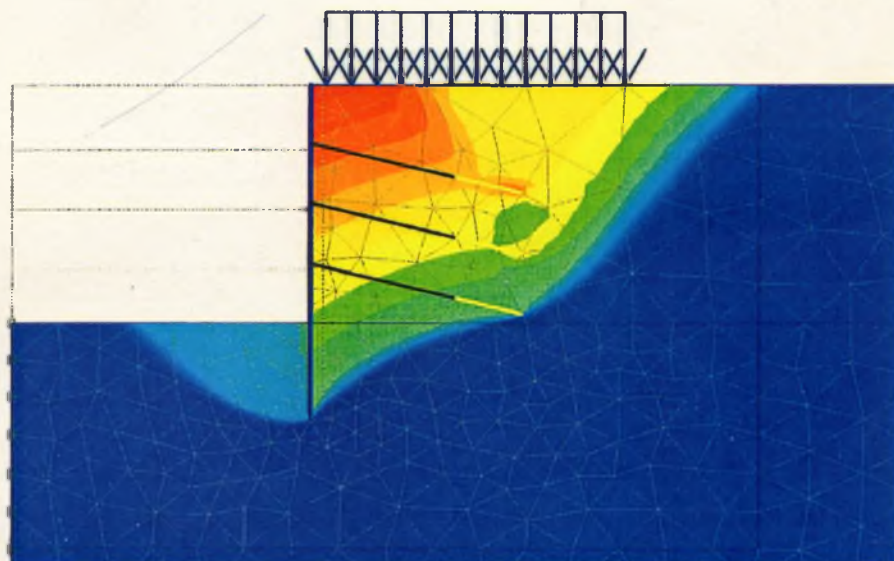




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ



Όνομ/μο Φοιτήτριας: ΑΓΑΘΟΥΛΑ ΚΟΥΣΤΑ

**Επιβλέπων : ΚΑΡΑΜΠΑΤΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
Δρ Πολιτικός Μηχανικός**

ΒΟΛΟΣ

2007



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6164/1
Ημερ. Εισ.: 02-07-2008
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΠΜ
2007
ΚΟΥ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο :

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

1.1 Εισαγωγή	2
1.2 Προσομοίωση Έργων Αντιστήριξης	7
1.2.1 Αναλυτικές σχέσεις Κλειστού Τύπου	7
1.2.2 Μέθοδος οριακής ισορροπίας	8
1.2.3 Μέθοδος οριακής ανάλυσης	9
1.2.4 Αριθμητικές Μέθοδοι	10
1.2.4.1 Προσομοίωση του εδάφους με ελατήρια	10
1.2.4.2 Προσομοίωση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων	12
1.2.4.3 Προσομοίωση δομικών στοιχείων	15
1.2.4.4 Προσομοίωση δομικών στοιχείων μέσω του κώδικα PLAXIS	16
1.2.4.5 Προσομοίωση στοιχείων αγκύρωσης μέσω του κώδικα PLAXIS	17
1.2.4.6 Προσομοίωση στοιχείων διεπιφάνειας μέσω του κώδικα PLAXIS	18
1.2.4.7 Προσομοίωση εδαφικών στοιχείων μέσω του κώδικα PLAXIS	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο :

Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ : ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MOHR – COULOMB ΚΑΙ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ HARDENING

2.1 Προσομοίωση του εδάφους με το μοντέλο Mohr – Coulomb	29
2.2 Προσομοίωση του εδάφους μέσω ελαστικών - τέλεια πλαστικών μοντέλων εδάφους	33
2.3 Συμπεράσματα	47
2.4 Σκληρυνόμενα μοντέλα εδάφους – Το μοντέλο Hardening Soil	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο :

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

3.1 Εισαγωγή	66
3.2 Βασικές παραδοχές – Στοιχεία Ανάλυσης	66
3.3 Περιγραφή Προβλήματος	68
3.3.1 Γεωμετρία και στάδια ανάλυσης	68
3.3.2 Τιμές παραμέτρων	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο :

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	84
4.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	102
4.3 Συμπεράσματα – Προτάσεις	104

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	107
---------------------	------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

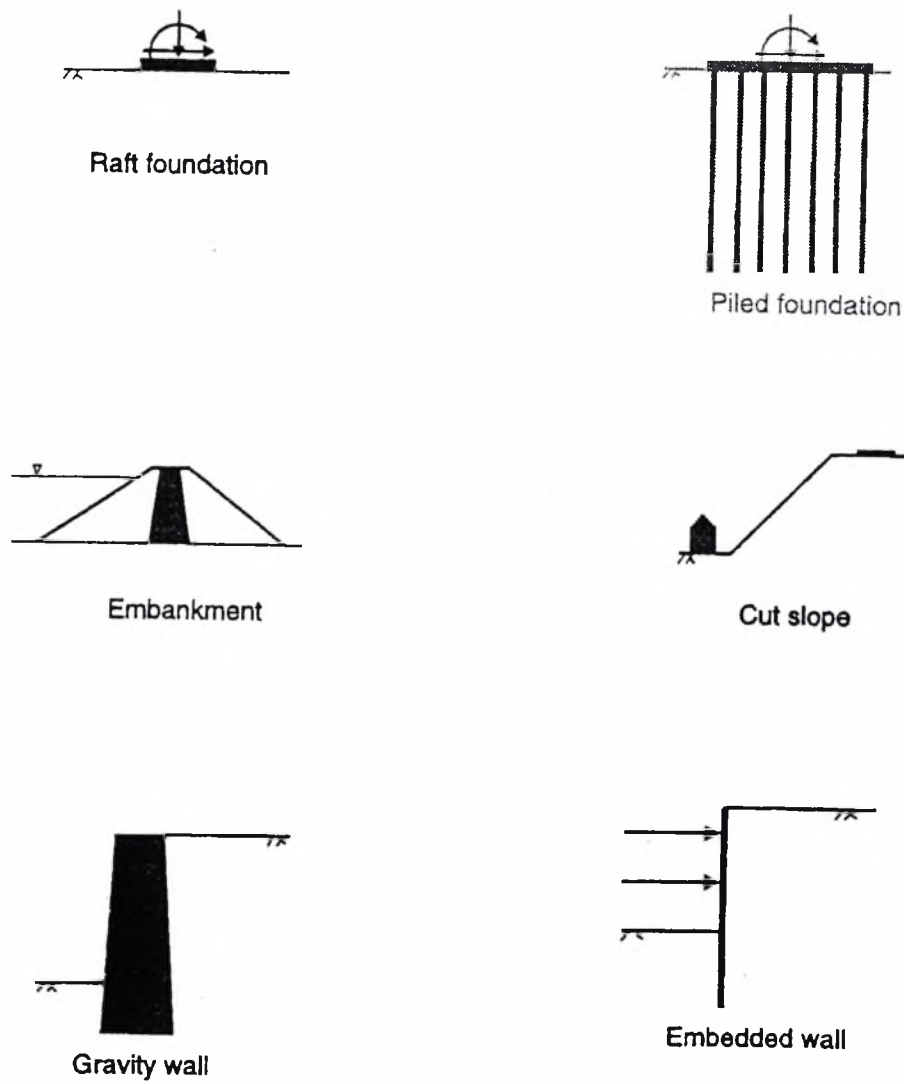
Προσομοίωση με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων

1.1 Εισαγωγή

Η χρήση αριθμητικών μεθόδων κατά το σχεδιασμό διατάξεων αντιστήριξεων αυξάνεται συνεχώς τα τελευταία έτη. Η δυνατότητα που παρέχουν οι αριθμητικές μέθοδοι για την εφαρμογή σύνθετων εδαφικών μοντέλων καθώς και για την προσομοίωση κάθε επιμέρους σταδίου της κατασκευής, αποτελούν ορισμένους από τους βασικούς παράγοντες που οδηγούν στην ευρύτερη χρησιμοποίησή τους έναντι των κλασικών μεθόδων οριακής ισορροπίας.

Παρόλα αυτά, όμως, η ορθή χρήση των αριθμητικών μεθόδων κατά τη μελέτη αντιστήριξεων προϋποθέτει την ύπαρξη ικανών γνώσεων τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο καθώς οι βασικές παραδοχές και η επιλογή ορισμένων παραμέτρων, επηρεάζουν καθοριστικά τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ανωτέρω επισημάνσεις, στο παρόν άρθρο εξετάζεται παραμετρικά η συμπεριφορά αντιστήριξης κατακόρυφου μετώπου ανοιχτής εκσκαφής σημαντικού βάθους, με απώτερο σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων και τη διατύπωση - εν συνεχεία - ανάλογων προτάσεων σχετικά με την όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη αριθμητική προσομοίωση της απόκρισης τυπικών διατάξεων αντιστήριξεων



Σχήμα 1.1 : Διάφορα γεωτεχνικά έργα

Τα έργα αντιστήριξης είναι δυνατόν να διαχωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες :

Αντιστηρίξεις

Μόνιμες

Προσωρινές

Συνεχείς

Ασυνεχείς

Συνεχείς

Ασυνεχείς

Τοίχοι
Βαρύτητας

Πάσσαλοι με
ελεύθερο χώρο
ανάμεσά τους

Διαφράγματα
Μεταλλικών
Πασσαλοσανίδων

Μεταλλικοί
Πάσσαλοι
(Soldier piles)

Διαφράγματα
Σκυροδέματος

Αλληλοεφαπτό-
μενοι πάσσαλοι
χωρίς δοκούς
σύζευξης

Επικαλυπτόμενοι
Πάσσαλοι

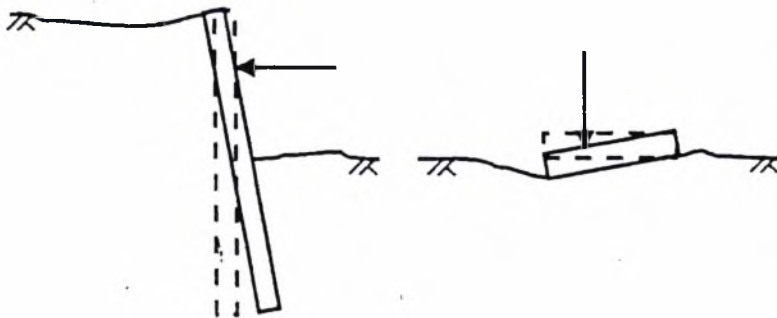
Πάσσαλοι με
ενδιάμεσους
θόλους

Αλληλοεφαπτό-
μενοι πάσσαλοι
με δοκούς
σύζευξης

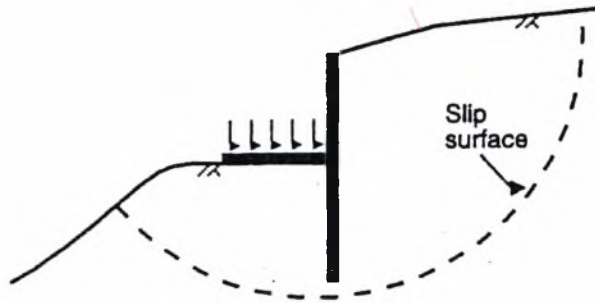
Ο σχεδιασμός ενός έργου αντιστήριξης, απαιτεί την κατάλληλη προσομοίωση του έργου, ώστε να βρεθούν με ικανοποιητική ακρίβεια τα ζητούμενα μεγέθη του σχεδιασμού.

Πιο συγκεκριμένα, τα συνήθη ζητούμενα μεγέθη – στοιχεία είναι τα εξής :

1. Η εύρεση των εντατικών μεγεθών του στοιχείου αντιστήριξης, προκειμένου να ελεγχθεί αν η αντοχή του επαρκεί και εν συνεχεία να διαστασιολογηθεί κατάλληλα.
2. Η εύρεση της έντασης όποιου άλλου στοιχείου συμμετέχει στο σύστημα αντιστήριξης, προκειμένου να ελεγχθεί αν η αντοχή του επαρκεί και εν συνεχεία να διαστασιολογηθεί κατάλληλα.
3. Η τοπική ευστάθεια του έργου αντιστήριξης.
4. Η συνολική ευστάθεια της περιοχής που επηρεάζεται από το έργο.
5. Το μέγεθος και η διεύθυνση των παραμορφώσεων, είτε του εδάφους είτε παρακείμενων κατασκευών που επηρεάζονται από την εκσκαφή και το έργο αντιστήριξης, στα κρίσιμα σημεία όπου είναι απαραίτητη η γνώση τους.



Σχήμα 1.2 : Τοπική ευστάθεια των έργων



Σχήμα 1.3 : Η συνολική ευστάθεια της περιοχής του έργου

1.2 Προσομοίωση έργων αντιστήριξης

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι που είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν για την προσομοίωση και επίλυση έργων αντιστήριξης. Συγκεκριμένα, στις επόμενες ενότητες γίνεται ιδιαίτερη αναφορά για τις ακόλουθες μεθόδους:

- Εφαρμογή αναλυτικών σχέσεων (σχέσεις «κλειστού» τύπου, μέθοδος οριακής ισορροπίας)
- Εφαρμογή αριθμητικών μεθόδων (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων).

1.2.1 Αναλυτικές σχέσεις «κλειστού» τύπου

Η ιδεατή περίπτωση στην ανάλυση του προβλήματος της συμπεριφοράς του εδάφους είναι αυτή κατά την οποία μπορεί να βρεθεί οποιοδήποτε «κρίσιμο» στοιχείο της συμπεριφοράς του (τάσεις, μετακινήσεις) με τη χρήση αναλυτικών σχέσεων. Αυτές οι λύσεις ονομάζονται «κλειστές» λύσεις και είναι εφικτές μόνο σε ειδικές περιπτώσεις απλών προβλημάτων.

Για την εφαρμογή σχέσεων «κλειστού» τύπου είναι απαραίτητα τα παρακάτω:

1. Ο ορισμός ενός καταστατικού νόμου για το έδαφος, που να προσομοιώνει αξιόπιστα τη συμπεριφορά του.
2. Ο ακριβής προσδιορισμός των συνοριακών συνθηκών του προβλήματος (συνθήκες φόρτισης, οριακές συνθήκες κ.λπ).
3. Ο συνδυασμός των παραπάνω δύο με τις εξισώσεις ισορροπίας και τις εξισώσεις συμβιβαστού.

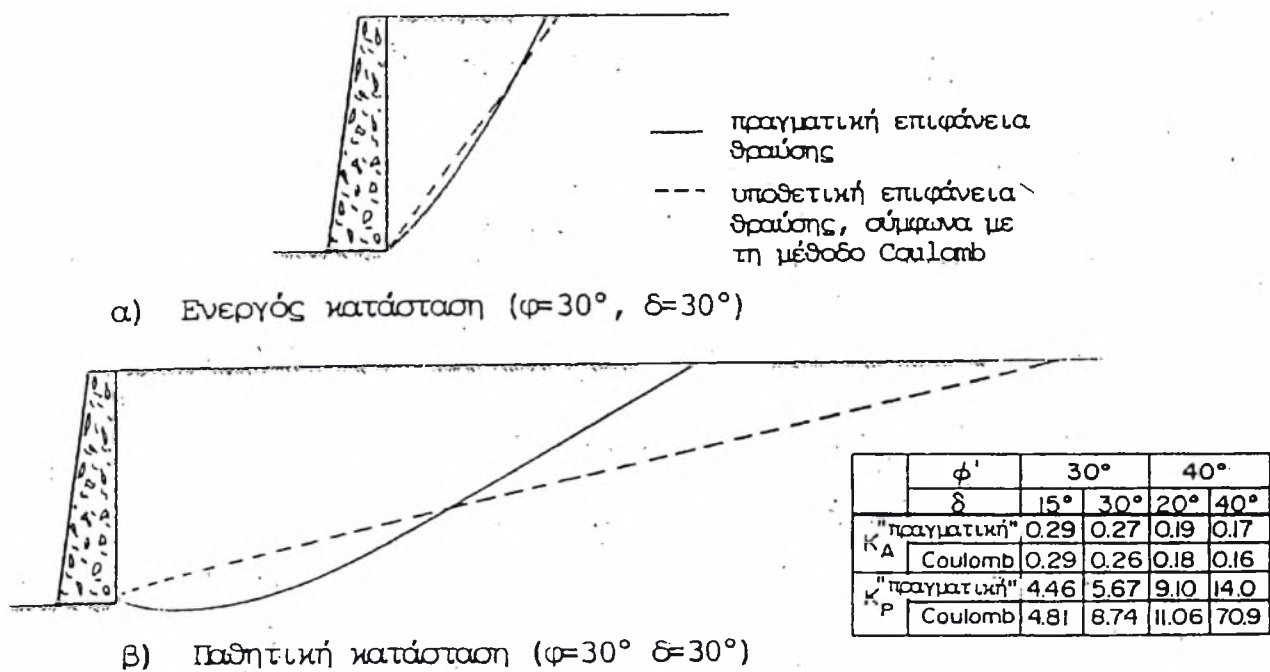
Αν ήταν δυνατή η γνώση και ο καθορισμός των παραπάνω στοιχείων θα ήταν εφικτή η εύρεση «κλειστής» λύσης για κάθε πρόβλημα.

Οι «κλειστές» λύσεις είναι εφικτές κυρίως στις ακόλουθες δύο περιπτώσεις :

1. Όταν θεωρείται ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ισότροπα ελαστικά. Στην περίπτωση αυτή δεν είναι εφικτή η αξιόπιστη επίλυση προβλημάτων ευστάθειας καθώς και η εκτίμηση των παραμορφώσεων - μετακινήσεων .
2. Όταν το πρόβλημα έχει πολλά επίπεδα συμμετρίας, που τελικά το καθιστούν μονοδιάστατο πρόβλημα.

1.2.2 Μέθοδος οριακής ισορροπίας

Στη μέθοδο της οριακής ισορροπίας ορίζεται «αυθαίρετα» η επιφάνεια θραύσης (προφανώς ο ορισμός της επιφάνειας θραύσης πραγματοποιείται από την παρατήρηση πραγματικών περιπτώσεων ή από την παρατήρηση μοντέλων), και αναπτύσσονται οι συνθήκες ισορροπίας για την εδαφική μάζα που αστοχεί. Η επιφάνεια αστοχίας δύναται να έχει διάφορα σχήματα και η συνθήκη ισορροπίας ισχύει πάνω σε αυτήν. Οι μέθοδοι οριακής ισορροπίας είναι εφαρμόσιμες κυρίως στην περίπτωση ομοιόμορφου εδάφους καθώς σε αντίθετη περίπτωση εμφανίζονται αυξημένες δυσκολίες για τον προσδιορισμό της επιφάνειας θραύσης.



Σχήμα 1.4 : Ενδεικτικές συγκριτικές εικόνες υποθετικών (κατά τη μέθοδο του Coulomb) και πραγματικών επιφανειών ολίσθησης, για καταστάσεις ενεργού και παθητικής θραύσης. Είναι εμφανές στα σκαριφήματα και στα στοιχεία του πίνακα, ότι η διαφορά είναι έντονη στην περίπτωση παθητικής θραύσης (Sokolovski 1954).

1.2.3 Μέθοδος οριακής ανάλυσης

Κατά την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου πραγματοποιούνται οι κάτωθι αναλύσεις :

1. Στην πρώτη ανάλυση – θεώρημα του άνω ορίου – υποτίθεται ορισμένη επιφάνεια ολίσθησης (εν γένει μηχανισμός παραμόρφωσης) και υπολογίζεται το συνολικό έργο που παράγεται κατή μήκος της επιφάνειας αυτής. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται κάποια τιμή του φορτίου, η οποία είναι είτε μεγαλύτερη είτε ίση με την αντίστοιχη του οριακού φορτίου.
2. Στη δεύτερη ανάλυση – θεώρημα του κάτω ορίου – εφαρμόζεται το φορτίο στο έδαφος και βρίσκεται η εντατική κατάσταση στο έδαφος. Αν το εντατικό πεδίο είναι στατικά ορθό και δεν παραβιάζει σε κανένα σημείο τη συνάρτηση διαρροής, τότε το φορτίο που παρήγαγε αυτό το εντατικό πεδίο είναι είτε μικρότερο είτε ίσο με το οριακό φορτίο.

Από τις επιλύσεις με το θεώρημα του άνω ορίου επιλέγεται η επιφάνεια που δίνει το μικρότερο οριακό φορτίο.

Από τις επιλύσεις με το θεώρημα του κάτω ορίου επιλέγεται η επιφάνεια που δίνει το μεγαλύτερο οριακό φορτίο, επειδή βρίσκεται προς την πλευρά της ασφάλειας.

Η ανάλυση ενός διαφράγματος αντιστήριξης με τη χρήση της μεθόδου της οριακής ισορροπίας συνίσταται στην απομόνωση του διαφράγματος από το περιβάλλον του και την εφαρμογή σε αυτό των πάσης φύσεως συνοριακών συνθηκών του (φορτία, υποχωρήσεις στηρίξεων, κ.α.). Έτσι εφαρμόζονται σε αυτό οι ενεργητικές και οι παθητικές πιέσεις , οι δυνάμεις από τα ακύρια, οι πιέσεις του νερού και όποια άλλα φορτία το επηρεάζουν.

Εφαρμόζεται κατάλληλος συντελεστής ασφάλειας και γράφονται οι συνθήκες ισορροπίας του συστήματος. Από την επίλυσή τους βρίσκονται οι εντάσεις για τις οποίες θα διαστασιοποιηθούν το διάφραγμα και τα άλλα στοιχεία.

1.2.4 Αριθμητικές μέθοδοι

Η ανάπτυξη των αριθμητικών μεθόδων παρείχε το πρώτο εργαλείο για την εύρεση ακριβέστερων λύσεων και ταυτόχρονα τη δυνατότητα ανάλυσης ιδιαίτερα σύνθετων προβλημάτων, όπως είναι τα έργα αντιστήριξης.

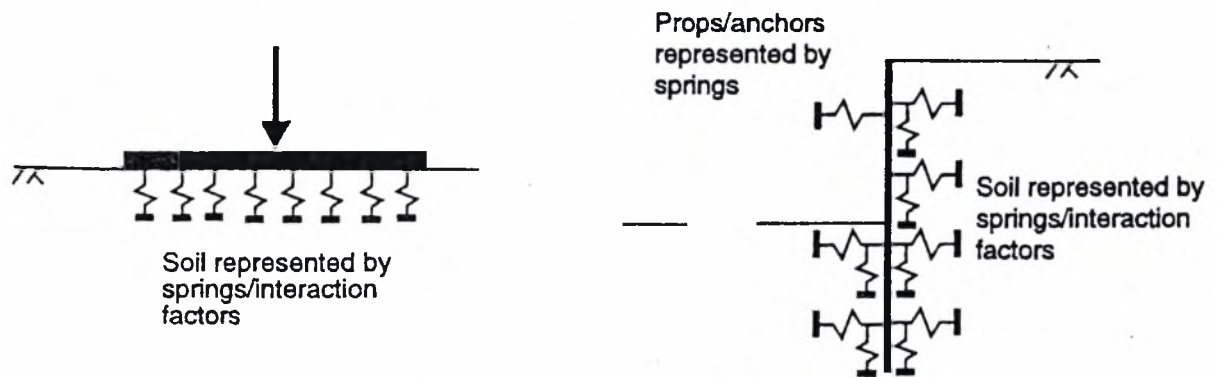
1.2.4.1 Προσομοίωση του εδάφους με ελατήρια

Η χρήση των ελατηρίων για την προσομοίωση του εδάφους είναι ουσιαστικά το μεταβατικό στάδιο από τις απλές αναλύσεις ως τις πλήρεις αριθμητικές αναλύσεις, όπως η ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία ή πεπερασμένες διαφορές. Τα αποτελέσματά της είναι εν μέρει αξιόπιστα καθώς δεν είναι δυνατή η προσομοίωση του εδάφους με ελατήρια να αποδώσει με ακρίβεια τη σύνθετη συμπεριφορά της εδαφικής μάζας.

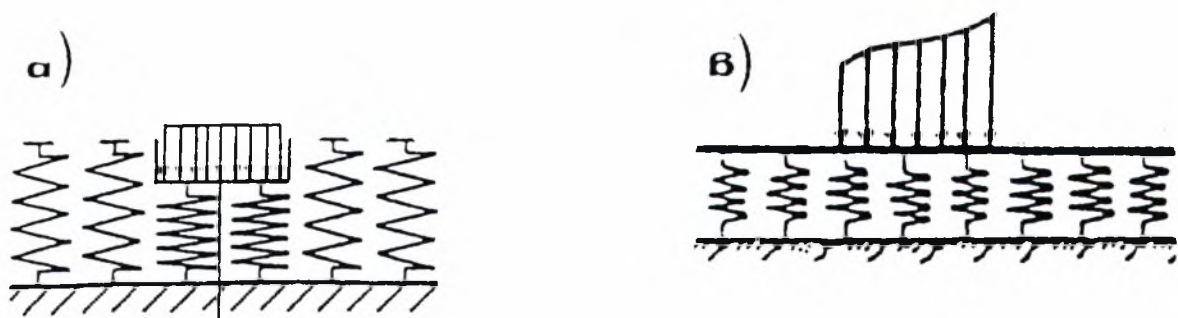
Η ανάλυση ενός διαφράγματος αντιστήριξης με τη χρήση ελατηρίων για την προσομοίωση του εδάφους θα δώσει αποτελέσματα μόνο για την ένταση και τις παραμορφώσεις του διαφράγματος. Όσον αφορά τη μέθοδο, τα ελατήρια τοποθετούνται και από τις δύο πλευρές (ενεργητική, παθητική) του διαφράγματος. Σε κάθε βήμα εκσκαφής απενεργοποιούνται αυτά που αντιστοιχούν σε έδαφος που έχει εκσκαφτεί.

Το σύστημα ισορροπεί μόνο του μετά από κάθε βήμα εφαρμόζοντας επαναληπτική διαδικασία, κατά την οποία ορίζεται αυθαίρετα η μετατόπιση ενός ελατηρίου και το σύστημα καλείται να ισορροπήσει από την αυθαιρεσία, καταλήγοντας στην αυτοϊσορροπούμενη κατάσταση.

Μετά από το τελευταίο βήμα εκσκαφής, το σύστημα παρουσιάζει την τελική του κατάσταση. Τα μοναδικά φορτία που εφαρμόζονται είναι τα τυχόν εξωτερικά φορτία λόγω παρακείμενων κατασκευών και οι υδροστατικές πιέσεις του νερού ενώ δεν δύναται να επιβληθούν οι πιέσεις του εδάφους σε ηρεμία.



Σχήμα 1.5 : Προσομοίωση του εδάφους με ελατήρια



Σχήμα 1.6 : Ελατηριακά μοντέλα της έδρασης των θεμελίων στο έδαφος :

α) Μοντέλο Winkler, $P=ks \cdot y$

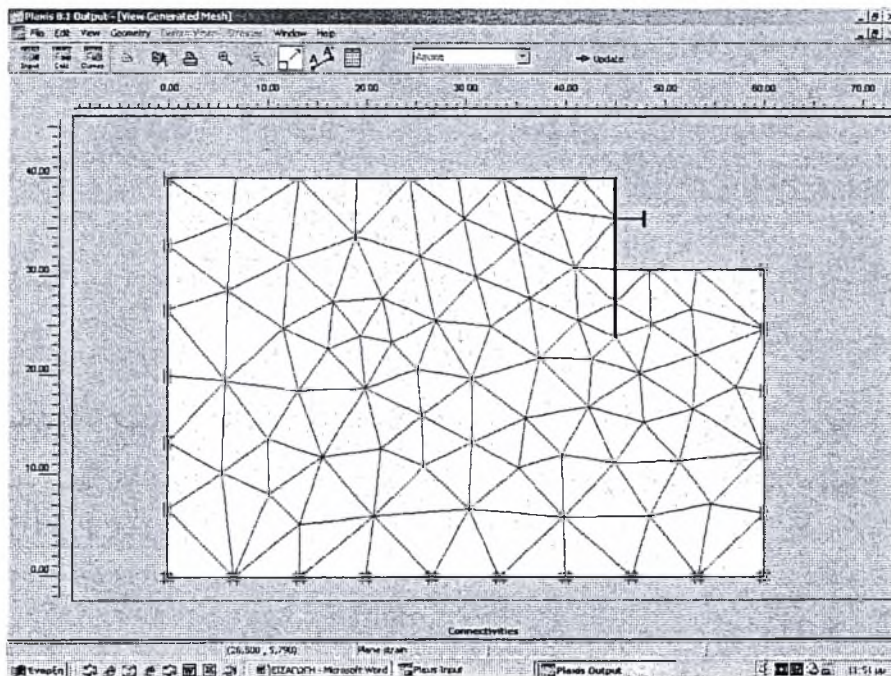
β) Μοντέλο Pasternak, $P=ks \cdot y - G \nabla^2 y$

1.2.4.2 Προσομοίωση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Η ανάλυση ενός έργου αντιστήριξης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων δίνει απαντήσεις στο σύνολο των ζητούμενων στοιχείων που απαιτούνται για τον σχεδιασμό του. Η πλήρης αριθμητική ανάλυση εμφανίζει μεν αρκετές δυσκολίες στην προσομοίωση, αφετέρου αποτελεί μία ιδιαίτερη ακριβή και αξιόπιστη μέθοδο ανάλυσης.

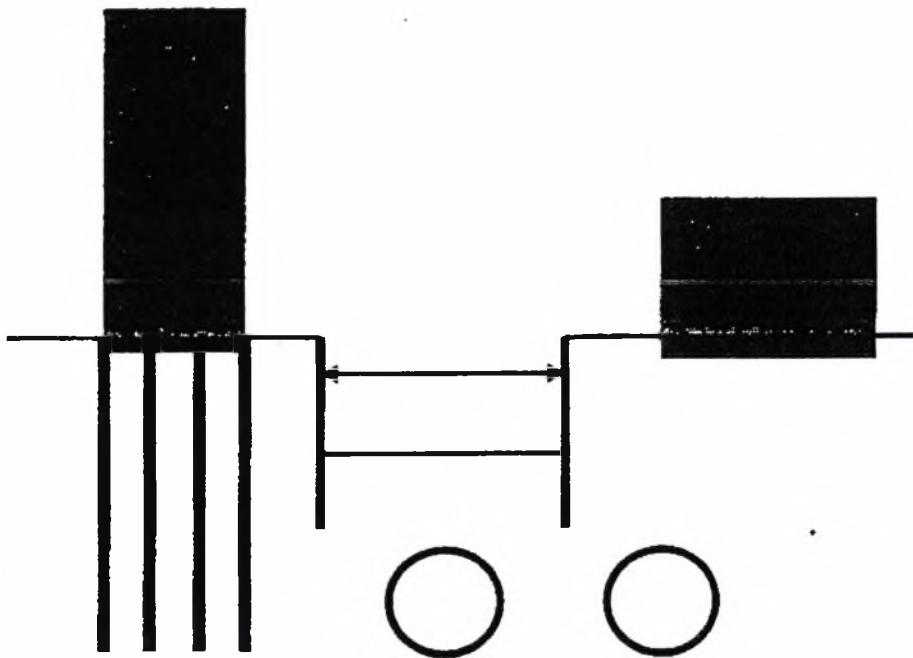
Η μέθοδος συνίσταται στο χωρισμό του χώρου που θα αναλυθεί και των στοιχείων που περιέχονται σε αυτόν, σε τμήματα πεπερασμένου μεγέθους (από αυτή την κατάτμηση του χώρου και των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό σε στοιχεία πεπερασμένου μεγέθους προκύπτει το όνομα της μεθόδου) . Σε κάθε στοιχείο αποδίδεται ο νόμος του υλικού που το χαρακτηρίζει και εν συνεχεία εφόσον οριστούν οι πάσης φύσεως συνοριακές συνθήκες, λύνεται το πρόβλημα.

Το λογισμικό PLAXIS , που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτήν την εργασία, χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο κάναβος των πεπερασμένων στοιχείων, που σχηματίζει το λογισμικό, για την επίλυση ενός προβλήματος αντιστήριξης.

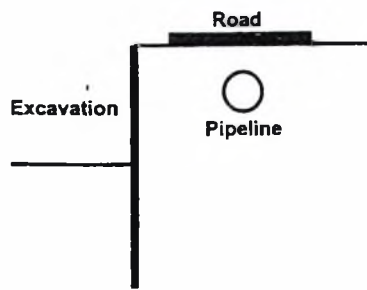


Για την επίλυση ενός προβλήματος με πλήρη αριθμητική ανάλυση, απαιτείται η εισαγωγή στο πρόγραμμα όλων των στοιχείων που αφορούν στο πρόβλημα, με τέτοιο τρόπο ώστε να το προσομοιώνουν κατά το δυνατόν ορθότερα. Εκτός από το έδαφος, που είναι το κυρίαρχο στοιχείο, συμμετέχουν και άλλα στοιχεία, τα οποία πρέπει να προσομοιωθούν. Επιπλέον πρέπει να προσομοιωθεί και η διεπιφάνεια των στοιχείων που έρχονται σε επαφή.

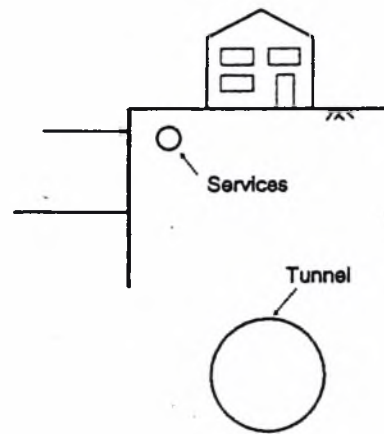
Σε ένα πρόβλημα αντιστήριξης, τα στοιχεία που εμφανίζονται είναι το πάσης φύσεως διάφραγμα, το αγκύριο που υποστηρίζει το διάφραγμα, το σώμα αγκύρωσης, τα στοιχεία διεπιφάνειας μεταξύ των διαφόρων στοιχείων που έρχονται σε επαφή, και τα παρακείμενα κτήρια ή άλλες παρακείμενες υπόγειες ή υπέργειες κατασκευές.



Σχήμα 1.7 : Εκσκαφή σε αστικό περιβάλλον



Σχήμα 1.8 : Εκσκαφή πλησίον οδού



Σχήμα 1.9 : Εκσκαφή σε αστικό περιβάλλον

1.2.4.3 Προσομοίωση δομικών στοιχείων

Για την προσομοίωση των δομικών στοιχείων σε διδιάστατη ανάλυση, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διδιάστατα πεπερασμένα στοιχεία. Αυτή η εφαρμογή, όμως, θα απαιτούσε πρόσθετη διαδικασία για το μετασχηματισμό των τάσεων που θα υπολογίζονταν από αυτά τα στοιχεία, στα γνώριμα μεγέθη ροπής, τέμνουσας και αξονικής δύναμης. Το ενδεχόμενο εμφάνισης και άλλων προβλημάτων, σχετιζόμενων με το μικρό μέγεθος των δομικών στοιχείων σε σχέση με τη συνολική γεωμετρία, οδήγησε στη χρήση ειδικών στοιχείων για την προσομοίωση των δομικών στοιχείων.

Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που καταργούν τη μία από τις δύο διαστάσεις των στοιχείων πάνω στο επίπεδο ανάλυσης (κάθε στοιχείο έχει διάσταση στο επίπεδο που είναι κάθετο στο επίπεδο ανάλυσης, απλώς, σε διδιάστατη ανάλυση, δεν εμφανίζεται η εκτός του επιπέδου ανάλυσης διάσταση του στοιχείου).

Η εντατική κατάσταση των στοιχείων αυτών διατυπώνεται με τους όρους των γνωρίμων εντατικών μεγεθών της ροπής, τέμνουσας και αξονικής δύναμης.

Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία των δομικών στοιχείων και συγκεκριμένα των διαφραγμάτων είναι ότι η εγκατάστασή τους στο έδαφος επηρεάζει την εντατική κατάσταση σε αυτό σε σημαντικό βαθμό, που σημαίνει ότι θα έπρεπε να είναι δυνατή η προσομοίωση της εγκατάστασης του διαφράγματος.

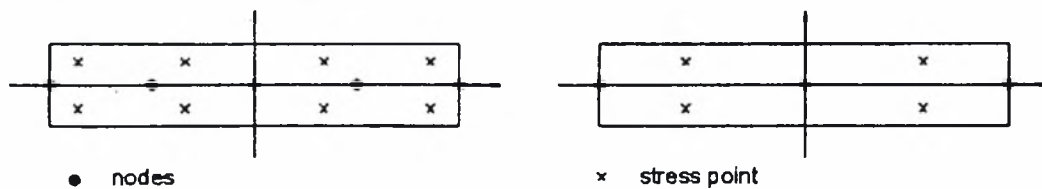
Η προσομοίωση της εγκατάστασης είναι ορθή όταν εφαρμόζεται σε τριδιάστατο κάρναβο πεπερασμένων στοιχείων, επειδή έχει τριδιάστατη επιρροή.

Τα δομικά στοιχεία που εμφανίζονται συνήθως σε ένα πρόβλημα αντιστήριξης είναι τα προσομοιώματα του διαφράγματος αντιστήριξης, κάποιας υπόγειας κατασκευής που βρίσκεται κοντά στην εκσκαφή, ή κάποιου παρακείμενου κτηρίου (βλ. σχήματα 1.7, 1.8, 1.9).

1.2.4.4 Προσομοίωση δομικών στοιχείων μέσω του κώδικα PLAXIS

Ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS αντιμετωπίζει τα δομικά στοιχεία ως πλάκες κάθετες στο επίπεδο ανάλυσης. Πάνω στο επίπεδο ανάλυσης εμφανίζονται ως γραμμικά στοιχεία. Η θεωρία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς τους είναι η θεωρία του Mindlin, η οποία λαμβάνει υπόψη και τη διατμητική παραμόρφωση του στοιχείου.

Τα δομικά στοιχεία ονομάζονται “Plates” και ενδεικτικά στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνονται τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στον εν λόγω κώδικα, όπως επίσης και οι θέσεις στις οποίες υπολογίζονται οι μετακινήσεις των στοιχείων (θέσεις κόμβων) και τα εντατικά μεγέθη (θέσεις σημείων ολοκλήρωσης).



