



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

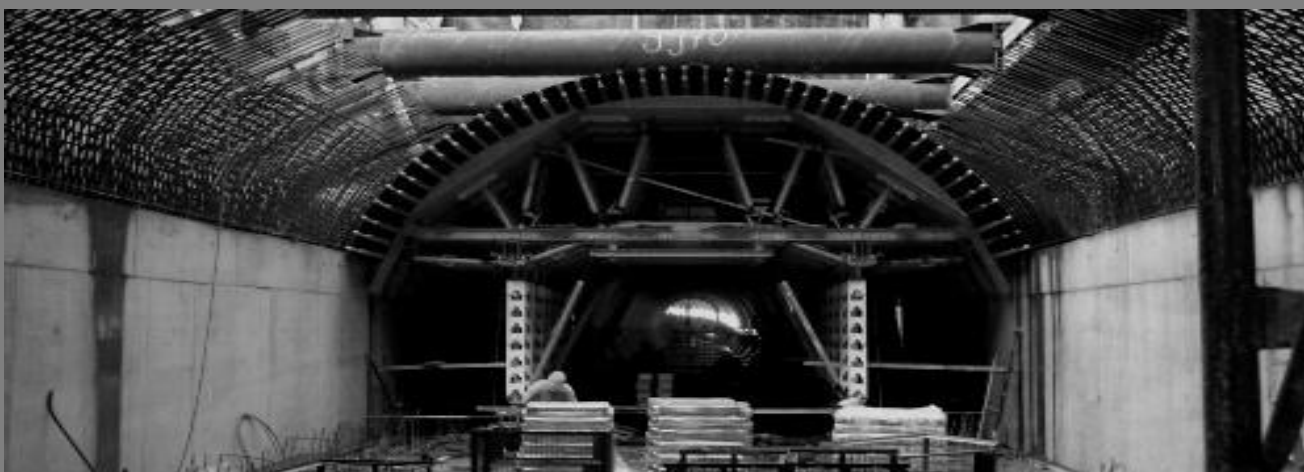
**Δ.Π.Μ.Σ: «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**



**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ  
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

**ΕΠΙΛΥΣΕΙΣ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ»  
ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ**

**ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΜΑΚΑΤΟΥΝΑΚΗ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.**

**Επιβλέπων καθηγητής:**

**ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

**ΑΘΗΝΑ, 2019**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΠΜΣ)

"Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων"

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ  
ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ  
ΕΠΙΛΥΣΕΙΣ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

ΜΑΚΑΤΟΥΝΑΚΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ  
2019



## Ευχαριστίες

Για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τη συνεισφορά του στην εκπόνηση της, καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να εμβαθύνω στο γνωστικό αντικείμενο των αντιστηρίξεων βαθιών εκσκαφών θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Κ. Λουπασάκη αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εποπτεία του και η καθοδήγησή του κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσαν σημαντική συμβολή στην ολοκλήρωσή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αττικό Μετρό Α.Ε., για την παραχώρηση των αποτελεσμάτων αξιολόγησης των γεωτεχνικών ερευνών. Χωρίς αυτά τα δεδομένα δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει στην οικογένεια μου η οποία με στηρίζει σε κάθε προσπάθειά μου, και στους φίλους μου για τη συνεχή ενθάρρυνση.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	1
Περιεχόμενα	1
Κατάλογος Πινάκων	3
Κατάλογος Εικόνων	3
Περίληψη	7
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>9</b>
1.1. Το έργο- σταθμός μετρό «Περιστέρι»	9
1.2. Περιγραφή χώρου του έργου	12
<b>2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ- ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b>	<b>13</b>
2.1. Μορφολογία της περιοχής	13
2.2. Γεωλογικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού	14
2.3. Γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή το έργου	16
2.4. Τεκτονική	18
2.5. Υδρογεωλογικές συνθήκες	19
2.5.1. Στάθμη υπόγειου νερού	19
2.5.2. Διαπερατότητα γεωλογικού σχηματισμού	21
Δοκιμές εισπίεσεως τύπου Maag	21
Δοκιμές εισπίεσεως τύπου Lugeon	22
2.6. Γεωτεχνικές συνθήκες	26
2.6.1. Αποτελέσματα επι τόπου δοκιμών	26
2.6.2. Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών	29
2.6.3. Αξιολόγηση γεωτεχνικών συνθηκών	32
<b>3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΒΑΘΙΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</b>	<b>33</b>
3.1. Το λογισμικό PLAXIS	33
3.2. Καταστατικοί νόμοι για την περιγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους	36
3.3. Εφαρμογή του λογισμικού Plaxis 2D στο παράδειγμα του σταθμού μετρό «Περιστέρι»	39
3.3.1. Καθορισμός γεωτεχνικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών	41
3.3.2. Καθορισμός δομικών στοιχείων	43
3.3.3. Καθορισμός των φορτίων στην επιφάνεια του εδάφους	46
3.3.4. Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης	48
3.3.5. Αρχικές συνθήκες - initial conditions	49
3.3.6. Εκτέλεση υπολογισμών – calculate	51
3.3.7. Εξαγωγή αποτελεσμάτων –Output	57
3.3.8. Εξαγωγή διαγραμμάτων – Plaxis Curves	60
3.3.9. Συντελεστής ασφαλείας	60

<b>4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ</b> -----	<b>62</b>
4.1. Παρουσίαση παραμετρικών αναλύσεων-----	62
4.2. Αποτελέσματα – Σύγκριση αποτελεσμάτων -----	64
4.2.1. Παραμετρική ανάλυση για τη στρωματογραφία-----	64
Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 8 σειρές αγκυρίων -----	64
4.2.2. Παραμετρική ανάλυση για στάθμη υπόγειου νερού – -----	73
Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 8 σειρές αγκυρίων -----	73
4.2.3. Παραμετρική ανάλυση για την απόσταση μεταξύ των πασσάλων- Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 8 σειρές αγκυρίων -----	81
4.2.4. Παραμετρική ανάλυση για δύναμη προέντασης -----	91
Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 8 σειρές αγκυρίων -----	91
4.2.5. Παραμετρική ανάλυση για στρωματογραφία-----	102
Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής:5 σειρές αγκυρίων και 4 σειρές αντηρίδων-----	102
4.2.6. Παραμετρική ανάλυση για στάθμη υπόγειου νερού -----	110
Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 5 σειρές αγκυρίων και 4 σειρές αντηρίδων-----	110
4.2.7. Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας ιλυολίθου $E=190$ MPa – -----	117
Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής : 5 σειρές αγκυρίων και 4 σειρές αντηρίδων -----	117
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> -----	<b>120</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> -----	<b>91</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Μετρήσεις της στάθμης ύδατος στις γεωτρήσεις.	21
Πίνακας 2: Μετρήσεις της στάθμης ύδατος στις γεωτρήσεις με τη βοήθεια πιεζόμετρου.	22
Πίνακας 3: Αποτελέσματα δοκιμών εισπίεσεως τύπου Maag.	23
Πίνακας 4: Αποτελέσματα δοκιμών εισπίεσεως τύπου Lugeon.	24
Πίνακας 5: Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας σε παλιότερες γεωτρήσεις	26
Πίνακας 6: Ταξινόμηση της διαπερατότητας των σχηματισμών τροποποιημένη κατά Terzaghi & Peck (1967) (Ραπαδόπουλος κ.α. 2006)	27
Πίνακας 7: Χαρακτηρισμός συνεκτικών εδαφών κατά TERZAGHI&PECK, 1967	28
Πίνακας 8: Χαρακτηρισμός κοκκωδών εδαφών κατά TERZAGHI&PECK, 1967 και BS : 5930.	28
Πίνακας 9: Χαρακτηρισμός εδαφών από τη δοκιμή πρότυπης διείσδυσης SPT	28
Πίνακας 10: Χαρακτηρισμός βραχώμαζας με βάση τον δείκτη GSI	29
Πίνακας 11: Εργαστηριακά αποτελέσματα από γεωτρήσεις	31
Πίνακας 12: Τιμές σχεδιασμού γεωτεχνικών παραμέτρων (Πανγαία, 2007)	34
Πίνακας 13: Εντολές σχεδίασης του Plaxis 2D	36
Πίνακας 14: Ορισμός συντεταγμένων του ελεύθερου και του πακτωμένου μήκους των προεντεταμένων αγκυρίων	42
Πίνακας 15: Τιμές σχεδιασμού γεωτεχνικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις.	43
Πίνακας 16: Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλογα με το πάχος του κροκαλοπαγούς στα σημεία παρατήρησης.	69
Πίνακας 17: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.	72
Πίνακας 18: Τιμές συντελεστή ασφαλείας για τις τρεις περιπτώσεις της πρώτης παραμετρικής ανάλυσης.	74
Πίνακας 19: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις.	78
Πίνακας 20: Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλογα με το πάχος του κροκαλοπαγούς στα σημεία παρατήρησης.	78
Πίνακας 21: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.	81
Πίνακας 22: Τιμές συντελεστή ασφαλείας.	82
Πίνακας 23: Μέγιστες ριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις.	87
Πίνακας 24: Απόλυτες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στα σημεία παρατήρησης.	87
Πίνακας 25: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.	90
Πίνακας 26: Τιμές συντελεστή ασφαλείας.	92
Πίνακας 27: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις.	98
Πίνακας 28: Απόλυτες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στα σημεία παρατήρησης.	98
Πίνακας 29: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.	101
Πίνακας 30: Τιμές συντελεστή ασφαλείας	103
Πίνακας 31: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις της πρώτης παραμετρικής ανάλυσης.	106
Πίνακας 32: Απόλυτες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στα σημεία παρατήρησης.	106
Πίνακας 33: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.	109
Πίνακας 34: Τιμές συντελεστή ασφαλείας.	111
Πίνακας 35: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις.	114
Πίνακας 36: Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις στα σημεία παρατήρησης.	115
Πίνακας 37: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.	117
Πίνακας 38: Τιμές συντελεστή ασφαλείας	118
Πίνακας 39: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις της πρώτης παραμετρικής ανάλυσης.	120
Πίνακας 40: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.	121
Πίνακας 41: Τιμές συντελεστή ασφαλείας	121

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Γραμμές Μετρό της Αθήνας. Με κόκκινο χρώμα η γραμμή 2 (Ανθούπολη-Ελληνικό), στην οποία ανήκει ο σταθμός «Περιστέρι».	12
Εικόνα 2: Αεροφωτογραφία από τον σταθμό μετρό «Περιστέρι». (googleearth)	13
Εικόνα 3: Κάτοψη της στενής περιοχής του σταθμού Περιστερίου.	13
Εικόνα 4: Κάτοψη του σταθμού μετρό «Περιστέρι» με τα μέτρα υποστήριξης (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.)	14
Εικόνα 5: Κατασκευή αντηρίδων στο σταθμό «Περιστέρι». (www.ametro.gr)	14
Εικόνα 6: Μορφολογία Λεκανοπεδίου Αττικής.	17

Εικόνα 7: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη(ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, Φύλλο ΑΘΗΝΑΙ – ΕΛΕΥΣΙΣ / ΙΓΜΕ 1986 – κλίμακα 1:50.000).	18
Εικόνα 8: Γεωλογική τομή στην περιοχή του σταθμού της γραμμής μετρό 2 «Περιστέρι».	20
Εικόνα 9:Γεωλογικός δείκτης αντοχής σε ρηγματωμένους βράχους.	31
Εικόνα 10:Παράδειγμα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση (αριστερά) και διδιάστατου αξονοσυ	36
Εικόνα 11:Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το ελαστικό- τέλεια πλαστικό μοντέλο	40
Εικόνα 12:Διάγραμμα διατμητικής τάσης – αξονικής παραμόρφωσης	40
Εικόνα 13:Εισαγωγή γενικών στοιχείων του μοντέλου στο Plaxis.	42
Εικόνα 14: Γεωμετρία προσομοιώματος για το σταθμό μετρό «Περιστέρι».	43
Εικόνα 15: Γεωτεχνικές παράμετροι της στρώσης των τεχνιτών επιχώσεων.	45
Εικόνα 16: Γεωτεχνικές παράμετροι της στρώσης του κροκαλοπαγούς.	45
Εικόνα 17: Γεωτεχνικές παράμετροι της στρώσης του μεταψαμμίτη.	45
Εικόνα 18: Γεωτεχνικές παράμετροι της στρώσης του μεταιλυόλιθου.	46
Εικόνα 19: Εισαγωγή του συντελεστή Rinterώστε να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής στο προσομοίωμα.	46
Εικόνα 20: Εισαγωγή στοιχείων για τους διαφραγματικούς τοίχους.	47
Εικόνα 21: Εισαγωγή παραμέτρων για τους το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων.	48
Εικόνα 22: Εισαγωγή παραμέτρων για τους το πακτωμένο μήκος των αγκυρίων.	48
Εικόνα 23: Εισαγωγή παραμέτρων για τις αντηρίδες.	49
Εικόνα 24:Καθορισμός επιφανειακού φορτίου.	50
Εικόνα 25: Διακριτοποίηση του χώρου μέσω της δημιουργίας καννάβου.	51
Εικόνα 26:Επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα.	52
Εικόνα 27:Πίεση πόρων νερού	53
Εικόνα 28:Συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων Ko για συγκεκριμένο ΣMweight.	53
Εικόνα 29:Κατανομή ενεργών τάσεων.	54
Εικόνα 30:Στο πρώτο στάδιο ενεργοποιείται ο τοίχος και το φορτίο στην επιφάνεια της εκσκαφής	55
Εικόνα 31:Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η πρώτη εκσκαφή	55
Εικόνα 32:Στο τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η δεύτερη εκσκαφή εκσκαφής	56
Εικόνα 33:Στο τρίτο στάδιο ενεργοποιείται η πρώτη σειρά των αγκυρίων	56
Εικόνα 34:Στο έκτο στάδιο πραγματοποιείται η τρίτη εκσκαφή	56
Εικόνα 35:Στο πέμπτο στάδιο ενεργοποιείται η δεύτερη σειρά των αγκυρίων	56
Εικόνα 36:Στο όγδοο στάδιο πραγματοποιείται η τέταρτη εκσκαφή	57
Εικόνα 37:Στο έβδομο στάδιο ενεργοποιείται η τρίτη σειρά των αγκυρίων	57
Εικόνα 38:Στο δέκατο στάδιο πραγματοποιείται η πέμπτη εκσκαφή	57
Εικόνα 39:Στο ένατο στάδιο ενεργοποιείται η τέταρτη σειρά των αγκυρίων	57
Εικόνα 40:Στο δωδέκατο στάδιο πραγματοποιείται η έκτη εκσκαφή	58
Εικόνα 41:Στο ενδέκατο στάδιο ενεργοποιείται η πέμπτη σειρά των αγκυρίων	58
Εικόνα 42:Στο δέκατο τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η έβδομη εκσκαφή	58
Εικόνα 43:Στο δέκατο τρίτο στάδιο ενεργοποιείται η έκτη σειρά των αγκυρίων	58
Εικόνα 44:Στο δέκατο έκτο στάδιο πραγματοποιείται η όγδοη και τελευταία εκσκαφή	59
Εικόνα 45:Στο δέκατο πέμπτο στάδιο ενεργοποιείται η έβδομη σειρά των αγκυρίων	59
Εικόνα 46:Στο δέκατο έβδομο στάδιο ενεργοποιείται η όγδοη σειρά των αγκυρίων	59
Εικόνα 47: Παραμορφωμένος κάρναβος του προσομοιώματος.	60
Εικόνα 48: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις της εκσκαφής με Shadings	61
Εικόνα 49: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις της εκσκαφής με Shadings	61
Εικόνα 50: Μέγιστες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου για αποστάσεις πασσάλων 1.5m	62
Εικόνα 51: Μέγιστες αξονικές δυνάμεις, μέγιστες διατμητικές δυνάμεις και μέγιστες καμπτικές ροπές διαφραγματικού τοίχου	62
Εικόνα 52:Επιλογή σημείων για την παρακολούθηση οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων.	63
Εικόνα 53: Συντελεστής ασφαλείας FS=1,566	64
Εικόνα 54:Προσομοίωμα μοντέλου για κάθε περίπτωση στρωματογραφίας.	67
Εικόνα 55:Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3m και μεταψαμμίτη 19m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 3,67cm.	68
Εικόνα 56: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 8m και μεταψαμμίτη 14m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 3,29cm.	68
Εικόνα 57: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13m και μεταψαμμίτη 9m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 2,72cm.	68



Εικόνα 58:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3m και μεταψαμμίτη 19m. Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,22cm.	69
Εικόνα 59:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 8m και μεταψαμμίτη 14m.Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,26cm.	69
Εικόνα 60:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13m και μεταψαμμίτη 9m.Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,28cm.	70
Εικόνα 61: Οριζόντιες μετακινήσεις συναρτήσε του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.	71
Εικόνα 62: Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσε του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.	71
Εικόνα 63:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	72
Εικόνα 64:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	72
Εικόνα 65:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης	73
Εικόνα 66: Μέγιστες αξονικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσε του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.	74
Εικόνα 67: Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσε του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.	74
Εικόνα 68: Μέγιστες καμπτικές ροπές επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσε του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.	75
Εικόνα 69: Τιμές του συντελεστή ασφαλείας συναρτήσε του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.	75
Εικόνα 70:Προσομοίωμα μοντέλου για κάθε περίπτωση στάθμης υπόγειου νερού.	76
Εικόνα 71: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -5 m	76
Εικόνα 72: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -15 m.	77
Εικόνα 73: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -25 m.	77
Εικόνα 74Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -5 m.	78
Εικόνα 75:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -15 m.	78
Εικόνα 76:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -25 m.	79
Εικόνα 77: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις συναρτήσε της στάθμης του υπόγειου νερού.	80
Εικόνα 78: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσε της στάθμης του υπόγειου νερού.	80
Εικόνα 79:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	81
Εικόνα 80:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	81
Εικόνα 81:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης	82
Εικόνα 82: Μέγιστη αξονική δύναμη επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσε της στάθμης του υπόγειου νερού.	82
Εικόνα 83: Μέγιστη διατμητική δύναμη επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσε της στάθμης του υπόγειου νερού.	83
Εικόνα 84: Μέγιστη καμπτική ροπή επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσε της στάθμης του υπόγειου νερού.	83
Εικόνα 85: Τιμές του συντελεστή ασφαλείας συναρτήσε της στάθμης του υπόγειου νερού	84
Εικόνα 86:Παράμετροι διαφραγματικού τοίχου για κάθε περίπτωση απόστασης πασσάλων.	85
Εικόνα 87 Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 1,5m.	85
Εικόνα 88: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 2m.	86
Εικόνα 89: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 2,5m.	86
Εικόνα 90Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 1,5m.	87
Εικόνα 91:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 2m.	87
Εικόνα 92:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 2,5m.	88
Εικόνα 93: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις συναρτήσε της απόστασης πασσάλων.	89
Εικόνα 94: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσε της απόστασης πασσάλων.	89
Εικόνα 95:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	90
Εικόνα 96:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	90
Εικόνα 97:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης	91
Εικόνα 98: Μέγιστη αξονική δύναμη επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσε της απόστασης πασσάλων.	92
Εικόνα 99: Μέγιστη διατμητική δύναμη επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσε της απόστασης πασσάλων.	92
Εικόνα 100: Μέγιστη καμπτική ροπή επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσε της απόστασης πασσάλων.	93
Εικόνα 101: Τιμή του συντελεστή ασφαλείας συναρτήσε της απόστασης πασσάλων.	93
Εικόνα 102:Εισαγωγή στο Πλακίτης δύναμης προέντασης σε KN/m για την ανάλυση με F=100KN	94
Εικόνα 103:Εισαγωγή στο Πλακίτης δύναμης προέντασης σε KN/m για την ανάλυση με F=300KN	94
Εικόνα 104:Εισαγωγή στο Πλακίτης δύναμης προέντασης σε KN/m για την ανάλυση με F=450KN	95
Εικόνα 105:Εισαγωγή στο Πλακίτης δύναμης προέντασης σε KN/m για την ανάλυση με F=600KN	95
Εικόνα 106 Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης F=100 KN.	95
Εικόνα 107: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης F=300 KN.	96
Εικόνα 108: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης F=450 KN.	96
Εικόνα 109: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης F=600 KN.	97

Εικόνα 110:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης $F=100$ KN.	97
Εικόνα 111:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης $F=300$ KN.	98
Εικόνα 112:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης $F=450$ KN.	98
Εικόνα 113:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης $F=600$ KN.	99
Εικόνα 114:Οριζόντια μετατόπιση συναρτήσεως της δύναμης προέντασης των αγκυρίων.	100
Εικόνα 115: Κατακόρυφη μετατόπιση συναρτήσεως της δύναμης προέντασης των αγκυρίων	100
Εικόνα 116:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	101
Εικόνα 117:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	101
Εικόνα 118:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης	102
Εικόνα 119: Μέγιστες αξονικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης των αγκυρίων.	103
Εικόνα 120:Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης των αγκυρίων.	103
Εικόνα 121:Μέγιστες καμπτικές ροπές επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης των αγκυρίων.	104
Εικόνα 122: Τιμές συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τη δύναμη προέντασης των αγκυρίων	104
Εικόνα 123:Προσομοίωμα μοντέλου για κάθε περίπτωση στρωματογραφίας.	105
Εικόνα 124: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 2,06 cm.	105
Εικόνα 125: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 1,27 cm.	106
Εικόνα 126:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 6,34 cm.	106
Εικόνα 127: Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 6,91 cm.	107
Εικόνα 128:Οριζόντια μετακίνηση σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.	108
Εικόνα 129:Κατακόρυφη μετακίνηση σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.	108
Εικόνα 130:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	109
Εικόνα 131:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	109
Εικόνα 132:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης	110
Εικόνα 133:Μέγιστες αξονικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.	111
Εικόνα 134:Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.	111
Εικόνα 135:Μέγιστες καμπτικές ροπές επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.	112
Εικόνα 136:Τιμές συντελεστή ασφαλείας συναρτήσεως του πάχους του κροκαλοπαγούς.	113
Εικόνα 137:Προσομοίωμα μοντέλου για κάθε περίπτωση στάθμης υπόγειου νερού.	113
Εικόνα 138 Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -5 m	114
Εικόνα 139: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -15 m.	114
Εικόνα 140Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -5 m.	115
Εικόνα 141:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -15 m.	115
Εικόνα 142:Οριζόντια μετακίνηση σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.	116
Εικόνα 143:Κατακόρυφη μετακίνηση σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.	116
Εικόνα 144:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	117
Εικόνα 145:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης	117
Εικόνα 146:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης	118
Εικόνα 147:Μέγιστες αξονικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.	118
Εικόνα 148:Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.	119
Εικόνα 149:Μέγιστες καμπτικές ροπές επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.	119
Εικόνα 150:Τιμές του συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.	120
Εικόνα 151:Προσομοίωμα μοντέλου.	120
Εικόνα 152. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 1, 17m.	121
Εικόνα 153Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 4,69 cm	121
Εικόνα 154:Αξονικές, διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης	122

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση του πλήθους των υπόγειων κατασκευών, ειδικά της κατασκευής σταθμών μετρό σε μεγάλα αστικά κέντρα. Οι βαθιές εκσκαφές αποτελούν ένα τεχνικά δύσκολο έργο, καθώς ο σχεδιασμός και η κατασκευή τους πρέπει να λάβουν υπόψη την τοποθεσία του έργου, το σύστημα αντιστήριξης της εκσκαφής και την αλληλεπίδραση με τις γειτονικές κατασκευές, οι οποίες δέχονται καθιζήσεις λόγω των εκσκαφών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η βαθιά εκσκαφή που αφορά στην κατασκευή του Σταθμού «Περιστέρι», της γραμμής 2 του Μετρό «Ανθούπολη-Ελληνικό». Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η συμπεριφορά του συστήματος αντιστήριξης στην εν λόγω εκσκαφή σε δύο διαστάσεις, με χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 2D V8. Όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την προσομοίωση του συστήματος αντιστήριξης του Σταθμού ελήφθησαν από τα στοιχεία της μελέτης που εκπονήθηκε από την ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά στοιχεία για το έργο του σταθμού μετρό «Περιστέρι», όπως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκσκαφής και οι μέθοδοι κατασκευής και προσωρινής αντιστήριξης που έχουν εφαρμοστεί στο συγκεκριμένο σταθμό μετρό.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή του έργου, αλλά και κατά μήκος της χάραξης. Προσδιορίζονται, συνεπώς, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που θα εμφανιστούν κατά την κατασκευή του σταθμού μελέτης της παρούσας εργασίας. Επίσης παρουσιάζονται οι γεωτεχνικές συνθήκες του έργου, μετά από την αξιολόγηση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων από την ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.

Στο τρίτο κεφάλαιο ακολουθεί η παρουσίαση του λογισμικού Plaxis 2D V8, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η προσομοίωση της βαθιάς εκσκαφής του σταθμού μετρό. Παρουσιάζεται ο σχεδιασμός του μοντέλου προσομοίωσης, ο ορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών των μέτρων υποστήριξης, μεταβάλλοντας ορισμένες από αυτές τις παραμέτρους, και τα βήματα υπολογισμού.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι παραμετρικές αναλύσεις και συγκρίνονται τα αποτελέσματα αυτών με τη μορφή διαγραμμάτων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

Τέλος, ακολουθεί η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας.

## **Abstract**

In recent years a significant increase in underground constructions has been observed, especially in metro-constructions in the urban environment. The construction of deep excavations is a technically challenging problem, because design and construction have to take into account the location of the project, the support system of the excavation and the interaction with adjacent structures, which are subject to subsidence due to the excavations.

The current thesis deals with a deep excavation that concerns the construction of metro station "Peristeri", one of the stations of metro - line 2 "Anthoupoli - Elliniko". More specifically, the behaviour of support system in this excavation is investigated using 2-D analyses, which are carried out with the finite element program Plaxis 2D V8. All the necessary data for the simulation of the support system of the Station "Peristeri" were received from the data of the study prepared by Attiko Metro SA.

The first chapter refers to general information about the project "metro station Peristeri", such as geometry characteristics of the excavation, the construction methods and support methods that have been applied to metro stations projects.

The geological and the hydrogeological conditions, not only in the wider area but also in the site of the project, are referred in this chapter. Therefore the geological structure that appear during the excavation is determined. Furthermore the geotechnical conditions of this project, after the evaluation of the laboratory results by ATTIKO METRO SA, are presented.

In the third chapter the finite element program Plaxis 2D V8 is presented, through which the analyses of deep excavation's simulation at metro station "Peristeri" are carried out. The design of simulation model, the definition of required mechanical parameters of the support system are inputted in Plaxis, as they emerged from the geotechnical research. Also, changing some of these parameters and the calculation steps, a wide range of analyses are carried out.

In the next chapter the results of parametric analyses are compared and are figured with help of diagrams.

The conclusions which are conducted for the behavior of the retaining structure and its influence to the surrounding ground are issued in the last chapter.

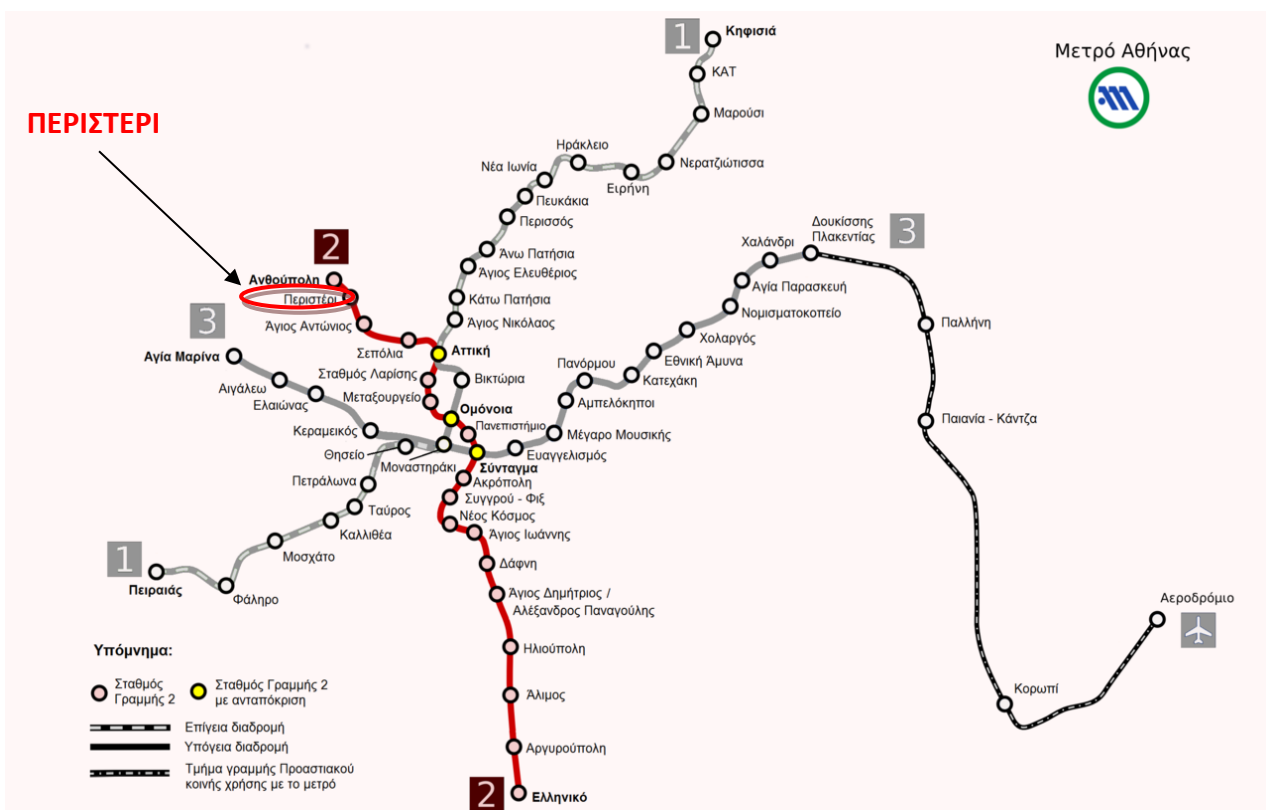
Finally, reference is made to the literature used to prepare the current thesis.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. Το έργο- σταθμός μετρό «Περιστερί»

Το έργο, του οποίου τα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις, είναι ο σταθμός μετρό του Περιστερίου, ο οποίος έχει δοθεί σε κυκλοφορία από το 2013 ως επέκταση της Γραμμής 2 (Ανθούπολη-Ελληνικό). Η θέση του συγκεκριμένου σταθμού βρίσκεται στην Πλατεία Δημοκρατίας, δίπλα από τον Ιερό Ναό Ευαγγελιστρίας, με εισόδους- εξόδους στην Πλατεία Δημοκρατίας και στην Π. Τσαλδάρη και Αισώπου. Αποτελείται από 3 επίπεδα με ίδιο περίπου περίγραμμα συνολικής επιφάνειας 11.000 m<sup>2</sup>. Ο μόνιμος φορέας του σταθμού έχει μήκος περίπου 112 m και το βάθος του φτάνει περίπου στα 27 m. Το πλάτος του σταθμού μεταβάλλεται από θέση σε θέση, στα δύο ακραία τμήματα του σταθμού, το ανατολικό και δυτικό, το πλάτος κυμαίνεται από 23 m έως 33 m, ενώ στο κεντρικό τμήμα του σταθμού το πλάτος φτάνει τα 51 m.

Στην (Εικόνα 1) φαίνεται η κάτοψη της στενής περιοχής του σταθμού Περιστερίου (ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε., 2007 Α).



Εικόνα 1: Γραμμές Μετρό της Αθήνας. Με κόκκινο χρώμα η γραμμή 2(Ανθούπολη-Ελληνικό), στην οποία ανήκει ο σταθμός «Περιστερί».

