραγματικοί τοίχοι από προκατασκευασμένα πετάσματα:*** Τοίχοι από προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος τα οποία τοποθετούνται σε τάφρο εντός του εδάφους, η οποία κατασκευάζεται με ή χωρίς την υποστήριξη του τοιχώματος της και περιέχει αποσκληρυνόμενο αιώρημα.

- ***Οπλισμένοι διαφραγματικοί τοίχοι αιωρήματος:*** Τοίχοι από σκληρυνόμενο αιώρημα που χρησιμεύει και ως στηρικτικό υγρό κατά την εκσκαφή. Μπορεί να είναι άοπλοι ή οπλισμένοι με σιδηροδοκούς ή πλέγματα.

- Για τη στεγάνωση ή παρεμπόδιση κυκλοφορίας ύδατος ή ρυπαντικού υγρού σε:
  - ***Διαφραγματικούς τοίχους μπετονικού αιωρήματος***
  - ***Διαφραγματικούς τοίχους πλαστικού σκυροδέματος***.

η. Διαφραγματικοί τοίχοι εν προβόλω (Αυτοευσταθή Πετάσματα)

Συχνά χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι πασσαλότοιχοι που εισχωρούν στο έδαφος, για να υποστηρίξουν τις κατακόρυφες πλευρές των εκσκαφών κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Για να αποφευχθεί εσωτερική αντιστήριξη ή εξωτερική αγκύρωση προτιμάται, αν υπάρχει δυνατότητα, ο σχεδιασμός ώστε ο τοίχος να λειτουργεί ως πρόβολος. Οι πάσσαλοι αφαιρούνται αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή κάτω από το έδαφος και γίνει η επίχωση. Το ύψος του πρέπει να κυμαίνεται από τρία έως πέντε μέτρα, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και την παρουσία ή όχι νερού. Οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις και η εξώθηση της κορυφής του τοίχου μπορεί να είναι σημαντικές [6].

Συνεχείς πασσαλότοιχοι έγχυσης και διαφραγματικοί τοίχοι χρησιμοποιούνται επίσης συχνά ως πρόβολοι για μόνιμες εφαρμογές, όπως κατασκευές αντιστήριξης κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων. Λόγω των ελάχιστων δονήσεων κατά τη διάτρηση για την αφαίρεση του υλικού, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να υιοθετηθούν για τοίχους κοντά σε υπάρχουσες κατασκευές. Οι διαφραγματικοί τοίχοι είναι οι πιο κατάλληλοι όπου υπάρχει υψηλός υδροφόρος ορίζοντας, και όπου απαιτείται μεγαλύτερη καμπτική αντίσταση.

ι. πασσαλοσανίδες

Οι πασσαλοσανίδες θεωρούνται μεμονωμένα στοιχεία ενός τοίχου αντιστήριξης και αποτελούνται από πασσάλους (μονούς, διπλούς ή πολλαπλούς). Η κατασκευή τους γίνεται μέσω αρμών αλληλεμπλοκής σε κατά μήκος τοποθέτηση ή με τη βοήθεια ειδικών συνδετήρων. Είναι μια σύνθετη κατασκευή γιατί αποτελείται από τα στοιχεία των πασσαλοσανίδων, το αντιστηριζόμενο υλικό, τις αγκυρώσεις, τις διαδοκίδες και τις οριζόντιες δοκούς στήριξης. Χρησιμοποιούνται για αντιστήριξη εδάφους και νερού.



Εικ. 10 Τοίχος Από Πασσαλοσανίδες [21]

κ. Γενικές μορφές τοίχων



Εικ. 11 Διάφορες Μορφές Τοίχων [29], [30], [31]

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

- ***Υλικό κατασκευής***

Το υλικό κατασκευής των τοίχων αντιστήριξης επηρεάζει το σχεδιασμό τους, λόγω της ίδιας του αντοχής και του ίδιου βάρους του. Από την κατάλληλη εκλογή του υλικού εξαρτάται και η τεχνοοικονομικότητα της λύσης.

- ***Συνθήκες δομήσεως***

Όταν οι συνθήκες είναι δυσμενείς, όπως π.χ. κάτω από τη στάθμη του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, αποκλείονται ορισμένοι τύποι τοίχων που θα ήταν προτιμότεροι σε άλλες συνθήκες. Πάντοτε στις περιπτώσεις αυτές, η εκλογή του τύπου του τοίχου αντιστηρίξεως γίνεται με κριτήριο τον οικονομικότερο τρόπο εκτέλεσης του έργου.

- ***Φύση του εδάφους***

Πρόκειται για τον καθοριστικότερο παράγοντα στη σχεδίαση των τοίχων αντιστήριξης γιατί η τιμή των ωθήσεων επί του τοίχου εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους. Έτσι για πολύ συνεκτικά εδάφη ή πετρώματα ο τοίχος αντιστήριξης αποτελεί απλή επένδυση, ενώ για τα χαλαρά εδάφη έχουμε μεγάλες ωθήσεις με αποτέλεσμα να αποκλείονται έτσι ορισμένοι τύποι τοίχων αντιστηρίξεως [2].

Η εκλογή μορφής του τοίχου εξαρτάται και από το έδαφος θεμελίωσης. Είναι γεγονός ότι για καλή ποιότητα εδάφους έχουμε τη δυνατότητα να κατασκευάσουμε τοίχο με μεγάλο ίδιο βάρος ή τοίχο που θα μεταφέρει μεγάλης κλίσεως φορτία στα θεμέλιά του. Αντίθετα για εδάφη κακής ποιότητας επιδιώκουμε να έχουμε χαμηλές τιμές φορτίων των οποίων η συνισταμένη τους να πλησιάζει όσο γίνεται την κατακόρυφη, με στόχο την ομοιόμορφη κατανομή τάσεων στο έδαφος.

Στην περίπτωση μεγάλων καθιζήσεων αποφεύγουμε τους μονολιθικούς τοίχους ή επιλέγουμε λύσεις με εύκολη προσαρμογή στο έδαφος ή λύσεις που να καταπονούν στο ελάχιστο το έδαφος θεμελίωσης.

- ***Φύση των φορτίων και των εξωτερικών δυνάμεων***

Εκτός από τις ωθήσεις του εδάφους, λαμβάνονται υπόψη σε ορισμένους τοίχους διάφορα εξωτερικά φορτία που επηρεάζουν σημαντικά τη λύση της επιλογής της μορφής των τοίχων αντιστήριξης.

- ***Ύψος του τοίχου***

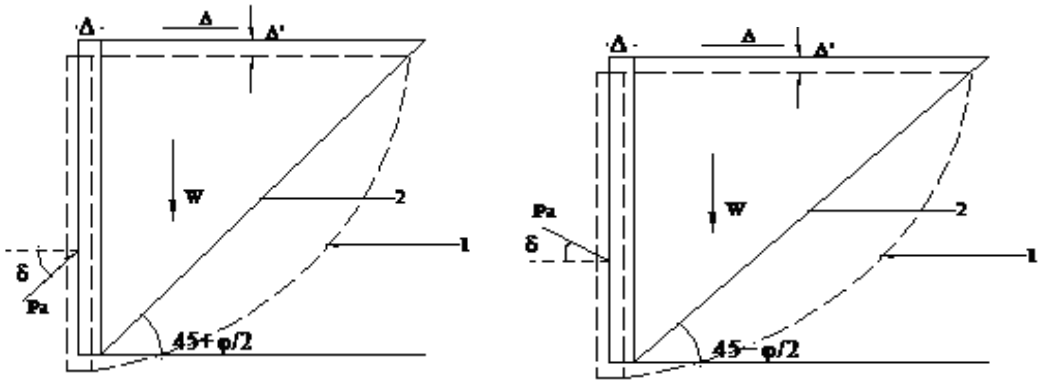
Για μικρά ύψη δεν υπάρχουν ιδιαίτερα προβλήματα, όμως για μεγάλα ύψη με οριακή περίπτωση, για τα υδροηλεκτρικά φράγματα, απαιτούνται ειδικές λύσεις.

ΘΕΩΡΙΕΣ ΤΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ

ΘΕΩΡΙΑ C. A. COULOMB

Ο C.A. COULOMB εξετάζει την μάζα του εδάφους κατά την στιγμή της θραύσεως υποθέτοντας ότι η κατασκευή αντιστήριξης μπορεί να μετακινηθεί. Η θεωρία του βασίζεται στις παρακάτω υποθέσεις-παραδοχές:

- Το έδαφος είναι ισότροπο ομογενές και έχει εσωτερική τριβή και συνοχή.



Εικ. 12 Κινήσεις Τοιχωμάτων Ώστε Να Αναπτυχθούν Ενεργητικές Και Παθητικές Ωθήσεις [6]

- Η επιφάνεια ολισθήσεως (κοπής) του εδάφους είναι επίπεδη και διέρχεται από τον πόδα του τοίχου.
- Οι δυνάμεις τριβής είναι κατανεμημένες ομοιόμορφα σ' όλη την επίπεδη επιφάνεια ολισθήσεως και $f = \tan\phi$ (f ο συντελεστής τριβής).
- Το πρίσμα ολισθήσεως (σφήνα) είναι συμπαγές σώμα.

- Επάνω στον τοίχο αναπτύσσεται τριβή, δηλαδή η σφήνα των γαιών κινείται κατακόρυφα στον τοίχο δημιουργώντας δυνάμεις τριβής κατά μήκος της πίσω επιφάνειας του.
- Η αστοχία είναι δυσδιάστατο πρόβλημα. Εξετάζεται μοναδιαίο τμήμα τοίχου άπειρου μήκους.

Τα κυριότερα σφάλματα της θεωρίας του COULOMB είναι οι υποθέσεις του ιδεατού εδάφους και της επίπεδης επιφάνειας ολισθήσεως. Αυτά καθώς και η αβεβαιότητα της τιμής της γωνίας τριβής τοίχου - γαιών έχουν σαν αποτέλεσμα να μην ικανοποιείται η συνθήκη ισορροπίας από το σύστημα των δυνάμεων, που εξασκούνται επάνω στον σφήνα, εφόσον τα διανύσματα τους δεν περνάνε από ίδιο σημείο (δηλ. $\Sigma M = 0$).

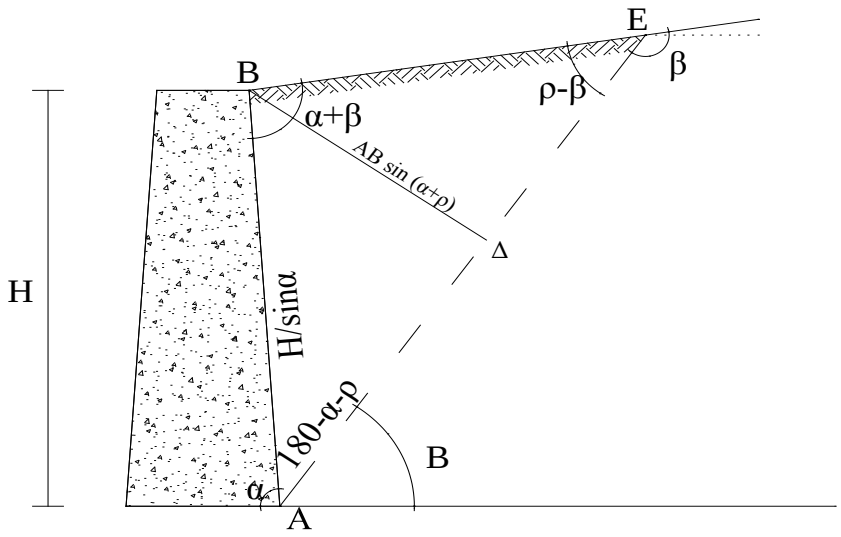
Κατόπιν των παραπάνω παραδοχών, ο προσδιορισμός της ωθήσεως πραγματοποιείται με στατικές μεθόδους τόσο γραφικά όσο και αναλυτικά, με την έρευνα της ισορροπίας των δυνάμεων, οι οποίες επενεργούν στο πρίσμα θραύσεως ήτοι:

- το βάρος του πρίσματος της γης (G),
- η αντίδραση (E_a) του τοίχου (ίση και αντίθετη σε πρόσημο με την τιμή της ωθήσεως του εδάφους), η οποία και επενεργεί στο πρίσμα του εδάφους υπό γωνία (δ) ως προς την κάθετο επί της εσωτερικής παρειάς του τοίχου
- η αντίδραση (R) του εδάφους, κεκλιμένη ως προς την κάθετο επί του επιπέδου ολισθήσεως κατά γωνία (ϕ) (γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους).

Οι εξισώσεις της θεωρίας του COULOMB για μη συνεκτικό έδαφος σύμφωνα με το σχήμα (Εικ. 13).

Το εμβαδόν της σφήνας ΑΒΕ δίνεται ως:

$$A = \frac{1}{2}(B\Delta) * (AE) \qquad (1.1)$$



Εικ. 13 Πρίσμα Ολίσθησης Που Χρησιμοποιείται Για Καθορισμό Της Εξίσωσης Του **Coulomb** Για Ενεργό Ώθηση [1]

Σύμφωνα με τον κανόνα του ημιτόνου, η απόσταση ΑΕ είναι:

$$(AE) = \frac{AB\sin(\alpha+\beta)}{\sin(\rho-\beta)} \qquad (1.2)$$

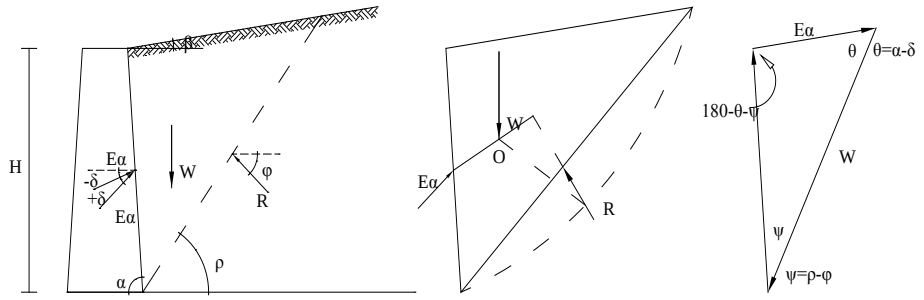
Και η ΒΔ είναι:

$$(B\Delta) = AB\sin(\alpha+\rho) \qquad (1.3)$$

όπου $AB = \frac{H}{\sin a}$

Κάνοντας αντικαταστάσεις και συνδυάζοντας τις σχέσεις βρίσκεται το βάρος του εδάφους της σφήνας (ΑΒΕ):

$$G = \gamma * E = \frac{\gamma * H^2}{2 * \sin a} * \frac{\sin(\alpha+\rho) * \sin(\alpha+\beta)}{\sin(\rho-\beta)} \qquad (1.4)$$



(α) (β) (γ)

Εικ. 14 (α) Υποθετικές Συνθήκες Αστοχίας, (β) Η Συνισταμένη Των Δυνάμεων Δεν Περνά Από Το Ο (δεν υπάρχει στατική ισορροπία), (γ) Τρίγωνο Δυνάμεων Για Τον Καθορισμό Του E_a [1]

Η τιμή που μας ενδιαφέρει είναι η ενεργός ώθηση E_p πάνω στον τοίχο. Η δύναμη αυτή είναι η συνιστώσα του βάρους G στις υποθετικές συνθήκες αστοχίας (Εικ. 14).

Από τον κανόνα του ημιτόνου έχουμε:

$$\frac{E_a}{\sin(\rho-\phi)} = \frac{G}{\sin(180-\alpha+\rho+\phi+\delta)} \qquad (1.5)$$

και $$E_a = \frac{G * \sin(\rho-\phi)}{\sin(180-\alpha-\rho+\phi+\delta)} \qquad (1.6)$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις έχω:

$$E_a = \frac{\gamma H^2}{2\sin^2 a} * \frac{\sin(\alpha+\rho) * \sin(\alpha+\beta)}{\sin(\rho-\beta)} * \frac{\sin(\rho-\phi)}{\sin(180-\alpha-\rho+\phi+\delta)} \qquad (1.7)$$

Εξισώνοντας την πρώτη παράγωγο της παραπάνω εξίσωσης (1.8) με το μηδέν, δηλαδή $\frac{dE_a}{dE} = 0$ βρίσκουμε την μέγιστη τιμή της ενεργού ωθήσεως του εδάφους στον τοίχο, με εφαρμογή της θεωρίας του COULOMB που δόθηκε στην συνέχεια από τον PONCELET:

$$E_a = \frac{\gamma H^2}{2 * \left\{ \frac{\sin^2(\alpha+\phi)}{\sin^2 a * \sin(\alpha-\delta)} * \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta) * \sin(\phi-\beta)}{\sin(\alpha-\delta) * \sin(\alpha+\beta)}} \right)^2 \right\}} \qquad (1.9)$$

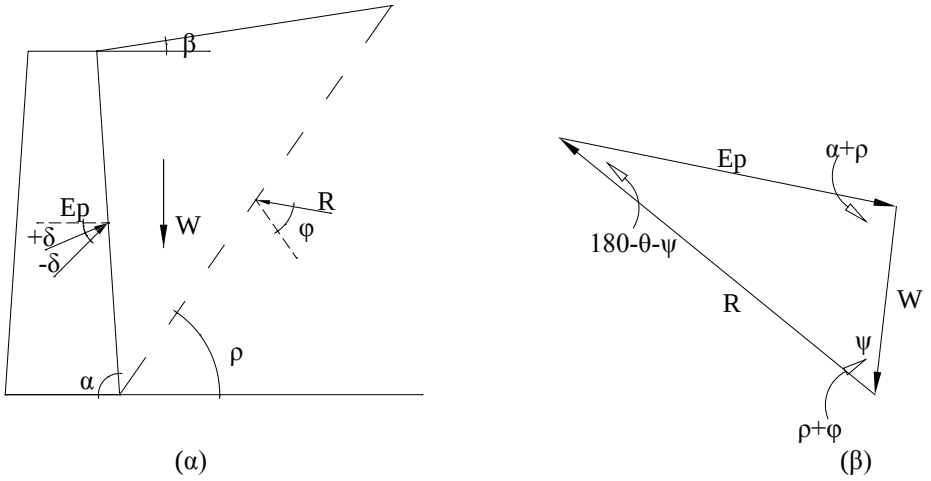
Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να πάρει την γενική μορφή: $E_a = \frac{\gamma H^2}{2K_a}$

Όπου:

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha+\phi)}{\sin^2 a * \sin(\alpha-\delta) * \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta) * \sin(\phi-\beta)}{\sin(\alpha-\delta) * \sin(\alpha+\beta)}} \right)^2} \qquad (1.10)$$

Ο K_a καλείται συντελεστής ωθήσεως που περιέχει τις μεταβλητές α, β, δ και ϕ αλλά είναι ανεξάρτητος των γ και H.

Η παθητική ώθηση υπολογίζεται όπως και η ενεργός ώθηση με τη διαφορά ότι η κλίση της ώθησης στον τοίχο και το τρίγωνο των δυνάμεων είναι όπως στο σχήμα Εικ. 15.



Εικ. 15 (α) Πρίσμα Ολίσθησης Και Δυνάμεων Που Ενεργούν Στην Περίπτωση Παθητικής Ώθησης, (β) Πολύγωνο Για τον Υπολογισμό Της Παθητικής Ώθησης [1]

Έτσι έχουμε:

$$G = \frac{\gamma H^2}{2 * \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin(\rho-\beta)}} \qquad (1.11)$$

οπότε από το δυναμοτρίγωνο έχουμε:

$$E_p = \frac{G * \sin(\rho + \phi)}{\sin(180 - \rho - \phi - \delta - \alpha)} \qquad (1.12)$$

Μηδενίζοντας την πρώτη παράγωγο της παραπάνω εξίσωσης (1.13), δηλαδή $\frac{dE_p}{dE} = 0$ προκύπτει η ελάχιστη τιμή της P_p:

$$E_p = \frac{\gamma H^2}{2 * \left\{ \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 a * \sin(\alpha + \delta)} * \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) * \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2 \right\}} \qquad (1.14)$$

Η παραπάνω εξίσωση (1.15) μπορεί να πάρει επίσης την γενική μορφή:

$$E_p = \frac{\gamma * H^2}{2 * K_p},$$

όπου:

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 a * \sin(\alpha + \delta) * \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) * \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \qquad (1.16)$$

ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ RANKINE

Η θεωρία του Rankine εξετάζει τις συνθήκες εντάσεως και παραμορφώσεως του εδάφους, σε κατάσταση πλαστικής ισορροπίας. Ο Rankine υπέθεσε ότι:

- η επιφάνεια του εδάφους είναι επίπεδη
- η αρχική εντατική κατάσταση είναι γεωστατική και ομοιόμορφη
- το πέτασμα είναι κατακόρυφο και λείο
- το πέτασμα στρέφεται περί την βάση του

Οι παραδοχές αυτές απλοποιούν σε σημαντικό βαθμό τον υπολογισμό των ωθήσεων του εδάφους. Μάλιστα η παραδοχή ότι το πέτασμα είναι λείο αυξάνει το βαθμό ασφάλειας της κατασκευής αφού το τραχύ πέτασμα αυξάνει την παθητική ώθηση και μειώνει την ενεργητική.

Οι πλευρικές ωθήσεις (K_a) είναι οι πιέσεις που ασκεί το έδαφος υπό την επίδραση του βάρους του και ενδεχόμενης εσωτερικής φόρτισης του στην επιφάνεια ενός τεχνικού έργου και ειδικότερα σε τοίχους αντιστήριξης.

Η ενεργητική ώθηση (E_a) αντιστοιχεί στη διόγκωση του εδάφους και είναι ίση με: $E_a = \frac{1}{2}\sigma_{ha} * h$, όπου:

σ_{ha} η οριακή τάση και ορίζεται ως $\sigma_{ha} = K_a * \gamma * h$

K_a ο συντελεστής πλευρικής ώθησης για την ενεργητική κατάσταση και είναι ίσος με: $K_a = \tan^2\left(45^o - \frac{\phi}{2}\right)$.

Η παθητική ώθηση (E_p) αντιστοιχεί στη συμπίεση του εδάφους και είναι ίσος με: $E_p = \frac{1}{2}\sigma_{hp} * h$ όπου

σ_{hp} η οριακή τάση και ορίζεται ως $\sigma_{hp} = K_p * \gamma * h$

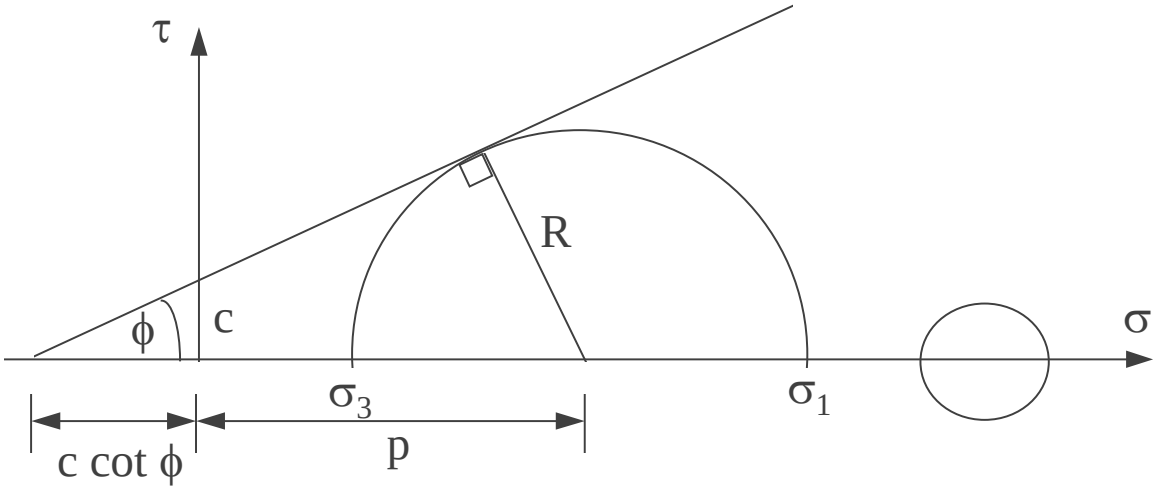
K_p ο συντελεστής πλευρικής ώθησης για την παθητική κατάσταση και είναι ίσος με: $K_p = \tan^2\left(45^o + \frac{\phi}{2}\right)$.

ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ MOHR – COULOMB

ΚΥΡΙΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Προκαλείται αστοχία, όταν ένας κύκλος Mohr ικανοποιεί το κριτήριο θραύσης [22]:

$$R = \sin\phi * \left(\rho + c * \cot\phi\right) \qquad (1.17)$$



Εικ. 16 Κύκλος Morh [23]

Από το σχήμα (Εικ. 16) μπορούμε να συμπεράνουμε το εξής:

$$\frac{\sigma_1 + c * \cot\phi}{\sigma_3 + c * \cot\phi} = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \tan^2\left[\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right] = N_\phi = K_P \qquad (1.18)$$

Άρα $\sigma_1 = N_\phi * \sigma_3 + 2 * c * \sqrt{N_\phi}$

Η ενεργητική τάση αντιστοιχεί στη μικρότερη τιμή της οριζόντιας τάσης σ_h όπου $\sigma_h = \sigma_3$ και $\sigma_\nu = \sigma_1$.

Η ελάχιστη (ενεργητική) οριζόντια τάση δίδεται από τη σχέση:

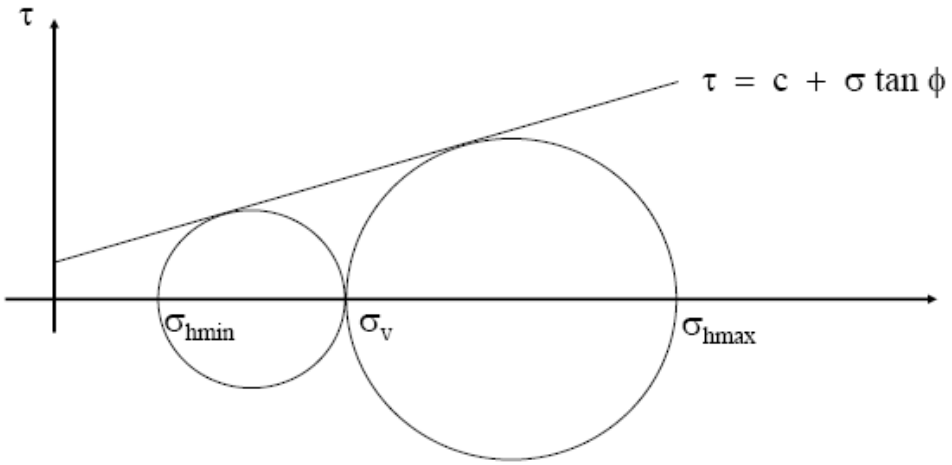
$$\sigma_{hmin} = \frac{\sigma_\nu - 2 * c * \sqrt{N_\phi}}{N_\phi} \qquad (1.19)$$

Η παθητική οριζόντια τάση (παθητική ώθηση) λαμβάνει μέγιστη τιμή. Έτσι, η $\sigma_h = \sigma_1$ είναι η μέγιστη κύρια τάση. Η μέγιστη (παθητική) οριζόντια τάση ισούται με:

$$\sigma_{max} = N_\phi * \sigma_\nu + 2 * c * \sqrt{N_\phi} \qquad (1.20)$$

Αν η κατακόρυφη τάση παραμένει σταθερή τότε η οριζόντια τάση κυμαίνεται μεταξύ των τιμών της ενεργούς και της παθητικής ώθησης. Στη μέθοδο του Rankine, οι τάσεις βρίσκονται σε ισορροπία με τα εφαρμοζόμενα φορτία και το έδαφος σε

κατάσταση θραύσης. Η σχέση μεταξύ ενεργητικής και παθητικής ώθησης μπορεί να παρασταθεί γραφικά, με τους κύκλους του Mohr (Εικ. 17) [23].



Εικ. 17 Κύκλος Morh [23]

Άρα καταλήγουμε ότι οι συντελεστές ενεργητικής – παθητικής ώθησης είναι ίσοι με:

$$K_a = \frac{\sigma_{ha}}{\sigma_{vo}} = \frac{1}{N_\phi} = \tan^2\left(45^o - \frac{\phi}{2}\right) \qquad (1.21)$$

$$K_p = \frac{\sigma_{hp}}{\sigma_{vo}} = N_\phi = \tan^2\left(45^o + \frac{\phi}{2}\right) \qquad (1.22)$$

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Σε περίπτωση πολύστρωτου εδαφικού σχηματισμού πρέπει να υπολογίζονται οι οριακές τάσεις σ_{ha} και σ_{hp} χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες παραμέτρους διατμητικής αντοχής και στην συνέχεια να υπολογίζεται η συνισταμένη της κατανομής των οριακών τάσεων [7].
- Στην περίπτωση που στο αντιστηριζόμενο έδαφος υπάρχει μόνιμη στάθμη υπόγειου ορίζοντα (νερού) τότε [7]:
    a. Υπολογίζονται οι κατανομές των οριακών ενεργών τάσεων με βάθος.
    b. Αφού υπολογίσουμε την ενεργό ώθηση προσθέτουμε την ώθηση που προκύπτει από υδροστατικές πιέσεις στον τοίχο αντιστήριξης: $E_w = \frac{1}{2}\gamma_w * (H - z_w)^2$.

ΑΡΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΟΛΟΣΩΜΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Δυνάμεις που ενεργούν στον τοίχο

Στην εικόνα (Εικ. 18) παριστάνεται ένας τοίχος βαρύτητας που δέχεται ένα αριθμό δυνάμεων όπως:

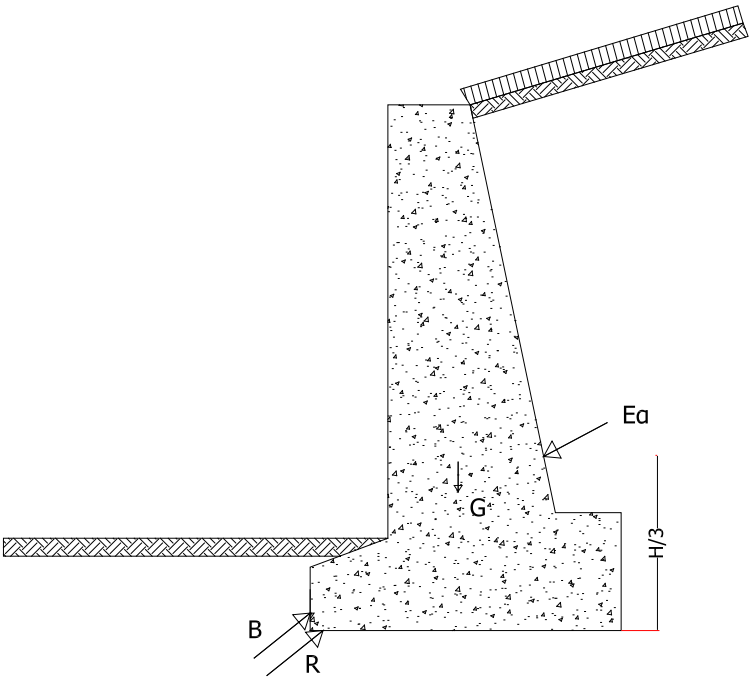
α. την συνισταμένη E_a της ενεργητικής ώθησης

β. την συνισταμένη E_p της παθητικής ώθησης

γ. το ίδιο βάρος του τοίχου που δρα στο κέντρο βάρος G

δ. την συνισταμένη B στην άκρη του εδάφους κατά τα κατάντη

ε. την αντίδραση R του εδάφους στον ορίζοντα θεμελίωσης.



Εικ. 18 Τοίχος Βαρύτητας [24]

Αρχή του υπολογισμού

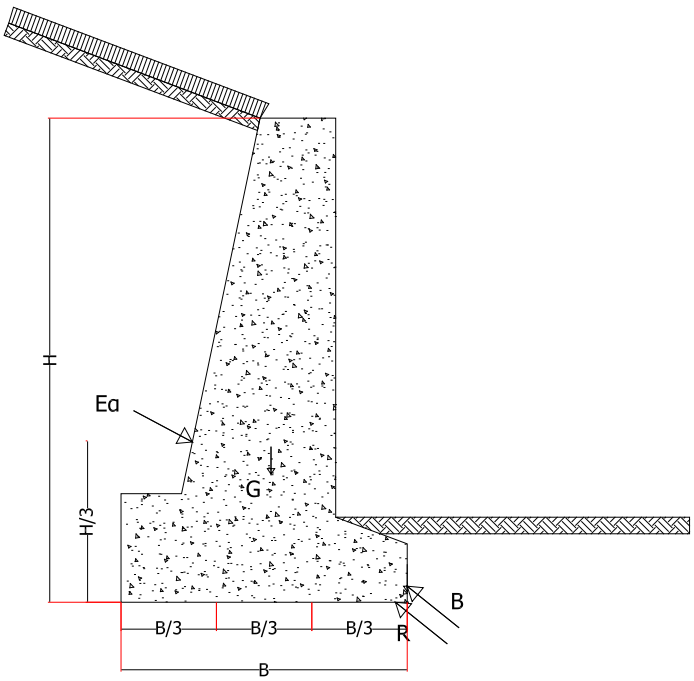
Ο τοίχος αντιστήριξης πρέπει να παρουσιάζει επαρκή ασφάλεια, γι' αυτό δεν λαμβάνουμε υπ' όψη την παθητική ώθηση. Εξάλλου η παθητική ώθηση είναι δυνατό να εξαφανισθεί εάν μεταγενέστερα έργα εκτελεστούν στη στάθμη θεμελίωσης του έργου. Η εικόνα (Εικ. 19) παρουσιάζει έναν τοίχο αντιστήριξης σ' ένα έδαφος όχι συνεκτικό, κεκλιμένο χωρίς επιφόρτιση.