Σχήμα 1.10 : Το στοιχείο Plate που χρησιμοποιεί το PLAXIS

Κατά την πραγματοποίηση της ανάλυσης από την επίλυση των δομικών στοιχείων λαμβάνονται τα γνώριμα μεγέθη ροπής, τέμνουσας και αξονικής δύναμης.

1.2.4.5 Προσομοίωση στοιχείων αγκύρωσης μέσω του κώδικα PLAXIS

Η χρήση σημαντικού βάθους έμπηξης ενός διαφράγματος δεν είναι ικανοποιητική (παρόλο που μπορεί να εξασφαλίσει την ευστάθεια του διαφράγματος συνολικά) και επειδή συνεπάγεται μεγάλο κόστος, αλλά και επειδή επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων μετατοπίσεων. Επιπλέον η σταθεροποίηση του διαφράγματος μόνο μέσω της σταθεροποιητικής δράσης του βάθους έμπηξης συνιστά ένα ισοστατικό σύστημα, το οποίο είναι πολύ πιο ευαίσθητο όχι μόνο στην ανάπτυξη παραμορφώσεων αλλά και στην ευστάθειά του, σε σχέση με το υπερστατικό σύστημα που σχηματίζεται με τη χρήση των αγκυρίων.

Τα αγκύρια είναι γραμμικά στοιχεία. Σε αντίθεση με το διάφραγμα και κάθε είδους πλακοειδές στοιχείο που έρχεται σε επαφή με το έδαφος σε μεγάλη έκταση, τα αγκύρια έρχονται σε επαφή με άλλα στοιχεία μόνο μέσω των άκρων τους, δηλαδή η συμπεριφορά τους είναι η συμπεριφορά του γνώριμου γραμμικού στοιχείου στο οποίο δε λαμβάνεται υπόψη η επιρροή των διατμητικών παραμορφώσεων (δε χρησιμοποιεί, δηλαδή, τη θεωρία Mindlin). Επιπλέον, οι συνοριακές συνθήκες των αγκυρίων μπορούν προσεγγιστικά να ληφθούν ως συνθήκες ελεύθερης στρέψης. Αυτό συνεπάγεται ότι λειτουργούν ως στοιχεία που παραλαμβάνουν μόνο αξονική δύναμη. Η προσομοίωσή τους αυτή κρίνεται ικανοποιητική.

Τα αγκύρια είναι στοιχεία που εφαρμόζονται σημειακά και επηρεάζουν τον τριδιάστατο χώρο γύρω τους. Η κάθε ορθή προσομοίωση πρέπει να λαμβάνει υπόψη την τριδιάστατη επιρροή τους.

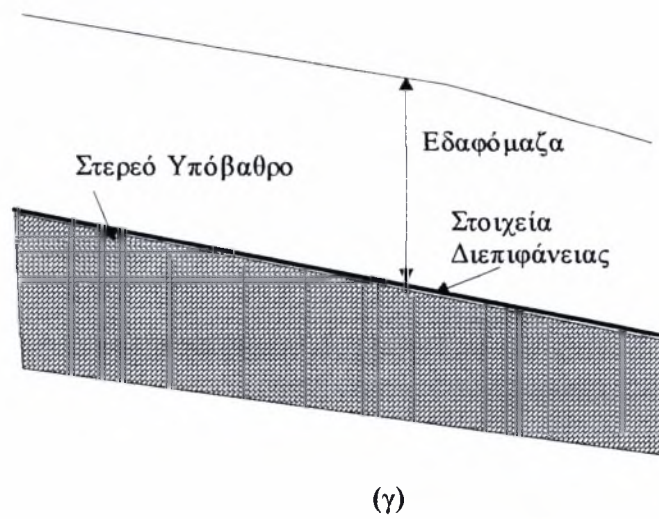
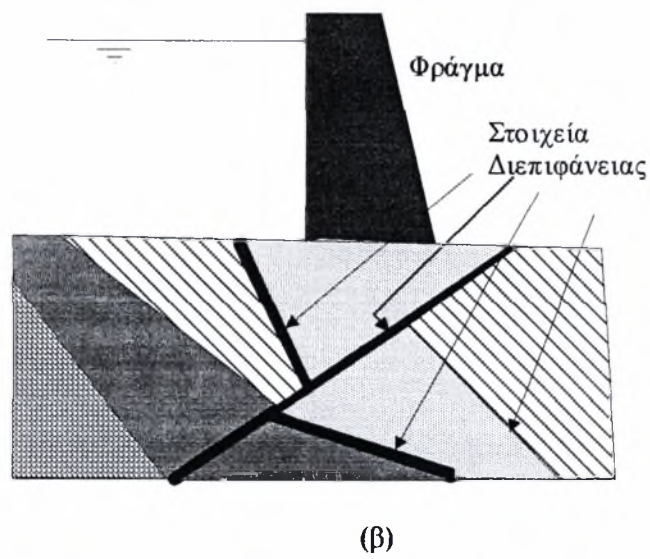
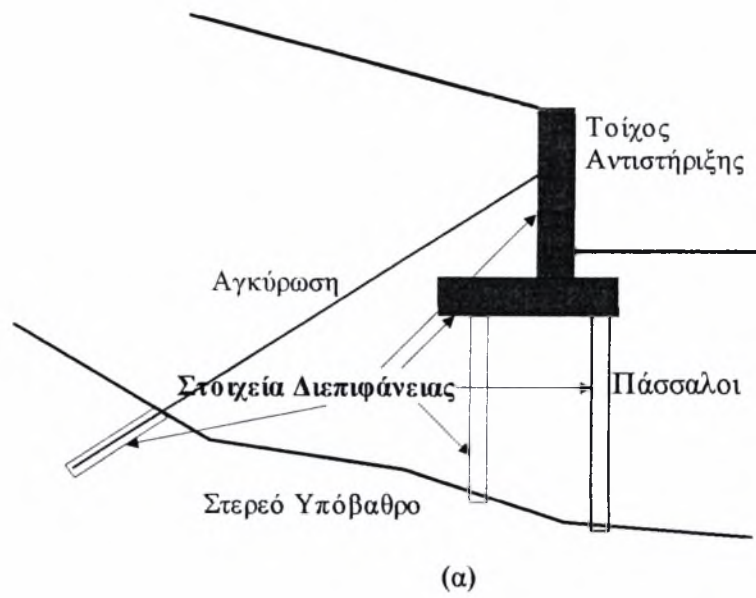
Τα αγκύρια δεν αντιμετωπίζονται ως παρουσίες που καταλαμβάνουν περιορισμένο χώρο ή έστω ως σημειακές παρουσίες (η οποία είναι η συνήθης προσομοίωση για γραμμικά στοιχεία) αλλά ως πλακοειδή στοιχεία. Τα δεδομένα τους εισάγονται σαν να πρόκειται για γραμμικά στοιχεία αλλά ο κώδικας PLAXIS πραγματοποιεί κατανομή της καταχωρημένης δυσκαμψίας σε όλη την περιοχή επιρροής του αγκυρίου.

Αυτός ο τρόπος προσομοίωσης αποκλίνει πολύ από την πραγματικότητα, αφού μετατρέπει την τριδιάστατη επιρροή της σημειακής στήριξης σε ισοκατανεμημένη διδιάστατη επιρροή. Το λάθος είναι σημαντικό στην περίπτωση του αγκυρίου επειδή το αγκύριο είναι τοποθετημένο εντός του εδάφους, που σημαίνει ότι η λανθασμένη προσομοίωση της επιρροής του επηρεάζει πολύ και τη συμπεριφορά του προσομοιώματος του εδάφους.

1.2.4.6 Προσομοίωση στοιχείων διεπιφάνειας μέσω του κώδικα PLAXIS

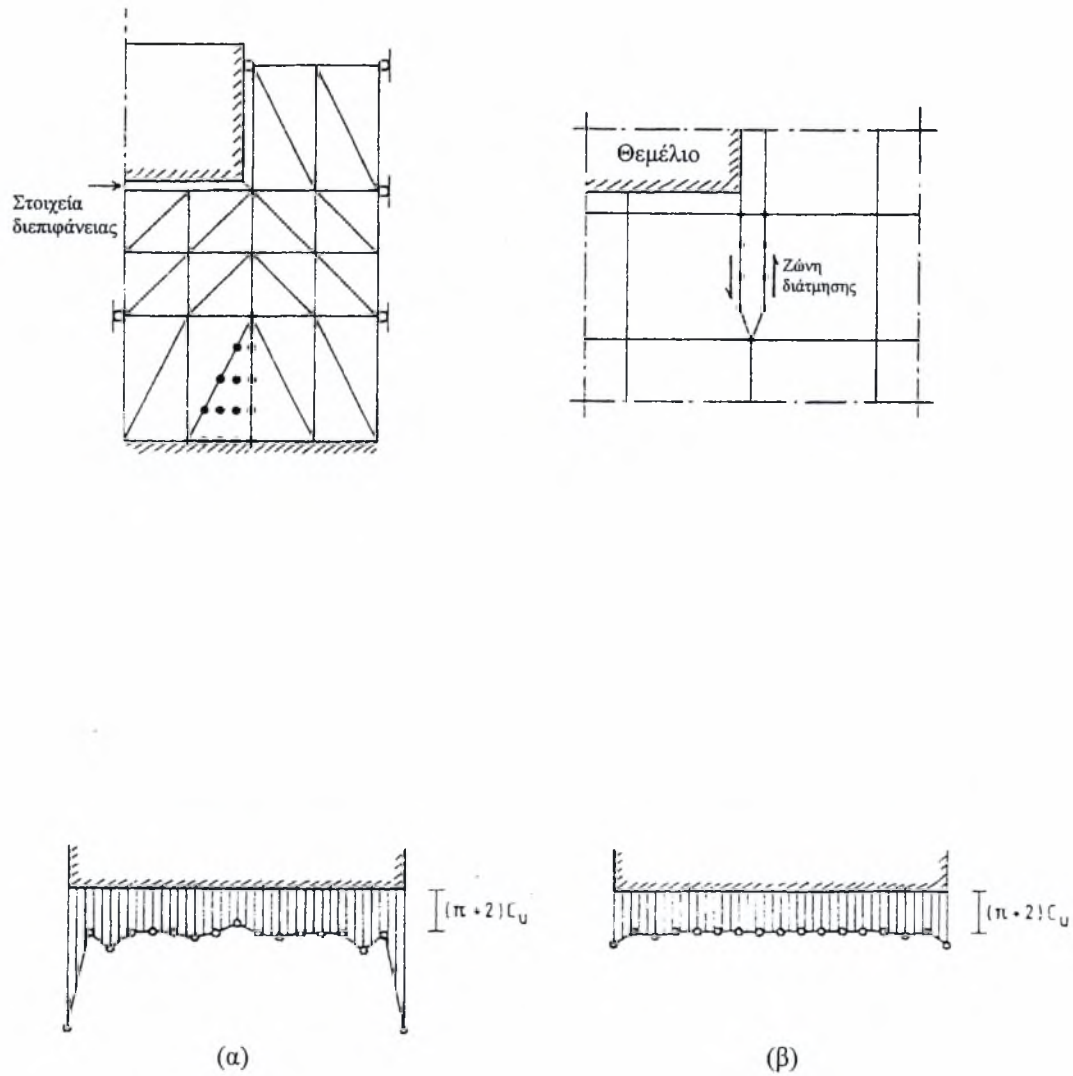
Κατά την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων παρουσιάζονται - συχνά - δυσκολίες στην προσομοίωση των περιοχών επαφής μεταξύ σωμάτων με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η αμοιβαία μεταφορά τάσεων, που παρατηρείται στις συγκεκριμένες θέσεις, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σχετικών μετακινήσεων και έντονων μεταβολών στα διανύσματα των τάσεων-παραμορφώσεων. Η χρήση ομογενών πεπερασμένων στοιχείων (continuum finite elements) οδηγεί σε εσφαλμένη εκτίμηση του εντατικού πεδίου, καθώς τα παραπάνω στοιχεία αδυνατούν να περιγράψουν τόσο τις σχετικές μετακινήσεις όσο και την αλληλοεπίδραση μεταξύ των σωμάτων. Για τη βέλτιστη αντιμετώπιση, λοιπόν, των περιοχών επαφής προτείνεται η εφαρμογή ειδικών πεπερασμένων στοιχείων, τα οποία είναι γνωστά ως στοιχεία διεπιφάνειας (interface elements).

Σύμφωνα με τους Samtani κ.ά. [1996], ως διεπιφάνεια ορίζεται το επίπεδο επαφής που εμφανίζεται ανάμεσα σε δύο γειτονικά σώματα και το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μία ζώνη με μικρό πάχος. Στοιχεία διεπιφάνειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρύτατα στη γεωτεχνική μηχανική, όπως χαρακτηριστικά απεικονίζεται στο Σχήμα 1.11. Η αναγκαιότητα της χρήσεώς τους τονίζεται από τους Van Langen και Vermeer [1991], οι οποίοι χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS μελετούν τη φόρτιση ενός επίπεδου άκαμπτου πεδίου με συνεχές φορτίο (Σχήμα 1.12.α,β.) και την έμπηξη ενός πασσάλου σε συνεκτικό έδαφος (Σχήμα 1.13.α,β). Συγκεκριμένα, στα Σχήματα 1.12.α και 1.13.α., δίνονται τα διαγράμματα των τάσεων επαφής που εμφανίζονται στις παραπάνω περιπτώσεις, χωρίς τη χρήση στοιχείων διεπιφάνειας. Κύρια χαρακτηριστικά τους αποτελούν η διακύμανση των τιμών του τασικού πεδίου και η αδυναμία προσέγγισής του στις θέσεις έντονων γεωμετρικών αλλαγών (π.χ.γωνίες). Αντίθετα, στα Σχήματα 1.12.β και 1.13.β. παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα που προκύπτουν από την προσομοίωση των περιοχών επαφής με στοιχεία διεπιφάνειας. Είναι φανερό πως με τη χρήση των συγκεκριμένων στοιχείων επιτυγχάνεται αισθητή εξομάλυνση των τάσεων και γενικότερα μία πιο ρεαλιστική εκτίμηση του αναπτυσσόμενου εντατικού πεδίου.

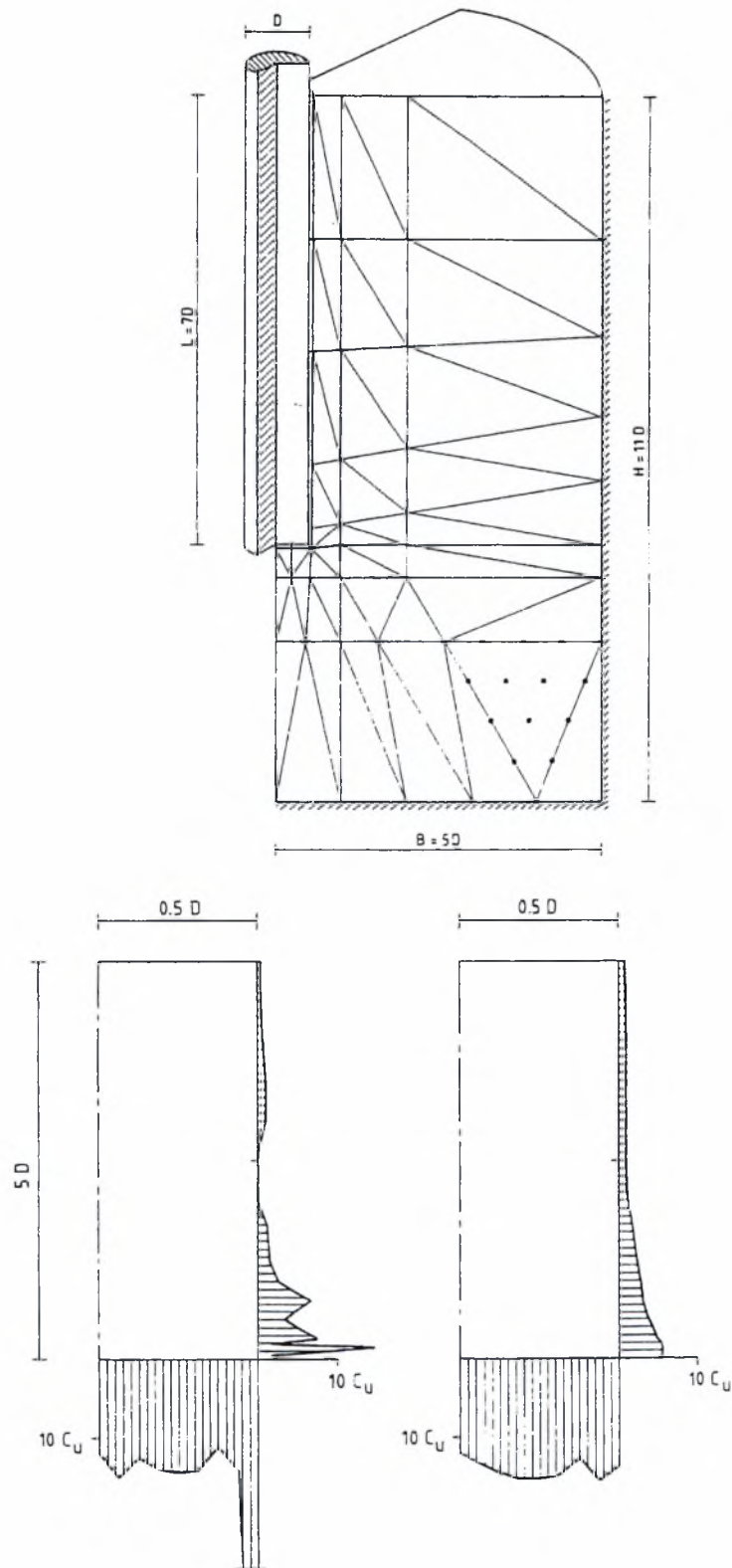


Σχήμα 1.11. Ενδεικτικά Παραδείγματα Εφαρμογής Στοιχείων Διεπιφάνειας

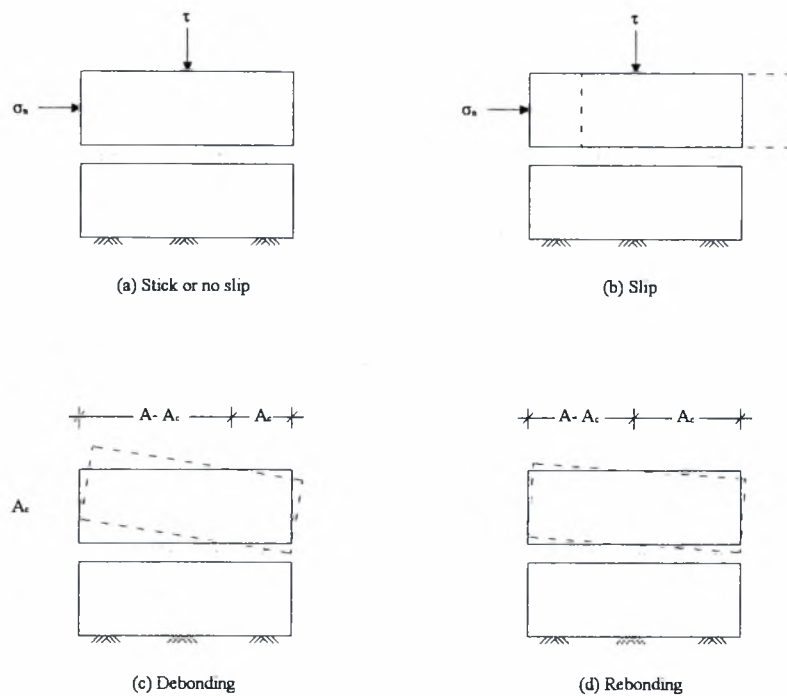
Οι πιθανοί τρόποι παραμόρφωσης ενός στοιχείου διεπιφάνειας, το οποίο φορτίζεται υπό ορθή σ_n και διατμητική τάση τ περιγράφονται αναλυτικά στο Σχήμα 1.14. Η κατάσταση του Σχήματος 1.14.α. κατά την οποία η διατμητική τάση που ασκείται, δεν υπερβαίνει τη διατμητική αντοχή, με συνέπεια να μην εμφανίζονται σχετικές μετακινήσεις μεταξύ της διεπιφάνειας και των γειτονικών στοιχείων, καλείται κατάσταση μη ολίσθησης. Αντίθετα, με την παραβίαση της διατμητικής αντοχής το σύστημα ολισθαίνει όπως ορίζεται στο Σχήμα 1.14.β. Στις δύο προηγούμενες καταστάσεις το στοιχείο διεπιφάνειας θεωρείται πως βρίσκεται σε πλήρη επαφή με τα αντίστοιχα γειτονικά, καθώς η ορθή τάση εξακολουθεί να παραμένει θλιπτική. Στην περίπτωση που το παραγόμενο εντατικό πεδίο οδηγήσει στην ανάπτυξη ορθής εφελκυστικής τάσης, ο μηχανισμός παραμόρφωσης περιγράφεται από το Σχήμα 1.14.γ. Εμφανίζονται τα πρώτα διάκενα μεταξύ των στοιχείων και το εμβαδό της επιφάνειας επαφής μειώνεται αισθητά. Η περαιτέρω επιβολή φόρτισης οδηγεί τα στοιχεία στην απόκριση, η οποία δίνεται στο Σχήμα 1.14.δ. Το πλάτος των προηγούμενων διάκενων περιορίζεται και το σύστημα τείνει προς την αρχική κατάσταση. Πρέπει να τονιστεί πως οι δύο τελευταίοι μηχανισμοί παραμόρφωσης εμφανίζονται κυρίως κατά την επιβολή δυναμικής φόρτισης.



Σχήμα 1.12. Μελέτη Φόρτισης Άκαμπτου Πεδίλου. (α) Διάγραμμα Τάσεων Επαφής χωρίς Στοιχ.Διεπιφάνειας, (β) Διάγραμμα Τάσεων Επαφής με Στοιχ.Διεπιφάνειας [Van Langen & Vermeer, 1991].



Σχήμα 1.13. Μελέτη Έμπηξης Πασσάλου σε Συνεκτικό Έδαφος. (α) Διάγραμμα Τάσεων χωρίς Στοιχ.Διεπιφάνειας, (β) Διάγραμμα Τάσεων Επαφής με Στοιχ.Διεπιφάνειας



Σχήμα 1.14. Μηχανισμοί Παραμόρφωσης Στοιχείων Διεπιφάνειας.

Στο σχέδιο ενός στοιχείου διεπιφάνειας (σχήμα 1.12) του PLAXIS , φαίνεται το στοιχείο να έχει κάποιο πραγματικό πάχος, κάτι που θα το καθιστούσε στοιχείο διεπιφάνειας πραγματικού πάχους. Η πραγματικότητα είναι ότι το στοιχείο διεπιφάνειας του PLAXIS δεν έχει πραγματικό πάχος, επειδή κατά το σχηματισμό του καννάβου, το λογισμικό θεωρεί τους κόμβους του δομικού στοιχείου και του εδάφους να είναι κοινοί. Αυτό δε σημαίνει ότι είναι στοιχείο διεπιφάνειας μηδενικού πάχους.

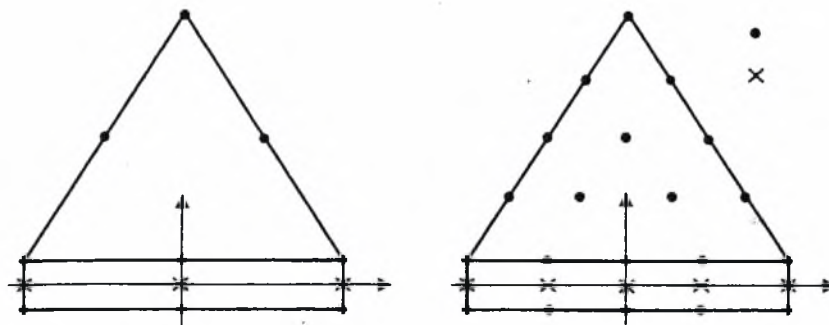
Το στοιχείο διεπιφάνειας που χρησιμοποιεί το PLAXIS είναι στοιχείο διεπιφάνειας με «εικονικό» πάχος στον κάνναβο των πεπερασμένων στοιχείων. Το στοιχείο ονομάζεται "virtual thickness" το οποίο φέρει πάχος που ενεργοποιείται μόνο για τον υπολογισμό της συμπεριφοράς του και με τέτοιο τρόπο ώστε το στοιχείο να έχει πάντοτε επαρκή δυσκαμψία ώστε να μην εμφανίζει είτε μη-ρεαλιστικά μεγάλες ελαστικές παραμορφώσεις (που θα συνέβαινε για μικρή δυσκαμψία) είτε προβληματική αριθμητική διευθέτηση (που θα συνέβαινε για μεγάλη δυσκαμψία) .

Στο στοιχείο μπορεί να αποδοθεί και επιθυμητό πάχος, το οποίο ορίζεται από το χρήστη και ονομάζεται "real interface thickness". Αυτό το πάχος επίσης δεν επηρεάζει τον κάνναβο των πεπερασμένων στοιχείων και τη σύνδεση του δομικού στοιχείου

με το έδαφος και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του σημείου στο οποίο διακόπεται η διαστολή του εδάφους και του στοιχείου διεπιφάνειας (πρόκειται για την επιλογή dilatancy cut-off που ενεργοποιείται όταν χρησιμοποιείται το μοντέλο εδάφους Hardening soil).

Στον κώδικα PLAXIS, τα στοιχεία διεπιφάνειας μπορούν να έχουν ιδιότητες που προκύπτουν από τις ιδιότητες του εδάφους στο οποίο ανήκουν (αυτή είναι η προτεινόμενη επιλογή του λογισμικού) ή να τους αποδοθούν ιδιότητες που προκύπτουν από τις ιδιότητες κάποιου άλλου εδαφικού υλικού που θα οριστεί από τον χρήστη. Ο στόχος είναι πάντοτε η ρεαλιστική προσομοίωση της συμπεριφοράς του στοιχείου διεπιφάνειας.

Ακολουθεί σχήμα που δείχνει τον τρόπο που συνδέεται το στοιχείο διεπιφάνειας με το στοιχείο του εδάφους.



Σχήμα 1.15 : Το στοιχείο διεπιφάνειας που χρησιμοποιεί το PLAXIS

1.2.4.7 Προσομοίωση εδαφικών στοιχείων μέσω του κώδικα PLAXIS

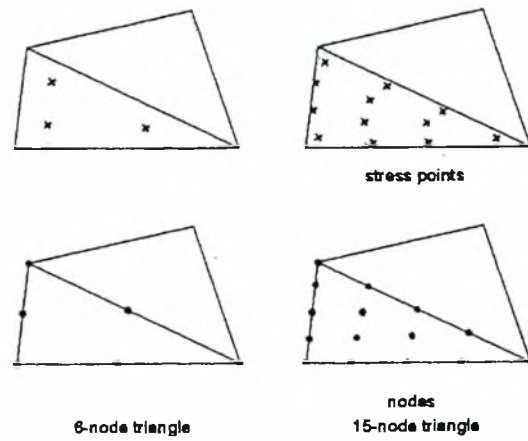
Η προσομοίωση του εδάφους πραγματοποιείται με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων, η συμπεριφορά των οποίων στα σημεία υπολογισμού των τάσεων και των παραμορφώσεων καθορίζεται από τον καταστατικό νόμο που χρησιμοποιεί το μοντέλο εδάφους το οποίο αντιστοιχείται σε κάθε στοιχείο. Για τον υπολογισμό των τάσεων και των παραμορφώσεων στα υπόλοιπα σημεία του στοιχείου χρησιμοποιείται ένας προσεγγιστικός κανόνας.

Εκτός από τον ορισμό κατάλληλου καταστατικού νόμου, σημαντικός είναι και ο ορισμός κατάλληλου καννάβου πεπερασμένων στοιχείων.

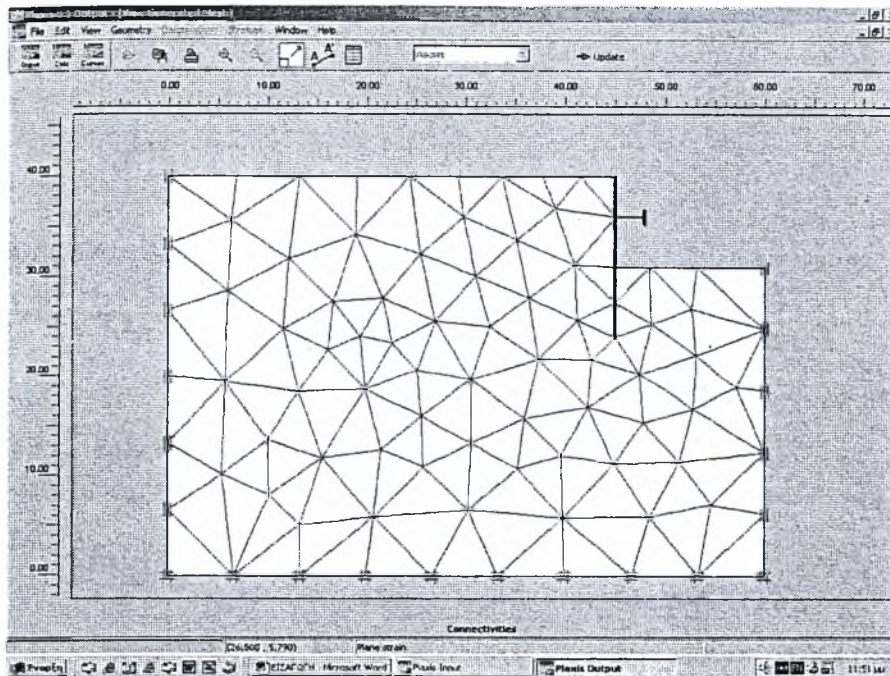
Ο χρησιμοποιούμενος κώδικας προσφέρει ποικιλία καταστατικών νόμων στο χρήστη του προγράμματος, από τους οποίους μπορεί να επιλέξει αυτόν που προσομοιώνει κατάλληλα τη συμπεριφορά του κάθε εδάφους με το οποίο έρχεται σε επαφή το πρόβλημα που μελετά. Το έδαφος προσομοιώνεται με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων, στα οποία αποδίδεται ο καταστατικός νόμος που επιλέγεται.

Είναι διαθέσιμα δύο ειδών στοιχεία: στοιχεία με έξι κόμβους στους οποίους υπολογίζονται παραμορφώσεις και στοιχεία με δεκαπέντε κόμβους στους οποίους υπολογίζονται παραμορφώσεις. Για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων στα υπόλοιπα σημεία του στοιχείου χρησιμοποιείται ένας προσεγγιστικός κανόνας. Τα στοιχεία με δεκαπέντε κόμβους δίνουν ακριβέστερα αποτελέσματα από τα στοιχεία με έξι κόμβους, αλλά η ανάλυση διαρκεί περισσότερο χρόνο.

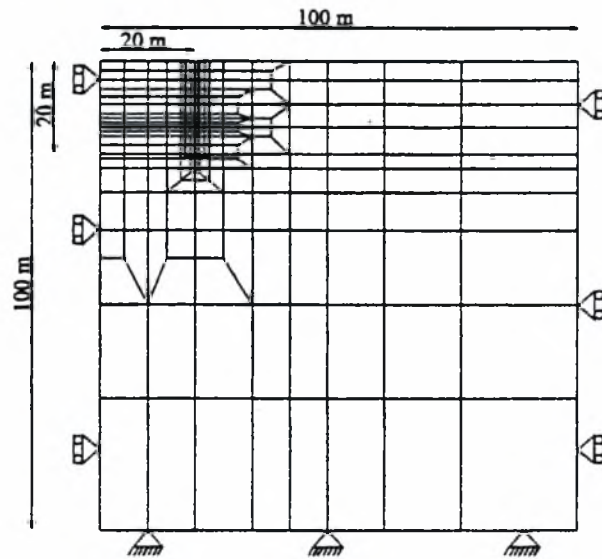
Ο κώδικας PLAXIS εφαρμόζει ειδική μέθοδο χωρισμού της γεωμετρίας του προβλήματος σε πεπερασμένα στοιχεία, η οποία δίνει συνήθως καλύτερα αποτελέσματα από τις άλλες μεθόδους χωρισμού, όπως υποστηρίζεται από τους συγγραφείς του εγχειριδίου του προγράμματος.



Σχήμα 1.16 : Τα στοιχεία εδάφους που χρησιμοποιεί το PLAXIS



Σχήμα 1.17 : Ο κάναβος των πεπερασμένων στοιχείων, όπως σχηματίζεται από το PLAXIS



Σχήμα 1.18 : Άλλος τρόπος σχηματισμού του καννάβου των πεπερασμένων στοιχείων

Ο τύπος των πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιεί το PLAXIS κρίνεται ικανοποιητικός, και ιδιαίτερα το στοιχείο με δεκαπέντε κόμβους. Η μέθοδος χωρισμού της γεωμετρίας σε πεπερασμένα στοιχεία κρίνεται επίσης ικανοποιητική. Υπάρχει προβληματισμός ως προς τη χρήση των μοντέλων που χρησιμοποιεί το λογισμικό, για να περιγράψει τη συμπεριφορά του εδάφους, ο οποίος έχει πρακτική και θεωρητική αφετηρία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

**Η προσομοίωση του εδάφους :
Το μοντέλο Mohr – Coulomb και το μοντέλο
Hardening**

2.1 Προσομοίωση του εδάφους με το μοντέλο Mohr - Coulomb

Τα ζητούμενα του προβλήματος αφορούν στις κρίσιμες πτυχές της συμπεριφοράς του κάθε στοιχείου που συμβάλλει στο πρόβλημα, όπως το διάφραγμα, τα μέσα υποστήριξης, το έδαφος κ.λ.π.

Τα ζητούμενα στοιχεία για το έδαφος είναι:

1. Η εντατική κατάσταση στην περιοχή πριν τη διαρροή.
2. Οι παραμορφώσεις στην περιοχή πριν τη διαρροή.
3. Αν συμβαίνει διαρροή ή όχι.
4. Η εντατική κατάσταση μετά τη διαρροή.
5. Οι παραμορφώσεις μετά τη διαρροή.
6. Η εντατική κατάσταση στην αποφόρτιση.
7. Οι παραμορφώσεις στην αποφόρτιση.

Αναφερόμαστε σε διαρροή και όχι σε αστοχία, επειδή η διαρροή ενός σημείου δεν είναι αρκετή για να συμβεί αστοχία, η οποία χαρακτηρίζεται από κίνηση στερεού σώματος. Η διαρροή ενός σημείου δεν προκαλεί κίνηση στερεού σώματος, επειδή δε δημιουργεί επιφάνεια ολίσθησης. Πρέπει να διαρρεύσουν πολλά γειτονικά σημεία, ώστε να δημιουργηθεί μία επιφάνεια ολίσθησης, πάνω στην οποία θα συμβεί η κινηματική αστοχία.

Το λογισμικό PLAXIS δεν υπολογίζει την αστοχία ως κινηματική αστοχία πάνω σε μία επιφάνεια ολίσθησης αλλά ως αστοχία λόγω της εξαιρετικής αποδυνάμωσης της αντοχής κάποιας ζώνης η οποία είναι κρίσιμη για την ευστάθεια. Η διαδικασία υπολογισμού διακόπτεται και εμφανίζεται ένδειξη αστοχίας, όταν παρουσιάζεται αριθμητική αστάθεια στο σχηματισμό του μητρώου δυσκαμψίας, οφειλόμενη στις μεγάλες παραμορφώσεις που εμφανίζονται εξ' αιτίας της ανάπτυξης της επιφάνειας κίνησης. Εκτιμάται ότι η θεώρηση αυτή είναι ικανοποιητική.

Το λογισμικό PLAXIS είναι από τα ευρύτερα διαδομένα λογισμικά, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει στη διαδικασία της εισαγωγής των δεδομένων και της θέασης των αποτελεσμάτων. Είναι το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί στις αναλύσεις που θα πραγματοποιηθούν.

Εύρεση των εντατικών καταστάσεων και των παραμορφώσεων

Σε κάθε σύστημα, η εύρεση της εντατικής κατάστασης και των παραμορφώσεων πραγματοποιείται από την επίλυση του συστήματος εξισώσεων που συνθέτουν οι παρακάτω εξισώσεις :

1. Οι εξισώσεις ισορροπίας του συστήματος. Για τη στατική ανάλυση εφαρμόζονται συνθήκες ισορροπίας, ενώ για τη δυναμική ανάλυση εφαρμόζονται εξισώσεις κίνησης.
2. Οι συνθήκες συμβιβαστού των παραμορφώσεων.
3. Η συνθήκη τάσεων – παραμορφώσεων (γνωστή και ως νόμος του υλικού).

Η επίλυση του συστήματος των εξισώσεων που συγκροτούν οι παραπάνω διαφορικές εξισώσεις, ώστε να υπάρξει κλειστή λύση, είναι δυσχερέστατη και είναι εφικτή μόνο σε συγκεκριμένους τύπους προβλημάτων. Αυτή η δυσχέρεια καθιστά απαραίτητη την χρήση του υπολογιστή για την επίλυση του συστήματος.

Για τις εξισώσεις των στερεών σωμάτων

Ο νόμος του υλικού βρίσκεται πειραματικά. Επηρεάζουν πολλοί παράγοντες όπως η ομοιογένεια, η συνέχεια του σώματος, η ισοτροπία ή ανισοτροπία, η θερμοκρασία και άλλα. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, τα υλικά μπορούν να περιγραφούν με τα γνωστά μοντέλα υλικών.

1. Οι εξισώσεις ισορροπίας συσχετίζουν τις εξωτερικές δυνάμεις με τις τάσεις.
2. Οι εξισώσεις συμβιβαστού συσχετίζουν τις μετατοπίσεις με τις ανηγμένες παραμορφώσεις.
3. Οι καταστατικοί νόμοι του υλικού συσχετίζουν τις τάσεις με τις ανηγμένες παραμορφώσεις.

Για το κριτήριο διαρροής

Το κριτήριο διαρροής Mohr – Coulomb είναι η επέκταση του νόμου του Coulomb σε οποιαδήποτε εντατική κατάσταση. Η γραφική παράσταση των συναρτήσεων που ορίζουν το κριτήριο διαρροής Mohr – Coulomb σε σύστημα συντεταγμένων $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ είναι μία επιφάνεια σε σχήμα εξαγωνικού πρίσματος.