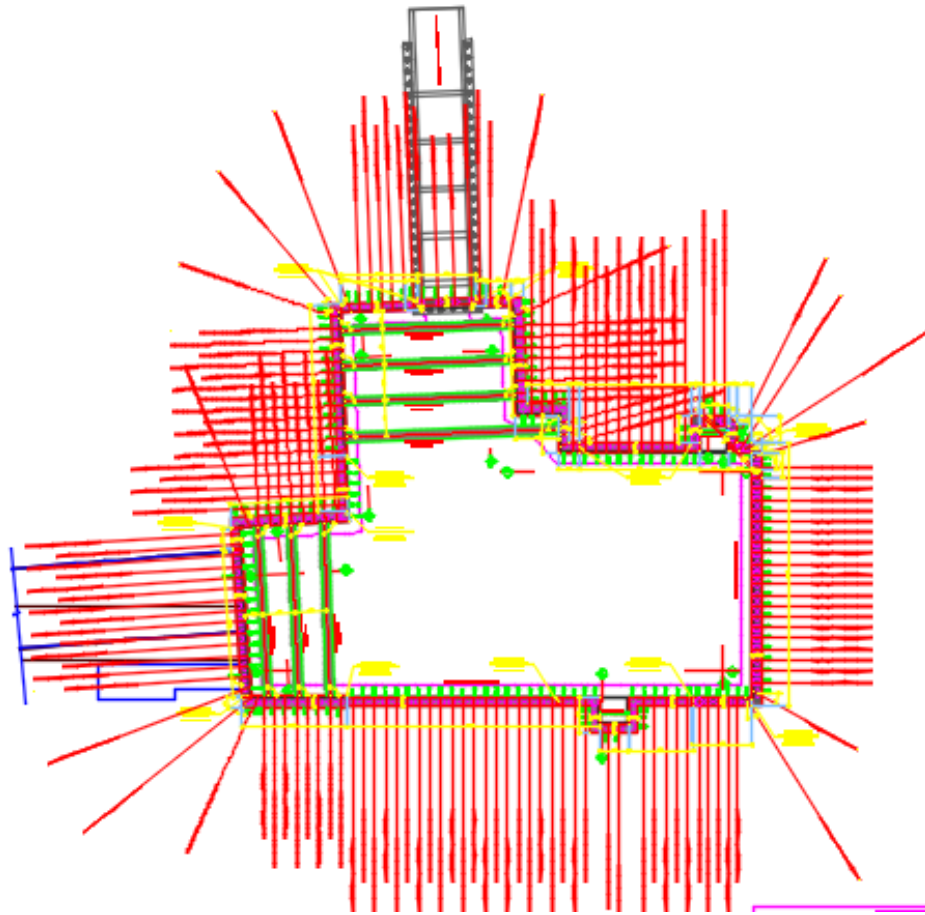


Εικόνα 2: Αεροφωτογραφία από τον σταθμό μετρό «Περιστερί». (googleearth)

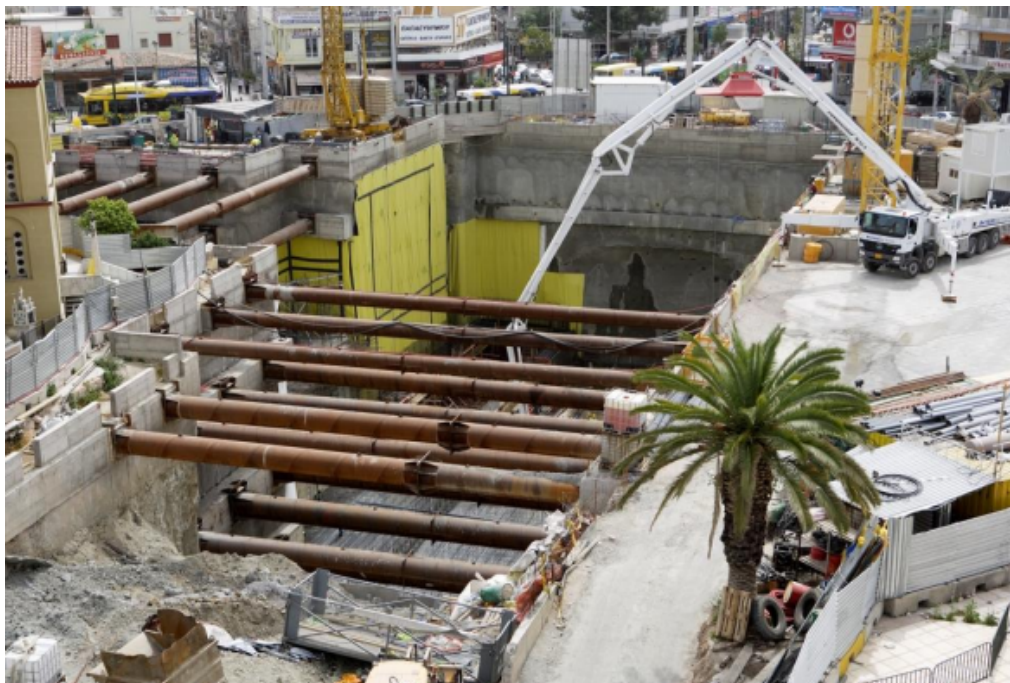


Εικόνα 3: Κάτοψη της στενής περιοχής του σταθμού Περιστερίου.

Το μεγαλύτερο τμήμα του σταθμού, κατασκευάστηκε με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος, ενώ το υπόλοιπο τμήμα, που συνδέεται με τη σήραγγα επέκτασης της Γραμμής 2 κατασκευάστηκε με υπόγεια διάνοιξη με συμβατικά μέσα. Για την σταθεροποίηση των πρανών της εκσκαφής, έγινε η κατασκευή συστήματος προσωρινής αντιστήριξης, που αποτελείται από φρεατοπασσάλους με διάμετρο 1.000 mm, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε αξονικές αποστάσεις 1.50 m, κεφαλόδεσμο από σπλισμένο σκυρόδεμα με διαστάσεις που κυμαίνονται από 1.20m x 1.00 m έως 1.50m x 1.20m και χαλύβδινες σωληνωτές αντηρίδες. Οι αντηρίδες τοποθετήθηκαν με αξονική απόσταση μεταξύ τους από 4.50 m έως 4.80 m. (Εικόνες 4&5)



Εικόνα 4: Κάτοψη του σταθμού μετρό «Περιστέρι» με τα μέτρα υποστήριξης (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.)



Εικόνα 5: Κατασκευή αντηρίδων στο σταθμό «Περιστέρι». ([www.ametro.gr](http://www.ametro.gr))

## **1.2. Περιγραφή χώρου του έργου**

Το δομημένο περιβάλλον στην περιοχή του έργου χαρακτηρίζεται από χαμηλά κτίρια δύο έως τριών ορόφων, με εξαίρεση δύο μεγάλων ακάλυπτων περιοχών εκατέρωθεν του άξονα της γραμμής της επέκτασης, δεξιά του άξονα το πάρκο του Ι. Ν. Ευαγγελιστρίας και αριστερά αυτού η πλατεία Δημοκρατίας. Παράλληλα, στην συγκεκριμένη περιοχή ευρίσκονται τα δύο σημαντικότερα κτίρια που συναντώνται κατά μήκος του άξονα του έργου: ο Ι. Ν. Ευαγγελιστρίας, στα αριστερά και το νέο Δημαρχείο, στα δεξιά.

Ολόκληρη η περιοχή της συγκεκριμένης επέκτασης της Γραμμής 2 του μετρό χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία οχημάτων και πεζών καθ' όλη την διάρκεια του 24ώρου.



## **2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ– ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής του λεκανοπεδίου Αττικής καθώς και γεωλογικών, γεωτεχνικών και υδρογεωλογικών στοιχείων της περιοχής κατασκευής, τα οποία συγκεντρώθηκαν για την διεκπεραίωση της κατασκευής του σταθμού μετρό στο Περιστερί.

Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από παλιότερες μελέτες, καθώς και από τις γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές έρευνες πεδίου που πραγματοποιήθηκαν επιτόπου, από την ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., προκειμένου να προσδιοριστεί η στρωματογραφία, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που υπάρχουν στην περιοχή και η στάθμη των υπόγειων νερών.

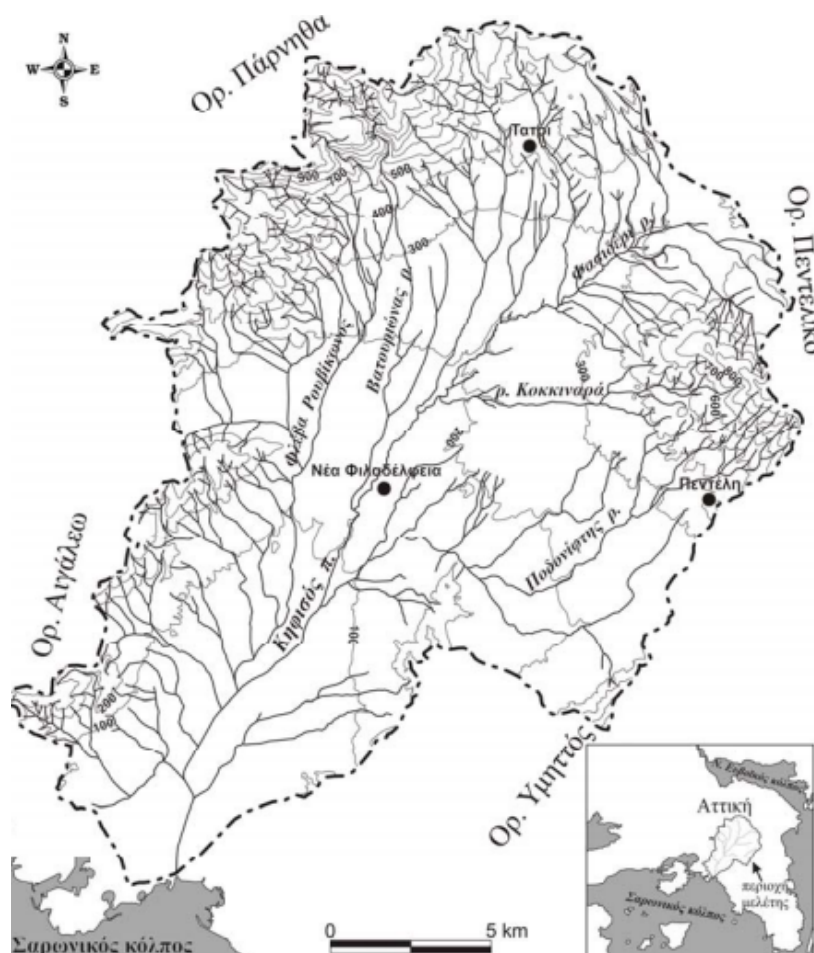
Όλες οι έρευνες αυτές συντάχθηκαν για την κατάλληλη αντιμετώπιση προβλημάτων ευστάθειας των πρανών και την αντιστήριξή τους, με γνώμονα την ασφάλεια και την οικονομία του έργου.

### **2.1. Μορφολογία της περιοχής**

Η ευρύτερη περιοχή στην οποία βρίσκεται ο σταθμός Περιστερίου είναι το λεκανοπέδιο Αττικής μήκους 22 km και πλάτους 11 km. Το λεκανοπέδιο Αττικής στην ουσία είναι ένα βύθισμα που αποτελείται στα βόρεια και βορειοδυτικά από την οροσειρά της Πάρνηθας, στα ανατολικά από το όρος Αιγάλεω, με δυτική κατάληξη το ακρωτήριο Περάματος και ανατολικά από τον Υμηττό και τον αυχένα Σταυρού – Γαργητού και στα νοτιοανατολικά, από την νότια απόληξη του Υμηττού και νοτιοδυτικά ανοίγεται στον Σαρωνικό Κόλπο (Λουπασάκης, 2014).

Σύμφωνα με την μελέτη «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΜΗΜΑ ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ», το λεκανοπέδιο της Αθήνας μορφολογικά χωρίζεται σε ανατολικό και δυτικό τμήμα από μία σειρά λόφων που αναπτύσσονται πλησίον του κεντρικού άξονα. Η σειρά αυτή απαρτίζεται από τα Τουρκοβούνια, τον Λυκαβηττό, την Ακρόπολη και τον λόφο Φιλοπάππου. Το δυτικό τμήμα, όπου είναι και η περιοχή του έργου, αποστραγγίζεται από τον Κηφισό ποταμό, ο οποίος πηγάζει από τον αυχένα του Μπογιατίου και εκβάλλει στον όρμο του Φαλήρου.

Το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης είναι ομαλό με ήπιες κλίσεις πρανών γενικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ. Λοφώδεις εξάρσεις παρατηρούνται σε θέσεις ανάδυσσης του γεωλογικού υποβάθρου. Ο κύριος ορεινός όγκος (Όρος Αιγάλεω) βρίσκεται σε απόσταση 3.0 km, περίπου, από την περιοχή του έργου. Το υψόμετρο στη θέση του σταθμού «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» συγκεκριμένα κυμαίνεται μεταξύ +54.00 και +59.00 m. Το χαμηλότερο υψομετρικά μορφολογικό στοιχείο της περιοχής είναι ο Κηφισός Ποταμός, ο οποίος, στο «ύψος» της οδού Παναγή Τσαλδάρη, έχει υψόμετρο περί τα +44.00 m. (Παναγία, 2007).



Εικόνα 6: Μορφολογία Λεκανοπεδίου Αττικής.

## 2.2. Γεωλογικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού

Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη ΙΓΜΕ, φύλλο Αθήναι-Ελευσίς (ΙΓΜΕ 1986), κλίμακα 1:50.000 και την επί τόπου έρευνα που πραγματοποιήθηκε, η ευρύτερη περιοχή του σταθμού μετρώ «Περιστέρι» δομείται από τους «Σχιστολίθους των Αθηνών». Μεγάλα τμήματα του συστήματος των σχιστολίθων καλύπτονται από μικρού έως μεγάλου πάχους, νεότερης ηλικίας σχηματισμών του Νεογενούς, Μειοκαινικής έως Πλειοκαινικής ηλικίας, και του Τεταρτογενούς.

Αναλυτικά, οι σχηματισμοί που συναντώνται στη ευρύτερη του έργου περιοχή είναι :

Οι Ασβεστόλιθοι του όρους Αιγάλεω. Τοποθετούνται βόρεια και βορειοδυτικά της θέσης του έργου, με λευκό έως τεφρό χρώμα και είναι συμπαγείς και ανακρυσταλλωμένοι.

Ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος»(K9.sch) αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα πετρωμάτων, το οποίο συνίσταται σε φλυσχοειδή ιζήματα τεφρών, καστανοπράσινων και φαιοπράσινων αργλικών και ψαμμιτικών σχιστολίθων με περιστρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών, ασβεστολίθων και σχιστωδών μαργών με μικρά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων, κυρίως σπηλιτών. Νοτιοδυτικά της υπό μελέτη περιοχής παρατηρείται ανάδυση των σχιστολίθων στην επιφάνεια του εδάφους.

Τα νεογενή ιζήματα (Ng) έχουν σημαντική επιφανειακή εμφάνιση δυτικά της θέσης του έργου. Συνίστανται από εναλλασσόμενα στρώματα, λιμναίας φάσης, μαργών, αργίλων και ψαμμιτών με παρεμβολές κροκαλοπαγών και κοιτάσματα λιγνιτών. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε χερσαίους σχηματισμούς, κυρίως από ερυθροπηλούς και κροκαλοπαγή. Επικάθονται των Αθηναϊκών Σχιστολίθων.

Μικρότερη έκταση, στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, καλύπτεται επιφανειακά από πιο πρόσφατα (Τεταρτογενή, Pt.cs,sc). Πρόκειται για ριπίδια χειμάρρων, πλευρικά κορήματα και προσχωσιγενή υλικά κοιλάδων, ισχυρά συγκολλημένα κροκαλολατυποπαγή, μικρού σχετικά πάχους. Οι σχηματισμοί αυτοί συνίστανται, κυρίως, από μεταψαμμίτες, μεταίλυολίθους, σχιστολίθους και αργλικούς σχιστολίθους - φυλλίτες. Στη μάζα τους συναντώνται, επίσης, ενστρώσεις χαλαζιτών και συχνά εναλλαγές των ανωτέρω λιθολογιών. Στο σύνολό του ο σχηματισμός παρουσιάζει έντονο κερματισμό ακόμα και στο σχετικό υγιές τμήμα του. Στη μάζα του αναμένονται ζώνες τεκτονισμού - διάτμησης, όπου το υλικό κατά θέσεις έχει μετατραπεί σε άργιλο. Το συνολικό πάχος ενδέχεται να υπερβαίνει τα 200m.

Αλλουβιακές αποθέσεις (al) χαλαρών αργιλοαμμωδών υλικών με κροκαλολατύπες. Οι τεταρτογενείς και αλλουβιακές αποθέσεις συναντώνται επιφανειακά σε όλη την έκταση της ευρύτερης περιοχής του έργου με διάφορα πάχη σχηματισμών.

(ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.,2007).

Ακολούθως δίνεται απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη με τη θέση του έργου.



#### **ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- Σχιστόλιθοι των Αθηνών (K<sub>9</sub>.sch)
- Νεογενή ιζήματα (Ng)
- Ασβεστόλιθος (K<sub>9</sub>.mk)
- Αλλουβιακές αποθέσεις (al)

Εικόνα 7: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη(ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, Φύλλο ΑΘΗΝΑΙ – ΕΛΕΥΣΙΣ / ΙΓΜΕ 1986 – κλίμακα 1:50.000).

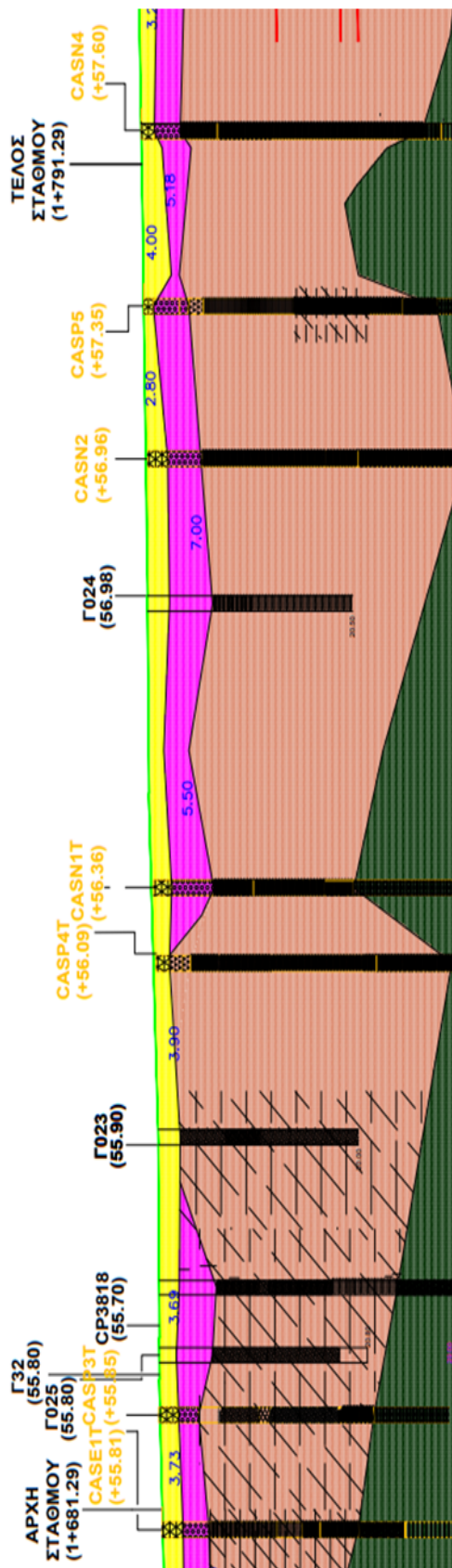
### **2.3. Γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή το έργου**

Η γεωλογική δομή της στενής περιοχής του έργου, σύμφωνα με την μελέτη «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 2 ΤΜΗΜΑ ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» από την ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε., προκύπτει από την αξιολόγηση των στοιχείων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων ως εξής:

Σε όλο σχεδόν το μήκος της επέκτασης της Γραμμής 2 απαντώνται επιφανειακά ανθρωπογενείς αποθέσεις. Οι αποθέσεις αυτές έχουν αναμιχθεί με τις ολοκαινικές αλλουβιακές προσχώσεις, δημιουργώντας ένα ενιαίο στρώμα. Οι προσχώσεις συνίστανται σε αμμώδεις αργίλους και αργιλώδεις χάλικες. Έπειτα συναντάται μέτρια συγκολλημένο κροκαλοπαγές. Σε μεγαλύτερο βάθος συναντάμε εναλλαγές ασβεστιτικού μεταψαμμίτη και μεταλυολίθου, μία ζώνη που χαρακτηρίζεται έντονα τεκτονισμένη. Τέλος, το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης αποτελεί ο σχηματισμός του «Αθηναϊκού Σχιστολίθου». Ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος» συνίσταται από έντονα αποσαθρωμένο αργιλικό σχιστολίθο.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γεωλογική τομή στην περιοχή του σταθμού της γραμμής μετρό 2 «Περιστέρι».

Οι γεωτρήσεις με πρόθεμα Γ αποτελούν και τις παλαιότερες εκτελεσθείσες και οι γεωτρήσεις με πρόθεμα CP είναι οι πιο πρόσφατα εκτελεσθείσες.



Εικόνα 8: Γεωλογική τομή στην περιοχή του σταθμού της γραμμής μετρό 2 «Περιστερί».

### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Τεχνητές Επιχώσεις και Εμπνευστικές Αποθέσεις σε μορφή κοπής, μέσης συνεκτικότητας έως σπέρης ερμώδους Αργίλου, με χαλαρές κατά θέσεις
-  Κοσσανόφιθο έως τριφύρο Αρβιλολιμικό Χροοκοπτός, μέτρα ισχυρό, ελαφρά έως μέτρια αποσβώσιμο και κρηματισμένο κατά θέσεις
-  Τεφρός, ισχυρός, μέτρα τεκτονισμένος ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΑΜΜΙΤΗΣ
-  Εναλλαγές τερματών ΑΣΒΕΣΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΒΑΜΜΙΤΗ με περιεμπόσιμο ΜΕΤΑΛΛΟΥΜΟΟ και ΜΕΤΑΒΑΜΜΙΤΗ (έντονα τεκτονισμένη ζώνη - ζώνη διάτρησης)
-  Ξεκορστέρος μέτρα ασθενής έως ασθενής, μέτρα έως επαρκώς αποσβώσιμος, (εξολισωμένο) ΑΡΓΥΡΙΚΟΣ ΣΙΣΤΟΛΙΘΟΣ
-  ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΣΤΑΘΜΗ
-  Ζώνη έντονου τεκτονισμού και διάτρησης
-  Όρια Σιδηρούς
-  Θέσεις παλαιών δειγματοληπτικών γεωφωρίσεων
-  Θέσεις νέων δειγματοληπτικών γεωφωρίσεων

## **2.4. Τεκτονική**

Στο σύνολό του ο σχηματισμός παρουσιάζει έντονο κερματισμό ακόμα και στο σχετικό υγιές τμήμα του. Στη μάζα του αναμένονται ζώνες τεκτονισμού - διάτμησης, όπου το υλικό κατά θέσεις έχει μετατραπεί σε άργιλο.

Οι κύριες διευθύνσεις των τεκτονικών στοιχείων στην ευρύτερη περιοχή είναι ΒΑ - ΝΔ. Ιδιαίτερης σημασίας τεκτονική δομή αποτελεί το πιθανό ρήγμα που απεικονίζεται στο γεωλογικό χάρτη (Εικόνα7). Η διεύθυνσή του είναι παράλληλη με την κοίτη του ρέματος της Πικροδάφνης (ΝΔ – ΒΑ) και σε απόσταση περί τα 150 m βορειότερα από αυτό, ευρίσκεται δε περί τα 500 m νότια από τη θέση του Σταθμού «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ». (ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.,2007).

## 2.5. Υδρογεωλογικές συνθήκες

Ο σχηματισμός του Αθηναϊκού Σχιστολίθου παρουσιάζει μεγάλη ανισοτροπία στην υδροπερατότητά του. Κατά κανόνα αποτελεί υδατοστεγανό σχηματισμό, λόγω της παρουσίας στη μάζα του σχιστολίθων και αργιλοποιημένων ζωνών αποσάθρωσης, τεκτονισμού και διάτμησης. Η παρουσία, όμως, κερματισμένων ζωνών, με δομή βραχομάζας, διαμορφώνει διόδους για το υπόγειο νερό, επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη μεμονωμένων υδροφορέων. (ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε., 2007). Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών κατάταξης αλλά κι από την μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων και τις αντίστοιχες περιγραφές του σχηματισμού από τις γεωτρήσεις, ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος» περιέχει υψηλό ποσοστό λεπτόκοκκων (της τάξης του 30% - 40%). Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι από «υδραυλικής» άποψης ο σχηματισμός συμπεριφέρεται ως «ημιπερατός» - «αδιαπέρατος» σχηματισμός. Στους σχηματισμούς αυτούς ισχύει, ως έννοια, ο «βαθμός κορεσμού» και όχι ο «υδροφόρος ορίζοντας». Το υπόγειο νερό πληρώνει τα κενά και συγκρατείται μέσα σε αυτά, ανάμεσα στους κόκκους του εδάφους. Εξαιρεση, βέβαια, αποτελούν οι, προαναφερθείσες, επιλεκτικές δίοδοι κυκλοφορίας του υπόγειου νερού, που δύναται να αναπτύσσονται μέσα σε ενδιαστρώσεις μεταψαμμιτών ή/και σχιστολίθου, με μικρότερο βαθμό αποσάθρωσης και δομή βράχου.

Βάσει των παραπάνω και με δεδομένο ότι του «Αθηναϊκού Σχιστολίθου» υπέρκινεται δύο, σχετικά, πιο περατοί σχηματισμοί, μπορεί να θεωρείται ότι ο παρατηρηθείς υδροφόρος ορίζοντας στην συγκεκριμένη, τουλάχιστον, θέση αναπτύσσεται ως «επικρεμάμενος» του «Αθηναϊκού Σχιστολίθου», ο οποίος, με τη σειρά του, θα πρέπει να θεωρείται, επί το δυσμενέστερο, ως «πλήρως κορεσμένος». Με άλλα λόγια, στον «Αθηναϊκό Σχιστόλιθο» η παρουσία του υπογείου νερού λαμβάνει την έννοια του «κορεσμού» (μερικού ή πλήρους) του πορώδους κι όχι της παρουσίας ενός υδροφόρου ορίζοντα με διακριτή στάθμη και κυκλοφορία νερού, όπως γίνεται στην περίπτωση των «περατών - κοκκωδών» εδαφών.

### 2.5.1. Στάθμη υπόγειου νερού

Κατά τη διάρκεια των εργασιών υπαίθρου μετρήθηκε και καταγράφηκε, από την ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΤΕ, η στάθμη του υπόγειου νερού, σε καθημερινή βάση πρωινή (πριν την έναρξη των εργασιών) και βραδινή (μετά την λήξη των εργασιών υπαίθρου). Η μέση ημερήσια στάθμη των μετρήσεων κατά την διάρκεια ανόρυξης κυμάνθηκε από 1.80 m έως 6.98 m και ήταν εντός του κροκαλοπαγούς σχηματισμού. Ο υποκείμενος Αθηναϊκός Σχιστόλιθος αποτελεί έναν φυσικό φραγμό για την κίνηση των κατερχόμενων υπόγειων υδάτων.

Πίνακας 1: Μετρήσεις της στάθμης ύδατος στις γεωτρήσεις.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΜΕΣΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΠΡΩΙ	ΜΕΣΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΒΡΑΔΥ
CASN2	2.85	2.30
CBKN1	6.98	5.90
CASN1T	5.60	2.58
CASP4T	4.68	2.35
CASP5	3.90	2.87

Η στάθμη του υπόγειου νερού που καταγράφεται με αυτό τον τρόπο δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη, γιατί ο σχηματισμός συγκρατεί και ένα ποσοστό νερού το οποίο χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια της διάτρησης. Βέβαια, ανάμεσα στην πρωινή και την βραδινή μέτρηση, η πρώτη μπορεί να θεωρηθεί πιο αξιόπιστη, καθώς για πολλές ώρες δεν εκτελούνται εργασίες διατήρησης, ένα μέρος του νερού αυτού διαφεύγει στον υπόγειο υδροφόρα και η στάθμη πέφτει.

Ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση η εικόνα της στάθμης του υπόγειου νερού δεν είναι απόλυτα αντιπροσωπευτική, αφού δεν είναι γνωστό αν μέσα στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της διακοπής των εργασιών και της πρωινής μέτρησης είναι αρκετό για να κατεισχύσει το επιπλέον νερό της διάτρησης. Γι' αυτό τον λόγο, όλες οι γεωτρήσεις εξοπλίστηκαν με πιεζόμετρα, τα οποία μπορούν να παρέχουν μετρήσεις σε χρόνους μεταγενέστερους της έρευνας. Οι μετρήσεις αυτές θεωρούνται ανεπηρέαστες από την ύπαρξη του νερού που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της διάτρησης και δίνουν αντιπροσωπευτική εικόνα για την στάθμη του υπόγειου ορίζοντα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν σε πιεζόμετρα σε γεωτρήσεις της Εικόνας 8.

**Πίνακας 2: Μετρήσεις της στάθμης ύδατος στις γεωτρήσεις με τη βοήθεια πιεζόμετρου.**

<b>ΓΕΩΤΡΗΣΗ</b>	<b>ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (m)</b>	<b>ΒΑΘΟΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟΥ (m)</b>	<b>ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ (m)</b>	<b>ΣΤΑΘΜΗ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (m) (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ)</b>
<b>CASP5</b>	34,70	30,00	+55,18	8,81
<b>CASP4T</b>	35,00	34,50	-	3,78
<b>CATP5</b>	25,00	22,50	+55,18	4,07
<b>CBFP2W</b>	30,00	27,00	+58,14	11,55

Οι μετρήσεις έδειξαν ανάπτυξη αρκετά υψηλών υδροστατικών πιέσεων. Όπως φάνηκε από τα δείγματα των γεωτρήσεων που ελήφθησαν από τα σημεία στα οποία είχαν τοποθετηθεί τα πιεζόμετρα, ο σχηματισμός είναι αρκετά κερματισμένος, κάτι το οποίο δικαιολογεί την ανάπτυξη υψηλών υδροστατικών πιέσεων, αφού το νερό κυκλοφορεί υπό πίεση μέσα στις ρωγμές.



## 2.5.2. Διαπερατότητα γεωλογικού σχηματισμού

Κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων πραγματοποιήθηκαν επί τόπου δοκιμές εισπίεσεως για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας του γεωλογικού σχηματισμού της περιοχής μελέτης. Εκτελέστηκαν συνολικά δύο δοκιμές:

- Για τους εδαφικούς σχηματισμούς πραγματοποιήθηκαν επί τόπου δοκιμές τύπου Maag.
- Για το βραχώδες υπόβαθρο πραγματοποιήθηκαν επί τόπου δοκιμές τύπου Lugeon.

### Δοκιμές εισπίεσεως τύπου Maag

Κατά τη δοκιμή αυτή που πραγματοποιήθηκε στους εδαφικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης, μετρήθηκε η πτώση της στάθμης της στήλης του νερού μέσα στη σωληνωμένη γεώτρηση σε συνάρτηση με τον χρόνο και προσδιορίστηκε ο συντελεστής διαπερατότητας, που αντιστοιχεί στο βάθος της δοκιμής.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται για κάθε γεώτρηση, το βάθος της δοκιμής Maag, το μήκος του ασωλήνωτου τμήματος, ο υπολογιζόμενος μέσος ενδεικτικός συντελεστής διαπερατότητας καθώς και η περιγραφή του σχηματισμού στην περιοχή που εκτελέστηκε η δοκιμή.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα δοκιμών εισπίεσεως τύπου Maag.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΜΗΚΟΣ ΑΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ (m)	ΜΕΣΟΣ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ			
CBFP2W	3,20	5,70	2,50	$1,18 \times 10^{-4}$	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ ΕΩΣ ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CASN2	2,80	5,60	2,80	$1,43 \times 10^{-4}$	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ
CASP3T	3,50	4,80	1,30	$1,53 \times 10^{-5}$	ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ ΕΩΣ ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ
CASN4	3,80	5,30	1,50	$3,07 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CASP4T	3,00	5,60	2,60	$2,03 \times 10^{-5}$	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΕΩΣ ΤΑ 3,50, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CBKN1	6,50	9,40	2,90	$1,17 \times 10^{-4}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
CASN1T	3,00	4,90	1,90	$2,18 \times 10^{-4}$	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ/ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ
CASE1T	3,00	4,70	1,70	$1,10 \times 10^{-4}$	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ
CASP5	3,00	6,00	2,00	$1,41 \times 10^{-4}$	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ ΕΩΣ 4m, ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ
	12,50	14,00	1,50	$6,48 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ
	25,90	26,90	1,00	$4,40 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	28,50	30,20	1,70	$2,12 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ ΕΩΣ 29,3m, ΑΡΓΙΛΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ

### Δοκιμές εισπίεσεως τύπου Lugeon

Κατά τη δοκιμή Lugeon για το βραχώδες υπόβαθρο μετρήθηκε η απορροφούμενη ποσότητα νερού στο εισπιεζόμενο τμήμα με διάφορες βαθμίδες πίεσεως σε ανιόντα και κατιόντα βήματα σε συνάρτηση με τον χρόνο. Προσδιορίστηκε έτσι ένας μέσος ενδεικτικός συντελεστής διαπερατότητας, που αντιστοιχεί στη μέση τιμή των συντελεστών από όλα τα βήματα και για το βάθος δοκιμής. Ο συντελεστής διαπερατότητας προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$k = \frac{Q}{2\pi \cdot L \cdot P_{\text{πραγμ}}} * \ln \frac{2L}{D_{\text{εξωτ}}} \quad (\Gamma. \text{Κούκης} - \text{Ν. Σαμπατακάκης}, 2002)$$

Όπου,

k: συντελεστής υδροπερατότητας

Q: παροχή νερού που διοχετεύεται

L: το εισπιεζόμενο τμήμα

D<sub>εξωτ</sub>: η εξωτερική διάμετρο της σωλήνωσης επένδυσης

P<sub>πραγμ</sub>: η πραγματική πίεση που εξασκείται στο βάθος εκτέλεσης της δοκιμής. Η πίεση αυτή εκφράζεται σαν υδραυλικό φορτίο, δηλαδή σε μέτρα στήλης νερού και γενικά ισχύει: h(m) = P<sub>πραγμ</sub> (kg/cm<sup>2</sup>) x 10.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται για κάθε γεώτρηση ξεχωριστά τα αποτελέσματα δοκιμών εισπίεσεως τύπου Lugeon, αναφέροντας το βάθος κάθε δοκιμής και την ενδεικτική τιμή του συντελεστή διαπερατότητας που αντιστοιχεί στη μέση τιμή συντελεστών διαπερατότητας σε κάθε βαθμίδα φόρτισης, καθώς και η περιγραφή του σχηματισμού στην περιοχή που εκτελέστηκε η δοκιμή.