Η ενεργητική ώθηση, σ' ένα σημείο **O** που βρίσκεται σε απόσταση **h** από την αρχή του τοίχου, είναι της μορφής $K_a * \gamma * h$ (όπου γ το ειδικό βάρος των αντιστηριζόμενων γαιών και K_a ενός συντελεστή που ονομάζεται συντελεστής ωθήσεως).

Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την γωνία β, από την γωνία δ της κλίσης της παρειάς του τοίχου ως προς την κατακόρυφο και από τη γωνία εσωτερικής τριβής ϕ των γαιών. Η ώθηση ενεργεί πάνω στον τοίχο σαν μια δύναμη, που σχηματίζει γωνία δ με την κάθετη στην εσωτερική παρειά του τοίχου. Η γωνία αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με τις διάφορες θεωρίες και εξαρτάται από την κατάσταση τραχύτητας της εσωτερικής παρειά.

Οι συντελεστές υπολογίζονται για παράδειγμα με την επίλυση του τύπου του **COULOMB** συναρτήσει των προηγουμένων παραμέτρων.

Η συνισταμένη των ωθήσεων είναι μια δύναμη E_a, η οποία εφαρμόζεται στο κάτω $\frac{1}{3}$ του συνολικού ύψος του τοίχου και δίνεται από τη σχέση: $E_a = \frac{1}{2} K_a * \gamma * h^2$**.** Στην περίπτωση τελείως λείου, με κατακόρυφη παρειά, $\delta_{\alpha\beta} = 0$ το K_a έχει την τιμή: $K_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$.



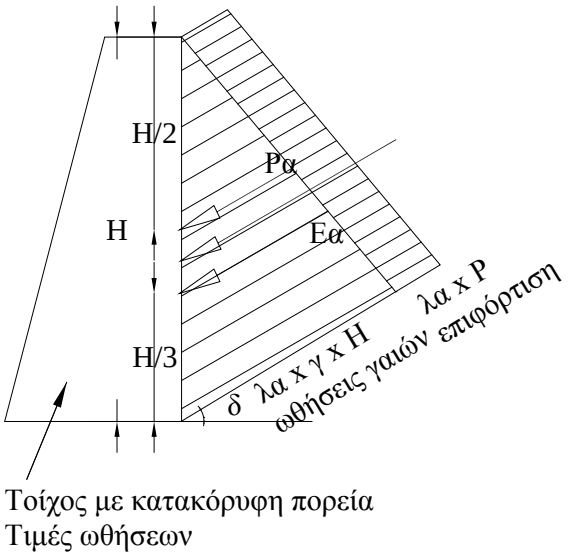
Εικ. 19 Ευστάθεια Ενός Τοίχου Βαρύτητας [24]

Εάν το αντιστηριζόμενο έδαφος υπόκειται σε επιφόρτιση ομοιόμορφα κατανεμημένη, με τιμή ανά μονάδα επιφάνειας Ε αποδεικνύεται, ότι προκαλείται σε κάθε σημείο της εσωτερικής παρειάς μια συμπληρωματική ώθηση με ένταση ομοιόμορφη ανάλογη της Ε.

Η συνισταμένη λοιπόν, αυτής της ώθησης, είναι μια δύναμη E_a με λοξότητα δ και ένταση ίση με K_a *P*H που εφαρμόζεται στο μέσο του ύψους του τοίχου.

Στην περίπτωση κατά την οποία το έδαφος που αντιστηρίζεται είναι συνεκτικό, η ώθηση είναι μικρότερη, από ένα έδαφος όχι συνεκτικό, που έχει το ίδιο ειδικό βάρος (γ) και την ίδια γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ) γιατί αυτή είναι ελαττωμένη κατά μια ποσότητα ανάλογη προς την συνοχή (c). Αυτό είναι πολύ σημαντικό αν εκτελούμε τον υπολογισμό του τοίχου και λαμβάνουμε υπόψη την συνοχή του εδάφους.

Παρατηρούνται, (Εικ. 20), διάφορες ενέργειες των καταπονήσεων (λόγω γαιών και επιφόρτισης) πάνω στον τοίχο. Η ευστάθεια του έργου είναι εξασφαλισμένη από την αντίδραση του εδάφους στον ορίζοντα θεμελιώσεως (αφού δεν παίρνουμε καθόλου υπ' όψη την παθητική ώθηση).



Εικ. 20 Διάγραμμα Ωθήσεων Με Γαίες Επιφορτισμένες [1]

Επαλήθευση της ευστάθειας του τοίχου αντιστήριξης

Αφού υπολογισθούν οι διάφορες δυνάμεις, που ενεργούν πάνω στον τοίχο, μένει να επαληθευθεί αν το έργο έχει ευστάθεια σ' όλα τα σημεία του. Τα ατυχήματα επί των τοίχων αντιστήριξης μπορούν συνήθως να ερμηνευτούν:

1. λόγω οριζόντιας μετατόπισης του συνόλου, αρκετά σημαντικής για να διαταραχτεί η ευστάθεια των γαιών ή των αντιστηριζόμενων έργων
2. σε περιστροφή του πέλματος που μπορεί να οδηγήσει σε μια περιορισμένη μέχρι σε μια τέλεια ανατροπή του τοίχου
3. σε συνδυασμό των δύο αυτών κινήσεων
4. τέλος σε μια τοπική θραύση της κατακόρυφου παρειάς (ή από ένα αποχωρισμό του πέλματος από την παρειά).

Είναι λοιπόν αναγκαίο να κάνουμε ένα ορισμένο αριθμό ελέγχων όπως:

- έλεγχο εσωτερικής ευστάθειας του τοίχου,
- έλεγχο ευστάθειας του τοίχου σε ανατροπή,
- έλεγχο ευστάθειας του τοίχου σε ολίσθηση,
- έλεγχο σε ευστάθειας του εδάφους.

Έλεγχος εσωτερικής ευστάθειας του τοίχου

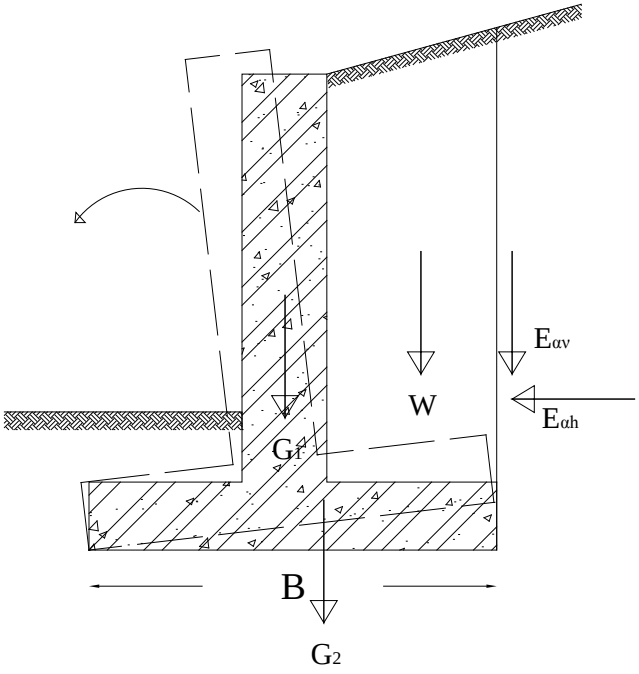
Αυτός ο έλεγχος έχει σχέση με την δομική ακεραιότητα των στοιχείων του τοίχου. Εάν ο τοίχος είναι από τοιχοποιία, συμφέρει να επαληθευθεί ότι οι ωθήσεις δεν κινδυνεύουν να προκαλέσουν δυνάμεις ελκυσμού στους αρμούς και στην ένωση της κατακόρυφης παρειάς και του πέλματος θεμελίωσης. Οι τοίχοι από οπλισμένο σκυρόδεμα πρέπει να διαστασιολογούνται έτσι ώστε οι συντελεστές έντασεις να μην υπερβούν τις υπολογιζόμενες αντοχές [6]. Οι δυνάμεις μεταξύ τοίχου και πέλματος πρέπει να εξισορροπούνται με ανάλογο οπλισμό. Συνήθως οι τοίχοι από οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιάζονται ως πρόβολοι.

Έλεγχος ευστάθειας του τοίχου σε ανατροπή

Οι οριζόντιες δυνάμεις που δέχεται ο τοίχος και οφείλονται στις ωθήσεις των γαιών, στην πίεση του νερού και στην επιφόρτιση τείνουν να τον ανατρέψουν. Η εξωτερική άκρη εδράσεως του θεμελίου λαμβάνεται σαν άξονας, γύρω από τον οποίο θα στραφεί και τελικά θα ανατραπεί ο τοίχος. Οι αθροιζόμενες ροπές των παραπάνω δυνάμεων δίνουν την ροπή ανατροπής.

Το βάρος του τοίχου, των γαιών που φορτίζουν το θεμέλιο του τοίχου, η παθητική ώθηση και πιθανά φορτία πάνω στον τοίχο, προκαλούν ροπές που αντιστέκονται στη ροπή ανατροπής. Στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 21), φαίνεται ο άξονας, περί του οποίου στρέφεται και ανατρέπεται ο τοίχος είναι κατά μήκος του τοίχου αντιστήριξης σε σημείο

στροφής το εξωτερικό άκρο του πεδίλου. Στην εικόνα (Εικ. 21) παρουσιάζονται και οι δυνάμεις ευστάθειας και ανατροπής [4].



Εικ. 21 Ευστάθεια Σε Ανατροπή (Διάφορες Περιπτώσεις Ανάλογα Την Εκκεντρότητα Της Συνισταμένης) [25]

Έλεγχος ευστάθειας του τοίχου σε ολίσθηση

- ***Ολίσθηση του τοίχου στο έδαφος εδράσεως***

Η οριζόντια συνισταμένης των ωθήσεων R, στο επίπεδο του πέλματος τείνει να μετακινήσει τον τοίχο λόγω ολίσθησης του θεμελίου πάνω στο έδαφος. Οι δυνάμεις, οι οποίες αντιδρούν στην μετακίνηση είναι:

1. Η οριζόντια δύναμη που οφείλεται στη τριβή ή στην επαφή του εδάφους ή και στα δυο μαζί.

2. Η παθητική ώθηση των γαιών κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, στο τμήμα του κορμού.

Συνήθως, δεν λαμβάνουμε υπόψη την τελευταία αυτή δύναμη, καθώς η παθητική ώθηση, είναι δυνατό, να ελαττωθεί από μεταγενέστερα έργα στη στάθμη θεμελίου του τοίχου. Οι περισσότεροι από τους συγγραφείς, παραδέχονται με τον TERZAGHI [1], ότι η θραύση από ολίσθηση δημιουργείται όχι στο σημείο επαφής του πέλματος με το έδαφος.

Υπάρχει λοιπόν φαινόμενο διάτμησης του εδάφους και γι' αυτό το λόγο:

1. δεν λαμβάνουμε τις δυνάμεις συνάφειας του πέλματος στο έδαφος

2. παραδεχόμαστε ότι ο συντελεστής τριβής του θεμελίου στο έδαφος είναι ίσος οριακά με $\tan\phi$.

Έστω R η συνιστώσα όλων των δυνάμεων που ενεργούν πάνω στον τοίχο στο οριζόντιο επίπεδο θεμελίωσης και B η αντίσταση του έδαφους στην ολίσθηση, θα πρέπει $R < B$. Η αντίσταση του εδάφους δίνεται από την σχέση: $B = G * \tan\delta$, όπου δ η γωνία τρίβης τοίχου - γαιών.

Στην περίπτωση αυτή παραδεχόμαστε ένα συντελεστή ασφαλείας 1,5 και για τον λόγο αυτό πρέπει να επαληθεύεται η σχέση: $F_{\tau\rho.} = \dfrac{G * \tan\delta}{E_{o\lambda.}}$.

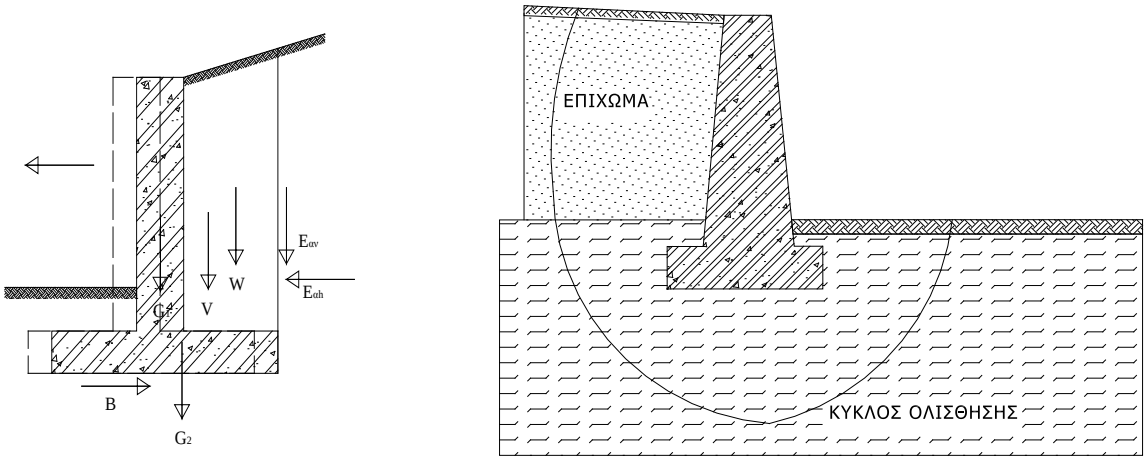
Σε συνεκτικά εδάφη ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνεται αυξημένος, γιατί η παρουσία νερού επηρρεάζει σοβαρά την συνοχή και την γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους.

Αν το σημείο επαφής του εδάφους με τον τοίχο δεν είναι λείο, ο συντελεστής τριβής λαμβάνεται ίσος με $\tan\phi$. Προφανώς η γωνία ϕ, την οποία θα λάβουμε υπ' όψη στον υπολογισμό, θα πρέπει να επιλεχθεί με σύνεση και για τον λόγο αυτό οι TERZAGHI - PECK συνιστούν να λαμβάνεται αυτή [1], [4]:

α) $\phi = 30^o$ έστω $\tan\phi = 0{,}55$ για έδαφος με χοντρά συστατικά, που δεν περιέχει ιλύς και άργιλο

β) $\phi = 25^o$ έστω $\tan\phi = 0{,}45$ για έδαφος με χοντρά συστατικά, που περιέχει ιλύς και άργιλο

γ) $\phi = 20^o$ έστω $\tan\phi = 0{,}35$ για όλες τις άλλες περιπτώσεις.



Εικ. 22 Ευστάθεια Σε Ολίσθηση (Ολίσθηση Επί Του Εδάφους Γενική Ισορροπία Των Ολόσωμων Ερδάσεων) [6]

- ***Ολίσθηση του εδάφους***

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει ολίσθηση του εδάφους, πάνω στο οποίο είναι θεμελιωμένος ο τοίχος είτε με επιφανειακή θραύση, είτε με βαθειά θραύση. Οι μέθοδοι του υπολογισμού βασίζονται στο γεγονός, ότι η θραύση δημιουργείται κατά μια γραμμή ολισθήσεως που εξομοιώνεται με κύκλο.

ΕΥΚΑΜΠΤΕΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ - ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

ΓΕΝΙΚΑ

Τα πετάσματα είναι ογκώδης εύκαμπτες αντιστηρίξεις, οι οποίες επιτρέπουν μετακινήσεις και δέχονται μεγάλες καταπονήσεις από τους σεισμούς. Τα απλά πετάσματα (χωρίς αγκύρωση) ορίζονται ως αυτοφερόμενα ή αυτοευσταθή. Για ασφαλή αντιστήριξη χρησιμοποιούμε αγκύρωση, ενώ για ακόμα ασφαλέστερη χρησιμοποιούμε πολλαπλή αγκύρωση.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΘΗΣΕΩΝ

Η θεωρεία ωθήσεων μας υποδεικνύει ότι το έδαφος τείνει να μετακινηθεί. Για την ποιοτική ανάλυση των ωθήσεων που ασκούνται στα αυτοφερόμενα πετάσματα αρκεί η θεώρηση των μετατοπίσεων του πετάσματος. Για την ποσοτική ανάλυση, γίνεται η παραδοχή ότι οι μετακινήσεις του πετάσματος είναι ικανές για την ανάπτυξη πλήρους ενεργητικής ώθησης και μέρους $(\approx 50\%)$ της παθητικής ώθησης, η οποία αντιστηρίζει τον τοίχο [6], [25].

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Ξεκινώντας τη διαστασιολόγηση ενός αυτοφερόμενου πετάσματος, οι δύο άγνωστοι είναι:

- το μήκος πάκτωσης (βάθος έμπηξης) d,
- η κατανομή των ωθήσεων σε όλο το ύψος του με βάση την οποία καθορίζεται η διατομή (πάχος, οπλισμός).

Οι δυο άγνωστοι υπολογίζονται με συνεχείς επαναλήψεις, οι οποίες αποσκοπούν στην κατασκευή διαγράμματος ωθήσεων, το οποίο θα ικανοποιεί τόσο την ισορροπία των δυνάμεων $(\Sigma F = 0)$, όσο και την ισορροπία των ροπών $(\Sigma M = 0)$ [6], [25], [7].

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Για κατασκευές σε άμμους χρησιμοποιείται η μέθοδος σχεδιασμού των ενεργών τάσεων με συνθήκες πλήρους πίεσης πόρων.

Για κατασκευές που υποστηρίζουν προσωρινές εργασίες σε αργίλους, υποτίθεται κανονικά η κατάσταση της ενεργού τάσης, επειδή η ισορροπία των πιέσεων των πόρων μπορεί να επιτευχθεί πολύ γρήγορα και αυτό συμβαίνει λόγω της διόγκωσης του εδάφους στην ενεργητική πλευρά του τοίχου, της συρρίκνωσης του εδάφους στην παθητική πλευρά του τοίχου (λόγω της αποφόρτισης) και της ύπαρξης μακροδομής όπως ρηγματώσεις και λεπτοδιαστρώσεις που παρουσιάζονται στις περισσότερες αργίλους.

Η ευστάθεια ενός αυτοφερόμενου πετάσματος οφείλεται στην παθητική ώθηση στο τμήμα που βρίσκεται μέσα στο έδαφος κάτω από τη στάθμη εκσκαφής [25].

ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΑΠΛΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗ

ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το είδος τοίχου, ένα αγκύριο ή μια αντηρίδα κοντά στην κεφαλή του τοίχου εμποδίζει το βέλος κάμψης στο σημείο αυτό και μεταβάλλει τις πιέσεις που ενεργοποιούνται πίσω από αυτόν. Επομένως, οι μετακινήσεις που επιτρέπονται είναι μέτριες. Η ευκαμψία του τοίχου του επιτρέπει να παραμορφωθεί και μεταβάλλει ακόμα περισσότερο τις πιέσεις. Οι κατανομές της πίεσης πίσω από ένα τέτοιο τοίχο είναι πολύπλοκες.

Η εφαρμογή τους είναι συχνή στην κατασκευή λιμενικών κρηπιδότοιχων, όπου δεν είναι δυνατή η πολλαπλή αγκύρωση λόγω του νερού που βρίσκεται από κάτω. Η αντίσταση στην ώθηση γαιών προέρχεται:

- από το έδαφος στην παθητική πλευρά του τοίχου και
- από το αγκύριο ή την αντηρίδα [6], [7], [25].

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Ξεκινώντας έχουμε και σε αυτή την περίπτωση δυο αγνώστους:

- το βάθος έμπηξης d και
- τη δύναμη R του αγκυρίου.

Θα θεωρήθεί ότι αναπτύσσονται οι πλήρεις παθητικές ωθήσεις (100%) και με αυτό τον τρόπο θα υπολογίστούν τα άγνωστα μεγέθη από τις συνθήκες ισορροπίας $\Sigma F_y = 0$ και $\Sigma M = 0$ (στο σημείο εφαρμογής του αγκυρίου) αντιστοίχως.

Στη συνέχεια θα ληφθεί μήκος έμπηξης ίσο με: D για συνεκτικά εδάφη (άργιλος), D για μη συνεκτικά εδάφη (άμμος) [7], [25].

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Για το σχεδιασμό του διαφραγματικού τοίχου με απλή αγκύρωση υποθέτεται μια απλοποιημένη κατανομή των εδαφικών πιέσεων. Θα εξεταστεί η ολική ευστάθεια του τοίχου από τις ροπές γύρω από τη στάθμη στήριξης των ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων E_a και E_p, με την παραδοχή ελεύθερης στήριξης του εδάφους. Σε αυτή την περίπτωση, το βάθος έμπηξης δεν είναι αρκετό να εμποδίσει την περιστροφή του κάτω μέρους του τοίχου, όπως συμβαίνει σε συνθήκες πάκτωσης. Όμως είναι απαραίτητη η περιστροφή του για τον έλεγχο της ολικής ευστάθειας με όρους ροπών γύρω από τη στάθμη αντιστήριξης.

Οι μέθοδοι σχεδιασμού αυτού του είδους των τοίχων ποικίλουν. Υπάρχει ένας αριθμός εναλλακτικών τρόπων τροποποίησης των ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων και ροπών ώστε να εξασφαλιστεί η ευστάθεια. Αυτές οι μέθοδοι είναι πέντε, ωστόσο θα αναφερθούν οι εξής τέσσερις [6], [7], [25]:

- Μέθοδος συνολικών πιέσεων,
- Μέθοδος της καθαρής διαθέσιμης παθητικής ώθησης,
- Μέθοδος του συντελεστή αντοχής και
- Μέθοδος του BS 8002 .

ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗ

ΓΕΝΙΚΑ

Οι διαφραγματικοί τοίχοι με πολλαπλή αγκύρωση είναι εύκαμπτες κατασκευές για την αντιστήριξη βαθιών εκσκαφών με κατακόρυφα πρανή. Οι μετακινήσεις που επιτρέπονται είναι μικρές έως μέτριες. Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται κυρίως σε εκσκαφές εντός κατοικημένων περιοχών και αποτελείται από τα εξής στοιχεία [6], [25]:

- Κατακόρυφες νευρώσεις, σε αποστάσεις των δυο μέτρων, που εκτείνονται από τη στέψη του κατακόρυφου πρανούς έως μερικά μέτρα χαμηλότερα από το τελικό δάπεδο

της εκσκαφής. Οι νευρώσεις αυτές κατασκευάζονται πριν την έναρξη της κύριας εκσκαφής.

- Σανίδωμα (πέτσωμα) μεταξύ των νευρώσεων, το οποίο κατασκευάζεται κατά τη διάρκεια της εκσκαφής. Συνήθως αποτελείται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (συχνά οπλισμένο με δομικό πλέγμα) και ενίοτε έγχυτο οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε περιπτώσεις νευρώσεων από χαλύβδινες διατομές HEB, το σανίδωμα μπορεί να αποτελείται και από ξύλινες δοκούς που τοποθετούνται μεταξύ των γειτονικών νευρώσεων και στηρίζονται στην αύλακα που δημιουργείται μεταξύ του κορμού και των πελμάτων της διατομής HEB. Η στατική λειτουργία του σανιδώματος είναι να μεταφέρει τις πιέσεις των γαιών στις εκατέρωθεν νευρώσεις.
- Σύστημα ανάληψης των πρακτικώς οριζόντιων φορτίων των νευρώσεων. Το σύστημα αποτελείται είτε από προεντεταμένες αγκυρώσεις, είτε από οριζόντιες αντηρίδες που εδράζονται στις νευρώσεις και συνδέουν δυο απέναντι τοίχους αντιστήριξης. Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις εκσκαφών μικρού βάθους οι νευρώσεις μπορεί να λειτουργούν και ως πρόβολοι, δηλαδή χωρίς αγκυρώσεις ή αντηρίδες.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΘΗΣΕΩΝ

Σε αυτού του είδους τα πετάσματα η αντίσταση των ωθήσεων των γαιών επιτυγχάνεται με τη χρήση αγκυρίων ή αντηρίδων. Ωστόσο, ο υπολογισμός τους είναι αρκετά πολύπλοκος διότι εξαρτάται σημαντικά από τους εξής παράγοντες:

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

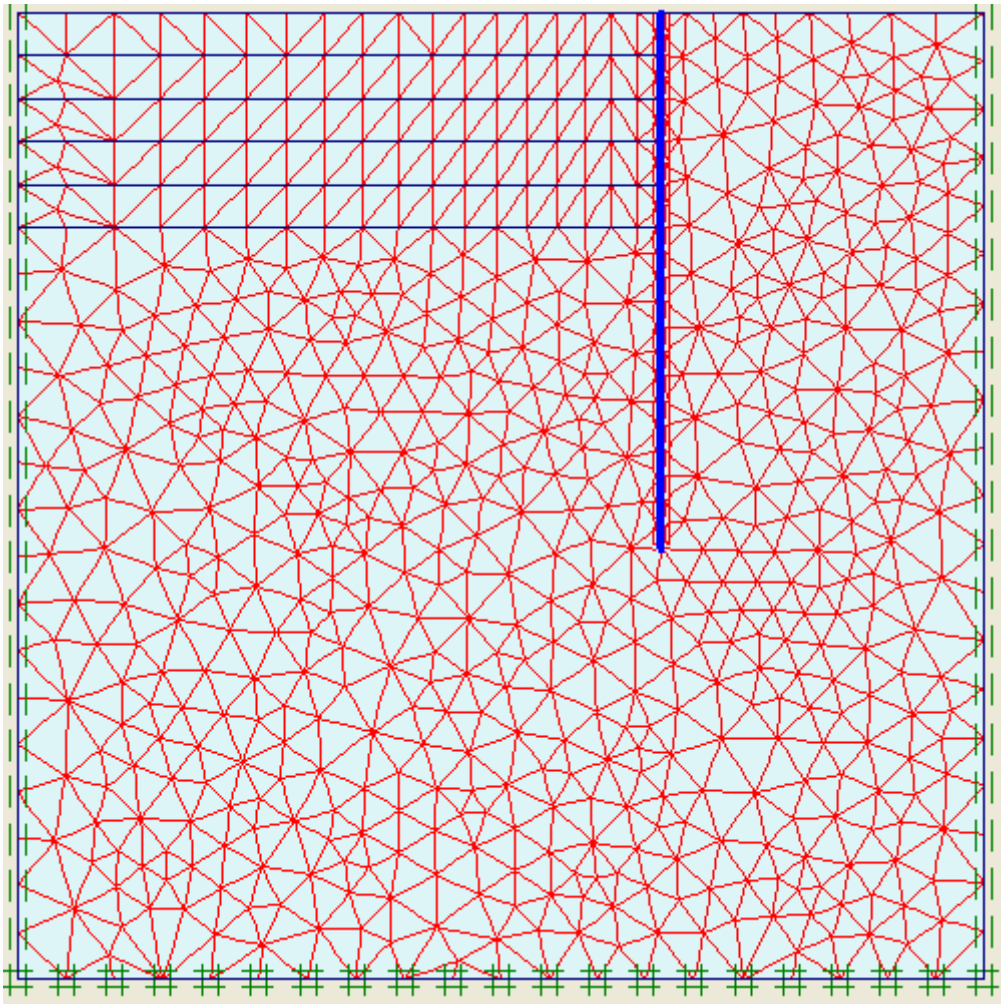
Εξαιτίας των παραπάνω παραμέτρων, οι ωθήσεις υπολογίζονται από εμπειρικά διαγράμματα περιβαλλουσών που έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές βάσει πειραματικών μετρήσεων.

ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ

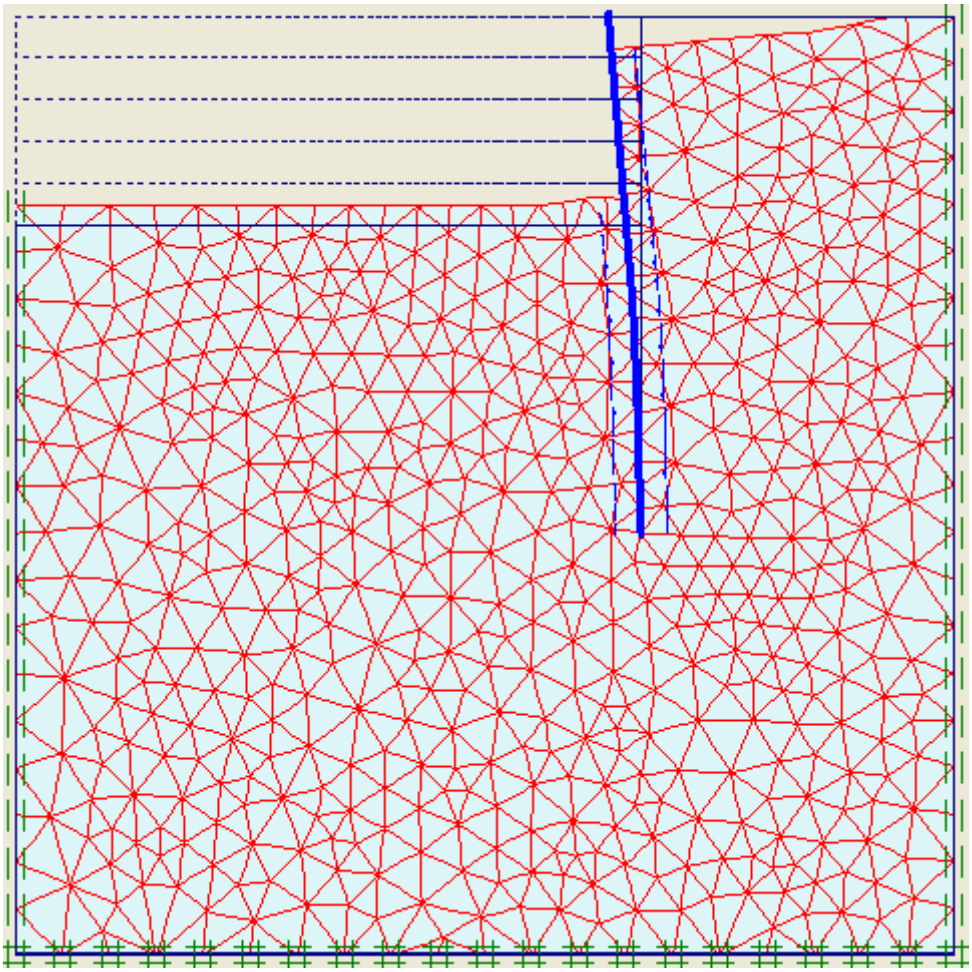
Η βασική ιδέα των πεπερασμένων στοιχείων, είναι η επίλυση περίπλοκων προβλημάτων που αντικαθίστανται από απλούστερα. Αφού το πραγματικό πρόβλημα αντικαθίστανται από ένα απλούστερο για την λύση του προβλήματος, βρίσκουμε μια προσεγγιστική λύση αντι για την ακριβή. Τα υπάρχοντα μαθηματικά εργαλεία δεν επαρκούν για την εύρεση της ακριβής λύσεως για τα περισσότερα πρακτικά προβλήματα. Για τους παραπάνω λόγους επιλέγουμε τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ο χώρος λύσης θεωρείται ως ένωση πολλών μικρών ενωμένων μεταξύ τους υπόχωρων, τα οποία ονομάζονται πεπερασμένα στοιχεία. Ένα τέτοιο παράδειγμα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 23), όπου με πεπερασμένα στοιχεία προσομοιώνεται το έδαφος.



Εικ. 23 Αρχική Κατάσταση Προσομοιώματος

Η ακριβής εσωτερική εντατική και παραμορφωσιακή κατάσταση του εδάφους φορτίσεως είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί. Ο εμφανιζόμενος στην εικόνα (Εικ. 24) χώρος λύσης προσσεγγίζεται από πολλά τριγωνικά πεπεασμένα στοιχεία. Σε κάθε στοιχείο δίνεται μια αρχική προσεγγιστική λύση και οι συνθήκες ισορροπίας του συνολικού χώρου λύσης. Από την ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας προκύπτει μια προσεγγιστική λύση για τις τάσεις και τις μετατοπίσεις.