Οι εξισώσεις που ορίζουν την επιφάνεια διαρροής σε τριδιάστατο σύστημα συντεταγμένων με $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ στους άξονές του, είναι οι εξής:

$$F_{1a} = \frac{1}{2} (\sigma_2' - \sigma_3') + \frac{1}{2} (\sigma_2' + \sigma_3') \cdot \sin\phi - c \cdot \cos\phi \leq 0$$

$$F_{1b} = \frac{1}{2} (\sigma_3' - \sigma_2') + \frac{1}{2} (\sigma_3' + \sigma_2') \cdot \sin\phi - c \cdot \cos\phi \leq 0$$

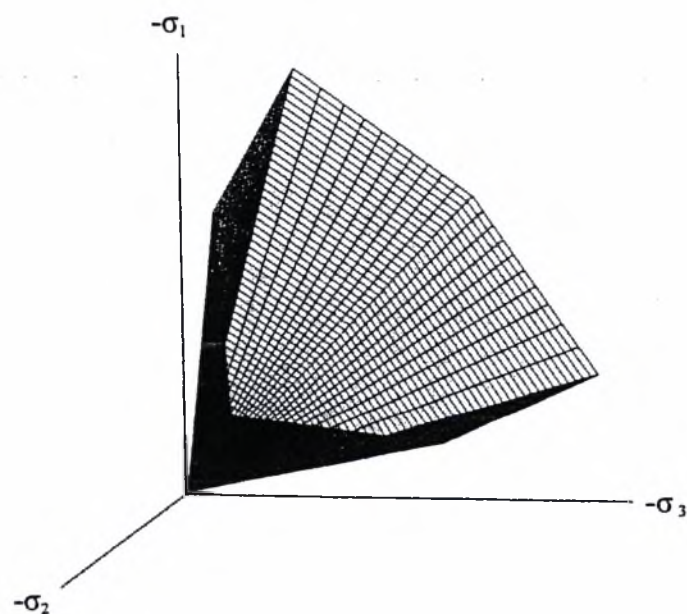
$$F_{2a} = \frac{1}{2} (\sigma_3' - \sigma_1') + \frac{1}{2} (\sigma_3' + \sigma_1') \cdot \sin\phi - c \cdot \cos\phi \leq 0$$

$$F_{1b} = \frac{1}{2} (\sigma_1' - \sigma_3') + \frac{1}{2} (\sigma_1' + \sigma_3') \cdot \sin\phi - c \cdot \cos\phi \leq 0$$

$$F_{3a} = \frac{1}{2} (\sigma_1' - \sigma_2') + \frac{1}{2} (\sigma_1' + \sigma_2') \cdot \sin\phi - c \cdot \cos\phi \leq 0$$

$$F_{3b} = \frac{1}{2} (\sigma_2' - \sigma_1') + \frac{1}{2} (\sigma_2' + \sigma_1') \cdot \sin\phi - c \cdot \cos\phi \leq 0$$

Το εξαγωνικό πρίσμα του κριτηρίου διαρροής εκτείνεται στο άπειρο προς τη διεύθυνση των θλιπτικών κύριων τάσεων.



Σχήμα 2.1 : Η επιφάνεια διαρροής Mohr – Coulomb, σε χώρο κύριων τάσεων

Τα μειονεκτήματα του κριτηρίου διαρροής Mohr – Coulomb είναι τα παρακάτω :

1. Υπερεκτιμά το φαινόμενο της διαστολής. Αυτός ήταν και ο λόγος που αναπτύχθηκαν ειδικές εξισώσεις πλαστικού δυναμικού για τον υπολογισμό των πλαστικών παραμορφώσεων μετά τη διαρροή, με τις οποίες δεν υπερεκτιμάται πλέον η διαστολή.
2. Δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός της πλαστικής παραμόρφωσης λόγω διαρροής, όταν σημειωθεί διαρροή στις «γωνίες» του κριτηρίου διαρροής, δηλαδή όταν η διαδρομή των τάσεων τμήσει το εξαγωνικό πρίσμα σε μία από τις ακμές του (δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός της διεύθυνσης και της φοράς της. Το μέτρο της πλαστικής παραμόρφωσης είναι γνωστό και είναι κοινό για όλα τα σημεία της περιφέρειας μίας κάθετης τομής της εξαγωνικής πυραμίδας). Οι ειδικές εξισώσεις πλαστικού δυναμικού που έχουν αναπτυχθεί συνδυάζονται για να υπολογιστεί η πλαστική παραμόρφωση στις «γωνίες» του κριτηρίου διαρροής.
3. Θεωρείται ότι $\sigma_2 = \sigma_3$, ενώ στην πραγματικότητα μπορεί να συναντηθούν πολύ διαφορετικές καταστάσεις. Βέβαια, δεν αποκλείεται να ισχύει και $\sigma_2 = \sigma_3$.
4. Για διαδρομές τάσεων που παραμένουν εντός της επιφάνειας διαρροής (π.χ. για $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$) δεν προβλέπεται καμία αστοχία. Θα μπορούσε να προταθεί η ιδέα να υπάρχει «υλικό cut-off», για να περιγραφεί η οριακή αντοχή του εδάφους, που είναι η αντοχή των κόκκων του. Κάτι τέτοιο δε χρειάζεται, επειδή το έδαφος δε φτάνει σε κατάσταση να αστοχήσουν οι κόκκοι του. Η αντοχή των κόκκων του εδάφους είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντοχή του εδάφους και το μέγεθος της φόρτισης δε γίνεται ποτέ τόσο μεγάλο.

2.2 Προσομοίωση του εδάφους μέσω ελαστικών – τέλεια πλαστικών μοντέλων εδάφους

Η πρώτη προσέγγιση προσομοίωσης της συμπεριφοράς του εδάφους πραγματοποιήθηκε με απλές σχετικά μεθόδους. Αρχικά, το ενιαίο πρόβλημα του υπολογισμού των τάσεων και των παραμορφώσεων του εδάφους χωρίστηκε σε δύο σκέλη :

1. Στο πρώτο σκέλος γίνεται υπολογισμός της αντοχής του εδάφους θεωρώντας ως ένα μέσο στερεό (δηλαδή χωρίς παραμορφώσεις) – τέλεια πλαστικό.
2. Στο δεύτερο σκέλος γίνεται υπολογισμός των παραμορφώσεων του εδάφους θεωρώντας το ως ένα μέσο τελείως ελαστικό.

Για μεγάλη χρονική περίοδο γινόταν χρήση του νόμου του Hook δηλ. της γραμμικής ελαστικότητας για τις καταστάσεις που δεν υπήρχε αστοχία (αφού είχε ήδη υπολογιστεί ότι δεν θα συμβεί αστοχία με τη θεώρηση της τέλει πλαστικότητας), για να βρεθούν οι παραμορφώσεις. Τα προβλήματα ευστάθειας αντιμετωπίζονταν με τη θεωρία της τέλει πλαστικότητας.

Τα προβλήματα προοδευτικής αστοχίας, όπως η προοδευτική μείωση της αντοχής ενός πρανούς που ολισθαίνει, είναι αυτά που απαιτήσαν τη γεφύρωση των προβλημάτων παραμορφώσεων με τα προβλήματα ευστάθειας. Οι ουσιαστικές εξισώσεις των προβλημάτων προοδευτικής αστοχίας είναι οι καταστατικές εξισώσεις.

Στα προβλήματα εκσκαφών με έργα αντιστήριξης, το πρόβλημα δεν αφορά στην προοδευτική αστοχία, αλλά στο γεγονός ότι δεν μπορούν να εκτιμηθούν αξιόπιστα οι μετακινήσεις του εδάφους, οι οποίες καθορίζουν το πρόβλημα. Η εφαρμογή των ελατηριακών μεθόδων δεν γεφύρωσε το χάσμα, για τον προφανή λόγο ότι είναι αδύνατον να παραμορφωθεί η εδαφική μάζα από ελατήρια. Επιπλέον είναι δύσκολος ο καθορισμός της κατάλληλης ελατηριακής σταθεράς των ελατηρίων αυτών, ώστε να προσομοιώσουν σχετικά ικανοποιητικά το πρόβλημα.

Το χάσμα γεφυρώθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε πλήρης αριθμητική ανάλυση, κατά την οποία προσομοιώνεται το κάθε στοιχείο που συμμετέχει στο πρόβλημα και υπάρχει πλήρης αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων καθώς το σύστημα αφήνεται να ισορροπήσει μόνο του.

Κάθε μοντέλο εδάφους (αλλά και οποιοδήποτε μοντέλο υλικού) είναι μία σειρά μαθηματικών εξισώσεων που περιγράφουν τη σχέση των τάσεων με τις παραμορφώσεις.

Όλα τα μοντέλα του λογισμικού PLAXIS υπολογίζουν τη συμπεριφορά του εδαφικού υλικού σύμφωνα με τις ενεργές τάσεις. Όλες οι παραμορφώσεις, οποιουδήποτε τύπου, ασχέτως αν είναι γνωστό ότι δεν πραγματοποιούνται αμέσως, αλλά μεσολαβεί χρονικό διάστημα ώσπου να πραγματοποιηθούν, το λογισμικό θεωρεί ότι συμβαίνουν αμέσως, εκτός και αν γίνεται ανάλυση στερεοποίησης, οπότε οι παραμορφώσεις συμβαίνουν στο χρονικό διάστημα που προβλέπει το μοντέλο να συμβούν.

Εύρεση της εντατικής κατάστασης στην περιοχή πριν τη διαρροή

Η εύρεση της εντατικής κατάστασης στην περιοχή πριν τη διαρροή πραγματοποιείται με την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων που αναφέρθηκε παραπάνω. Αφού καθοριστούν όλα τα στοιχεία που εισάγονται στις εξισώσεις, όπως τα φορτία που επιβάλλονται στο σύστημα, οι συνθήκες στήριξης του συστήματος, ο νόμος του υλικού κ.λπ, επιλύεται το σύστημα και δίνονται τα άγνωστα στοιχεία, όπως οι αντιδράσεις των στηρίξεων, οι τάσεις του συστήματος, οι ανηγμένες παραμορφώσεις του κ.ά.

Το ελαστικό – τελείως πλαστικό μοντέλο δέχεται γραμμική σχέση μεταξύ των τάσεων και των ανηγμένων παραμορφώσεων, τα οποία σχετίζονται μεταξύ τους μέσω ενός μέτρου D ($\sigma = D \cdot \epsilon$).

Εύρεση των παραμορφώσεων στην περιοχή πριν τη διαρροή

Οι παραμορφώσεις υπολογίζονται από την επίλυση του ίδιου συστήματος.

Η επίλυση του συστήματος έχει μία λύση για δεδομένες συνθήκες. Στην ιδανική περίπτωση της «κλειστής» λύσης, για τις δεδομένες αυτές συνθήκες, το σύστημα θα αντιδράσει με συγκεκριμένο τρόπο και θα δώσει συγκεκριμένες τιμές και για τις παραμορφώσεις και για τις τάσεις. Για τα προβλήματα αντιστήριξης που θα μας απασχολήσουν οι «κλειστές» λύσεις χρησιμοποιούνται μόνο για να γίνει μία αρχική εκτίμηση της κατάστασης, αλλά η επίλυση γίνεται με αριθμητικές μεθόδους.

Απαιτούμενες παράμετροι για την εύρεση της εντατικής κατάστασης και των παραμορφώσεων στην περιοχή πριν τη διαρροή

Οι ελαστικές παράμετροι του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου είναι το μέτρο ελαστικότητας E και ο λόγος του Poisson ν .

Το μέτρο ελαστικότητας E είναι η βασική παράμετρος της ελαστικής συμπεριφοράς ενός υλικού. Από αυτό προκύπτουν, μέσω τύπων, οι άλλες δύο ελαστικές σταθερές οι οποίες είναι το μέτρο διάτμησης G και το μέτρο διόγκωσης K . Με αυτές τις σταθερές πραγματοποιείται η σύνδεση μεταξύ των τάσεων και των τροπών, δηλαδή οι ως άνω τρεις παράμετροι (μέτρο ελαστικότητας, μέτρο διάτμησης και μέτρο διόγκωσης), συνοδευόμενες από το λόγο του Poisson, είναι ο «πυρήνας» του ελαστικού νόμου των υλικών.

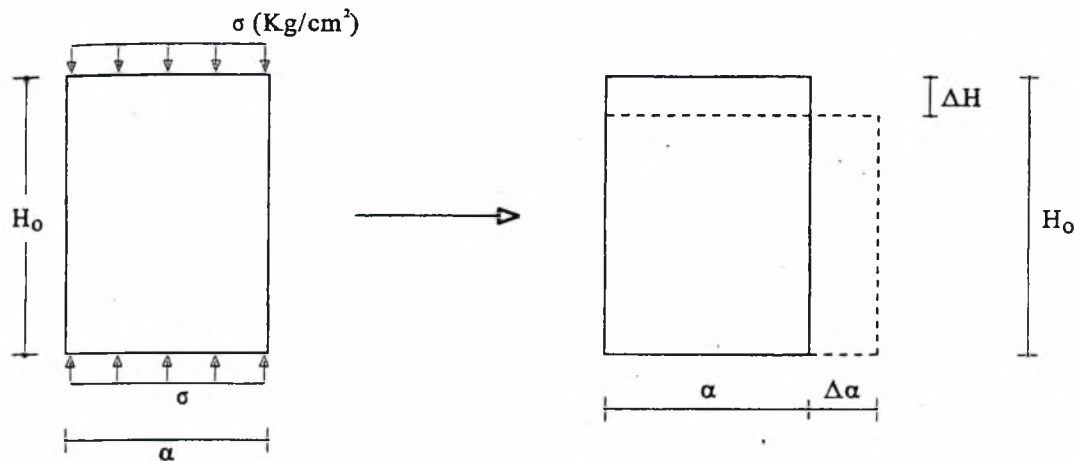
$$\begin{bmatrix} \sigma'_{xx} \\ \sigma'_{yy} \\ \sigma'_{zz} \\ \sigma'_{xy} \\ \sigma'_{yz} \\ \sigma'_{zx} \end{bmatrix} = \frac{E}{(1-2\nu')(1+\nu')} \begin{bmatrix} 1-\nu' & \nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & 1-\nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & \nu' & 1-\nu' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\epsilon}_{xx} \\ \dot{\epsilon}_{yy} \\ \dot{\epsilon}_{zz} \\ \dot{\gamma}_{xy} \\ \dot{\gamma}_{yz} \\ \dot{\gamma}_{zx} \end{bmatrix}$$

Σχήμα 2.2 : Ο καταστατικός νόμος της γραμμικής ελαστικότητας

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad E_{oed} = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)}$$

Σχήμα 2.3 : Οι τύποι που εκφράζουν το διατμητικό μέτρο G , το μέτρο διόγκωσης K και το οιδημετρικό μέτρο E_{oed}

Ο λόγος του Poisson χρησιμοποιείται για να εκφράσει την επιρροή του μονοαξονικού εφελκυσμού στην εμφάνιση ανηγμένων παραμορφώσεων (τροπών) στις άλλες δύο διευθύνσεις ενός δοκιμίου που υποβάλλεται σε μονοαξονική θλίψη. Η συμβολή του είναι τόσο σημαντική όσο και του μέτρου ελαστικότητας. Εμφανίζεται και αυτό στους τύπους από τους οποίους προκύπτουν οι άλλες δύο ελαστικές σταθερές οι οποίες είναι το μέτρο διάτμησης G και το μέτρο διόγκωσης K . Δίνεται από τις σχέσεις : $\nu = \varepsilon_{yy} / \varepsilon_{xx}$ και $\nu = \varepsilon_{zz} / \varepsilon_{xx}$.



Σχήμα 2.4 : Πείραμα μονοαξονικού εφελκυσμού . Εμφανίζονται ανηγμένες παραμορφώσεις κάθετα στη διεύθυνση φόρτισης. Ο λόγος του Poisson δίνεται από τη σχέση : $\nu = (\Delta a/a) / (\Delta H/H_0)$

Πώς το PLAXIS υιοθετεί τη θεωρία του ελαστικού – απολύτως πλαστικού μοντέλου για την περιοχή πριν τη διαρροή

Το PLAXIS χρησιμοποιεί το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο, το οποίο υιοθετεί τη γραμμική ελαστικότητα (υπάρχουν και μοντέλα μη γραμμικά ελαστικά – τέλεια πλαστικά) και συνδέει τις τάσεις με τις ανηγμένες παραμορφώσεις με τον απλούστερο τρόπο, ο οποίος είναι η σύνδεση μέσω διαφόρων ελαστικών μέτρων, ανάλογα με το είδος της ανηγμένης παραμόρφωσης με το οποίο συνδέεται το κάθε μέτρο (το μέτρο διάτμησης αφορά στις διατμητικές παραμορφώσεις και το μέτρο διόγκωσης αφορά στις αξονικές παραμορφώσεις. Το μέτρο ελαστικότητας χρησιμοποιείται για να βρεθούν οι τιμές των δύο αυτών μέτρων, καθώς και τα δύο δίνονται από τύπους που περιέχουν το μέτρο ελαστικότητας).

Στο ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο του λογισμικού, ο χρήστης εισάγει τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας E και του λόγου του Poisson ν . Το λογισμικό υπολογίζει αυτόματα τις τιμές του μέτρου διάτμησης και του μέτρου διόγκωσης. Οι ως άνω παράμετροι είναι το σύνολο των παραμέτρων που περιγράφουν την ελαστική συμπεριφορά του μοντέλου.

Η δυσκαμψία του εδάφους αυξάνεται με την αύξηση του βάθους του εδάφους. Το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται και αυτό. Το μοντέλο Mohr – Coulomb δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει μία ποσότητα (πρόκειται για ποσότητα μέτρου ελαστικότητας, δηλαδή έχει μονάδες $\text{kN/m}^2/\text{μέτρο βάθους}$), κατά την οποία θα αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας με συναρτήσει του βάθους

Από ποιες δοκιμές λαμβάνονται οι τιμές των παραμέτρων για το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο του λογισμικού PLAXIS

Η τιμή του μέτρου ελαστικότητας E ενδείκνυται να ληφθεί από την εκτέλεση τριαξονικής δοκιμής. Η τιμή του λόγου Poisson μπορεί να βρεθεί από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της τριαξονικής δοκιμής αλλά μπορεί και να ληφθεί από πίνακες, οι οποίοι δίνουν το λόγο του Poisson σε σχέση με την κατηγορία του εδάφους.

Κριτήρια διαρροής

Ένα ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιεί οποιοδήποτε κριτήριο αστοχίας. Υπάρχει πλήθος κριτηρίων αστοχίας. Το κριτήριο Mohr – Coulomb προτιμάται επειδή είναι το ρεαλιστικότερο κριτήριο διαρροής για τα ισότροπα εδάφη.

Για λόγους εποπτικών, το κριτήριο διαρροής Mohr – Coulomb διατυπώνεται με τη χρήση αναλλοίωτων και έτσι δίνεται η δυνατότητα να διαπιστώνεται αν το έδαφος διαρρέει ή όχι γνωρίζοντας μόνο τις κύριες τάσεις σ_1 , σ_2 και σ_3 .

Για τα συνεκτικά εδάφη η εύρεση των βασικών παραμέτρων του κριτηρίου διαρροής Mohr – Coulomb – η γωνία διατμητικής τριβής ϕ και η συνοχή c –πραγματοποιείται κατά τον βέλτιστο τρόπο με την εκτέλεση τριών τριαξονικών δοκιμών. Σε

περίπτωση που δεν υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης τριαξονικής δοκιμής μπορούν να εκτελεστούν δοκιμές απ' ευθείας διάτμησης.

Για τα αμμώδη εδάφη δεν είναι δυνατή η δόμηση δοκιμών που θα τοποθετηθούν στην τριαξονική συσκευή γι' αυτό και χρησιμοποιείται η δοκιμή απ' ευθείας διάτμησης.

Ο χρησιμοποιούμενος κώδικας μπορεί να λάβει υπόψη του το φαινόμενο της αύξησης της τιμής της συνοχής c με την αύξηση του βάθους του εδάφους (δεν είναι βέβαιο ποιοι παράγοντες επιδρούν στην αύξηση της τιμής της συνοχής c με την αύξηση του βάθους του εδάφους, γι αυτό και δε γίνεται συσχέτιση της τιμής της συνοχής με την πλευρική τάση σ_3).

Η εύρεση της τιμής της γωνίας διαστολής ψ είναι δυνατή μόνο με την εκτέλεση ειδικών δοκιμών και δεν πραγματοποιούνται σε περιπτώσεις κοινών έργων.

Η εκτίμηση της τιμής της γωνίας ψ δύναται να γίνει από τους τύπους:

$$\psi = \phi - 30^\circ, \text{ για τιμές του } \phi \text{ μεγαλύτερες των } 30 \text{ μοιρών}$$

$$\psi = 0, \text{ για τιμές του } \phi \text{ μικρότερες των } 30 \text{ μοιρών.}$$

Η εντατική κατάσταση μετά τη διαρροή

Η εύρεση της εντατικής κατάστασης στην περιοχή πριν τη διαρροή πραγματοποιείται με την επίλυση του συστήματος των γνωστών εξισώσεων. Βασικό στοιχείο της εντατικής κατάστασης μετά τη διαρροή είναι ότι στη διεύθυνση που εμφανίστηκε διαρροή δεν παραλαμβάνεται επιπρόσθετη τάση. Μετά τη διαρροή ο όρος της συνοχής εξακολουθεί να συμβάλει στην διατμητική αντοχή.

Οι παραμορφώσεις μετά τη διαρροή

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η εμφάνιση διαρροής σε κάποιο σημείο δεν συνεπάγεται και αστοχία του εδάφους αφού για να συμβεί αστοχία πρέπει να σχηματιστεί επιφάνεια ολίσθησης. Κατά συνέπεια οι πλαστικές παραμορφώσεις του σημείου που διέρρευσε δεν αυξάνονται επ' αόριστον, όπως θα συνέβαινε αν σχηματιζόταν επιφάνεια ολίσθησης αλλά εμφανίζουν σταθερή τιμή.

Για την εύρεση της πλαστικής παραμόρφωσης δεν χρησιμοποιείται ο καταστατικός νόμος του ελαστικού υλικού, αλλά ειδικές εξισώσεις. Η πλαστική παραμόρφωση είναι ένα διάνυσμα κάθετο στην επιφάνεια πλαστικού δυναμικού και το μέτρο της προσδιορίζεται από την επιφάνεια πλαστικού δυναμικού. Ο ρόλος της επιφάνειας



πλαστικού δυναμικού είναι να προσδιορίζει το μέτρο, τη διεύθυνση και τη φορά της πλαστικής παραμόρφωσης.

Στους λεγόμενους συζευγμένους καταστατικούς νόμους, η επιφάνεια πλαστικού δυναμικού ταυτίζεται με την επιφάνεια διαρροής. Στο ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο που χρησιμοποιεί την επιφάνεια διαρροής Mohr – Coulomb, η χρήση της επιφάνειας διαρροής ως επιφάνειας πλαστικού δυναμικού δίνει μη ρεαλιστικά αποτελέσματα για τις πλαστικές παραμορφώσεις και για τη διεύθυνση και για το μέτρο τους, παρά το ότι το κριτήριο διαρροής Mohr – Coulomb είναι το ρεαλιστικότερο κριτήριο διαρροής. Συνεπώς, για την εύρεση των πλαστικών παραμορφώσεων στο μοντέλο αυτό έχουν συνταχθεί ειδικές εξισώσεις πλαστικού δυναμικού, η χρήση των οποίων δεν παρουσιάζει τις ανακρίβειες που παρουσιάζει η χρήση της επιφάνειας διαρροής ως επιφάνειας πλαστικού δυναμικού.

Οι εξισώσεις που ορίζουν την επιφάνεια πλαστικού δυναμικού σε τριδιάστατο σύστημα συντεταγμένων με $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ στους άξονές του, είναι οι εξής:

$$g_{1a} = \frac{1}{2}(\sigma_2 - \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3) \cdot \sin\psi$$

$$g_{1b} = \frac{1}{2}(\sigma_3 - \sigma_2) + \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_2) \cdot \sin\psi$$

$$g_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma_3 - \sigma_1) + \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) \cdot \sin\psi$$

$$g_{2b} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \cdot \sin\psi$$

$$g_{3a} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) + \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \cdot \sin\psi$$

$$g_{3b} = \frac{1}{2}(\sigma_2 - \sigma_1) + \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_1) \cdot \sin\psi$$

Μετά τη διαρροή, το έδαφος μπορεί να αποφορτιστεί ή να συνεχίσει να διαρρέει υπό σταθερή τάση, που είναι η τάση διαρροής του. Οι παραμορφώσεις λόγω αποφόρτισης και επαναφόρτισης θα σχολιαστούν παρακάτω.

Η εντατική κατάσταση στην αποφόρτιση

Η εύρεση της εντατικής κατάστασης στην περιοχή πριν τη διαρροή πραγματοποιείται με την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων ισορροπίας, των εξισώσεων συμβιβαστού των παραμορφώσεων και των εξισώσεων του νόμου του υλικού.

Το υλικό δεν έχει διαρρεύσει

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο μέτρο ελαστικότητας που χρησιμοποιείται και για την αρχική φόρτιση ή να επιλεγεί ένα διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας. Από τη μελέτη της συμπεριφοράς των εδαφών φαίνεται ότι το μέτρο αποφόρτισης – επαναφόρτισης είναι μεγαλύτερο από το μέτρο αρχικής φόρτισης και συνήθως τίθεται τιμή πολλαπλάσια του μέτρου αρχικής φόρτισης.

Το υλικό έχει διαρρεύσει

Δύναται να χρησιμοποιηθεί το ίδιο μέτρο ελαστικότητας που χρησιμοποιείται και για την αρχική φόρτιση ή να επιλεγεί ένα διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας. Από τη μελέτη της συμπεριφοράς των εδαφών φαίνεται ότι το μέτρο αποφόρτισης – επαναφόρτισης είναι μεγαλύτερο από το μέτρο αρχικής φόρτισης και συνήθως τίθεται τιμή πολλαπλάσια του μέτρου αρχικής φόρτισης.

Οι παραμορφώσεις στην αποφόρτιση

Οι παραμορφώσεις βρίσκονται από την επίλυση του ίδιου συστήματος από το οποίο βρίσκεται και η εντατική κατάσταση. Γενικά, η επίλυση του συστήματος των εξισώσεων δίνει όλες τις ζητούμενες πληροφορίες για το έδαφος.

Απαιτούμενες παράμετροι για την εύρεση της εντατικής κατάστασης και των παραμορφώσεων στην αποφόρτιση

Οι απαιτούμενες παράμετροι για την εύρεση της εντατικής κατάστασης και των παραμορφώσεων στην αποφόρτιση είναι το μέτρο ελαστικότητας κατά την αποφόρτιση και την επαναφόρτιση E_{ur} και ο λόγος του Poisson για την αποφόρτιση ν_{ur} .

Αποφόρτιση συμβαίνει όταν αφαιρείται φορτίο. Η συμπεριφορά του εδάφους κατά την αποφόρτιση είναι ελαστική αλλά πολύ πιο «δύσκαμπτη» από ότι για την αρχική φόρτιση. Ο καταστατικός νόμος του υλικού είναι της ίδιας μορφής όπως και για την αρχική φόρτιση και τα διάφορα μέτρα ελαστικότητας δίνονται από τύπους που έχουν την ίδια μορφή με τους τύπους που δίνουν τις τιμές των διάφορων μέτρων ελαστικότητας της αρχικής φόρτισης. Η μόνη διαφορά είναι ότι, αντί για τα E και ν , χρησιμοποιούνται τα E_{ur} και ν_{ur} .

Πώς το PLAXIS υιοθετεί τη θεωρία του ελαστικού – απολύτως πλαστικού μοντέλου για την περιοχή της αποφόρτισης και επαναφόρτισης

Είτε το υλικό έχει διαρρεύσει είτε δεν έχει διαρρεύσει, το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο που περιέχεται στον κώδικα PLAXIS χρησιμοποιεί το ίδιο μέτρο ελαστικότητας για την αποφόρτιση του εδάφους. Επιπλέον, το μοντέλο δε δέχεται δύο διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας (ένα για την αρχική φόρτιση και ένα άλλο για την αποφόρτιση και την επαναφόρτιση), αλλά μόνον μία τιμή.

Επίσης, το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο του PLAXIS, δέχεται μόνο μία τιμή για το λόγο του Poisson, δηλαδή δεν δέχεται μία τιμή για το λόγο του Poisson αρχικής φόρτισης και μία άλλη για το λόγο του Poisson αποφόρτισης και επαναφόρτισης, αν και οι τιμές των ν και ν_{ur} διαφέρουν κατά κανόνα.

Από ποιες δοκιμές λαμβάνονται οι τιμές των παραμέτρων για το μοντέλο του PLAXIS

Για την επιλογή κατάλληλης τιμής για το λόγο του Poisson αναφερθήκαμε προηγουμένως. Η τιμή του λόγου Poisson είναι διαφορετική για τη φόρτιση και για την αποφόρτιση. Ο υπολογισμός της τιμής του λόγου του Poisson είναι δύσκολος και συχνά γίνεται χρήση πινάκων που συσχετίζουν τον τύπο του εδάφους με το λόγο του Poisson.

Για την επιλογή της κατάλληλης τιμής για το μέτρο αποφόρτισης και επαναφόρτισης (E_{ur}) χρησιμοποιείται το αποτέλεσμα της τριαξονικής δοκιμής. Μπορεί να εφαρμοστεί η εξής πρόταση: Το μέτρο αποφόρτισης και επαναφόρτισης μπορεί να ληφθεί ίσο με το τριπλάσιο του μέτρου ελαστικότητας E . Πρόκειται για την πρόταση που κάνει και το εγχειρίδιο του προγράμματος PLAXIS.

Μειονεκτήματα του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου, με κριτήριο διαρροής Mohr – Coulomb, ως προς την προσομοίωση της πραγματικής συμπεριφοράς των σκληρυνόμενων εδαφών

Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά της σχέσης τάσεων – παραμορφώσεων των εδαφών παρουσιάζονται ακολούθως:

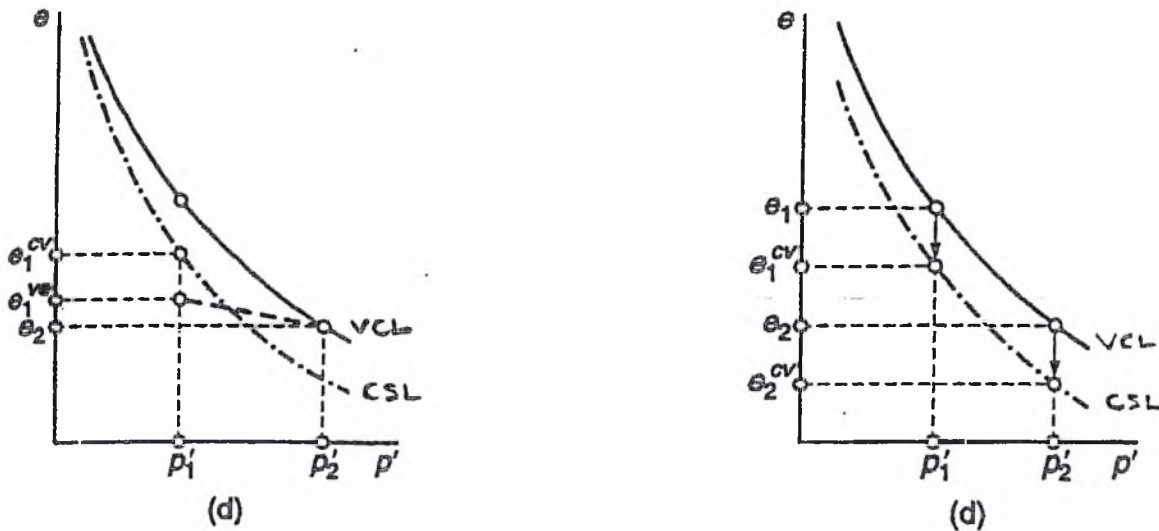
1. Τα εδάφη παρουσιάζουν μη γραμμική συμπίεστή συμπεριφορά υπό σφαιρική πίεση ($(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$), (βλ. Σχήμα 2.5).

2. Η παραμόρφωση όγκου δεν μπορεί να υπερβεί κάποιο όριο μέγιστης συμπίεσης, (βλ. Σχήμα 2.6).
3. Υπό ανακυκλιζόμενη ισότροπη συμπίεση, τα εδάφη παρουσιάζουν μόνιμες παραμορφώσεις όγκου, οι οποίες είναι αθροιστικές, αλλά έχουν όριο. (βλ. Σχήμα 2.6).
4. Η διατμητική αντοχή των εδαφών είναι περιορισμένη.
5. Η διατμητική αντοχή των εδαφών εξαρτάται κυρίως από τη μέση κάθετη τάση (ένας διαφορετικός όρος για τη σφαιρική τάση), (βλ. Σχήμα 2.7).
6. Η κλίση της καμπύλης διατμητικής τάσης – διατμητικών παραμορφώσεων μειώνεται όσο αυξάνονται οι διατμητικές παραμορφώσεις, (βλ. Σχήμα 2.8).
7. Τα εδάφη παρουσιάζουν μεταβολή όγκου λόγω διάτμησης, (βλ. Σχήμα 2.9).
8. Υπό ανακυκλιζόμενη διατμητική παραμόρφωση, τα εδάφη παρουσιάζουν μόνιμες παραμορφώσεις όγκου, οι οποίες είναι αθροιστικές, αλλά έχουν όριο. Επιπλέον, οι καμπύλες διατμητικής τάσης – διατμητικών παραμορφώσεων κατά την αποφόρτιση και επαναφόρτιση σχηματίζουν υστερητικούς βρόχους που αλλάζουν με τον αριθμό των κύκλων.
9. Η συμπεριφορά των εδαφών εξαρτάται από τις συνθήκες φόρτισης και τις διαδρομές φόρτισης.
10. Για δυναμικά προβλήματα η σχέση τάσεων παραμορφώσεων επηρεάζεται από το ρυθμό φόρτισης.
11. Τα εδάφη διασκορπίζουν ενέργεια ακόμα και για πολύ μικρά εύρη τασικών μεταβολών.
12. Τα βήματα αύξησης (increments) των τάσεων είναι σχεδόν παράλληλα με τα βήματα αύξησης των παραμορφώσεων για μικρές αποκλίσεις από τις καταστάσεις χωρίς φόρτιση. Για μεγάλες εντάσεις τα βήματα αύξησης των τάσεων είναι παράλληλα με τα βήματα αύξησης των παραμορφώσεων.
13. Σε αστράγγιστες συνθήκες, το έδαφος είναι ένα πολυφασικό υλικό (οι τρεις φάσεις είναι: έδαφος, νερό, αέρας). Προς το παρόν δεν υπάρχει κανένα λογισμικό διαθέσιμο στην πράξη, που να αντιμετωπίζει το έδαφος ως υλικό τριών φάσεων, (βλ. Σχήμα 2.10).
14. Τα εδάφη παρουσιάζουν κάποιο βαθμό ανισοτροπίας.

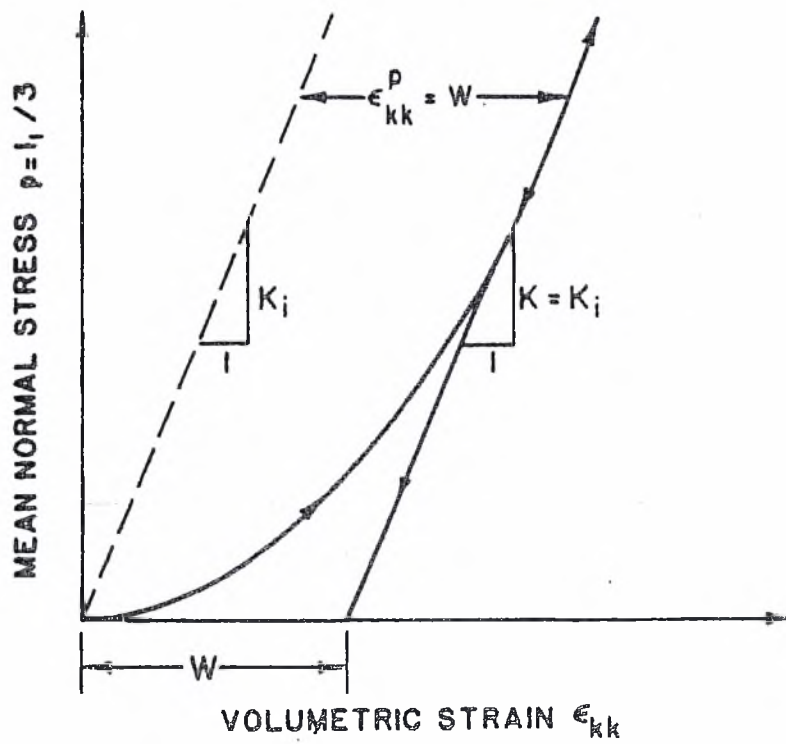
Είναι φανερό, από την ανάγνωση των παραπάνω, ότι το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο δεν προσομοιώνει τη συμπεριφορά του εδάφους με ακρίβεια αλλά με μεγάλη προσέγγιση. Οι επιμέρους ανεπάρκειές του θα αναλυθούν παρακάτω.