**Πίνακας 4: Αποτελέσματα δοκιμών εισπίεσεως τύπου Lugeon.**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (m)		ΜΕΣΟΣ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (cm/sec)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ
	ΑΠΟ	ΕΩΣ		
CBFP2W	5,50	10,50	5,84x10 <sup>-6</sup>	ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ ΕΩΣ ΤΑ 6,60m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ ΕΩΣ ΤΑ 10,50m
	10,50	15,50	2,14 x10 <sup>-5</sup>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	15,70	20,70	4,67 x10 <sup>-6</sup>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	20,60	25,60	5,03 x10 <sup>-6</sup>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ ΕΩΣ ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ
	25,00	30,00	7,09 x10 <sup>-6</sup>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ ΕΩΣ ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ, έντονα κερματισμένος
CASN2	6,00	11,00	6,62 x10 <sup>-6</sup>	Έντονα κερματισμένος ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	11,00	16,00	8,69 x10 <sup>-6</sup>	Έντονα κερματισμένος ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	16,00	21,00	9,87 x10 <sup>-6</sup>	Έντονα κερματισμένος ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	19,90	24,90	2,08 x10 <sup>-5</sup>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ
	25,00	30,00	6,80 x10 <sup>-6</sup>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ
CASP3T	5,00	10,00	1,58x10 <sup>-5</sup>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ

	11,60	16,60	$2,21 \times 10^{-5}$	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ
	17,30	22,30	$2,40 \times 10^{-5}$	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ
	21,40	26,40	$1,83 \times 10^{-5}$	Αργιλικός ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ
<b>CASN4</b>	5,70	10,70	$2,53 \times 10^{-6}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	10,00	15,00	$6,11 \times 10^{-6}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	15,40	20,40	$1,01 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	20,70	25,70	$3,40 \times 10^{-6}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	25,20	30,20	$4,25 \times 10^{-6}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
<b>CASP4T</b>	5,50	10,50	$2,71 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	12,00	15,00	$3,24 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	20,40	25,40	$3,54 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ
	27,00	32,00	$2,80 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ
<b>CBKN1</b>	10,20	15,20	$2,84 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	15,30	20,30	-	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
	20,40	25,40	$1,37 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
<b>CASN1T</b>	5,00	10,00	$1,25 \times 10^{-5}$	ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ/ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΣ ΕΩΣ ΤΑ 6m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ΜΕΤΑΙΛΥΟ ΛΙΘΟΣ ΕΩΣ ΤΑ 10m
	14,40	19,40	$1,91 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ ΕΩΣ ΤΑ 17m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ ΕΩΣ ΤΑ 19,40m
	21,20	26,20	$2,67 \times 10^{-5}$	Αργιλικός ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ. Στο βάθος 25,20-26,00 m ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ
<b>CASE1T</b>	7,30	12,30	$2,50 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ ΕΩΣ ΤΑ 11,5m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ ΕΩΣ ΤΑ 12,3m
	13,10	18,10	$2,88 \times 10^{-5}$	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ κερματισμένος ΕΩΣ ΤΑ 14m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ/ ΜΕΤΑΙΛΥΟΛΙΘΟΣ ΕΩΣ ΤΑ 15,8m, ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ ΕΩΣ ΤΑ 18,10m

Εκτός από τις παραπάνω δοκιμές εισπίεσεως, που αφορούν δοκιμές που εκτελέστηκαν σε νέες γεωτρήσεις, παρακάτω παρουσιάζονται και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δοκιμών εισπίεσης σε παλιότερες γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν από την ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

**Πίνακας 5: Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας σε παλιότερες γεωτρήσεις**

Αριθμός Γεώτρησης	Είδος Δοκιμής	Βάθος	Συντελεστής Υδροπερατότητας(cm/sec)
Γ10	Lugeon	10.35-13.35	0
		14.00-17.00	0
		17.00-20.00	0
	Maag	20.00-23.00	$8.68 \times 10^{-6}$
Γ16	Lugeon	10.00-13.00	0
		13.00-16.00	0
		16.00-17.00	$1.11 \times 10^{-6}$
		17.00-22.00	$7.32 \times 10^{-6}$
		22.00-25.00	0
Γ17	Lugeon	10.00-13.00	$7.00 \times 10^{-4}$
		13.00-16.00	$1.06 \times 10^{-4}$
		16.00-19.00	$8.68 \times 10^{-6}$
		19.00-22.00	$7.06 \times 10^{-6}$
		22.00-25.00	$4.43 \times 10^{-6}$
Γ25	Lugeon	10.00-13.00	0
		13.00-16.00	$6.99 \times 10^{-6}$
		16.00-19.00	0
		19.00-22.00	$1.01 \times 10^{-6}$
		22.00-25.00	$1.01 \times 10^{-6}$
Γ26	Lugeon	10.00-13.00	0
		13.00-16.00	0
		16.00-19.00	$4.39 \times 10^{-6}$
		19.00-22.00	$6.24 \times 10^{-6}$
		22.00-25.00	$1.18 \times 10^{-6}$
Γ32	Lugeon	10.00-13.00	$1.50 \times 10^{-4}$
		13.00-16.00	$1.60 \times 10^{-4}$
		16.00-19.00	$1.69 \times 10^{-4}$
		19.00-22.00	$2.26 \times 10^{-6}$
		22.00-25.00	$8.49 \times 10^{-6}$
Γ37	Lugeon	10.00-13.00	0
		13.00-16.00	$4.53 \times 10^{-6}$
		16.00-19.00	$1.06 \times 10^{-6}$
		19.00-22.00	$1.17 \times 10^{-6}$
		22.00-25.00	$1.28 \times 10^{-6}$
Γ05	Letrano	14.40-17.95	$4.82 \times 10^{-7}$
		14.40-11.00	$3.45 \times 10^{-7}$
		14.40-25.90	$3.53 \times 10^{-7}$
		25.50-30.80	$2.96 \times 10^{-7}$
Γ07	Letrano	10.20-14.50	$4.59 \times 10^{-6}$
		17.90-18.90	$1.13 \times 10^{-6}$
		21.70	$7.96 \times 10^{-6}$
		22.00-25.90	$1.10 \times 10^{-6}$
Γ013	Lugeon	15.00-18.50	$2.86 \times 10^{-6}$
CP3818	Maag	8.00-9.80	$1.81 \times 10^{-6}$
		13.00-14.70	$2.02 \times 10^{-6}$

		19.40-20.40	$2.25 \times 10^{-6}$
		24.20-25.20	$1.69 \times 10^{-6}$
CP3819	Lugeon	7.20-10.20	$4.53 \times 10^{-4}$
		10.00-13.00	$4.55 \times 10^{-6}$
		15.10-18.10	$5.24 \times 10^{-6}$
		18.70-21.70	$4.97 \times 10^{-6}$
CP3820	Maag	5.10-5.90	$1.81 \times 10^{-6}$
		10.60-11.50	$3.38 \times 10^{-6}$
		14.90-15.70	$2.48 \times 10^{-6}$
		19.90-20.90	$3.70 \times 10^{-6}$
CP3821	Lugeon	4.00-9.00	$3.36 \times 10^{-6}$
		8.30-10.30	$1.97 \times 10^{-6}$
		12.20-17.20	$1.25 \times 10^{-6}$
		17.70-22.70	$4.70 \times 10^{-6}$
CP3822	Lugeon	5.80-8.80	$7.90 \times 10^{-6}$
		11.20-14.20	$1.50 \times 10^{-6}$
		14.00-19.00	$1.15 \times 10^{-6}$
		22.20-27.20	$1.56 \times 10^{-6}$

Από τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών προκύπτει ότι η διαπερατότητα λαμβάνει τιμές από  $10^{-4}$  cm/sec έως  $10^{-7}$  cm/sec, που είναι αρκετά χαμηλές.

Συγκεκριμένα από δοκιμές περατότητας στο Κροκαλοπαγές/ Λατυποπαγές οι τιμές της περατότητας κυμαίνονται από  $1,25 \times 10^{-5}$  cm/sec έως  $2,18 \times 10^{-4}$  cm/sec. Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε νέες γεωτρήσεις, προκύπτει ότι στο Σχιστόλιθο για την φάση του Μεταψαμμίτη η μέση τιμή για την περατότητα είναι ίση με  $k=2 \times 10^{-5}$  cm/sec και για την φάση του Μεταλιούλιθου είναι ίση με  $k=2.2 \times 10^{-5}$  cm/sec. Ωστόσο από δοκιμές που έγιναν σε παλαιότερες γεωτρήσεις, προκύπτουν τιμές περατότητας του Σχιστόλιθου αρκετά χαμηλότερες από τις τιμές των νέων γεωτρήσεων. Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές και των παλιών και των νέων γεωτρήσεων προκύπτει μια μέση τιμή περατότητας για τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο ίση με  $k=7.6 \times 10^{-6}$  cm/sec. Για τον σχηματισμό των Επιφανειακών Επιχώσεων υπολογίζεται  $k=10^{-4}$  cm/sec

Βάσει των αποτελεσμάτων από τις εκτελεσθείσες δοκιμές εισπίεσεως προκύπτει μια αρχική ταξινόμηση της διαπερατότητας των διαφόρων σχηματισμών με βάση την αρχική εκτίμηση των Terzaghi & Peck (1967).

**Πίνακας 6: Ταξινόμηση της διαπερατότητας των σχηματισμών τροποποιημένη κατά Terzaghi & Peck (1967) (Ραπαδόπουλος κ.α. 2006)**

<b>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ k (cm/sec)</b>	<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ</b>
$k \geq 10^{-1}$	ΥΨΗΛΗ
$10^{-3} \leq k < 10^{-1}$	ΜΕΤΡΙΑ
$10^{-4} \leq k < 10^{-3}$	ΜΕΤΡΙΑ ΕΩΣ ΧΑΜΗΛΗ
$10^{-5} \leq k < 10^{-4}$	ΧΑΜΗΛΗ ΕΩΣ ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
$10^{-7} \leq k < 10^{-5}$	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
$k < 10^{-7}$	ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα λοιπόν, για τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο (μεταλιούλιθος και μεταψαμμίτης), η διαπερατότητα χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή, για το κροκαλοπαγές χαρακτηρίζεται χαμηλή έως πολύ χαμηλή και για τον σχηματισμό των επιφανειακών επιχώσεων η διαπερατότητα χαρακτηρίζεται μέτρια έως χαμηλή.

## 2.6. Γεωτεχνικές συνθήκες

Σε αυτήν την ενότητα δίνονται οι αντίστοιχοι πίνακες παρουσίασης των αποτελεσμάτων των επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών. Έπειτα πραγματοποιείται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και παρουσιάζεται το γεωτεχνικό προσομοίωμα.

### 2.6.1. Αποτελέσματα επι τόπου δοκιμών

Η επί τόπου γεωτεχνική έρευνα περιλάμβανε την εκτέλεση είκοσι δύο (22) δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Η εκτέλεση της πραγματοποιήθηκε από τις εταιρείες «ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΕΠΕ» και «ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΤΕ».

#### Δοκιμές διείσδυσης με την πρότυπη μέθοδο SPT

Οι δοκιμές διείσδυσης πραγματοποιήθηκαν, με την πρότυπη μέθοδο SPT. Κατά την δοκιμή αυτή μετρήθηκε ο αριθμός των κρούσεων, που χρειάζεται για τη διείσδυση του τυποποιημένου δειγματολήπτη κατά 7.5 cm. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χαρακτηρισμοί συνεκτικών και κοκκωδών εδαφών κατά TERZAGHI και PECK, 1967 και BS: 5930.

Πίνακας 7:Χαρακτηρισμός συνεκτικών εδαφών κατά TERZAGHI&PECK,1967

N	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
<2	ΠΟΛΥ ΜΑΛΑΚΟ
2-4	ΜΑΛΑΚΟ
4-8	ΜΕΤΡΙΟ
8-15	ΣΤΙΦΡΟ
15-30	ΠΟΛΥ ΣΤΙΦΡΟ
>30	ΣΚΛΗΡΟ

Πίνακας 8:Χαρακτηρισμός κοκκωδών εδαφών κατά TERZAGHI&PECK, 1967 και BS : 5930.

N	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
2-4	ΠΟΛΥ ΧΑΛΑΡΟ
4-10	ΧΑΛΑΡΟ
10-30	ΜΕΣΟ
30-50	ΠΥΚΝΟ
>50	ΠΟΛΥ ΠΥΚΝΟ

Πίνακας 9:Χαρακτηρισμός εδαφών από τη δοκιμή πρότυπης διείσδυσης SPT

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ SPT
CATP5	3,20-3,22	Πολύ πυκνό
	7,10-7,35	Πολύ πυκνό
CASP3T	5.90-6.00	Πολύ πυκνό
CASP4T	2.60-2.70	Σκληρό







<b>CASN2</b>	4.10-4.14	Πολύ πυκνό
	7.90-8.00	Πολύ πυκνό
<b>CASP5</b>	3.00-3.22	Πολύ πυκνό
	7.30-7.55	Πολύ πυκνό
	10.40-10.69	Πολύ πυκνό
	12.90-13.04	Πολύ πυκνό
	16.40-16.85	Πολύ πυκνό
	23.10-23.50	Πολύ πυκνό
<b>CBFP2W</b>	3.00-3.20	Πολύ πυκνό
	5.70-5.91	Σκληρό
	7.80-7.90	Πολύ πυκνό

### **Γεωλογικός δείκτης αντοχής (GSI)**

Σε όλες τις γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του γεωλογικού δείκτη αντοχής.

**Πίνακας 10:Χαρακτηρισμός βραχώμαζας με βάση τον δείκτη GSI**

<b>ΓΕΩΤΡΗΣΗ</b>	<b>ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ</b>	<b>ΒΑΘΟΣ (m)</b>	<b>ΕΥΡΟΣ GSI</b>
<b>CBKN1</b>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	3,70-4,80	50-55
<b>CASE1T</b>	ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	2,90-4,70	75-80
<b>CASP3T</b>	ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	2,00-4,00	55-60
<b>CASN4</b>	ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	2,00-3,00	50-60
<b>CASP5</b>	ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	3,60-6,00	50-55
<b>CBFP2W</b>	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΗΣ	3,80-6,60	18-23

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχώμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφάνειας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κνηματικά ελεγχόμενες αστάθειες. Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχώμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων. ΔΟΜΗ		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ								
		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΠΤΩΧΗ	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ				
		Πολύ τραχιές, μη αποσαθρωμένες επιφάνειες	Τραχιές, ελαφρά αποσαθρωμένες και οξείδωμένες επιφάνειες	Λείες, μετρίως αποσαθρωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	Επιφάνειες ολισθηρές, πολύ αποσαθρωμένες με σημαντική επιφλοιομάτα ή υλικό πλήρωσης με γωνιωδή βραχώματα	Επιφάνειες ολισθηρές, πολύ αποσαθρωμένες με μαλακό οργανικό υλικό πλήρωσης				
		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →								
 INTACT OR MASSIVE - Άρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άσπρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση   BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών   VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών   BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας   DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων   LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμπόδιζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
								N/A	N/A	

Εικόνα 9:Γεωλογικός δείκτης αντοχής σε ρηγματωμένους βράχους.

Με βάση τον πίνακα 10 και την Εικόνα 9 το κροκαλοπαγές χαρακτηρίζεται ως μερικώς διαταραγμένο έως αδιατάρακτο με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια και ποιότητα ασυνεχειών μέτρια έως καλή. Επίσης ο μεταψαμμίτης χαρακτηρίζεται ισχυρά κερματισμένος με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών τεμαχίων έως μερικώς διαταραγμένος με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια και η ποιότητα ασυνεχειών του είναι μέτρια έως πτωχή.



## 2.6.2. Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών

Πίνακας 11: Εργαστηριακά αποτελέσματα από γεωτρήσεις

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Φυσική υγρασία	Όρια ATTERBERG			Κοκκομετρία			Ανεμπόδιση θλίψη	
		W (%)	Όριο υδαρότητας WL (%)	Όριο πλαστικότητας WP (%)	Δείκτης πλαστικότητας IP (%)	Χαλίκια (%)	Άμμος (%)	Ιλύς + Άργιλος (%)	Τάση (KN/m <sup>2</sup> )	Παραμόρφωση (%)
CBKN1	10.30-11.00		32		NP	17	47	36	39,7	2,88
	13.50-13.80		31	21	10	32	39	29	127	1,76
	15.60-16.00			20	9	23	44	33	79	3,63
CASE1T	8.60-9.00		29		NP	24	53	23	132	3,03
	10.70-11.00		32		NP	36	49	15		
	14.80-15.40		37	21	16	6	48	46	38	1,47
	18.60-19.60								357	2,07
	20.70-21.00		30		NP	27	49	24	1153	1,92
	22.80-23.20		26		NP	15	45	40		
CASP3T	7.40-7.80		29		NP	50	31	19		
	14.00-14.40		35	21	14	13	32	55	172	3,08
	16.00-16.50		33	20	13	2	28	70	114	2,33
	17.80-18.20		29	20	9	27	39	34	104	1,28
	21.80-22.40		31	21	10	14	49	37	49	4,17
	23.80-24.20		29		NP	23	40	37	49	7,55
	28.40-28.80		29		NP	8	51	41	75	3,29
CASN4	16.00-16.50		26	18	8	45	36	16	499	2,32
	18.60-19.10		26		NP	40	35	25	385	1,82
	23.00-23.60		31		NP	57	29	14	179	1,91

	25.70-26.00		28	20	8	27	40	33	415	2,94
	27.50-28.00		28	20	8	29	47	24	351	2,02
	33.50-33.70		29		NP	9	46	45	60	1,50
CASN1T	8.80-9.40			31	NP	19	50	31	97	1,30
	15.00-15.40			29	NP	12	48	40	114	3,16
	23.00-23.60				NP	28	53	19		
	26.70-27.20				NP	68	24	8		
CASP5	7.00-7.30	7,6	29		NP	43	40	17		
	12.50-12.90		26		NP	25	51	24	241	6,25
	13.70-14.00		28		NP	22	46	32	33	4,47
	16.60-17.60	14,8	30		NP	21	40	39	37	2,61
	19.00-19.60		33		NP	41	41	18	41	5,27
	22.30-22.80								362	5,76
	24.30-25.30		31		NP	38	44	18		
	31.20-31.60		27		NP	20	53	27	86	3,03
	34.00-34.40		26		NP	48	39	13	257	5,88
CBFP2W	3.20-3.50		26		NP	60	31	9		
	5.00-5.60		31		NP	21	37	42		
	6.00-6.60		33		NP	6	26	68		
	13.80-14.20		26		NP	24	48	28		
	20.00-20.50		25		NP	52	35	13		
	23.50-24.00		29		NP	28	45	27		
	26.00-26.50		29		NP	49	39	12		
CASN2	7.50-7.90		30	18	12	33	29	38	94	5,30
	8.00-8.80		30	19	11	3	34	63	219	2,10
	11.20-11.70		29	21	8	75	19	6	790	3,39

	12.60-12.90		32	21	11	25	45	30	58	1,38
	14.60-14.80		38		NP	19	38	43	186	3,77
	16.60-17.30		33	23	10	32	38	30		
	17.80-18.00		33	21	12	42	36	22		
	32.50-33.00		31		NP	32	40	28	39	1,70
CATP5	2.50-3.00		32		NP	51	27	22		
	7.70-8.30		32		NP	42	38	20	72	1,46
	10.80-11.60		39		17	26	37	37	192	2,26
	14.60-15.00	7,9	28		9	34	39	27		
	17.80-18.10		28		NP	33	45	22		
	20.30-20.80		25		NP	28	42	30	39	4,35
	21.50-21.90								45	1,92
	22.90-23.20		27		NP	18	50	32	33	2,05

### 2.6.3. Αξιολόγηση γεωτεχνικών συνθηκών

Οι βασικοί σχηματισμοί που συναντώνται κατά μήκος του έργου είναι:

- Επιφανειακές αποθέσεις και τεχνητές επιχώσεις
- Ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές
- Αθηναϊκός σχιστόλιθος, ο οποίος χωρίζεται σε Μεταψαμμίτη και Μεταίλυόλιθο και τοπικά Αργιλικός Σχιστόλιθο.

Ο Αθηναϊκός Σχιστόλιθος, αποτελεί έναν σχηματισμό «μετα-φλύσχη» και αποτελείται από εναλλαγές δύο διαφορετικών γεωλογικών φάσεων του Μεταψαμμίτη και Μεταίλυόλιθου. Ο σχηματισμός του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου εμφανίζει χαρακτηριστικά εδαφοποίησης και αρκετά πτωχής έως μέτριας ποιότητας βραχώμαζα.

Το μέσο πάχος των επιφανειακών αποθέσεων και τεχνητών επιχώσεων, από το σύνολο των γεωτρήσεων προκύπτει ίσο με 2.30m, το κροκαλοπαγές προκύπτει ίσο με 2.70m. Στη συνέχεια, ο Αθηναϊκός Σχιστόλιθος απαντάται ως το πέρας των γεωτρήσεων (μέγιστο βάθος -35.00 m). Για τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο, το μέσο πάχος του μεταψαμμίτη είναι 19m. Από τα -24m και κάτω θεωρείται ότι κυριαρχεί ο μεταίλυόλιθος.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, παρουσιάζεται το γεωλογικό προσομοίωμα, για τη στενή περιοχή του σταθμού (ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε., 2007 Ε) και οι γεωτεχνικές παράμετροι του κάθε σχηματισμού.

Πίνακας 12: Τιμές σχεδιασμού γεωτεχνικών παραμέτρων (Πανγαία, 2007)

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΒΑΘΟΣ (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C(kPa)	$\Phi$ (°)	E (MPa)	K <sub>o</sub>	K (cm/sec)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	0-2.30	21	5-10	30-35	25-40	0.43-0.5	10 <sup>-4</sup>	ΠΤΩΧΗ
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ	2.30-5	22.5	40	40	300	0.45-0.5	10 <sup>-3</sup>	ΚΑΛΗ
ΑΘΗΝΑΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	5-24	22.5	25-30	28-33	60-130	0.5-0.6	10 <sup>-5</sup>	ΠΤΩΧΗ
	>24	22.5	25-35	25-30	120-150	0.55-0.65	10 <sup>-5</sup>	ΠΤΩΧΗ

Για τις ανάγκες τις παρούσας διπλωματικής εργασίας οι απαραίτητες εδαφικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις υπέστησαν τροποποίηση.

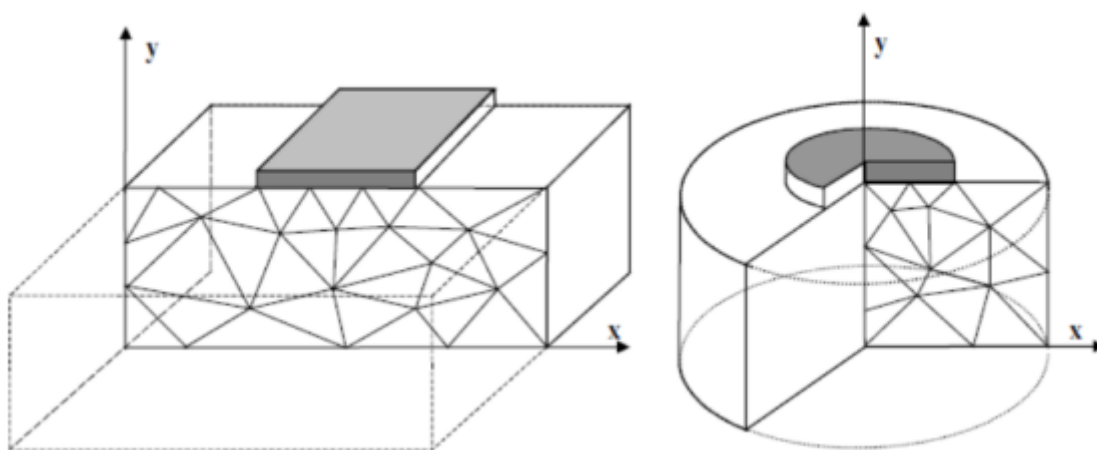
### 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΒΑΘΙΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

#### 3.1. Το λογισμικό PLAXIS

Το λογισμικό Plaxis είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που εξελίχθηκε για την ανάλυση και την μελέτη των μετακινήσεων και της ευστάθειας των γεωτεχνικών κατασκευών.

Εκσκαφές, αναχώματα, θεμέλια, σήραγγες και άλλες γεωτεχνικές εφαρμογές μπορούν να προσομοιωθούν μέσω του προγράμματος Plaxis.

Η προσομοίωση των γεωτεχνικών προβλημάτων στο πρόγραμμα γίνεται είτε μέσω διδιάστατων αξονοσυμμετρικών προσομοιωμάτων είτε διδιάστατων προσομοιωμάτων με επίπεδη παραμόρφωση, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Τα προσομοιωμένα αυτά χρησιμοποιούνται για διαφορετικού τύπου κατασκευές, συγκεκριμένα για την σχεδίαση κυκλικών κατασκευών με ομοιόμορφη ακτινική διατομή και φορτία τα οποία ασκούνται σε έναν κεντρικό άξονα, όπου οι τάσεις και οι παραμορφώσεις είναι ίδιες σε όλες τις ακτινικές διευθύνσεις χρησιμοποιούνται τα διδιάστατα αξονοσυμμετρικά προσομοιώματα. Αντίθετα τα διδιάστατα προσομοιώματα επίπεδης παραμόρφωσης χρησιμοποιούνται για την σχεδίαση κατασκευών με ομοιόμορφη διατομή και αντίστοιχη κατάσταση τάσεων και φορτίσεων για ένα συγκεκριμένο μήκος κάθετα στο επίπεδο, όπου οι παραμορφώσεις και οι μετακινήσεις είναι μηδενικές, οι ορθές τάσεις και σε αυτή την περίπτωση λαμβάνονται πλήρως στην ανάλυση (Ε.Κανακάρη, 2011)



Εικόνα 10: Παράδειγμα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση (αριστερά) και διδιάστατου αξονοσυμμετρικού









Αφού πραγματοποιηθεί η σχεδίαση του γεωτεχνικού μοντέλου, υπάρχει η δυνατότητα διακριτοποίησης του χώρου μέσω της δημιουργίας καννάβου. Με αυτόν τον τρόπο, το ομοιογενές συνεχές μέσο μπορεί να μετατραπεί σε διακριτό, το οποίο αποτελείται από μικρότερους υπόχωρους με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες το καθένα, τα οποία ωστόσο συνδέονται και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω των κοινών κόμβων. Μέσω αυτών των κόμβων και λύνοντας τις εξισώσεις ισορροπίας στον καθένα από αυτούς, εξασφαλίζεται η ισορροπία σε κάθε στοιχείο και η συνολική ισορροπία του μοντέλου (Ρίζος, 2010).

Για τον διαχωρισμό του χώρου σε μικρότερους υπόχωρους, δηλαδή τους κόμβους, χρησιμοποιούνται συνήθως δεκαπεντάκομβοι ή εξάκομβοι, η επιλογή των οποίων καθορίζει πόσο λεπτομερής θα είναι η ανάλυση. Συγκεκριμένα οι δεκαπεντάκομβοι που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας δίνουν καλύτερα αποτελέσματα και πιο ακριβή, για την εντατική κατάσταση των προσομοιωμάτων.

Στον σχεδιασμό των προσομοιωμάτων, συμπεριλαμβάνεται η σχεδίαση και η προσομοίωση διαφόρων κατασκευαστικών στοιχείων, όπως είναι διαφραγματικοί τοίχοι, το ελεύθερο και πακτωμένο μήκος των αγκυρίων και οι αντηρίδες. Για την εισαγωγή των κατασκευαστικών στοιχείων αυτών στο πρόγραμμα και την σωστή λειτουργία τους θα πρέπει να αρχικά να προσδιοριστούν ορισμένες ιδιότητες με την χρήση εξισώσεων και έπειτα τα αποτελέσματα να εισαχθούν στις κατάλληλες επιλογές του προγράμματος.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές εντολές του προγράμματος, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της βαθιάς εκσκαφής.

Πίνακας 13: Εντολές σχεδίασης του Plaxis 2D

ΟΝΟΜΑ ΕΝΤΟΛΗΣ	ΕΙΚΟΝΙΔΙΟ	ΕΝΤΟΛΗ
Geometry line		Σχεδίαση μοντέλου
Standard fixities		Δημιουργία συνοριακών τιμών
Distributed load		Σχεδίαση κατανεμημένου φορτίου που ασκείται στην επιφάνεια της εκσκαφής
Plate		Σχεδίαση διαφραγματικού τοίχου
Interface		Προσδιορισμός της επαφής του διαφραγματικού τοίχου και του γεωλογικού μοντέλου
Geogrid		Σχεδίαση του πακτωμένου μήκους αγκυρίου
Node to node anchor		Σχεδίαση του ελεύθερου μήκους αγκυρίου
Fixed-end anchor		Σχεδίαση αντηρίδων

Για τις πλάκες, θα πρέπει να υπολογιστούν η καμπτική δυσκαμψία EI και η δυστένεια EA. Η δυστένεια (EA) και η καμπτική δυσκαμψία (EI) των πασσάλων υπολογίζεται με βάση τους τύπους:

$$EA_1 = \frac{E \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}}{x}$$

$$EI_1 = \frac{E \cdot \pi \cdot \frac{d^4}{64}}{x}$$

Όπου:

d: Διάμετρος πασσάλων (m)

x: Απόσταση πασσάλων (m)

E: Μέτρο Ελαστικότητας πασσάλου (kPa)

Η δυστένεια (EA) και η καμπτική δυσκαμψία (EI) από το ενδιάμεσο τοίχιο εκτοξευόμενου σκυροδέματος υπολογίζονται με βάση τις σχέσεις:

$$EA_2 = \frac{E_b \cdot w \cdot (x - d)}{x}$$

$$EI_2 = \frac{E_b \cdot w^3 \cdot (x - d)}{12 \cdot x}$$

Όπου:

w: Πάχος ενδιάμεσου τοιχίου (m)

E<sub>b</sub>: Μέτρο ελαστικότητας εκτοξευόμενου σκυροδέματος (kPa)

X: Απόσταση πασσάλων (m)

d: Διάμετρος πασσάλων (m)

Για να υπολογιστεί η συνολική δυστένεια (EA) θα πρέπει να υπολογιστεί το άθροισμα της δυστένειας του πασσάλου και του ενδιάμεσου τοιχίου. Ομοίως και για την καμπτική δυσκαμψία. Από αυτές τις δύο παραμέτρους υπολογίζεται επίσης και το ισοδύναμο πάχος πλάκας από την εξίσωση:

$$de_{equal} = \sqrt{\frac{12 \cdot EI}{EA}}$$

Επίσης υπολογίζεται το βάρος W του στοιχείου της πλάκας ανά τρέχον μέτρο ως εξής:

$$W = \gamma \times de_{equal}$$

όπου  $\gamma = 24 \text{ KN/m}^3$

Για τα αγκύρια, τα οποία αποτελούνται από το ελεύθερο τμήμα και από το βολβό πάκτωσης,

υπολογίζεται η δυστένεια EA για το ελεύθερο μήκος:

$$EA = E_s \cdot A_s$$

Όπου:

$E_s$ : Μέτρο ελαστικότητας χαλύβδινων τενόντων αγκυρίου (kPa)

$A_s$ : Συνολική επιφάνεια διατομής ( $m^2$ )

Για να υπολογιστεί η δυστένεια του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου χρησιμοποιείται:

$$\Sigma EA = E_b \cdot A_b + E_s \cdot A_s = E_b \cdot \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} - A_s \right) + E_s A_s$$

Όπου:

$d$  : διάμετρος του βολβού πάκτωσης (m)

$A_s$ : Συνολική επιφάνεια διατομής ( $m^2$ )

$E_s$ : Μέτρο ελαστικότητας χαλύβδινων τενόντων αγκυρίου (kPa)

$E_b$ : Μέτρο ελαστικότητας τσιμεντοκονιάματος (kPa)

Τέλος για την αντηρίδα, θα πρέπει επίσης να υπολογιστεί η δυστένεια της EA με την χρήση του τύπου:

$$EA = E \cdot A$$

Όπου:

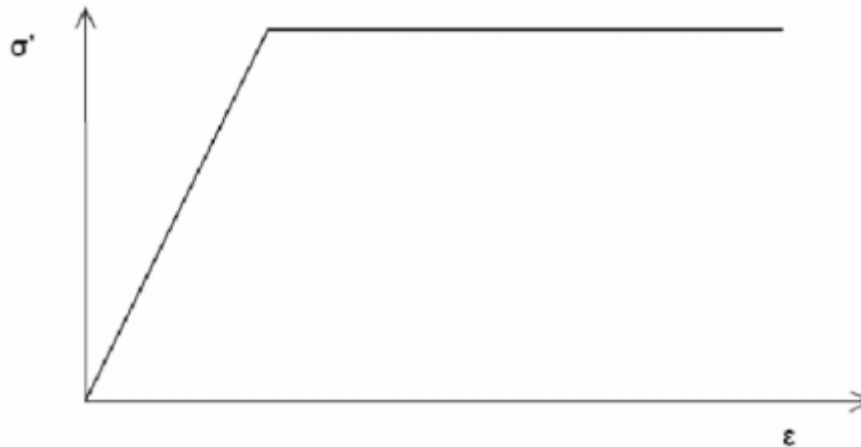
$$A = \pi (D^2 - d^2)$$

## **3.2. Καταστατικοί νόμοι για την περιγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους**

Το πρόγραμμα Plaxis δίνει στον χρήστη την δυνατότητα επιλογής μοντέλου που περιγράφει την συμπεριφορά του εδάφους, ανάλογα με τις ανάγκες και της υπάρχουσες συνθήκες σχεδίασης. Τα μοντέλα αυτά είναι:

Mohr- Coulomb: είναι ένα ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο. Στο μοντέλο αυτό θεωρείται η παραδοχή ότι το έδαφος ακολουθεί το κριτήριο αστοχίας Mohr – Coulomb και χρησιμοποιείται για μια γενική προσέγγιση της συμπεριφοράς τους εδάφους. Στο μοντέλο αυτό οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι το μέτρο ελαστικότητας του Young ( $E$ ), ο λόγος του Poisson ( $\nu$ ), η γωνία εσωτερικής τριβής ( $\phi$ ), η συνοχή ( $c$ ) και η γωνία διογκωσιμότητας ( $\psi$ ) και υπάρχει δυνατότητα μεταβολής κάποιων μηχανικών χαρακτηριστικών του εδαφικού υλικού καθώς αυξάνεται το βάθος.