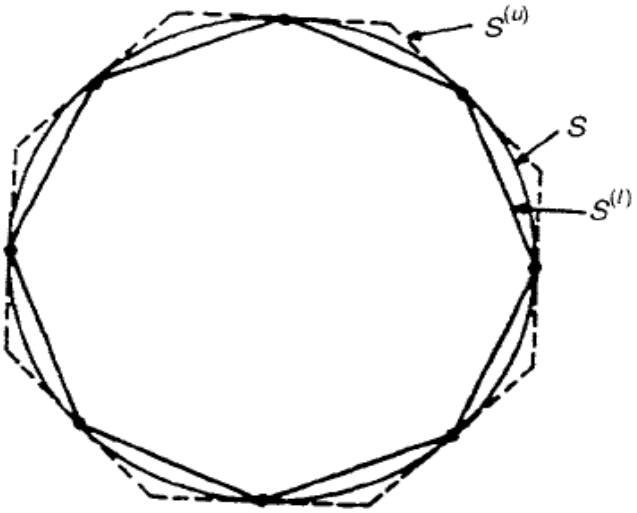


Εικ. 24 Παραμορφωμένη Κατάσταση Προσομοιώματος

Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να βελτιώσουμε τη προσεγγιστική λύση (αυξάνοντας τον υπολογιστικό χρόνο), ώστε να προσεγγίσουμε την ακριβή.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Αν και η ονομασία της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, έχει δοθεί πρόσφατα, η σύλληψη της μεθόδου έχει γίνει αρκετούς αιώνες πριν. Για παράδειγμα, οι αρχαίοι μαθηματικοί βρήκαν την περιφέρεια του κύκλου, προσεγγίζοντας την από την περίμετρο ενός πολυγώνου.



Εικ. 25 Χαμηλότερα Και Ανώτερα Όρια Στην Περιφέρεια Ενός Κύκλου [26]

Με την παρούσα θεώρηση η κάθε πλευρά του πολυγώνου μπορεί να ονομαστεί πεπερασμένο στοιχείο. Ο κύκλος μπορεί να προσεγγιστεί από ένα εγγεγραμένο και ένα περιγεγραμένο πολύγωνο (με ίδιο αριθμό πλεύρων). Τότε η περιφέρεια του κύκλου έχει ως άνω και κάτω όριο τη περίμετρο των αναφερόμενων πολυγώνων. Ακόμα περισσότερο, όσο αυξάνουμε τις πλευρές πολυγώνου, τόσο οι προσεγγιστικές τιμές της περιμέτρου τείνουν προς την πραγματική του κύκλου. Αυτά τα χαρακτηριστικά διατηρούνται στην γενική εφαρμογή των πεπερασμένων στοιχείων. Στη σύγχρονη εποχή μια πρώτη προσέγγιση στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, με την παρούσα τους μορφή προτάθηκε από τον Courant (1943) [26] σε μελέτη του σε σχέση με εφαρμοσμένα μαθηματικά.

Η βασική ιδέα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων όπως είναι γνωστή σήμερα, παρουσιάστηκε στις εργασίες των Turner-Clough–Topp [26] και Argyris-Kelsey [26].

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόγραμμα PLAXIS®, εμφανίστηκε το 1987 στο πολυτεχνείο του Delft (Ολλανδία) ως πρωτοβουλία του ολλανδικού Υπουργείου δημόσιων έργων και διαχείρισης υδάτων. Ο αρχικός στόχος ήταν να αναπτυχθεί ένας εύχρηστος κώδικας πεπερασμένος στοιχείων για την ανάλυση των αναχωμάτων των ποταμών, στα χαλαρά εδάφη των

πεδιάδων της Ολλανδίας. Στα επόμενα έτη, το PLAXIS® επεκτάθηκε για να καλύψει τους περισσότερους τομείς της γεωτεχνικής εφαρμοσμένης μηχανικής. Λόγω των συνεχώς αυξανόμενων δραστηριοτήτων, μια επιχείρηση που ονομάζεται B.V. PLAXIS® ιδρύθηκε το 1993. Το 1998 η πρώτη έκδοση PLAXIS® για τα Windows® κυκλοφόρησε. Στο μεταξύ ένας πυρήνας υπολογισμού για τους τρισδιάστατους υπολογισμούς αναπτυσσόταν. Μετά από αρκετά έτη ανάπτυξης το τρισδιάστατο πρόγραμμα σηράγγων PLAXIS® κυκλοφόρησε το 2001.

Οι κύριοι στόχοι του ήταν να παρέχει ένα εργαλείο για την πρακτική ανάλυση και να χρησιμοποιείται από τους γεωτεχνικούς μηχανικούς. Συχνά οι μηχανικοί θεωρούν τους μη γραμμικούς πεπερασμένους υπολογισμούς στοιχείων δύσχρηστους και χρονοβόρους. Έτσι, πολλοί γεωτεχνικοί μηχανικοί παγκοσμίως έχουν υιοθετήσει το προϊόν και το χρησιμοποιούν για λόγους εφαρμοσμένης μηχανικής.

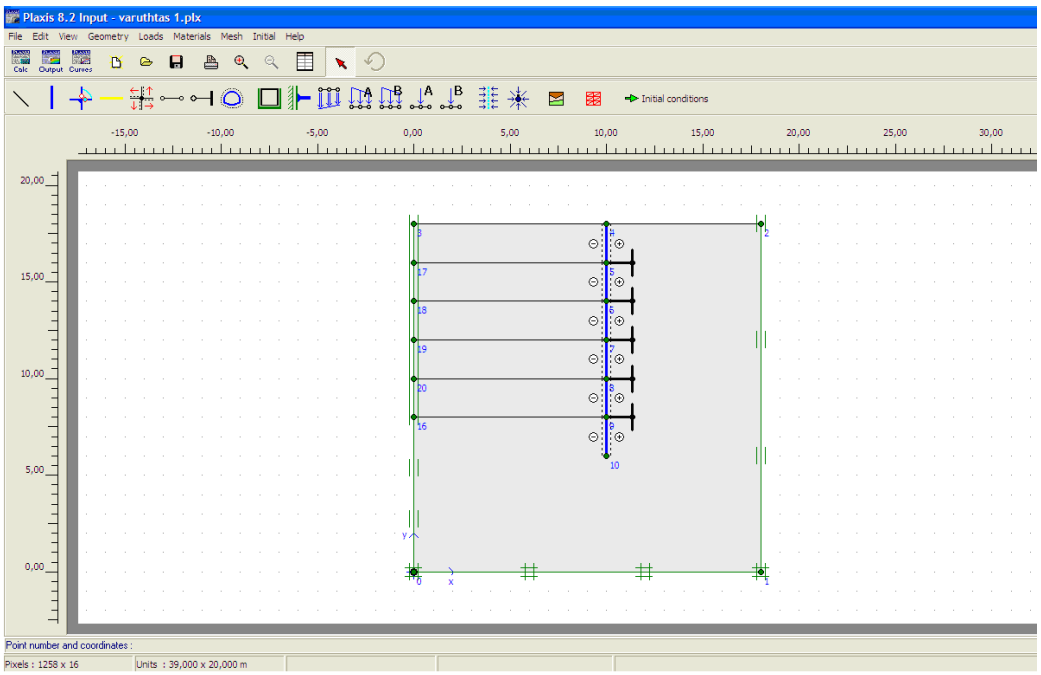
Το PLAXIS® είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων για γεωτεχνικές εφαρμογές, στις οποίες τα εδαφολογικά πρότυπα μιμούνται την εδαφολογική συμπεριφορά. Το PLAXIS® και τα εδαφολογικά πρότυπα του έχουν αναπτυχθεί με μεγάλη προσοχή. Αν και έχουν γίνει πολλές δοκιμές δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι δεν περιέχει λάθη. Επίσης, η προσομοίωση των γεωτεχνικών προβλημάτων με τα μέσα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, περιλαμβάνει μερικά αναπόφευκτα αριθμητικά λάθη και λάθη διαμόρφωσης. Η ακρίβεια στην οποία η πραγματικότητα προσεγγίζεται, εξαρτάται ιδιαίτερα από την πείρα του χρήστη, σχετικά με τη διαμόρφωση του προβλήματος, την κατανόηση των εδαφολογικών προτύπων και των περιορισμών τους, την επιλογή των πρότυπων παραμέτρων και τη δυνατότητα να κριθεί η αξιοπιστία των υπολογιστικών αποτελεσμάτων.

ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Για κάθε νέο πρόγραμμα που αναλύεται είναι σημαντικό να δημιουργηθεί ένα πρότυπο γεωμετρίας, για να γίνει η προσομοίωση του σε ένα πραγματικό τρισδιάστατο πρόβλημα.

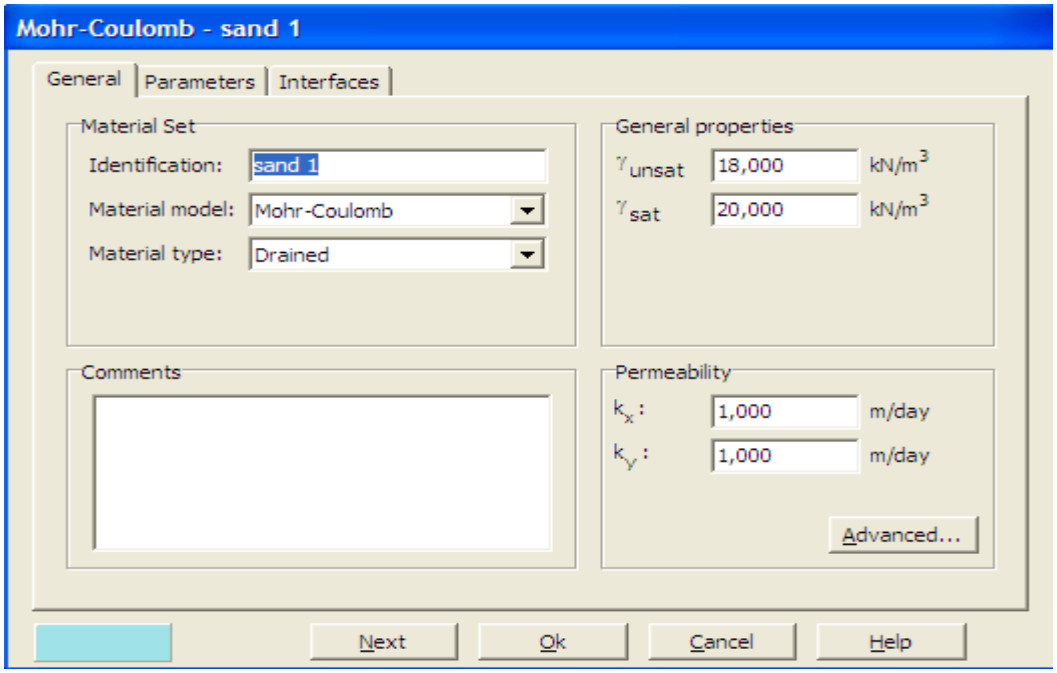
Το πρότυπο αυτό, αποτελείται από τα σημεία, τις γραμμές και τις φάσεις εκσκαφών. Επίσης περιλαμβάνει ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα του υπεδάφους (τα ευδιάκριτα εδαφολογικά στρώματα), τα δομικά αντικείμενα, τα στάδια κατασκευής και τις φορτώσεις. Το πρότυπο πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο έτσι ώστε τα όρια να μην

επηρεάζουν τα αποτελέσματα του προβλήματος που μελετάται όπως φαίνεται στην εικόνα (Εικ. 26) .

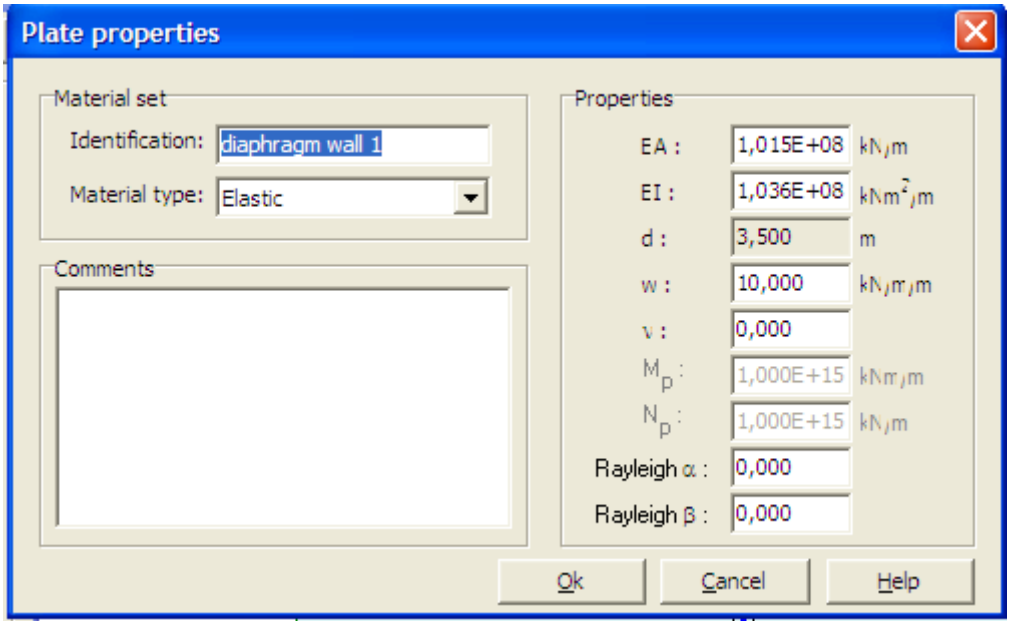


Εικ. 26 Σχεδιασμός Προτύπου Γεωμετρίας

Μετά τον σχεδιασμό του προτύπου πρέπει να εισαχθούν οι παράμετροι για τα υλικά του εδάφους και του τοίχου, όπως φαίνονται παρακάτω:

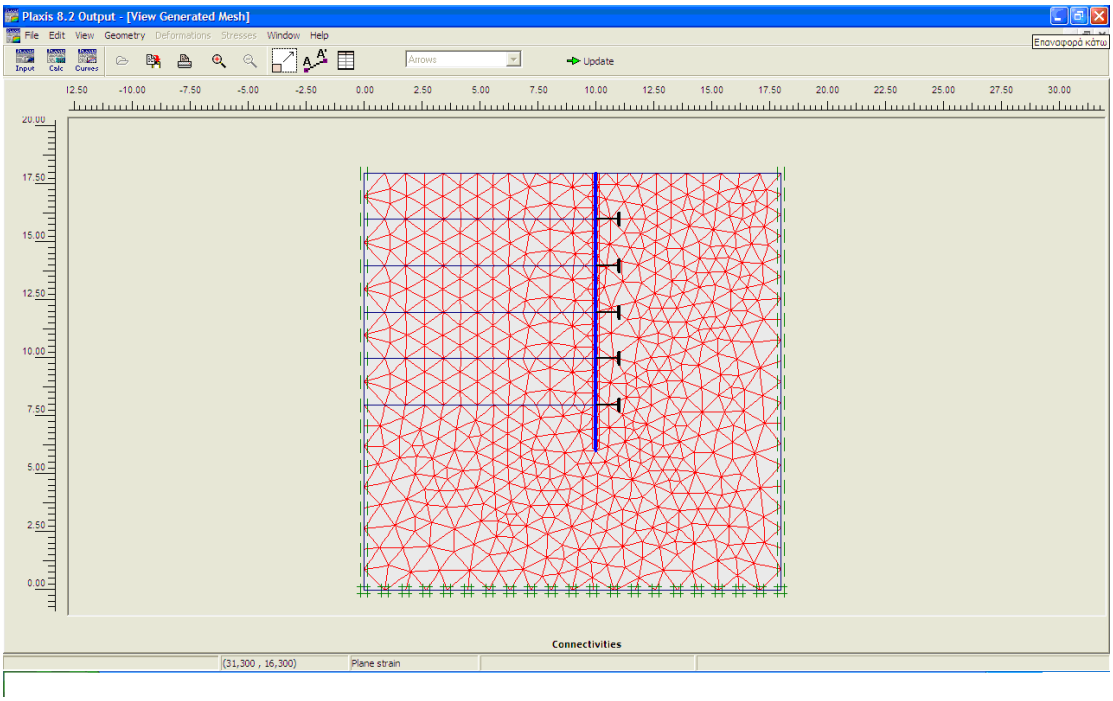


Εικ. 27 Παράμετροι Υλικών Του Εδάφους



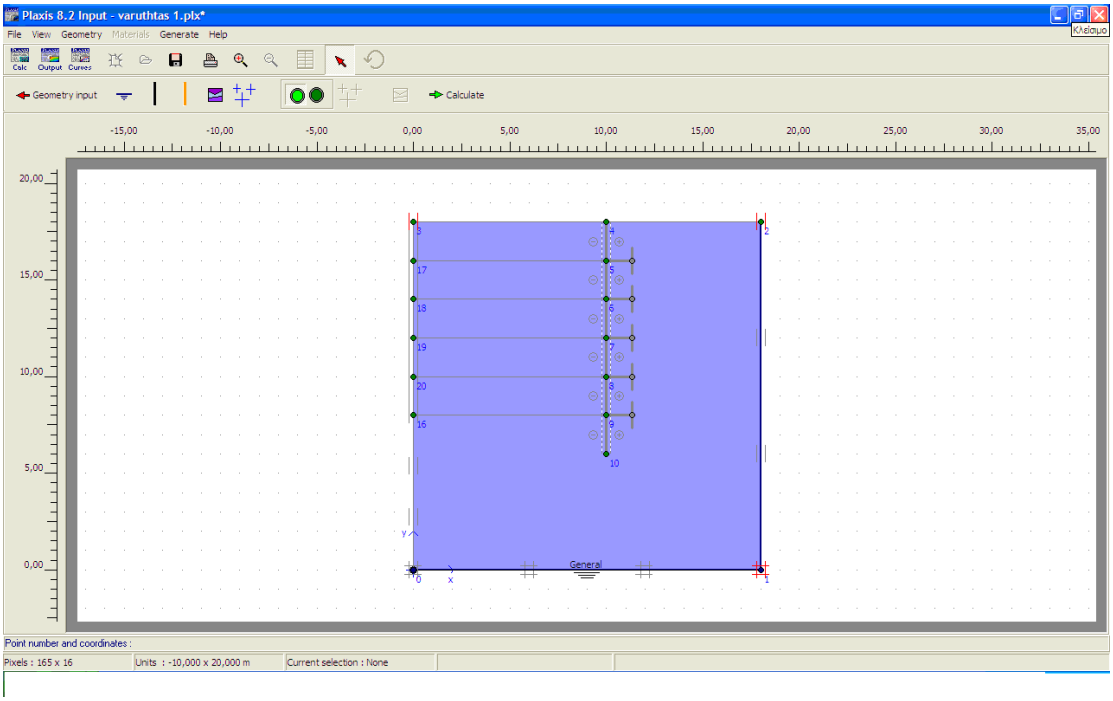
Εικ. 28 Παράμετροι Υλικών Του Τοίχου

Στην συνέχεια γίνεται η πύκνωση, που παίζει σημαντικό ρόλο, γιατί με αυτόν τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα να βρεθούν πιο κοντά στην πραγματικότητα (Εικ. 29).



Εικ. 29 Πύκνωση Του Τοίχου

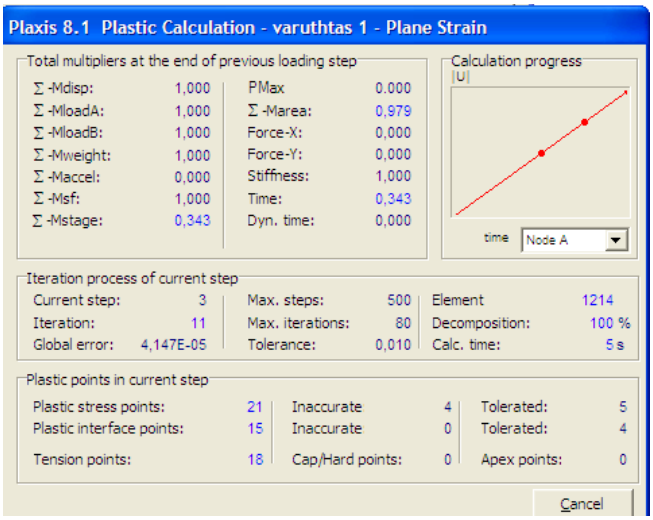
Έπειτα, πρέπει να οριστεί στο πρόγραμμα η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Το φαινόμενο βάρος του νερού δίνεται αυτόματα, όπως φαίνεται στην εικόνα (Εικ. 30).



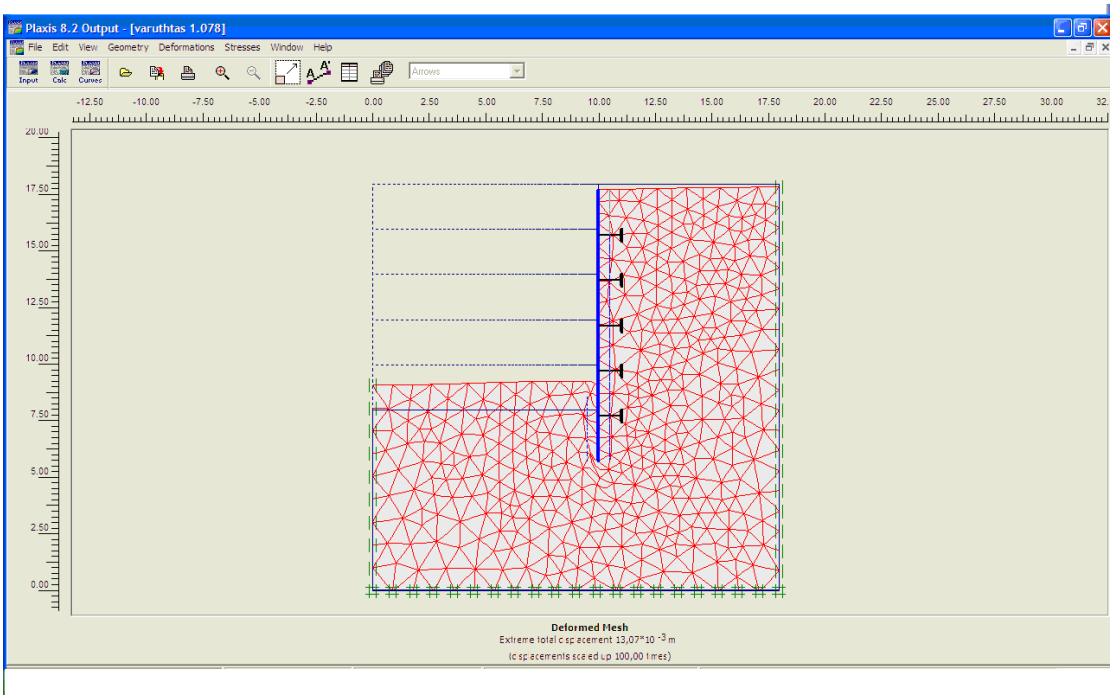
Εικ. 30 Ορισμός Στάθμης Υδροφόρου Ορίζοντα

Στη συνέχεια στο τμήμα του υπολογισμού ορίζονται οι φάσεις που θα εκτελεστεί το πρόγραμμα. Υπάρχει η δυνατότητα να οριστούν οι μέρες διεκπεραίωσης της κάθε φάσης καθώς και των αριθμών των βημάτων, που θα εκτελεστεί η εργασία.

Τέλος, ενεργοποιώντας την εντολή του υπολογισμού (Εικ. 31), το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να μας παρουσιάσει τις παραμορφώσεις στο έδαφος, τα διαγράμματα (τάσεων, τεμνουσών, ροπών κάμψεων), τις μετακινήσεις που μπορεί να έχει υποστεί ο τοίχος και το έδαφος (Εικ. 32).



Εικ. 31 Εντολή Υπολογισμού



Εικ. 32 Χαρακτηριστικό Παράδειγμα Αποτελέσματος (Παραμορφωμένη Κατάσταση Σε Μεγέθυνση)

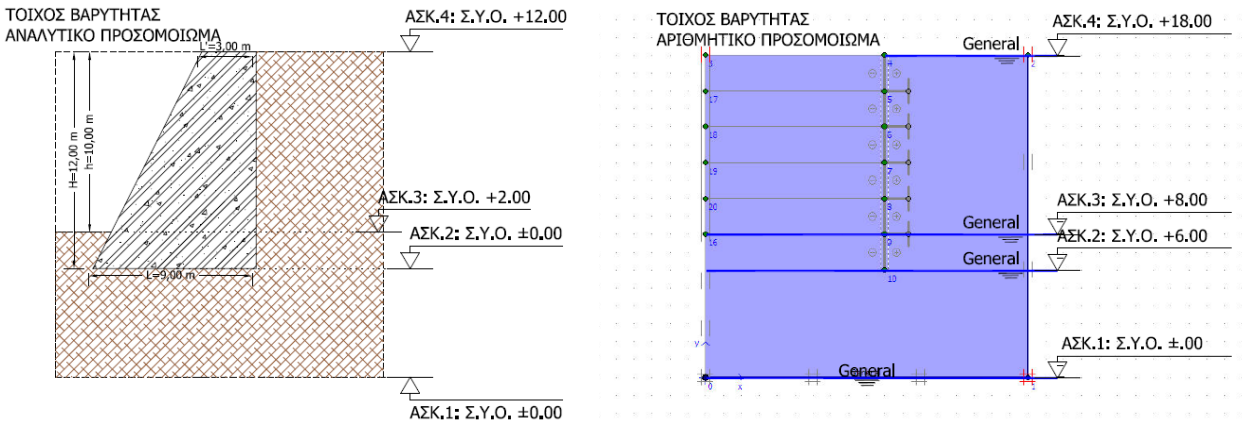
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ

ΓΕΝΙΚΑ

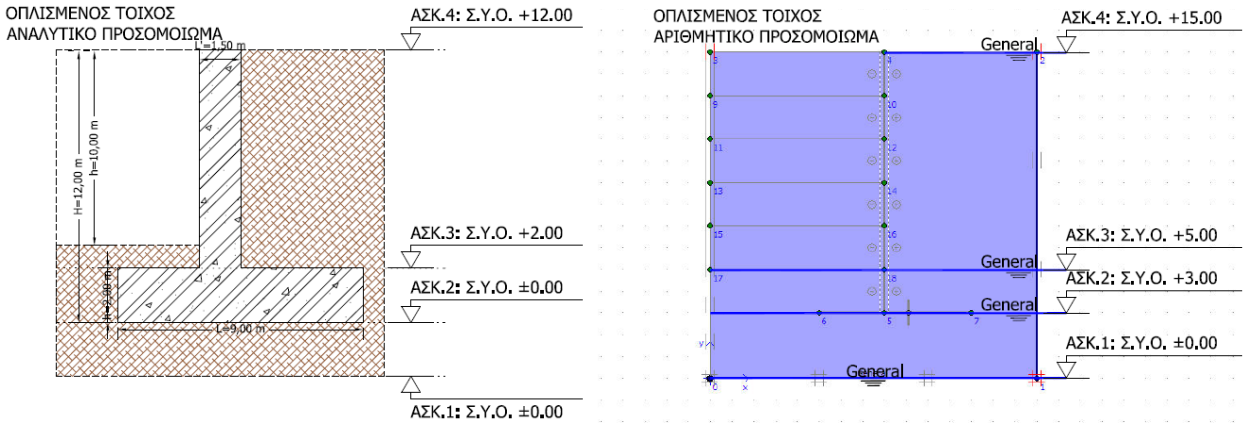
Στην εργασία αυτή, τόσο στην αναλυτική όσο και στην αριθμητική μέθοδο αντιμετωπίστηκαν τέσσερα είδη τοίχων αντιστήριξης (τοίχος βαρύτητας, οπλισμένος τοίχος, εύκαμπτη αντιστήριξη - πέτασμα, αντιστήριξη με αγκύρωση – πέτασμα με αγκύρωση). Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα είδη εδαφών (άμμος 1, άμμος 2, άργιλος 1, άργιλος 2), καθώς και τέσσερις στάθμες υδροφόρου ορίζοντα, διαφορετικές για κάθε περίπτωση. Σε κάθε περίπτωση το ύψος του προς αντιστήριξη εδάφους είναι 10m. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τις στάθμες υδροφόρου ορίζοντα, για τα εδάφη και τα γενικά δεδομένα των ασκήσεων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

ΣΤΑΘΜΕΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ (m)								
Είδη Τοίχων	**Τοίχος Βαρύτητας**		**Οπλισμένος Τοίχος**		**Εύκαμπτη Αντιστήριξη**		**Αντιστήριξη Με Αγκύρωση**	
α/α	**ΑΝ. ΜΕΘ.**	**ΑΡ. ΜΕΘ.**	**ΑΝ. ΜΕΘ.**	**ΑΡ. ΜΕΘ.**	**ΑΝ. ΜΕΘ.**	**ΑΡ. ΜΕΘ.**	**ΑΝ. ΜΕΘ.**	**ΑΡ. ΜΕΘ.**
1	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0
2	+0,0	+6,0	+0,0	+3,0	+0,0	+25,0	+0,0	+25,0
3	+2,0	+8,0	+2,0	+5,0	+6,0	+39,0	+5,0	+35,0
4	+12,0	+18,0	+12,0	+15,0	+25,0	+45,0	+25,0	+45,0

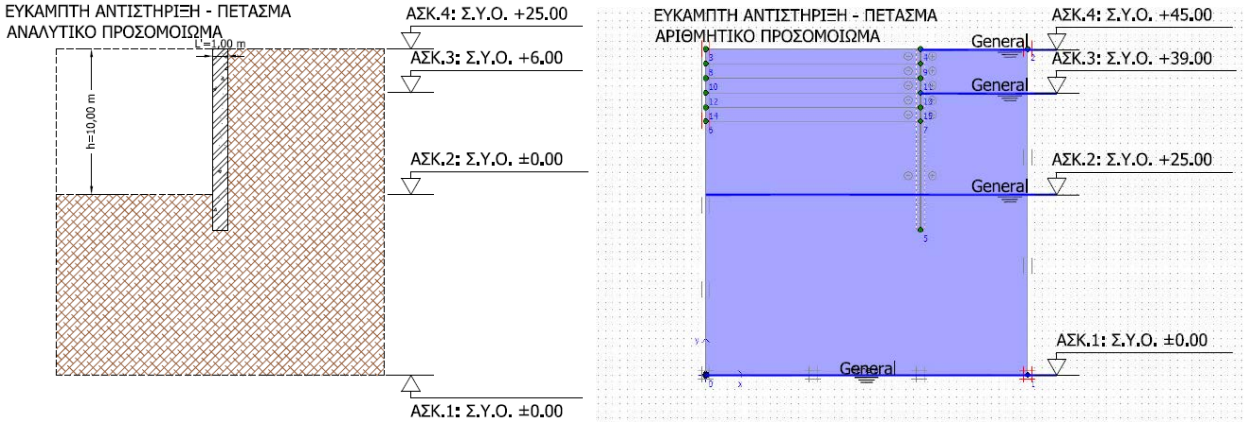
Πιν. 1 Στάθμες Υδροφόρου Ορίζοντα



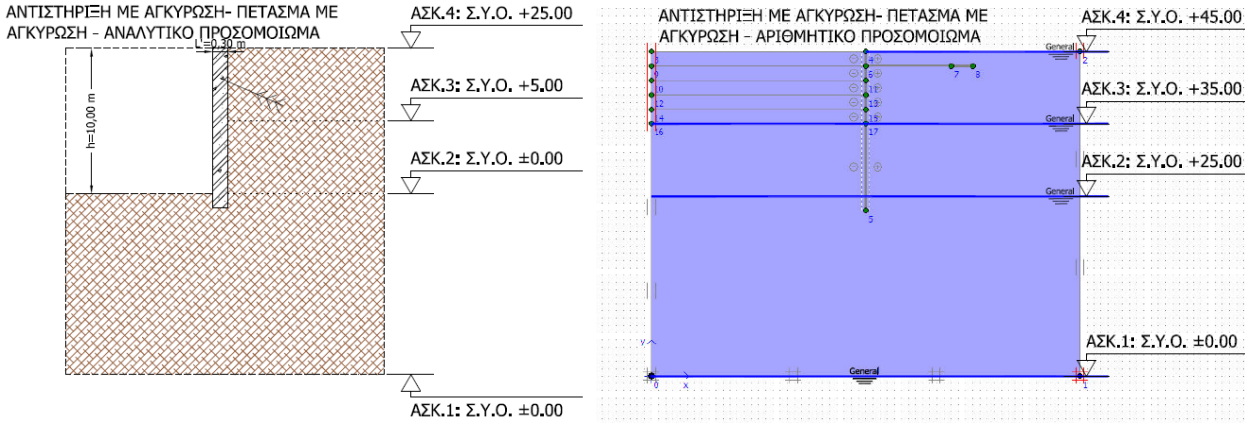
Εικ. 33 Σ.Υ.Ο. Τοίχου Βαρύτητας Αναλυτικού – Αριθμητικού Προσωμοιώματος



Εικ. 34 Σ.Υ.Ο. Οπλισμένου Τοίχου Αναλυτικού – Αριθμητικού Προσωμοιώματος



Εικ. 35 Σ.Υ.Ο. Εύκαμπτης Αντιστήριξης - Πέτασμα Αναλυτικού – Αριθμητικού Προσωμοιώματος



Εικ. 36 Σ.Υ.Ο. Αντιστήριξης Με Αγκύρωση – Πέτασμα Με Αγκύρωση Αναλυτικού – Αριθμητικού Προσωμοιώματος

	ΕΔΑΦΗ							
	ΑΜΜΟΣ 1		**ΑΜΜΟΣ** 2		**ΑΡΓΙΛΟΣ** 1		**ΑΡΓΙΛΟΣ** 2	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	**ΑΝ. ΜΕΘ.**	**ΑΡ. ΜΕΘ.**	**ΑΝ. ΜΕΘ.**	**ΑΡ. ΜΕΘ.**	**ΑΝ. ΜΕΘ.**	**ΑΡ. ΜΕΘ.**	**ΑΝ. ΜΕΘ.**	**ΑΡ. ΜΕΘ.**
Γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ^o)	30	30	25	25	22	22	15	15
Γωνία πρανούς (β^o)	90		90		90		90	
Γωνία (i^o)	0		0		0		0	
Γωνία τριβής στην βάση του τοίχου (δ^o)	21,14		17,35		21,14		10,18	

Κορεσμένο φαινόμενο βάρος $(\gamma_{unsat})\left(\frac{kN}{m^3}\right)$	20	18	20	19	20	19	20	20
Υγρό φαινόμενο βάρος $(\gamma_{sat})\left(\frac{kN}{m^3}\right)$	18	20	19	22	19	21	20	22
Διαπερατότητα στο οριζόντιο επίπεδο $(k_x)\left(\frac{m}{day}\right)$		1		1		0,01		$1*10^{-6}$
Διαπερατότητα στο κατακόρυφο επίπεδο $(k_y)\left(\frac{m}{day}\right)$		1		1		0,01		$1*10^{-6}$
Λόγος Young $(E_{ref})\left(\frac{kN}{m^2}\right)$		20000		15000		11000		12000
Λόγος Poison (v)		0,3		0,3		0,35		0,35
Συνοχή $(c_{ref})\left(\frac{kN}{m^2}\right)$	0	1	0	1	10	10	20	20
Γωνία διασταλτικότητας (ψ^o)		2		0		0		0
Συντελεστής μείωσης διεπιφάνειας (R_{inter})	0,67	0,67	0,67	0,67	6,7	0,67	13,4	0,67
Φαινόμενο βάρος εδάφους $(\gamma_{εδάφους})\left(\frac{kN}{m^3}\right)$	18		18		18		18	

Πιν. 2 Παράμετροι Εδαφών

ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ		
α/α	**ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ**	**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ**
Φαινόμενο βάρος σκυροδέματος $(\gamma_b)\left(\frac{kN}{m^3}\right)$	25	
Φαινόμενο βάρος νερού $(\gamma_w)\left(\frac{kN}{m^3}\right)$	10	10
Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος $(E)(GPa)$		29
Επιτρεπόμενη τάση $(\sigma_{επ.})\left(\frac{kN}{m^2}\right)$	350	

Πιν. 3 Γενικά Δεδομένα Περιπτώσεων

ΤΟΙΧΟΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Σκοπός της ανάλυσης με την αναλυτική μέθοδο, είναι να δούμε αν η μορφολογία του τοίχου ($B = 9,0m, b = 3,0m, H = 12,0m$) είναι επαρκής, ώστε να είναι ευσταθής ο τοίχος σε ολίσθηση και ανατροπή. Υπολογίζονται οι αντίστοιχοι συντελεστές ώθησης K_a και K_p με την μέθοδο του Coulomb, τις ωθήσεις, τους συντελεστές των ωθήσεων και τέλος τα διαγράμματα τεμνουσών, ροπών και τάσεων.