Είναι πολύ σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι τα λάθη στην εκτίμηση της συμπεριφοράς του εδάφους, όταν χρησιμοποιείται το ελαστικό – τέλεια πλαστικό

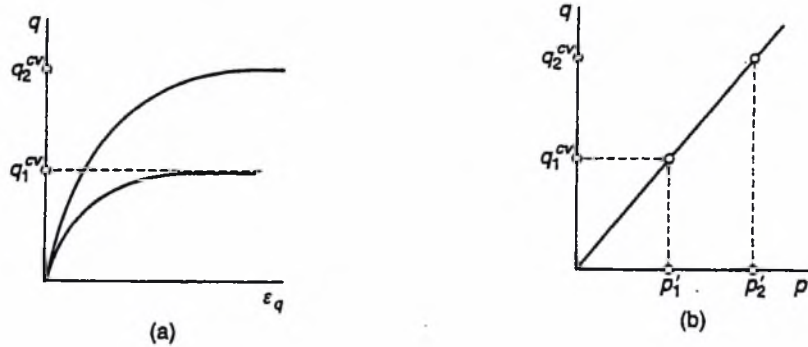
μοντέλο, δεν οφείλονται στις εξισώσεις ισορροπίας ούτε στις εξισώσεις συμβιβαστού των παραμορφώσεων (αυτά είναι ίδια ανεξαρτήτως του νόμου του υλικού), αλλά στο νόμο του υλικού που χρησιμοποιεί το μοντέλο του εδάφους.



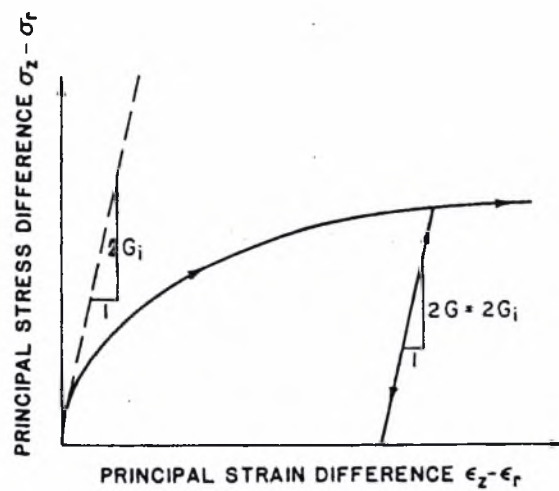
Σχήμα 2.5 : Καμπύλη σφαιρικής τάσης – δείκτη πόρων , για αποσκληρυνόμενο (αριστερά) και σκληρυνόμενο (δεξιά) έδαφος



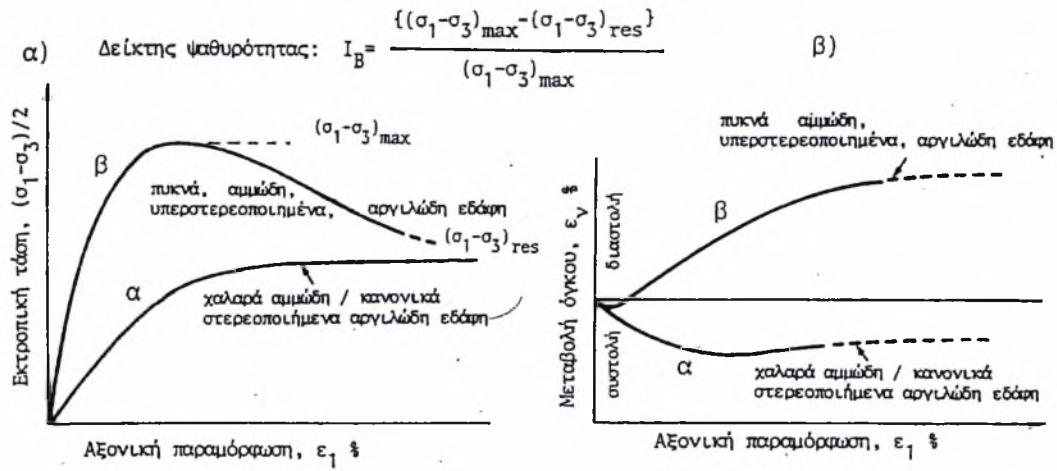
Σχήμα 2.6 : Οι παραμορφώσεις όγκου τείνουν προς κάποια οριακή τιμή ϵ_{kk} . Κατά τη σφαιρική φόρτιση παρουσιάζονται μόνιμες (πλαστικές) παραμορφώσεις ϵ_{kk}^p



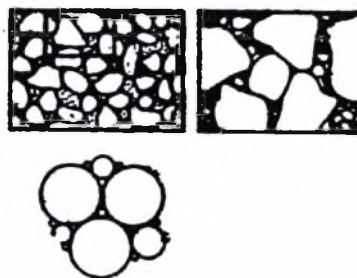
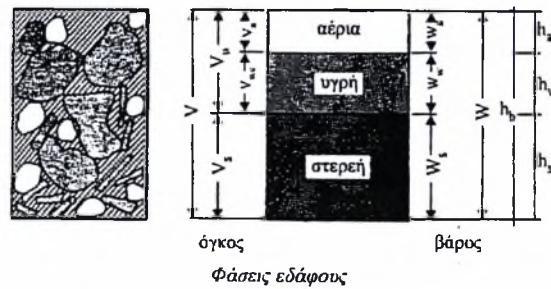
Σχήμα 2.7 : Όταν ένα δοκίμιο προφορτιστεί για μεγαλύτερη σφαιρική τάση, τότε παρουσιάζει μεγαλύτερη διατμητική αντοχή κατά την εκτροπική φόρτιση



Σχήμα 2.8 : Η μείωση της κλίσης της καμπύλης διατμητικής τάσης - διατμητικών παραμορφώσεων, όσο αυξάνονται οι διατμητικές παραμορφώσεις



Σχήμα 2.9 : Η μεταβολή όγκου που παρουσιάζουν τα εδάφη κατά τη διάτμησή τους



Σχήμα 2.10 : Το έδαφος , ως υλικό τριών φάσεων , σε αστράγγιστες συνθήκες

2.3 Συμπεράσματα

Το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο είναι ένα μοντέλο απλό στην ανάπτυξη του που αποδίδει ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του εδάφους στην περιοχή μετά την αρχική φόρτιση, δηλαδή στη διαρροή και την αποφόρτιση – επαναφόρτιση και με την προϋπόθεση ότι δε θα κληθεί να υπολογίσει μαζί με αυτές και την περιοχή πριν τη διαρροή.

Επιπρόσθετα, το πρόβλημα έγκειται στην ανεπαρκή προσομοίωση της συμπεριφοράς του εδάφους πριν τη διαρροή, αλλά και στο γεγονός ότι δεν χρησιμοποιεί διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας για την αρχική φόρτιση και διαφορετικό για την αποφόρτιση – επαναφόρτιση. Απαιτείται μεταβολή του μοντέλου ώστε να μπορεί να αποφορτίζεται – επαναφορτίζεται με κλίση διαφορετική από την κλίση της αρχικής φόρτισης.

Όσον αφορά στα μειονεκτήματά του το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο υστερεί κυρίως λόγω της απλότητας, η οποία όμως, είναι και ένα από τα πλεονεκτήματά του. Αδυνατεί να λάβει υπόψη του τις παρακάτω ιδιαιτερότητες της συμπεριφοράς του εδάφους :

1. Τη μη γραμμική συμπίεστη και διατμητική συμπεριφορά των εδαφών στην περιοχή πριν τη διαρροή.
2. Την εξάρτηση της διατμητικής αντοχής των εδαφών από τη μέση κάθετη τάση.
3. Τη μεταβολή όγκου λόγω διάτμησης που παρουσιάζουν τα εδάφη κατά την αρχική φόρτιση.
4. Τη συμπεριφορά του εδάφους σε κυκλική (σεισμός) και αντίστροφη φόρτιση .
5. Την πολυφασικότητα του εδάφους σε αστράγγιστες συνθήκες.
6. Την ανισοτροπία του εδάφους.

Είναι σαφές ότι το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο παρουσιάζει σοβαρά μειονεκτήματα, τα οποία επικεντρώνονται στην περιοχή της αρχικής φόρτισης. Η χρήση ενός πιο σύνθετου μοντέλου θα μπορούσε να δώσει λύση σε αυτό το πρόβλημα.

Είναι γνωστό ότι ο συνυπολογισμός της ανισοτροπίας, της πολυφασικότητας και της συμπεριφοράς του εδάφους σε κυκλική και αντίστροφη φόρτιση δεν

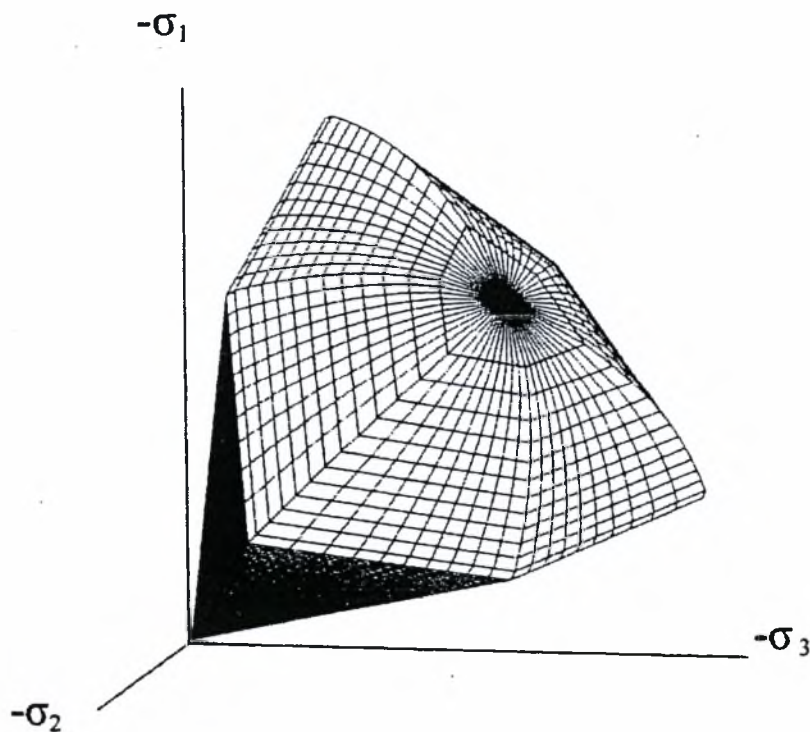
λαμβάνονται υπόψη ούτε από το πιο σύνθετο του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου, μοντέλο υπερβολικού τύπου (μοντέλο Hardening), το οποίο χρησιμοποιείται από το λογισμικό PLAXIS. Επίσης, το εν λόγω μοντέλο αγνοεί τη μεταβολή όγκου λόγω διάτμησης που παρουσιάζουν τα εδάφη κατά την αρχική φόρτιση. Όμως, περιγράφει πιο αξιόπιστα τη μη γραμμική συμπίεστική και διατμητική συμπεριφορά των εδαφών στην περιοχή πριν τη διαρροή και συνυπολογίζει την εξάρτηση της διατμητικής αντοχής των εδαφών από τη μέση κάθετη τάση. Επιπλέον, δέχεται διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας για την αρχική φόρτιση και διαφορετικό για την αποφόρτιση – επαναφόρτιση. Συνιστά, λοιπόν, πιο ρεαλιστική προσομοίωση του εδάφους και αποτελεί μία βελτιωμένη πρόταση για την προσομοίωση του εδάφους σε σχέση με την πρόταση του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου.

2.4 Σκληρυνόμενα μοντέλα εδάφους – Το μοντέλο “Hardening Soil”

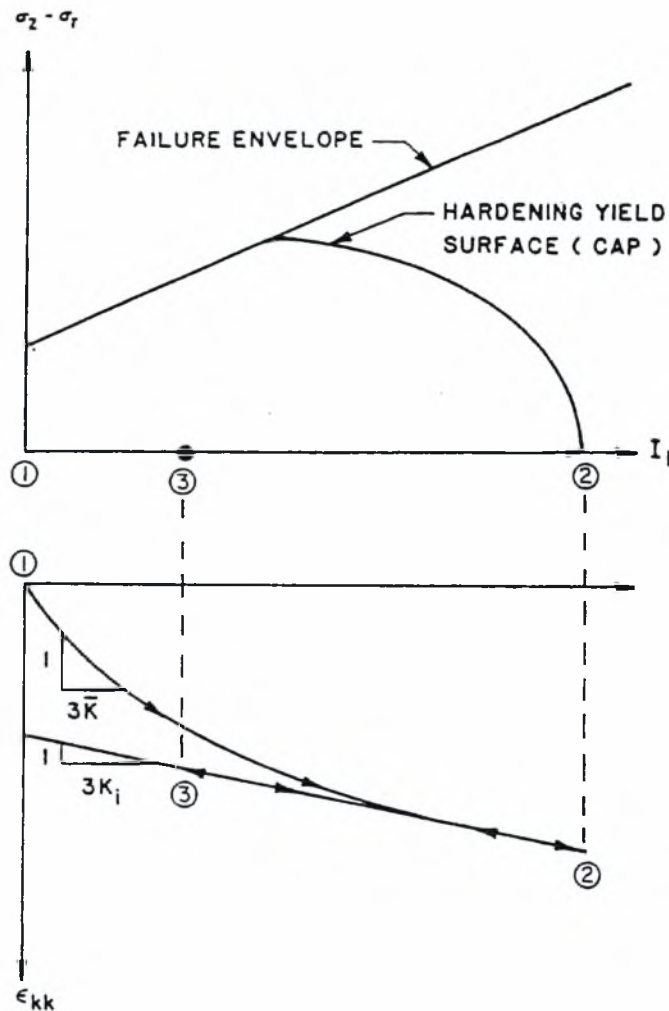
Προκειμένου να αντιμετωπισθούν οι αδυναμίες του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου ως προς την ορθή προσομοίωση της σκληρυνόμενης συμπεριφορά, αλλά και της γενικότερης συμπεριφοράς του εδάφους, αναπτύχθηκαν πιο σύνθετα μοντέλα.

Από το 1957 έχει παρουσιασθεί το μοντέλο Hardening από τους Drucker, Gibson και Henkel. Παρουσιάζουν τον όρο “cap” και τη χρήση του δείκτη πόρων e ως τη βασική παράμετρο ρύθμισης της μεταβολής του “cap”.

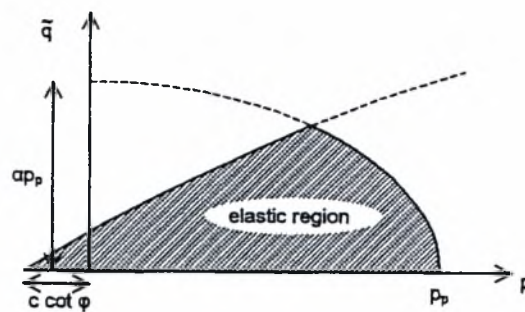
Ο όρος “cap” αναφέρεται στην επιφάνεια διαρροής των παραμορφώσεων όγκου, ενώ η επιφάνεια διαρροής Mohr – Coulomb είναι η επιφάνεια διαρροής των διατμητικών παραμορφώσεων. Όταν η διαδρομή φόρτισης τμήσει την επιφάνεια διαρροής, εμφανίζονται πλαστικές παραμορφώσεις όγκου. Η επιφάνεια διαρροής μπορεί να εμφανιστεί σε διδιάστατο σύστημα αξόνων, που έχει στον ένα άξονα την εκτροπική τάση και στον άλλο τη σφαιρική τάση. Επίσης μπορεί να εμφανιστεί σε τριδιάστατο σύστημα αξόνων που έχει σε κάθε άξονά του μία από τις τρεις τάσεις.



Σχήμα 2.11 : Η συνολική επιφάνεια διαρροής του «σκληρυνόμενου» μοντέλου, σε χώρο κύριων τάσεων, για έδαφος χωρίς συνοχή.



Σχήμα 2.12 : Η συνολική επιφάνεια διαρροής του «σκληρυνόμενου» μοντέλου, σε διδιάστατο σύστημα αξόνων που έχει στον ένα άξονα την εκτροπική τάση και στον άλλο τη σφαιρική τάση, για έδαφος με συνοχή.



Σχήμα 2.13 : Η περιοχή πριν τη διαρροή, του «σκληρυνόμενου» μοντέλου, σε διδιάστατο σύστημα αξόνων, που έχει στον ένα άξονα την εκτροπική τάση και στον άλλο τη σφαιρική τάση, για έδαφος με συνοχή.

Ακολούθως γίνεται συνοπτική αναφορά στα σκληρυνόμενα μοντέλα ώστε να γίνει αντιληπτή η θεωρητική τους τοποθέτηση :

Μοντέλα «εργοσκληρυνόμενης» πλαστικότητας

1. Σε αυτά υπάρχει η αρχική επιφάνεια αστοχίας και οι ακόλουθες αυτής.
2. Σε αυτά συντάσσεται κατάλληλος κανόνας σκλήρυνσης, που περιγράφει την εξέλιξη των μεταγενέστερων επιφανειών φόρτισης.
3. Οι ελαστικές και πλαστικές παραμορφώσεις προστίθενται διανυσματικά.
4. Χρησιμοποιούνται εφαπτομενικοί τανυστές για την εύρεση των παραμορφώσεων από τις τάσεις.
5. Χρησιμοποιούνται εφαπτομενικοί τανυστές για την εύρεση των εφαπτομενικών μέτρων ελαστικότητας.

Σκληρυνόμενα μοντέλα Cambridge

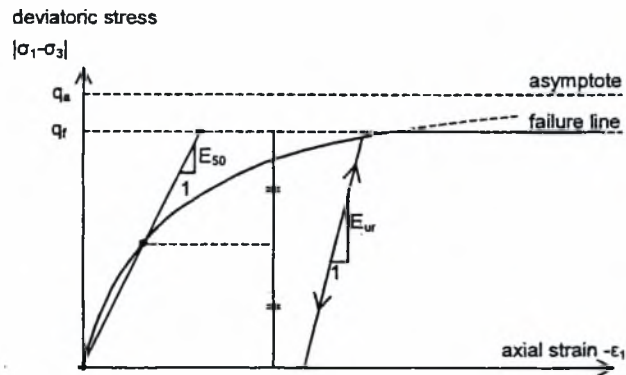
Το τροποποιημένο μοντέλο Cam – Clay αναπτύχθηκε από τους Roscoe και Burland (1968). Δέχεται την ανάπτυξη πλαστικών διατμητικών παραμορφώσεων και πλαστικών παραμορφώσεων όγκου. Η διατμητική παραμόρφωση είναι μόνον πλαστική. Η παραμόρφωση όγκου θεωρείται μερικώς αναστρέψιμη.

Η ελαστική παραμόρφωση όγκου είναι μη γραμμικά εξαρτημένη από τη σφαιρική πίεση ($(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$) και εντελώς ανεξάρτητη από την εκτροπική τάση (η εκτροπική τάση προκαλεί μόνο πλαστικές παραμορφώσεις όγκου).

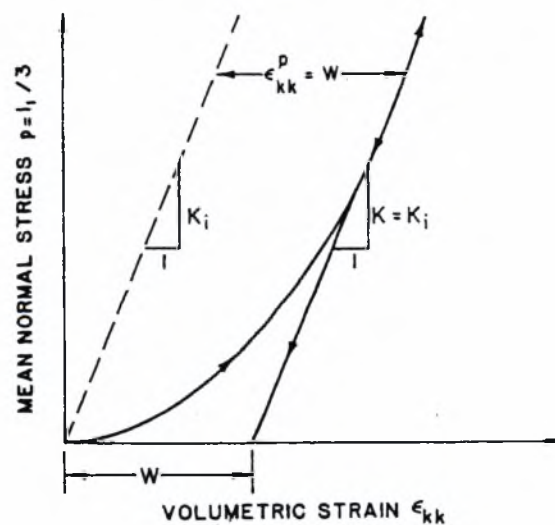
Κατά την αποφόρτιση ανακτώνται μόνον οι ελαστικές παραμορφώσεις όγκου, ενώ οι πλαστικές διατμητικές παραμορφώσεις δεν ανακτώνται, αφού είναι εντελώς πλαστικές, αλλά μειώνονται λόγω των ελαστικών παραμορφώσεων αποφόρτισης.

Μετά τη διαρροή συμβαίνουν μεγάλες διτμητικές παραμορφώσεις χωρίς να αυξάνεται το μέγεθος της παραλαμβανόμενης διατμητικής τάσης.

Κάνει χρήση του κριτηρίου διαρροής Mohr – Coulomb.



Σχήμα 2.14 : Η αποφόρτιση μειώνει τις πλαστικές διατμητικές παραμορφώσεις



Σχήμα 2.15 : Η μη γραμμική εξάρτηση της ελαστικής παραμόρφωσης όγκου, από τη σφαιρική φόρτιση. Κατά την αποφόρτιση ανακτώνται οι ελαστικές παραμορφώσεις όγκου.

Άλλα ισότροπα σκληρυνόμενα μοντέλα

Άλλα μοντέλα δέχονται μεν ότι η επιφάνεια διαρροής μετακινείται μόνον όταν υπάρχει πλαστική παραμόρφωση όγκου, αλλά οι πλαστικές παραμορφώσεις όγκου μπορούν να αντιστραφούν σε αυτά τα μοντέλα. Αυτός ο μηχανισμός καθιστά δυνατό τον έλεγχο της διαστολής, η οποία για πολλά εδάφη πρέπει να είναι πολύ μικρή, σχεδόν μηδενική.

Προχωρημένα σκληρυνόμενα μοντέλα

Προκειμένου να αντιμετωπισθούν οι διαφορετικές συμπεριφορές των εδαφών αναπτύχθηκαν τα προχωρημένα σκληρυνόμενα μοντέλα, που λαμβάνουν υπόψη διάφορα ειδικά «χαρακτηριστικά», όπως είναι οι πιέσεις των πόρων, η ανισοτροπία, η κινηματική κράτυνση, η σκληρυνόμενη ή αποσκληρυνόμενη συμπεριφορά κ.ά. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών.

Προσεγγίσεις του σχηματισμού μοντέλων

1. Σχηματισμός ολικού μοντέλου τάσεων – παραμορφώσεων. Αυτό το μοντέλο αντιστοιχεί σε δεδομένο μέτρο ελαστικότητας σε κάθε κατάσταση και δεν υπολογίζει τη μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας στην πορεία της φόρτισης. Δηλαδή δε χρησιμοποιεί το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας.
2. Σχηματισμός μοντέλου που χρησιμοποιεί το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ισότροπα σκληρυνόμενων μοντέλων

Μειονεκτήματα :

1. Απαιτείται επαναληπτική διαδικασία για την εύρεση των παραμέτρων των μοντέλων, η οποία συνεπάγεται πολλές δοκιμές.
2. Είναι αρκετά σύνθετα ως προς την μόρφωση.
3. Η απουσία μίας «κινούμενης» επιφάνειας διαρροής δεν τους επιτρέπει να αντιμετωπίσουν την κινηματική κράτυνση, η οποία εμφανίζεται στην ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Πλεονεκτήματα :

1. Ικανοποιούν το σύνολο των θεωρητικών απαιτήσεων.
2. Ελέγχουν κατάλληλα την πλαστική διαστολή.
3. Επιτρέπουν την υστερική συμπίεση κατά την ανακυκλιζόμενη σφαιρική φόρτιση.

Ιδιότητες του «σκληρυνόμενου» μοντέλου

Το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί έχει τις παρακάτω ιδιότητες :

1. Χρησιμοποιεί την πλαστική θεωρία υπό την επαναληπτική διαδικασία. Σε κάθε βήμα είναι δυνατόν να υπολογίζονται μικρές πλαστικές και ελαστικές παραμορφώσεις (σε κάθε βήμα φόρτισης = loading increment).
2. Οι ιδιότητες του μοντέλου είναι ανεξάρτητες του χρόνου και της θερμοκρασίας.

Βασική παραδοχή το μοντέλου αποτελεί η θεώρηση ότι η εκτροπική τάση προκαλεί την ανάπτυξη πλαστικών διαμηθικών παραμορφώσεων (μεταβολή σχήματος χωρίς να μεταβάλλεται ο όγκος) και πλαστικών παραμορφώσεων όγκου.

Κατά την αποφόρτιση της εκτροπικής τάσης, το μοντέλο συμπεριφέρεται ελαστικά (και η πραγματική συμπεριφορά του εδάφους κατά την αποφόρτιση είναι περίπου ελαστική). Οι προκαλούμενες πλαστικές και οι ελαστικές παραμορφώσεις προστίθενται διανυσματικά. Χρησιμοποιούνται εφαπτομενικοί τανυστές για την εύρεση των παραμορφώσεων από τις τάσεις και άλλοι για την εύρεση των εφαπτομενικών μέτρων ελαστικότητας.

Το «σκληρυνόμενο» εδαφικό μοντέλο που εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία χρησιμοποιεί τον υπερβολικό νόμο του μοντέλου που αναπτύχθηκε από τους Duncan και Chung για να περιγράψει τη σχέση εκτροπικής τάσεως – πλαστικών εκτροπικών παραμορφώσεων.

Εύρεση της εντατικής κατάστασης στην περιοχή πριν τη διαρροή

Δεν υφίστανται ουσιαστικές διαφορές στα θέματα αρχής, που παρουσιάστηκαν σε παρόμοιες παραγράφους, ως προς τη μέθοδο εύρεσης της εντατικής κατάστασης.

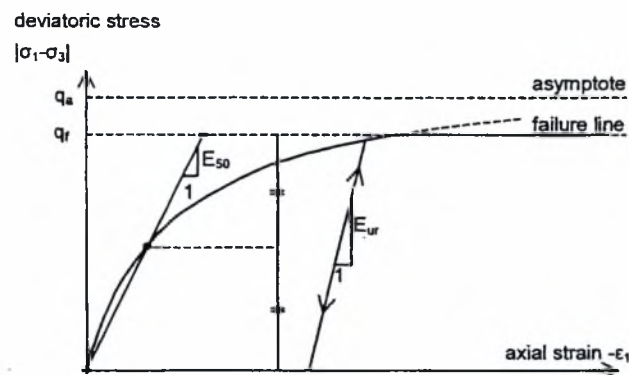
$$-\varepsilon_1 = \frac{1}{2E_{s0}} \frac{q}{1 - q/q_a} \quad \text{for } q < q_f$$

Τύπος 2.1 : Ο τύπος από τον οποίο δίνεται η πλαστική ανηγμένη παραμόρφωση ε_1 , κατά τη διεύθυνση της κύριας τάσης σ_1 , για εκτροπική φόρτιση

$$-\varepsilon_1^e = \frac{q}{E_{ur}} \quad -\varepsilon_2^e = -\varepsilon_3^e = -\nu_{ur} \frac{q}{E_{ur}}$$

Τύπος 2.2 : Οι τύποι από τους οποίους δίνονται οι ελαστικές ανηγμένες παραμορφώσεις κατά την αποφόρτιση. Κατά τη διεύθυνση της κύριας τάσης σ_1 έχουμε την ε_1^e και κατά τις διευθύνσεις των δευτερευουσών τάσεων σ_2 και σ_3 έχουμε τις ε_2^e και ε_3^e

Το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας μεταβάλλεται καθώς εξελίσσεται η εκτροπική φόρτιση, ακολουθώντας φθίνουσα πορεία.



Σχήμα 2.16 : Η φθίνουσα μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας E_{50} , καθώς εξελίσσεται η εκτροπική φόρτιση

Το μέτρο ελαστικότητας E_{50} , που χρησιμοποιείται για τη σύνταξη της καμπύλης κράτυνσης, μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλεται η πλευρική τάση σ_3 , και η μεταβολή του αυτή ελέγχεται και από τον εκθέτη m .

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cos \varphi - \sigma'_3 \sin \varphi}{c \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m$$

Τύπος 2.3 : Η εξάρτηση του μέτρου ελαστικότητας E_{50} από την τάση σ'_3

Το E_{50} επιλέγεται τέτοιο ώστε η παραβολική καμπύλη εκτροπικών τάσεων – εκτροπικών παραμορφώσεων να είναι η επιθυμητή, δηλαδή να προσεγγίζει την καμπύλη εκτροπικής τάσης – εκτροπικής παραμόρφωσης, η οποία εμφανίζεται κατά την εκτροπική φόρτιση ενός δοκιμίου του εδάφους.

Εύρεση των παραμορφώσεων στην περιοχή πριν τη διαρροή

Το μοντέλο δεν παραβλέπει καμία δυνατότητα παραμόρφωσης του σκληρυνόμενου εδάφους. Υπάρχουν ανακρίβειες στον υπολογισμό των παραμορφώσεων αλλά η προσομοίωση είναι η βέλτιστη δυνατή.

Αν και δεν λαμβάνει υπόψη την συμπίεστική παραμόρφωση όγκου λόγω της εκτροπικής φόρτισης, λαμβάνει υπόψη την διαστολή λόγω αυτής, με την προϋπόθεση ότι αυτή υπάρχει (για να υπάρχει διαστολή, πρέπει να ισχύει για την παράμετρο ψ ότι: $\psi > 0$).

Οι παραμορφώσεις όγκου πριν τη διαρροή (πριν η διαδρομή των τάσεων τμήσει την αρχική επιφάνεια διαρροής) είναι ελαστικές.

Αφού η διαδρομή των τάσεων τμήσει την επιφάνεια διαρροής, ακολουθείται η καμπύλη που τείνει ασυμπτωτικά προς τη μέγιστη συμπίεση. Ακολουθώντας την καμπύλη αναπτύσσονται και πλαστικές και ελαστικές παραμορφώσεις όγκου.

Κριτήρια διαρροής

Η χρήση του κριτηρίου διαρροής Mohr – Coulomb εξασφαλίζει την κατά το δυνατόν βέλτιστη προσομοίωση της επιφάνειας διαρροής. Για τις παραμέτρους του μοντέλου έχουμε ήδη αναφερθεί στην παρουσίαση του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου.

Η εντατική κατάσταση και οι παραμορφώσεις μετά τη διαρροή

Καμία διαφορά από την αντιμετώπιση για το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο, ως προς τη διαρροή που αφορά την επιφάνεια διαρροής Mohr – Coulomb.

Η εντατική κατάσταση και οι παραμορφώσεις στην αποφόρτιση

Εφαρμόζεται η ελαστική θεωρία για την αποφόρτιση. Οι τάσεις αποφόρτισης δίνονται από την ελαστική θεωρία. Η ορθότητα της εύρεσης της συνολικής εντατικής κατάστασης και των συνολικών παραμορφώσεων κατά την αποφόρτιση (δηλαδή όχι μόνο λόγω αποφόρτισης, αλλά το διανυσματικό άθροισμα όλων των υπαρχόντων παραμορφώσεων) εξαρτάται από την κατά το δυνατόν ακριβή προσομοίωση που επιτυγχάνεται στη φάση φόρτισης, δηλαδή εξαρτάται από το πόσο καλά προσομοιώνεται η συνολική διαδρομή φόρτισης του εδάφους και όχι μόνον η αποφόρτιση.

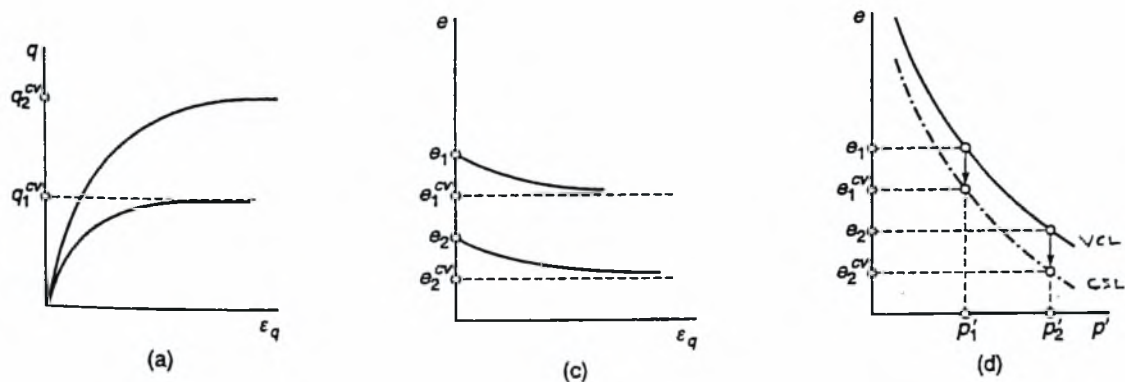
Απαιτούμενες παράμετροι για την εύρεση της εντατικής κατάστασης και των παραμορφώσεων

Το μοντέλο χρησιμοποιεί παραμέτρους που του επιτρέπουν να προσομοιώνει ακριβέστερα τη συμπεριφορά του εδάφους σε σχέση με το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο. Με δεδομένη την ύπαρξη πολλών κρατυνόμενων μοντέλων και τη διαφορετική αντιμετώπιση που μπορεί να έχει το κάθε ένα ως προς τις παραμέτρους που δέχεται, δε θα γίνει αναφορά γενικά στις παραμέτρους των σκληρυνόμενων μοντέλων, αλλά ειδικά στις παραμέτρους που χρησιμοποιεί το σκληρυνόμενο μοντέλο που αποτελεί μέρος του προγράμματος PLAXIS.

Πώς αντιμετωπίζεται το «σκληρυνόμενο» μοντέλο από το λογισμικό

PLAXIS

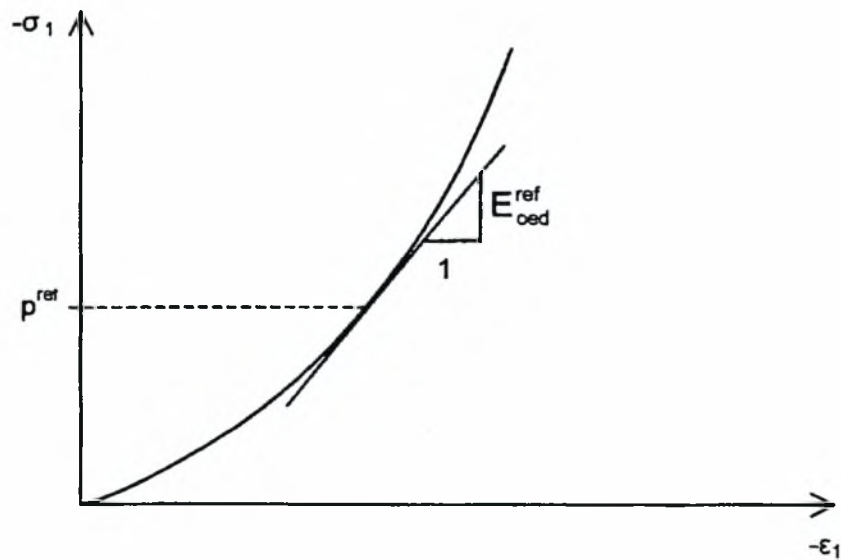
Κατά την χρήση του εν λόγω εδαφικού μοντέλου από το λογισμικό PLAXIS αγνοούνται οι πλαστικές παραμορφώσεις όγκου λόγω εκτροπικής φόρτισης (οι οποίες είναι αποκλειστικά πλαστικές), θεωρώντας ότι αυτές είναι αμελητέες. Υπολογίζονται μόνον οι πλαστικές αξονικές παραμορφώσεις λόγω εκτροπικής φόρτισης και οι πλαστικές παραμορφώσεις όγκου λόγω διαστολής (αν αυτή συμβαίνει). Οι ελαστικές παραμορφώσεις κατά την εκτροπική φόρτιση είναι ουσιαστικά οι παραμορφώσεις που θα εμφανιστούν λόγω των τάσεων αποφόρτισης.



Σχήμα 2.17 : Κατά την εκτροπική φόρτιση ενός εδάφους με σκληρυνόμενη συμπεριφορά, εμφανίζονται πλαστικές παραμορφώσεις όγκου, οι οποίες προκαλούν μετάβαση του υλικού από τη γραμμή αρχικής στερεοποίησης (Virgin Consolidation Line : VCL) στη γραμμή κρίσιμης κατάστασης (Critical State Line : CSL)

Βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου κατά την χρήση του λογισμικού είναι :

1. Δυσκαμψία εξαρτώμενη από το μέγεθος της τάσης, σύμφωνα με εκθετικό νόμο (ελέγχεται από την παράμετρο m).
2. Πλαστική παραμόρφωση λόγω αρχικής εκτροπικής φόρτισης (ελέγχεται από την παράμετρο E_{50} reference).
3. Πλαστική παραμόρφωση λόγω αρχικής συμπίεσης (ελέγχεται από την παράμετρο E_{oed} reference).
4. Ελαστική παραμόρφωση και επαναφόρτιση.
5. Αστοχία σύμφωνα με το κριτήριο διαρροής Mohr – Coulomb.



Σχήμα 2.18 : Η οιδημετρική συμπίεση, όπως περιγράφεται από το «σκληρυνόμενο» μοντέλο. Ελέγχεται από το οιδημετρικό μέτρο ελαστικότητας E_{oe}

$$E_{oe} = E_{oe}^{ref} \left(\frac{c \cot \varphi - \sigma_1'}{c \cot \varphi + p^{ref}} \right)^m \quad E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{c \cos \varphi - \sigma_3' \sin \varphi}{c \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m$$

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cos \varphi - \sigma_3' \sin \varphi}{c \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m$$

Τύπος 2.4: Η εξάρτηση του μέτρου ελαστικότητας E_{oe} από την εντατική κατάσταση και τον εκθέτη m

Απαιτούμενες παράμετροι για την εύρεση της εντατικής κατάστασης και των παραμορφώσεων στην περιοχή πριν τη διαρροή

Οι απαιτούμενες παράμετροι είναι το τέμνον μέτρο ελαστικότητας (E_{50} reference), η τάση αναφοράς (p reference) και η εκθετική παράμετρος m . Το τέμνων μέτρο ελαστικότητας (E_{50} reference) αυξάνεται με την αύξηση της πλευρικής πίεσης σ_3 .

Εκτιμάται ότι πριν η διαδρομή φόρτισης τμήσει την επιφάνεια διαρροής οι παραμορφώσεις όγκου ελέγχονται από το μέτρο διόγκωσης.

Κριτήρια διαρροής

Το κριτήριο διαρροής Mohr – Coulomb υιοθετείται αυτούσιο από το λογισμικό PLAXIS. Το οιδημετρικό μέτρο (E_{oed}) τίθεται σε εφαρμογή όταν η διαδρομή φόρτισης τμήσει την πρώτη επιφάνεια διαρροής, δηλαδή είναι μία παράμετρος που περιγράφει την συμπεριφορά του εδάφους κατά τη συμπίεσή του.