Εικόνα 11: Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το ελαστικό- τέλεια πλαστικό μοντέλο

Linear Elastic: είναι ένα γραμμικό μοντέλο, που ακολουθεί τον νόμο του Hooke και οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι το μέτρο ελαστικότητας ( $E$ ) και ο λόγος Poisson ( $\nu$ ).

Soft soil model: είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την συμπεριφορά των μαλακών εδαφικών υλικών και επιλέγεται καθώς δίνει πολύ καλά αποτελέσματα σε περιπτώσεις κανονικά στερεοποιημένων εδαφών.

Soft soil creep model: είναι ένα μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει την συμπεριφορά μαλακών εδαφικών υλικών λαμβάνοντας υπόψη το φαινόμενο του ερπυσμού και του χρόνου, για εδάφους που η συμπεριφορά τους εξαρτάται από αυτόν. Η παράμετρος που χρησιμοποιείται σε αυτό το μοντέλο είναι το μέτρο ελαστικότητας του Young ( $E$ ).

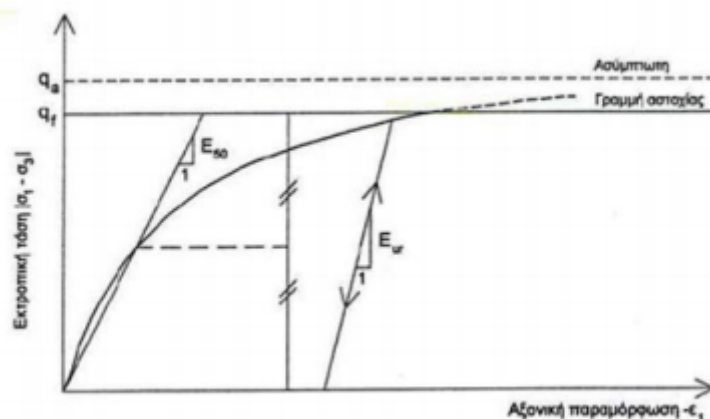
Hardening soil model: είναι ένα μοντέλο το οποίο προβλέπει μεταβολή μεταξύ διατμητικής τάσης και αξονικής παραμόρφωσης ( $q - \epsilon_i$ ) μέσα από μία «υπερβολική» συνάρτηση. Επίσης ένα βασικό χαρακτηριστικό του μοντέλου αυτού είναι ότι το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους σε τριαξονική φόρτιση, αποφόρτιση και μονοδιάστατη συμπίεση υπολογίζεται με βάση τις επικρατούσες τάσεις του εδάφους από την σχέση  $E_i = E_{i\text{ref}}(c \cot \phi - c_3' c \cot \phi - p_{\text{ref}})^m$

$E_i$ : μέτρο ελαστικότητας του εδάφους (σε φόρτιση, αποφόρτιση και συμπίεση)

$E_{i\text{ref}}$ : μέτρο ελαστικότητας αναφοράς

$p_{\text{ref}}$ : τάση αναφοράς (λαμβάνεται ίση με 100 kPa)

$m$ : εκθέτης, του οποίου η τιμή εξαρτάται από το εδαφικό υλικό



Εικόνα 12: Διάγραμμα διατμητικής τάσης – αξονικής παραμόρφωσης

Για την προσομοίωση της εδαφικής συμπεριφοράς για την παραμετρική ανάλυση της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιείται το μοντέλο Mohr-Coulomb.

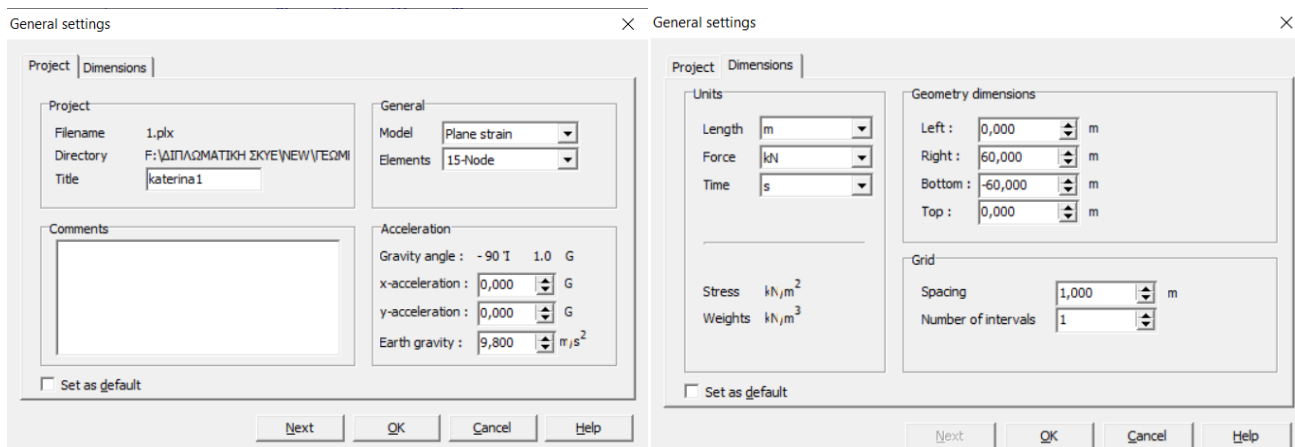
Ο λεπτομερής τρόπος λειτουργίας του προγράμματος, η σχεδίαση του μοντέλου και η χρήση κατάλληλων επιλογών και εργαλείων περιγράφονται παρακάτω, χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα την εκσκαφή και την μελέτη της αντιστήριξης του σταθμού μετρό «Περιστέρι».

### 3.3. Εφαρμογή του λογισμικού Plaxis 2D στο παράδειγμα του σταθμού μετρό «Περιστέρι»

Σε αυτή την υποενότητα παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδίασης και εισαγωγής των απαραίτητων παραμέτρων για την προσομοίωση της κατασκευής του σταθμού «Περιστέρι».

Με το άνοιγμα του προγράμματος, με την επιλογή της εντολής “New Project” εμφανίζεται το παράθυρο «General Settings» στο οποίο δίνεται ο τίτλος του αρχείου και επιλέγεται το μοντέλο επίπεδης παραμόρφωσης.

Επιλέγεται επίσης ο αριθμός των πεπερασμένων στοιχείων του καννάβου. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, οι δεκαπεντάκομβοι χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Ακόμα, ορίζονται οι μονάδες μέτρησης των μεγεθών, εισάγονται οι διαστάσεις του περιγράμματος του χώρου στον οποίο θα γίνει ο σχεδιασμός της εκσκαφής (Left 0, Right 60, Bottom -60, top 0) και καθορίζονται οι παράμετροι και οι αποστάσεις του καννάβου. Στην περίπτωση αυτού του μοντέλου επιλέγεται “Spacing” – 1 και “Numbers of intervals” – 1, τα οποία μεταβάλλονται ανάλογα με τις ανάγκες της σχεδίασης.



Εικόνα 13:Εισαγωγή γενικών στοιχείων του μοντέλου στο Plaxis.

Αρχικά με την εντολή «geometryline» σχεδιάζεται το περίγραμμα του χώρου μέσα στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η εκσκαφή του σταθμού και τα εδαφικά στρώματα όπως παρουσιάζονται στο γεωτεχνικό μοντέλο που προκύπτει από τις γεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή. Έπειτα γίνεται η σχεδίαση του διαφραγματικού τοίχου με την εντολή «plate», των αντηρίδων με την εντολή «fixed-endanchor», των αγκυρίων και του πακτωμένου μήκους τους με την εντολή «geogrid», και του φορτίου στην επιφάνεια της εκσκαφής με την εντολή «distributed load». Ακόμα, στο στάδιο της σχεδίασης διαχωρίζονται τα στάδια εκσκαφής του σταθμού.

Γενικά, όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, το πλάτος της εκσκαφής του σταθμού «Περιστέρι» μεταβάλλεται από θέση σε θέση. Στα δύο ακραία τμήματα του σταθμού, το ανατολικό και δυτικό, το πλάτος κυμαίνεται από 23 m έως 33 m, ενώ στο κεντρικό τμήμα του σταθμού το πλάτος φτάνει τα 51 m. Συγκεκριμένα, στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η διατομή του σταθμού που γειτνιάζει με τον ο Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς και το πλάτος της διατομής λαμβάνεται ίσο με 26 m. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο πρόγραμμα σχεδιάζεται το μισό της διατομής (13 m) αφού θεωρείται ότι η κατασκευή είναι συμμετρική. Το βάθος της



### **3.3.1. Καθορισμός γεωτεχνικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών**

Η πρώτη στρώση σύμφωνα με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις αποτελείται από επιχώσεις. Στην προσομοίωση του μοντέλου στο Plaxis, η στρώση αυτή λαμβάνεται μέχρι το βάθος των -2m.

Η δεύτερη στρώση είναι το κροκαλοπαγές και λαμβάνονται τρεις περιπτώσεις αναλύσεων, στις οποίες μεταβάλλεται το πάχος της στρώσης. Πιο συγκεκριμένα λαμβάνεται στρώση κροκαλοπαγούς με πάχος 3m, 8m και 13m αντίστοιχα

Ομοίως μεταβάλλεται και η επόμενη, σύμφωνα με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, στρώση, δηλαδή η στρώση του μεταψαμμίτη. Στην πρώτη περίπτωση λαμβάνεται πάχος στρώσης 19m, στην δεύτερη 14m και στην τρίτη περίπτωση λαμβάνεται πάχος στρώσης μεταψαμμίτη ίση με 9m.

Τέλος, σύμφωνα με την γεωτεχνική έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. , η επόμενη στρώση αφορά τον σχηματισμό του ιλυόλιθου, ο οποίος εκτείνεται έως το πέρασ των γεωτρήσεων και για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής το πάχος στρώσης λαμβάνεται ίσο με 36m.

στις παραπάνω στρώσεις λαμβάνεται το καταστατικό προσομοίωμα Mohr-Coulomb, για το οποίο απαιτούνται ως δεδομένα τα εξής χαρακτηριστικά: ειδικό βάρος –  $\gamma$ (kN/m<sup>3</sup>), μέτρο ελαστικότητας – E(kN/m<sup>2</sup>), συνοχή – C(kN/m<sup>2</sup>), γωνία τριβής -  $\Phi$ (<sup>ο</sup>) και συντελεστής διαπερατότητας υλικού -  $K_x$ ,  $K_y$ (m/s). Τα παραπάνω δεδομένα, τα οποία δόθηκαν από την ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., τροποποιήθηκαν και παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 15: Τιμές σχεδιασμού γεωτεχνικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις.**

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C(kPa)	$\Phi$ (°)	E (MPa)	$K_x$ (m/sec)	$K_y$ (m/sec)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ - FILL		19	5	30	25	0,086	0,086
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ - CONGLOMERATE		22.5	40	40	300	0,086	0,086
ΑΘΗΝΑΙΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	ΨΑΜΜΙΤΗΣ-SANDSTONE	22.5	30	30	100	0,089	0,089
	ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ-SILTSTONE	22.5	35	30	130	0,089	0,089

Έτσι, εισάγονται οι ιδιότητες των εδαφικών σχηματισμών μέσω της εντολής «Material Sets» στην γραμμή εργαλείων του προγράμματος. Να σημειωθεί πως σε όλες τις περιπτώσεις ορίζεται ως “Material type” η επιλογή “Drained”.

Mohr-Coulomb - fill

General | Parameters | Interfaces

Material Set  
 Identification: fill  
 Material model: Mohr-Coulomb  
 Material type: Drained

General properties  
 $\gamma_{unsat}$ : 19,000 kN/m<sup>3</sup>  
 $\gamma_{sat}$ : 19,000 kN/m<sup>3</sup>

Permeability  
 $k_x$ : 0,086 m/s  
 $k_y$ : 0,086 m/s

Comments

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Mohr-Coulomb - fill

General | Parameters | Interfaces

Stiffness  
 $E_{ref}$ : 2,500E+04 kN/m<sup>2</sup>  
 $\nu$  (nu): 0,300

Strength  
 $c_{ref}$ : 5,000 kN/m<sup>2</sup>  
 $\phi$  (phi): 30,000 °  
 $\psi$  (psi): 0,000 °

Alternatives  
 $G_{ref}$ : 9615,385 kN/m<sup>2</sup>  
 $E_{oed}$ : 3,365E+04 kN/m<sup>2</sup>

Velocities  
 $V_s$ : 70,420 m/s  
 $V_p$ : 131,800 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Εικόνα 15: Γεωτεχνικές παράμετροι της στρώσης των τεχνητών επιχώσεων.

Mohr-Coulomb - conglomerate

General | Parameters | Interfaces

Material Set  
 Identification: conglomerate  
 Material model: Mohr-Coulomb  
 Material type: Drained

General properties  
 $\gamma_{unsat}$ : 22,500 kN/m<sup>3</sup>  
 $\gamma_{sat}$ : 22,500 kN/m<sup>3</sup>

Permeability  
 $k_x$ : 0,086 m/s  
 $k_y$ : 0,086 m/s

Comments

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Mohr-Coulomb - conglomerate

General | Parameters | Interfaces

Stiffness  
 $E_{ref}$ : 3,000E+05 kN/m<sup>2</sup>  
 $\nu$  (nu): 0,300

Strength  
 $c_{ref}$ : 40,000 kN/m<sup>2</sup>  
 $\phi$  (phi): 40,000 °  
 $\psi$  (psi): 0,000 °

Alternatives  
 $G_{ref}$ : 1,154E+05 kN/m<sup>2</sup>  
 $E_{oed}$ : 4,038E+05 kN/m<sup>2</sup>

Velocities  
 $V_s$ : 224,200 m/s  
 $V_p$ : 419,400 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Εικόνα 16: Γεωτεχνικές παράμετροι της στρώσης του κροκαλοπαγούς.

Mohr-Coulomb - sandstone

General | Parameters | Interfaces

Material Set  
 Identification: sandstone  
 Material model: Mohr-Coulomb  
 Material type: Drained

General properties  
 $\gamma_{unsat}$ : 22,500 kN/m<sup>3</sup>  
 $\gamma_{sat}$ : 22,500 kN/m<sup>3</sup>

Permeability  
 $k_x$ : 0,089 m/s  
 $k_y$ : 0,089 m/s

Comments

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Mohr-Coulomb - sandstone

General | Parameters | Interfaces

Stiffness  
 $E_{ref}$ : 1,000E+05 kN/m<sup>2</sup>  
 $\nu$  (nu): 0,300

Strength  
 $c_{ref}$ : 30,000 kN/m<sup>2</sup>  
 $\phi$  (phi): 30,000 °  
 $\psi$  (psi): 0,000 °

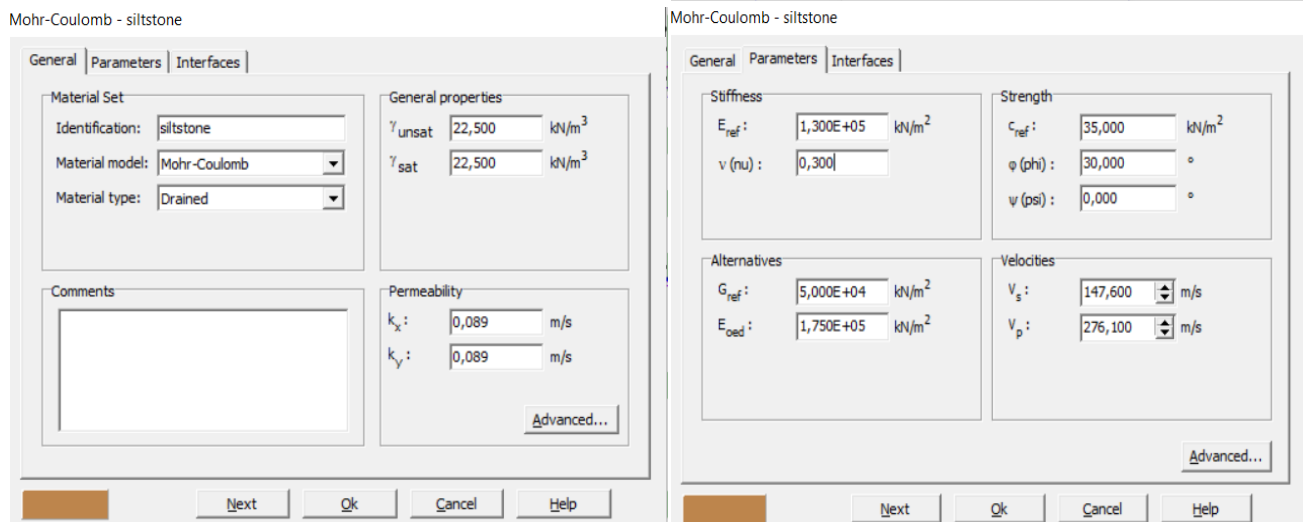
Alternatives  
 $G_{ref}$ : 3,846E+04 kN/m<sup>2</sup>  
 $E_{oed}$ : 1,346E+05 kN/m<sup>2</sup>

Velocities  
 $V_s$ : 129,400 m/s  
 $V_p$ : 242,100 m/s

Advanced...

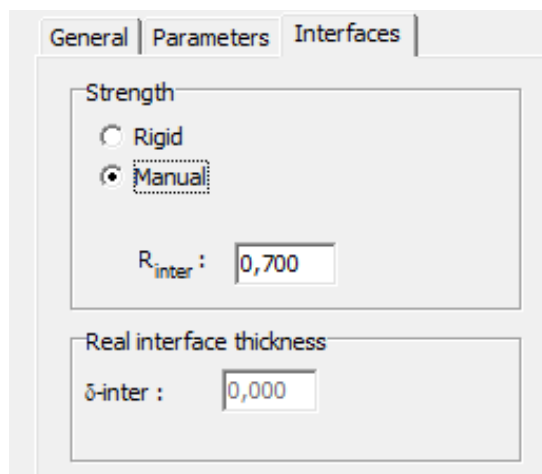
Next Ok Cancel Help

Εικόνα 17: Γεωτεχνικές παράμετροι της στρώσης του μεταψαμμίτη.



Εικόνα 18: Γεωτεχνικές παράμετροι της στρώσης του μεταλυόλιθου.

Σε κάθε μια από τις παραπάνω εδαφικές στρώσεις στο φύλλο “Interfaces” προσδιορίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων της διεπιφάνειας, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής. Στις διεπιφάνειες αυτές δίνονται ιδιότητες όμοιες με αυτές του εδάφους μειωμένες κατά συντελεστή  $R_{inter}$ . Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται  $R_{inter}=0,7$ , όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 19.



Εικόνα 19: Εισαγωγή του συντελεστή  $R_{inter}$  ώστε να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής στο προσομοίωμα.

### 3.3.2. Καθορισμός δομικών στοιχείων

Έπειτα εισάγονται οι παράμετροι των δομικών στοιχείων, όπως οι διαφραγματικοί τοίχοι, τα αγκύρια, οι αντηρίδες.

- **Διαφραγματικοί τοίχοι**

Αρχικά, για την εισαγωγή των παραμέτρων που χρειάζονται για τον καθορισμό του διαφραγματικού τοίχου επιλέγονται τα εξής: “Materials”-> “Plate”-> “Edit”. Θεωρούμε πως η συμπεριφορά του στοιχείου είναι ελαστική, έτσι στο “Material type” επιλέγεται “Elastic”.

Στο πεδίο “Properties” εισάγονται τα στοιχεία όπως η δυστένεια (EA), η καμπτική δυσκαμψία (EI), το πάχος του φορέα (d), το βάρος του φορέα (w) και ο λόγος Poisson (ν). Η απόσβεση Rayleigh θεωρείται 0 αφού στη παρούσα εργασία δε γίνονται αναλύσεις με σεισμικά φορτία. Ο διαφραγματικός τοίχος αποτελείται από πασσάλους με διάμετρο Φ 1.0 m και απόσταση 1.5 m μεταξύ τους. Η αξονική δυσκαμψία και η καμπτική δυσκαμψία του μεμονωμένου πασσάλου υπολογίζονται αρχικά από τους τύπους:

Για να υπολογιστεί η συνολική δυστένεια (EA) αλλά και καμπτική δυσκαμψία (EI) θα πρέπει να υπολογιστεί το άθροισμα της δυστένειας του πασσάλου και του ενδιάμεσου τοιχίου και το ίδιο για την καμπτική δυσκαμψία. Το πάχος του ενδιάμεσου τοιχίου αυτού είναι t=10 cm.

Επίσης για να γίνει δυνατή η εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα το οποίο προσομοιάζει τον διαφραγματικό τοίχο με πλάκα θα πρέπει η αξονική δυσκαμψία και η καμπτική δυσκαμψία να αναχθούν ανά μέτρο. Άρα αφού οι πάσσαλοι είναι διατεταγμένοι ανά 1.5 m οι τιμές που εισάγονται στο πρόγραμμα είναι:

### Δυστένεια

$$\Sigma EA = [30 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{1^2}{4} + 25 \cdot 10^6 \cdot 0,10 \cdot (1,5-1)]/1,5 = 16,54 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

### Δυσκαμψία

$$\Sigma EI = [30 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{1^4}{64} + 25 \cdot 10^6 \cdot 0,1^3 \cdot (1,5-1)/12]/1,5 = 9,836 \cdot 10^5 \text{ kNm}$$

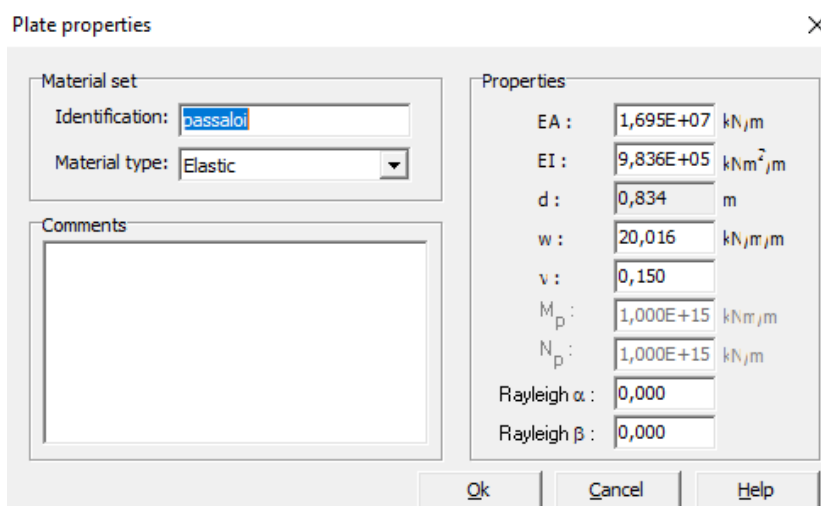
Το πάχος του φορέα d υπολογίζεται αυτόματα με την εισαγωγή των EA και EI.

Το βάρος (w) των στοιχείων υπολογίζεται από τον τύπο

$$w = \gamma d,$$

όπου  $\gamma = 24 \text{ kNm}^3$  και  $d = 0,834 \text{ m}$ , άρα:  $w = \gamma d = 24 \cdot 0,834 \text{ m} = 20,016 \text{ kNm/m}$ .

Ενώ η τιμή του δείκτη Poisson λαμβάνεται ίση με 0,15.

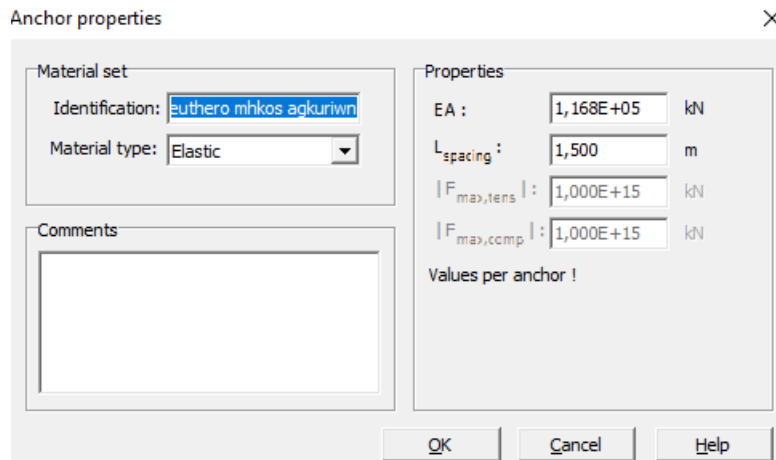


Εικόνα 20: Εισαγωγή στοιχείων για τους διαφραγματικούς τοίχους.



- **Προεντεταμένα αγκύρια**

Μέσω των βημάτων “Materials”-> “Anchors”-> “Edit” εισάγεται η δυστένεια του αγκυρίου και η συμπεριφορά του που δηλώνεται ελαστική. Η οριζόντια απόσταση των αγκυρίων λαμβάνεται ίση με 1,5 m.



Εικόνα 21: Εισαγωγή παραμέτρων για τους το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων.

Για την εισαγωγή του πακτωμένου μήκους του αγκυρίου ακολουθείται η εξής εντολή στο Plaxis: “Materials”-> “Geogrids”-> “Edit”.

Τα αγκύρια αποτελούνται από 4 τένοντες με  $\Phi 0.6''$ , άρα η συνολική επιφάνεια διατομής είναι:

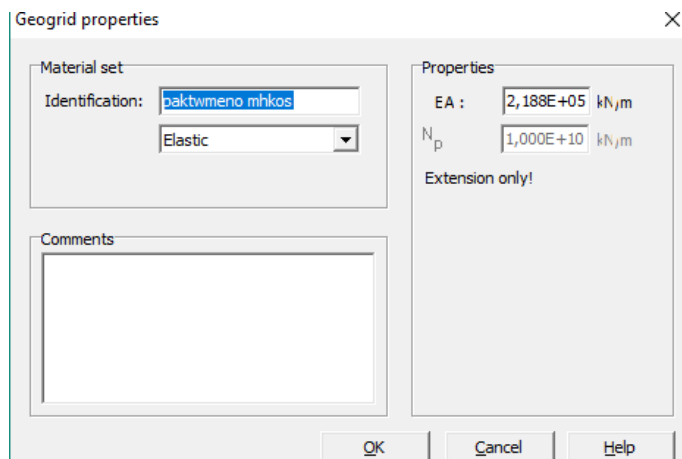
$$A_s = 4 \cdot 1,39 = 5,56 \text{ cm}^2$$

Άρα η δυστένεια του κάθε αγκυρίου είναι:  $E \cdot A_s = 210 \cdot 10^6 \cdot 5,56 \cdot 10^{-4} = 116760 \text{ kN}$

Η συνολική δυστένεια του βολβού πακτώσεως του αγκυρίου είναι το άθροισμα της δυστένειας των τενόντων του χάλυβα και του τσιμεντοκονιάματος, δηλαδή

$$\begin{aligned} \Sigma EA &= E_b \cdot A_b + EA_s = E_b \cdot \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} - A_s \right) \cdot 10^{-4} + E \cdot A_s \cdot 10^{-4} = \\ &= 15 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} - 5,56 \right) \cdot 10^{-4} + 116760 = 218820 \text{ kN} \end{aligned}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν διαιρείται το συνολικό άθροισμα της δυστένειας του πακτωμένου τμήματος των αγκυρίων δια την απόσταση των αγκυρίων, όπως στην περίπτωση των πασσάλων αφού το πρόγραμμα το κάνει αυτόματα εισάγοντας στα δεδομένα την απόσταση των αγκυρίων.



Εικόνα 22: Εισαγωγή παραμέτρων για τους το πακτωμένο μήκος των αγκυρίων.

Η συνολική επιφάνεια διατομής του αγκυρίου υπολογίστηκε πιο πάνω και είναι ίση με  $A_s=5,56 \text{ cm}^2$ . Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα είναι  $E = 210 \cdot 10^6 \text{ kPa}$ .

Άρα η δυστένεια του κάθε αγκυρίου είναι  $E \cdot A_s = 210 \cdot 10^6 \cdot 5,56 \cdot 10^{-4} = 116760 \text{ kN}$

- **Αντηρίδες**

Για την εισαγωγή των παραμέτρων της αντηρίδας ακολουθείται η εξής εντολή στο Plaxis: “Materials”-> “Fixed -endanchor”-> “Edit”.

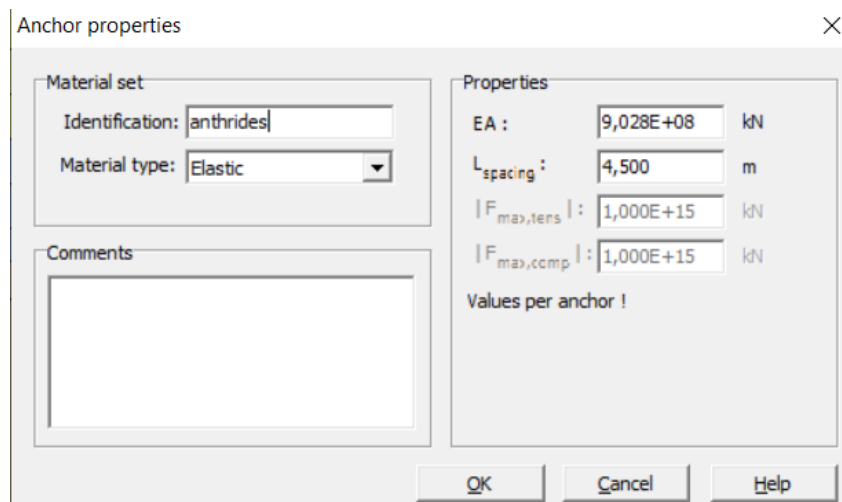
Μέσω του “Equivalent length” εισάγεται το ισοδύναμο μήκος της αντηρίδας. Στην παρούσα εργασία προσομοιώνεται το μισό πλάτος της εκσκαφής, επομένως το μήκος είναι 13,5 m. Στο πεδίο “Angle” εισάγεται η γωνία  $-180^\circ$ .