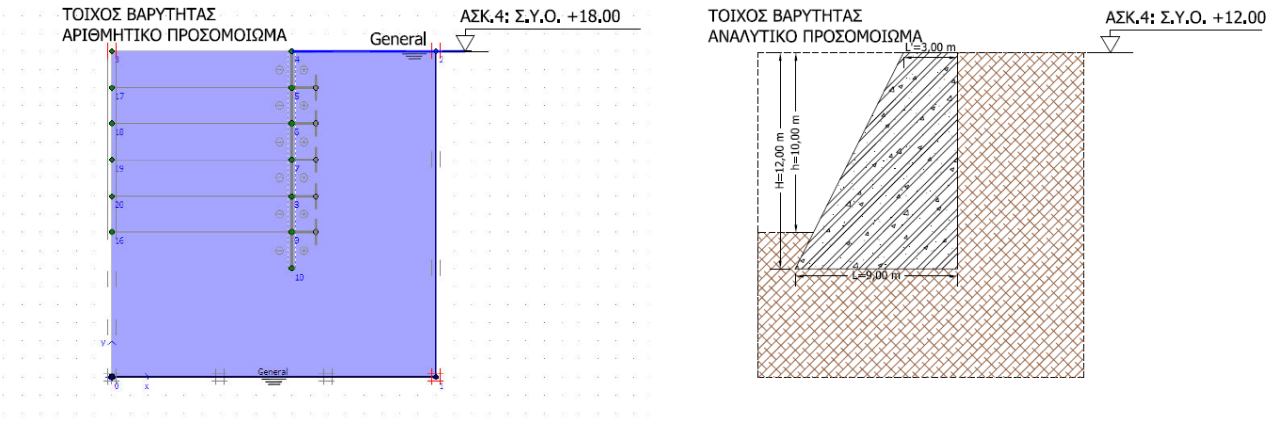
Στην αριθμητική μέθοδο, καθώς το πρόγραμμα PLAXIS®, δεν μπορεί να αντιληφθεί τη διαφορά του πλάτος του τοίχου, το προσομοίωμα χωρίστηκε σε έξι άκαμπτα τμήματα και ορίζοντας επιπλέον συγκεκριμένα δεδομένα (όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα Πιν. 4), βρέθηκαν οι παραμορφώσεις του εδάφους, οι μετακινήσεις που μπορεί να υποστεί τόσο το έδαφος όσο και ο τοίχος και τα διαγράμματα τάσεων.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΙΧΟΥ						
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	**ΤΜΗΜΑ 1**	**ΤΜΗΜΑ 2**	**ΤΜΗΜΑ 3**	**ΤΜΗΜΑ 4**	**ΤΜΗΜΑ 5**	**ΤΜΗΜΑ 6**
Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος $(E)(GPa)$	29	29	29	29	29	29
Εμβαδόν τοίχου $(A)\left(m^2\right)$	3,50	4,50	5,50	6,50	7,50	8,50

Ροπή αδράνειας $(I)\left(m^4\right)$	3,573	7,594	13,865	22,885	35,156	51,177
Βάρος τοίχου $(w)(kN/m/m)$	10	10	10	10	10	10
Λόγος Poisson (v)	0	0	0	0	0	0

Πιν. 4 Δεδομένα Τοίχου Βαρύτητας

Αφού ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις και με τις δύο μεθόδους, και έγιναν οι συγκρίσεις μεταξύ τους, διαπιστώθηκε ότι σε γενική μορφή τα διαγράμματα είναι ποιοτικά όμοια. Μεγάλες διαφορές παρουσιάστηκαν στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε πλήρως κορεσμένο έδαφος και είναι μια ενδιαφέρον περίπτωση για να αναλυθεί.

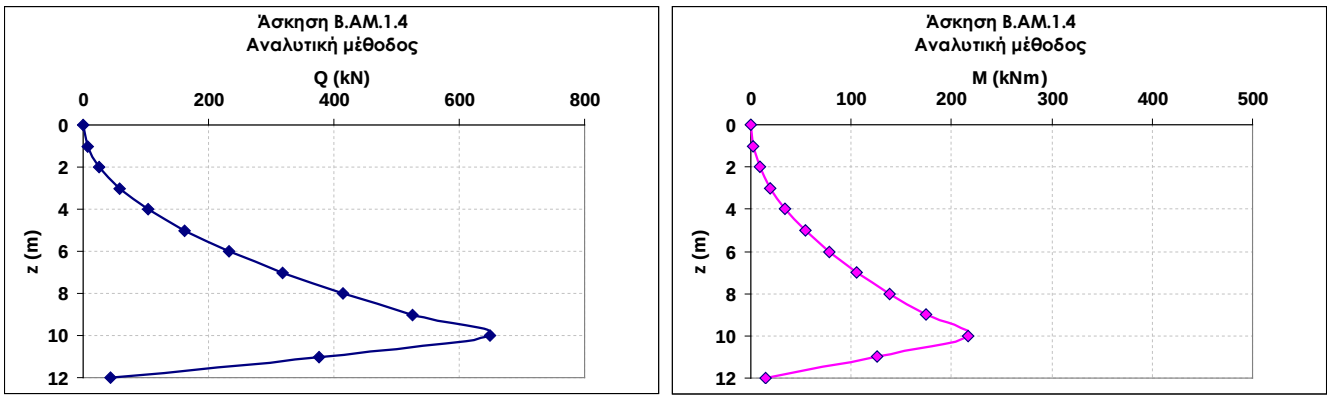


Εικ. 37 Τοίχος Βαρύτητας Με Πλήρως Κορεσμένο Έδαφος

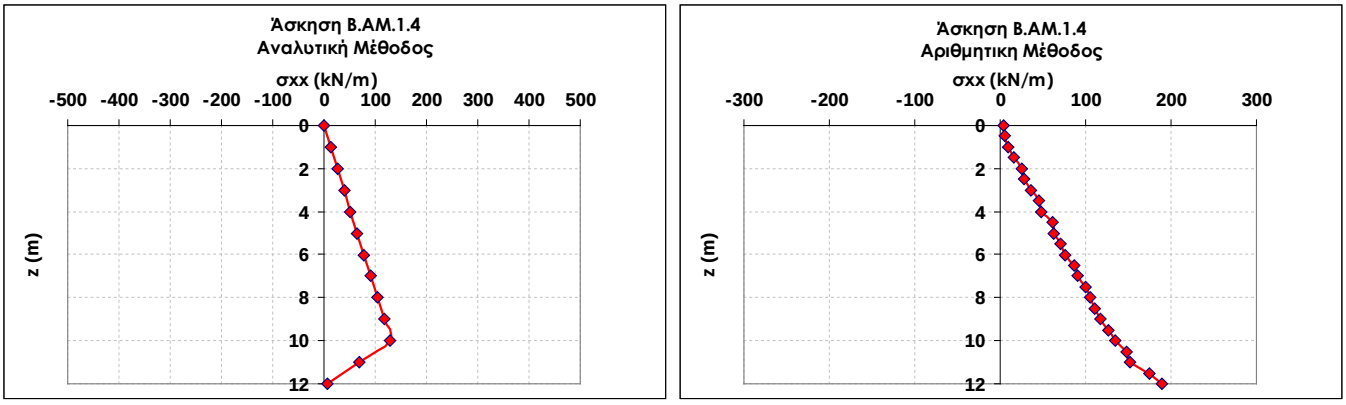
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΑΜΜΟΣ 1

ΑΣΚΗΣΗ *Β.ΑΜ.*1.4



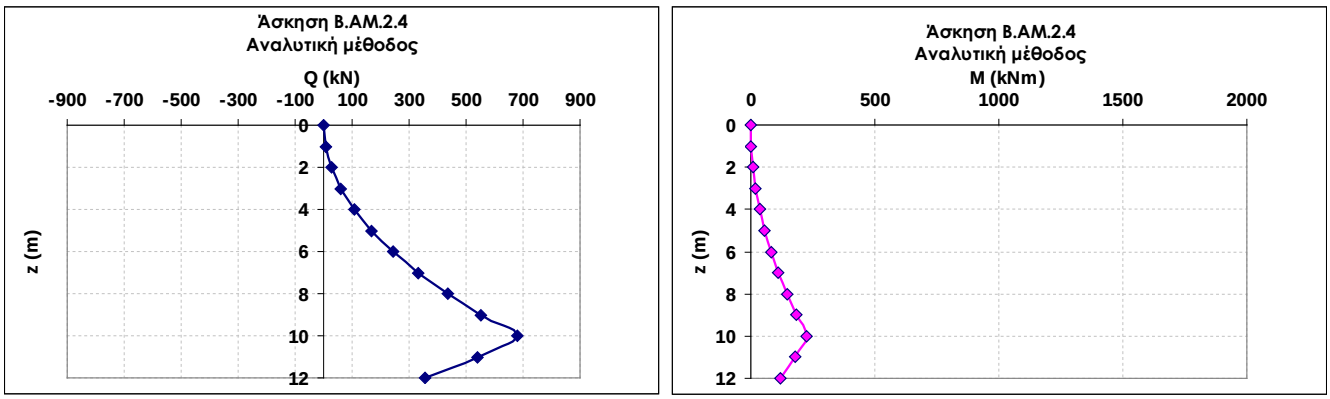
Εικ. 38 Διάγραμμα Τεμνουσών Και Ροπών Κάμψης Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



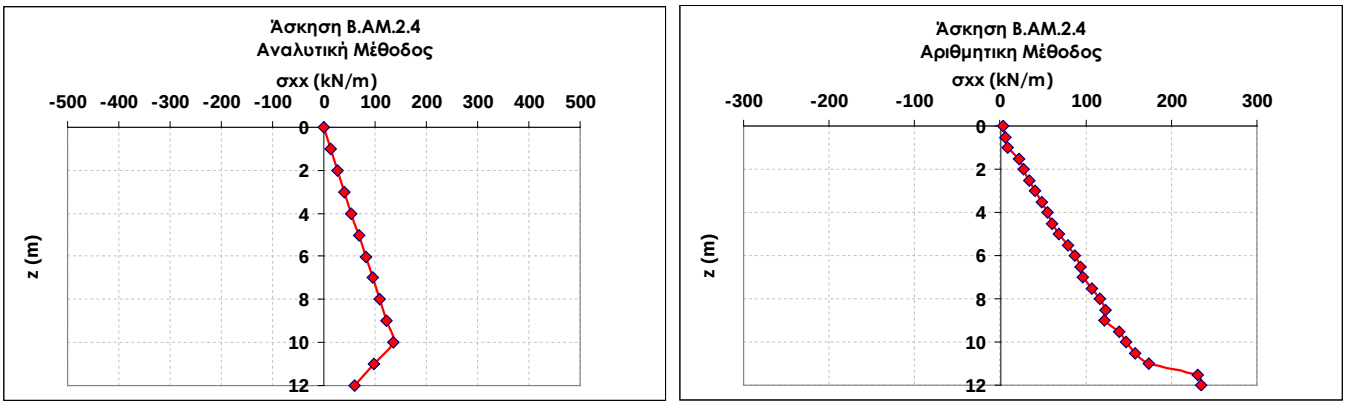
Εικ. 39 Διαγράμματα Τάσεων Αναλυτικών Και Αριθμητικών Προσομοιωμάτων

ΑΜΜΟΣ 2

ΑΣΚΗΣΗ *Β.ΑΜ.*2.4



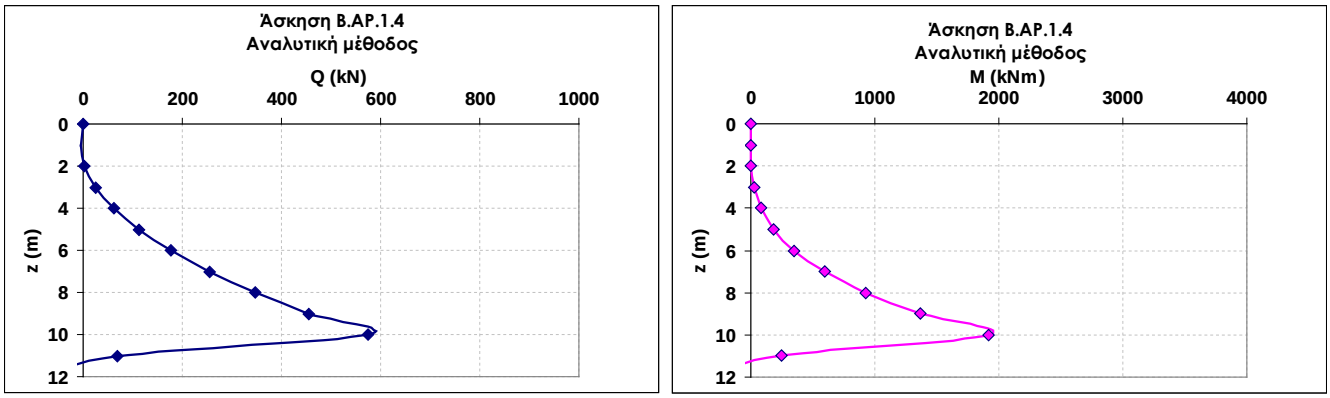
Εικ. 40 Διάγραμμα Τεμνουσών Και Ροπών Κάμψης Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



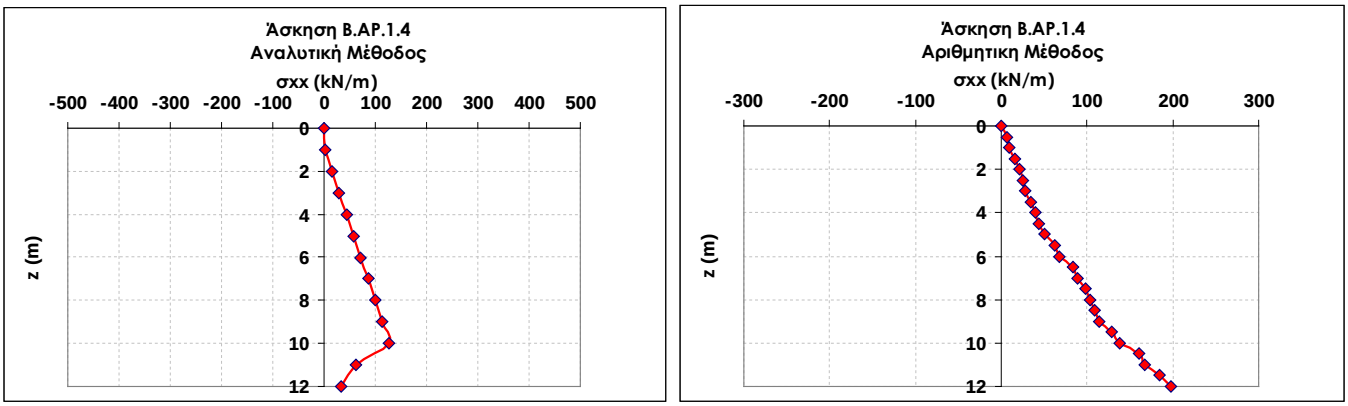
Εικ. 41 Διαγράμματα Τάσεων Αναλυτικών Και Αριθμητικών Προσομοιωμάτων

ΑΡΓΙΛΟΣ 1

ΑΣΚΗΣΗ *Β.ΑΡ*.1.4



Εικ. 42 Διάγραμμα Τεμνουσών Και Ροπών Κάμψης Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



Εικ. 43 Διαγράμματα Τάσεων Αναλυτικών Και Αριθμητικών Προσομοιωμάτων

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

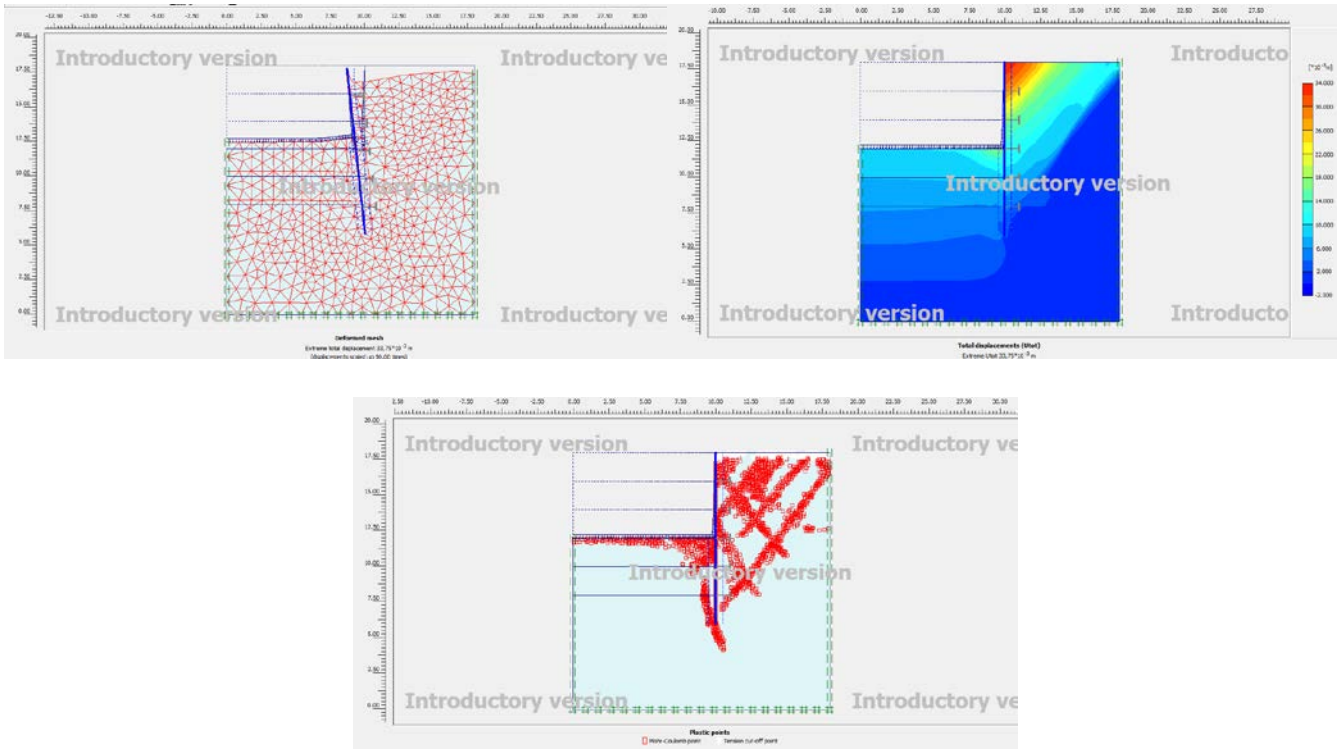
1. Σύμφωνα με την θεωρία του Rankine, στον τοίχο βαρύτητας οι παθητικές ωθήσεις είναι πολύ αυξημένες και ενεργούν ως προς την ασφάλεια του τοίχου. Στην

αναλυτική μέθοδο, παρουσιάζεται πολύ μεγάλη τιμή ροπής, που πρακτικά είναι αδύνατον να αναπτυχθεί.

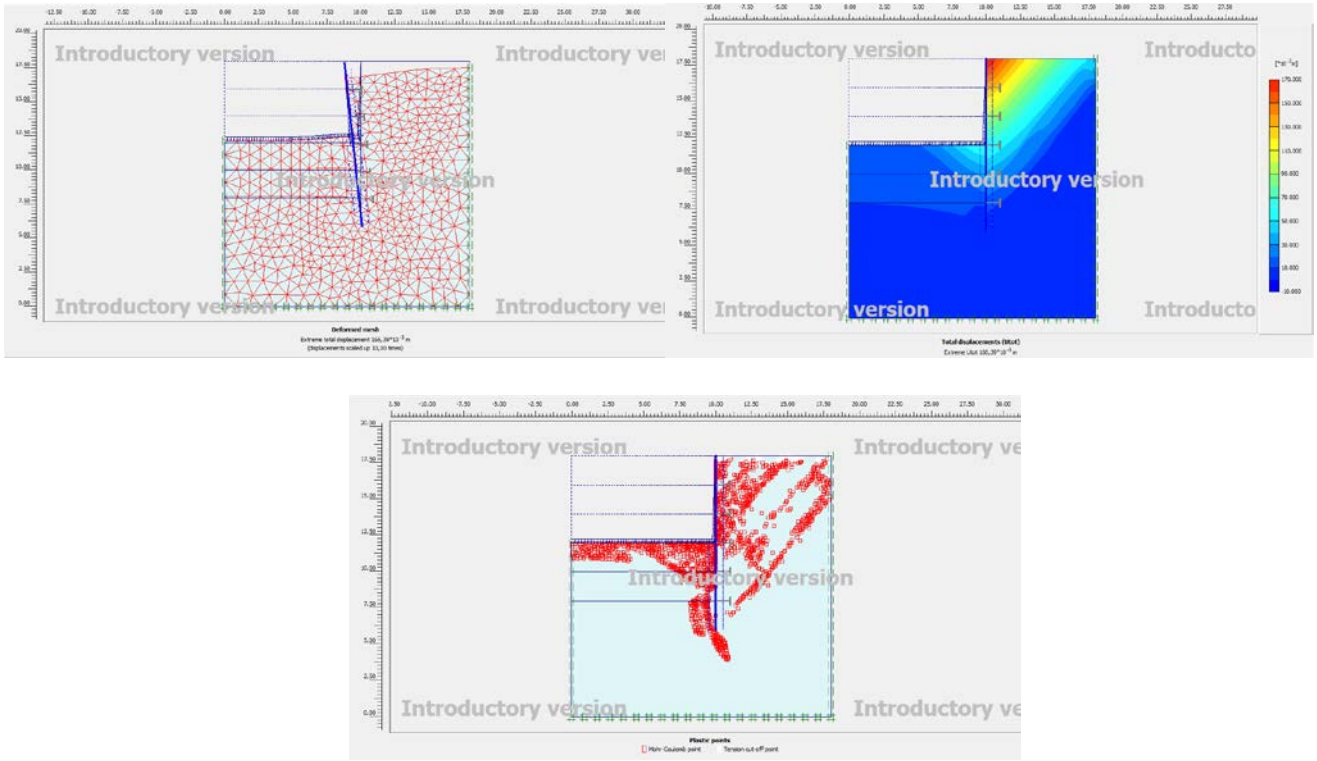
2. Στα κοκκώδη εδάφη η μεταβολή του περιεχόμενου νερού παίζει μικρό ρόλο στην αντοχή τους, ενώ στα συνεκτικά εδάφη μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές.
3. Στην αριθμητική μέθοδο χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PLAXIS®. Τα πεπερασμένα στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο PLAXIS® είναι πεπερασμένα στοιχεία πλακών και στοιχεία αγκύρωσης, και με αυτές τις δυνότητες είναι αδύνατον να προσομοιωθούν τοίχοι βαρύτητας γιατί χρειάζονται τουλάχιστον δυο υλικά. Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία πλακών προσπαθώντας να παρθούν αξιόπιστα αποτελέσματα, αλλά επειδή μπλέκεται και η διάτρηση μέσα στο μοντέλο αυτό, είναι αδύνατον να προσομοιωθούν. Γι' αυτό το λόγο, προσομοιώθηκε ο τοίχος βαρύτητας σαν πέτασμα με πολύ μεγάλο βάθος και θεωρήθηκε πολύ μικρό το βάρος του για να μην δημιουργηθεί διάτρηση εδάφους.
4. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των μετακινήσεων και των παραμορφώσεων του τοίχου, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις αναλύσεις μεταξύ των εδαφών: άμμο 1 με άμμο 2 και άργιλο 1 με άργιλο 2 (όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 5).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΩΝ	**ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ**	
	ΕΔΑΦΟΣ	**ΤΟΙΧΟΣ**
ΑΜΜΟΣ 1	$7{,}35*10^{-3}$m	$1{,}70*10^{-3}$m
ΑΜΜΟΣ 2	$13{,}19*10^{-3}$m	$2{,}71*10^{-3}$m
ΑΡΓΙΛΟΣ 1	$13{,}46*10^{-3}$m	$3{,}82*10^{-3}$m
ΑΡΓΙΛΟΣ 2	$4{,}04*10^{-3}$m	$2{,}67*10^{-3}$m

Πιν. 5 Μετακινήσεις Εδάφους – Τοίχου



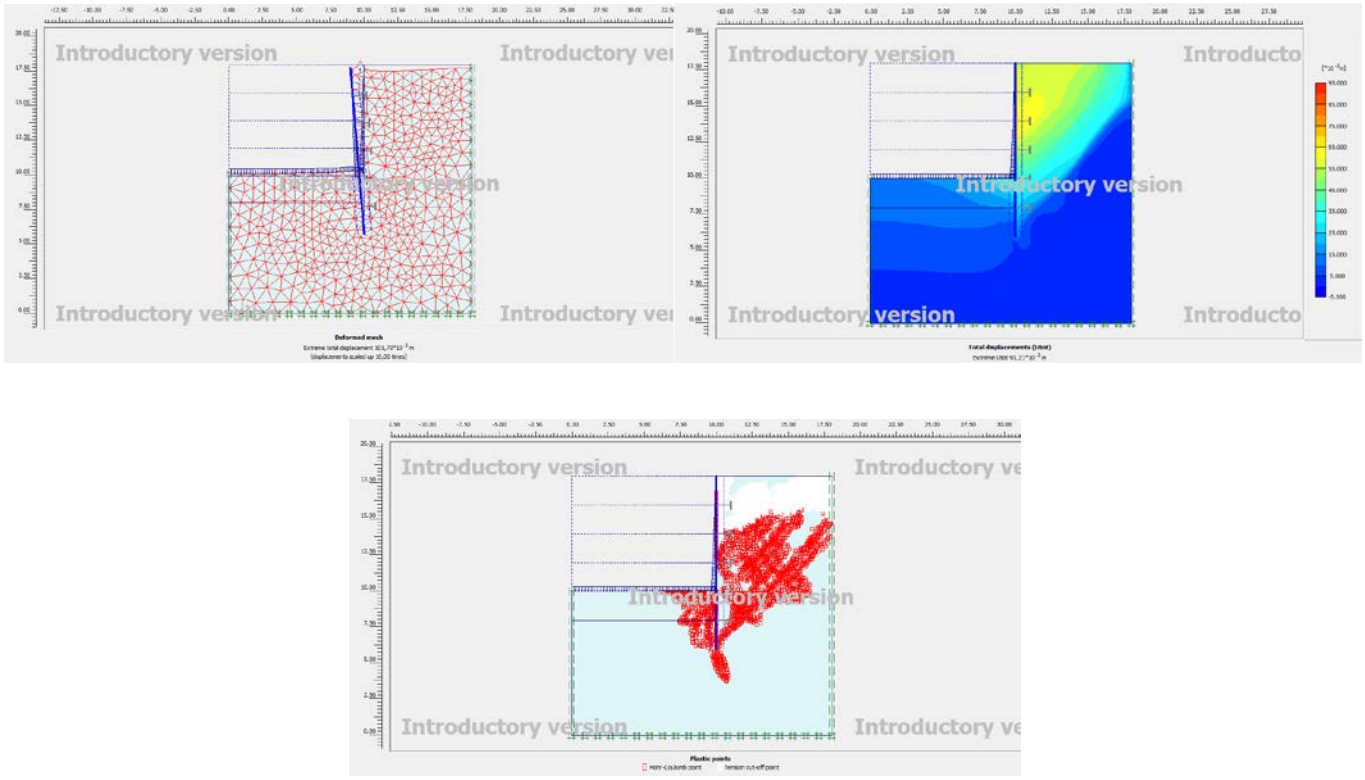
Εικ. 44 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άμμος 1)



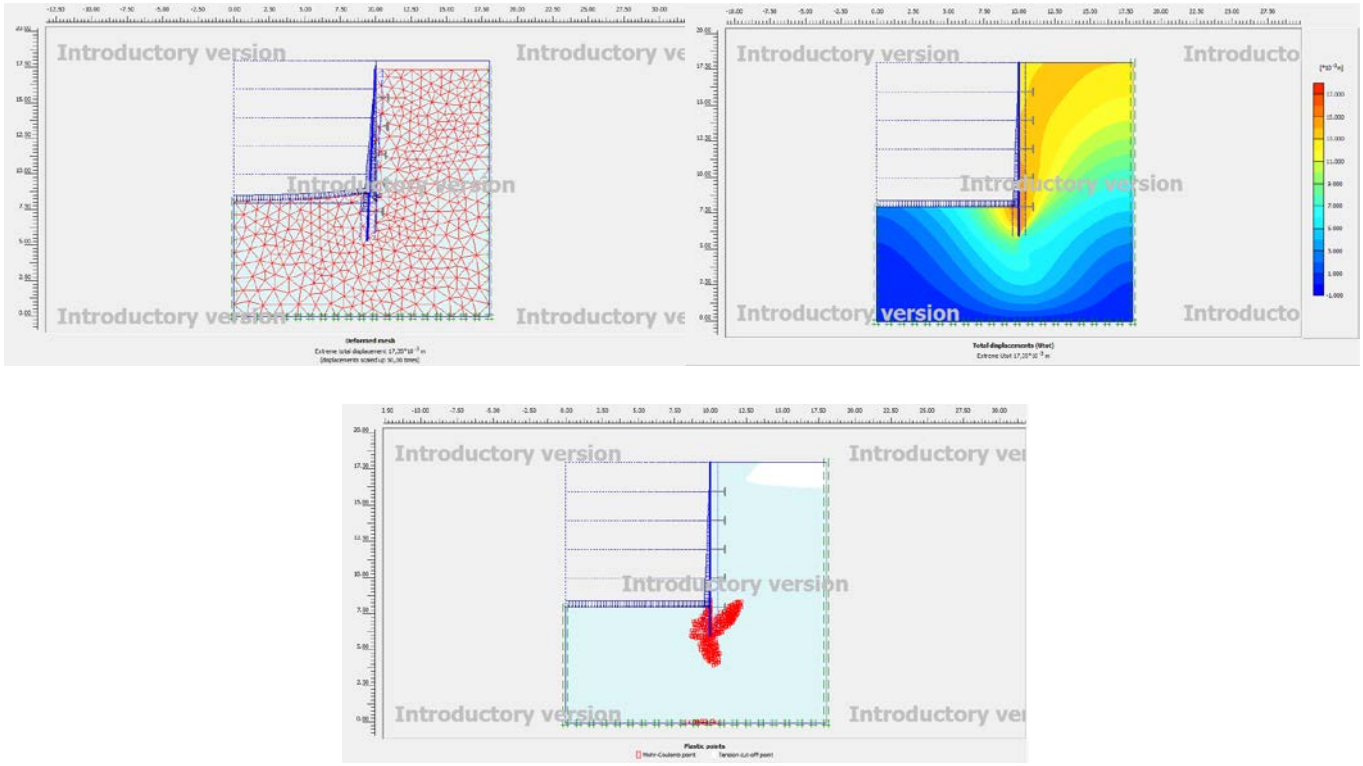
Εικ. 45 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άμμος 2)

Αυτό συμβαίνει επειδή στην άμμο 1 θεωρείται μεγαλύτερη εσωτερική γωνία τριβής (ϕ^o) σε σχέση με την άμμο 2, με αποτέλεσμα να προσομοιώνεται έδαφος με μεγαλύτερη

διατμητική αντοχή. Άρα οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις του εδάφους είναι μικρότερες (Εικ. 44 - Εικ. 45).