Απαιτούμενες παράμετροι για τον καθορισμό της επιφάνειας διαρροής και την εύρεση της εντατικής κατάστασης και των παραμορφώσεων μετά τη διαρροή

Απαιτούνται οι τιμές των πλαστικών παραμέτρων της συνοχής c , της γωνίας διατμητικής αντοχής, ϕ και της γωνίας διαστολής, ψ , για την μόρφωση της επιφάνειας διαρροής.

Επίσης, απαραίτητες είναι και οι τιμές του οιδημετρικού μέτρου E_{oed} , της τάσης αναφοράς και της παραμέτρου m .

Η τιμή του οιδημετρικού μέτρου δίνεται από τον τύπο 2.5.

$$E_{oed}^{ref} = \frac{P^{ref}}{\lambda^*} \quad \lambda^* = \frac{\lambda}{(1 + e_0)}$$

Τύπος 2.5 : Προτεινόμενη εξίσωση εύρεσης τιμής του οιδημετρικού μέτρου

Η εντατική κατάσταση και οι παραμορφώσεις μετά την διαρροή

Η μόνη διαφορά από την αντιμετώπιση του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου είναι ότι δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να θέσει όριο στο μέγεθος της διαστολής που μπορεί να συμβεί, καθορίζοντας το μέγιστο δυνατό δείκτη πόρων.

Η εντατική κατάσταση και οι παραμορφώσεις κατά την αποφόρτιση

Υιοθετείται η ελαστική θεωρία. Η θεωρία αποφόρτισης που υιοθετείται για την εκτροπική φόρτιση είναι ίδια με αυτήν που υιοθετεί το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο. Η θεωρία αποφόρτισης που υιοθετείται για τη σφαιρική φόρτιση είναι διαφορετική από αυτήν που υιοθετεί το ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο.

Απαιτούμενες παράμετροι για την εύρεση της εντατικής κατάστασης και των παραμορφώσεων στην αποφόρτιση

Απαιτούνται οι τιμές για τις παραμέτρους του μέτρου αποφόρτισης και του λόγου του Poisson E_{ur} και ν_{ur} . Οι παραμορφώσεις ε_2 και ε_3 λόγω αρχικής εκτροπικής φόρτισης είναι ελαστικές και ελέγχονται από αυτές τις παραμέτρους (δες τύπο 2.2).

Το μέτρο αποφόρτισης δίνεται από τον τύπο 2.6, όπως περιγράφεται ακολούθως.

$$E_{ur}^{ref} = \frac{3p^{ref}(1-2\nu_{ur})}{\kappa^*} \qquad \kappa^* = \frac{\kappa}{(1+e_0)}$$

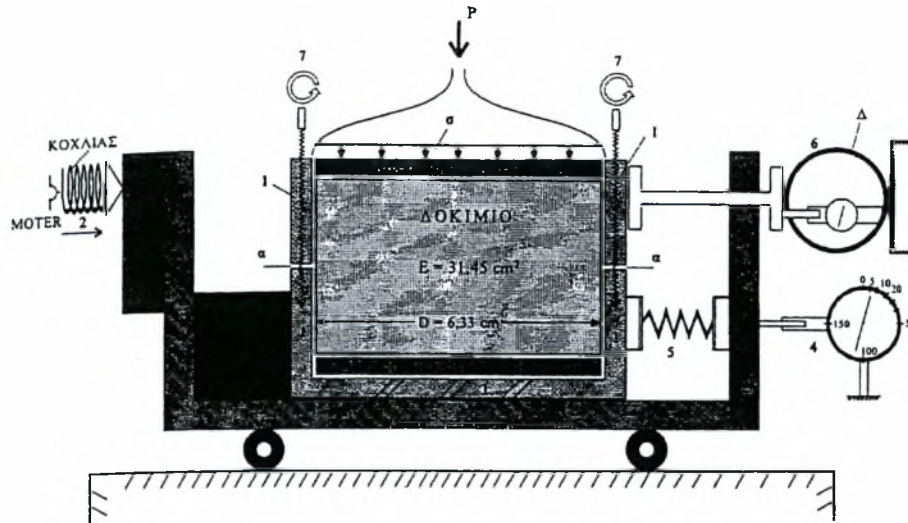
Τύπος 2.6 : Ο τύπος από τον οποίο δίνεται το E_{ur} reference

Εύρεση των παραμέτρων του μοντέλου Hardening από δοκιμές

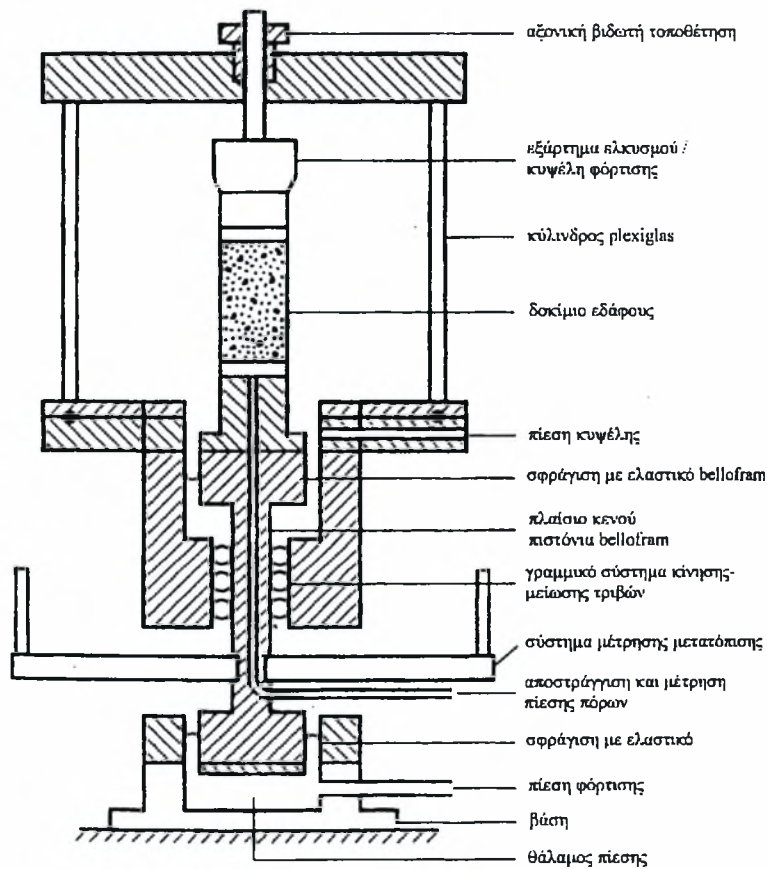
Τα στοιχεία συλλέγονται από δοκιμές μονοαξονικής παραμόρφωσης και τριαξονικής συμπίεσης.

Η σχέση τάσεων παραμορφώσεων επηρεάζεται από τη δομή του εδάφους, τον κορεσμό του εδάφους, την ικανότητα αποστράγγισης κατά τη φόρτιση, το ρυθμό φόρτισης, το ιστορικό φόρτισης και τις παρούσες τάσεις.

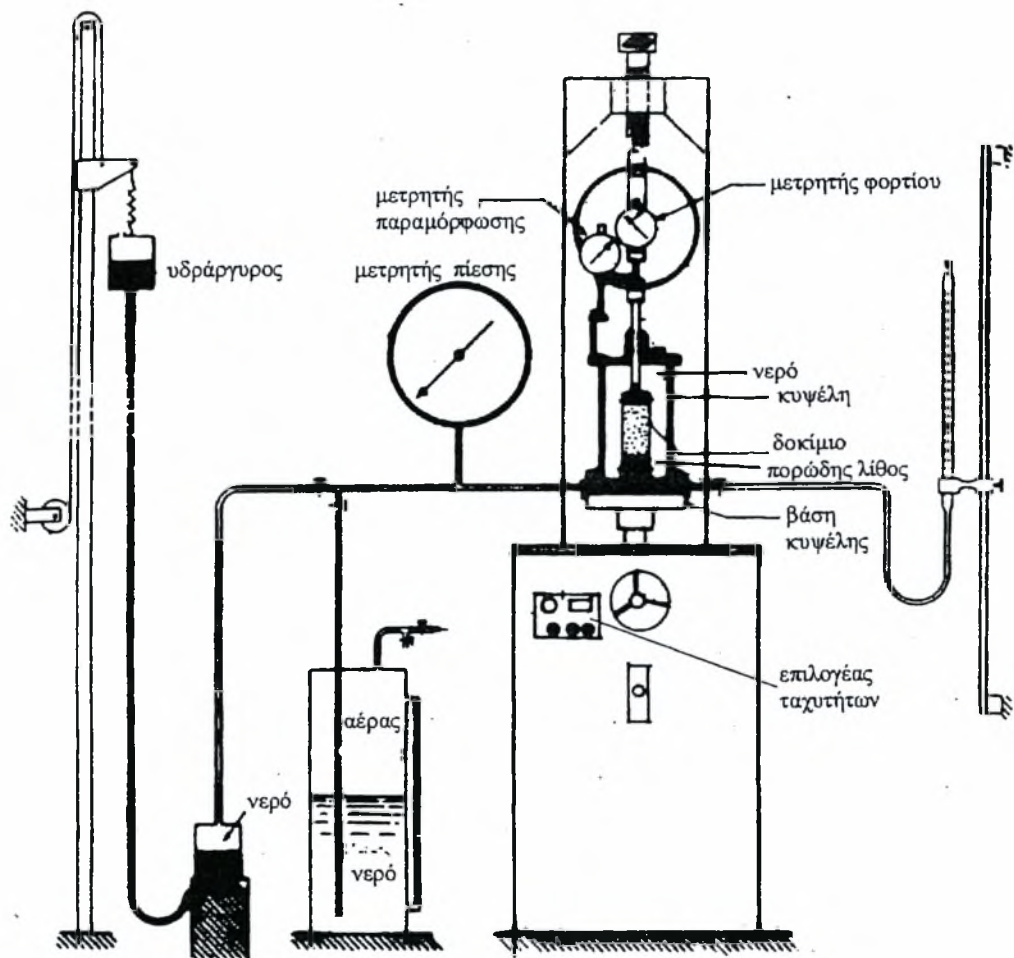
Το μέτρο E_{50} λαμβάνεται από τριαξονική δοκιμή. Το μέτρο E_{oed} προκύπτει από δοκιμή οιδημέτρου. Το μέτρο αποφόρτισης προκύπτει από δοκιμή σφαιρικής συμπίεσης.



Σχήμα 2.19 : Σχηματική διατομή συσκευής απ' ευθείας διάτμησης της Wykeham Farance



Σχήμα 2.20 : Διαγραμματική διάταξη της υδραυλικής τριαξονικής συσκευής μετά τους Bishop και Wesley



Σχήμα 2.21 : Διάγραμμα τριαξονικής συσκευής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Παραμετρική Μελέτη

3.1 Εισαγωγή

Η χρήση αριθμητικών μεθόδων κατά το σχεδιασμό διατάξεων αντιστηρίξεων αυξάνεται συνεχώς τα τελευταία έτη. Η δυνατότητα που παρέχουν οι αριθμητικές μέθοδοι για την εφαρμογή σύνθετων εδαφικών μοντέλων καθώς και για την προσομοίωση κάθε επιμέρους σταδίου της κατασκευής, αποτελούν ορισμένους από τους βασικούς παράγοντες που οδηγούν στην ευρύτερη χρησιμοποίησή τους έναντι των κλασικών μεθόδων οριακής ισορροπίας.

Παρόλα αυτά, όμως, η ορθή χρήση των αριθμητικών μεθόδων κατά τη μελέτη αντιστηρίξεων προϋποθέτει την ύπαρξη ικανών γνώσεων τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο καθώς οι βασικές παραδοχές και η επιλογή ορισμένων παραμέτρων, επηρεάζουν καθοριστικά τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ανωτέρω επισημάνσεις, στο παρόν άρθρο εξετάζεται παραμετρικά η συμπεριφορά αντιστήριξης κατακόρυφου μετώπου ανοιχτής εκσκαφής σημαντικού βάθους, με απώτερο σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων και τη διατύπωση - εν συνεχεία - ανάλογων προτάσεων σχετικά με την όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη αριθμητική προσομοίωση της απόκρισης τυπικών διατάξεων αντιστηρίξεων.

3.2 Βασικές Παραδοχές – Στοιχεία Ανάλυσης

Η παραμετρική μελέτη, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε με τον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS (Ver. 8.2, 2004). Ορισμένες από τις βασικές παραδοχές - στοιχεία της μελέτης δίνονται ακολούθως :

-Το σύνολο των αποτελεσμάτων αναφέρεται σε διδιάστατες αναλύσεις και υπό τη θεώρηση συνθηκών επίπεδης παραμόρφωσης.

-Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των εδαφικών στοιχείων χρησιμοποιούνται συγκριτικά το ελαστοπλαστικό μοντέλο και το αντίστοιχο υπερβολικού τύπου με κρατυνόμενη συμπεριφορά, όπως παρέχονται από τον εν λόγω κώδικα.

-Για τη μελέτη της απόκρισης του εκ σκυροδέματος στοιχείου αντιστήριξης, όπως περιγράφεται αναλυτικότερα ακολούθως, χρησιμοποιούνται συγκριτικά στοιχεία δοκού με γραμμική ελαστική συμπεριφορά καθώς και ανάλογα εδαφικά στοιχεία.

-Για την προσομοίωση των προεντεταμένων αγκυρώσεων και βάσει των δυνατοτήτων του συγκεκριμένου κώδικα πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιούνται κατάλληλα στοιχεία ελαστικής - τελείως - πλαστικής συμπεριφοράς, τα οποία έχουν τη δυνατότητα παραλαβής τάσεων προέντασης καθώς και εφελκυστικών - θλιπτικών δυνάμεων. Επίσης, για την προσομοίωση της πάκτωσης των ανωτέρω αγκυρώσεων εφαρμόστηκαν στοιχεία γραμμικής ελαστικής συμπεριφοράς, τα οποία δύνανται να παραλάβουν εφελκυστικές δυνάμεις.

-Η αλληλεπίδραση μεταξύ του στοιχείου αντιστήριξης και των γειτονικών του εδαφικών στοιχείων λαμβάνεται υπόψη με τη χρήση στοιχείων διεπιφάνειας εικονικού πάχους (Heuze and Barbour, 1982, Karabatakis, 2000, Karabatakis and Hatzigogos, 2002) και διαδοχικής μεταβαλλόμενης διατμητικής αντοχής, όπως παρουσιάζεται αναλυτικότερα ακολούθως.

-Για τις τιμές των επιμέρους παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις καθώς και για τα επιβαλλόμενα φορτία δεν εφαρμόστηκαν οι οριζόμενοι κατά τον Ευρωκώδικα 7 συντελεστές ασφαλείας, καθώς η αριθμητική προσομοίωση αντιστήριξεων βάσει κανονιστικών διατάξεων δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Σχετικά με το ανωτέρω θέμα χρήσιμα στοιχεία παρέχονται αναλυτικά σε σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές (PLAXIS Bulletin, 2004, Simpson, 2003, Cushing et al, 2003, Koudelka, 2003).

-Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναφέρονται σε επιβολή στατικών φορτίων καθώς στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κρίθηκε σκόπιμο να μη συμπεριληφθούν αποτελέσματα σεισμικών αναλύσεων. Σχετικά με το σχεδιασμό αντιστήριξεων υπό σεισμική φόρτιση ιδιαίτερα χρήσιμες προτάσεις δίνονται σε ανάλογες μελέτες (McCullough, 1998).

-Η εκτέλεση ανάδρομων αναλύσεων για την εκτίμηση των βασικών εδαφικών παραμέτρων και τη διερεύνηση της συμπεριφοράς της αντιστήριξης, δεν ήταν εφικτή λόγω της έλλειψης επιτόπου μετρήσεων. Σχετικά με τη χρήση επιτόπου καταγραφών και την εκτέλεση σχετικών ανάδρομων αναλύσεων, χρήσιμα στοιχεία παρέχονται και αναπτύσσονται διεξοδικά σε αντίστοιχες βιβλιογραφικές αναφορές (Gue et al, 1990, Tan, 1997, Teparaksa et al, 1999, Thasnanipan et al, 1999).

Βάσει των παραπάνω, διαπιστώνεται πως κατά την αριθμητική ανάλυση των αντιστήριξεων παρέχονται πολλαπλές επιλογές προσομοίωσης του προβλήματος, ανάλογα με τις αντίστοιχες δυνατότητες του χρησιμοποιούμενου λογισμικού αλλά και την εμπειρία του χρήστη.

Ως εκ τούτου, η πραγματοποίηση εκτεταμένων παραμετρικών μελετών με σκοπό τη διερεύνηση της επιρροής βασικών παραμέτρων στα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων (ροπές και τέμνουσες δυνάμεις αντιστήριξης, καθιζήσεις ελεύθερης επιφάνειας κ.λπ.) και η εν συνεχεία εξαγωγή σχετικών συμπερασμάτων, κρίνεται αναγκαία.

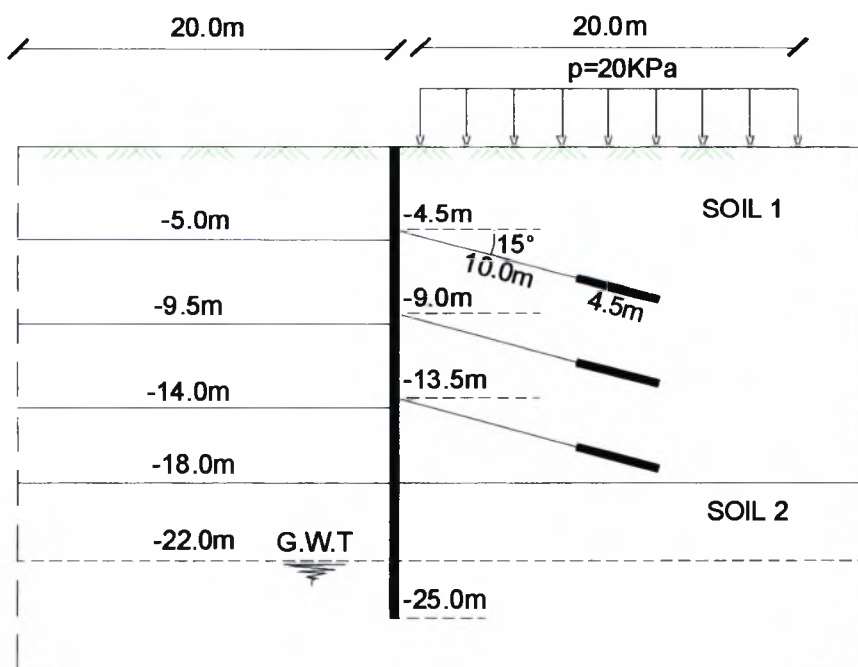
3.3 Περιγραφή Προβλήματος

3.3.1 Γεωμετρία και στάδια ανάλυσης

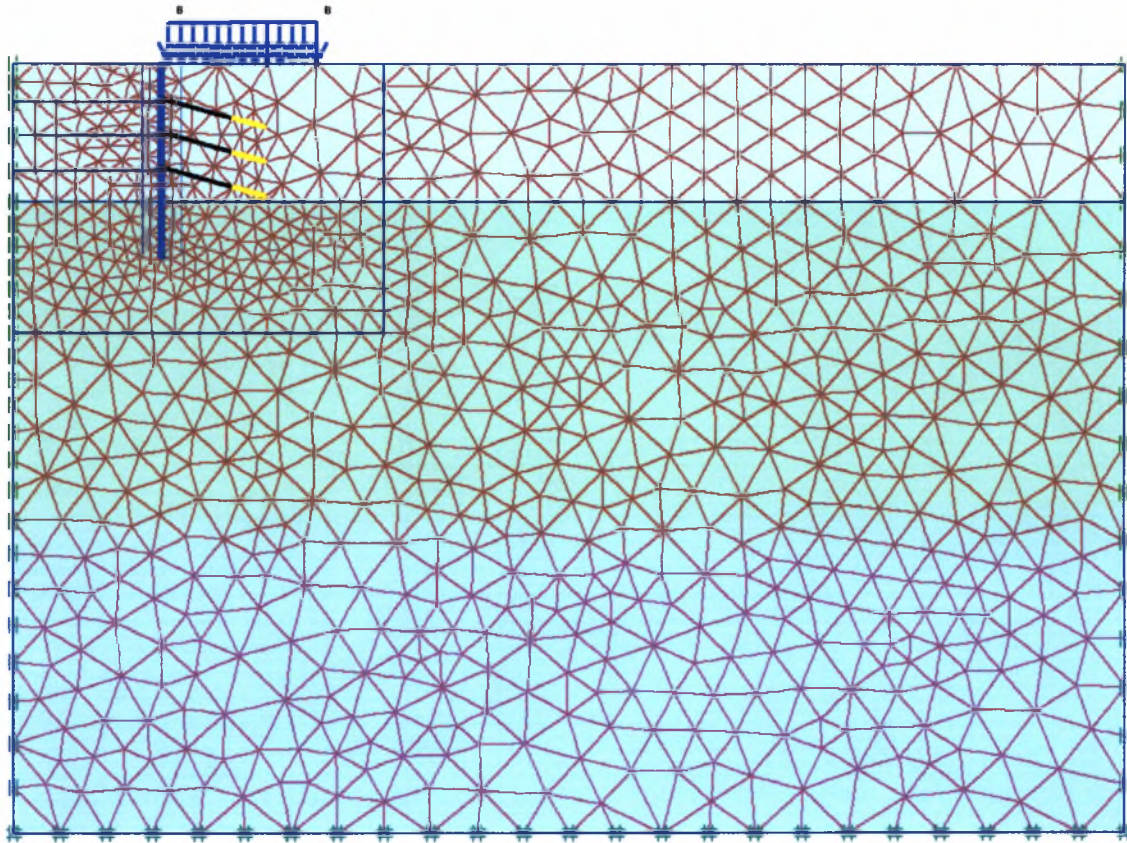
Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του προβλήματος του εξετάσθηκε δίνονται στο Σχήμα 3.1. Συνοπτικά αναφέρεται πως εξετάσθηκε η συμπεριφορά αντιστήριξης κατακόρυφου μετώπου ανοικτής εκσκαφής συνολικού βάθους 18,0m. Η αντιστήριξη συνίσταται από έγχυτους φρεατοπασσάλους μήκους 25,0m και τρεις σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων ($L_{o\lambda}=10,0m$, $L_{\pi}=4,5m$).

Επίσης, στην επιφάνεια του εδάφους επιβάλλεται ομοιόμορφο συνεχές φορτίο $P=20kPa$ έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη η επιρροή των υφιστάμενων φορτίων.

Ο κάρναβος των πεπερασμένων στοιχείων που εφαρμόσθηκε κατά την παραμετρική μελέτη του προβλήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 1688 τριγωνικά στοιχεία 15 κόμβων και 9 σημείων ολοκλήρωσης, με αυξημένη πυκνότητα στην περιοχή της αντιστήριξης όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο ως άνω σχήμα.



Σχήμα 3.1. Γεωμετρικά δεδομένα εκσκαφής



Σχήμα 3.2. Προτεινόμενος κάρναβος πεπερασμένων στοιχείων

Η υπολογιστική διαδικασία που εφαρμόστηκε για την προσομοίωση της συμπεριφοράς και της κατασκευαστικής ακολουθίας της αντιστήριξης, αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια :

Στάδιο 0 :Υπολογισμός αρχικού πεδίου τάσεων ($\sigma_v = \gamma \cdot z$, $\sigma_H = K_o \cdot \sigma_v$, $K_o = 1 - \sin\phi$).

Στάδιο 1: Επιβολή του κατανεμημένου φορτίου $P=20\text{kPa}$ στην επιφάνεια του εδάφους.

Στάδιο 2: Μηδενισμός των μετακινήσεων λόγω των προηγούμενων σταδίων και ενεργοποίηση του στοιχείου αντιστήριξης.

Τονίζεται, πως με τον τρόπο αυτό αγνοείται η επιρροή της κατασκευής του στοιχείου αντιστήριξης στο υφιστάμενο εντατικό πεδίο (π.χ. η χαλάρωση του εδάφους στη θέση του διαφράγματος). Προς απλοποίηση της ανάλυσης, η κατασκευή του στοιχείου αντιστήριξης λαμβάνεται υπόψη θεωρώντας μόνον το αυξημένο ειδικό βάρος των χρησιμοποιούμενων στοιχείων δοκού (έναντι των αντίστοιχων προϋπαρχόντων εδαφικών).

Στάδιο 3: Απενεργοποίηση των εδαφικών στοιχείων στην περιοχή της εκσκαφής έως τη στάθμη $-5,0\text{m}$.

Στάδιο 4: Ενεργοποίηση της πρώτης σειράς των αγκυρώσεων με ταυτόχρονη επιβολή τάσης προέντασης $P_{1\pi}=200\text{kN}$ (στάθμη κεφαλής αγκυρώσεων $-4,5\text{m}$).

Στάδιο 5: Απενεργοποίηση των εδαφικών στοιχείων έως τη στάθμη $-9,5\text{m}$.

Στάδιο 6: Ενεργοποίηση της δεύτερης σειράς των αγκυρώσεων με ταυτόχρονη επιβολή τάσης προέντασης $P_{2\pi}=200\text{kN}$ (στάθμη κεφαλής αγκυρώσεων $-9,0\text{m}$).

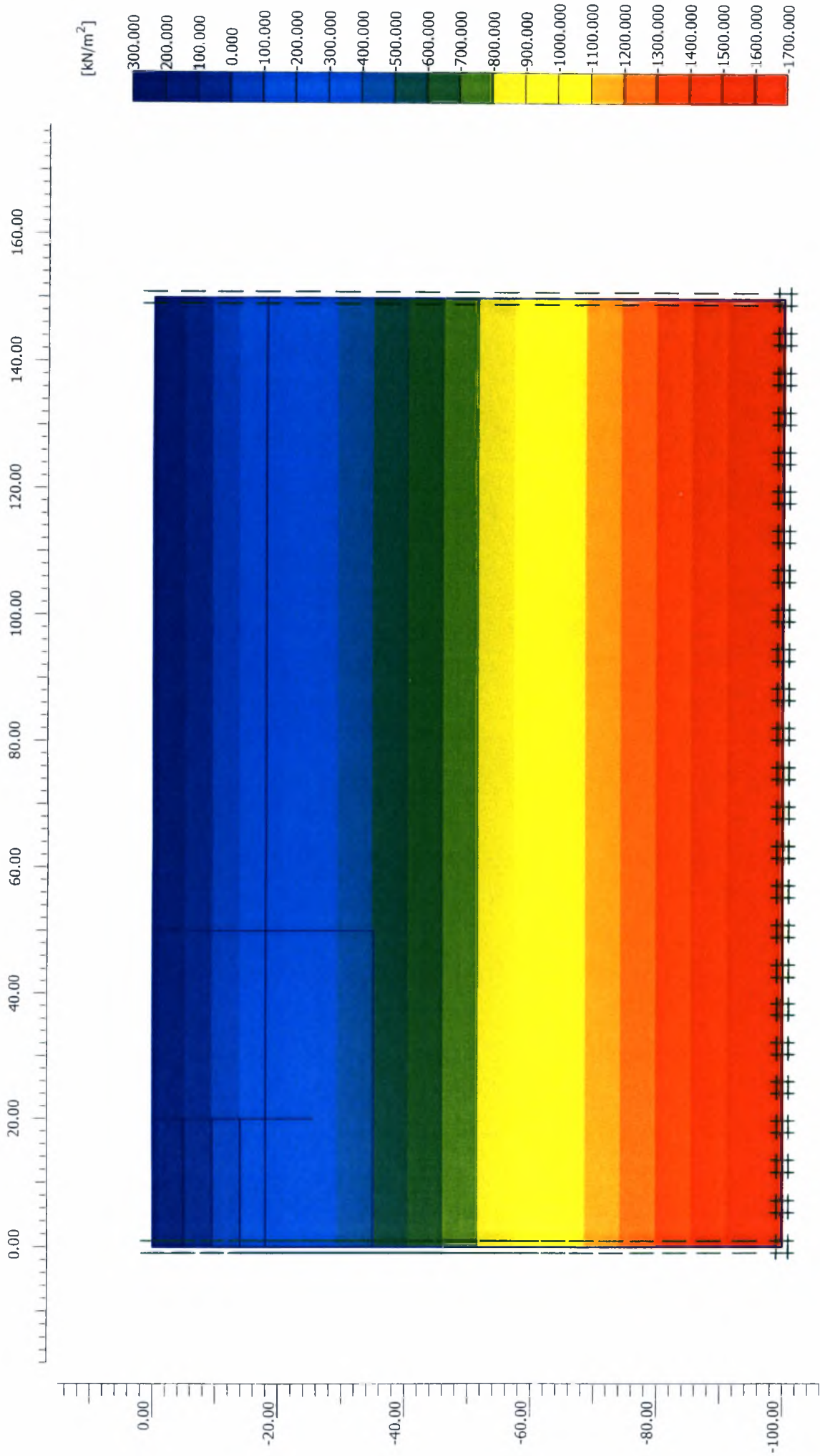
Στάδιο 7: Απενεργοποίηση των εδαφικών στοιχείων έως τη στάθμη $-14,0\text{m}$.

Στάδιο 8: Ενεργοποίηση της τρίτης σειράς των αγκυρώσεων με ταυτόχρονη επιβολή τάσης προέντασης $P_{3\pi}=220\text{kN}$ (στάθμη κεφαλής αγκυρώσεων $-13,5\text{m}$).

Στάδιο 9: Απενεργοποίηση των εδαφικών στοιχείων έως το πέρας της εκσκαφής (στάθμη $-18,0\text{m}$).

Στάδιο 10: Εύρεση του συντελεστή συνολικής ευστάθειας της εκσκαφής με τη μέθοδο της ταυτόχρονης μείωσης της διατμητικής αντοχής των στοιχείων (ϕ -c reduction method).

Τα ανωτέρω στάδια περιγράφονται αναλυτικά στα ακόλουθα σχήματα.

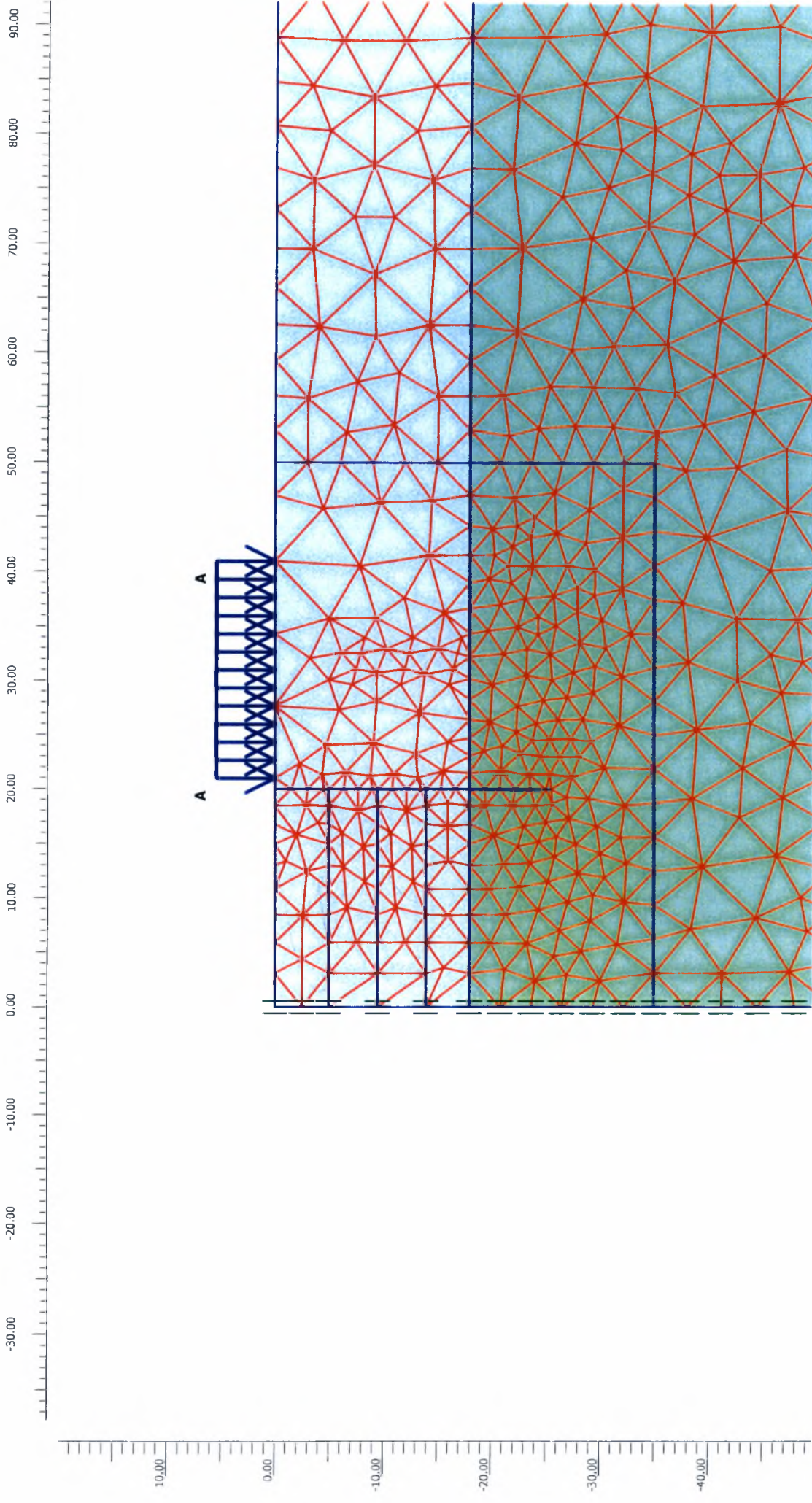


Mean stresses
 Extreme mean stress $-1,66 \cdot 10^3$ kN/m²

Project description

Στάδιο 0 (Αρχικό πεδίο τάσεων)

Project name	MC2	Step	2	Date	23/04/07	User name	
--------------	-----	------	---	------	----------	-----------	--



Project description

Στάδιο 1 (Επιβολή φορτίου $P=20\text{kPa}$)

Project name

MC2

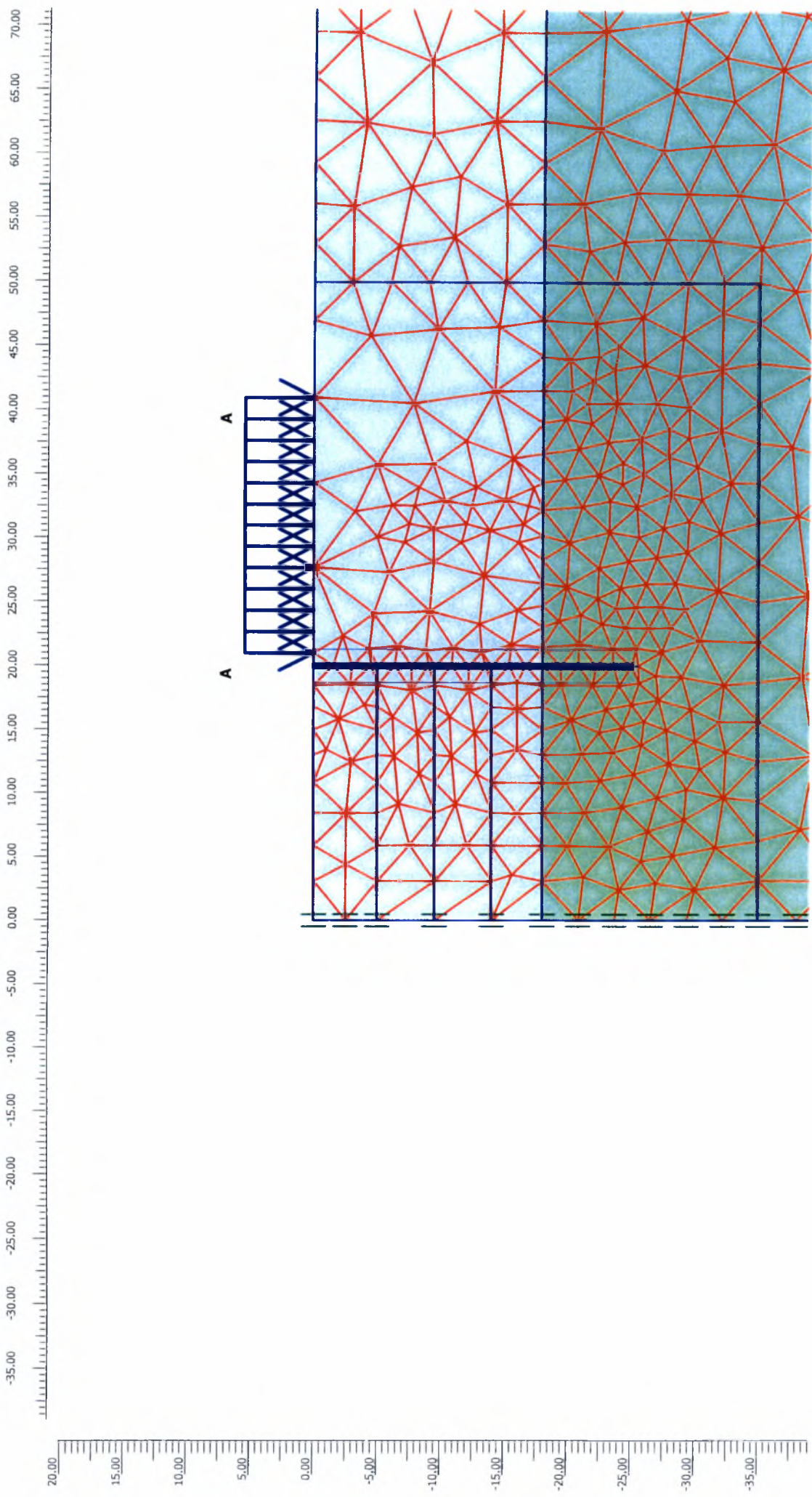
Step

5

Date

23/04/07

User name



Project description

Στάδιο 2 (Ενεργοποίηση μετώπου αντιστήριξης)