Για τον υπολογισμό της δυστένειας, υπολογίζεται η επιφάνεια διατομής της αντηρίδας:

$$A = \pi (D^2 - d^2) = 3,14 \cdot ((1,17)^2 - (0,0143)^2) = 4,298 \text{ m}^2$$

Άρα η δυστένεια της αντηρίδας είναι:

$$EA = 210 \cdot 10^6 \cdot 4,298 = 902,58 \cdot 10^6 \text{ kN}$$



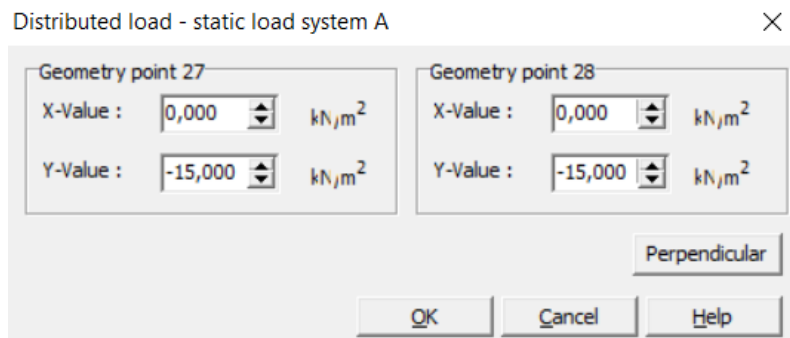
Εικόνα 23: Εισαγωγή παραμέτρων για τις αντηρίδες.

### **3.3.3. Καθορισμός των φορτίων στην επιφάνεια του εδάφους**

Για τον καθορισμό του επιφανειακού φορτίου λόγω της ύπαρξης κοντινών κτιρίων, σε απόσταση 20 μαπό την εκσκαφή επιλέγεται το “Distributed load– load system A” και στην συνέχεια σχεδιάζεται το φορτίο στο γεωμετρικό μοντέλο.

Για να οριστεί η τιμή του επιφανειακού φορτίου επιλέγεται η εντολή “Distributed load – static load system A”. Στο πεδίο “Y-Value” ορίζεται το φορτίο ίσο με  $-15,00 \text{ kN/m}^2$ .

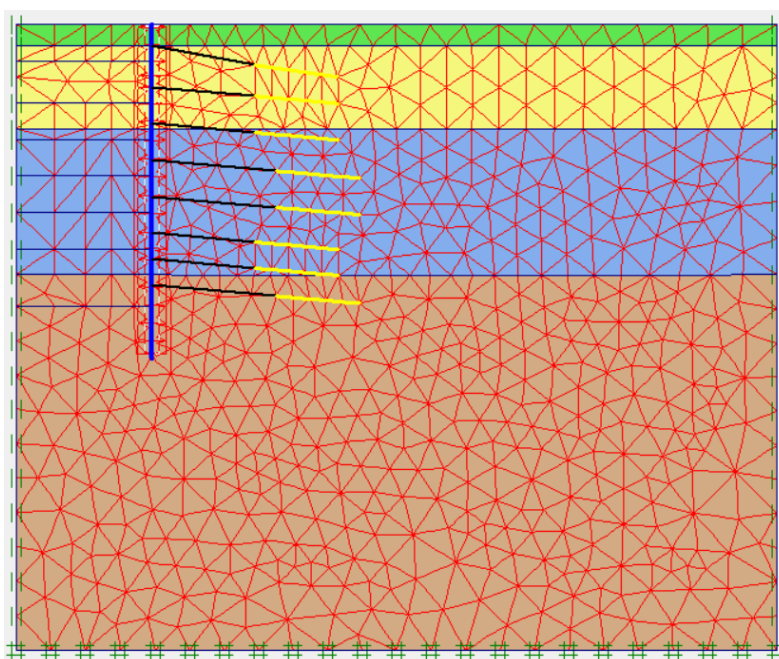
Η επιφάνεια που ασκείται το φορτίο είναι ίση με 20m.



Εικόνα 24:Καθορισμός επιφανειακού φορτίου.

### 3.3.4. Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης

Αφού πραγματοποιηθεί η σχεδίαση του μοντέλου της εκσκαφής εκσκαφής και ο προσδιορισμός όλων των χαρακτηριστικών των κατασκευαστικών υλικών, ακολουθεί η διακριτοποίηση του χώρου μέσω της δημιουργίας καννάβου. Από την εντολή “Generate Mesh” επιλέγεται η ενέργεια “Mesh” και στην συνέχεια πατώντας το “Global Coarseness” στο πεδίο “Element distribution” επιλέγεται το “Very fine” για να γίνει μια πιο λεπτομερής ανάλυση. Στην επιλογή “Mesh” υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ενεργειών όπως “Refine cluster” και “Refine line” τα οποία χρησιμεύουν στην πύκνωση της καννάβου σε σημεία όπου υπάρχουν έντονες παραμορφώσεις ή μεγάλη συγκέντρωση τάσεων, όπως είναι το κομμάτι του διαφραγματικού τοίχου που εισχωρεί στο έδαφος πέραν του βάθους εκσκαφής. Στο τέλος της κάθε ενέργειας επιλέγεται το “Update” για γίνει η καταχώρηση των εντολών που εισάγονται στον υπολογισμό του μοντέλου.



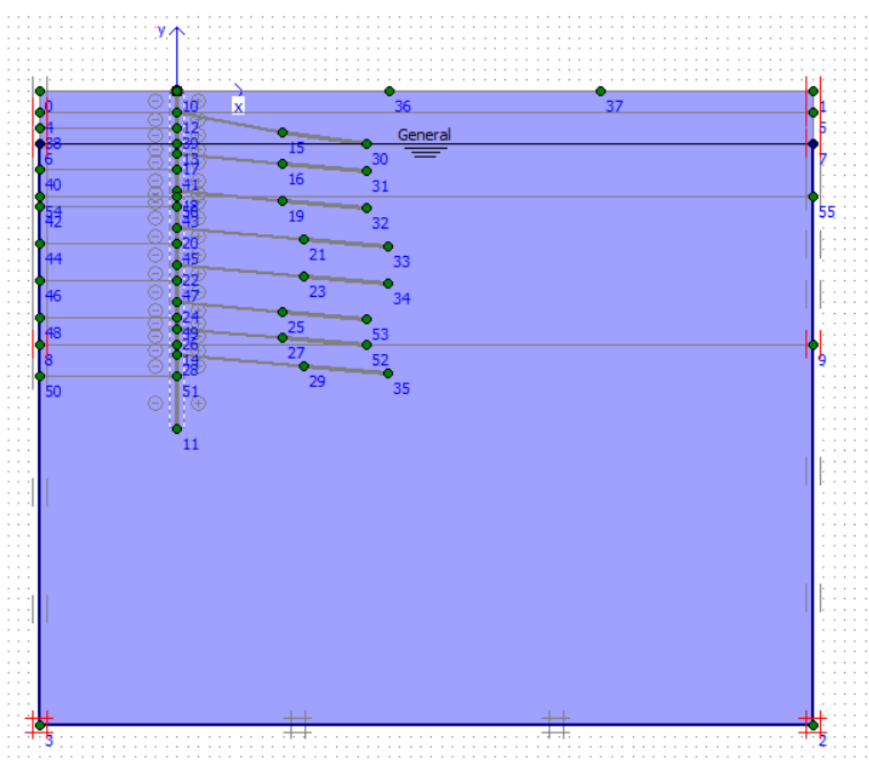
Εικόνα 25: Διακριτοποίηση του χώρου μέσω της δημιουργίας καννάβου.

### 3.3.5. Αρχικές συνθήκες - initial conditions

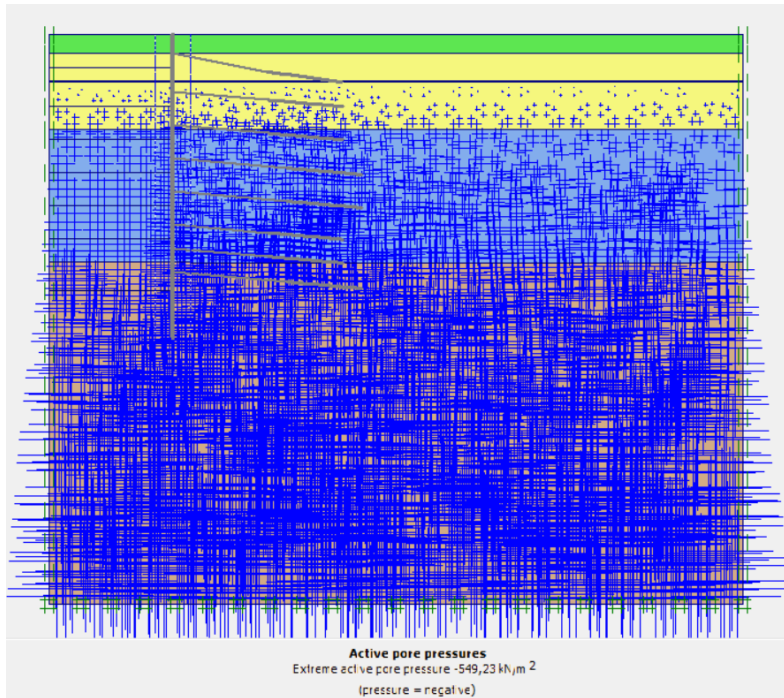
Μετά την διαδικασία της διακριτοποίησης του μοντέλου, υπολογίζονται οι αρχικές εντατικές συνθήκες. Για να οριστούν οι αρχικές εντατικές συνθήκες θα πρέπει να οριστούν τόσο οι υδροστατικές όσο και γεωστατικές τάσεις.

- Υδροστατικές τάσεις

Αρχικά σχεδιάζεται το επίπεδο του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Για τον λόγο αυτό στον διακόπτη «Initial stresses and geometry configuration» επιλέγεται το “Pneumatic level” και στην συνέχεια σχεδιάζεται ο υδροφόρος ορίζοντας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία λαμβάνονται τρεις περιπτώσεις αναλύσεων με διαφορετική στάθμη υδροφόρου ορίζοντα, στα -5m,-15m και -25m αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι λαμβάνεται  $\gamma_{\text{water}}=10\text{kN/m}^3$ .



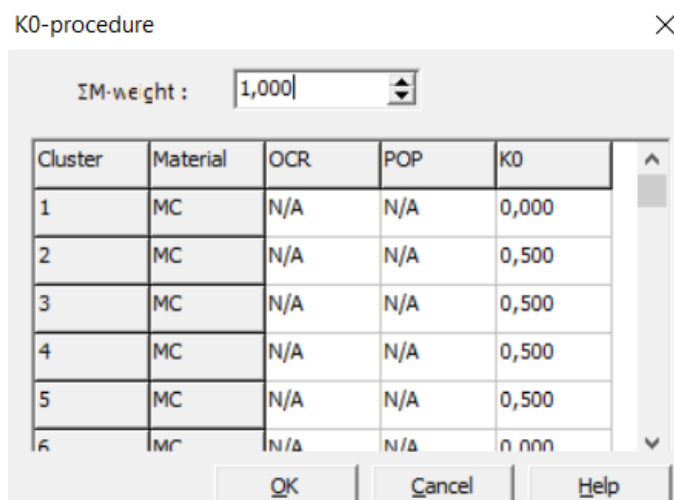
Εικόνα 26: Επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα.



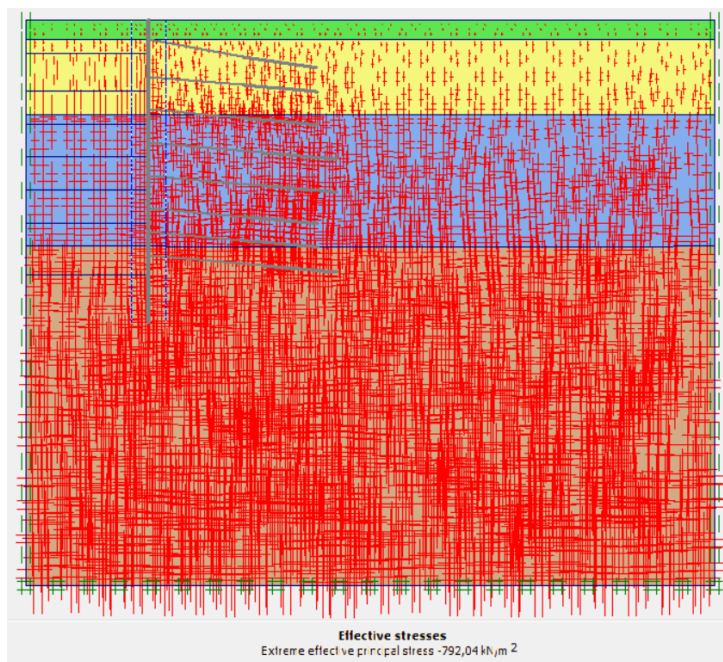
Εικόνα 27: Πίεση πόρων νερού

- Γεωστατικές τάσεις

Στη συνέχεια για να υπολογιστούν οι γεωστατικές τάσεις στην γραμμή εργαλείων επιλέγεται ξανά ο διακόπτης “Initial stresses and geometry configuration” σε λειτουργία αντίθετη από την αρχική του υπολογισμού των υδροστατικών πιέσεων. Έπειτα επιλέγεται η εντολή “Generate initial stresses” για να υπολογιστούν οι κατακόρυφες και οριζόντιες γεωστατικές τάσεις. Με την ενέργεια αυτή θα πρέπει να οριστεί το ΣΜweight για να καθοριστεί ο συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων ( $K_0$ ) για κάθε γεωλογικό στρώμα το οποίο επιλέγεται να είναι ίσο με 1,000



Εικόνα 28: Συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων  $K_0$  για συγκεκριμένο ΣΜweight.



Εικόνα 29:Κατανομή ενεργών τάσεων.

### 3.3.6. Εκτέλεση υπολογισμών – calculate

Ο υπολογισμός σε φάσεις γίνεται πραγματοποιώντας εκσκαφή και ενεργοποιώντας κατασκευαστικά στοιχεία του μοντέλου σε διαφορετικά στάδια της εκσκαφής. Πατώντας την εντολή “Calculate” εμφανίζεται ένα καινούριο παράθυρο, μέσω του οποίου εισάγεται προαιρετικά το όνομα του σταδίου, ορίζεται ο τύπος των υπολογισμών, με τις εξής επιλογές: Πλαστική ανάλυση (“Plastic analysis”), στερεοποίηση (“consolidation analysis”), ανάλυση που αφορά το συντελεστή ασφαλείας (“Phi/c reduction”) και δυναμική ανάλυση (“Dynamic analysis”). Στην συγκεκριμένη διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η πλαστική ανάλυση για κάθε φάση της εκσκαφής εκτός από την τελευταία όπου γίνεται ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας.

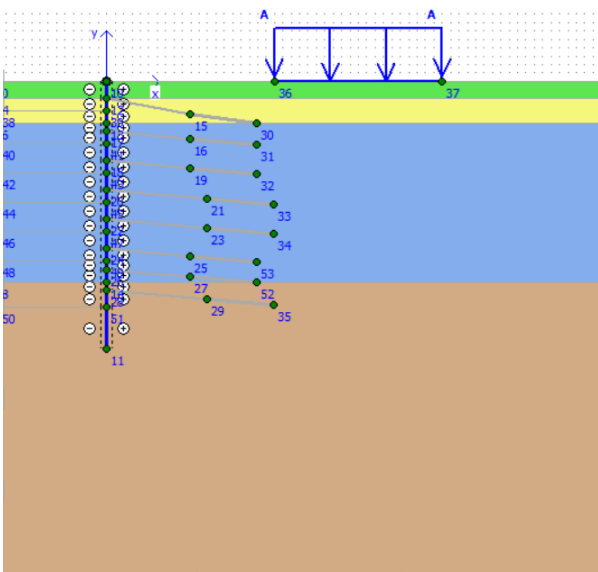
Στο πεδίο “Control parameters” επιλέγεται ο μέγιστος αριθμός βημάτων που θα πρέπει να υπολογιστεί το στάδιο αυτό (“Additional Steps”) και δίνεται η δυνατότητα επιλογής μηδενισμού των μετακινήσεων του προηγούμενου σταδίου, να αγνοηθούν οι αστράγγιστες συνθήκες ή να γίνει η διαγραφή των τιμών για τα ενδιάμεσα τμήματα κατά την διάρκεια των υπολογισμών. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής του τρόπου με τον οποίο θα επιβάλλονται οι φορτίσεις στο πεδίο “Loading input”. Οι επιλογές είναι, η συνολική επιβολή των φορτίσεων με το “Total multipliers” για συνολική επιβολή φορτίσεων, και η σταδιακή κατασκευή με τις επιλογές “Incremental multipliers” και η “Staged construction”.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε η διαγραφή των ενδιάμεσων βημάτων σε όλες τις φάσεις με την εντολή “delete intermediate steps” και ο αριθμός βημάτων επιλέχθηκε αυτόματα από το πρόγραμμα να είναι ίσος με το 250. Για την μελέτη και προσομοίωση της εκσκαφής στο μοντέλο επιλέχθηκε το “staged construction”. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην ίδια καρτέλα επιλέγεται και επιλογή “Reset displacement to zero” στην δεύτερη φάση του “Staged construction” και αυτό γιατί στην πρώτη φάση ενεργοποιώντας τα φορτία των κατασκευών αναμένονται μεγάλες καθιζήσεις στην επιφάνεια.

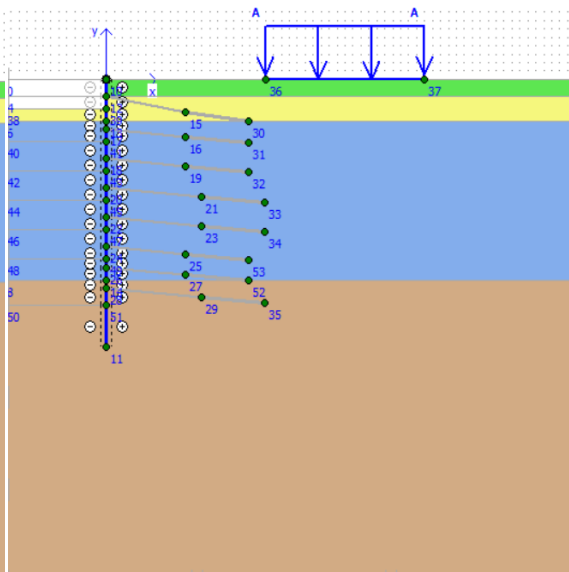
Για να ξεκινήσει ο προσδιορισμός των φάσεων κατασκευής που ακολουθούν αυτής των αρχικών συνθηκών, χρησιμοποιείται η εντολή “Next”. Έχοντας πατήσει και επιλέξει την επόμενη φάση κατασκευής με την εντολή “Define” το πρόγραμμα μεταφέρεται σε καινούριο παράθυρο που υπάρχει το γεωτεχνικό προσομοίωμα και γίνεται η εκσκαφή των εδαφικών σχηματισμών και η επιλογή των τμημάτων ή στοιχείων που κατασκευάζονται στο συγκεκριμένο στάδιο, που ήταν αρχικά απενεργοποιημένα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα στάδια της κατασκευής και το πλήθος τους αλλάζουν ανάλογα με την παραμετρική ανάλυση και τα κατασκευαστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται. Ενδεικτικά σε κάθε παραμετρική ανάλυση, τα στάδια έχουν ως εξής:

- Στο πρώτο στάδιο ενεργοποιείται ο τοίχος και το φορτίο στην επιφάνεια της εκσκαφής
- Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η πρώτη εκσκαφή
- Στο τρίτο στάδιο ενεργοποιείται η πρώτη σειρά των αντηρίδων ή των αγκυριών ανάλογα την παραμετρική ανάλυση.
- Στο τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η δεύτερη εκσκαφή
- Στο πέμπτο στάδιο ενεργοποιείται η δεύτερη σειρά των αντηρίδων ή των αγκυριών
- Στο έκτο στάδιο πραγματοποιείται η τρίτη εκσκαφή κλπ έως
- το τελευταίο στάδιο (προ-τελευταία φάση) που ενεργοποιείται η τελευταία σειρά των αγκυριών.

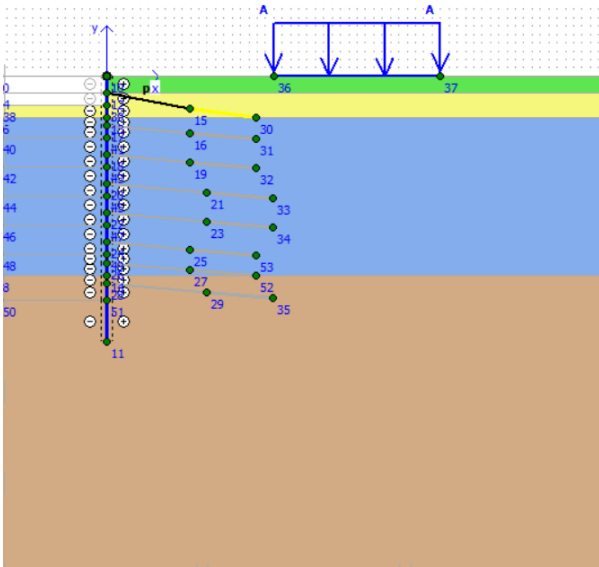


**Εικόνα 30:** Στο πρώτο στάδιο ενεργοποιείται ο τοίχος και το φορτίο στην επιφάνεια της εκσκαφής

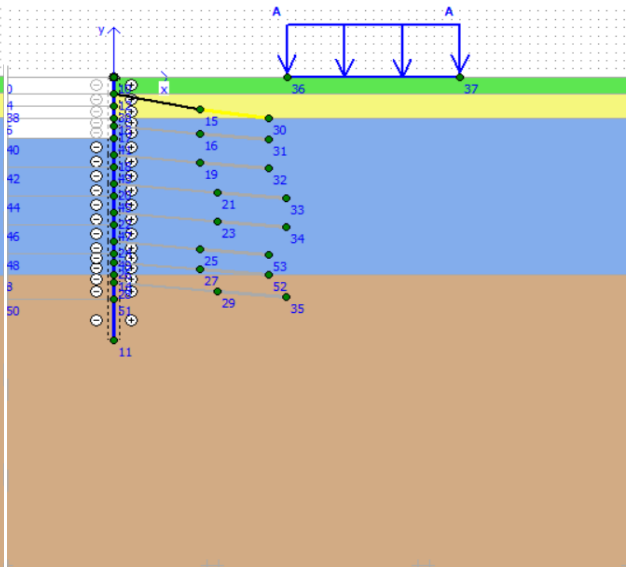


**Εικόνα 31:** Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η πρώτη εκσκαφή

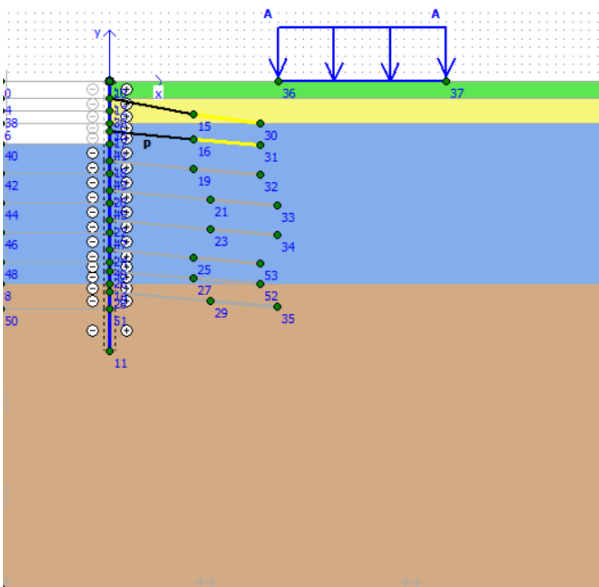




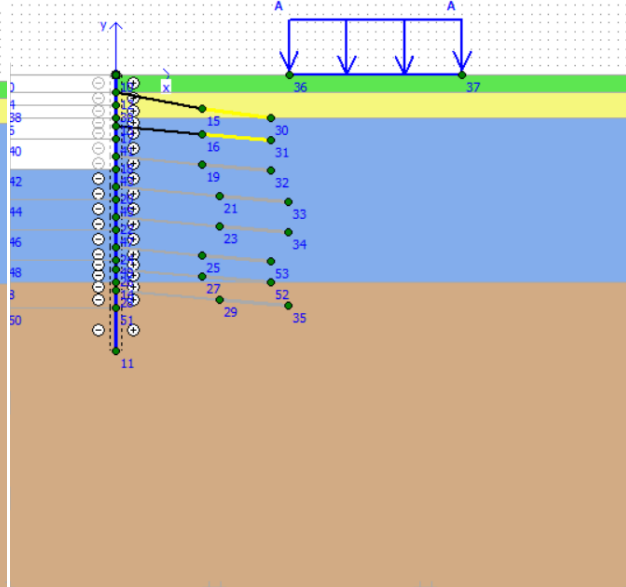
Εικόνα 33: Στο τρίτο στάδιο ενεργοποιείται η πρώτη σειρά των αγκυριών



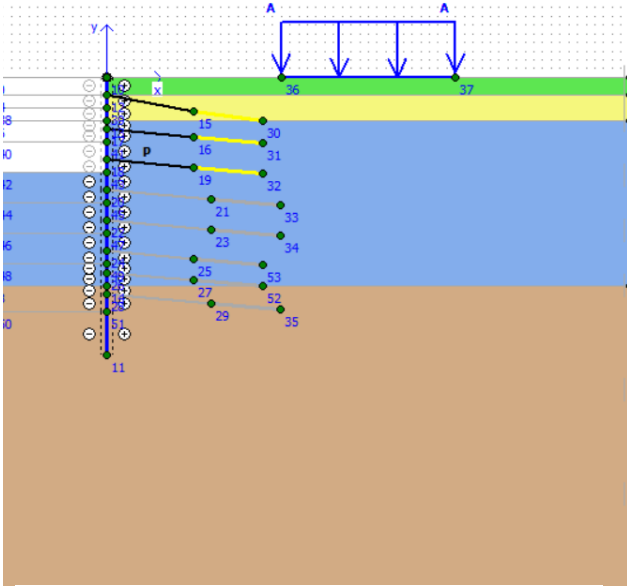
Εικόνα 32: Στο τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η δεύτερη εκσκαφή



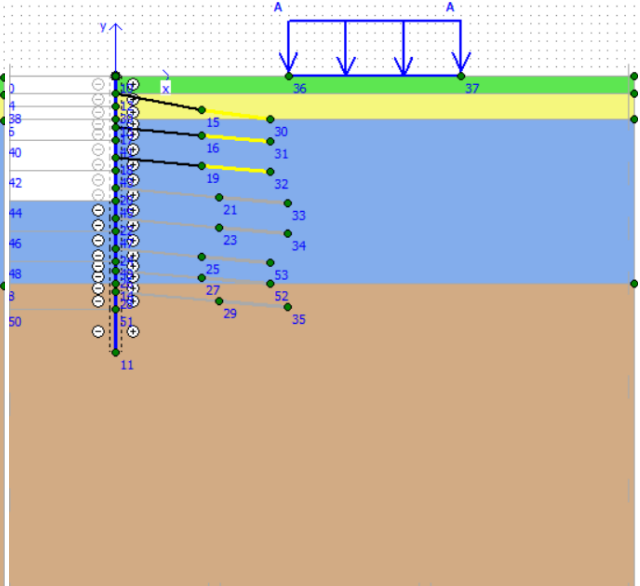
Εικόνα 35: Στο πέμπτο στάδιο ενεργοποιείται η δεύτερη σειρά των αγκυριών



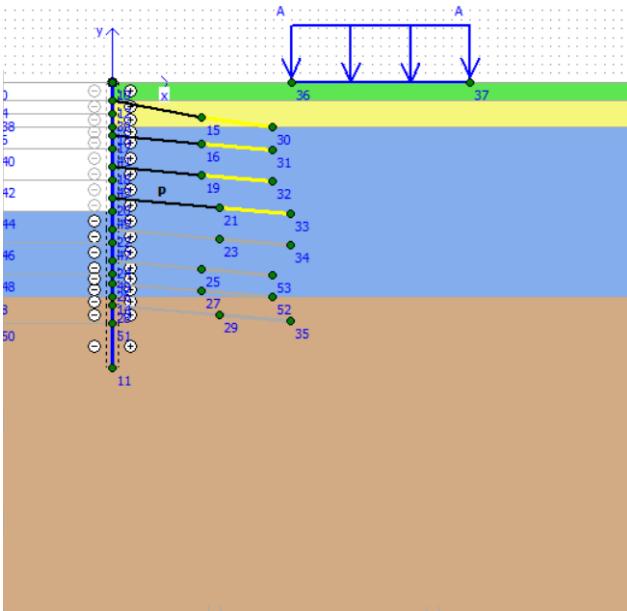
Εικόνα 34: Στο έκτο στάδιο πραγματοποιείται η τρίτη εκσκαφή



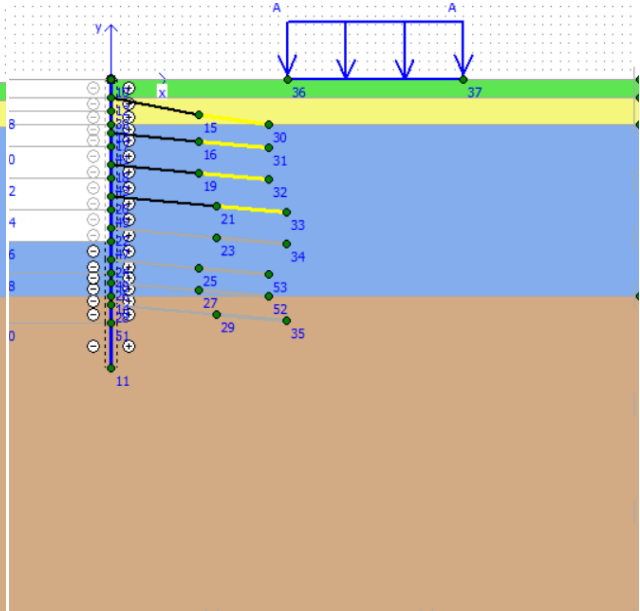
**Εικόνα 37:** Στο έβδομο στάδιο ενεργοποιείται η τρίτη σειρά των αγκυριών



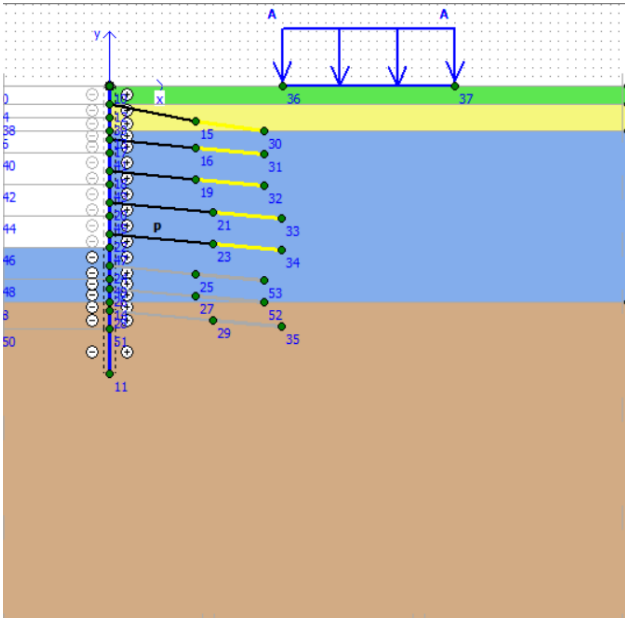
**Εικόνα 36:** Στο όγδοο στάδιο πραγματοποιείται η τέταρτη εκσκαφή



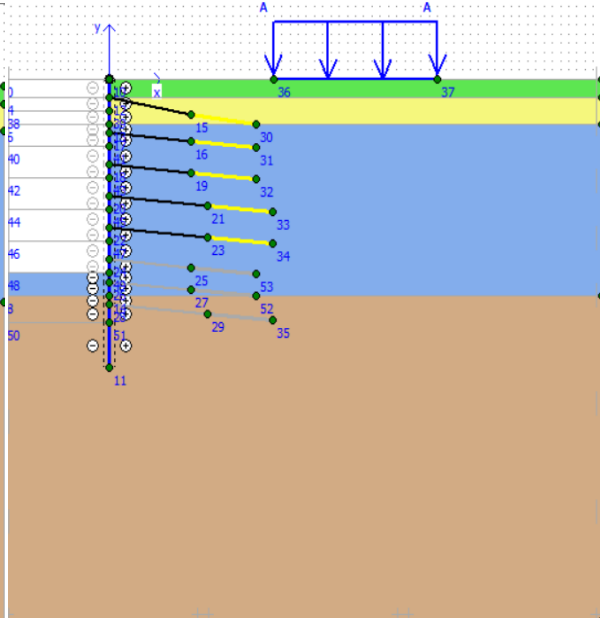
**Εικόνα 39:** Στο ένατο στάδιο ενεργοποιείται η τέταρτη σειρά των αγκυριών