Εικ. 46 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άργιλος 1)



Εικ. 47 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άργιλος 2)

Στα αργιλικά εδάφη, εξετάζονται αστράγγιστες συνθήκες (άργιλος 2). Στις αστράγγιστες συνθήκες υπάρχει μεγάλη συνοχή c_u, που δηλώνει ότι τα μεγέθη των κόκκων είναι καλά διαβαθμισμένα από τους μικρότερους κόκκους προς τους μεγαλύτερους. Γι' αυτό τον λόγο, οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις του εδάφους στον άργιλο 2, είναι μικρότερες (Εικ. 46 - Εικ. 47). Οι αστράγγιστες συνθήκες είναι ένα μοντέλο που δημιουργεί μέσα στο έδαφος περιπλοκότητα, η οποία είναι εκτός από τα όρια της παρούσας εργασίας. Γι' αυτό το λόγο τα αποτελέσματα που δίνονται είναι ασχολίαστα.

Στα διαγράμματα των παραμορφώσεων των εδαφών, είναι προφανές ότι επιβεβαιώνεται μια από τις παραδοχές της θεωρίας του Rankine (ότι πρέπει ο τοίχος να μπορεί να στραφεί γύρω από την βάση του).

Στα διαγράμματα των μετακινήσεων των εδαφών, επιβεβαιώνεται η θεωρία του Coulomb, καθώς το έδαφος διαρρέει με τριγωνική μορφή και δημιουργείται μια επιφάνεια ολίσθησης.

ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΣ ΤΟΙΧΟΣ

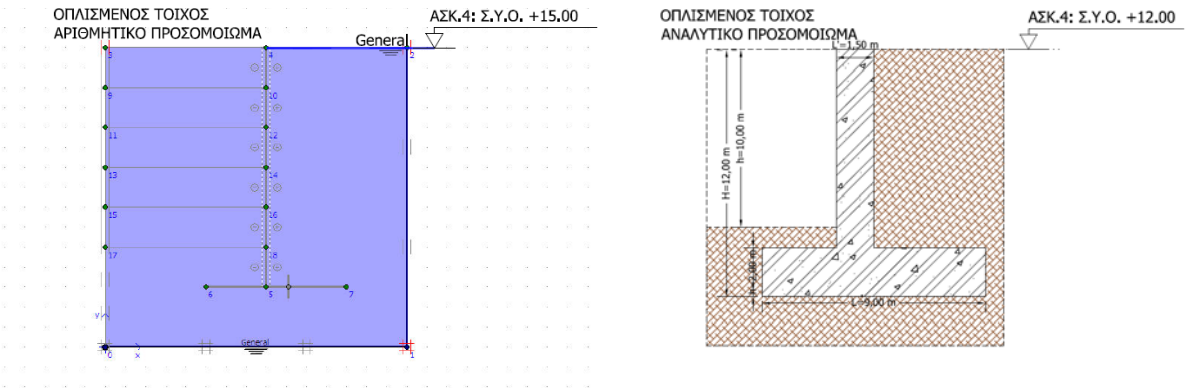
Επιλύθηκε η περίπτωση αυτή με την αναλυτική μέθοδο, για να βρεθεί αν η μορφολογία του τοίχου είναι επαρκής, ώστε να είναι ευσταθής ο τοίχος σε ολίσθηση και ανατροπή. Έτσι βρέθηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές ώθησης K_a και K_p, οι ωθήσεις, οι συντελεστές των ωθήσεων και τέλος τα διαγράμματα τεμνουσών, ροπών και τάσεων.

Στην αριθμητική μέθοδο, με την βοήθεια του προγράμματος PLAXIS®, για τον καλύτερο σχεδιασμό του τοίχου, θεωρήθηκε μια εγκάρσια τομή με τρία άκαμπτα τμήματα και ορίζοντας επιπλέον συγκεκριμένα δεδομένα (όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα Πιν. 6), βρέθηκαν οι παραμορφώσεις του εδάφους, τα διαγράμματα τεμνουσών, ροπών και τάσεων, οι μετακινήσεις που μπορεί να υποστεί τόσο το έδαφος όσο και ο τοίχος.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΙΧΟΥ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	**ΤΜΗΜΑ** 1	**ΤΜΗΜΑ** 2	**ΤΜΗΜΑ** 3
Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος $(E)(GPa)$	29	29	29
Εμβαδόν τοίχου $(A)(m^2)$	1,50	2,00	2,00
Ροπή αδράνειας $(I)(m^4)$	0,281	0,667	0,667
Βάρος τοίχου $(w)(kN/m/m)$	37,5	50,0	50,0
Λόγος Poisson (v)	0	0	0

Πιν. 6 Δεδομένα Οπλισμένου Τοίχου

Αφού ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις και με τις δύο μεθόδους, και έγιναν οι συγκρίσεις μεταξύ τους, διαπιστώθηκε ότι σε γενική μορφή τα διαγράμματα είναι ποιοτικά όμοια. Μεγάλες διαφορές παρουσιάστηκαν στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε πλήρως κορεσμένο έδαφος και είναι μια ενδιαφέρον περίπτωση για να αναλυθεί.

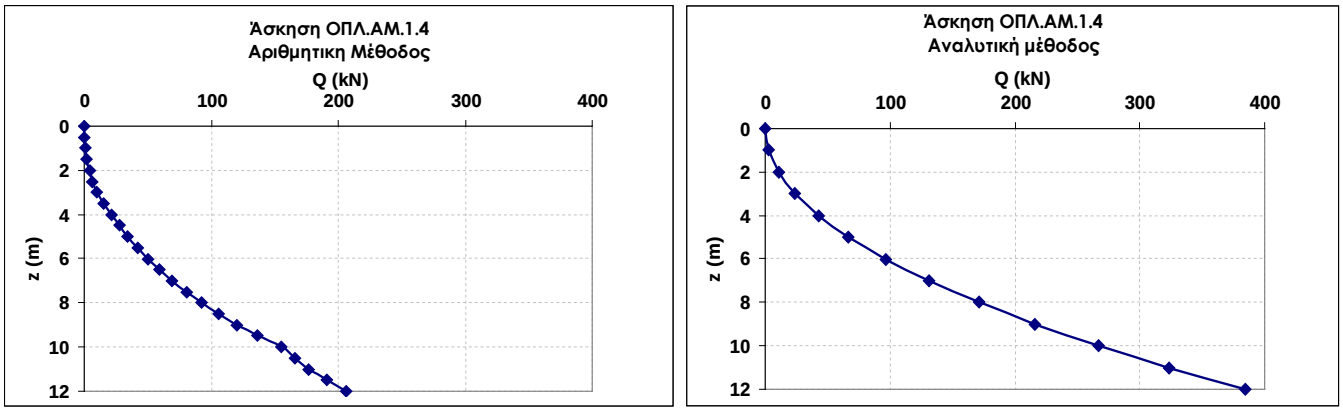


Εικ. 48 Οπλισμένος Τοίχος Με Κορεσμένο Έδαφος

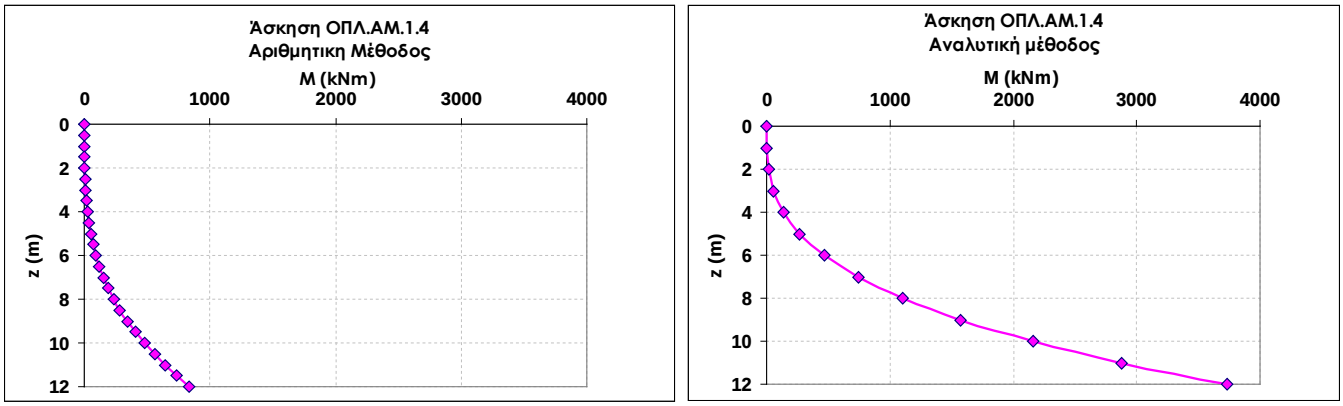
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΑΜΜΟΣ 1

ΑΣΚΗΣΗ *ΟΠΛ.ΑΜ.*1.4

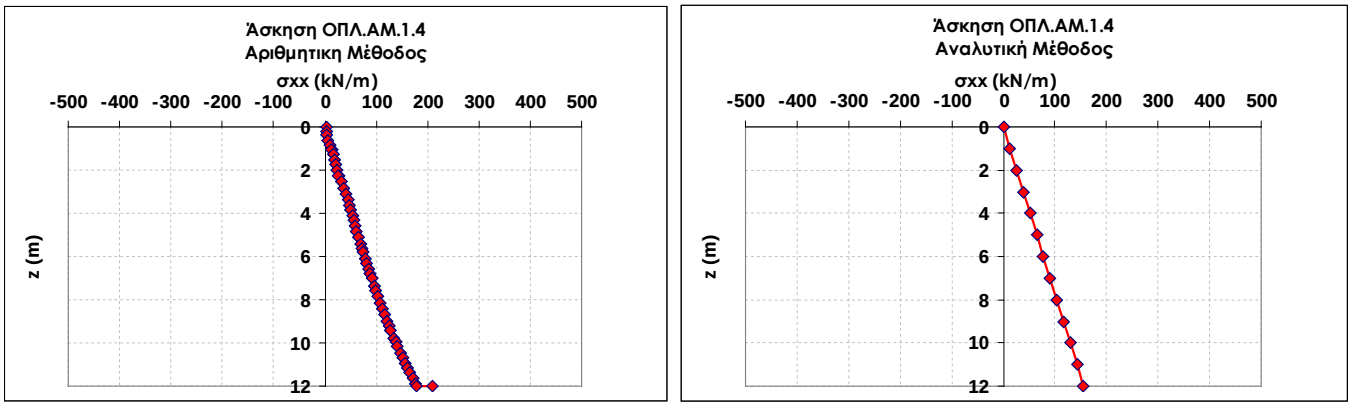


Εικ. 49 Διαγράμματα Τεμνουσών Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



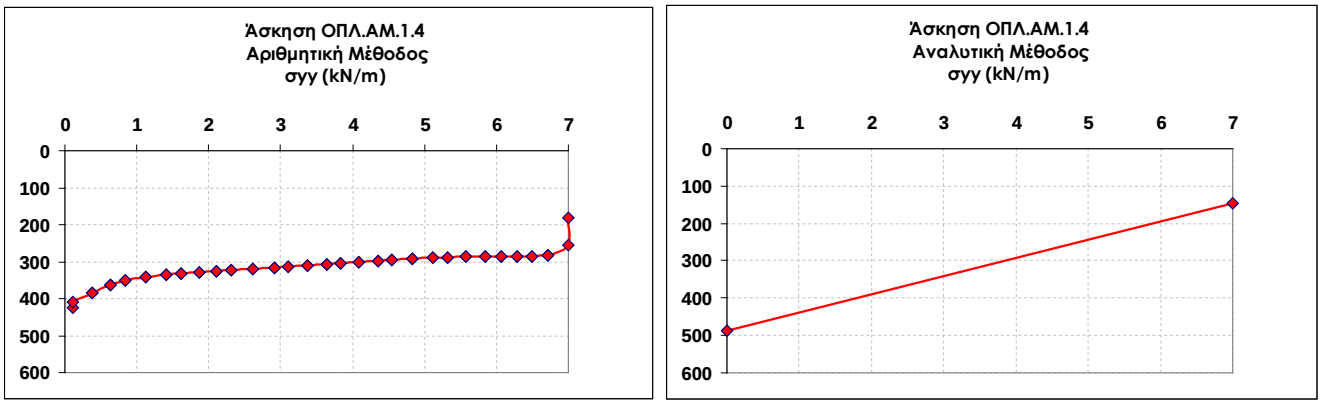
Εικ. 50 Διαγράμματα Ροπών Κάμψης Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΚΟΡΜΟΣ



Εικ. 51 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

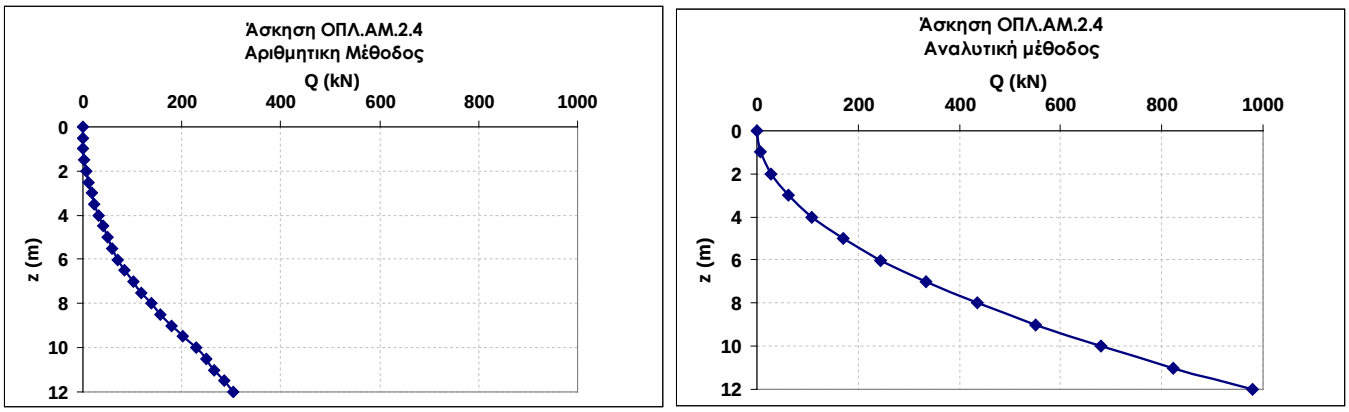
ΠΕΛΜΑ



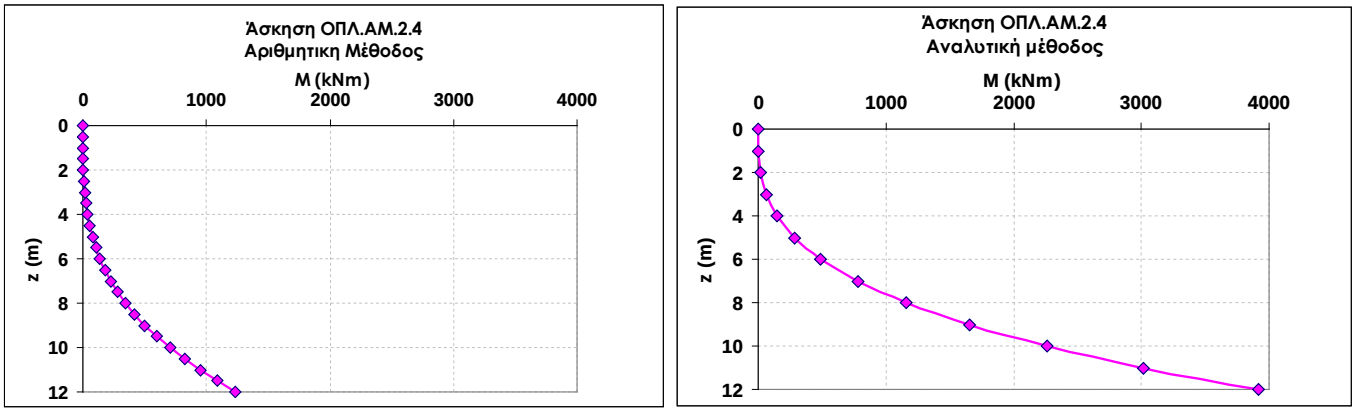
Εικ. 52 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΑΜΜΟΣ 2

ΑΣΚΗΣΗ ΟΠΛ.ΑΜ.2.4

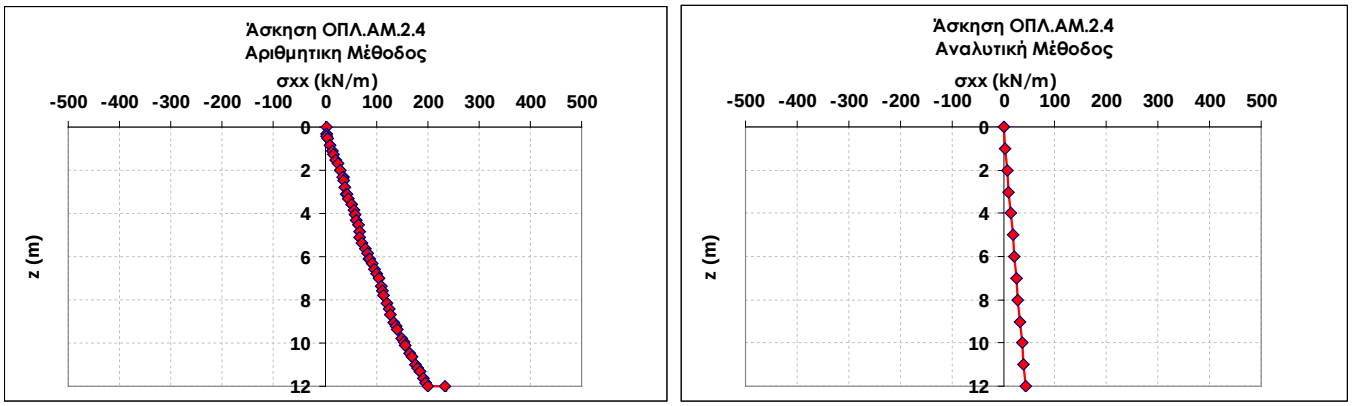


Εικ. 53 Διαγράμματα Τεμνουσών Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



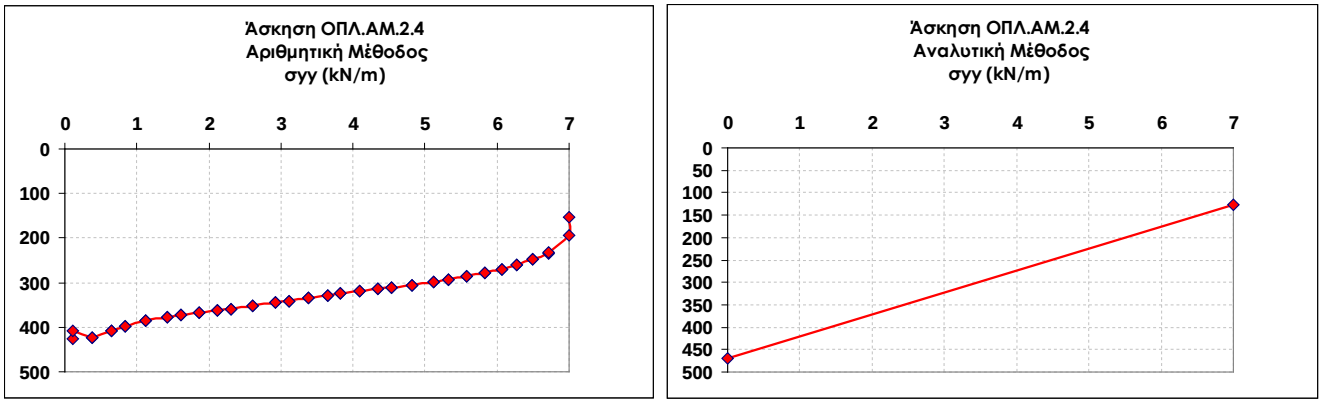
Εικ. 54 Διαγράμματα Ροπών Κάμψης Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΚΟΡΜΟΣ



Εικ. 55 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

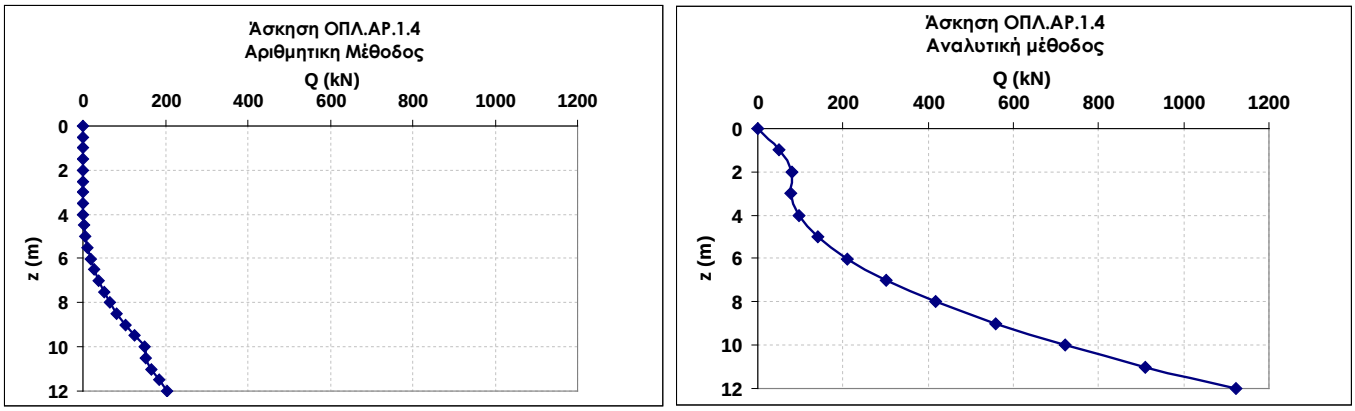
ΠΕΛΜΑ



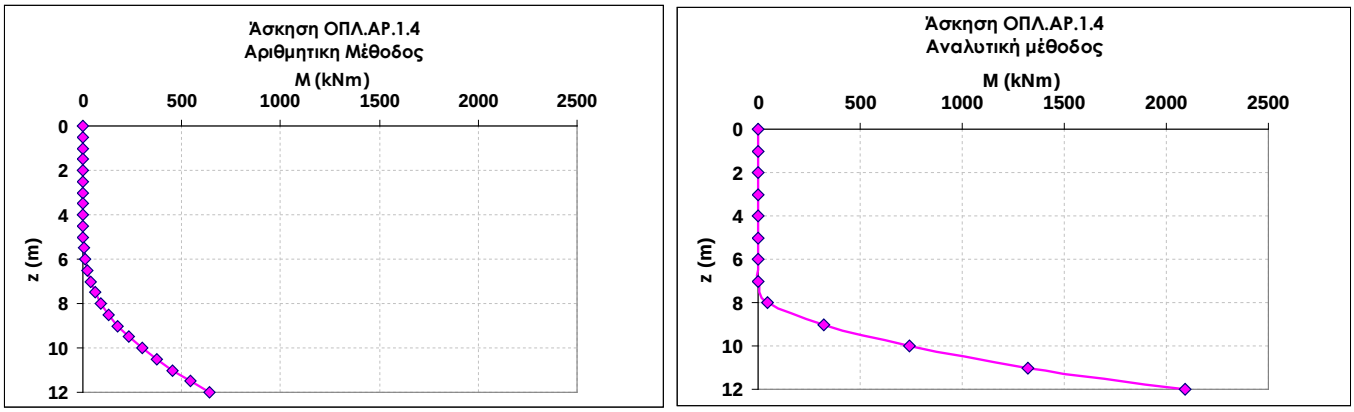
Εικ. 56 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΑΡΓΙΛΟΣ 1

ΑΣΚΗΣΗ ΟΠΛ.ΑΡ.1.4

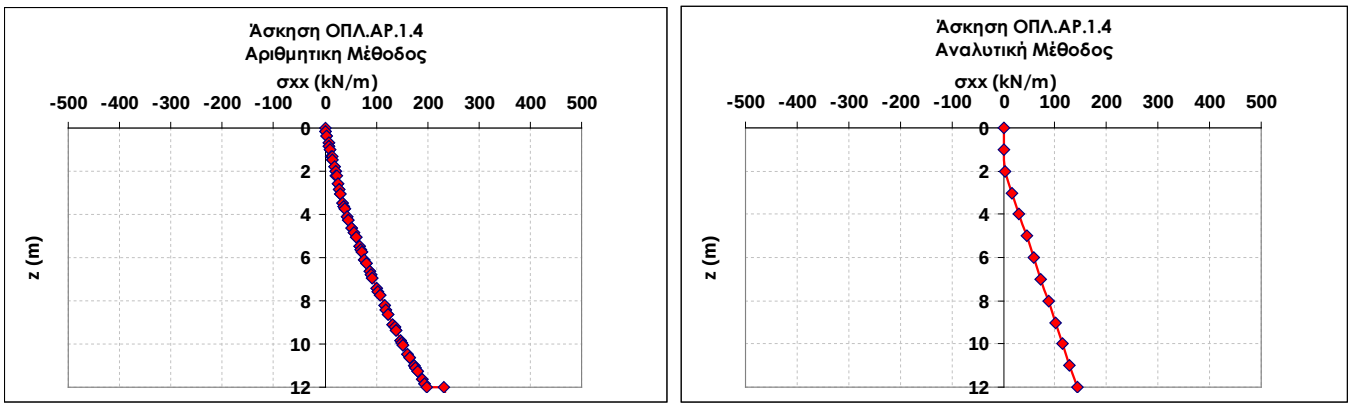


Εικ. 57 Διαγράμματα Τεμνουσών Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



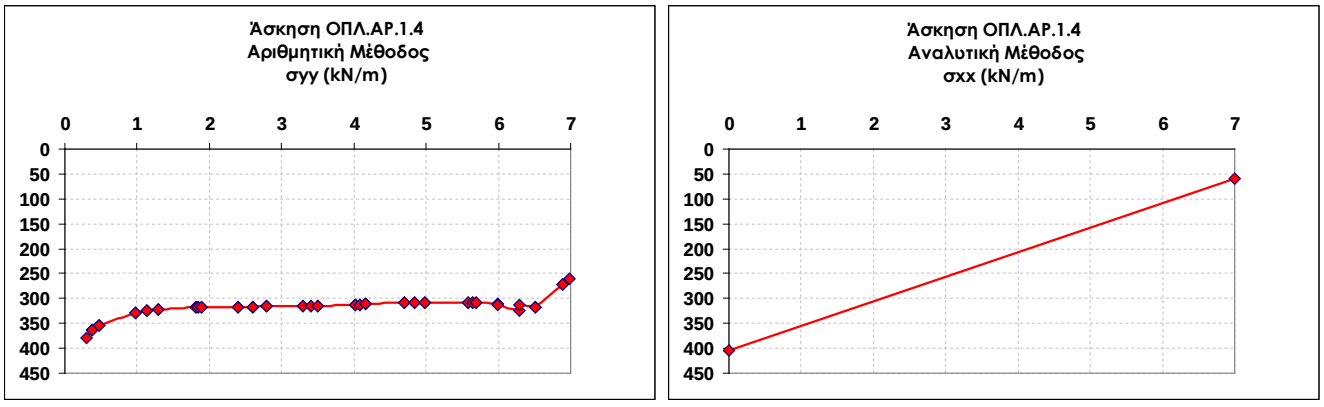
Εικ. 58 Διαγράμματα Ροπών Κάμψης Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΚΟΡΜΟΣ



Εικ. 59 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΠΕΛΜΑ



Εικ. 60 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η αναλυτική μέθοδος αναφέρεται σε οριακές καταστάσεις, για αυτό το λόγο οι ωθήσεις που εμφανίζονται είναι μεγαλύτερες απ' ότι στην αριθμητική μέθοδο.

2. Στην αναλυτική μέθοδο, παρουσιάζεται πολύ μεγάλη τιμή ροπής, που πρακτικά είναι αδύνατον να αναπτυχθεί.
3. Στην αναλυτική μέθοδο, τόσο οι τάσεις στον κορμό όσο και στο πέλμα του τοίχου, είναι πολύ μεγάλες σε σχέση με την αριθμητική μέθοδο, λόγω της ανάπτυξης των οριακών συνθηκών.
4. Στην αριθμητική μέθοδο, σχεδιάζοντας την εγκάρσια τομή του τοίχου, προσομοιώνεται πιο σωστά ο τοίχος (σε αντίθεση με τον τοίχο βαρύτητας) και ορίζεται το πραγματικό βάρος του με αποτέλεσμα να μπορεί να υπολογιστούν σωστά οι πιέσεις επαφής εδάφους – τοίχου και τα διαγράμματα τεμνουσών και ροπών κάμψεων.
5. Στα κοκκώδη εδάφη η μεταβολή του περιεχόμενου νερού παίζει μικρό ρόλο στην αντοχή τους, ενώ στα συνεκτικά εδάφη μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές.