Project name

MC2

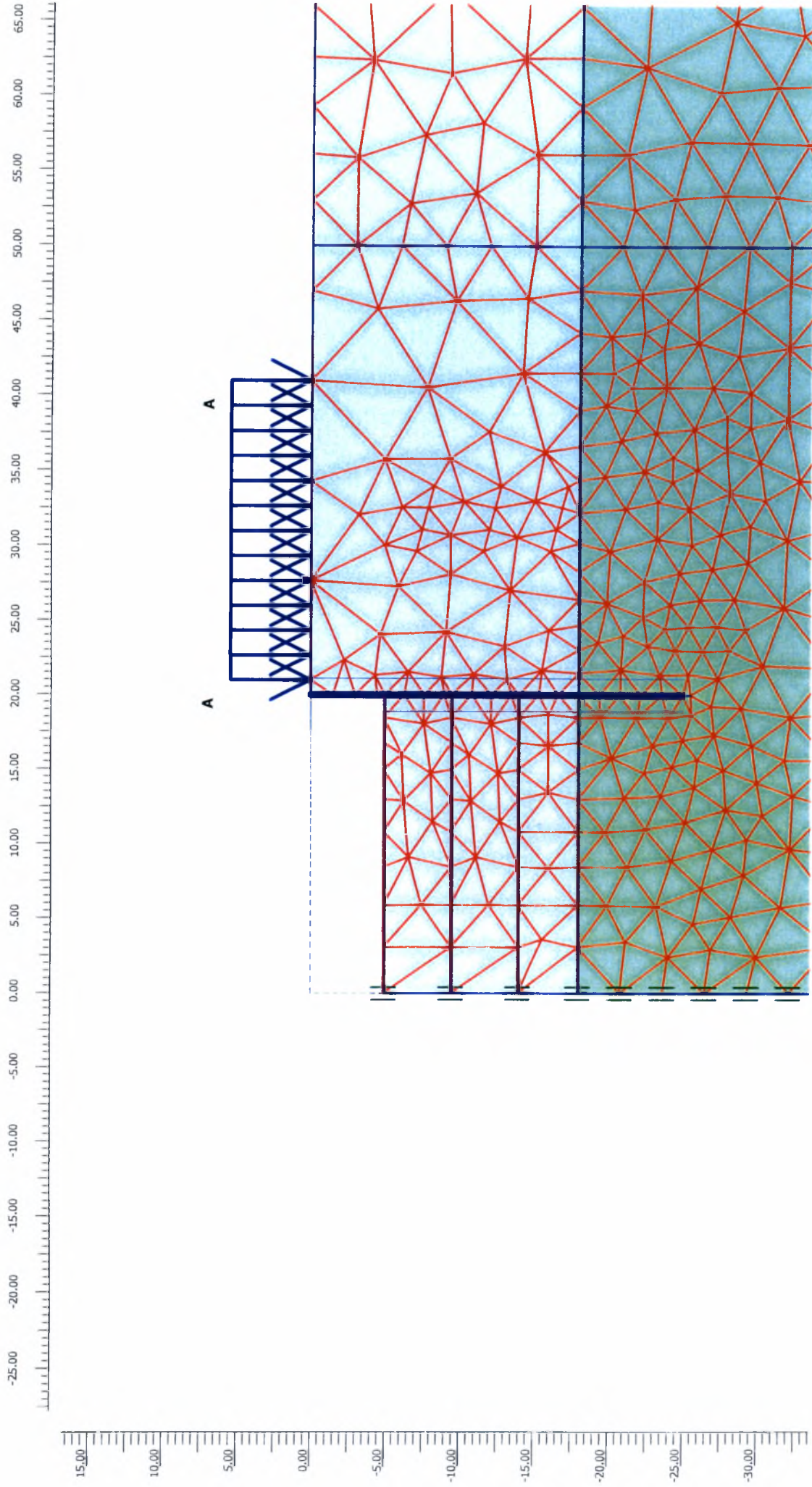
Step

10

Date

23/04/07

User name



Project description

Στάδιο 3. (Εκσκαφή έως την στάθμη -5,0m)

Project name

MC2

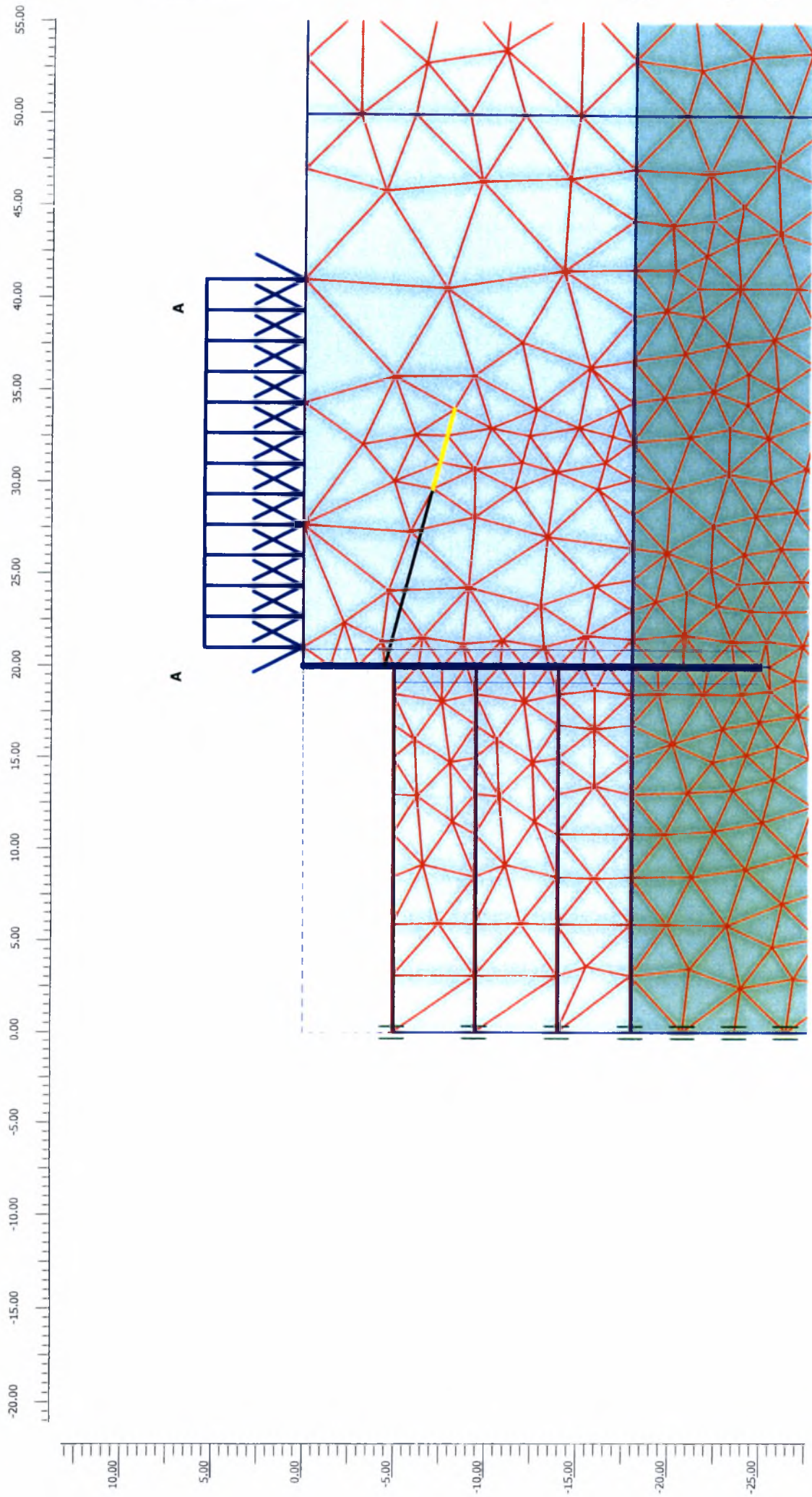
Step

22

Date

23/04/07

User name



Project description

Στάδιο 4. (Εφαρμογή 1ης σειράς αγκυρώσεων)

Project name

MC2

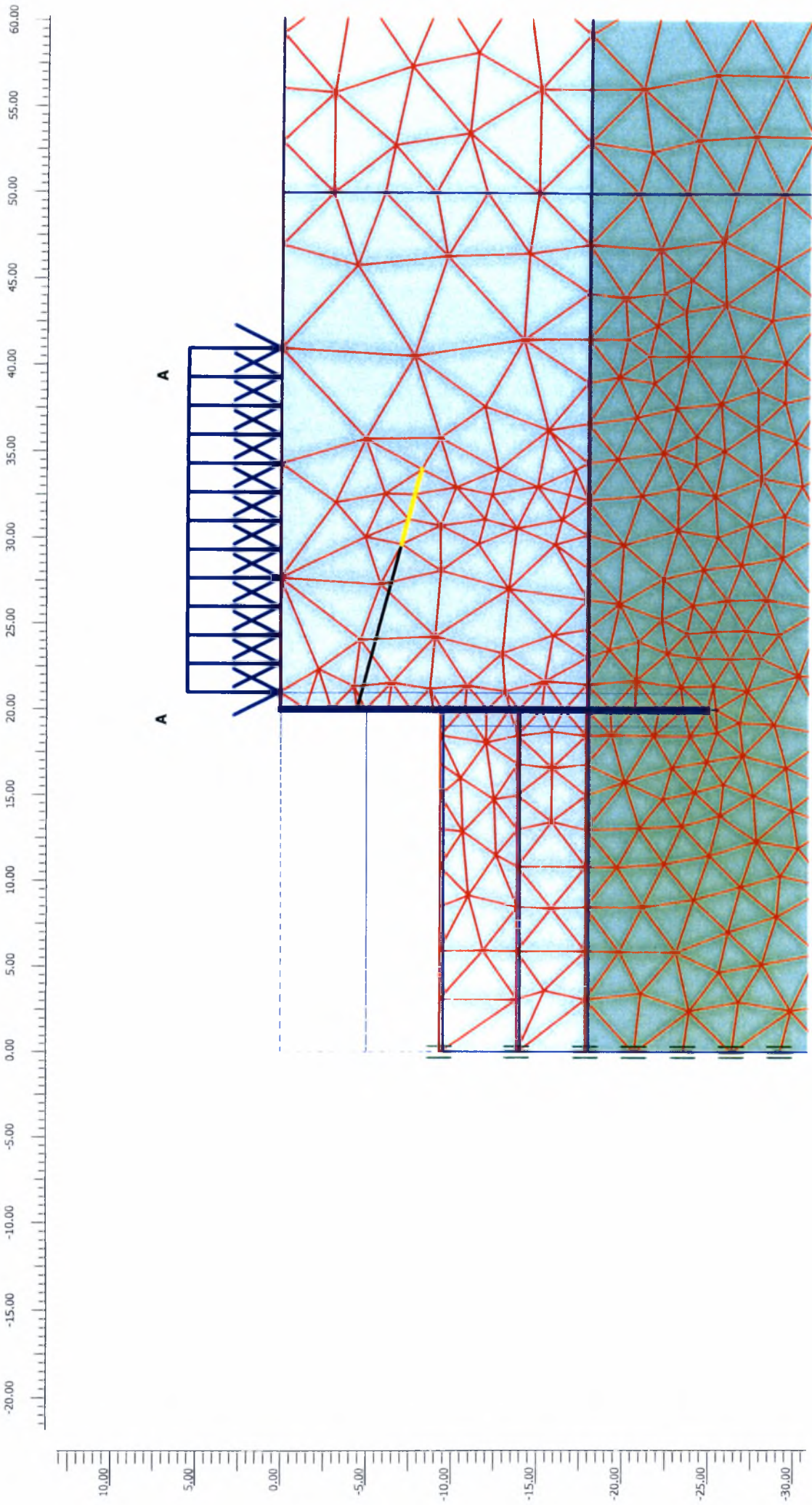
Step

26

Date

23/04/07

User name



Project description

Στάδιο 5. (Εκσκαφή έως την στάθμη -9,5m)

Project name

MC2

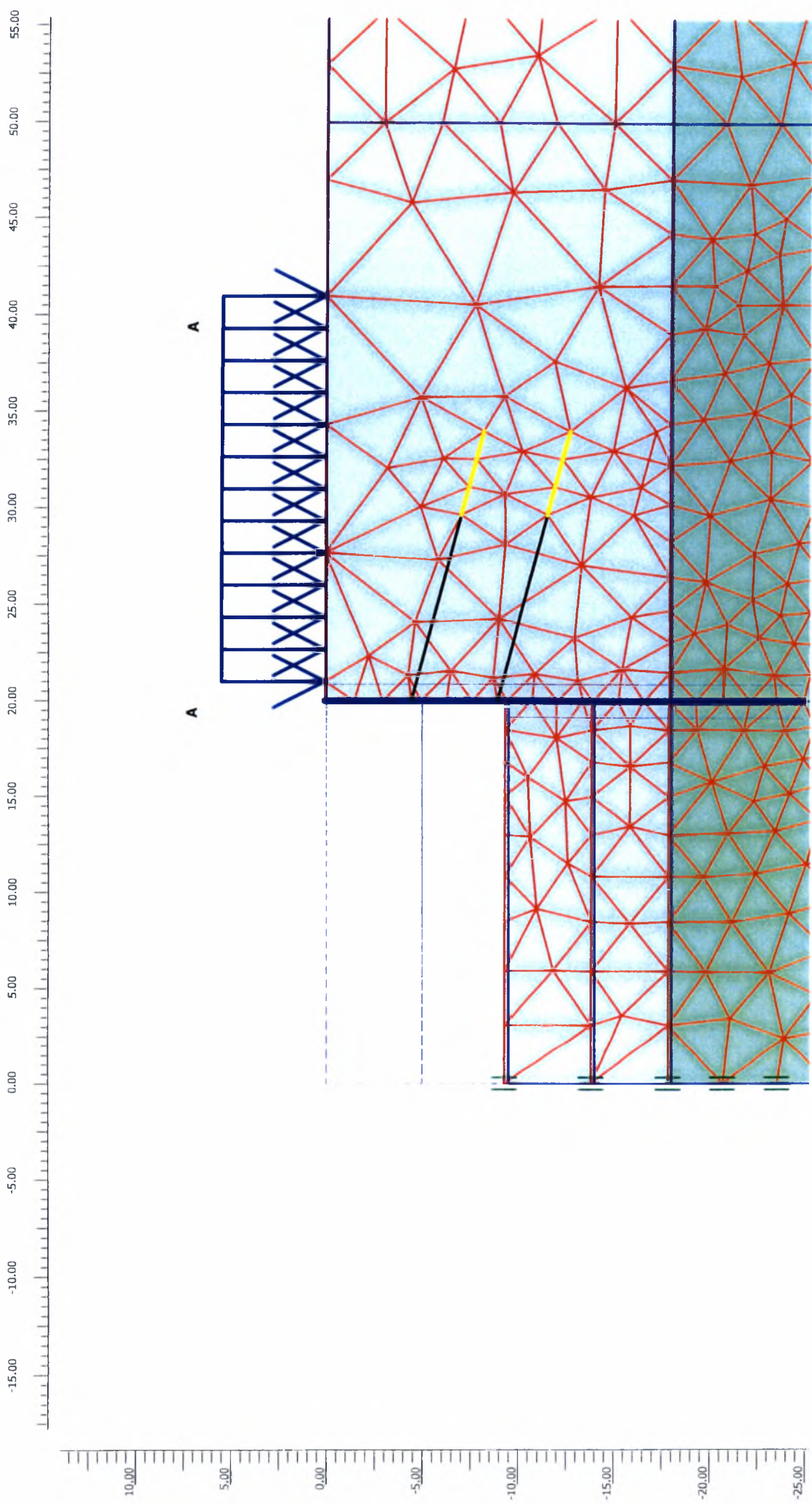
Step

39

Date

23/04/07

User name



Project description

Στάδιο 6. (Εφαρμογή 2ης σειράς αγκυρώσεων)

Project name

MC2

Step

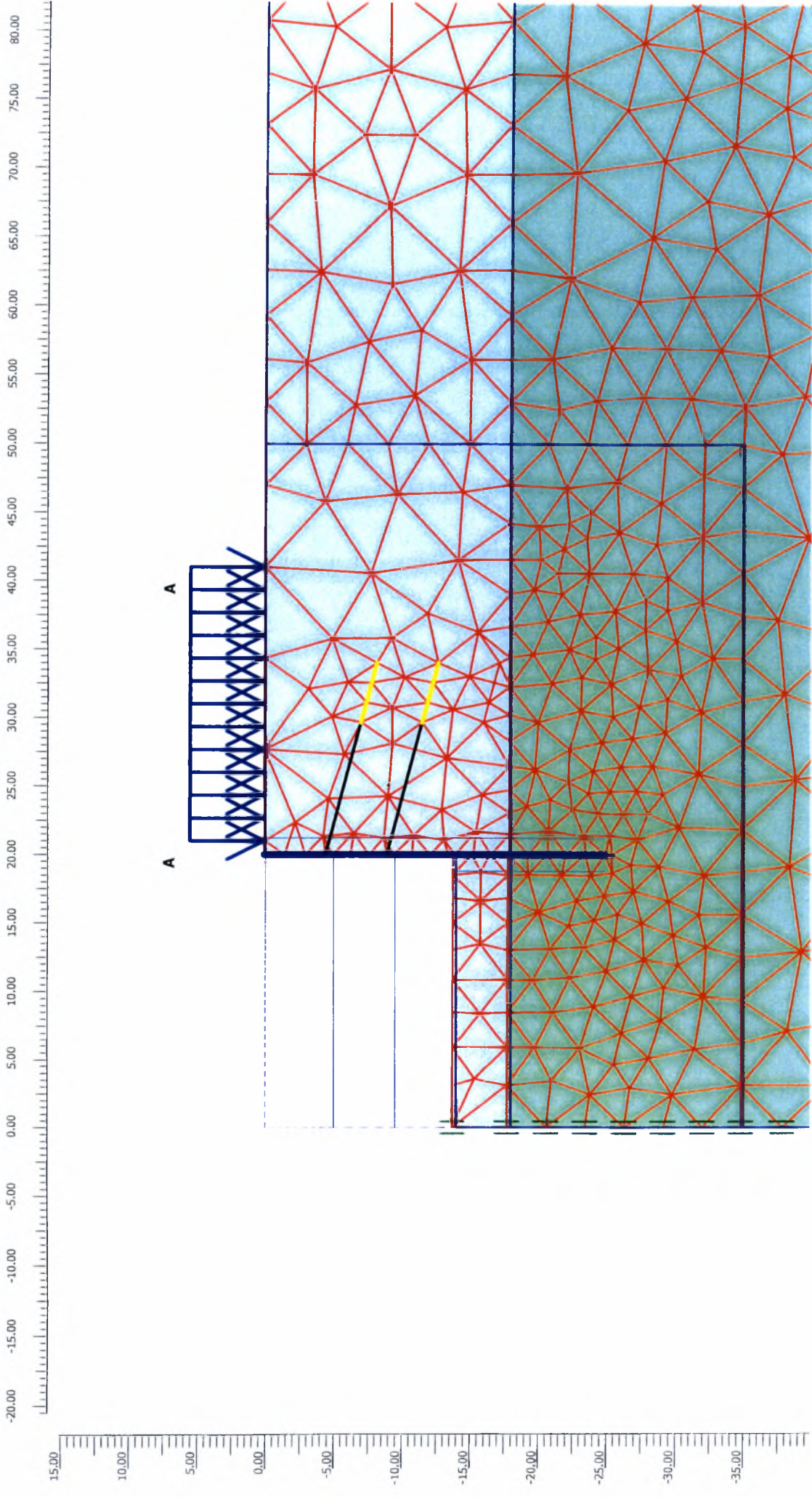
42

Date

23/04/07

User name





Deformed mesh

Extreme total displacement $307,96 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements at true scale)

Project description

Στάδιο 7. (Εκσκαφή έως την στάθμη -14,0m)

Project name

MC2

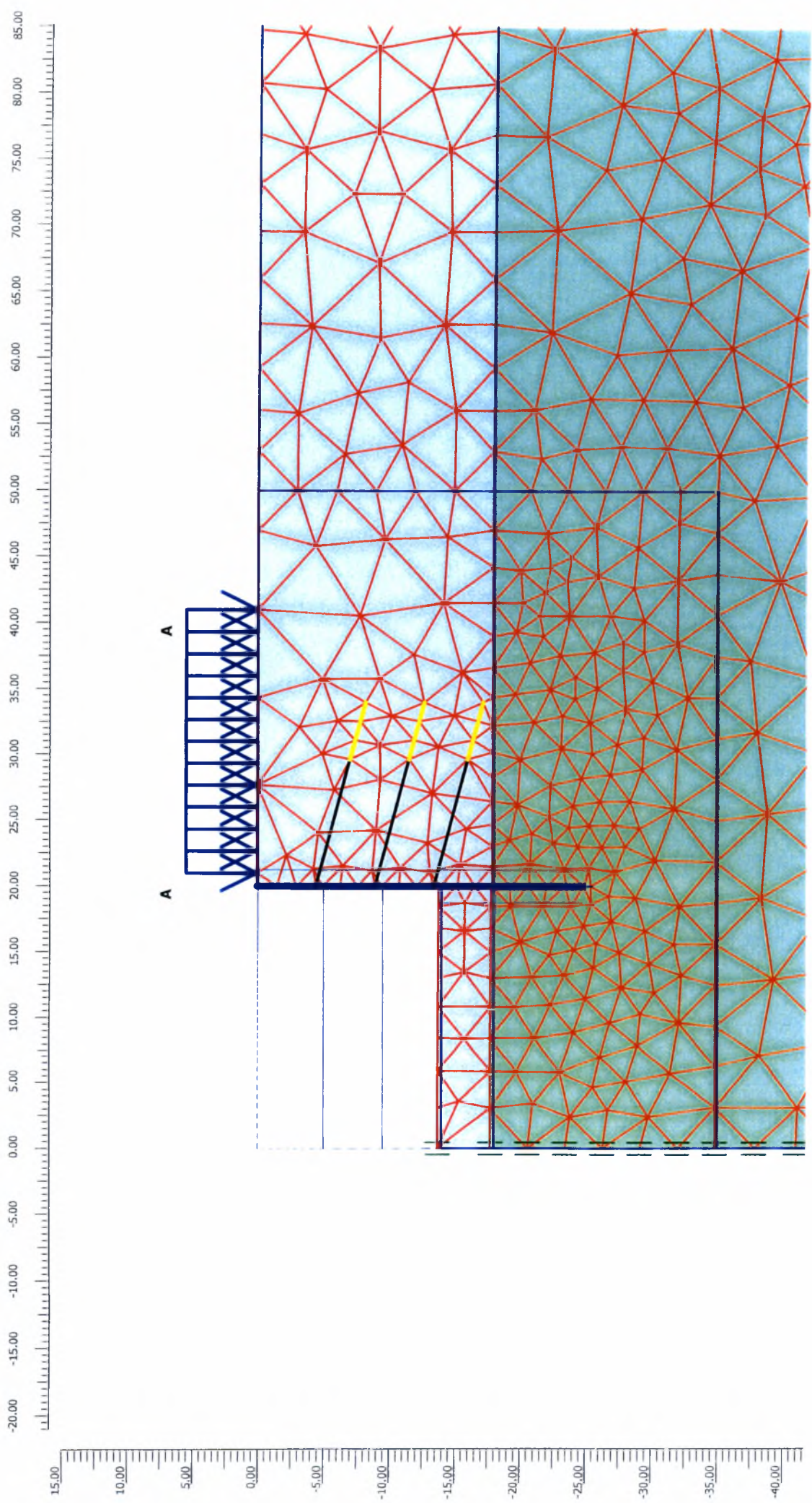
Step

55

Date

23/04/07

User name



Project description

Στάδιο 8. (Εφαρμογή 3ης σειράς αγκυρώσεων)

Project name

MC2

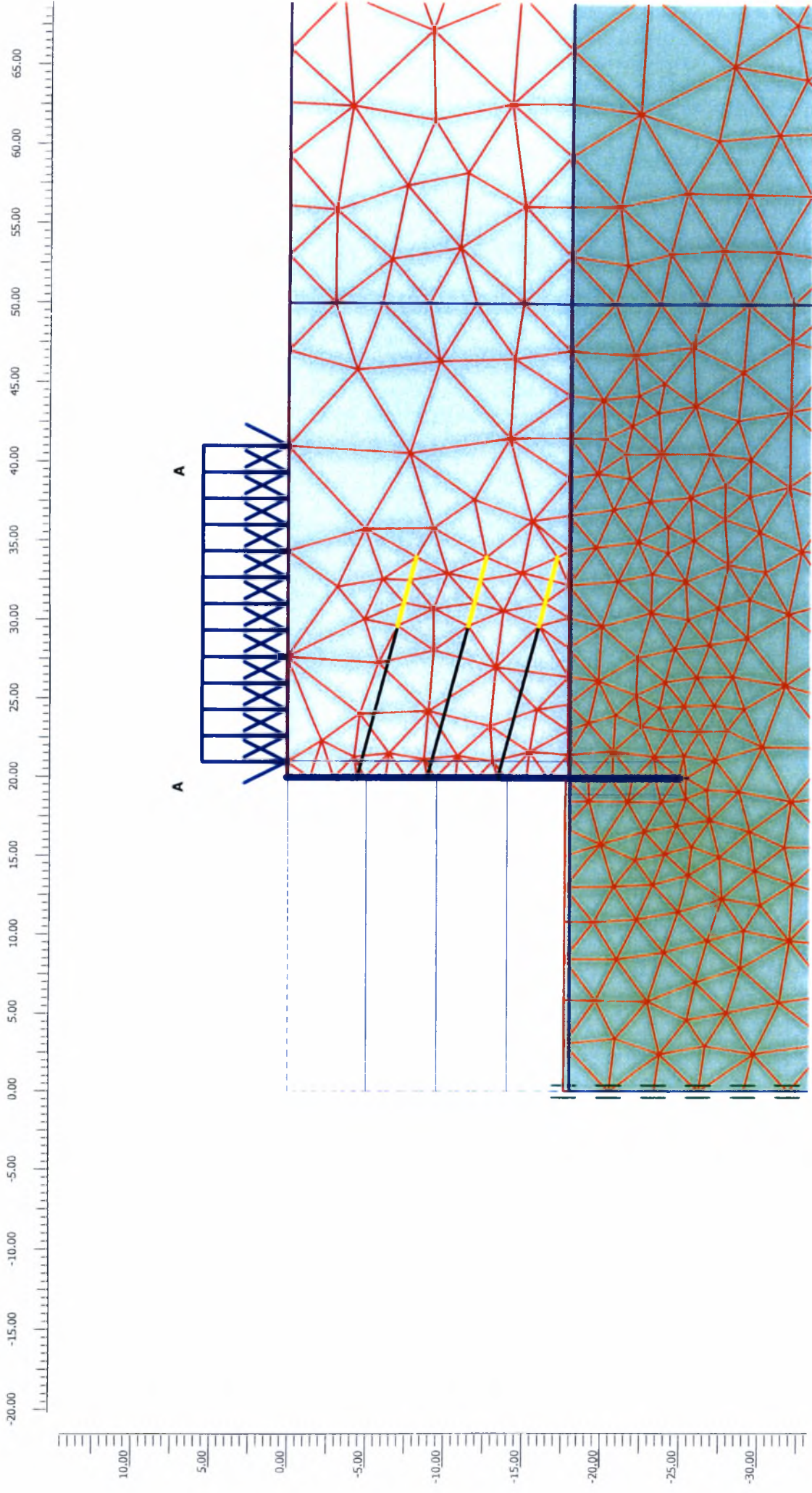
Step

57

Date

23/04/07

User name



Project description

Στάδιο 9. (Εκσκαφή έως την στάθμη -18,0m)

Project name

MC2

Step

70

Date

23/04/07

User name

3.3.2 Τιμές παραμέτρων

Οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο σύνολο των επιλύσεων παρέχονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 3.1.

Διευκρινιστικά αναφέρεται πως η παράμετρος R που δίνεται στην τελευταία σειρά του ανωτέρου πίνακα, αποτελεί το μειωτικό συντελεστή της διατμητικής αντοχής των στοιχείων διεπιφάνειας, συναρτήσει της αντίστοιχης των γειτονικών εδαφικών στοιχείων ($c_{\text{διεπ}} = R \cdot c_{\text{εδαφ}}$, $\tan\phi_{\text{διεπ}} = R \cdot \tan\phi_{\text{εδαφ}}$, $0 < R \leq 1$).

Στις περιπτώσεις χρήσης εδαφικού μοντέλου με κρατυνόμενη συμπεριφορά υπερβολικού τύπου και σχετικά με την εκτίμηση των αναγκαίων τιμών του μέτρου ελαστικότητας, θεωρήθηκαν τα εξής: $E_{ur}^{ref} = 3 \cdot E_{50}^{ref}$ και $m = 0, 2, 0, 5$.

Περαιτέρω στοιχεία σχετικά με το συγκεκριμένο εδαφικό μοντέλο παρέχονται διεξοδικά σε ανάλογες βιβλιογραφικές αναφορές (Schanz et al, 1999).

Επίσης, κατά την εφαρμογή του ελαστικού - τελείως - πλαστικού εδαφικού μοντέλου για την εκτίμηση του "ισοδύναμου" μέτρου ελαστικότητας, χρησιμοποιήθηκε στη μέση στάθμη κάθε εδαφικής στρώσης η Εξίσωση 1:

$$E_{\text{ισοδ.}} = E_{50,ref} \cdot (\sigma'_v / P_{ref})^m \quad (1)$$

Τέλος, στο σύνολο των εξεταζόμενων περιπτώσεων θεωρήθηκε ως κριτήριο διαρροής το αντίστοιχο των Mohr-Coulomb.

Σχετικά με το κατακόρυφο στοιχείο της αντιστήριξης αναφέρεται πως αποτελείται από μία σειρά έγχυτων φρεατοπασσάλων $\Phi 100\text{cm}/250\text{cm}$. Οι τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν την απόκριση του ανωτέρου στοιχείου καθώς και των αντίστοιχων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των αγκυρώσεων και της πάκτωσής τους δίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.1. Τιμές εδαφικών παραμέτρων

Παράμετρος	Έδαφος 1	Έδαφος 2
γ (kN/m ³)	20,5	21,0
c_{ref} (kPa)	1	1
ϕ (°)	33	37
ψ' (°)	0	4
E_{s0}^{ref} (kPa)	30000	45000
E_{oed}^{ref} (kPa)	21000	31500
E_{ur}^{ref} (kPa)	90000	135000
ν_{ur} (-)	0,30	0,30
m (-)	0,20	0,50
P_{ref} (kPa)	100	100
R_{inter} (-)	0,50/0,67/1,00	0,50/0,67/1,00

Πίνακας 3.2. Τιμές παραμέτρων

Παράμετρος	Στοιχείο δοκού	Στοιχείο αγκύρ.	Στοιχείο πάκτωσης
EA ($\times 10^5$)	70,9 (kN/m)	159,2 (kN)	4,0 (kN/m)
EI ($\times 10^5$)	4,0 (kNm ² /m)	-	-
L_{z-z} (m)	2,5	2,5	2,5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα & Προτάσεις

4.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εξετάστηκαν οι ακόλουθες βασικές περιπτώσεις:

•Περίπτωση A: Χρήση υπερβολικού τύπου εδαφικού μοντέλου με τιμή μειωτικού συντελεστή διατμητικής αντοχής των στοιχείων διεπιφάνειας ίση με $R=0,50$ (δηλ. $\delta=\varphi/2$, όπου δ η γωνία μεταξύ του διανύσματος των ενεργητικών ωθήσεων και του κάθετου μετώπου του στοιχείου αντιστήριξης).

•Περίπτωση B: Χρήση υπερβολικού τύπου εδαφικού μοντέλου με τιμή $R=0,67$ ($\delta=2\varphi/3$).

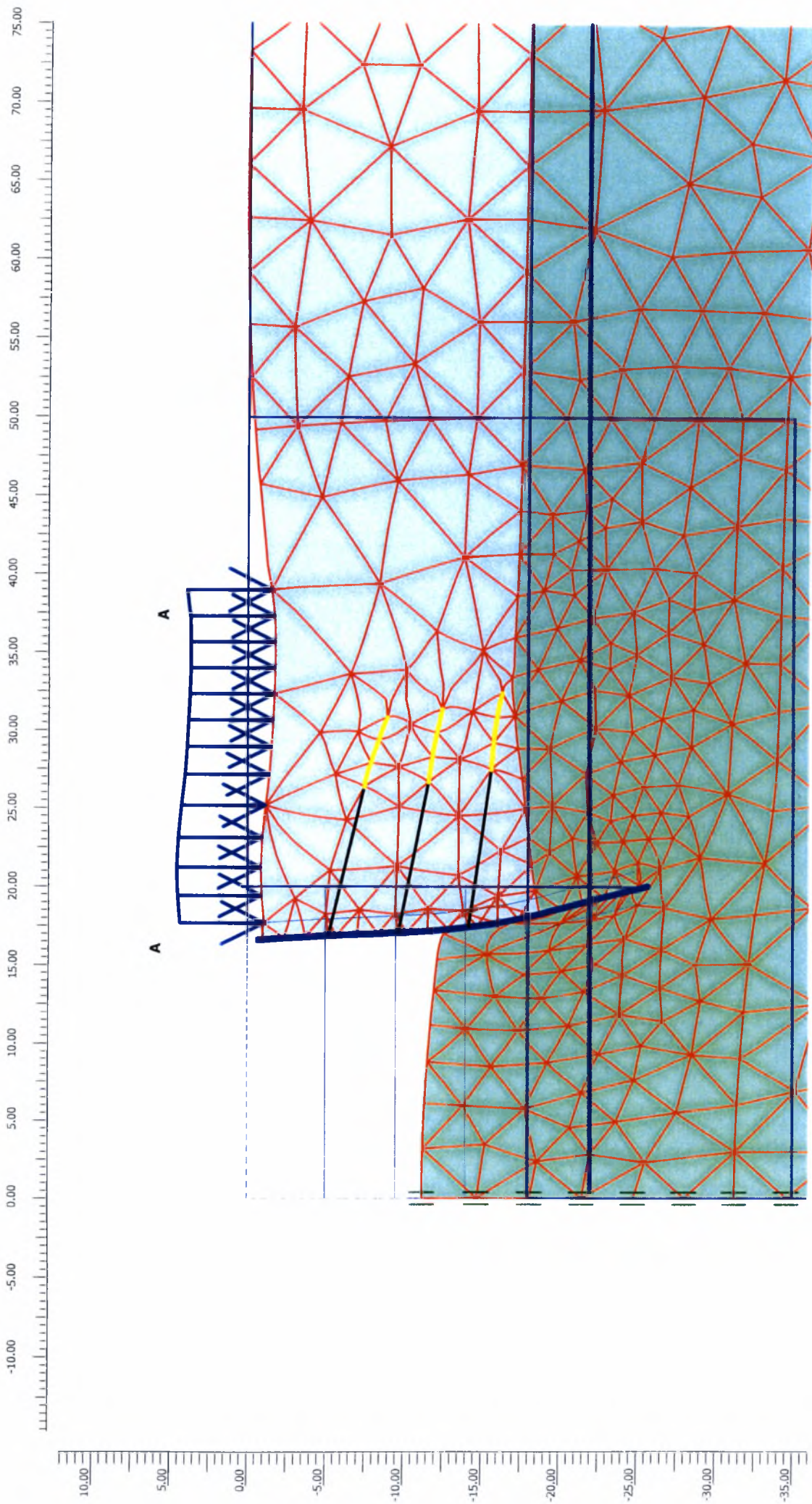
•Περίπτωση C: Χρήση υπερβολικού τύπου εδαφικού μοντέλου με τιμή $R=1,00$ ($\delta=\varphi$).

•Περίπτωση D: Χρήση ελαστικού -τελείως- πλαστικού μοντέλου με τιμή $R=0,67$ και με σταθερή τιμή του μέτρου ελαστικότητας των εδαφικών στοιχείων.

•Περίπτωση E: Χρήση υπερβολικού τύπου εδαφικού μοντέλου με τιμή $R=0,67$ και προσομοίωση του κατακόρυφου στοιχείου αντιστήριξης με εδαφικά στοιχεία γραμμικής ελαστικής συμπεριφοράς, έναντι των στοιχείων δοκού που χρησιμοποιούνται στο σύνολο των προηγούμενων περιπτώσεων.

Ενδεικτικά, στα Σχήματα 4.1-4.11 απεικονίζονται ενδεικτικώς τα εξής (μετά την ολοκλήρωση πτυ Σταδίου 9 της αριθμητικής ανάλυσης):

- Σχήμα 4.1 : ο μηχανισμός παραμόρφωσης της διάταξης της αντιστήριξης,
- Σχήμα 4.2 : οι ολικές μετακινήσεις υπό τη μορφή διανυσμάτων,
- Σχήμα 4.3 : οι ολικές μετακινήσεις υπό τη μορφή ισότιμων καμπύλων,
- Σχήμα 4.4 : οι πλαστικές περιοχές στη θέση του έργου,
- Σχήμα 4.5 : οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις,
- Σχήμα 4.6 : οι ολικές μετακινήσεις του πασσάλου αντιστήριξης,
- Σχήμα 4.7 : το διάγραμμα της καμπτικής ροπής του πασσάλου αντιστήριξης,
- Σχήμα 4.8 : το διάγραμμα της διατμητικής τάσης του πασσάλου αντιστήριξης,
- Σχήμα 4.9 : οι δυνάμεις των αγκυρώσεων του πασσάλου αντιστήριξης,
- Σχήμα 4.10 : οι αξονικές δυνάμεις του πακτωμένου τμήματος των αγκυρώσεων του πασσάλου αντιστήριξης και
- Σχήμα 4.11 : το διάγραμμα των ασκούμενων ωθήσεων επί του πασσάλου.