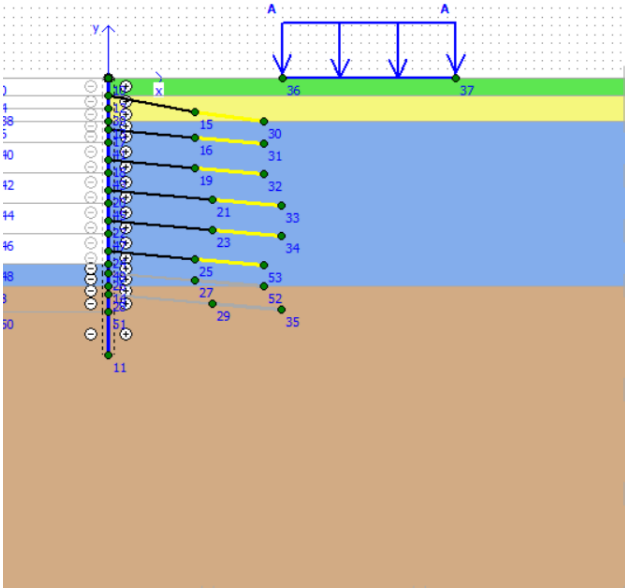
**Εικόνα 38:** Στο δέκατο στάδιο πραγματοποιείται η πέμπτη εκσκαφή



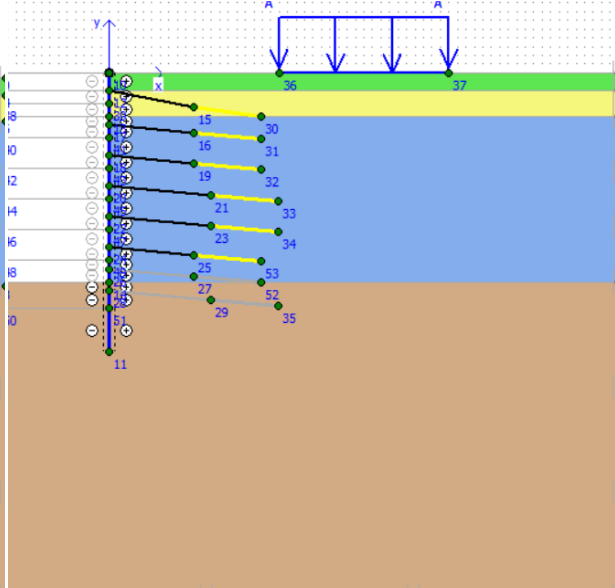
**Εικόνα 41:** Στο ενδέκατο στάδιο ενεργοποιείται η πέμπτη σειρά των αγκυρίων



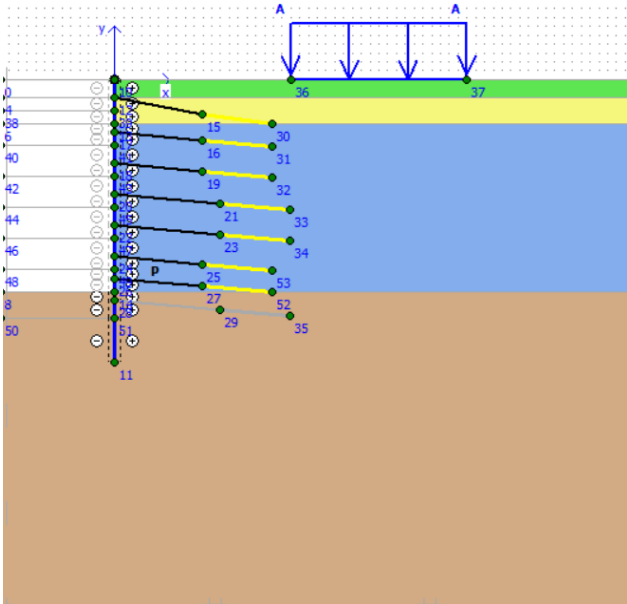
**Εικόνα 40:** Στο δωδέκατο στάδιο πραγματοποιείται η έκτη εκσκαφή



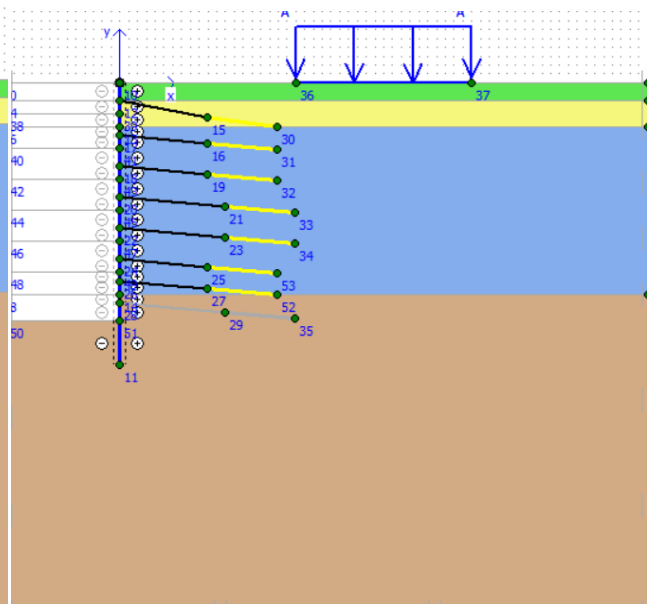
**Εικόνα 43:** Στο δέκατο τρίτο στάδιο ενεργοποιείται η έκτη σειρά των αγκυρίων



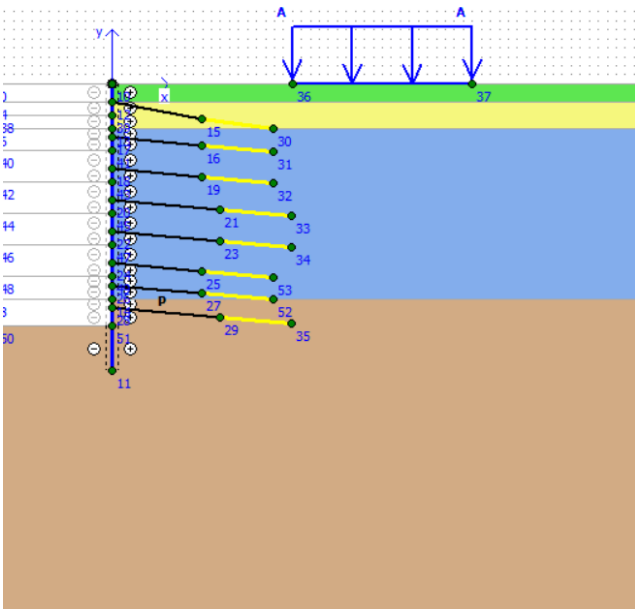
**Εικόνα 42:** Στο δέκατο τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η έβδομη εκσκαφή



**Εικόνα 45: Στο δέκατο πέμπτο στάδιο ενεργοποιείται η έβδομη σειρά των αγκυριών**



**Εικόνα 44: Στο δέκατο έκτο στάδιο πραγματοποιείται η όγδοη και τελευταία εκσκαφή**



**Εικόνα 46: Στο δέκατο έβδομο στάδιο ενεργοποιείται η όγδοη σειρά των αγκυριών**

Η αρχική φάση (“Initial phase”) με τον αριθμό 0 αντιστοιχεί στο αρχικό εντατικό πεδίο του μοντέλου πριν από την έναρξη των υπολογισμών. Στην τελευταία φάση, η οποία για την παρούσα διπλωματική εργασία είναι η δέκατη όγδοη φάση, γίνεται ανάλυση ασφαλείας, δηλαδή στο πεδίο “Calculation type” επιλέγεται “Phi/C reduction”. Σε όλες τις υπόλοιπες φάσεις πραγματοποιείται η επιλογή “Plastic”.

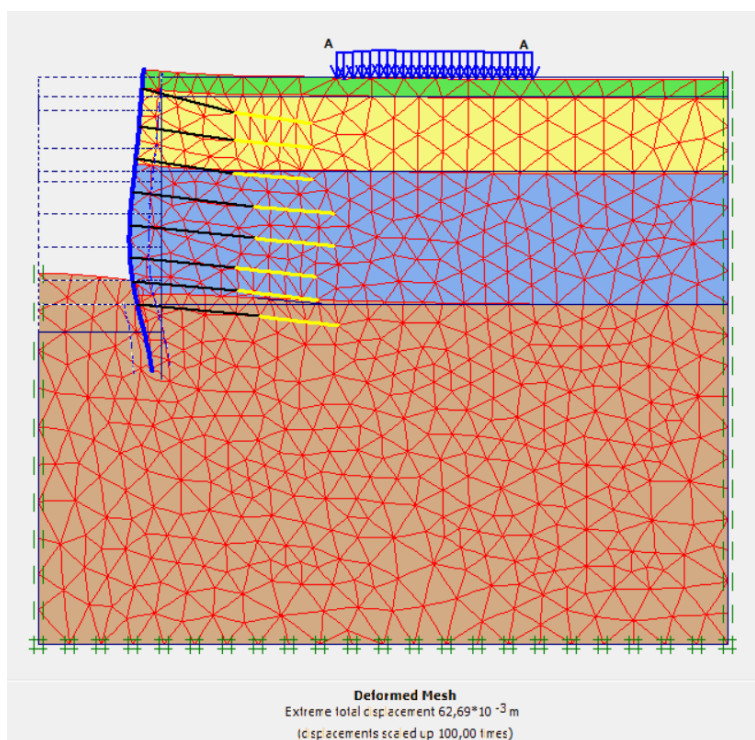
Μετά την ολοκλήρωση των φάσεων κατασκευής από την γραμμή των εργαλείων επιλέγεται η εντολή “Calculate” και ξεκινάει η επίλυση του μοντέλου.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων από την γραμμή των εργαλείων επιλέγεται η εντολή “Output”. Η εκτενέστερη περιγραφή της εξαγωγής των αποτελεσμάτων θα γίνει στην επόμενη παράγραφο.

### 3.3.7. Εξαγωγή αποτελεσμάτων –Output

Μέσω της εντολής “Output”, γίνεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της επίλυσης του μοντέλου. Από το πρόγραμμα υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης μετατοπίσεων και τάσεων σε κάθε φάση ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται γραφικά οριζόντιες, κατακόρυφες και συνολικές μετατοπίσεις, καθώς και τα εντατικά μεγέθη που ασκούνται στον διαφραγματικό τοίχο.

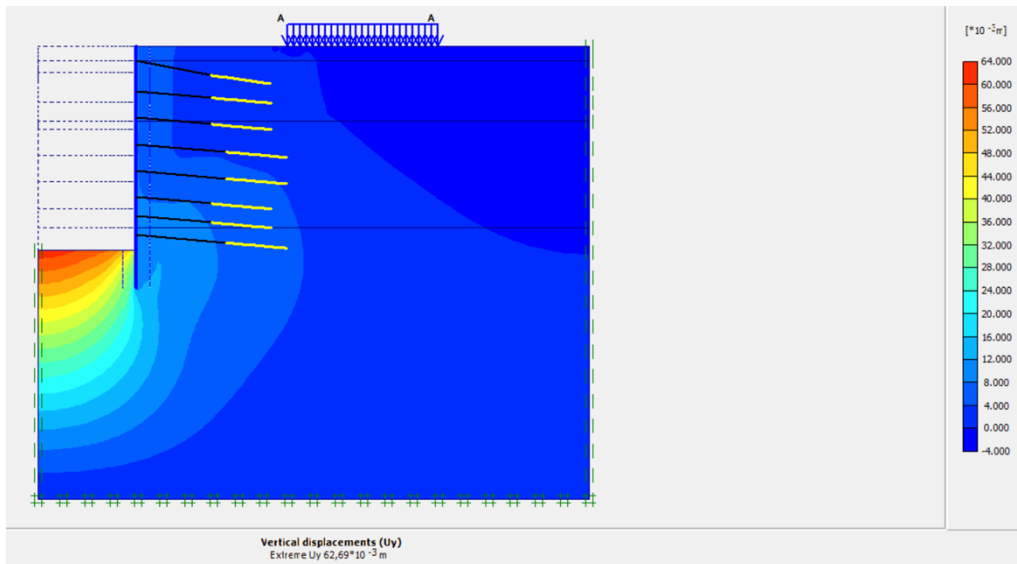
Στην Εικόνα 48 παρουσιάζεται η εικόνα του παραμορφωμένου κάναβου και των συνολικών μετακινήσεων του συγκεκριμένου μοντέλου αναφοράς της κατασκευής της εκσκαφής του σταθμού, οι οποίες είναι της τάξης των 6,2 cm.



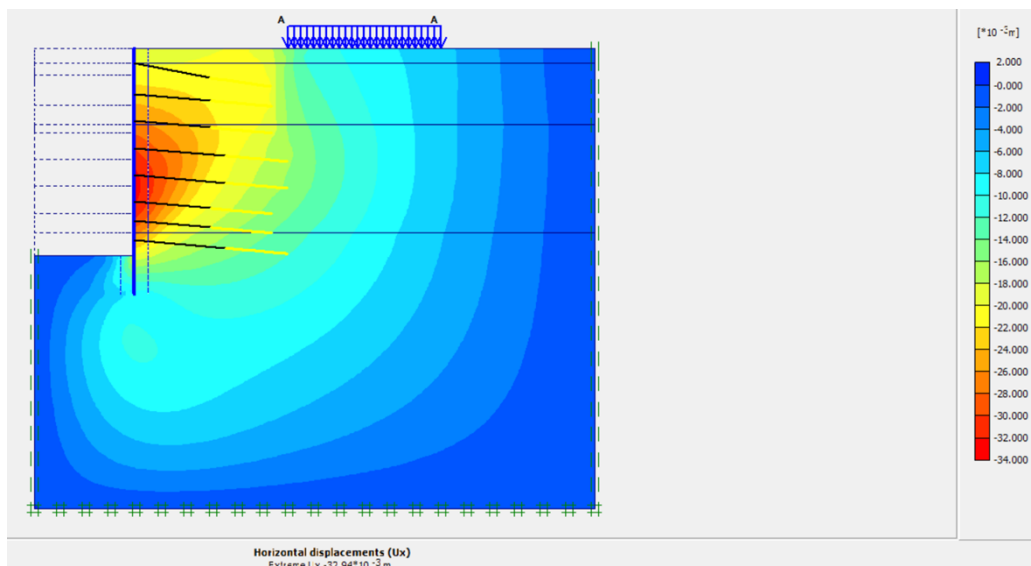
Εικόνα 47: Παραμορφωμένος κάναβος του προσομοιώματος.

Για την μελέτη του σημείου στο οποίο παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις η εκσκαφή μπορεί να αναπαρασταθεί με “Shadings”. Έτσι μπορεί να παρατηρηθεί σε ποιο σημείο εμφανίζονται οι μέγιστες κατακόρυφες και σε ποιο οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις στις εικόνες που φαίνονται παρακάτω.

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα της Εικόνας 49 και της Εικόνας 50, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις είναι της τάξης των 3,2 cm και εμφανίζονται στην περιοχή όπου έχει εφαρμοστεί η πέμπτη και η έκτη σειρά αγκυρώσεων, ενώ οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις είναι της τάξης των 6,2cmκαι εμφανίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής.

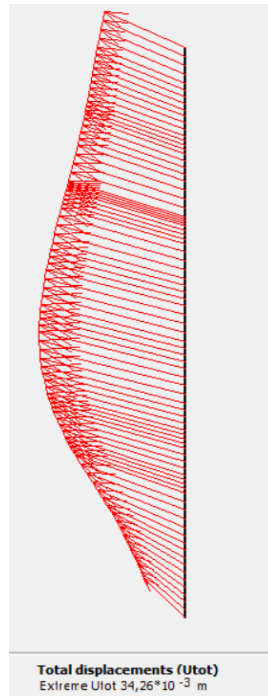


**Εικόνα 48: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις της εκσκαφής με Shadings**



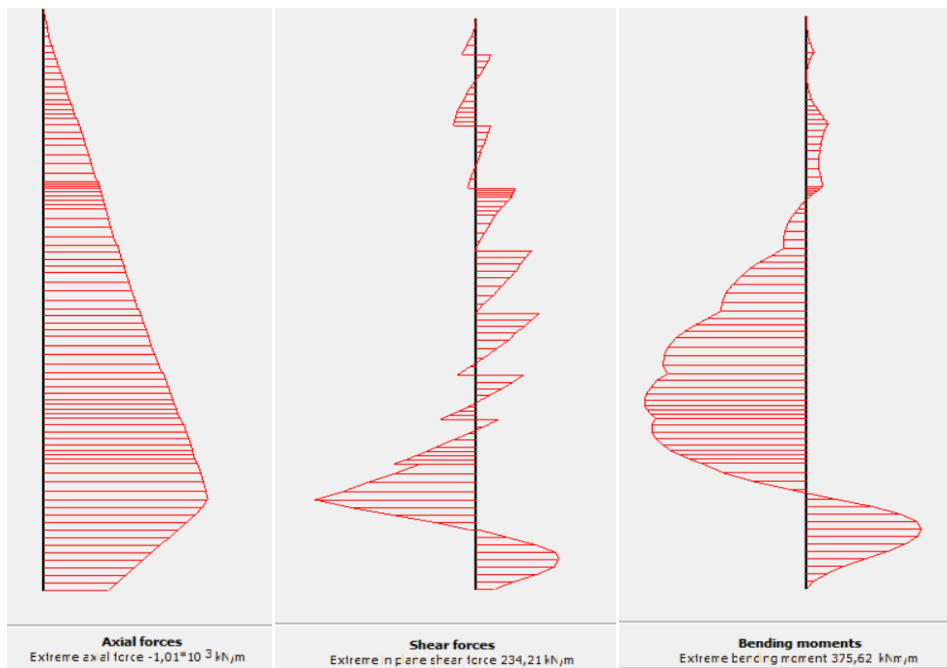
**Εικόνα 49: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις της εκσκαφής με Shadings**

Υπάρχει η δυνατότητα του υπολογισμού των μετακινήσεων και για τους πασσάλους που οφείλονται στις ωθήσεις του εδάφους κατά την τελική εκσκαφή. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνολικές μετατοπίσεις του διαφραγματικού τοίχου της βασικής εκσκαφής που αποτελείται από πασσάλους διαμέτρου 1000mm και απόσταση μεταξύ τους ίση με 1.5 m.



Εικόνα 50: Μέγιστες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου για αποστάσεις πασσάλων 1.5m

Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα υπολογισμού μέγιστων διατμητικών και αξονικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών. Οι μέγιστες τιμές των διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους του διαφραγματικού τοίχου σύμφωνα με τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων είναι 234,21kN/m, ενώ οι αξονικές δυνάμεις είναι ίσες με  $-1,01 \cdot 10^3$  kN/m. Οι καμπτικές ροπές του διαφραγματικού τοίχου είναι 375,62kN/m. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι ροπές που υπολογίζει το πρόγραμμα είναι συναρτήσει του μήκους της απόστασης των πασσάλων, επομένως για να υπολογιστεί η απόλυτη τιμή των ροπών, θα πρέπει το αποτέλεσμα να πολλαπλασιαστεί επί 1.5 m. Άρα η απόλυτη τιμή των καμπτικών ροπών του διαφραγματικού τοίχου είναι 563,43kNm.



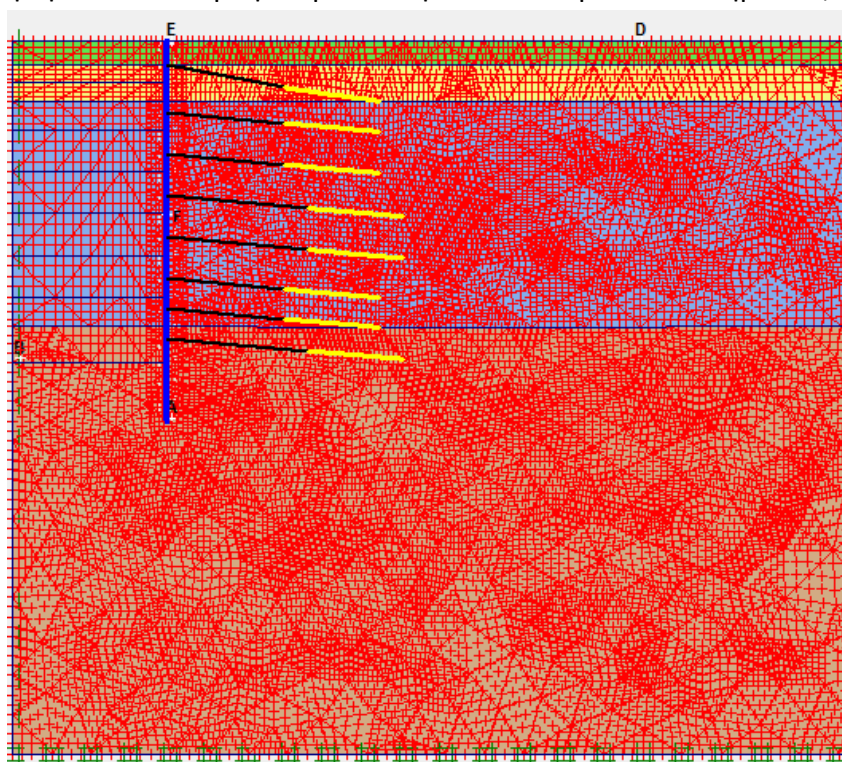
Εικόνα 51: Μέγιστες αξονικές δυνάμεις, μέγιστες διατμητικές δυνάμεις και μέγιστες καμπτικές ροπές διαφραγματικού τοίχου

### 3.3.8. Εξαγωγή διαγραμμάτων – Plaxis Curves

Το πρόγραμμα Plaxis έχει τη δυνατότητα δημιουργίας διαγραμμάτων τα οποία αναφέρονται στις οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις σε σημεία ενδιαφέροντος που ορίζονται στο στάδιο πριν τον υπολογισμό.

Στα διαγράμματα αυτά μπορούν να παρουσιάζονται οι οριζόντιες και κατακόρυφες συναρτήσεις των φάσεων. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται το σημείο A στο σημείο αιχμής του πασσάλου, το σημείο B στον πυθμένα της εκσκαφής, το σημείο D στην θεμελίωση των κτιρίων κόντα στην εκσκαφή, το σημείο E στη στέψη των πασσάλων και το σημείο F ανάμεσα στην τέταρτη και πέμπτη σειρά αγκυρίων, σε 14,5 m βάθος.

Για την παρακολούθηση των οριζόντιων μετακινήσεων επιλέγονται τα σημεία A, E και F, και για την παρακολούθηση των κατακόρυφων μετακινήσεων επιλέγονται τα σημεία B, E και D.



Εικόνα 52:Επιλογή σημείων για την παρακολούθηση οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, παρουσιάζονται αναλυτικά τα συγκεκριμένα διαγράμματα.

### 3.3.9. Συντελεστής ασφαλείας

Στην τελευταία φάση του υπολογισμού δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας FS, ώστε το σύστημα αντιστήριξης να εξασφαλίζει ικανοποιητικές συνθήκες ευστάθειας, έναντι θραύσης του εδάφους. Ο υπολογισμός γίνεται μέχρι την αστοχία της κατασκευής. Συγκεκριμένα για την περίπτωση της κατασκευής του αρχικού μοντέλου (οκτώ σειρές αγκυρίων), προκύπτει  $FS=1,566$ .

Για την εμφάνιση του στο πρόγραμμα επιλέγεται “View”-> “Calculation information” στο παράθυρο “Plaxis Output” της τελευταίας.



Multipliers | Additional Info | Step Info

Step Info

Step	181 of 181	Extrapolation factor	1,000
PLASTIC STEP		Relative stiffness	0,000

Multipliers

	Incremental Multipliers		Total Multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ -Mdisp:	1,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ -MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ -MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ -Mweight:	1,000
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ -Maccel:	0,000
Strenght reduction factor	Msf:	0,001	Σ -Msf:	1,566
Time	Increment:	0,000	End time:	0,000
Dynamic Time	Increment:	0,000	End time:	0,000

OK Print Help

Εικόνα 53: Συντελεστής ασφαλείας FS=1,566

## 4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

### 4.1. Παρουσίαση παραμετρικών αναλύσεων

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση των παραμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για την εκσκαφή της διατομής του σταθμού «Περιστέρι». Προκειμένου να διερευνηθεί ο τρόπος και ο βαθμός επιρροής των διάφορων μέτρων υποστήριξης, της στρωματογραφίας του γεωλογικού σχηματισμού και της ύπαρξης της στάθμης του υπόγειου νερού στην ευστάθεια της εκσκαφής, εξετάστηκαν διάφοροι παράγοντες όπως είναι το πάχος των στρώσεων του κροκαλοπαγούς και του μεταψαμμίτη, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, η απόσταση των πασσάλων και κατ' επέκταση και των αγκυρίων και η δύναμη προέντασης των αγκυρίων. Επιπλέον έγιναν διερευνητικές αναλύσεις στις οποίες οι αντηρίδες και τα αγκύρια χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό μεταξύ τους ως μέτρα υποστήριξης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις παραμετρικές αναλύσεις κάθε φορά μεταβάλλεται μια παράμετρος σχεδιασμού και οι υπόλοιπες διατηρούνται σταθερές. Οι κυρίες παράμετροι σχεδιασμού που παραμένουν σταθερές σε όλες τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής είναι η διάμετρος των πασσάλων, τα γεωτεχνικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών υλικών, το βάθος της εκσκαφής και το μήκος των αγκυρίων.

Όπως ήδη αναφέρθηκε πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σειρές παραμετρικών αναλύσεων με μέτρα υποστήριξης οκτώ σειρές αγκυρίων. Στην πρώτη σειρά αναλύσεων εξετάστηκε η επίδραση του πάχους των στρώσεων του κροκαλοπαγούς και του μεταψαμμίτη. Συγκεκριμένα, λαμβάνονται τρεις υποπεριπτώσεις:

- πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m
- πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 8 m και μεταψαμμίτη 14 m
- πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m

Στην δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων, μεταβλήθηκε η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με:

- Σ.Υ.Ο.: -5 m
- Σ.Υ.Ο.: -10 m
- Σ.Υ.Ο.: -20 m

Στην τρίτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων μεταβλήθηκε η απόσταση μεταξύ των πασσάλων και εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο επιδρά αυτή στις συνολικές μετακινήσεις. Για τον σκοπό αυτό ελέγχθηκαν τρεις υποπεριπτώσεις με απόσταση μεταξύ των πασσάλων:

- 1,5m
- 2m
- 2,5m

Στην τέταρτη σειρά αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή της αλλαγής των μηχανικών χαρακτηριστικών των αγκυρίων στις συνολικές μετακινήσεις. Με αυτό τον σκοπό πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σειρές αναλύσεων με διαφορετική δύναμη προέντασης:

- Ανάλυση με δύναμη προέντασης  $F=100$  KN
- Ανάλυση με δύναμη προέντασης  $F=300$  KN
- Ανάλυση με δύναμη προέντασης  $F=450$  KN
- Ανάλυση με δύναμη προέντασης  $F=600$  KN

Τα μέτρα υποστήριξης των παραπάνω σειρών αναλύσεων ήταν οκτώ σειρές αγκυρίων. Μετά από αυτές, ακολουθούν αναλύσεις με τέσσερις αντηρίδες και πέντε σειρές αγκυρίων με δύναμη προέντασης 600 KN, στις οποίες γίνεται μεταβολή της στρωματογραφίας και της στάθμης υπόγειου νερού ως εξής:

Στην πέμπτη λοιπόν σειρά αναλύσεων εξετάστηκε η επίδραση του πάχους των στρώσεων του κροκαλοπαγούς και του μεταψαμμίτη. Συγκεκριμένα, λαμβάνονται τρεις υποπεριπτώσεις:

- πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m
- πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m

Στην έκτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων, μεταβλήθηκε η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με:

- Σ.Υ.Ο.: -5 m
- Σ.Υ.Ο.: -15 m

Τέλος, λαμβάνοντας την ανάλυση με τις τέσσερις αντηρίδες και τις πέντε σειρές αγκυρίων με δύναμη προέντασης 600 KN, πραγματοποιείται άλλη μία ανάλυση, μεταβάλλοντας τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βαθύτερης στρώσης, του ιλυόλιθου.

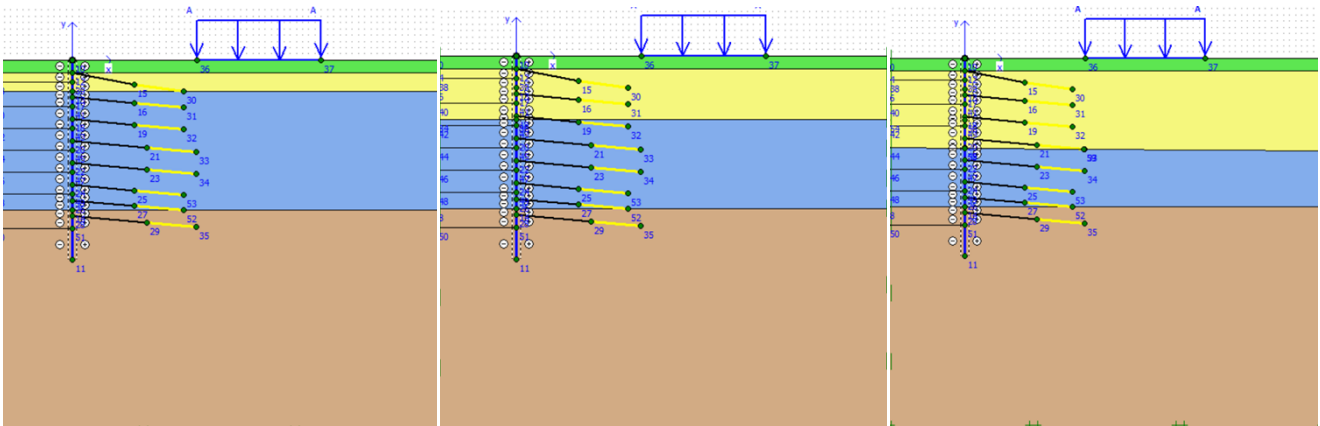
## 4.2. Αποτελέσματα – Σύγκριση αποτελεσμάτων

### 4.2.1. Παραμετρική ανάλυση για τη στρωματογραφία- Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 8 σειρές αγκυριών

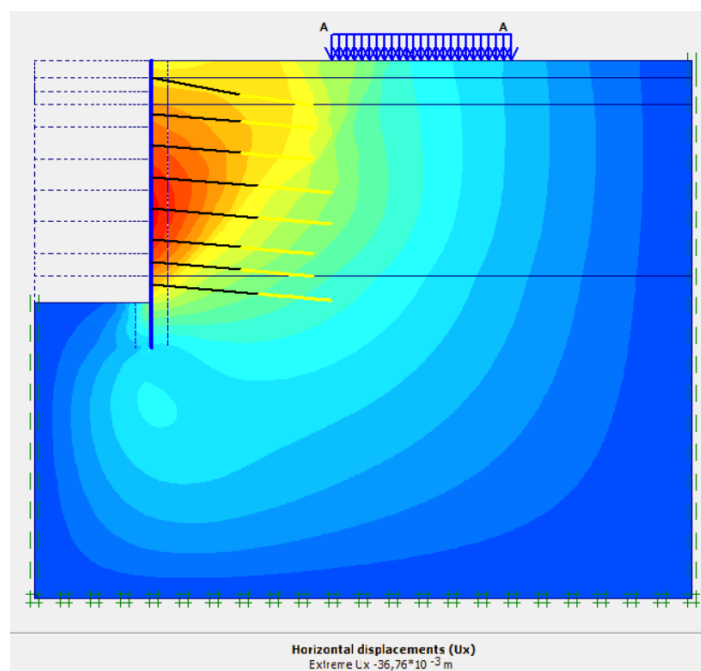
Στην πρώτη σειρά αναλύσεων εξετάστηκε η επίδραση του πάχους των στρώσεων του κροκαλοπαγούς και του μεταψαμμίτη. Γίνεται λοιπόν αλλαγή της στρωματογραφίας, διατηρώντας όλες τις άλλες παραμέτρους σταθερές. Στην πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων η στάθμη του υπόγειου νερού λαμβάνεται ίση με -5m και ο τρόπος υποστήριξης για την εκσκαφή επιλέγεται να είναι μέσω αγκυριών.