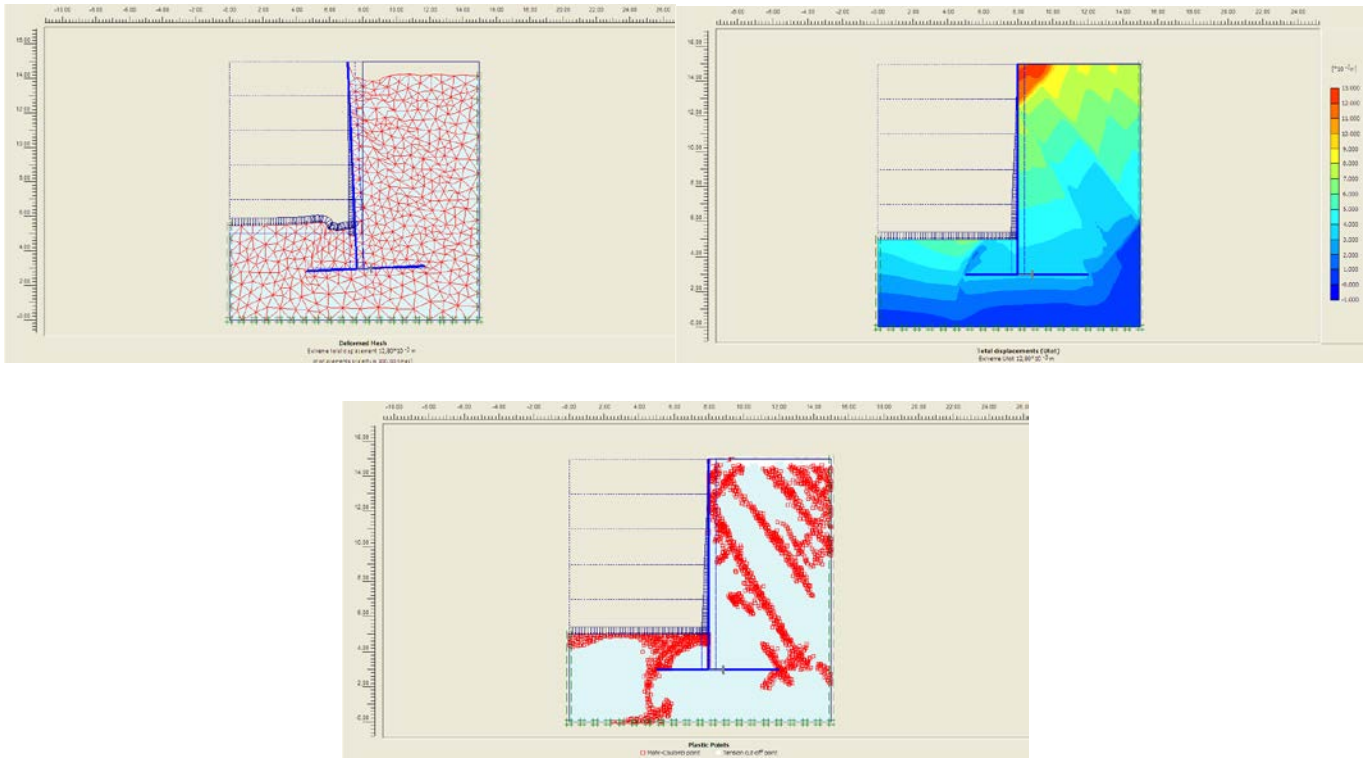
Α/Α (Λόγος max τιμών)	**ΚΟΚΚΩΔΗ ΕΔΑΦΗ**		**ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ**	
	ΑΜΜΟΣ 1	ΑΜΜΟΣ 2	ΑΡΓΙΛΟΣ 1	ΑΡΓΙΛΟΣ 2
Q	4,11	3,28	1,81	2,83
M	4,22	3,44	2,63	3,17
$\sigma_{\pi\acute{\varepsilon}\lambda\mu\alpha}$	1,82	4,06	1,79	2,20
$\sigma_{\kappa o\rho\mu\acute{o}\varsigma}$	2,64	2,00	1,55	1,34

Πιν. 7 Λόγοι Μέγιστων Τιμών Δυνάμεων Στα Εδάφη

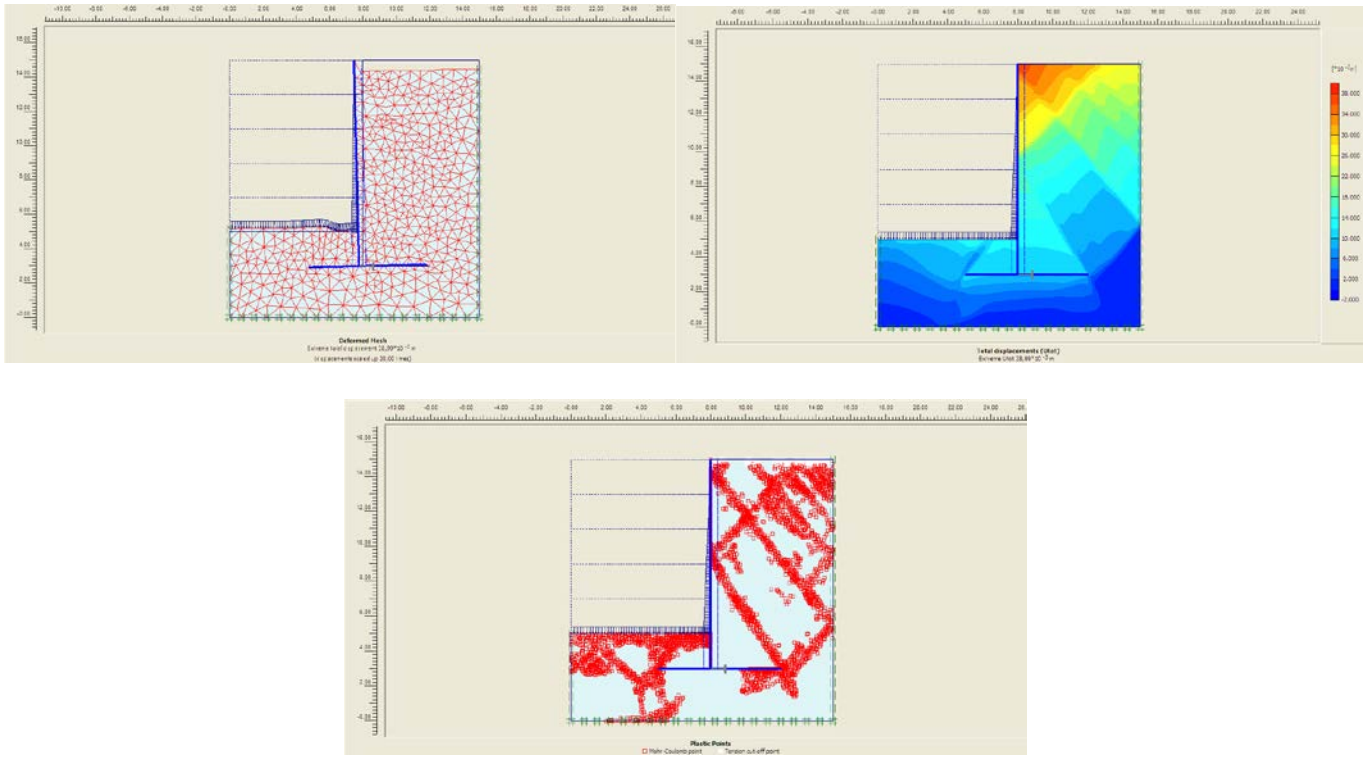
6. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των μετακινήσεων και των παραμορφώσεων του τοίχου, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις αναλύσεις μεταξύ των εδαφών: άμμο 1 με άμμο 2 και άργιλο 1 με άργιλο 2 (όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα Πιν. 8).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΩΝ	**ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ**	
	ΕΔΑΦΟΣ	**ΤΟΙΧΟΣ**
ΑΜΜΟΣ 1	$5,51*10^{-3}$m	$4,12*10^{-3}$m
ΑΜΜΟΣ 2	$8,76*10^{-3}$m	$7,24*10^{-3}$m
ΑΡΓΙΛΟΣ 1	$10,54*10^{-3}$m	$5,84*10^{-3}$m
ΑΡΓΙΛΟΣ 2	$3,08*10^{-3}$m	$0,46*10^{-3}$m

Πιν. 8 Μετακινήσεις Εδάφους – Τοίχου



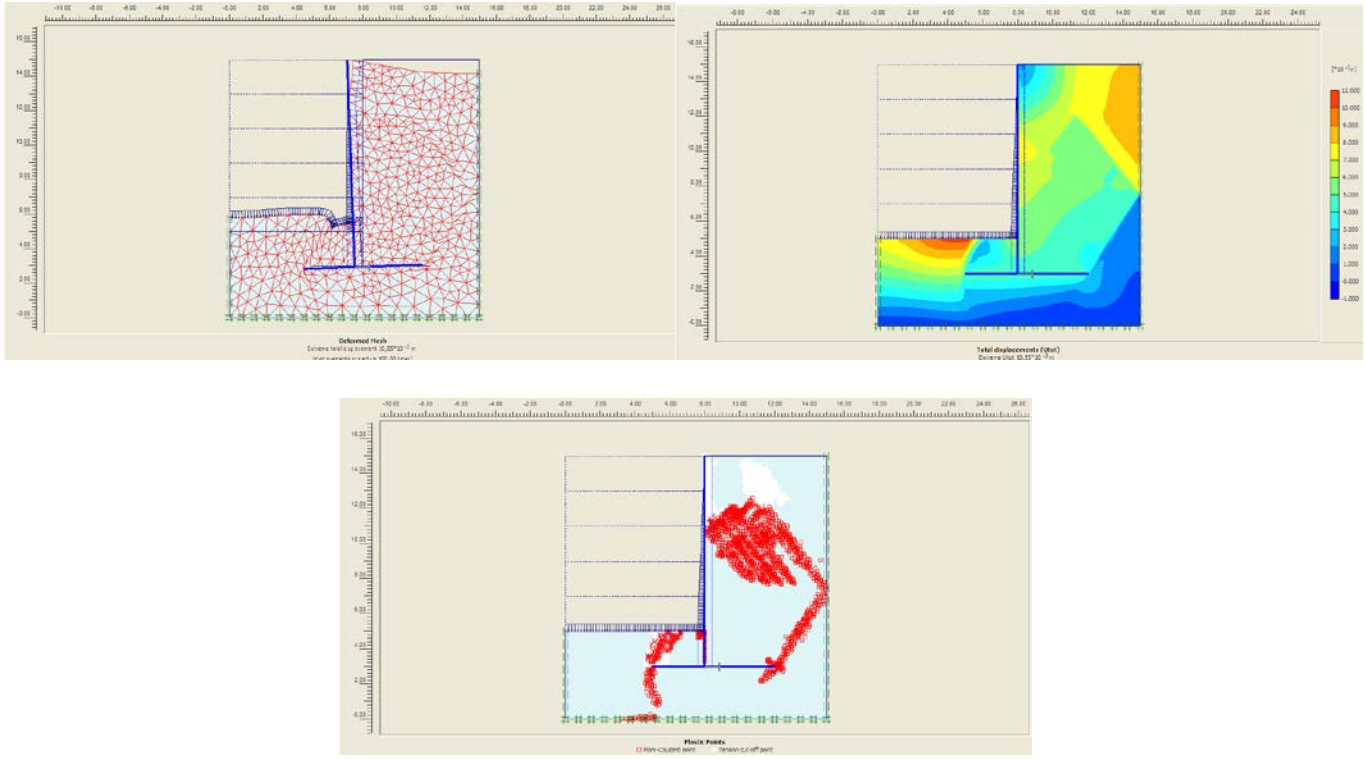
Εικ. 61 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άμμος 1)



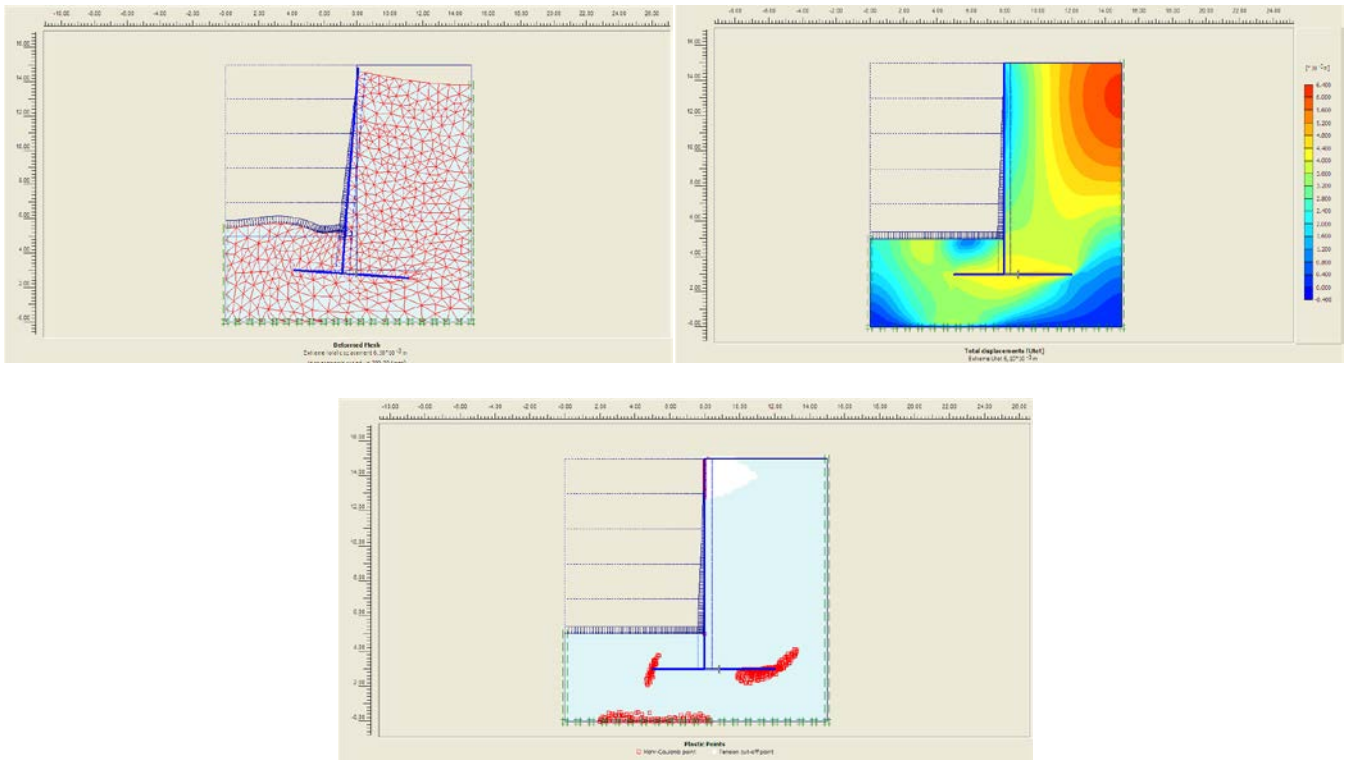
Εικ. 62 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άμμος 2)

Αυτό συμβαίνει επειδή στην άμμο 1 θεωρείται μεγαλύτερη εσωτερική γωνία τριβής (ϕ^o) σε σχέση με την άμμο 2, με αποτέλεσμα να προσομοιώνεται έδαφος μεγαλύτερη

διατμητική αντοχή. Άρα οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις του εδάφους είναι μικρότερες (Εικ. 61 - Εικ. 62).



Εικ. 63 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άργιλος 1)



Εικ. 64 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άργιλος 2)

Στα αργιλικά εδάφη, εξετάζονται αστράγγιστες συνθήκες (άργιλος 2). Στις αστράγγιστες συνθήκες υπάρχει μεγάλη συνοχή c_u, που δηλώνει ότι τα μεγέθη των

κόκκων είναι καλά διαβαθμισμένα από τους μικρότερους κόκκους προς τους μεγαλύτερους. Γι' αυτό τον λόγο, οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις του εδάφους στον άργιλο 2, είναι μικρότερες (Εικ. 63 - Εικ. 64). Οι αστράγγιστες συνθήκες είναι ένα μοντέλο που δημιουργεί μέσα στο έδαφος περιπλοκότητα, η οποία είναι εκτός από τα όρια της παρούσας εργασίας. Γι' αυτό το λόγο τα αποτελέσματα που δίνονται είναι ασχολίαστα.

Στα διαγράμματα των παραμορφώσεων των εδαφών, είναι προφανές ότι επιβεβαιώνεται μια από τις παραδοχές της θεωρίας του Rankine (ότι πρέπει ο τοίχος να μπορεί να στραφεί γύρω από την βάση του).

Στα διαγράμματα των μετακινήσεων των εδαφών, επιβεβαιώνεται η θεωρία του Coulomb, καθώς το έδαφος διαρρέει με τριγωνική μορφή και δημιουργείται μια επιφάνεια ολίσθησης.

ΕΥΚΑΜΠΤΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ - ΠΕΤΑΣΜΑ

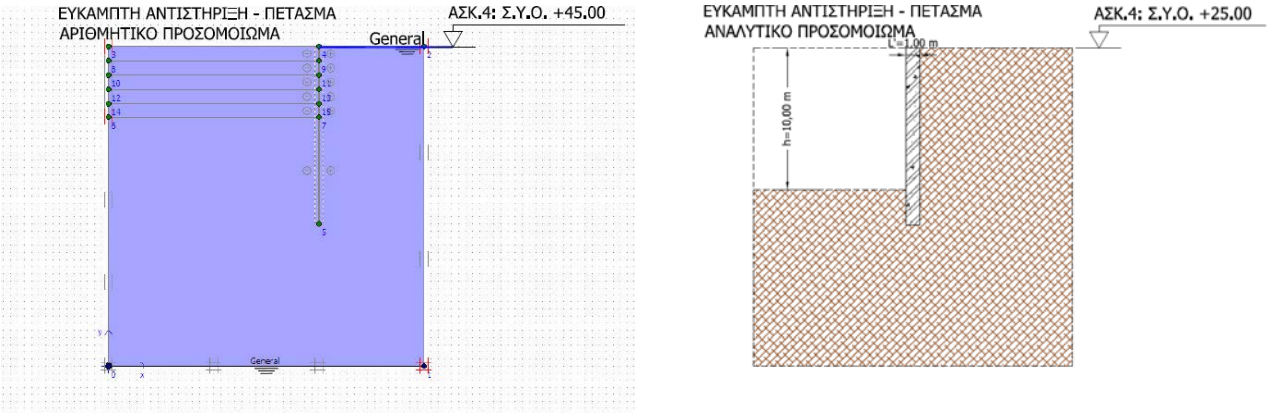
Με την αναλυτική μέθοδο επιλύθηκε αυτή η περίπτωση με διαφορετικά εδάφη και με διαφορετικές στάθμες υδροφόρου ορίζοντα και βρέθηκαν: το μήκος έμπηξης d του τοίχου στο έδαφος καθώς και τα διαγράμματα των τεμνουσών, των ροπών και των τάσεων για τις διάφορες περιπτώσεις.

Στην αριθμητική μέθοδο, με την βοήθεια του PLAXIS® και ορίζοντας επιπλέον συγκεκριμένα δεδομένα για τον τοίχο (όπως φαίνονται στο παρακάτω πίνακα Πιν. 9) υπολογίστηκαν: οι παραμορφώσεις του εδάφους, τα διαγράμματα τεμνουσών, ροπών και τάσεων, οι μετακινήσεις που μπορεί να υποστεί τόσο το έδαφος όσο και ο τοίχος.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΙΧΟΥ	
Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος $(E)(GPa)$	29
Εμβαδόν τοίχου $(A)(m^2)$	1
Ροπή αδράνειας $(I)(m^4)$	0,083
Βάρος τοίχου $(w)(kN/m/m)$	8,3
Λόγος Poisson (v)	0,15

Πιν. 9 Δεδομένα Τοίχου

Αφού ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις και με τις δύο μεθόδους, και έγιναν οι συγκρίσεις μεταξύ τους, διαπιστώθηκε ότι σε γενική μορφή τα διαγράμματα είναι ποιοτικά όμοια. Μεγάλες διαφορές παρουσιάστηκαν στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε πλήρως κορεσμένο έδαφος και είναι μια ενδιαφέρον περίπτωση για περαιτέρω διερεύνηση.

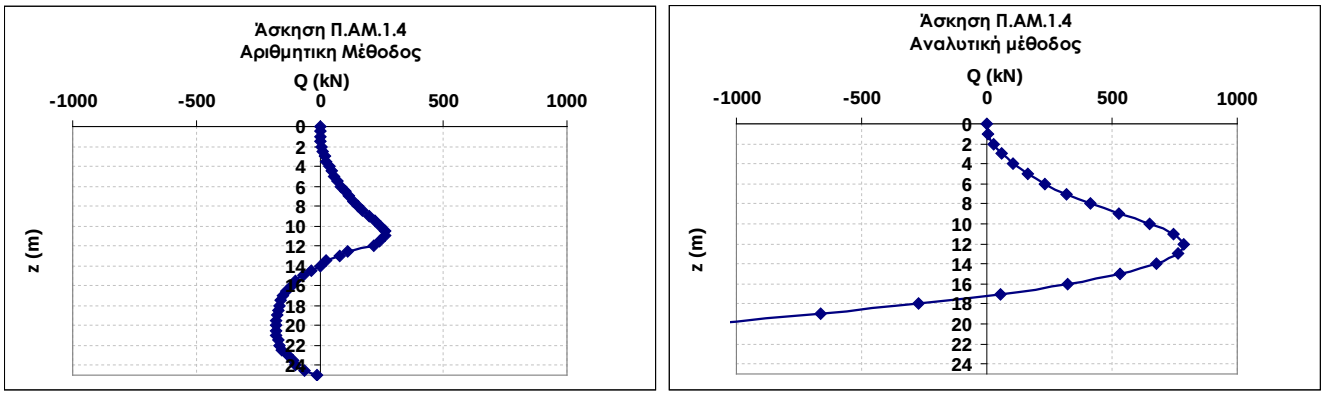


Εικ. 65 Εύκαμπτη Αντιστήριξη – Πέτασμα Με Κορεσμένο Έδαφος

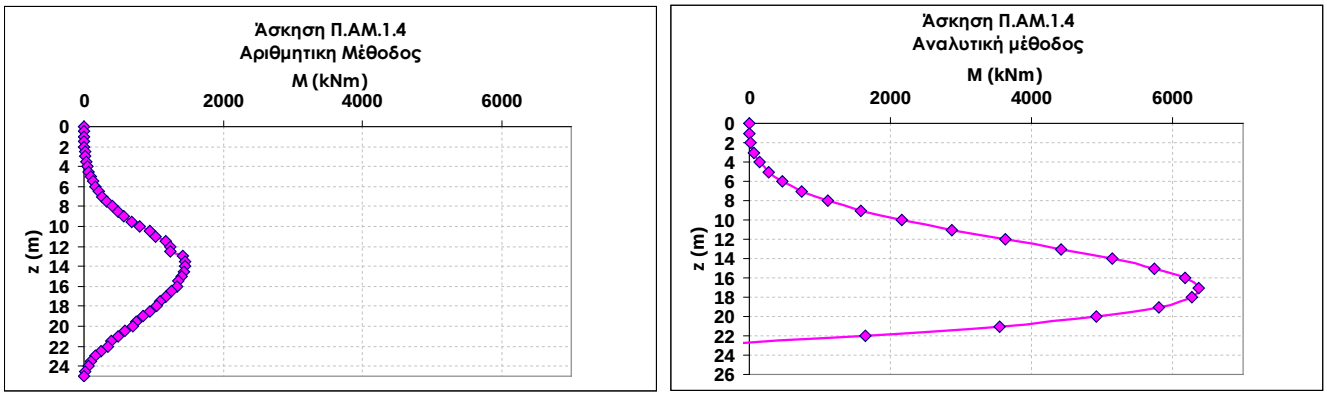
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΑΜΜΟΣ 1

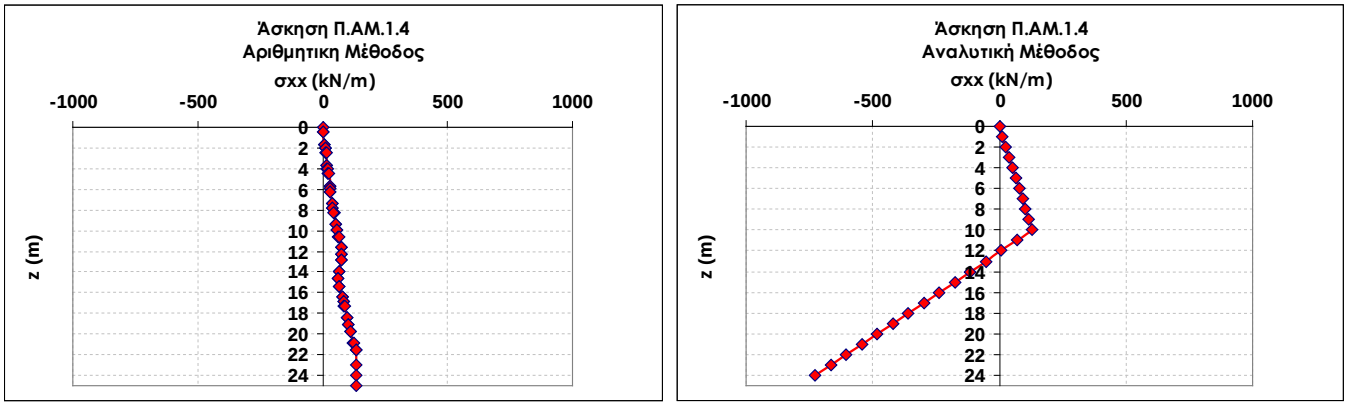
ΑΣΚΗΣΗ Π.ΑΜ.1.4



Εικ. 66 Διαγράμματα Τεμνουσών Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



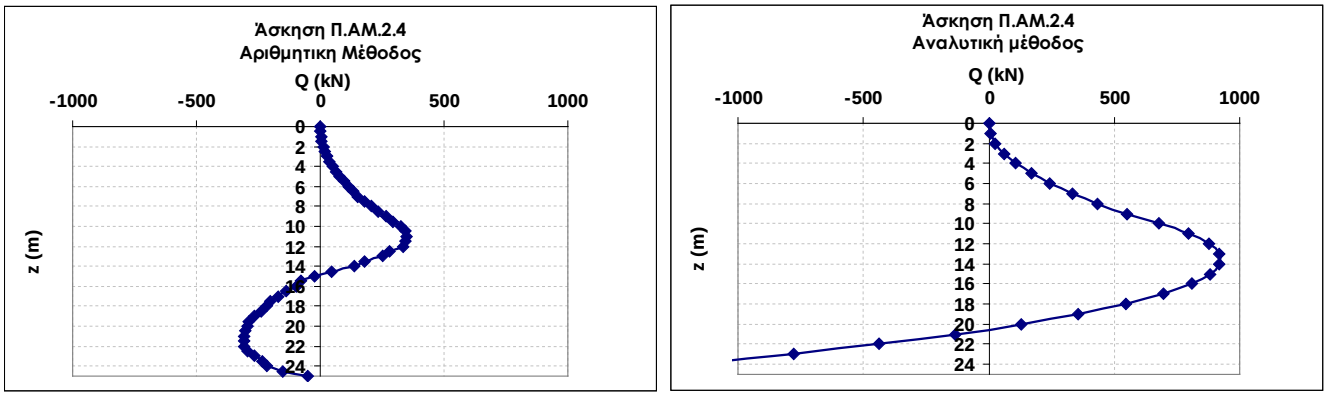
Εικ. 67 Διαγράμματα Ροπών Κάμψης Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



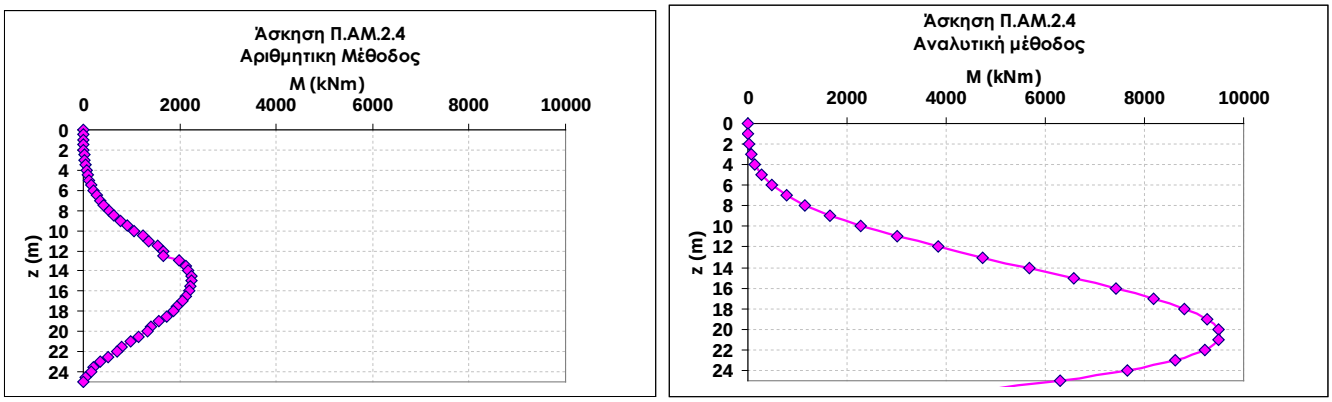
Εικ. 68 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΑΜΜΟΣ 2

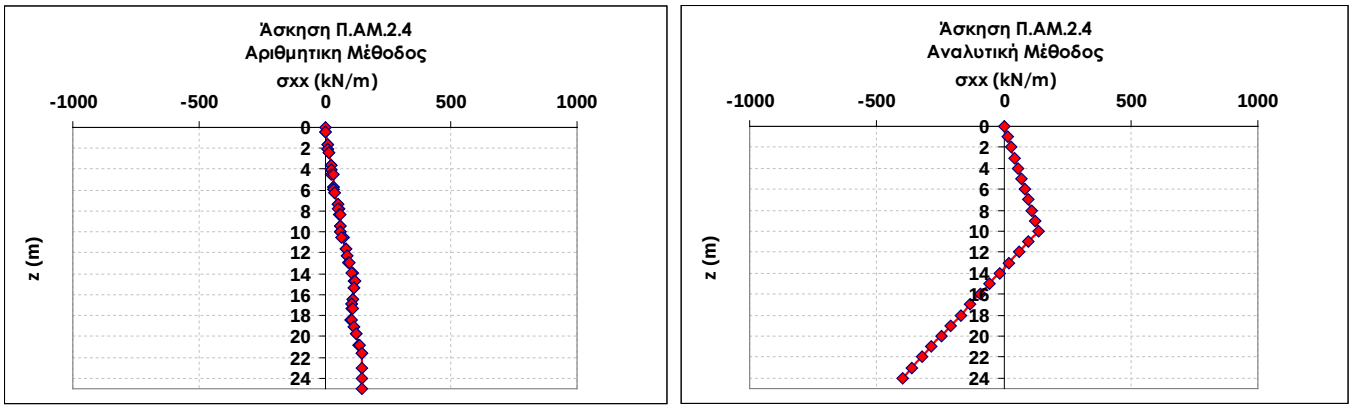
ΑΣΚΗΣΗ Π.ΑΜ.2.4



Εικ. 69 Διαγράμματα Τεμνουσών Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



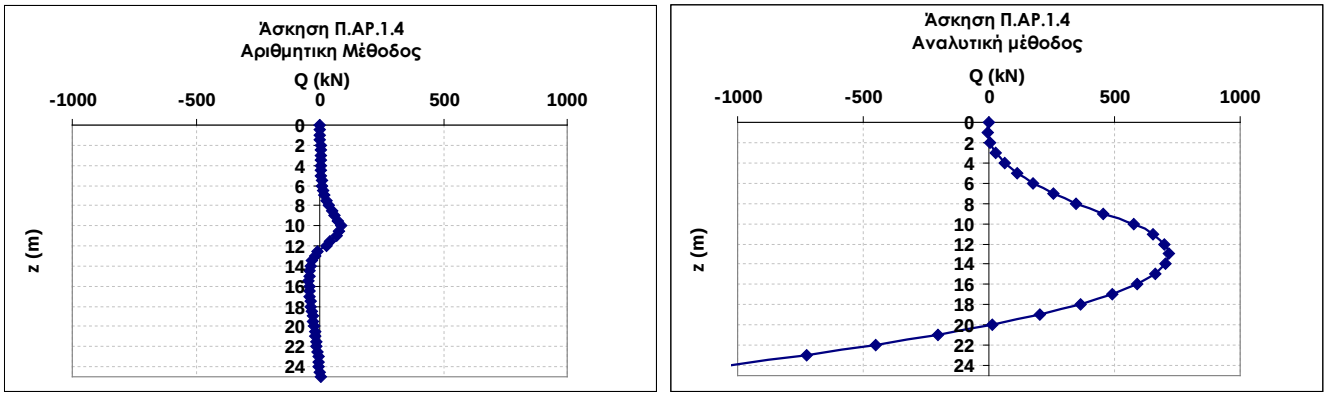
Εικ. 70 Διαγράμματα Ροπών Κάμψης Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



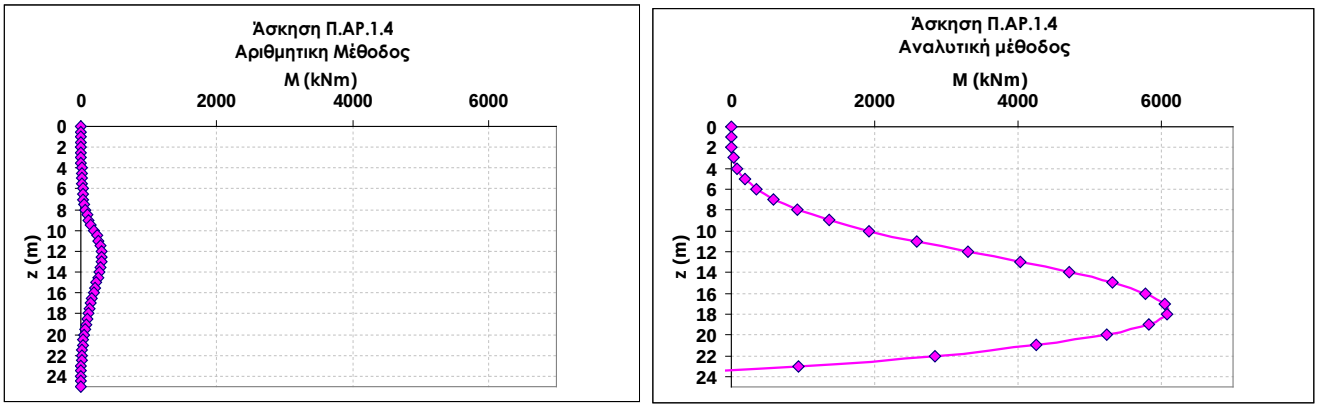
Εικ. 71 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΑΡΓΙΛΟΣ 1

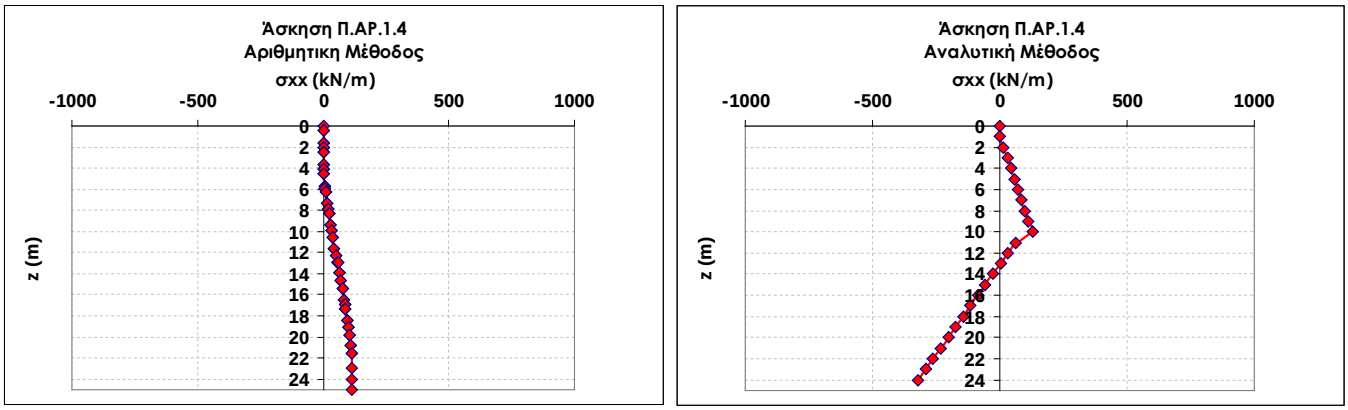
ΑΣΚΗΣΗ Π.ΑΡ.1.4



Εικ. 72 Διαγράμματα Τεμνουσών Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



Εικ. 73 Διαγράμματα Ροπών Κάμψης Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



Εικ. 74 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6. Η αναλυτική μέθοδος αναφέρεται σε οριακές καταστάσεις, για αυτό το λόγο οι ωθήσεις που εμφανίζονται είναι μεγαλύτερες απ' ότι στην αριθμητική μέθοδο.
6. Στην αναλυτική μέθοδο, παρουσιάζεται πολύ μεγάλη τιμή ροπής, που πρακτικά είναι αδύνατον να αναπτυχθεί. Αυτό δημιουργείται επειδή έχει περάσει ολόκληρη η παθητική ώθηση, πράγμα που δεν μπορεί πρακτικά να συμβεί.
6. Στην αναλυτική μέθοδο, καθώς αυξάνεται η στάθμη υδροφόρου ορίζοντα, παρατηρείται ότι το μήκος έμπηξης αυξάνεται. Για καλύτερη σύγκριση με την αριθμητική μέθοδο, θεωρήθηκε αντίστοιχο μήκος έμπηξης. Στην αναλυτική μέθοδο παρουσιάστηκαν μεγάλες πιέσεις επαφής, ενώ στην αριθμητική ο τοίχος παρουσίαζε μεγάλες μετακινήσεις έως και αστοχία. Γι' αυτό το λόγο λήφθηκε μια ενδιάμεση τιμή, ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα.
6. Επειδή μια εύκαμπτη αντιστήριξη – πέτασμα που έχει πολύ μεγάλο βάρος, μπορεί να διατρήσει το έδαφος (πράγμα που είναι επιθυμητό), θερείται μικρό βάρος στην αριθμητική προσομοίωση του τοίχου.
6. Στα κοκκώδη εδάφη η μεταβολή του περιεχόμενου νερού παίζει μικρό ρόλο στην αντοχή τους, ενώ στα συνεκτικά εδάφη μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές.