Project description

Σχήμα 4.1 Μηχανισμός παραμόρφωσης

Project name

HM

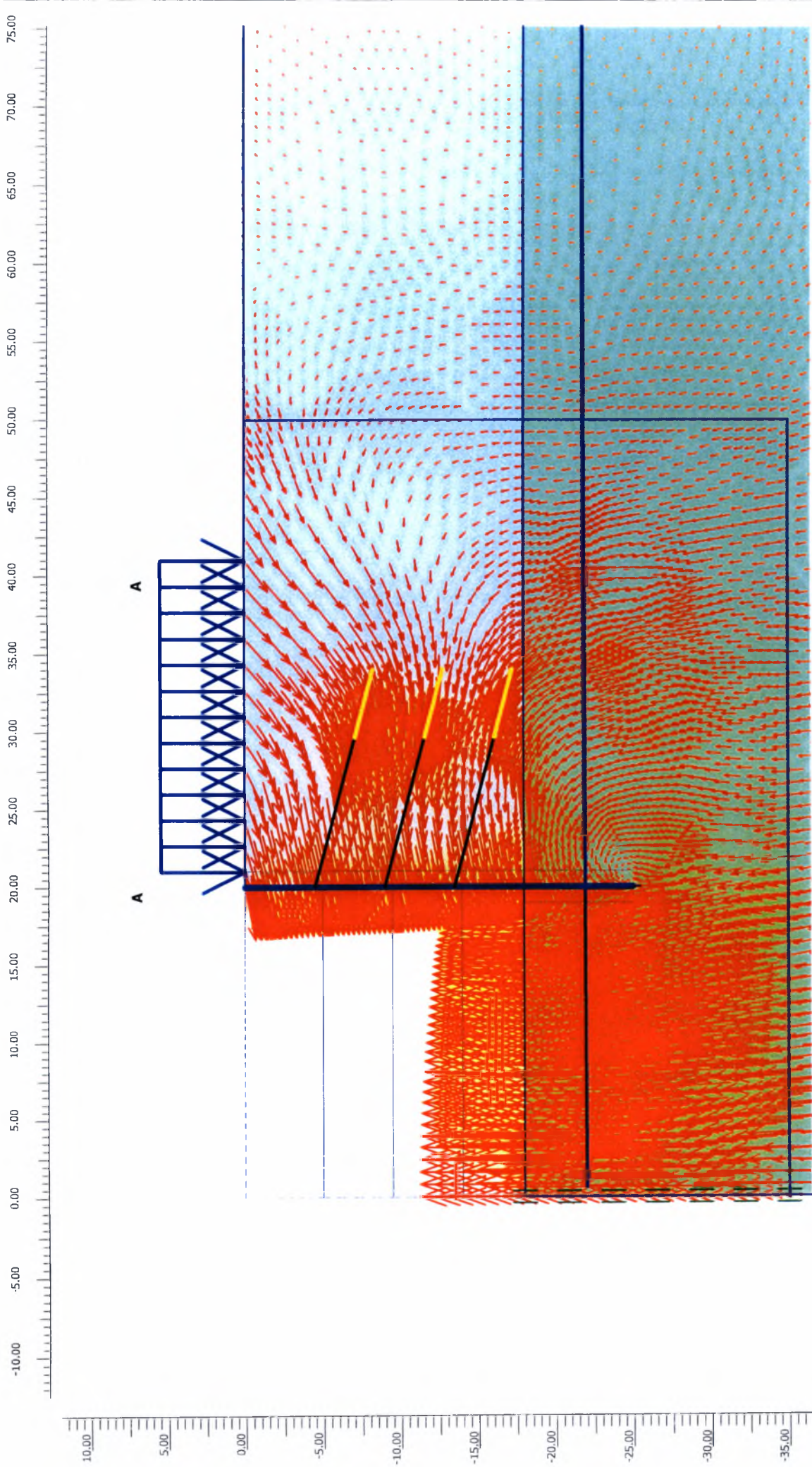
Date

27/04/07

User name

Step

39



Project description

Σχήμα 4.2 Ολικές μετακινήσεις

Project name

HM

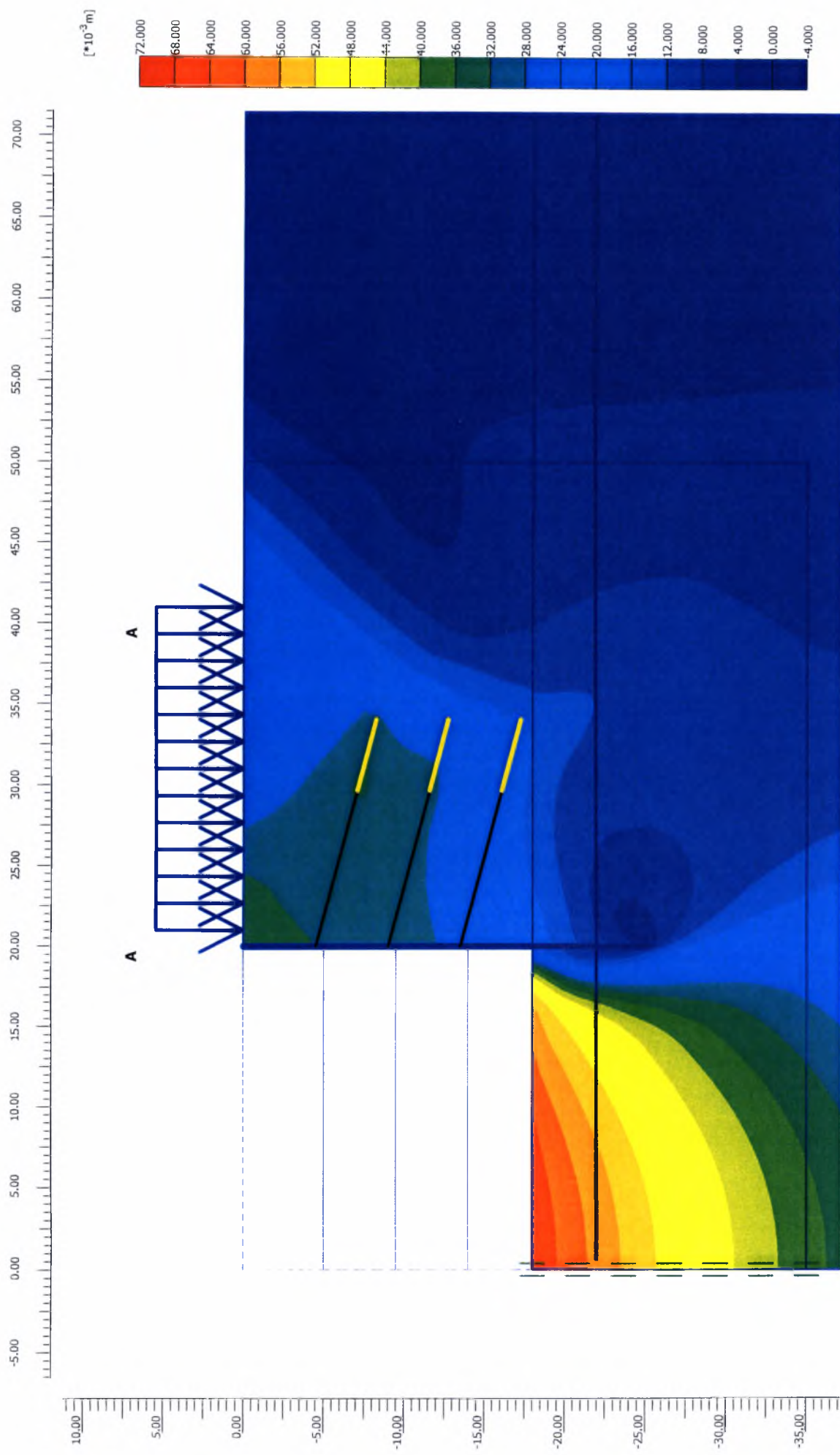
Step

39

Date

27/04/07

User name



Project description

Σχήμα 4.3 Ολικές μετακινήσεις

Project name

HM

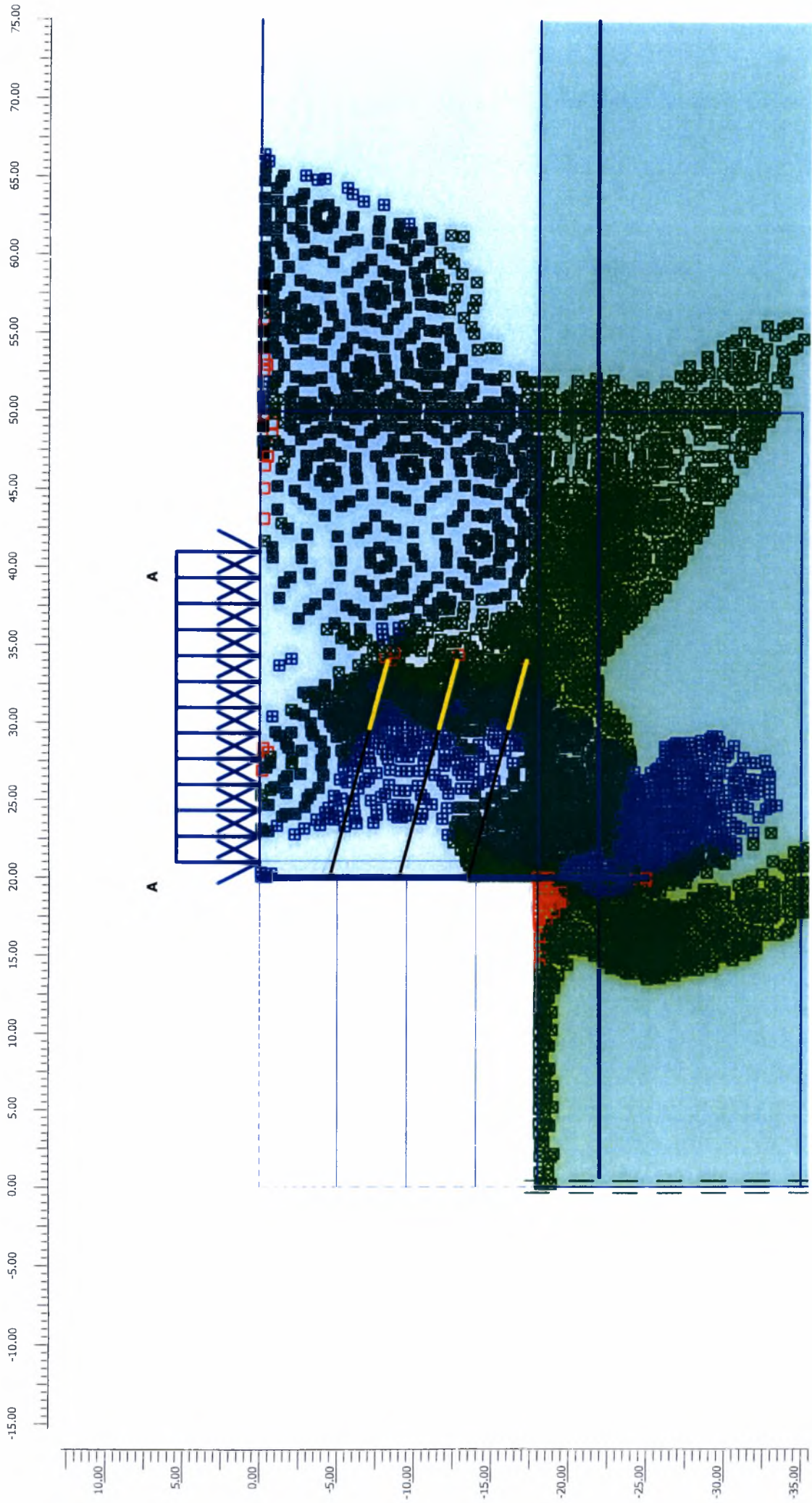
Step

39

Date

27/04/07

User name



Project description

Σχήμα 4.4 Πλαστικές περιοχές

Project name

HM

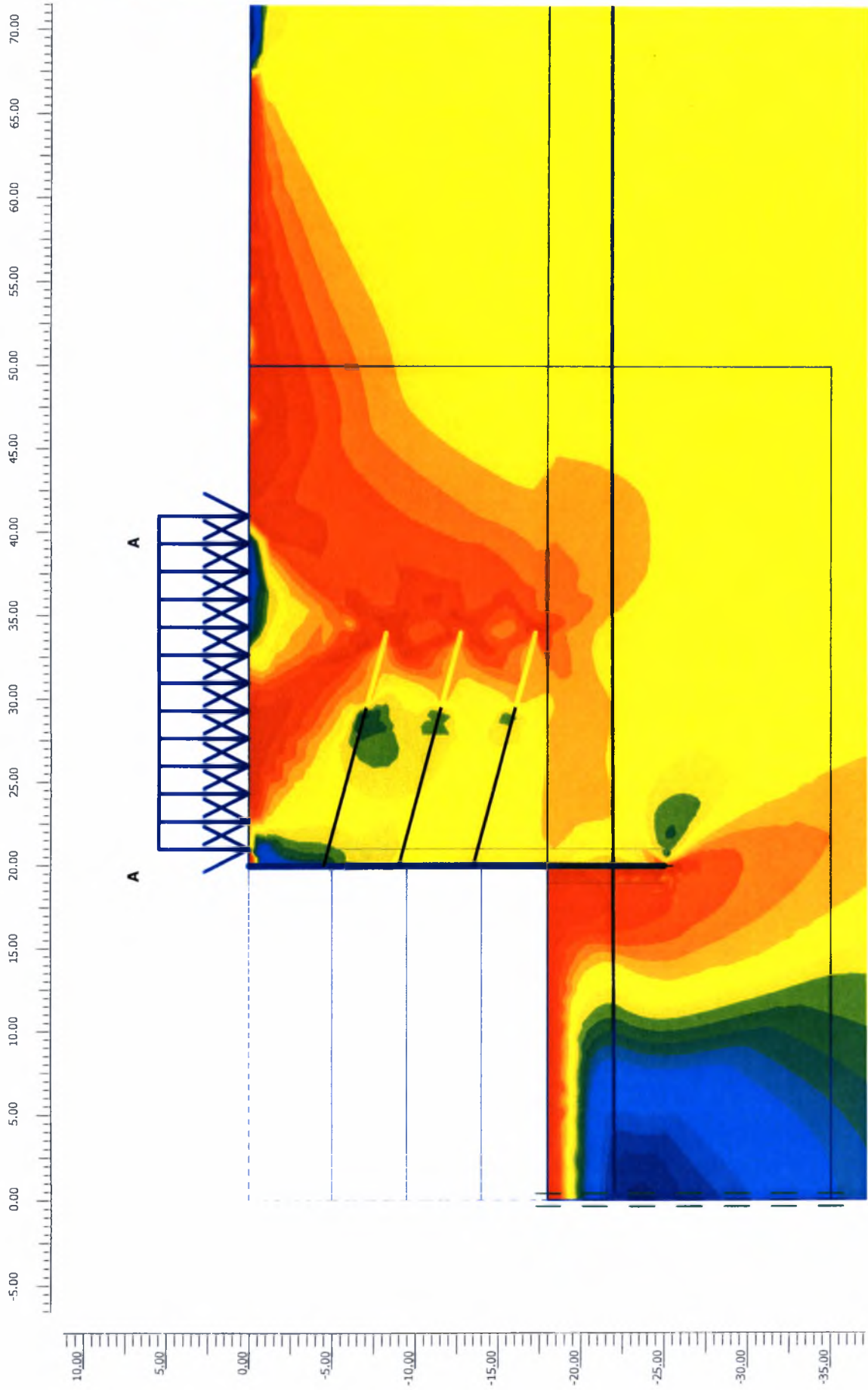
Step

39

Date

27/04/07

User name



Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 1,00

Project description

Σχήμα 4.5 Διατμητικές τάσεις / Διατμητική αντοχή

Project name

HM

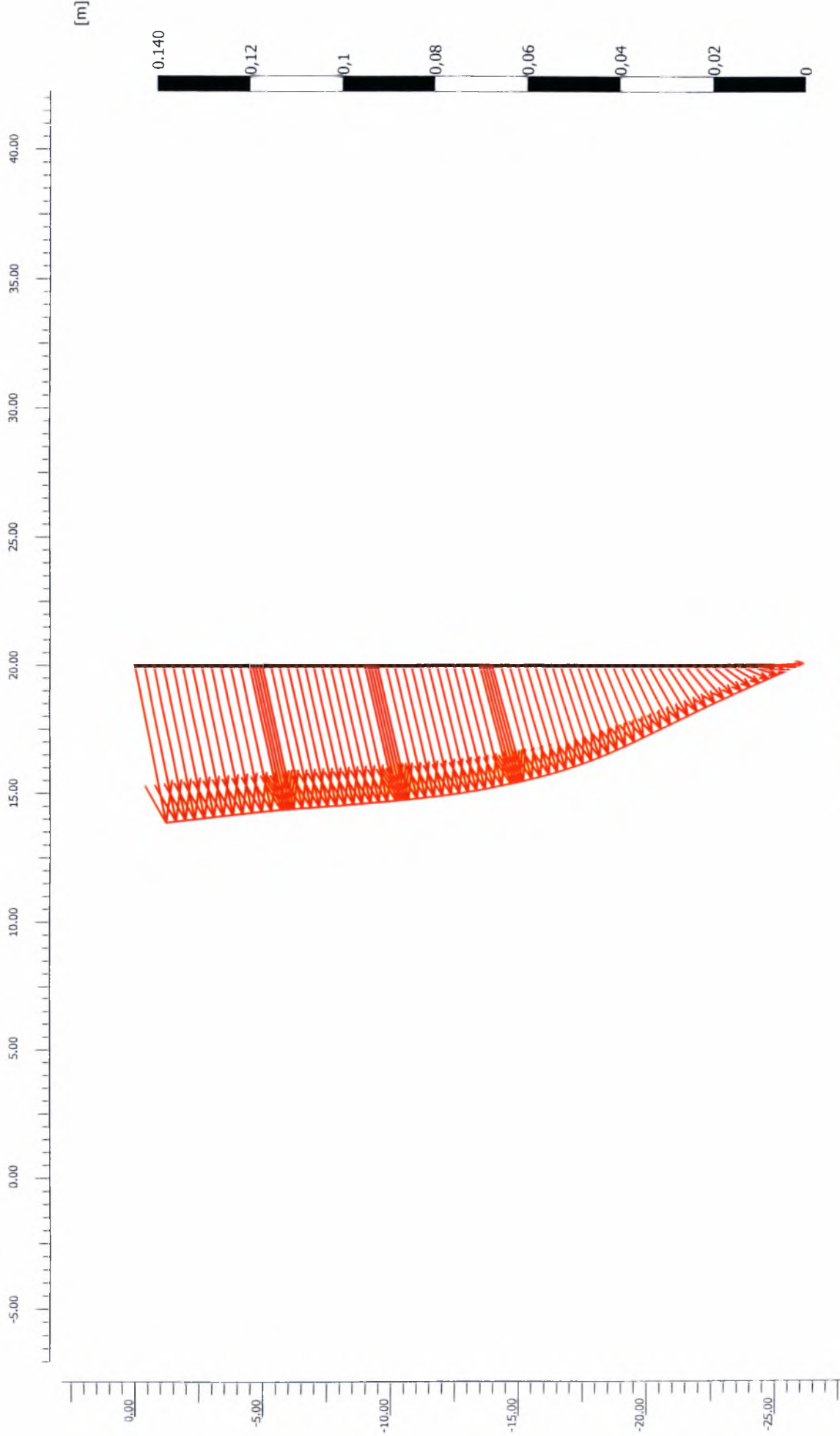
Step

39

Date

27/04/07

User name



Total displacements (Utot)
 Extreme Utot 34,58*10⁻³ m



Project description

Σχήμα 4.6 Ολικές μετακινήσεις πασσάλου αντιστήριξης

Project name

HM

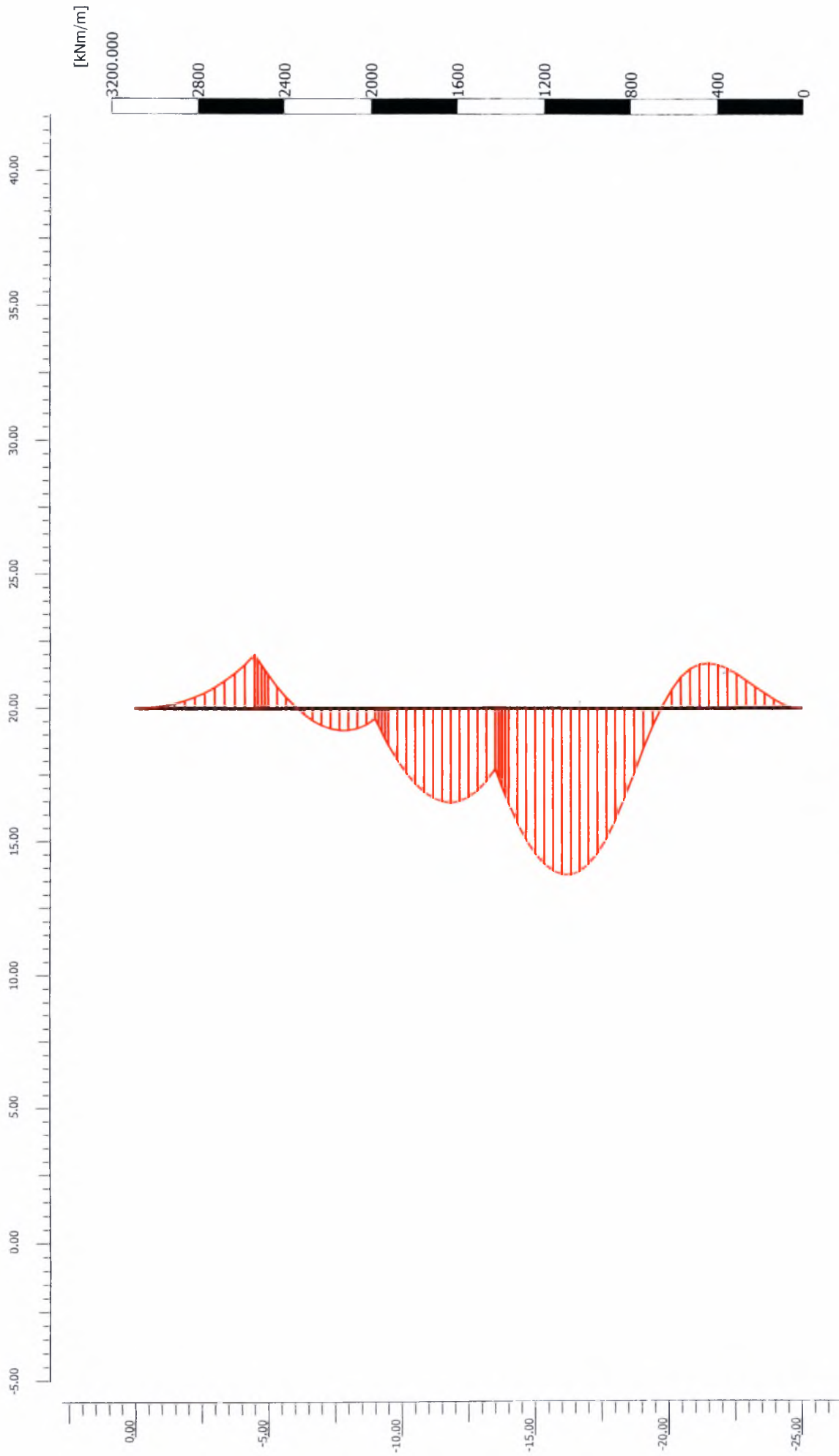
Step

39

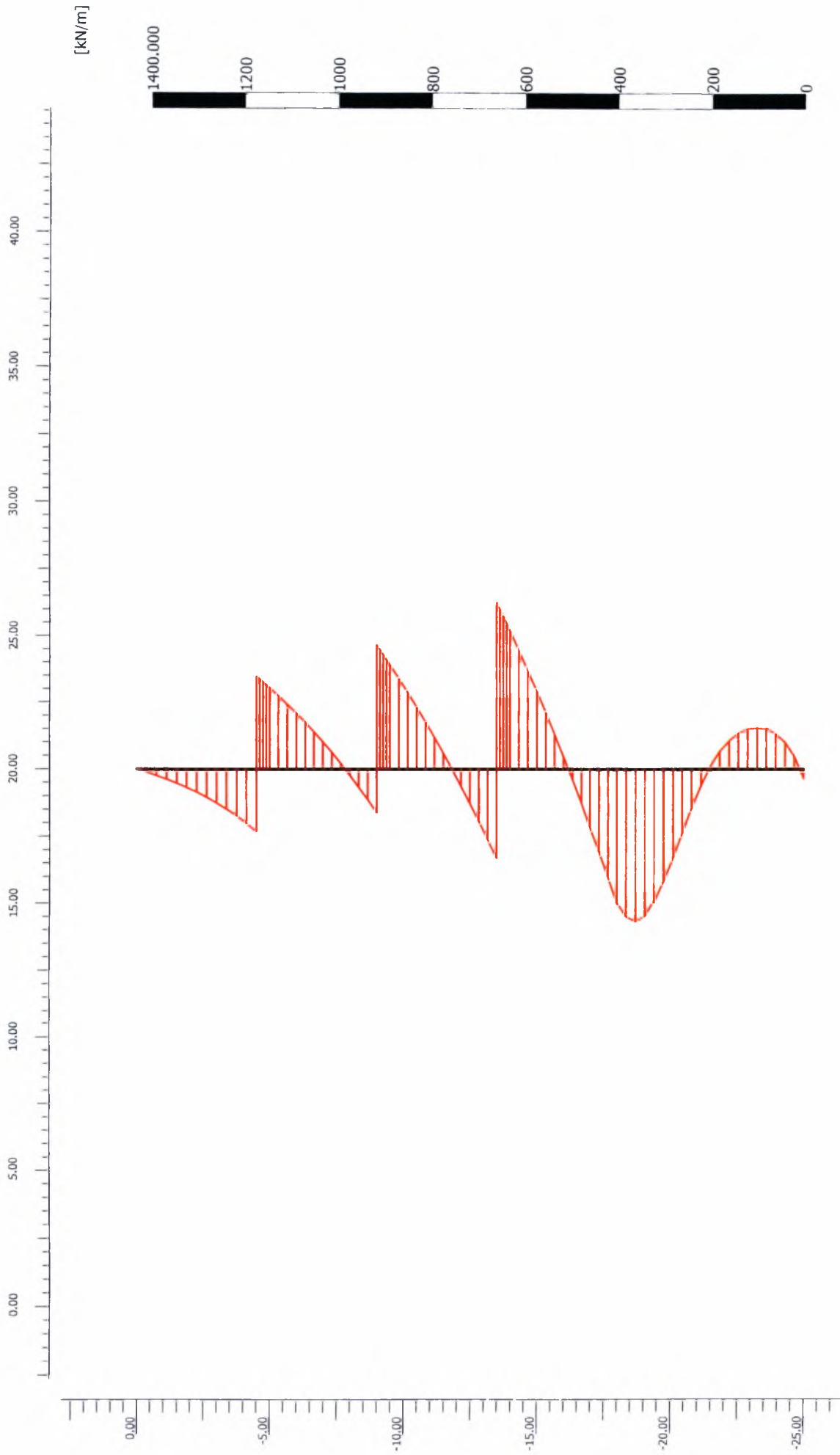
Date

27/04/07

User name



Bending moments
 Extreme bending moment -772,26 kNm/m



PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Σχήμα 4.9 Δυνάμεις αγκυρώσεων

User name :

Project name : HM

Output : Node-to-node Anchor info

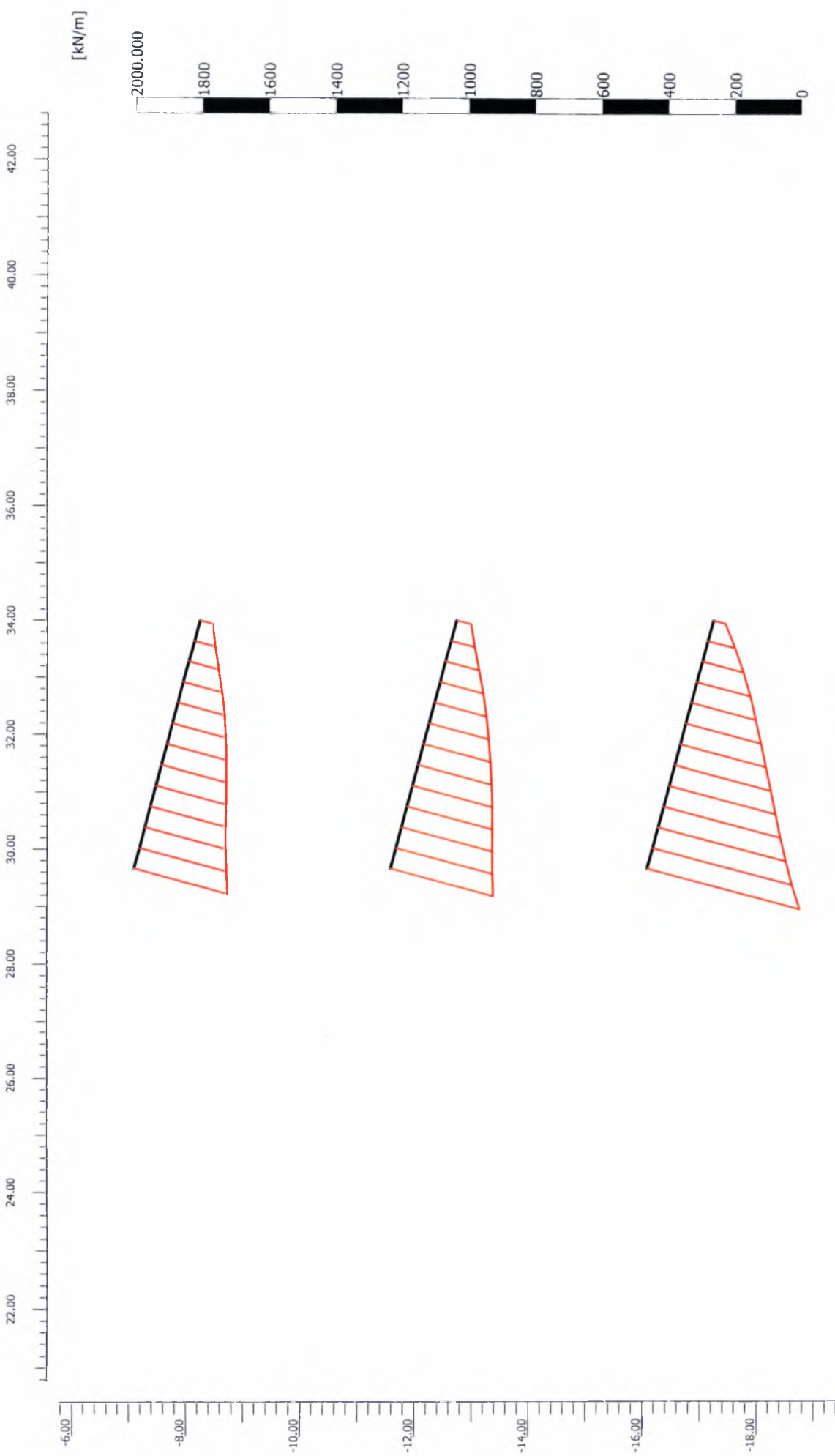
Plaxis 8.5

Date : 27/4/2007

Step : 39

Page : 1

Node-to-node Anchor	Node [m]	X [m]	Y [m]	F [kN/m]	$ F_{max,comp} $ [10^{12} kN/m]	$ F_{max,tens} $ [10^{12} kN/m]	EA [10^3 kN/m]	LS [m]
1	2959	20,000	-4,500	343,856	500,000	500,000	7959,600	2,000
	5025	29,659	-7,088	343,856	500,000	500,000	7959,600	2,000
2	1907	20,000	-9,000	371,902	500,000	500,000	7959,600	2,000
	4825	29,659	-11,588	371,902	500,000	500,000	7959,600	2,000
3	1529	20,000	-13,500	568,175	500,000	500,000	7959,600	2,000
	4639	29,659	-16,088	568,175	500,000	500,000	7959,600	2,000



Axial forces
 Extreme axial force 475,22 kN/m

Project description

Σχήμα 4.10 Αξονικές δυνάμεις μήκους πάκτωσης

User name

Date

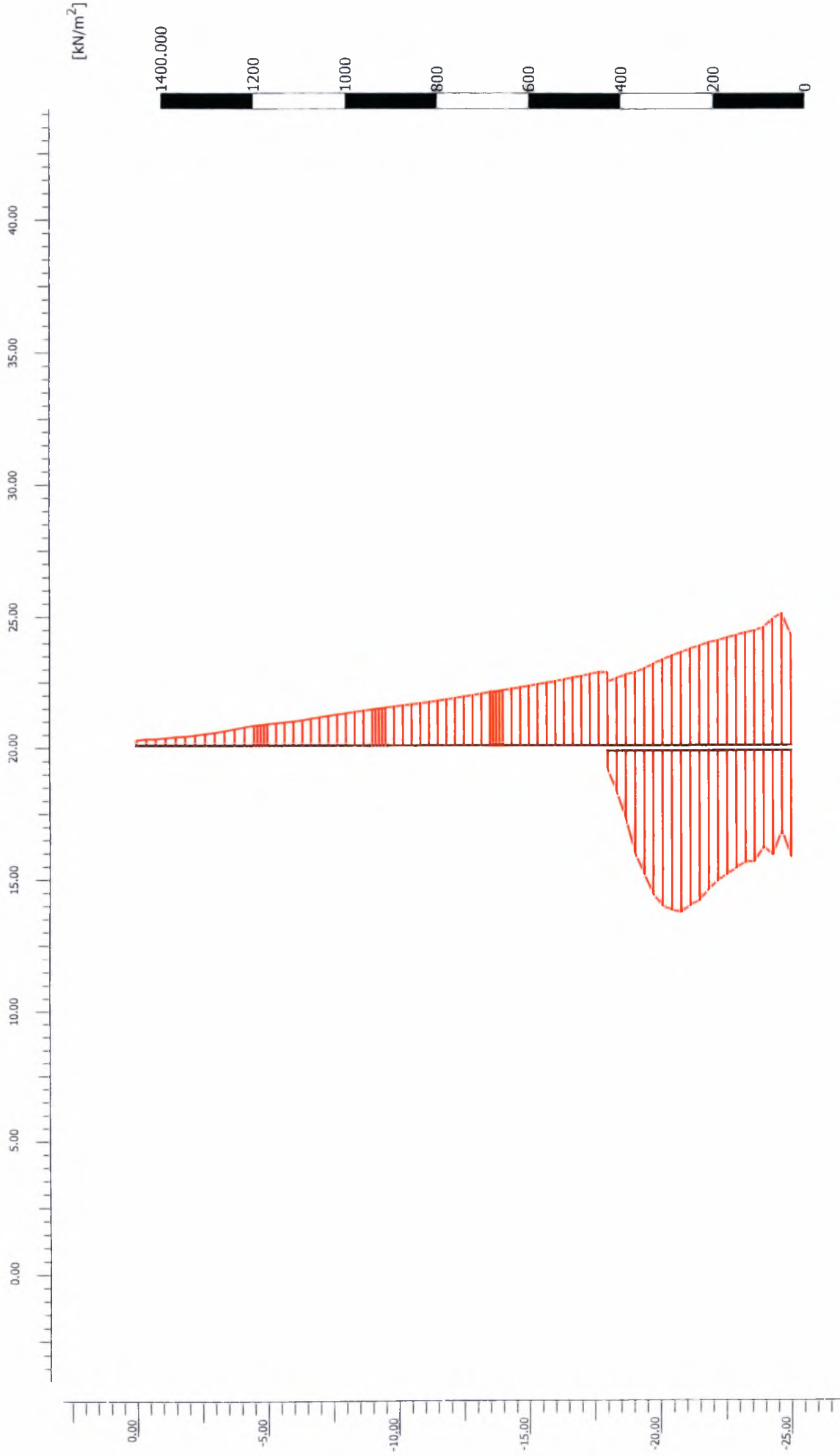
Step

Project name

HM

39

27/04/07



Effective normal stresses
 Extreme effective normal stress 356,71 kN/m²

Project description

Σχήμα 4.11 Ωθήσεις επί του πασσάλου

Project name

HM

Step

39

Date

27/04/07

User name

Στο Σχήμα 4.12 απεικονίζεται η μεταβολή των οριζόντιων μετακινήσεων του στοιχείου αντιστήριξης συναρτήσει του μήκους του για τις εξεταζόμενες βασικές περιπτώσεις.