Συγκεκριμένα, λαμβάνονται τρεις υποπεριπτώσεις:

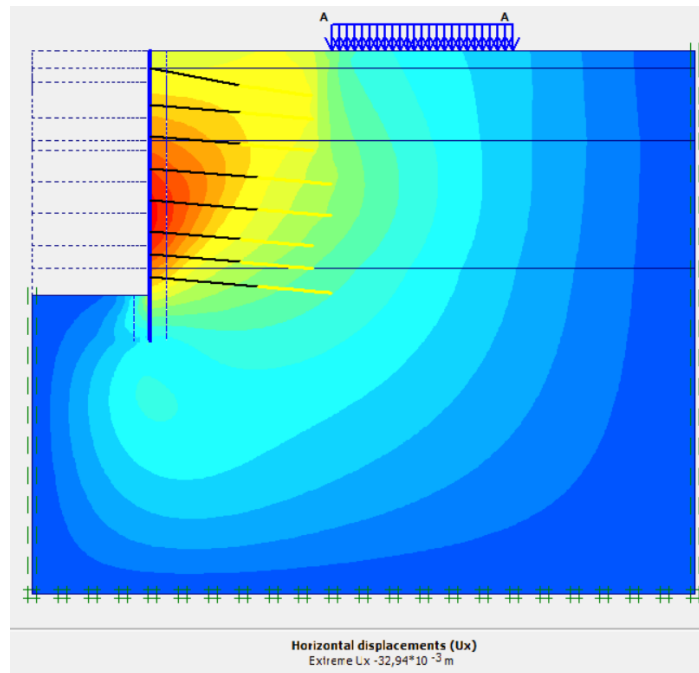
- Γεωμετρία 1 = πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m
- Γεωμετρία 2 = πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 8 m και μεταψαμμίτη 14 m
- Γεωμετρία 3 = πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m



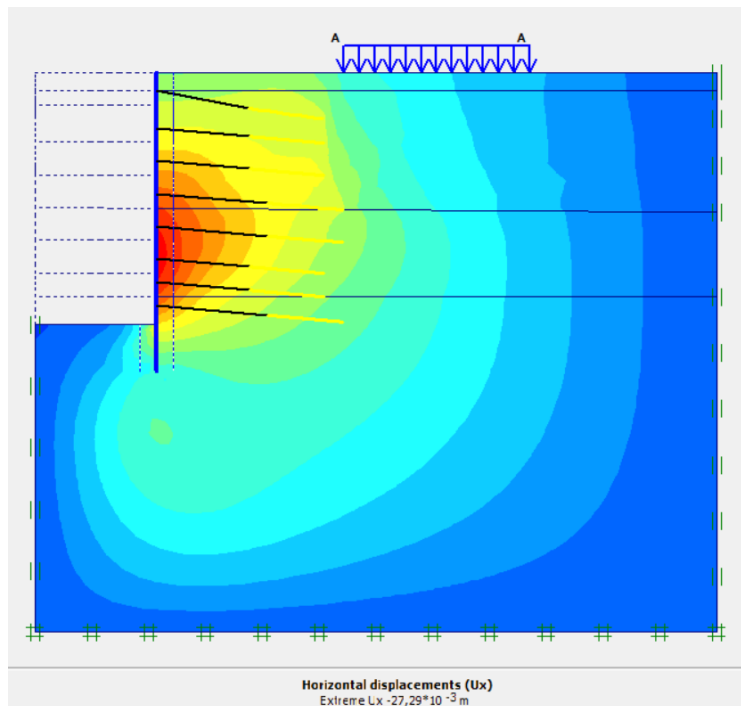
Εικόνα 54: Προσομοίωμα μοντέλου για κάθε περίπτωση στρωματογραφίας.



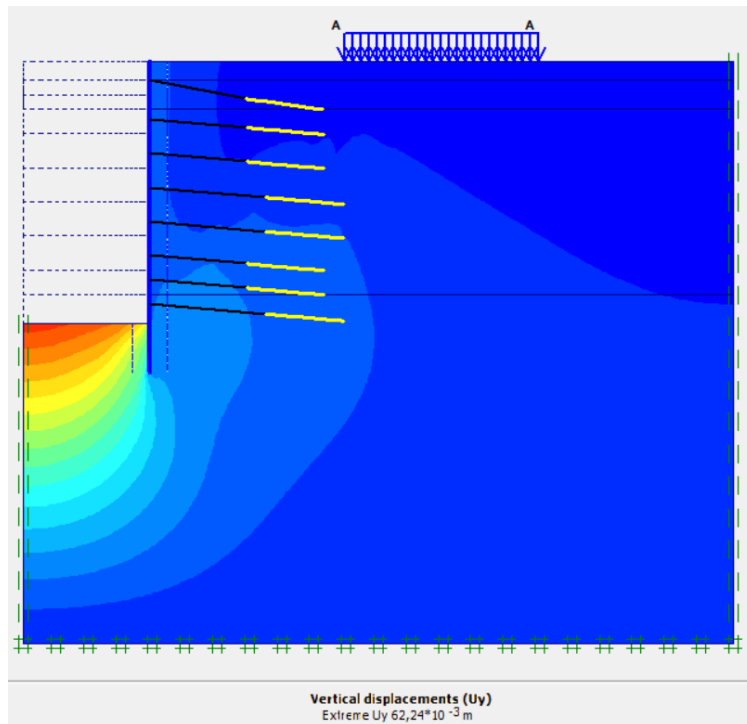
Εικόνα 55: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3m και μεταψαμμίτη 19m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 3,67cm.



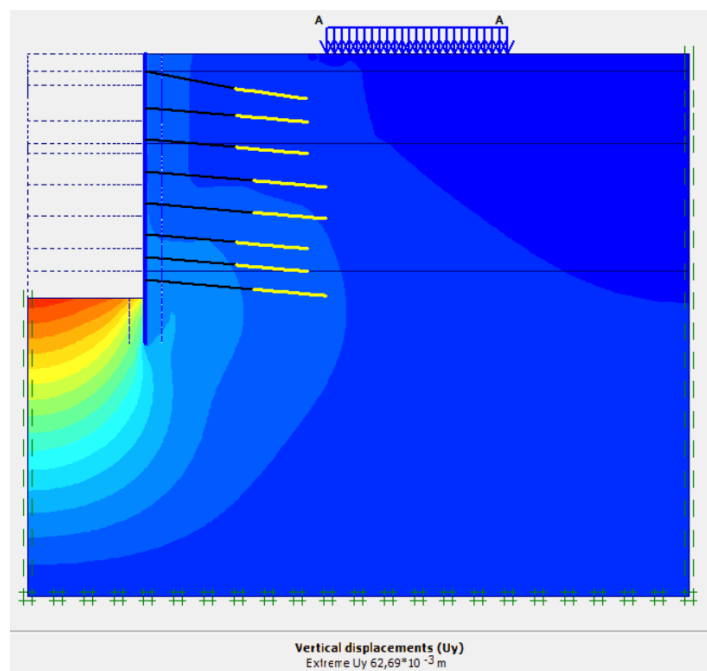
Εικόνα 56: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 8m και μεταψαμμίτη 14m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 3,29cm.



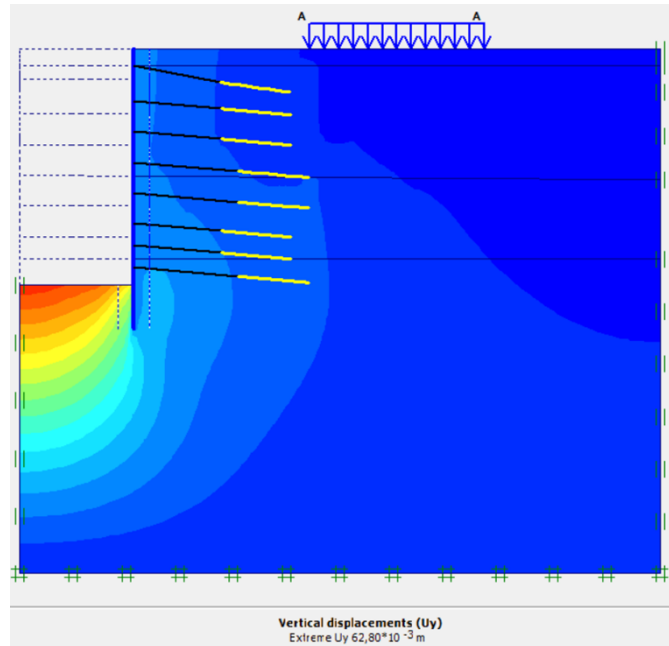
Εικόνα 57: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13m και μεταψαμμίτη 9m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 2,72cm.



Εικόνα 58:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3m και μεταψαμμίτη 19m. Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,22cm.



Εικόνα 59:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 8m και μεταψαμμίτη 14m.Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,26cm.



**Εικόνα 60:**Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13m και μεταψαμμίτη 9m.Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,28cm.

Παρατηρείται πως οι οριζόντιες μετακινήσεις έχουν μέγιστη τιμή 3,67 cm στην περίπτωση με το μεγαλύτερο πάχος στρώματος μεταψαμμίτη και το μικρότερο πάχος στρώματος κροκαλοπαγούς. Παρατηρείται επίσης ότι σε κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση περιορίζεται στο στρώμα του ψαμμίτη. Αυτό οφείλεται στα καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά του κροκαλοπαγούς ( $E=300 \text{ MPa}$ ,  $c=40 \text{ kPa}$ ,  $\phi=40^\circ$ ) έναντι αυτών του ψαμμίτη ( $E=100\text{MPa}$ ,  $c=30\text{kPa}$ ,  $\phi=30^\circ$ ).

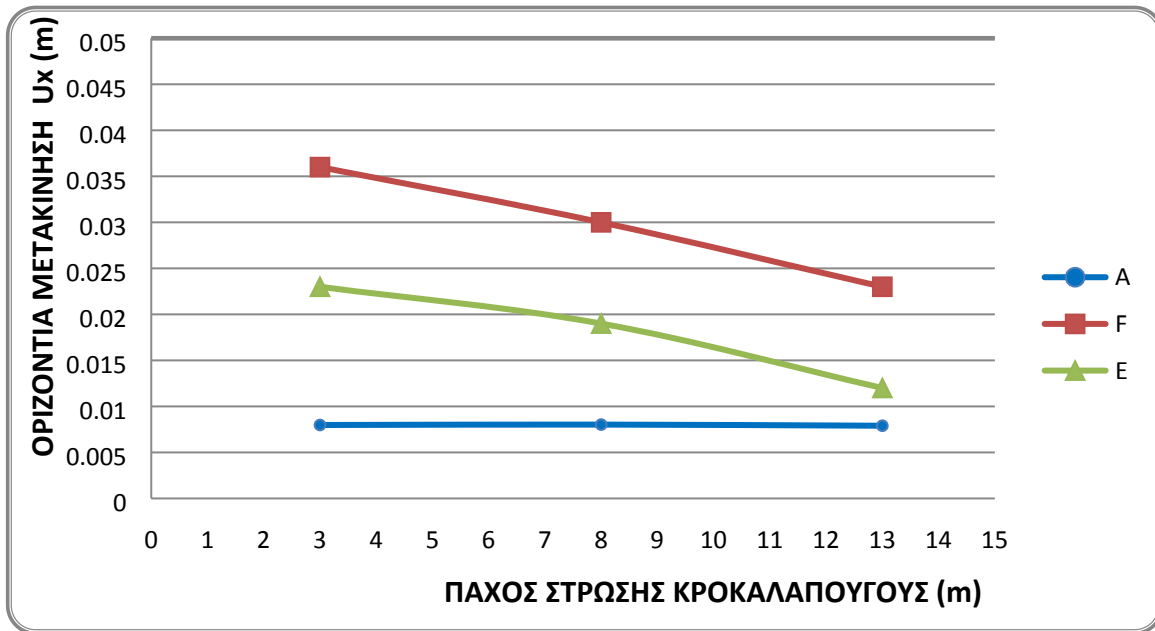
Όσον αφορά τις κατακόρυφες μετακινήσεις, η μέγιστη τιμή και στις τρεις περιπτώσεις, όπου η τιμή είναι σχεδόν ίδια, παρουσιάζεται στον πυθμένα της εκσκαφής, με τη μορφή ανύψωσης του πυθμένα. Παρακάτω, ακολουθούν οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις στα σημεία παρατήρησης, κατά απόλυτη τιμή.

**Πίνακας 16:** Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλογα με το πάχος του κροκαλοπαγούς στα σημεία παρατήρησης.

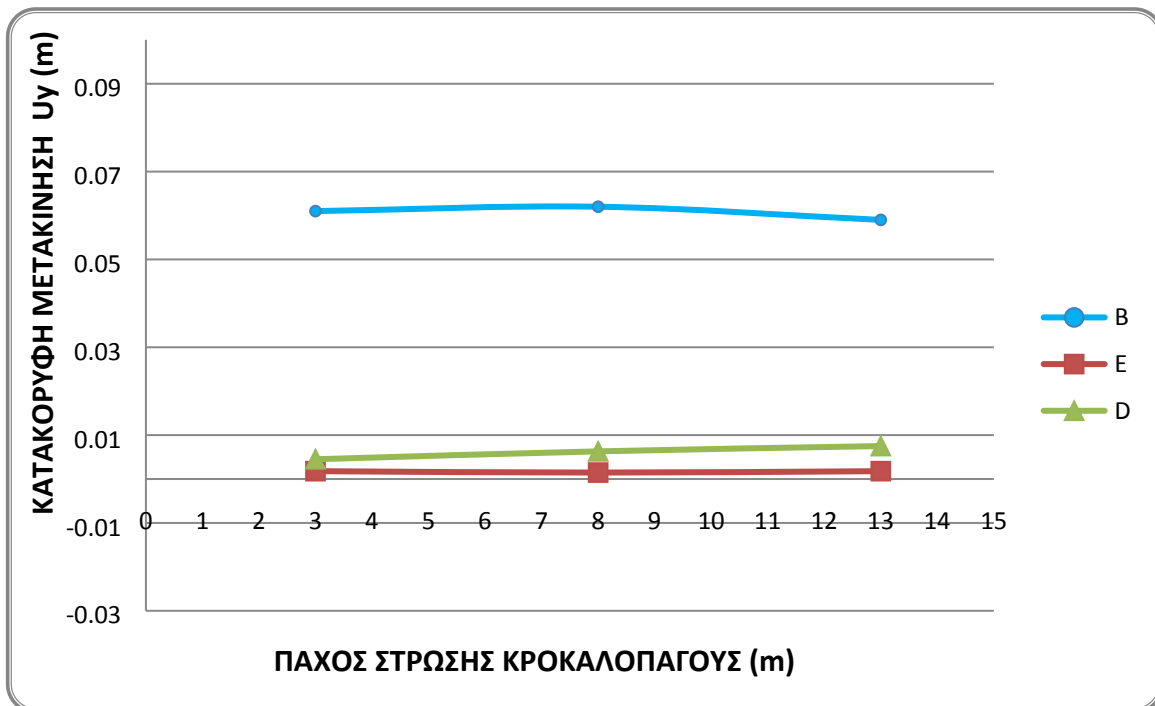
ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΑΠΟΥΓΟΥΣ (m)	Ux (m)		
	A	E	F
3	0.00798	0.023	0.036
8	0.008024	0.019	0.03
13	0.0079	0.012	0.023

Uy (m)		
B	E	D
0.061	0.00179	0.0045
0.062	0.00147	0.0063
0.059	0.00179	0.0075

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς , τόσο μειώνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις.

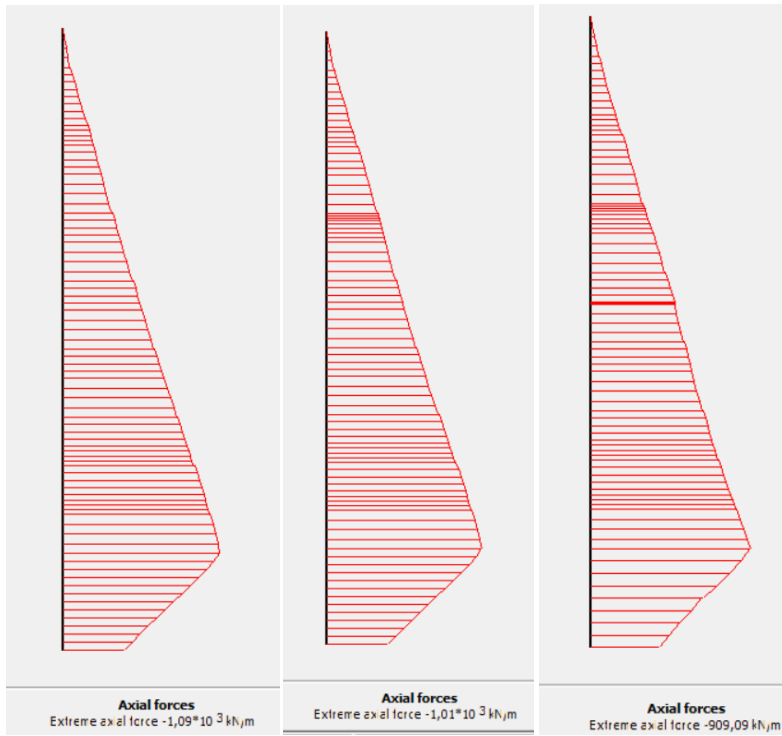


Εικόνα 61: Οριζόντιες μετακινήσεις συναρτήσει του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.

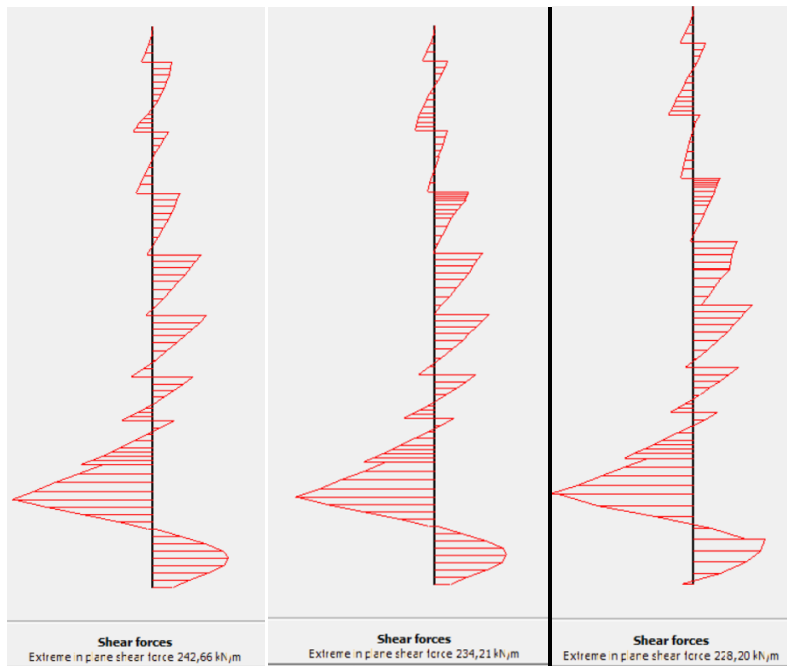


Εικόνα 62: Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.

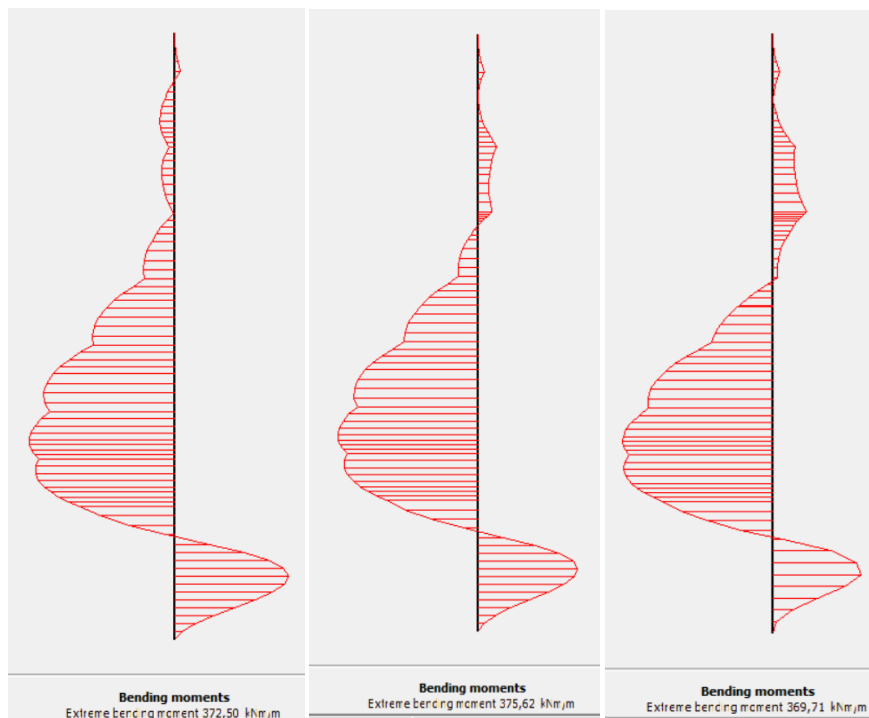




Εικόνα 63:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης



Εικόνα 64:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης



Εικόνα 65:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης

Πίνακας 17: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.

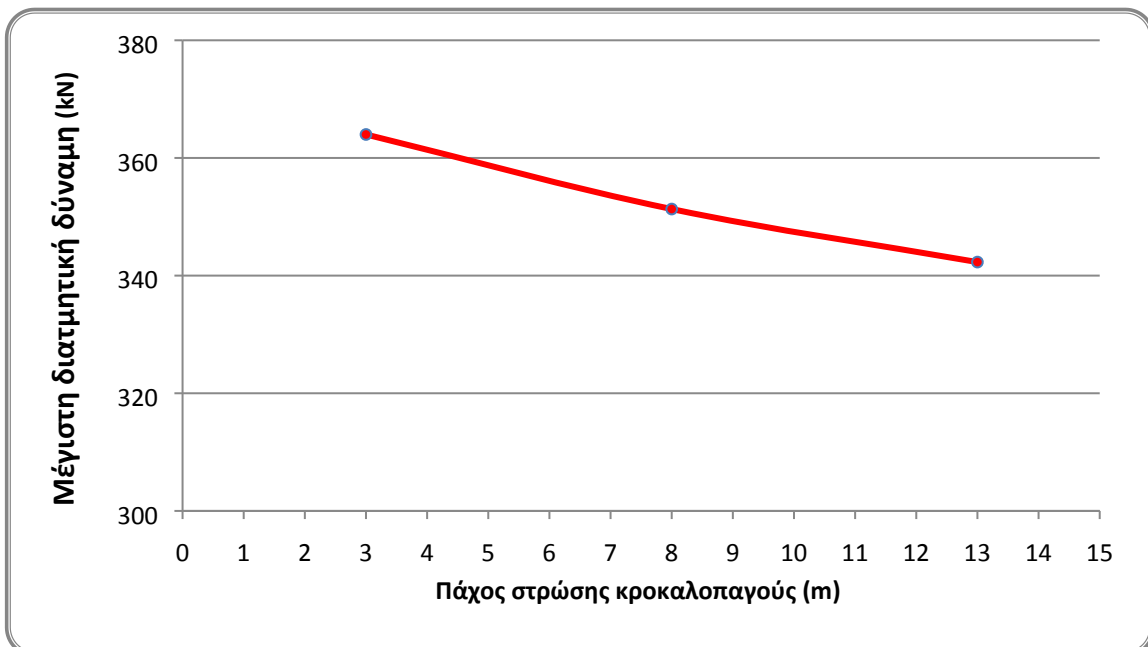
ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (KNm/m)
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3m και μεταψαμμίτη 19m	1,09 10 <sup>3</sup>	242,66	372,5
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 8m και μεταψαμμίτη 14m	1,01 10 <sup>3</sup>	234,21	375,62
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13m και μεταψαμμίτη 9m	909,09	228,20	369,71

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές των καμπτικών ροπών, των μέγιστων αξονικών και διατμητικών δυνάμεων είναι παράγοντες που καθορίζουν την διαστασιολόγηση των πασσάλων.

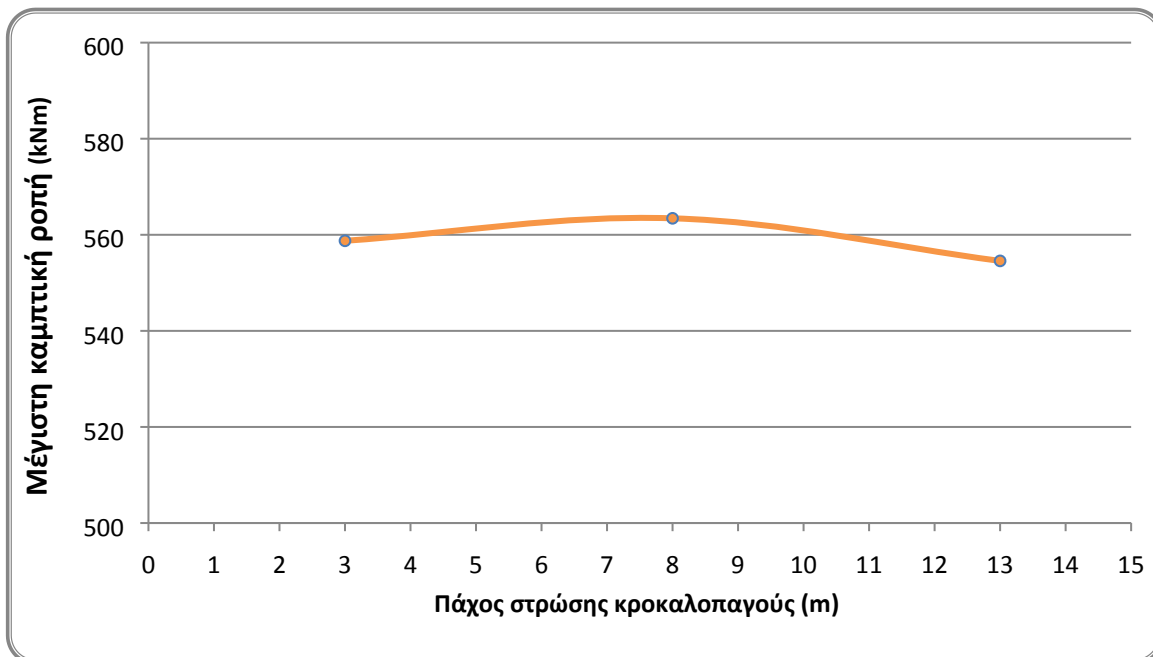
Παρακάτω ακολουθούν συγκεντρωτικά οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας για κάθε ανάλυση της πρώτης παραμετρικής σειράς.



Εικόνα 66: Μέγιστες αξονικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσει του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.



Εικόνα 67: Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσει του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.



Εικόνα 68: Μέγιστες καμπτικές ροπές επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσει του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.

Πίνακας 18: Τιμές συντελεστή ασφαλείας για τις τρεις περιπτώσεις της πρώτης παραμετρικής ανάλυσης.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3m και μεταψαμμίτη 19m	1,538
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 8m και μεταψαμμίτη 14m	1,566
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13m και μεταψαμμίτη 9m	1,636

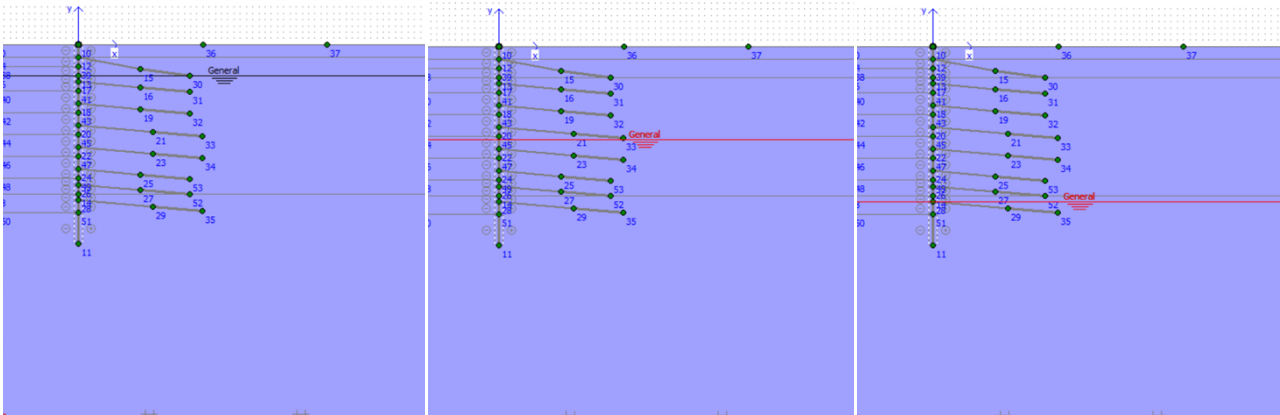


Εικόνα 69: Τιμές του συντελεστή ασφαλείας συναρτήσει του πάχους στρώσης του κροκαλοπαγούς.

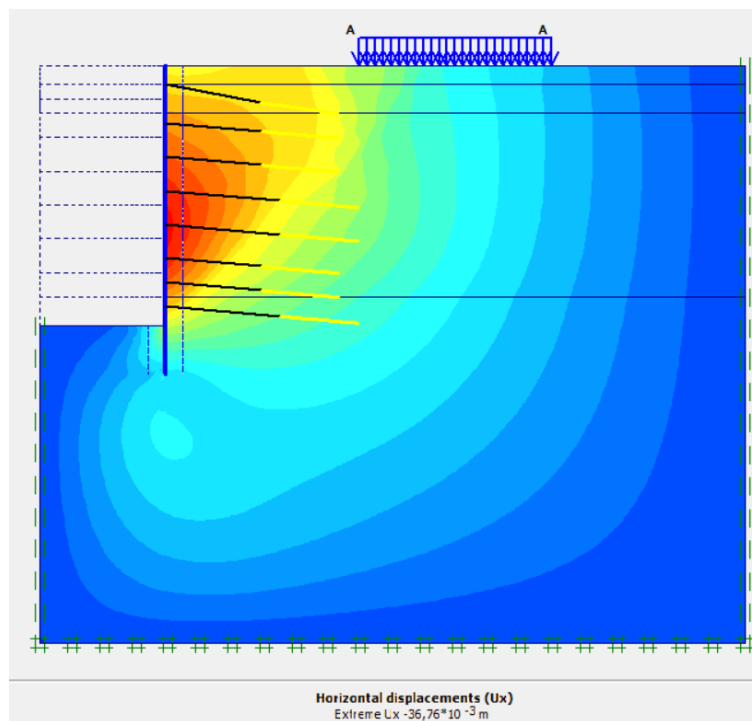
#### 4.2.2. Παραμετρική ανάλυση για στάθμη υπόγειου νερού – Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 8 σειρές αγκυριών

Στην δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων, μεταβλήθηκε η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με:

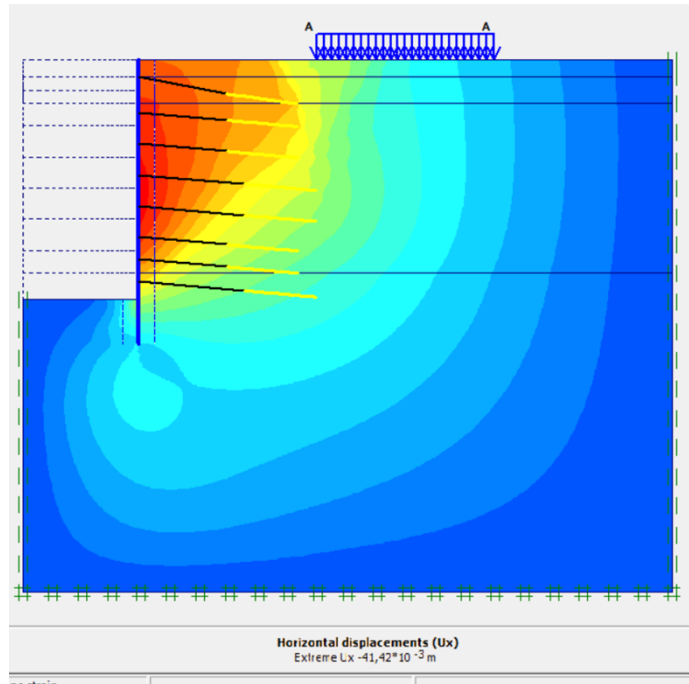
- Σ.Υ.Ο.: -5 m
- Σ.Υ.Ο.: -15 m
- Σ.Υ.Ο.: -25 m



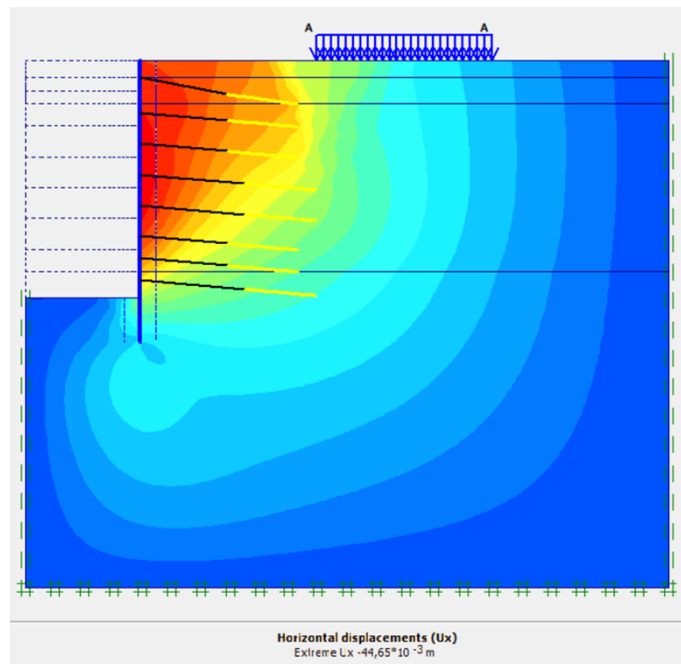
Εικόνα 70: Προσομοίωμα μοντέλου για κάθε περίπτωση στάθμης υπόγειου νερού.