Α/Α (Λόγος max τιμών)	**ΚΟΚΚΩΔΗ ΕΔΑΦΗ**		**ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ**	
	ΑΜΜΟΣ 1	ΑΜΜΟΣ 2	ΑΡΓΙΛΟΣ 1	ΑΡΓΙΛΟΣ 2
Q	2,95	2,63	8,04	11,55
M	4,40	4,27	20,28	23,90
σ	1,05	1,00	1,18	1,03

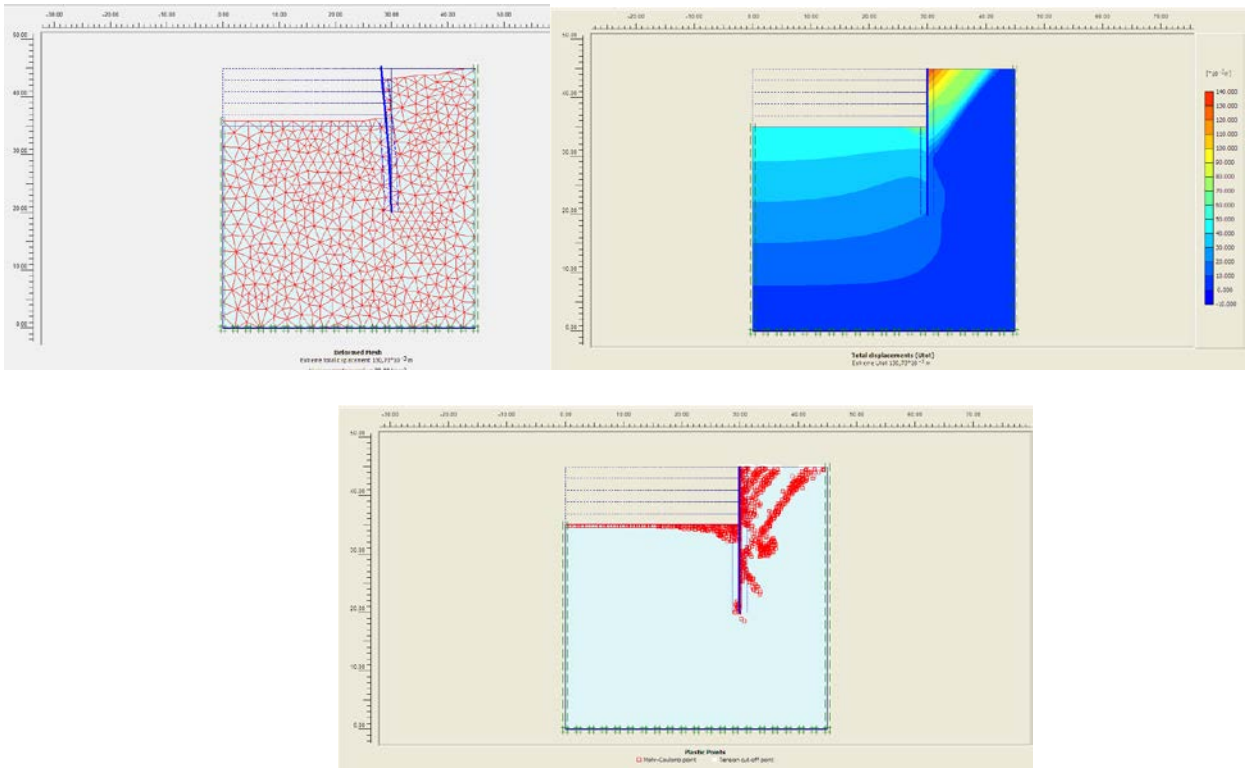
Πιν. 10 Λόγοι Μέγιστων Τιμών Δυνάμεων Στα Εδάφη

6. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των μετακινήσεων και των παραμορφώσεων του τοίχου, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις αναλύσεις μεταξύ των εδαφών: άμμο 1 με άμμο 2 και άργιλο 1 με άργιλο 2 (όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα Πιν. 11).

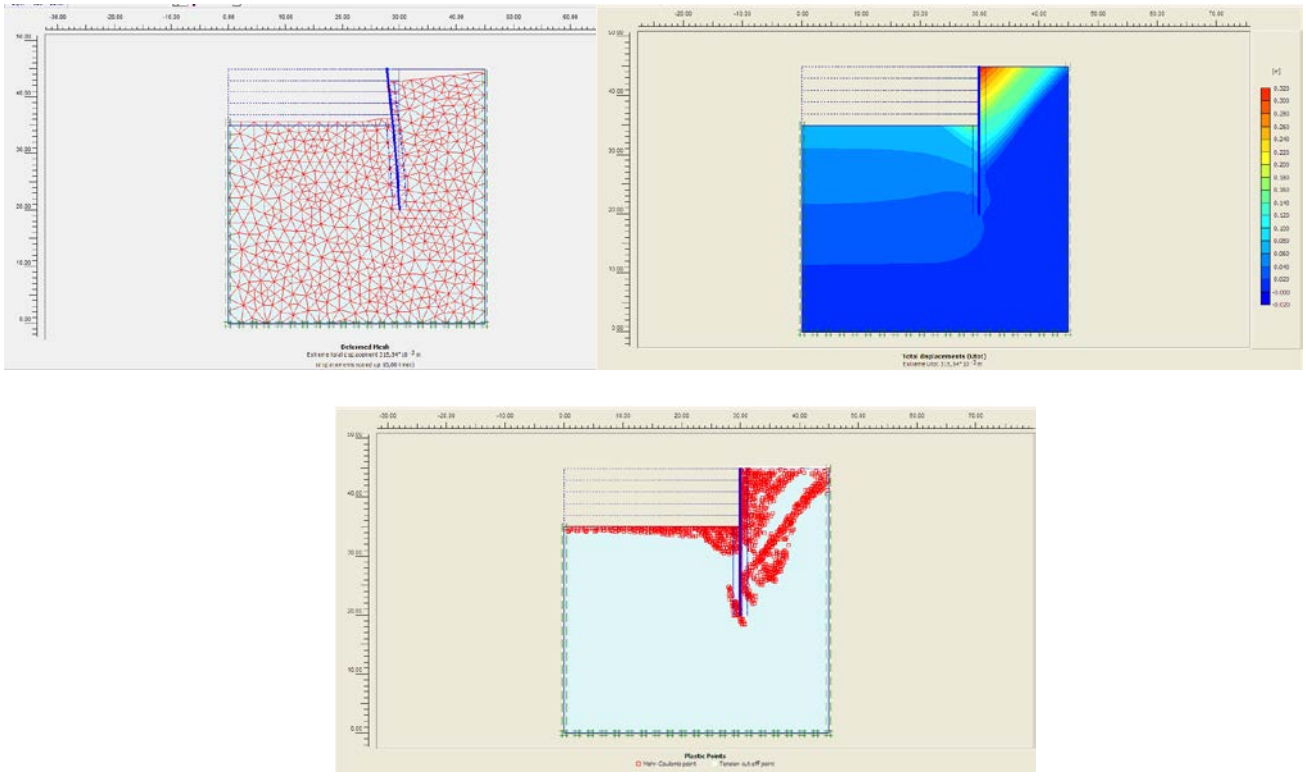
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΩΝ	**ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ**	
	ΕΔΑΦΟΣ	**ΤΟΙΧΟΣ**
ΑΜΜΟΣ 1	$130,73 * 10^{-3}$ m	$92,27 * 10^{-3}$ m
ΑΜΜΟΣ 2	$315,54 * 10^{-3}$ m	$215,11 * 10^{-3}$ m
ΑΡΓΙΛΟΣ 1	$52,68 * 10^{-3}$ m	$22,79 * 10^{-3}$ m
ΑΡΓΙΛΟΣ 2	$20,49 * 10^{-3}$ m	$12,14 * 10^{-3}$ m

Πιν. 11 Μετακινήσεις Εδάφους – Τοίχου

Αυτό συμβαίνει επειδή στην άμμο 1 θεωρείται μεγαλύτερη εσωτερική γωνία τριβής (ϕ^o) σε σχέση με την άμμο 2, με αποτέλεσμα να προσομοιώνεται έδαφος μεγαλύτερη διατμητική αντοχή. Άρα οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις του εδάφους είναι μικρότερες (Εικ. 75 - Εικ. 76).

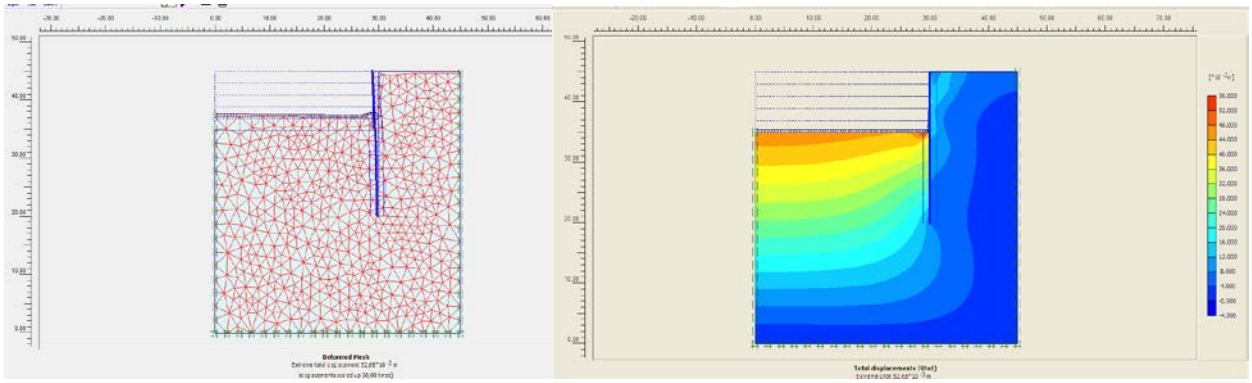


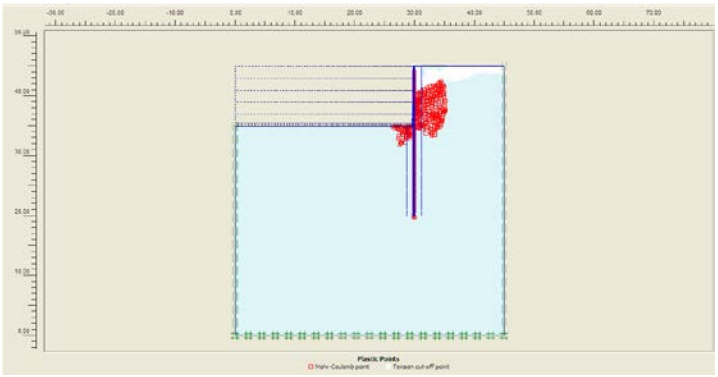
Εικ. 75 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άμμος 1)



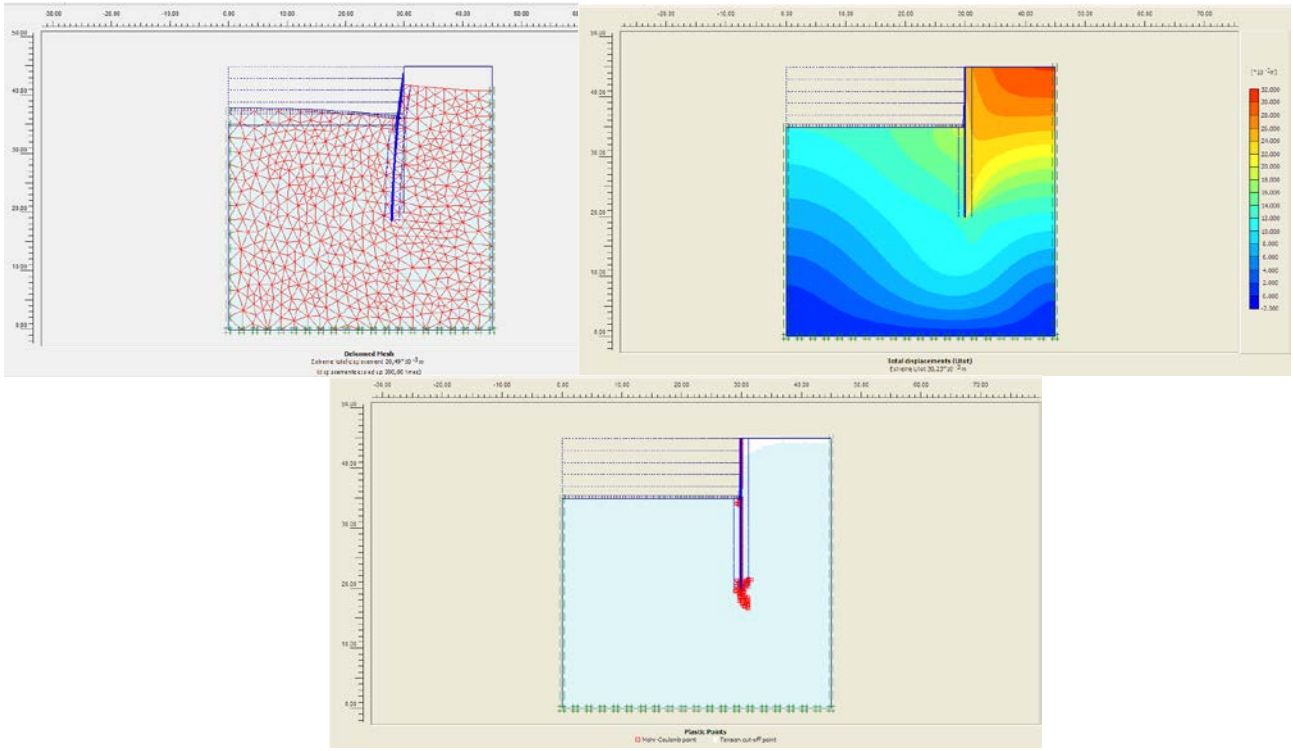
Εικ. 76 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άμμος 2)

Στα αργιλικά εδάφη, εξετάζονται αστράγγιστες συνθήκες (άργιλος 2). Στις αστράγγιστες συνθήκες υπάρχει μεγάλη συνοχή c_u, που δηλώνει ότι τα μεγέθη των κόκκων είναι καλά διαβαθμισμένα από τους μικρότερους κόκκους προς τους μεγαλύτερους. Γι' αυτό τον λόγο, οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις του εδάφους στον άργιλο 2, είναι μικρότερες (Εικ. 77 - Εικ. 78). Οι αστράγγιστες συνθήκες είναι ένα μοντέλο που δημιουργεί μέσα στο έδαφος περιπλοκότητα, η οποία είναι εκτός από τα όρια της παρούσας εργασίας. Γι' αυτό το λόγο τα αποτελέσματα που δίνονται είναι ασχολίαστα.



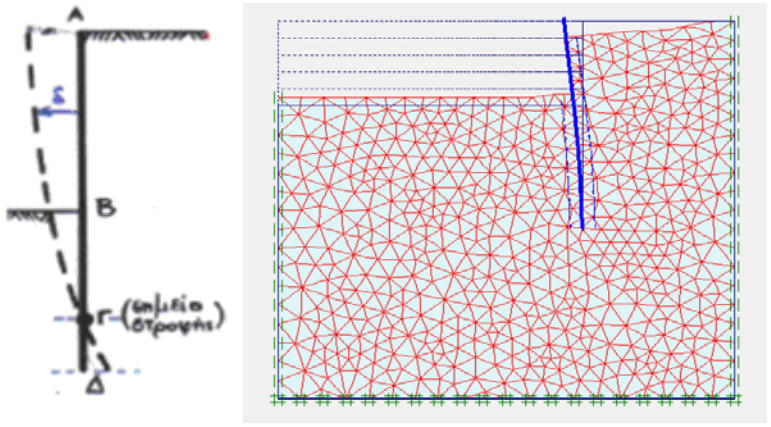


Εικ. 77 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άργιλος 1)



Εικ. 78 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άργιλος 2)

6. Παρατηρώντας την παρακάτω εικόνα διαπιστώνεται η ομοιότητα του διαγράμματος (Εικ. 79α.) που έχει ορίσει ο Μπουκοβάλας στις σημειώσεις του [25], με την προσομοίωση της αριθμητικής μεθόδου (Εικ. 79β.). Η ίδια προσομοίωση εμφανίζεται σε όλα διαγράμματα μετατοπίσεων, όλων των περιπτώσεων των εδαφών.



Εικ. 79 α. Διάγραμμα Μετατοπίσεων Εύκαμπτης Αντιστήριξης β. Διάγραμμα Μετατοπίσεων Εύκαμπτης Αντιστήριξης Αριθμητικό Προσομοίωμα

ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ – ΠΕΤΑΣΜΑ ΜΕ ΑΓΚΥΡΩΣΗ

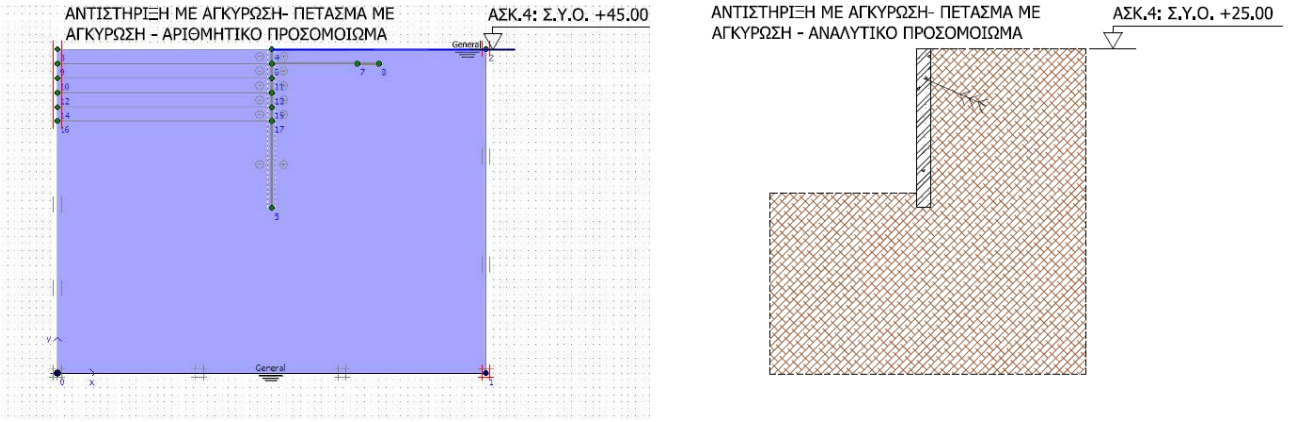
Με την αναλυτική μέθοδο επιλύθηκε η περίπτωση αυτή με διαφορετικά εδάφη και με διαφορετικές στάθμες υδροφόρου ορίζοντα και βρέθηκε : το μήκος έμπηξης d του τοίχου στο έδαφος, το ποσοστό της πραγματικής παθητικής ώθησης που ασκείται, την δύναμη της αγκύρωσης καθώς και τα διαγράμματα των τεμνουσών, των ροπών και των τάσεων για τις διάφορες περιπτώσεις.

Στην αριθμητική μέθοδο, με την βοήθεια του προγράμματος PLAXIS® και ορίζοντας επιπλέον συγκεκριμένα δεδομένα για τον τοίχο (όπως φαίνονται στο παρακάτω πίνακα *Πιν. 9*) υπολογίστηκαν: οι παραμορφώσεις του εδάφους, τα διαγράμματα τεμνουσών, ροπών και τάσεων, οι μετακινήσεις που μπορεί να υποστεί τόσο το έδαφος όσο και ο τοίχος.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΙΧΟΥ	
Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος $(E)(GPa)$	29
Εμβαδόν τοίχου $(A)(m^2)$	1
Ροπή αδράνειας $(I)(m^4)$	0,083
Βάρος τοίχου $(w)(kN/m/m)$	8,3
Λόγος Poisson (v)	0,15

Πιν. 12 Δεδομένα Τοίχου

Αφού ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις και με τις δύο μεθόδους, και έγιναν οι συγκρίσεις μεταξύ τους, διαπιστώθηκε ότι σε γενική μορφή τα διαγράμματα είναι ποιοτικά όμοια. Μεγάλες διαφορές παρουσιάστηκαν στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε πλήρως κορεσμένο έδαφος και είναι μια ενδιαφέρον περίπτωση για να αναλυθεί.

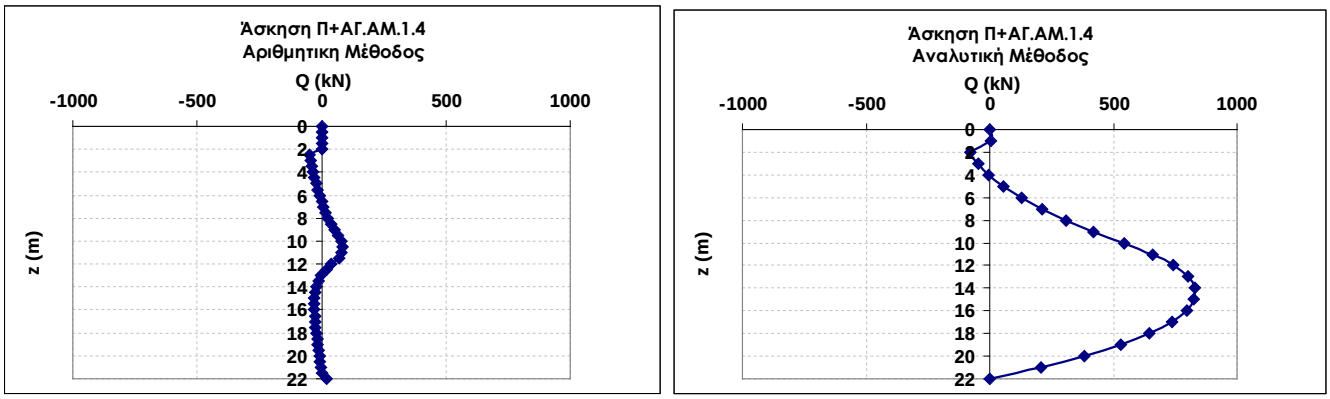


Εικ. 80 Αντιστήριξη Με Αγκύρωση – Πέτασμα Με Αγκύρωση Με κορεσμένο Έδαφος

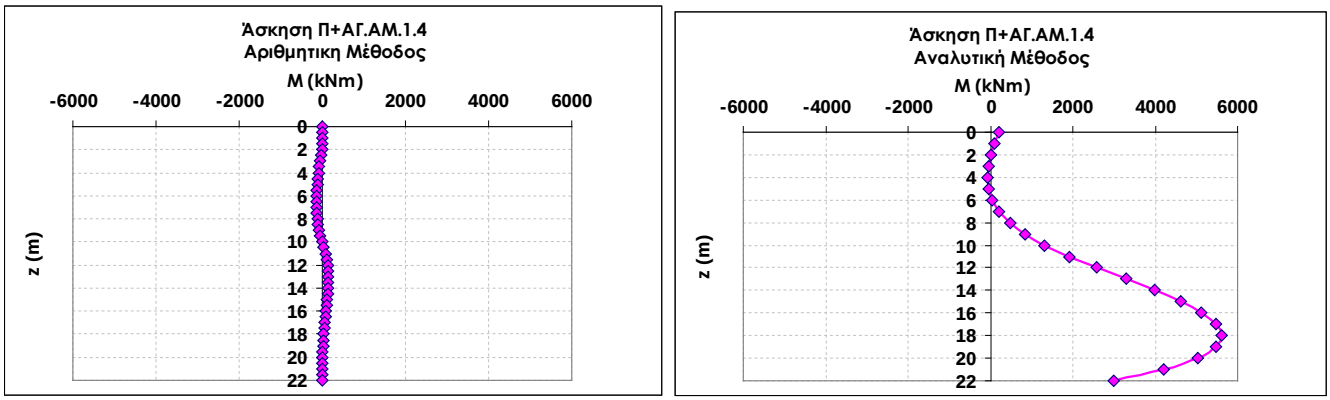
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΑΜΜΟΣ 1

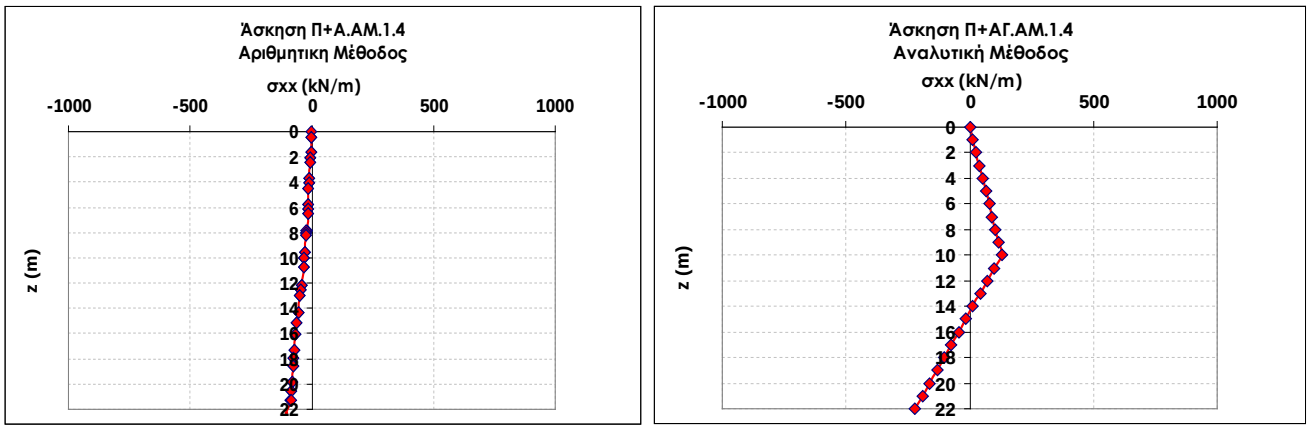
ΑΣΚΗΣΗ Π + ΑΓ.ΑΜ.1.4



Εικ. 81 Διαγράμματα Τεμνουσών Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



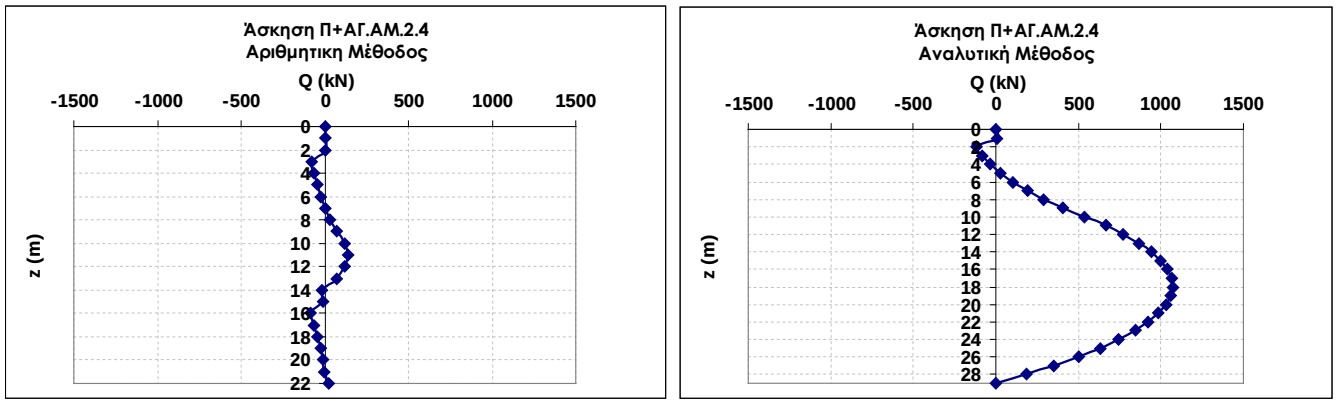
Εικ. 82 Διαγράμματα Ροπών Κάμψης Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



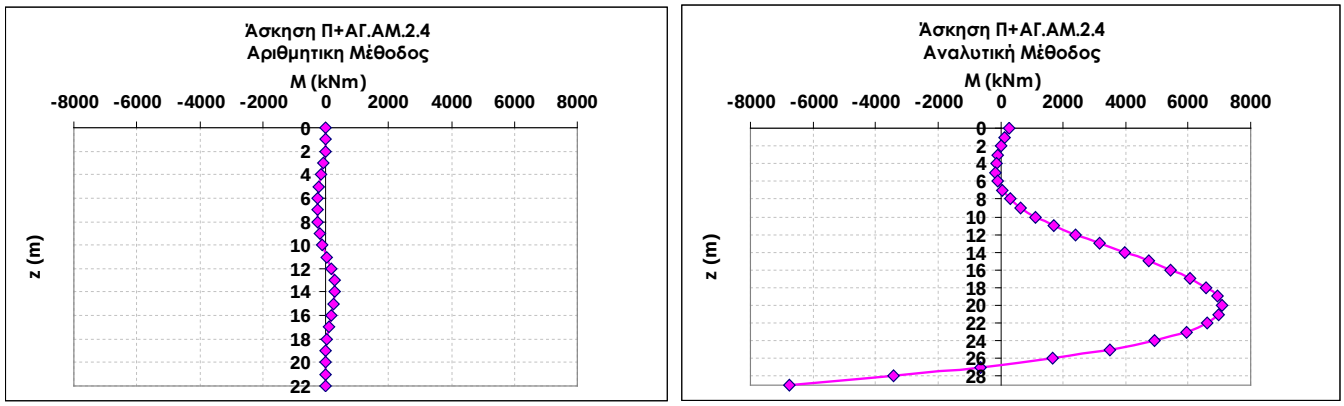
Εικ. 83 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΑΜΜΟΣ 2