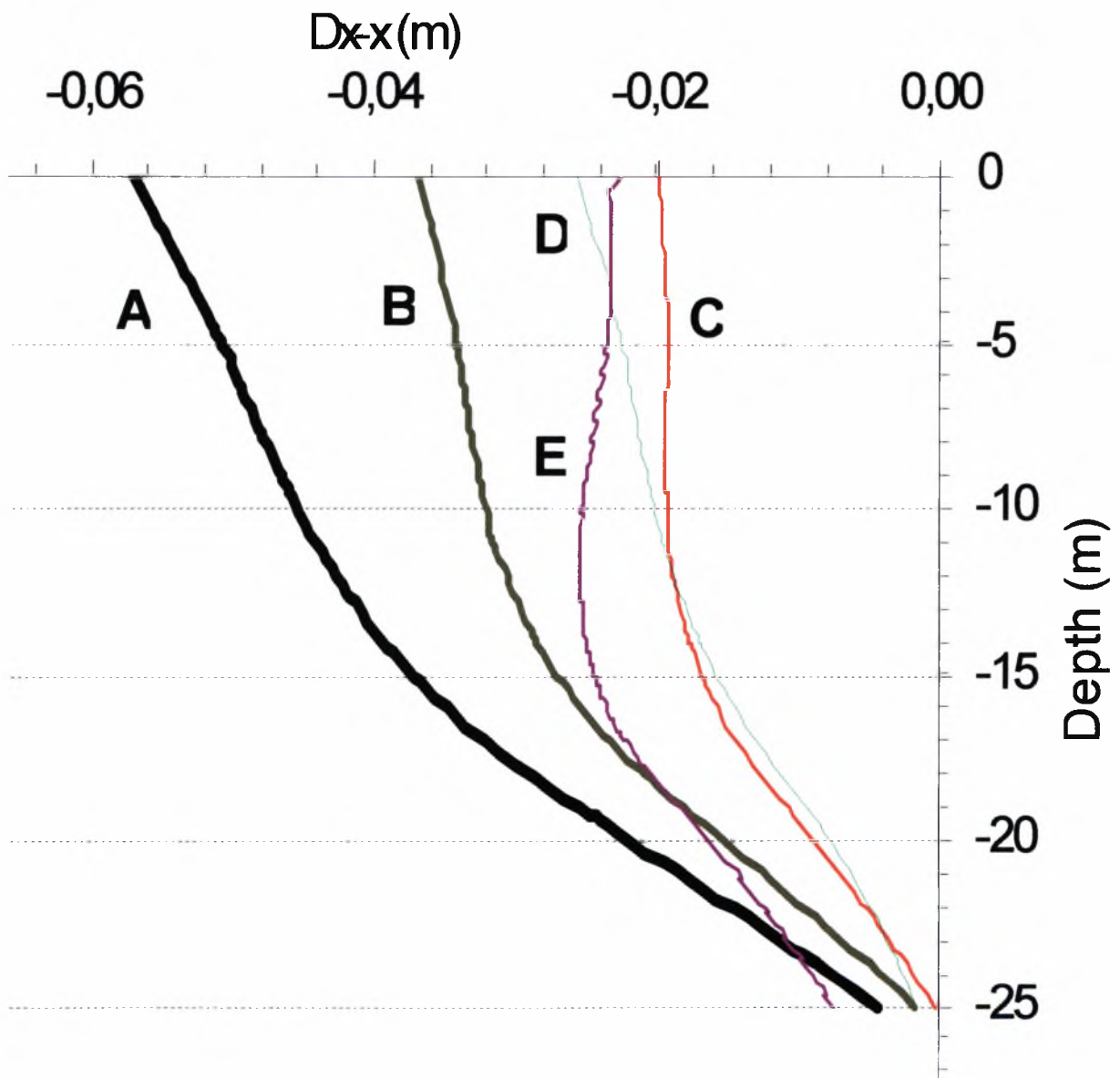
Ομοίως, στα Σχήματα 4.13, 4.14 και 4.15 δίνονται οι αντίστοιχες μεταβολές της αναπτυσσόμενης καμπτικής ροπής, της τέμνουσας δύναμης και της καθίζησης της ελεύθερης επιφάνειας από το χείλος της εκσκαφής και σε απόσταση 30m περίπου.

Επισημαίνεται πως στα Σχήματα 4.13 και 4.14 δεν παρουσιάζονται τα ανάλογα αποτελέσματα της περίπτωσης E, καθώς στην εν λόγω περίπτωση δε δύναται η εκτίμηση των συγκεκριμένων εντατικών μεγεθών (M, Q) του στοιχείου αντιστήριξης.

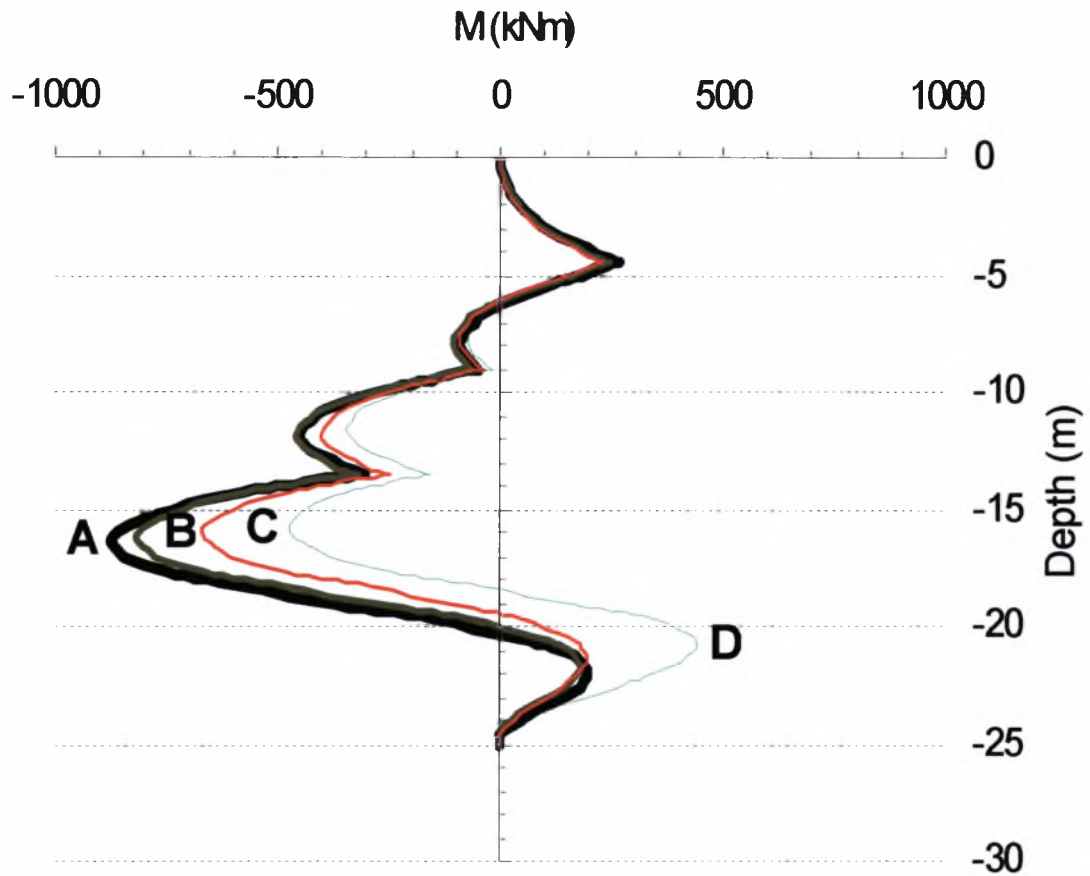
Στα Σχήματα 4.16 και 4.17 παρουσιάζονται οι τιμές των αναπτυσσόμενων εφελκυστικών δυνάμεων των αγκυρώσεων ανά εξεταζόμενη περίπτωση καθώς και οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή ασφαλείας έναντι συνολικής ευστάθειας της εκσκαφής, όπως περιγράφεται στο Στάδιο 10 της υπολογιστικής διαδικασίας.

Ενδεικτικά, η επιφάνεια ολίσθησης που προκύπτει από τον έλεγχο ευστάθειας εφαρμόζοντας τη συγκεκριμένη μεθοδολογία παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.18.

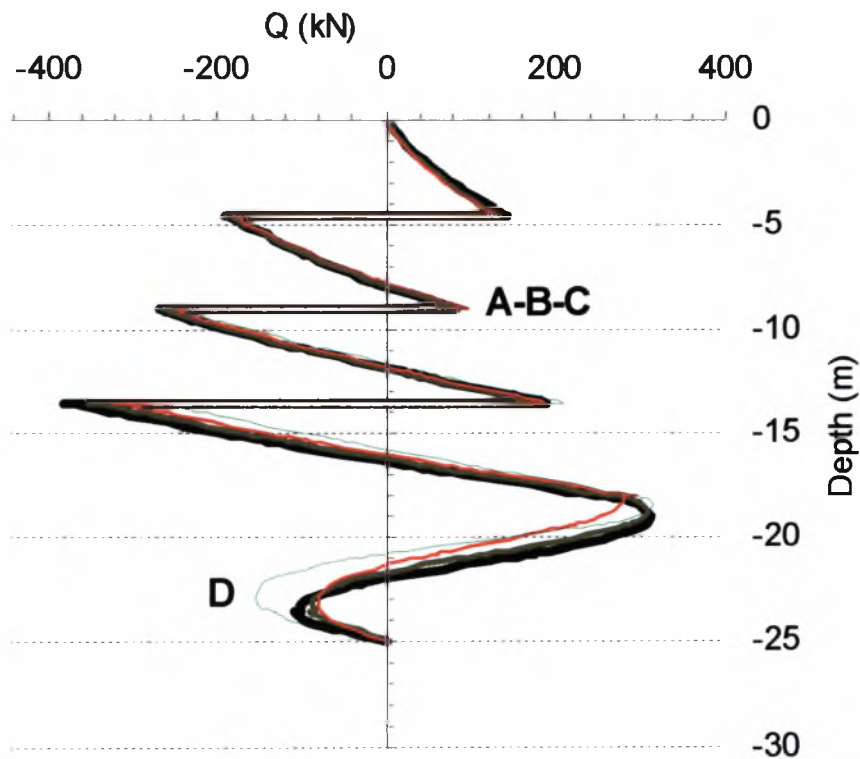
Τέλος, τονίζεται πως το σύνολο των αποτελεσμάτων που δίνονται στα ως άνω σχήματα αναφέρεται στην εντατική κατάσταση που προκύπτει μετά την ολοκλήρωση του Σταδίου 9 της υπολογιστικής διαδικασίας, όπως αναπτύσσεται αναλυτικά στην ενότητα 3.3.1.



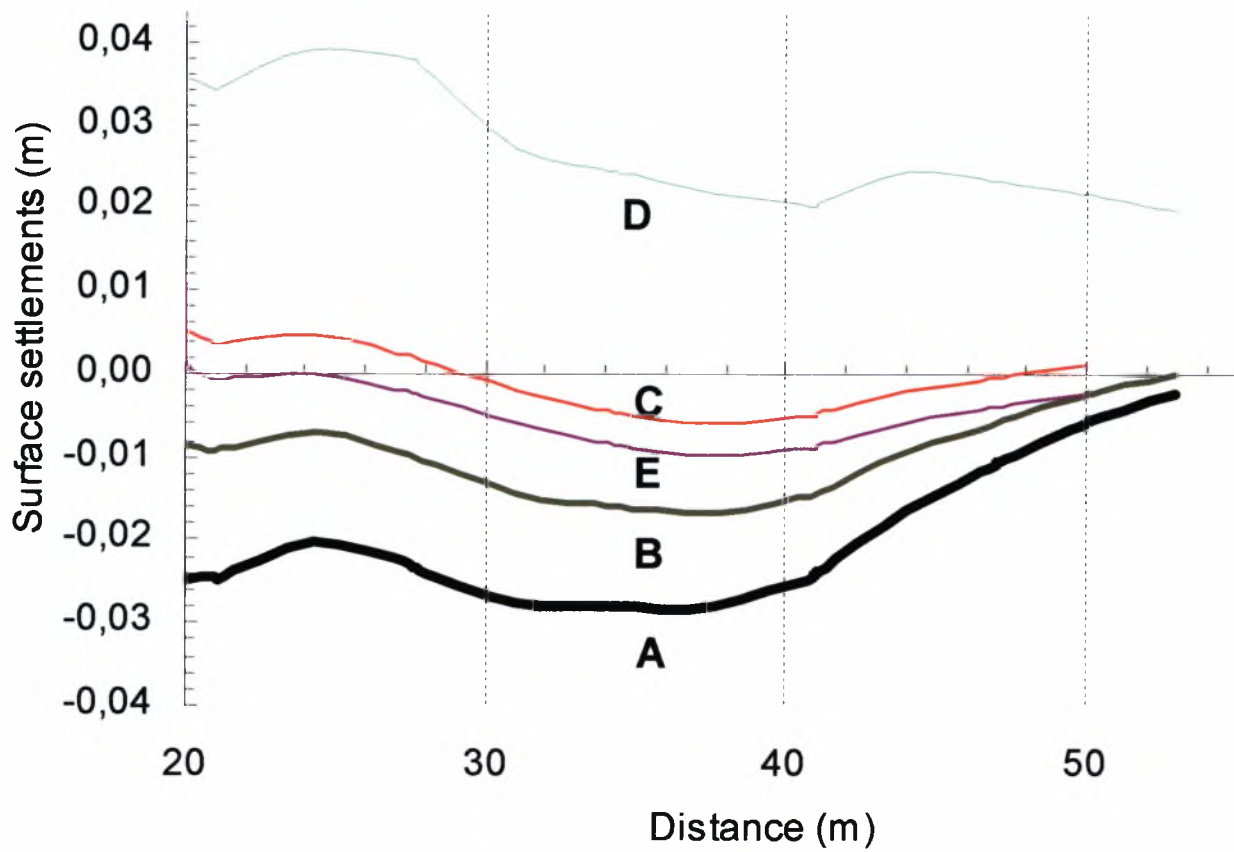
Σχήμα 4.12 Οριζόντιες μετακινήσεις συναρτήσει του βάθους



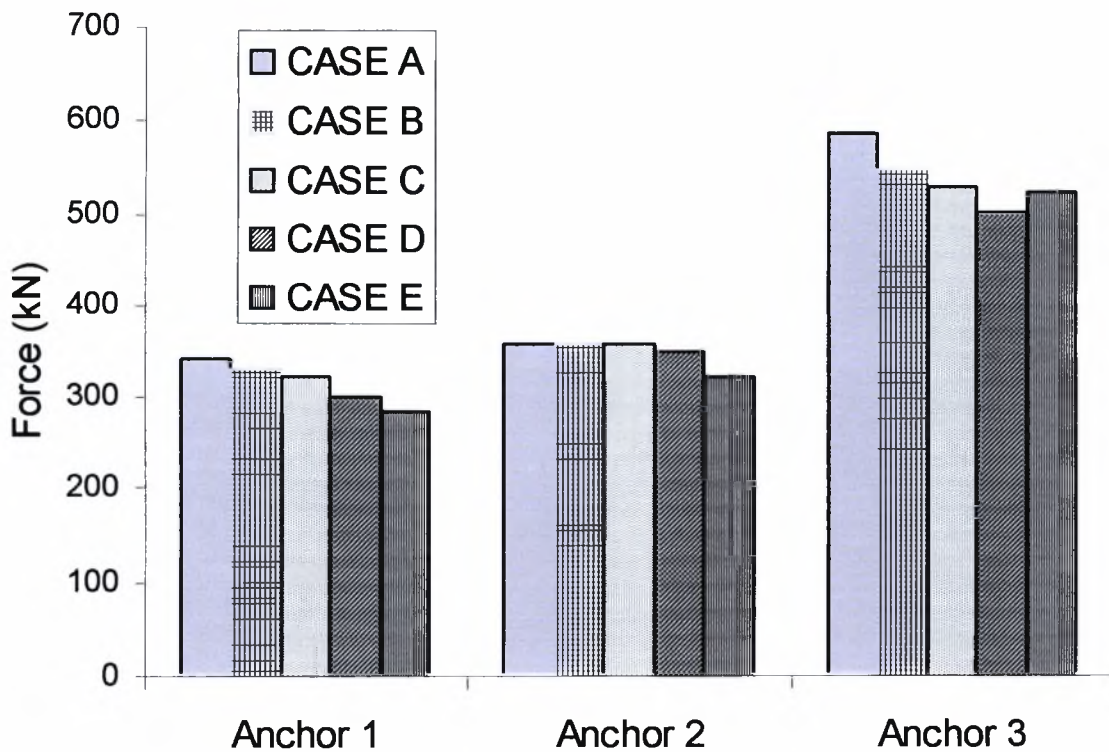
Σχήμα 4.13. Καμπτική ροπή στοιχείου αντιστήριξης συναρτήσει του βάθους



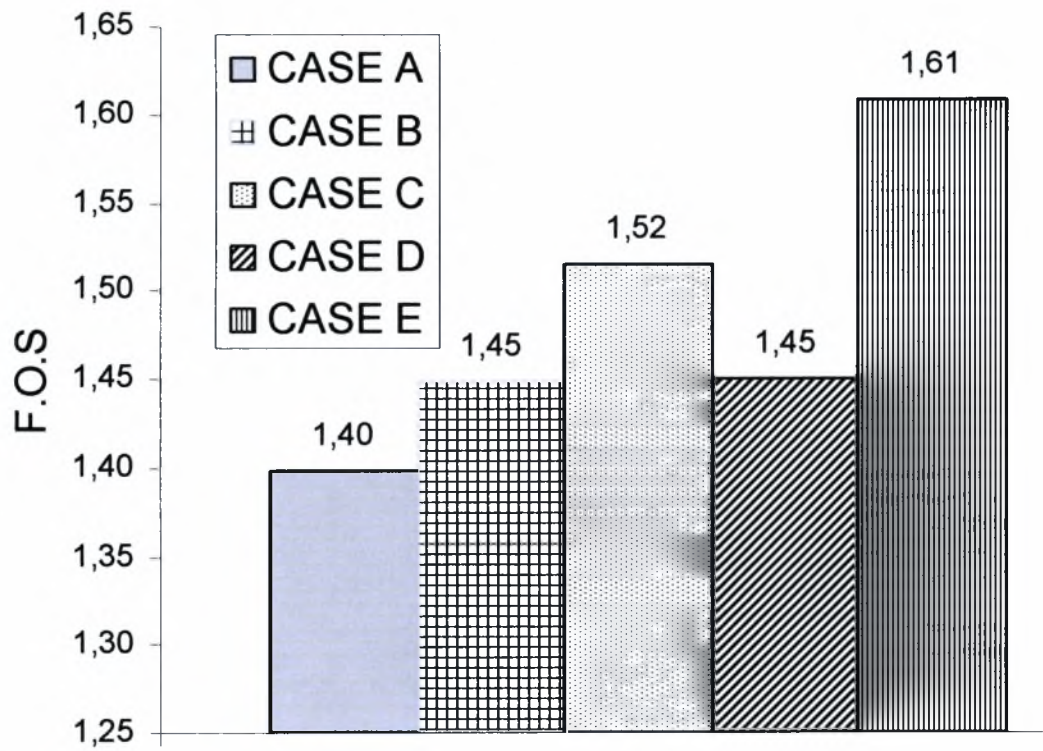
Σχήμα 4.14. Τέμνουσα δύναμη στοιχείου αντιστήριξης συναρτήσει του βάθους



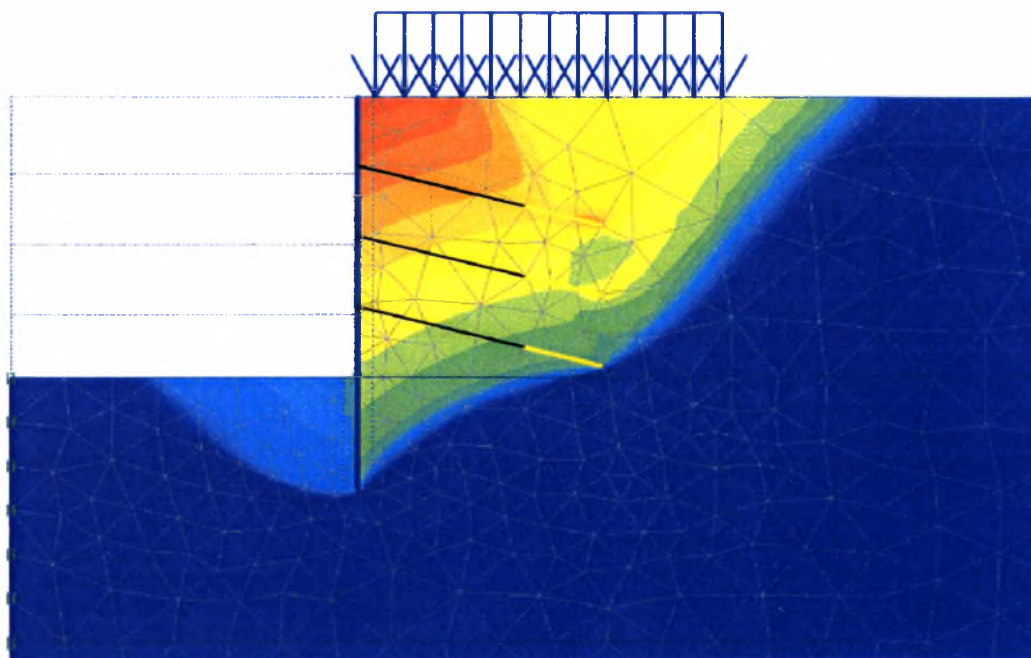
Σχήμα 4.15 Ολικές καθιζήσεις ελεύθερης επιφάνειας



Σχήμα 4.16 Εφελκυστικές δυνάμεις αγκυρώσεων



Σχήμα 4.17 Τιμές συντελεστή ευστάθειας



Σχήμα 4.18 Επιφάνεια ολίσθησης

4.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Συνεκτιμώντας το σύνολο των Σχημάτων 4.12 έως 4.17 προκύπτουν τα ακόλουθα βασικά στοιχεία:

α) Κατά την εφαρμογή του υπερβολικού τύπου εδαφικού μοντέλου με κρατυνόμηση συμπεριφορά, η επιρροή της τιμής του μειωτικού συντελεστή R της διατμητικής αντοχής των χρησιμοποιούμενων στοιχείων διεπιφάνειας, είναι καθοριστική κυρίως στη συμπεριφορά του στοιχείου αντιστήριξης καθώς και στις καθιζήσεις της ελεύθερης επιφάνειας.

Ειδικότερα, στον Πίνακα 4.1 δίνονται συγκεντρωτικά οι αποκλίσεις μεταξύ των περιπτώσεων A-B και B-C σχετικά με τις υπολογισθείσες τιμές της οριζόντιας μετακίνησης (D_{x-x}), της καμπτικής ροπής (M) και της τέμνουσας δύναμης (Q) του στοιχείου αντιστήριξης καθώς και της καθίζησης (S) της ελεύθερης επιφάνειας.

Πίνακας 4.1: Αξιολόγηση περιπτώσεων A, B και C (D_{x-x} , M , Q , S)

Περιπτώσεις	ΔD_{x-x} (%)	ΔM (%)	ΔQ (%)	ΔS (%)
A-B	44	28	17	97
B-C	52	45	24	90

Αντίθετα, αισθητά μικρότερες διαφορές παρουσιάζονται μεταξύ των ως άνω περιπτώσεων στις τιμές των εφελκυστικών δυνάμεων των αγκυρώσεων ($F_{αγκ}$) καθώς και των τιμών του συντελεστή ευστάθειας ($F.O.S$), όπως περιγράφεται αναλυτικότερα στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Αξιολόγηση περιπτώσεων A, B και C ($F_{αγκ}$, $F.O.S$)

Περιπτώσεις	$\Delta F_{αγκ1}$ (%)	$\Delta F_{αγκ2}$ (%)	$\Delta F_{αγκ3}$ (%)	$\Delta F.O.S$ (%)
A-B	3,20	0,24	6,90	3,60
B-C	3,00	0,50	3,80	2,40

β) Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των περιπτώσεων B-D και B-E διαπιστώνεται καταρχήν η καθοριστική διαφοροποίηση της μορφής της

καθίζησης της ελεύθερης επιφάνειας μεταξύ των περιπτώσεων B-D (καθίζηση έναντι ανύψωσης). Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η χρήση του ελαστικού μέτρου αποφόρτισης (E_{ur}) στις καταστατικές εξισώσεις υπολογισμού των εντατικών μεγεθών κατά τη φάση αποφόρτισης (στάδιο εκκααφής) καθώς και η εξάρτηση του μέτρου ελαστικότητας από το καθεστώς των τάσεων (Περ. B), επιτρέπει την αξιόπιστη εκτίμηση των μετακινήσεων.

Αντίθετα, η χρήση μοντέλων ελαστικής - τελείως - πλαστικής συμπεριφοράς (Περ. D), εξαιτίας της αδυναμίας για τη ρεαλιστική προσομοίωση των φάσεων αποφόρτισης (λόγω χρήσης ενιαίας τιμής του μέτρου ελαστικότητας κατά τα στάδια φόρτισης - αποφόρτισης και ανεξάρτητης των αναπτυσσόμενων τάσεων), οδηγεί σε αυξημένες τιμές μετακινήσεων και σε ορισμένες περιπτώσεις σε μη αποδεκτά αποτελέσματα (π.χ. αυξημένη ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας κατά την εκκααφή).

Σχετικά με τα εντατικά μεγέθη του στοιχείου αντιστήριξης, τις δυνάμεις των αγκυρώσεων και των καθιζήσεων της ελεύθερης επιφάνειας, αναλυτικά στοιχεία παρέχονται στους ακόλουθους Πίνακες 4.3 και 4.4.

Πίνακας 4.3: Αξιολόγηση περιπτώσεων B, D και E (D_{x-x} , M, Q, S)

Περιπτώσεις	ΔD_{x-x} (%)	ΔM (%)	ΔQ (%)	ΔS (%)
B-D	45	44	35	-
B-E	34	-	-	60

Πίνακας 4.4: Αξιολόγηση περιπτώσεων B, D και E ($F_{αγκ1}$, F.O.S.)

Περιπτώσεις	$\Delta F_{αγκ1}$ (%)	$\Delta F_{αγκ2}$ (%)	$\Delta F_{αγκ3}$ (%)	$\Delta F.O.S$ (%)
B-D	10,20	2,90	9,30	0,00
B-E	17,20	10,90	5,10	11,10

4.3 Συμπεράσματα – Προτάσεις

Συνεκτιμώντας το σύνολο των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων και στοιχείων προκύπτουν τα εξής:

α₁) Η τιμή του μειωτικού συντελεστή R της διατμητικής αντοχής των στοιχείων διεπιφάνειας που απαιτούνται για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης εδάφους - στοιχείου αντιστήριξης, επηρεάζει καθοριστικά τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη του στοιχείου αντιστήριξης καθώς και τις καθιζήσεις της ελεύθερης επιφάνειας (Περ. A, B και C). Πιο συγκεκριμένα, αν και ο μηχανισμός παραμόρφωσης του στοιχείου αντιστήριξης παραμένει παραπλήσιος στο σύνολο των παραπάνω περιπτώσεων, η χρήση χαμηλών τιμών του συντελεστή R φαίνεται να οδηγεί σε σημαντικά μεγαλύτερες τιμές της οριζόντιας μετακίνησης, της καμπτικής ροπής και της τέμνουσας δύναμης του στοιχείου αντιστήριξης καθώς και της καθίζησης της ελεύθερης επιφάνειας.

α₂) Εξίσου σημαντική είναι η επιρροή του συντελεστή R και στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας έναντι συνολικής ευστάθειας της εκσκαφής. Ειδικότερα, προκύπτει πως χαμηλές τιμές του συντελεστή R μειώνουν αισθητά την υπολογισθείσα τιμή του συντελεστή ευστάθειας. Το συμπέρασμα αυτό αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα καθώς η τιμή του εν λόγω συντελεστή αποτελεί σε ορισμένες περιπτώσεις τον καθοριστικό εδαφοτεχνικό έλεγχο για τη διαστασιολόγηση σύνθετων διατάξεων αντιστηρίξεων.

Σχετικά με την τιμή του συντελεστή R αναφέρεται πως είναι δυνατόν να εκτιμηθεί κατά παραδοχή και εκ των προτέρων, λαμβάνοντας υπόψη τη σύσταση του αντιστηριζόμενου γεωυλικού και την τραχύτητα της διεπιφάνειας μεταξύ στοιχείου αντιστήριξης και εδάφους. Παρόλα αυτά, όμως, όπως προέκυψε από την παρούσα παραμετρική μελέτη, ο συντελεστής R αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για το σχεδιασμό των αντιστηρίξεων και ως εκ τούτου η επιλογή της τιμής του απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

β) Η χρήση ελαστικού - τελείως - πλαστικού εδαφικού μοντέλου (Περ. D) έναντι του αντίστοιχου υπερβολικού τύπου (Περ. B) έχει καταρχήν ως συνέπεια, την μη ρεαλιστική προσομοίωση των καθιζήσεων της ελεύθερης επιφάνειας, όπως αιτιολογείται εν συντομία στην παρ. 4.2 και κατ' επέκταση και του μηχανισμού παραμόρφωσης του στοιχείου αντιστήριξης. Επιπρόσθετα, προκύπτει πως υποεκτιμούνται κατά το ήμισυ περίπου τα βασικά εντατικά μεγέθη του (M, Q). Αντίθετα,

από τον έλεγχο συνολικής ευστάθειας της εκσκαφής προέκυψαν και για τις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις παρόμοιες τιμές του συντελεστή ευστάθειας.

Ως εκ τούτου, η χρήση γραμμικού - τελείως - πλαστικού εδαφικού μοντέλου κατά την αριθμητική προσομοίωση αντιστηρίξεων απαιτεί αυξημένη προσοχή καθώς είναι δυνατόν να προκύψουν μη αξιόπιστα αποτελέσματα σχετικά με τις καθιζήσεις της ελεύθερης επιφάνειας και τις μετακινήσεις του στοιχείου αντιστήριξης.

γ) Η προσομοίωση του στοιχείου αντιστήριξης με εδαφικά στοιχεία γραμμικής ελαστικής συμπεριφοράς (Περ.Ε) αφενός μεν οδηγεί στη ρεαλιστική προσομοίωση του μηχανισμού παραμόρφωσης αφετέρου δε δεν επιτρέπει την εκτίμηση των αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών που απαιτούνται για τη διαστασιολόγησή του (M,Q). Επίσης, στη συγκεκριμένη περίπτωση φαίνεται να εμφανίζονται σημαντικές αποκλίσεις για τις καθιζήσεις της ελεύθερης επιφάνειας και τις οριζόντιες μετακινήσεις του στοιχείου αντιστήριξης καθώς και για την υπολογισθείσα τιμή του συντελεστή ευστάθειας (έναντι Περ. Β).

δ) Οι τιμές των δυνάμεων που παραλαμβάνουν οι αγκυρώσεις δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές μεταξύ των εξεταζόμενων περιπτώσεων. Πιο συγκεκριμένα, στο σύνολο των περιπτώσεων, οι προαναφερθείσες μεταβολές για κάθε μία από τις τρεις σειρές των αγκυρώσεων είναι της τάξης του 4,0%, 3,0% και 4,6% αντιστοίχως. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στις σχετικά περιορισμένες μετακινήσεις του στοιχείου αντιστήριξης καθώς και στις ικανοποιητικές τιμές του συντελεστή ευστάθειας που χαρακτηρίζει το σύνολο των περιπτώσεων.

Βάσει των παραπάνω, διαπιστώνεται πως οι βασικές παραδοχές της αριθμητικής ανάλυσης (εδαφικό μοντέλο, προσομοίωση στοιχείου αντιστήριξης) καθώς και οι τιμές ορισμένων παραμέτρων επηρεάζουν καθοριστικά τόσο την αξιοπιστία όσο και την ακρίβεια των τελικών αποτελεσμάτων. Συνεπώς και με στόχο την αξιοποίηση των σημαντικών δυνατοτήτων που προσφέρουν - πράγματι - οι αριθμητικές μέθοδοι, επιβάλλεται ο έλεγχος όχι μόνον των τελικών αποτελεσμάτων αλλά και των αντίστοιχων επιμέρους σταδίων της ανάλυσης, έτσι ώστε να εντοπισθούν άμεσα και να τροποποιηθούν αναλόγως τυχόν εσφαλμένες παραδοχές - δεδομένα.

Ως εκ τούτου και ως προς την κατεύθυνση αυτήν, προκύπτει πως η ύπαρξη και η αξιοποίηση επιτόπου μετρήσεων αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη διαμόρφωση ενός αριθμητικού μοντέλου, βάσει του οποίου θα καθίσταται εφικτή η αξιόπιστη προσομοίωση της συμπεριφοράς τυπικών διατάξεων αντιστηρίξεων. Η

συμβολή των επιτόπου μετρήσεων κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση της τιμής εκείνων των παραμέτρων που αφενός μεν επηρεάζουν καθοριστικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης αφετέρου δε η εύρεσή τους δε δύναται να πραγματοποιηθεί βάσει κλασικών εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής παρά μόνον κατά παραδοχή και βάσει βιβλιογραφικών αναφορών (π.χ. συντελεστής R).

Επιπρόσθετα, εκτιμάται πως η εκτέλεση κατάλληλων παραμετρικών μελετών και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους είναι δυνατόν να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την αξιόπιστη αντιμετώπιση του προβλήματος. Ειδικότερα, για την τελική επιλογή του μήκους και της δυσκαμψίας του στοιχείου αντιστήριξης καθώς και των βασικών χαρακτηριστικών των αγκυρώσεων (στάθμη κεφαλής, ολικό μήκος, τάση προέντασης κ.λπ.), προτείνεται να λαμβάνονται υπόψη οι χαμηλότερες αποδεκτές τιμές του συντελεστή ευστάθειας που προκύπτουν από τις επιμέρους αναλύσεις της παραμετρικής μελέτης. Επίσης, για τη διαστασιολόγηση του στοιχείου αντιστήριξης και των αγκυρώσεων κρίνεται σκόπιμο να χρησιμοποιούνται οι περιβάλλουσες των εντατικών μεγεθών, οι οποίες θα προκύψουν συνεκτιμώντας τις τιμές των αντίστοιχων μεγεθών του συνόλου των επιμέρους αναλύσεων.

Τέλος, αναφέρεται πως στην παρούσα εργασία δεν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση της επιρροής ορισμένων βασικών παραμέτρων της αριθμητικής ανάλυσης όπως είναι η πυκνότητα του χρησιμοποιούμενου καννάβου και το πλήθος των κόμβων των εδαφικών στοιχείων. Οι συγκεκριμένες παράμετροι επηρεάζουν εν μέρει τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης αλλά παρόλα αυτά κρίθηκε σκόπιμο να μη συμπεριληφθούν στην παρούσα μελέτη καθώς προέκυψε πως η ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση της επιρροής τους και ως εκ τούτου και η χρησιμότητα των συνακόλουθων συμπερασμάτων - προτάσεων, εξαρτώνται καθοριστικά από τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου κώδικα.

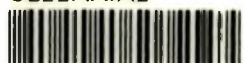
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναγνωστόπουλος Χρ., Γεωργιάδης Μ., Πιπιλάκης Κ. : «Θεμελιώσεις και Αντιστηρίξεις»
- Λουπασάκης Κ. (2000) : «Ανάλυση του φράγματος της Σφηκιάς» Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ. (ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΥΤΗ ΕΛΗΦΘΗΣΑΝ ΚΥΡΙΩΣ ΣΧΗΜΑΤΑ)
- Παπαχαρίσης Ν., Μάνου – Ανδρεάδη Ν., Γραμματικόπουλος Ι. (1999) : «ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ»
- Τσαμασφύρος Γ.Ι. (1990) : «Μηχανική Παραμορφώσιμων Σωμάτων Ι»
- Τσάνης Α. (2003) : «Παραμετρικές διερευνήσεις προβλημάτων αριθμητικής προσομοίωσης έργων αντιστήριξης» Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.
- Τσότσος Στ. (1991) : «Εδαφομηχανική»
- Χατζηγώγος Θ. (2000) : «Πανεπιστημιακές σημειώσεις σε θέματα υπόγειων έργων με ανοικτή εκσκαφή»
- Brinkgreve, R. (2004), "Plaxis and EuroCode 7", Plaxis Bulletin, Vol. 16, pp.4.
- Chen W.F., Baladi G.Y. (1985) : "Soil Plasticity, Theory and Implementation"
- Cushing, A.G., Withiam, J.L., Szwed, A.A. and Nowak, A.S. (2003), "Reliability analysis of anchored and cantilevered flexible retaining structures", Limit State Design in Geotechnical Eng.,(LSD 5/8/2003), M.I.T. U.S.A.
- Gue, S.S. and Tan, Y.C. (1998), "Performance of anchored diaphragm walls', for deep basement in Kuala Lumpur, Malaysia", Proc. of the 13th S. Asian Geotech. Conf. Taiwan, pp. 511-517.
- Guidelines for the use of advanced numerical analysis (2002). Edited by : David Potts, Kennet Axelsson, Lars Grand, Helmut Schweiger and Michael Long
- Hueze, F.E. and Barbour, T.G. (1982), "New models for rock joints and interfaces". Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol 108, pp. 757-776.
- Karabatakis, D.A. (2000), "Study of the creeping response of the interface elements", Ph. D., Aristotle Univ. of Thessaloniki, Greece.
- Karabatakis, D.A. and Hatzigogos, T.N. (2002), "Analysis of creep behaviour using interface elements". Computers and Geotechnics, Vol. 29, pp. 257-277.
- Koudelka, B. (2003), "LSD in Geotechnics: Alternative approach No.1 for slope design", Limit State Design in Geotechnical Eng.,(LSD 5/8/2003), M.I.T. U.S.A.

- Langen HV, Vermeer PA. Interface elements for singular plasticity points. Int. J. Numer. Analyt. Meth. Geomech. 1991;15:301-315
- Mc Cullough, N.J. (1998), "The seismic vulnerability of sheet pile walls", Ph. D. Oregon State Univ., U.S.A.
- PLAXIS (2002) : finite element code for soil and rock analysis, Version 8, Manual
- Potts D.V. M. and Zdravkovic´ L. (1999) : "Finite element analysis in geotechnical engineering, application"
- Potts D.V. M. and Zdravkovic´ L. (1999) : "Finite element analysis in geotechnical engineering, theory"
- Proceedings of the second International Conference in Zurich (2002) : "Soil structure interaction in urban civil engineering, Planning and engineering for the cities of tomorrow, VOLUMES 1 & 2"
- Samtani N.C., Desai C.S. & Vulliet L., "An interface model to describe viscoplastic behavior", Int. J. Numer. Analyt. Meth. Geomech., 20, 231-252 (1996).
- Schanz, T., Vermeer, P.A. and Bonnier, P.G. (1999), "Beyond 2000 in Computational Geotechnics - 10 years of PLAXIS", Balkema, Rotterdam, Holland, Edition 1st.
- Simpson, B. (2003), "Use of finite element methods in geotechnical limit state design", Limit State Design in Geotechnical Eng.,(LSD 5/8/2003), M.I.T. U.S.A.
- Tan, Y.C. (1997), "Performance of anchored diaphragm walls, for deep basement at Berjaya Star City, Kuala Lumpur", Proc. of the 3rd Asian Young Geotech. Eng. Conf. Singapore, pp. 121-129.
- Teparaska, W. Thasnanipan, N. and Tanseng, P. (1999), "Analysis of lateral wall movement for deep braced excavation in Bangkok subsoils", Civil and Env. Eng. Conf., Bangkok Thailand, Vol. II, pp. 67-76.
- Thasnanipan, N., Manng, A.W., Tanseng, P. and Teparaska, W. (1999), "Behavior and performance of diaphragm walls under unbalanced lateral loading along the chao Phraya river", "Field measurements in Geomechanics", Leung, Tan & Phoon (eds), Balkema, Rotterdam, Holland, Edition 1st.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097150