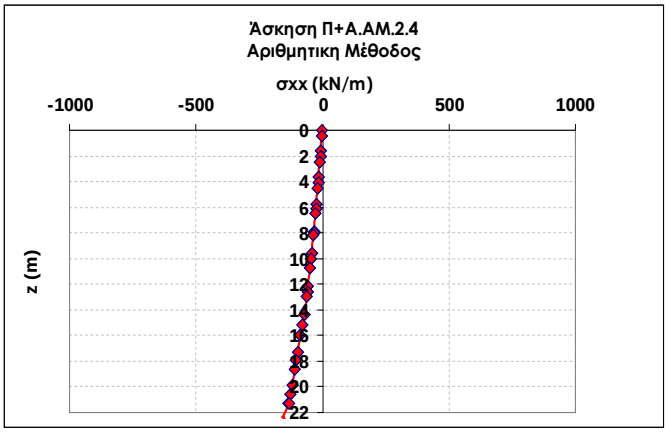
ΑΣΚΗΣΗ Π + ΑΓ.ΑΜ.2.4

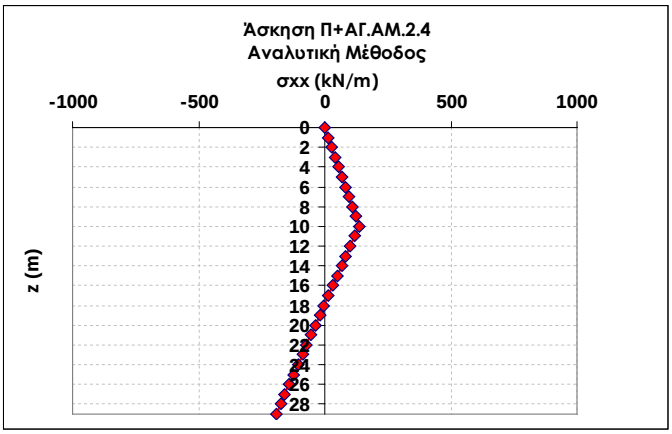


Εικ. 84 Διαγράμματα Τεμνουσών Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



Εικ. 85 Διαγράμματα Ροπών Κάμψης Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

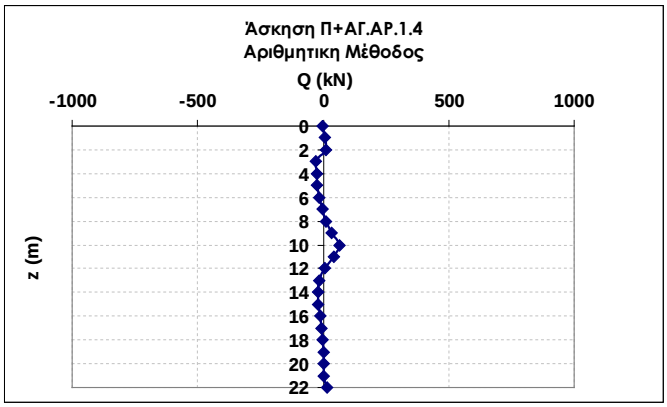


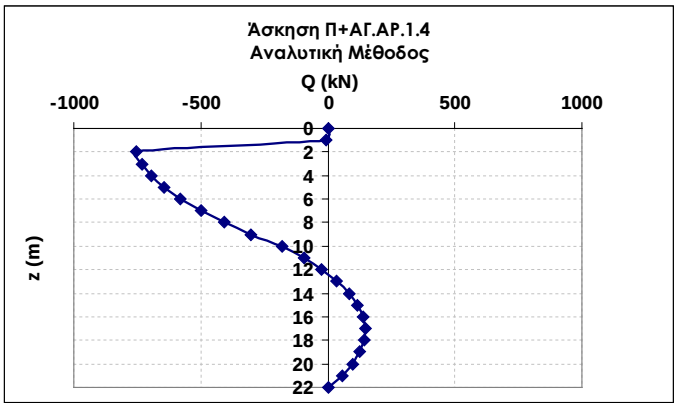


Εικ. 86 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

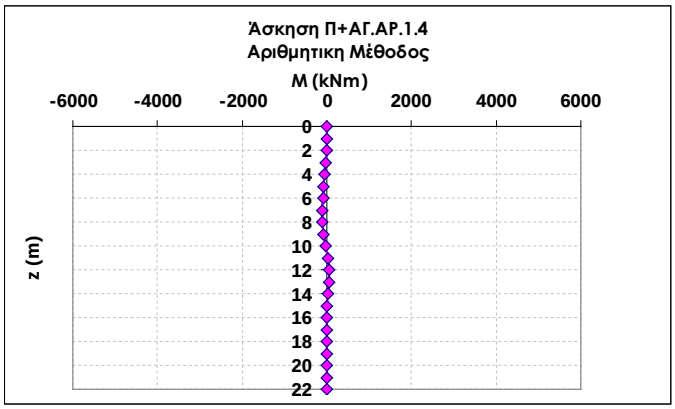
ΑΡΓΙΛΟΣ 1

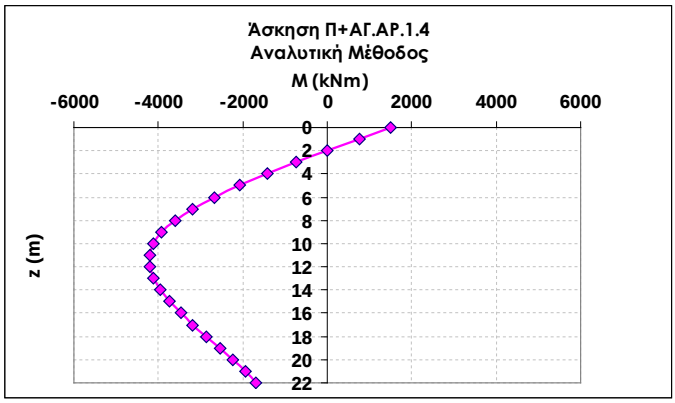
ΑΣΚΗΣΗ Π + ΑΓ.ΑΡ.1.4



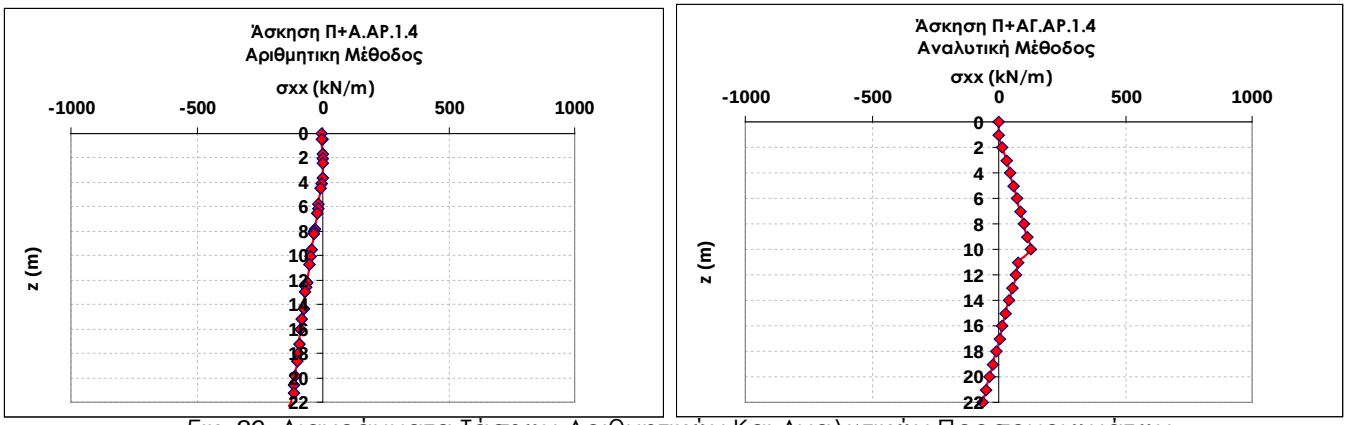


Εικ. 87 Διαγράμματα Τεμνουσών Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων





Εικ. 88 Διαγράμματα Ροπών Κάμψης Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων



Εικ. 89 Διαγράμματα Τάσεων Αριθμητικών Και Αναλυτικών Προσομοιωμάτων

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η αναλυτική μέθοδος αναφέρεται σε οριακές καταστάσεις, για αυτό το λόγο οι ωθήσεις που εμφανίζονται είναι μεγαλύτερες απ' ότι στην αριθμητική μέθοδο.
2. Επειδή μια αντιστήριξη με αγκύρωση – πέτασμα με αγκύρωση που έχει πολύ μεγάλο βάρος, μπορεί να διατρήσει το έδαφος (πράγμα που δεν είναι επιθυμητο), θεωρείται μικρό βάρος στην αριθμητική προσομοίωση του τοίχου.
3. Στην αναλυτική μέθοδο, καθώς αυξάνεται η στάθμη υδροφόρου οριζοντα, παρατηρείται ότι το μήκος έμπηξης αυξάνεται. Για καλύτερη σύγκριση με την αριθμητική μέθοδο, θεωρήθηκε αντίστοιχο μήκος έμπηξης. Στην αναλυτική μέθοδο παρουσιάστηκαν μεγάλες πιέσεις επαφής, ενώ στην αριθμητική ο τοίχος παρουσίαζε μεγάλες μετακινήσεις έως και αστοχία. Γι' αυτό το λόγο λήφθηκε μια ενδιάμεση τιμή, ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα.
4. Στα κοκκώδη εδάφη η μεταβολή του περιεχόμενου νερού παίζει μικρό ρόλο στην αντοχή τους, ενώ στα συνεκτικά εδάφη μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές.

Α/Α (Λόγος max τιμών)	**ΚΟΚΚΩΔΗ ΕΔΑΦΗ**		**ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ**	
	ΑΜΜΟΣ 1	ΑΜΜΟΣ 2	ΑΡΓΙΛΟΣ 1	ΑΡΓΙΛΟΣ 2
Q	9,85	7,60	8,77	8,27
M	38,81	33,24	13,84	10,56
σ	1,07	1,00	1,04	1,04

Πιν. 13 Λόγοι Μέγιστων Τιμών Δυνάμεων Στα Εδάφη

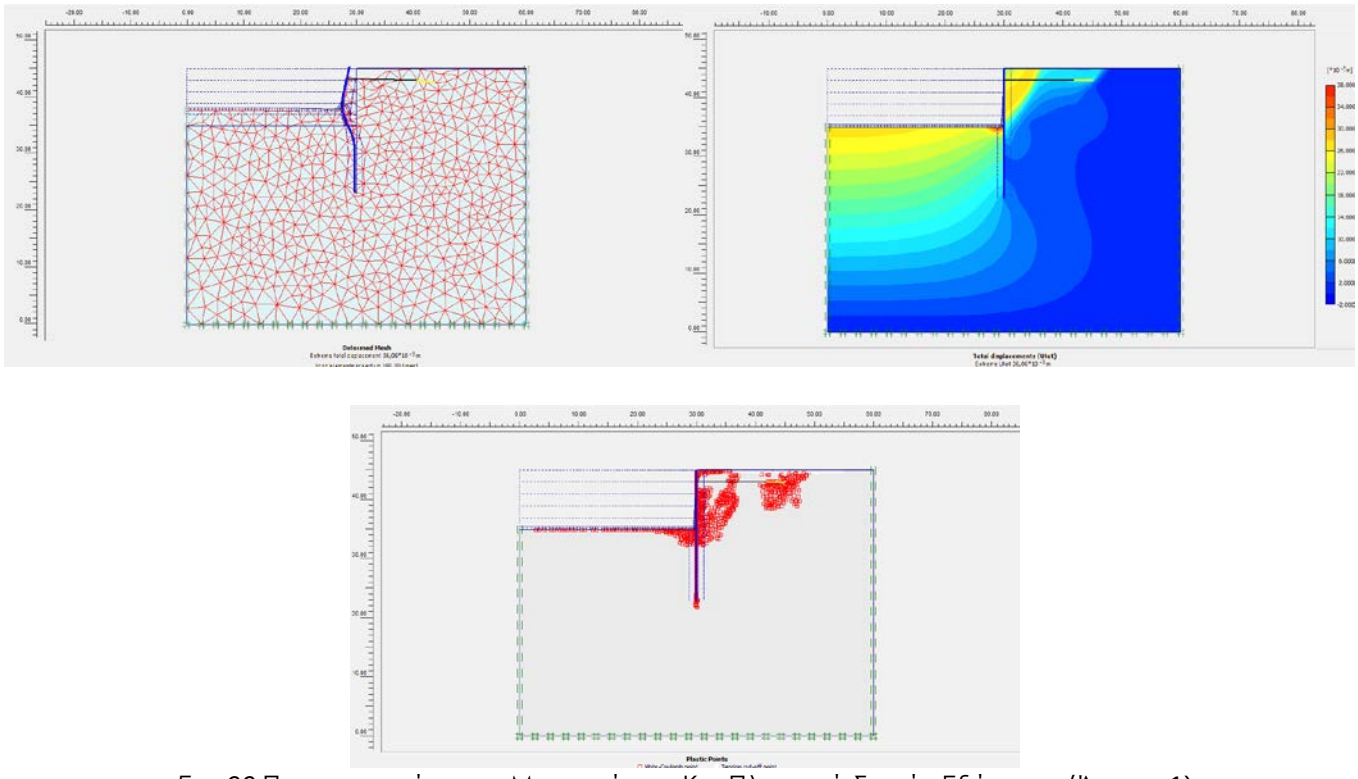
5. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των μετακινήσεων και των παραμορφώσεων του τοίχου, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις αναλύσεις μεταξύ των εδαφών:

άμμο 1 με άμμο 2 και άργιλο 1 με άργιλο 2 (όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα Πιν. 14).

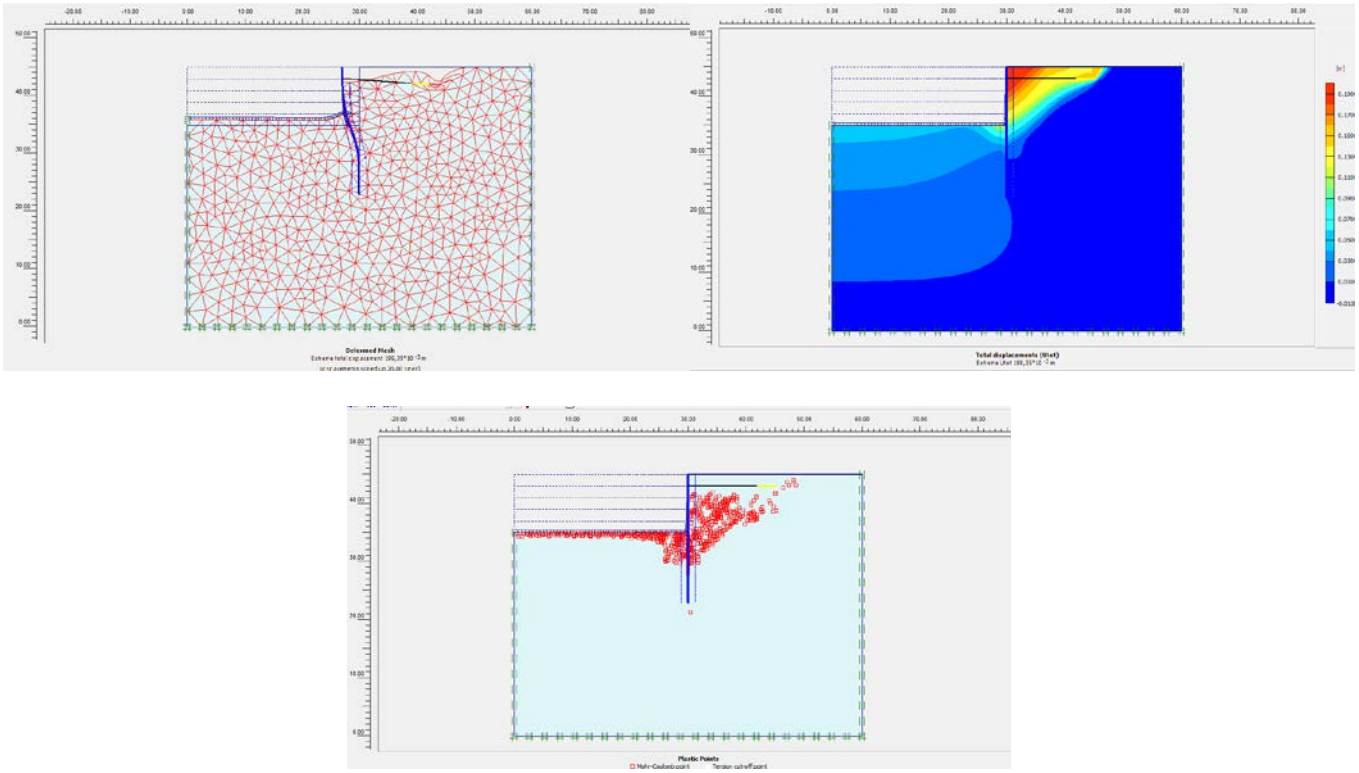
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΩΝ	**ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ**	
	ΕΔΑΦΟΣ	**ΤΟΙΧΟΣ**
ΑΜΜΟΣ 1	$29,79*10^{-3}$ m	$9,26*10^{-3}$ m
ΑΜΜΟΣ 2	$56,32*10^{-3}$ m	$33,44*10^{-3}$ m
ΑΡΓΙΛΟΣ 1	$49,27*10^{-3}$ m	$11,98*10^{-3}$ m
ΑΡΓΙΛΟΣ 2	$18,98*10^{-3}$ m	$16,40*10^{-3}$ m

Πιν. 14 Μετακινήσεις Εδάφους – Τοίχου

Αυτό συμβαίνει επειδή στην άμμο 1 θεωρείται μεγαλύτερη εσωτερική γωνία τριβής (ϕ^o) σε σχέση με την άμμο 2, με αποτέλεσμα να προσομοιώνεται έδαφος μεγαλύτερη διατμητική αντοχή. Άρα οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις του εδάφους είναι μικρότερες (Εικ. 90 - Εικ. 91).

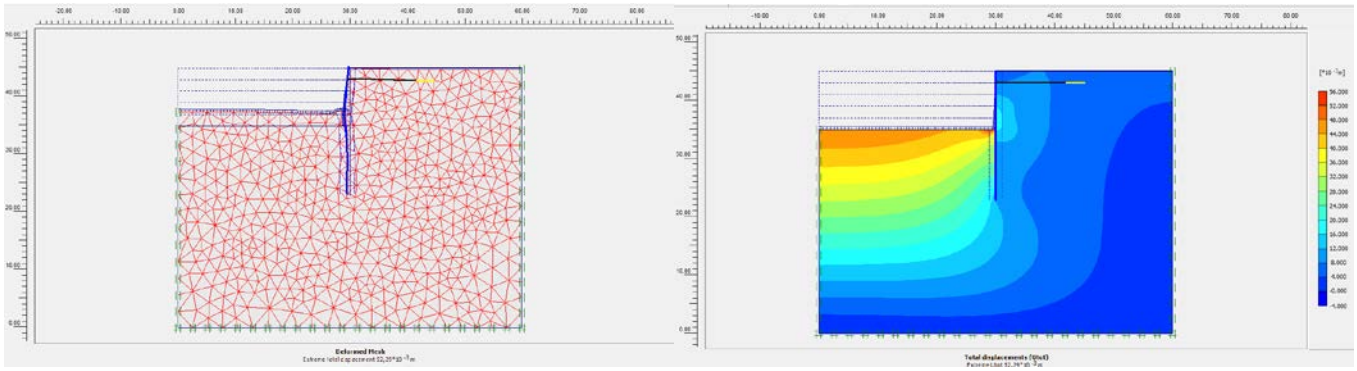


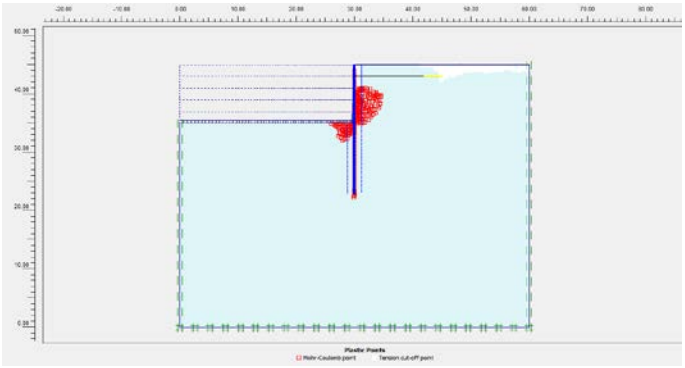
Εικ. 90 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άμμος 1)



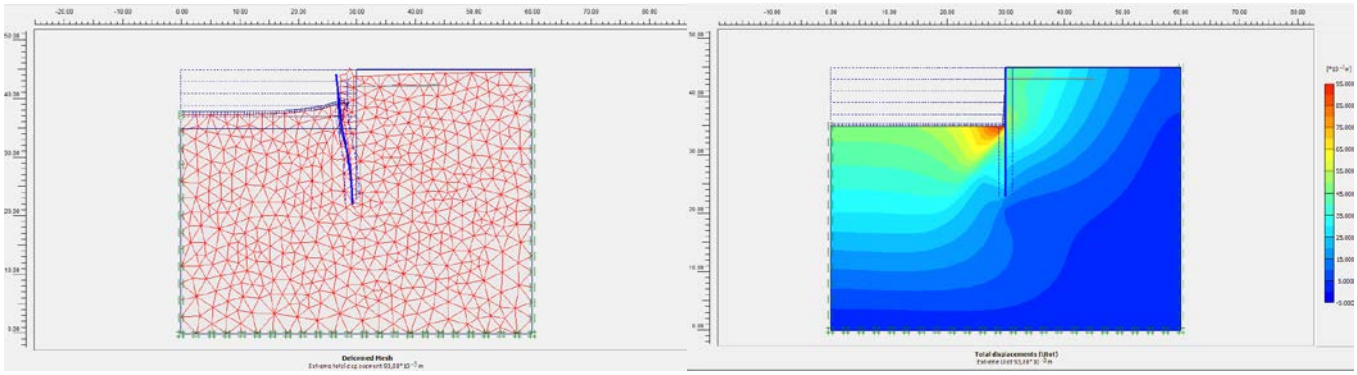
Εικ. 91 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άμμος 2)

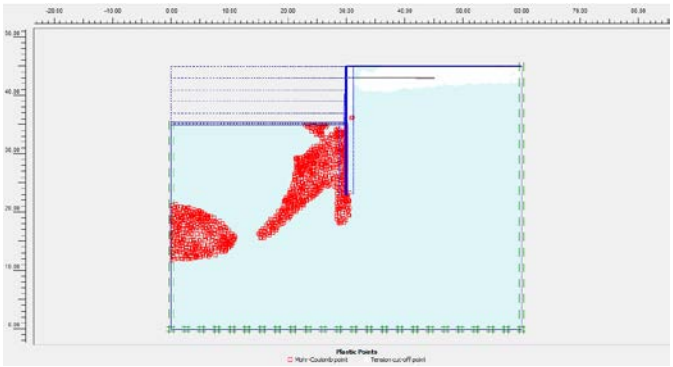
Στα αργιλικά εδάφη, εξετάζονται αστράγγιστες συνθήκες (άργιλος 2). Στις αστράγγιστες συνθήκες υπάρχει μεγάλη συνοχή c_u, που δηλώνει ότι τα μεγέθη των κόκκων είναι καλά διαβαθμισμένα από τους μικρότερους κόκκους προς τους μεγαλύτερους. Γι' αυτό τον λόγο, οι μετακινήσεις και οι παραμορφώσεις του εδάφους στον άργιλο 2, είναι μικρότερες (Εικ. 92 - Εικ. 93). Οι αστράγγιστες συνθήκες είναι ένα μοντέλο που δημιουργεί μέσα στο έδαφος περιπλοκότητα, η οποία είναι εκτός από τα όρια της παρούσας εργασίας. Γι' αυτό το λόγο τα αποτελέσματα που δίνονται είναι ασχολίαστα.





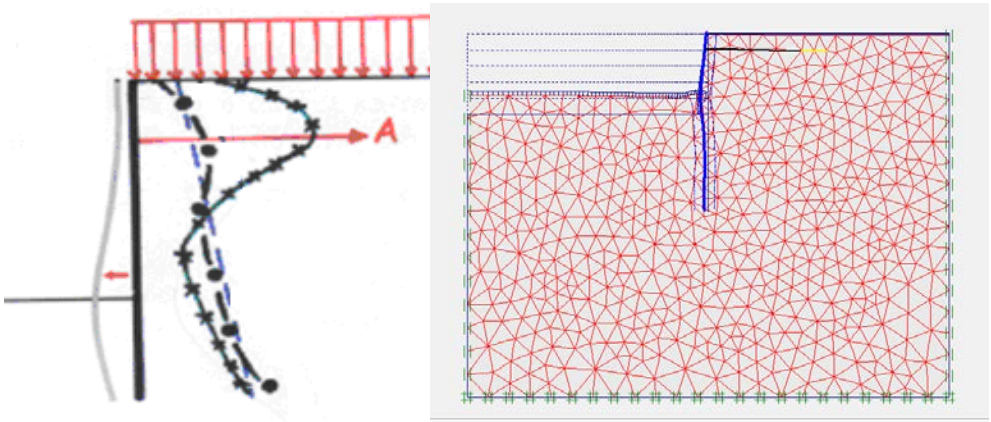
Εικ. 92 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άργιλος 1)





Εικ. 93 Παραμορφώσεις – Μετακινήσεις Και Πλαστικά Σημεία Εδάφους (Άργιλος 2)

6. Παρατηρώντας την παρακάτω εικόνα διαπιστώνεται η ομοιότητα του διαγράμματος (Εικ. 94α.) που έχει ορίσει ο Μπουκοβάλας στις σημειώσεις του [25], με την προσομοίωση της αριθμητικής μεθόδου (Εικ. 94β.). Η ίδια προσομοίωση εμφανίζεται σε όλα διαγράμματα μετατοπίσεων, όλων των περιπτώσεων των εδαφών.



Εικ. 94 α. Διάγραμμα Μετατοπίσεων Εύκαμπτης Αντιστήριξης Με αγκύρωση β. Διάγραμμα Μετατοπίσεων Εύκαμπτης Αντιστήριξης Με Αγκύρση Αριθμητικό Προσομοίωμα

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Στην αναλυτική μέθοδο τα διαγράμματα εξαρτώνται από το μήκος του τοίχου z (διαφορετικό σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με την στάθμη υδροφόρου ορίζοντα), καθώς και από το είδος του εδάφους, αφού πολύ παράμετροι αντοχής του τοίχου επηρεάζονται (c,ϕ). Στην αριθμητική μέθοδο συμβαίνει το ίδιο αλλά εξαρτώνται και από το πάχος του τοίχου d.
2. Το πρόγραμμα PLAXIS®, στην αριθμητική μέθοδο λαμβάνει υπόψη του εντολές, όπως είναι η πύκνωση (mesh) κάτι που δεν γίνεται στην αριθμητική μέθοδο. Χρησιμοποιούνται παράμετροι για τα διάφορα είδη εδαφών, καθώς επίσης δίνεται η δυνατότητα να ορίζεται χρονοδιαγράμματα εργασιών, έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει πραγματική αντιμετώπιση του προβλήματος.
3. Η επιλογή των εδαφών έγινε από υπάρχουσες γεωτεχνικές μελέτες. Στην άργιλο 2, επιλέχθηκε ένα έδαφος με αστράγγιστες συνθήκες. Η αρχική συνοχή του εδάφους λήφθηκε ίση με $c = 40$ και από τα αποτελέσματα τεκμαίρεται ένα πολύ συνεκτικό έδαφος. Οι αστράγγιστες συνθήκες είναι ένα μοντέλο περίπλοκο, κα το τι ακριβώς συμβαίνει μέσα στο έδαφος έχει μια περιπλοκότητα η οποία ξεπέφτει από τα όρια της παρούσας εργασίας. Για αυτό παρουσιάστηκαν 4 περιπτώσεις και τα αποτελέσματα που δίνουν είναι ασχολίαστα.
4. Επειδή στην πραγματικότητα υπάρχει τριβή ανάμεσα στον τοίχο και στο έδαφος, σε όλες τις αναλύσεις, και προκειμένου να ληφθεί αυτό υπ' όψιν, υπολογίστηκαν οι συντελεστές K_a και K_p, με την μέθοδο του Coulomb. Αυτό αποδεικνύεται με τις παρακάτω σχέσεις: $\tan\phi_{interface} = R_{inter}\tan\phi_{εδάφους}$ και $c_{inter} = R_{inter}c_{εδάφους}$.

5. Στην αριθμητική μέθοδο, η προσομοίωση του τοίχου σχεδιάζεται σε ένα μεγάλο πρότυπο για να μην επηρρεάζονται τα αποτελέσματα του προβλήματος από τα όρια σχεδιασμού. Ανάλογα με αυτό ορίζονται οι στάθμες υδροφόρου ορίζοντα, όπου κάποιες σχεδιάζονται κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης και πολύ μακριά. Αντίθετα, στην αναλυτική μέθοδο, οι αντίστοιχες στάθμες θεωρούνται ότι δεν επηρρεάζουν τα αποτελέσματα, γι' αυτό σχεδιάζονται στη στάθμη θεμελίωσης ($\pm 0,0m$).
6. Με την αναλυτική μέθοδο υπάρχει ασφάλεια λόγω οριακών συνθηκών, αλλά διαπιστώθηκε ότι δημιουργούνται πολύ μεγάλες ωθήσεις οπότε και τέμνουσες και ροπές.
7. Με την αριθμητική προσομοίωση έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια γιατί οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] BOWLES E. JOSEPH, «ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ FOUNTAS

[2] ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ Ν., (1986), «ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΣ – ΜΕΡΟΣ Α'», ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΘΗΝΑΣ – ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ – ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

[3] ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ Ε.Μ.Π., (1969 – 1970), «ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ – ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ»

[4] ΚΟΝΙΔΑΡΗΣ Ε. Β., (2003), «ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ», ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΘΗΝΑΣ – ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ – ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

[5] ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ Γ. Μ., ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ «ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ», ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ, Ε.Μ.Π

[6] BARNES G. E. ,(2005), «ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ – ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

[7] ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΤΩΝ «ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ», (2007), Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

[8] Ο.Α.Σ.Π. - Ε.Α.Κ. 2000, «ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ – ΩΘΗΣΗ ΣΕ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΕΙΣΜΟΥ»

[9] ΚΑΒΒΑΔΑΣ Μ., «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ – ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΕΔΑΦΩΝ», ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ, Ε.Μ.Π.

[10] MANUAL, PLAXIS® INTRODUCTORY

[11] ΑΝΤΩΝΙΟΥ Α., «ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ – ΦΥΣΙΚΑ – ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ», ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ – ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

[12] http://7gum-laris.lar.sch.gr/ergasies/ERGA/xerolithies.files/4.jpg

[13] www.deyam.gr/draseis/drastiriotitles5.jpg

[14] http://www.buildings.gr/ergasia/Zagoria/zag_64.jpg

[15] http://www.geo.auth.gr/883/chapt5_files/peristeri.jpg

[16] http://www.stroumbi.org/images/P8210031.jpg

[17] http://www.reefmadnessvilla.com/4_2%20concrete%20wall.jpg

[18] www.dcmetalwork.com

[19] www.redriversaga.com

[20] http://ecomo.users.uth.gr/images/6a_2.jpg

[21] http://ecomo.users.uth.gr/images/6d_1.jpg

[22] ΚΑΒΒΑΔΑΣ Μ., «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ – ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ», ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ, Ε.Μ.Π.

[23] ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ Β., «ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ – ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ», ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

[24] STIEGLER WILHELM, «ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΣ», ΕΚΔΟΤΗΣ ΜΟΣΧΟΣ ΓΚΙΟΥΡΔΑΣ, ΑΘΗΝΑ 1976

[25] ΜΠΟΥΚΟΒΑΛΑΣ Γ., (ΜΑΙΟΣ 2007), «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ»

[26] SINIRESU S. RAO, (2005), «THE FINITE ELEMENT METHOD IN ENGINEERING», FOURTH EDITION, ELSEVIER BUTTERWORTH – HEINEMANN

[27] ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ Γ.Μ. – ΚΟΖΑΝΗΣ Σ., «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ», Ε.Μ.Π.

[28] ΒΑΙΡΑΚΤΑΡΗΣ Ε. – ΜΕΤΑΞΑΣ Γ. – ΔΑΜΗΓΟΥ Δ., «CONTRIBUTION OF NUMERICAL METHODS IN THE EDUCATION OF GEOSCIENCES: IMPLEMENTATION ON TWO – TIER STUDY PROGRAMS», DEPARTMENT OF BULDING CONSTRUCTION, A.T.E.I. ΠΕΙΡΑΙΑ, ΑΘΗΝΑ

[29] www.stroumbi.org/erga.shtml

[30] http://www.tinos.biz/eparhio.htm

[31] www.panmental.gr/PR1_01Syrmatokibotia.html