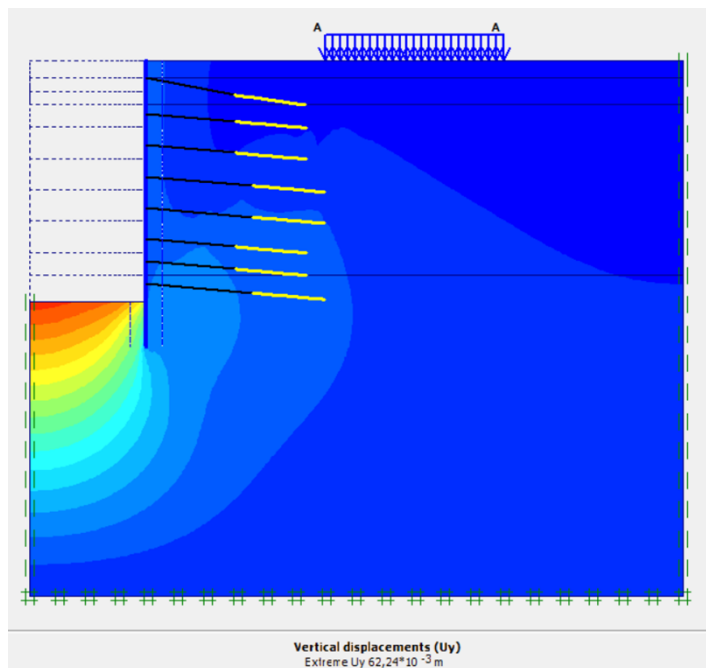
Εικόνα 71: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -5 m  
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 3,67 cm.



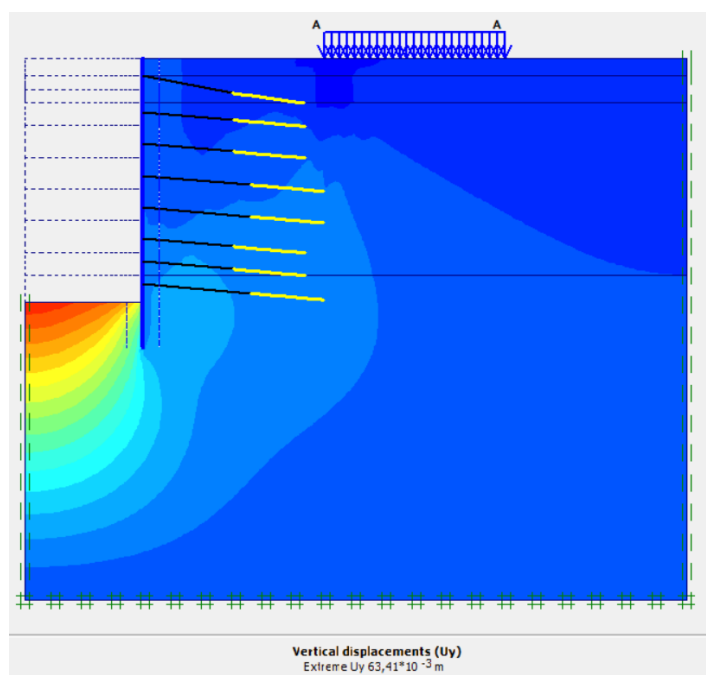
Εικόνα 72: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -15 m.  
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 4,14cm.



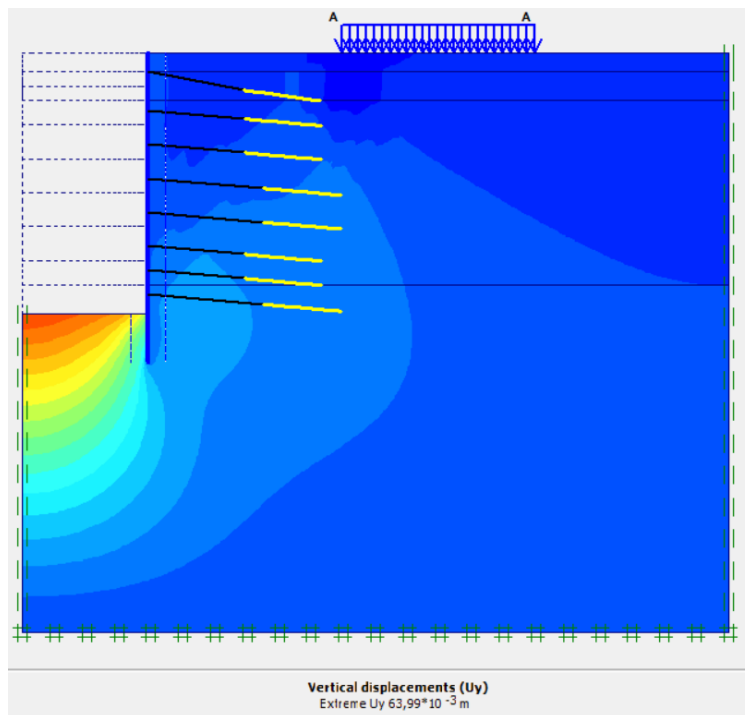
Εικόνα 73: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -25 m.  
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 4,46cm.



**Εικόνα 74** Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -5 m.  
Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,22 cm.



**Εικόνα 75:** Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -15 m.  
Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,34cm.



Εικόνα 76: Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση Σ.Υ.Ο.: -25 m. Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,39cm.

Πίνακας 19: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)
Σ.Υ.Ο.: -5 m	3,67	6,22
Σ.Υ.Ο.: -15 m	4,14	6,34
Σ.Υ.Ο.: -25 m	4,46	6,39

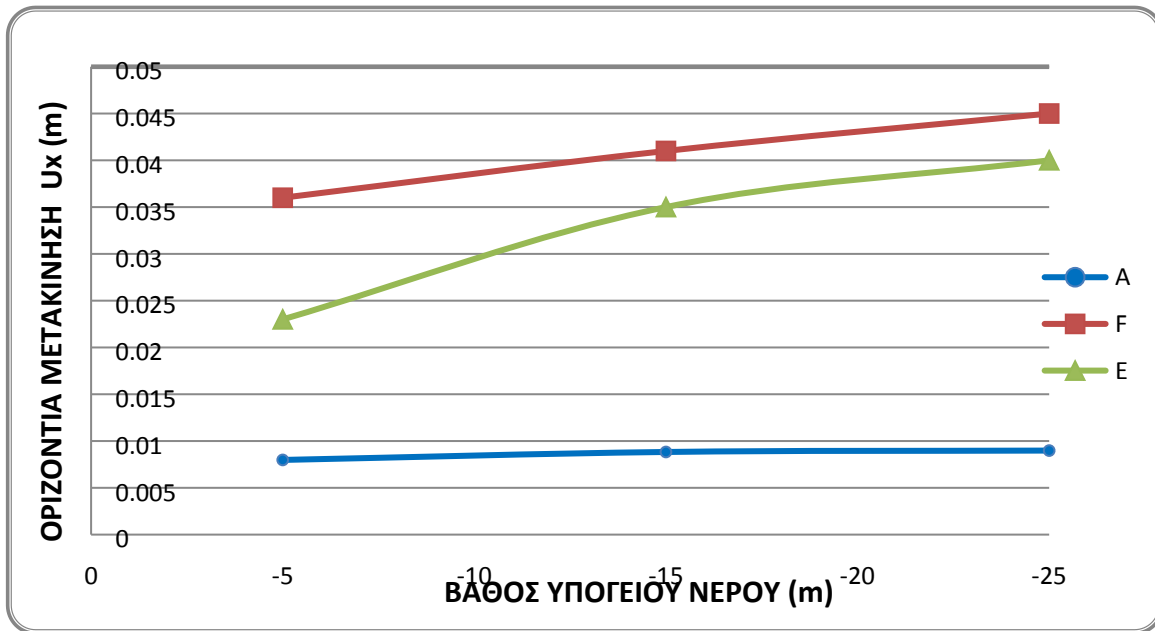
Παρατηρείται πως οι οριζόντιες μετακινήσεις έχουν μέγιστη τιμή 3,67 cm στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -5 m. Όσον αφορά τις κατακόρυφες μετακινήσεις, η μέγιστη τιμή και στις τρεις περιπτώσεις, όπου η τιμή είναι σχεδόν ίδια, παρουσιάζεται στον πυθμένα της εκσκαφής, με τη μορφή ανύψωσης του πυθμένα.

Πίνακας 20: Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλογα με το πάχος του κροκαλοπαγούς στα σημεία παρατήρησης.

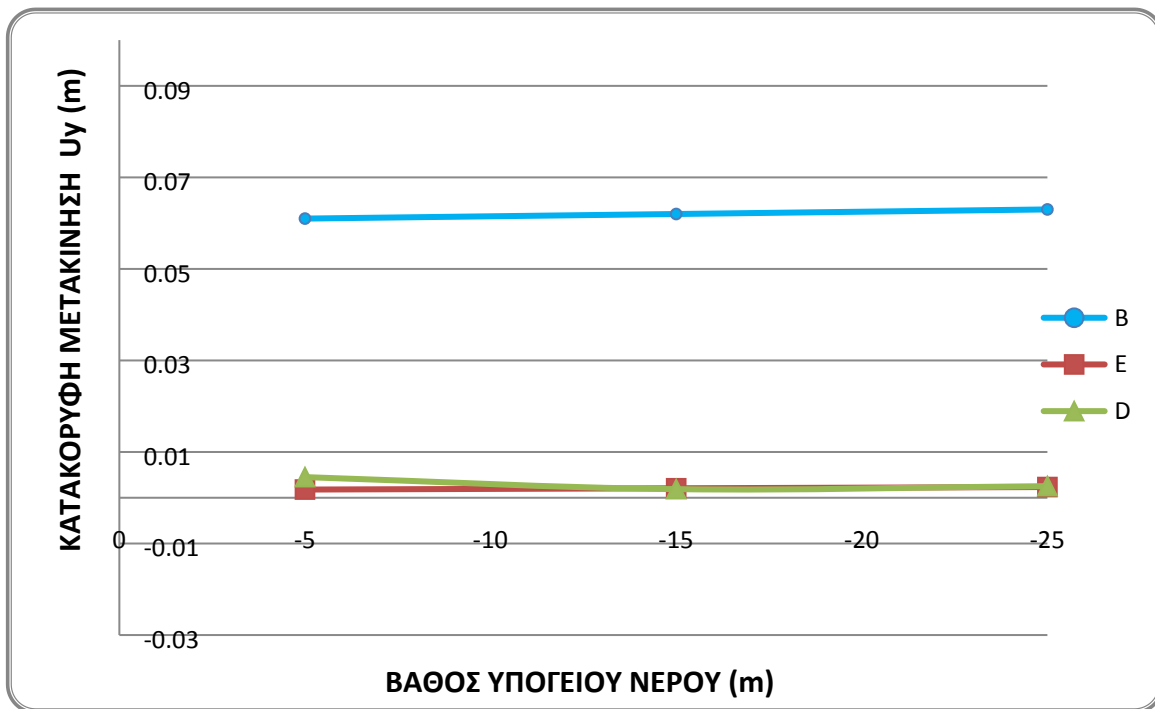
στάθμη υπόγειου νερού	Ux (m)		
	A	E	F
-5	0.00798	0.023	0.036
-15	0.00883	0.035	0.041
-25	0.00898	0.04	0.045

Uy (m)		
B	E	D
0.061	0.00179	0.00451
0.062	0.00207	0.00188
0.063	0.00234	0.00254

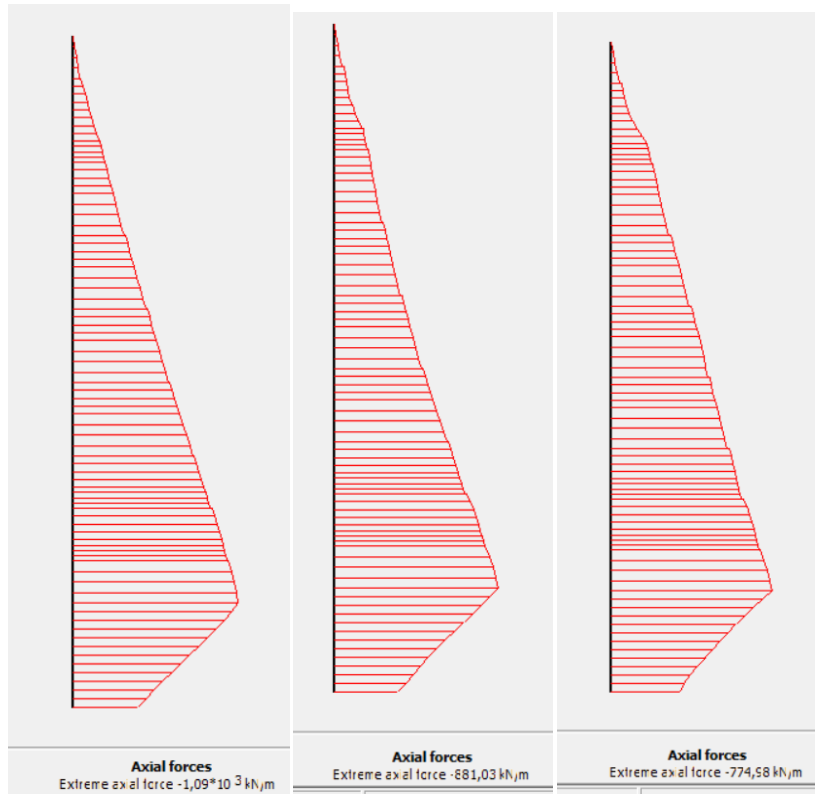




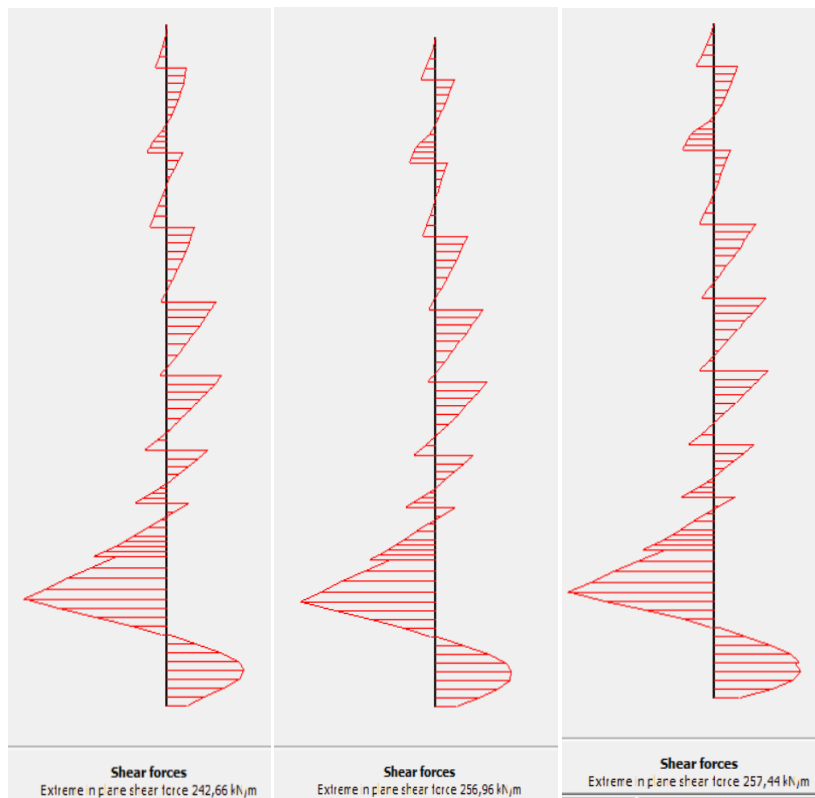
Εικόνα 77: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις συναρτήσει της στάθμης του υπόγειου νερού.



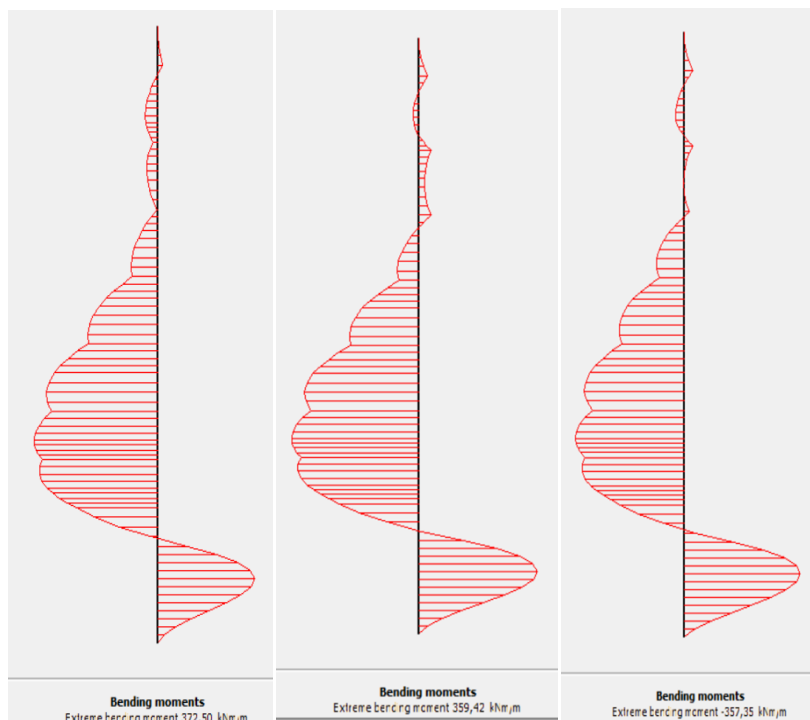
Εικόνα 78: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της στάθμης του υπόγειου νερού.



**Εικόνα 79:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης**



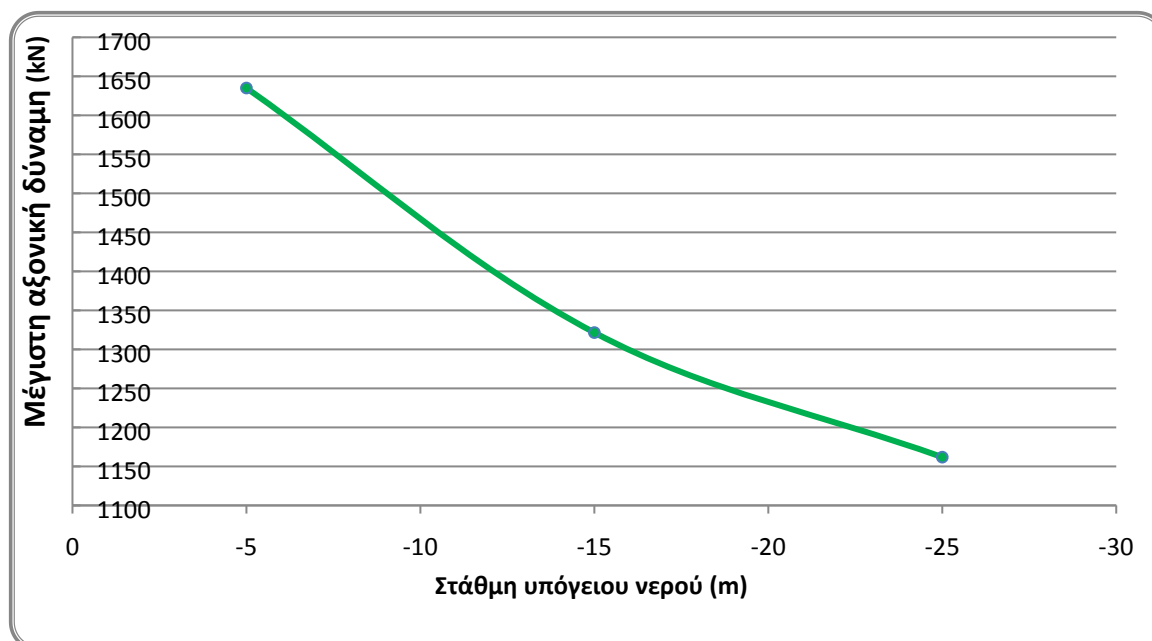
**Εικόνα 80:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης**



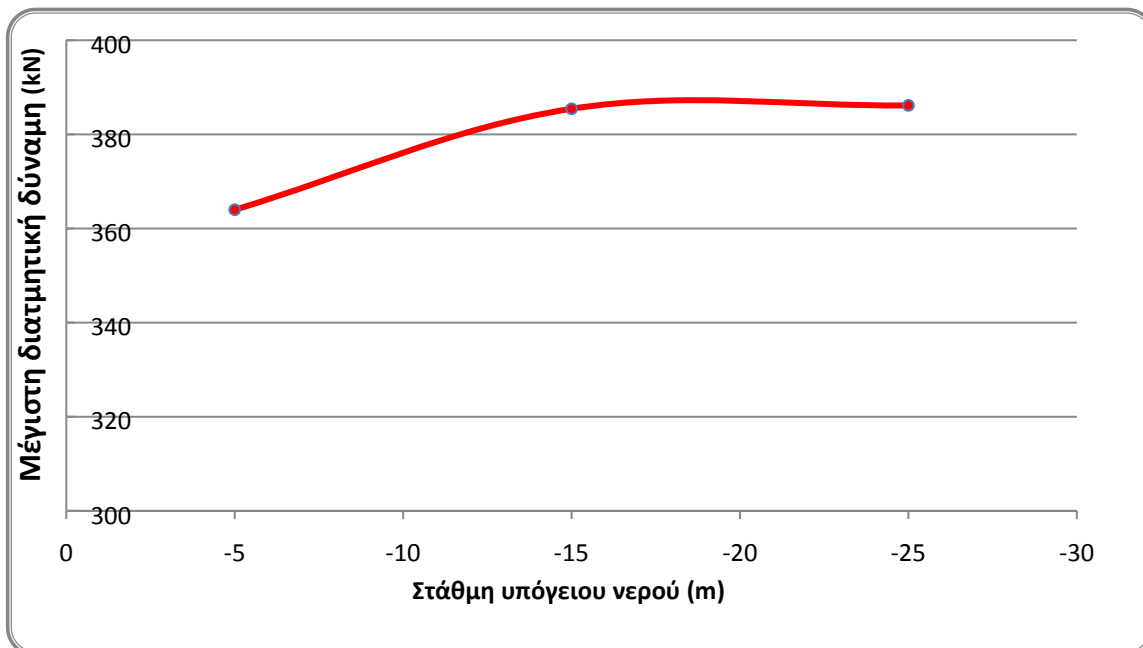
Εικόνα 81: Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης

Πίνακας 21: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.

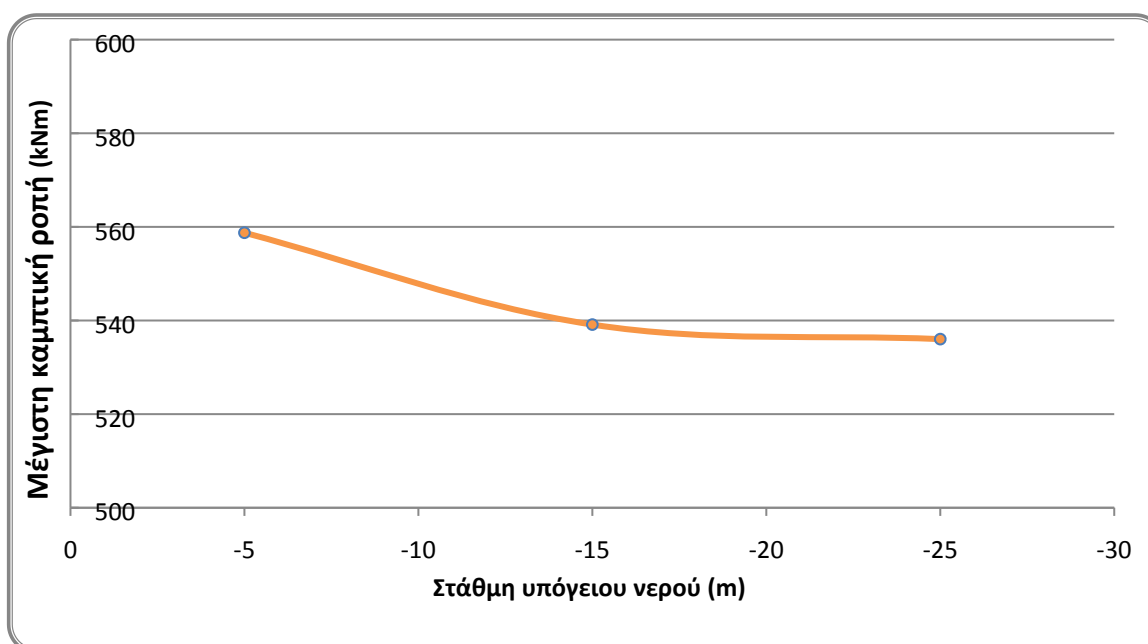
ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (kN/m)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (kN/m)	ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (kNm/m)
Σ.Υ.Ο.: -5 m	-1,09 10 <sup>3</sup>	242,66	372,5
Σ.Υ.Ο.: -15 m	-881,03	256,96	359,42
Σ.Υ.Ο.: -25 m	-774,58	257,44	357,35



Εικόνα 82: Μέγιστη αξονική δύναμη επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσει της στάθμης του υπόγειου νερού.



Εικόνα 83: Μέγιστη διατμητική δύναμη επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσει της στάθμης του υπόγειου νερού.

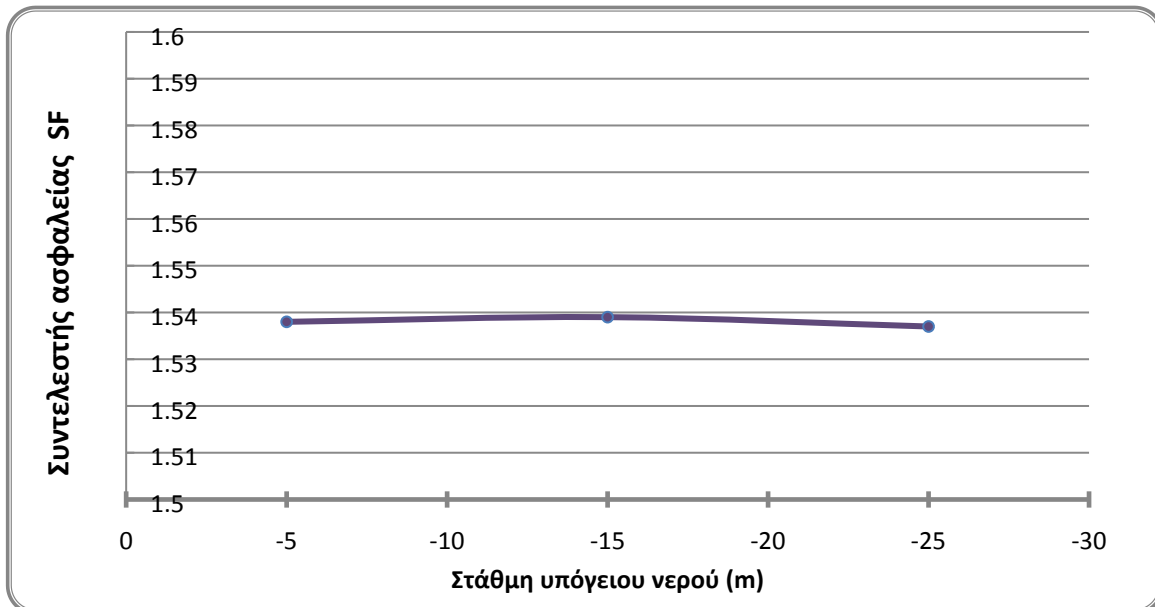


Εικόνα 84: Μέγιστη καμπτική ροπή επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσει της στάθμης του υπόγειου νερού.

Παρακάτω ακολουθούν συγκεντρωτικά οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας για κάθε ανάλυση της πρώτης παραμετρικής σειράς.

Πίνακας 22: Τιμές συντελεστή ασφαλείας.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
Σ.Υ.Ο.: -5 m	1,538
Σ.Υ.Ο.: -15 m	1,539
Σ.Υ.Ο.: -25 m	1,537



Εικόνα 85: Τιμές του συντελεστή ασφαλείας συναρτήσει της στάθμης του υπόγειου νερού

#### 4.2.3. Παραμετρική ανάλυση για την απόσταση μεταξύ των πασσάλων- Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 8 σειρές αγκυριών

Στην τρίτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων μεταβλήθηκε η απόσταση μεταξύ των πασσάλων και εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο επιδρά αυτή στις συνολικές μετακινήσεις. Για τον σκοπό αυτό ελέγχθηκαν τρεις υποπεριπτώσεις με απόσταση μεταξύ των πασσάλων:

- 1,5m

##### Δυστένεια

$$\Sigma EA = [30 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{1^2}{4} + 25 \cdot 10^6 \cdot 0,10 \cdot (1,5-1)]/1,5 = 16,54 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

##### Δυσκαμψία

$$\Sigma EI = [30 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{1^4}{64} + 25 \cdot 10^6 \cdot 0,1^3 \cdot (1,5-1)/12]/1,5 = 9,836 \cdot 10^5 \text{ kNm}$$

Το πάχος του φορέα d υπολογίζεται αυτόματα με την εισαγωγή των EA και EI.

Το βάρος (w) των στοιχείων υπολογίζεται από τον τύπο  $w = \gamma d$ , όπου  $\gamma = 24 \text{ kNm}^3$  και  $d = 0,834 \text{ m}$ , άρα:  $w = \gamma d = 24 \cdot 0,834 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 20,016 \text{ kNm/m/m}$ .

Ενώ η τιμή του δείκτη Poisson λαβάνεται ίση με 0,15.

- 2m

##### Δυστένεια

$$\Sigma EA = [30 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{1^2}{4} + 25 \cdot 10^6 \cdot 0,10 \cdot (2-1)]/2 = 13,03 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

### Δυσκαμψία

$$\Sigma EI = [30 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{1^4}{64} + 25 \cdot 10^6 \cdot 0,1^3 \cdot (2-1)/12]/2 = 73,73 \cdot 10^4 \text{ kNm}$$

$$d = 0,824 \text{ m}, \text{ \acute{a}\rho\alpha: } w = \gamma d = 24 \cdot 0,824 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 19,776 \text{ kNm/m / m}.$$

- 2,5m

### Δυστένεια

$$\Sigma EA = [30 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{1^2}{4} + 25 \cdot 10^6 \cdot 0,10 \cdot (2,5-1)]/2,5 = 10,92 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

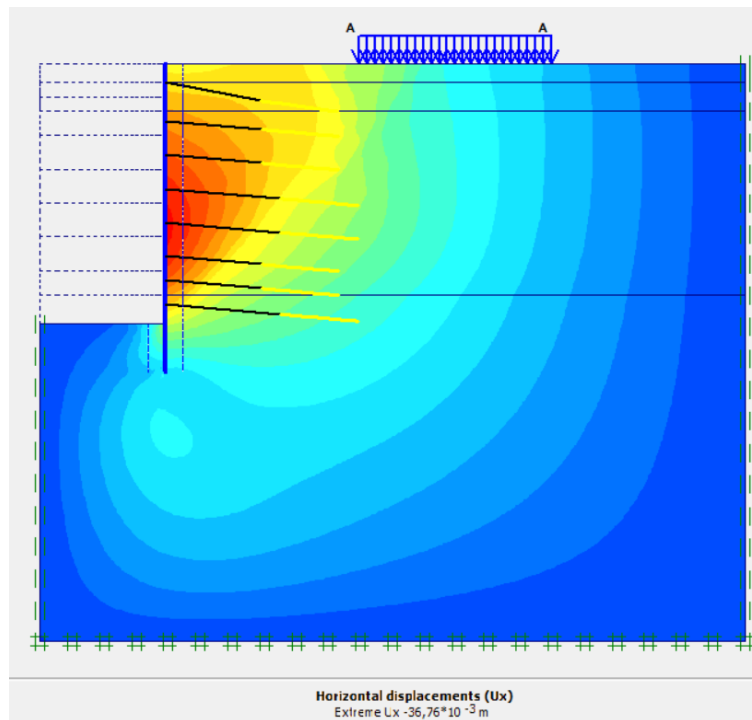
### Δυσκαμψία

$$\Sigma EI = [30 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{1^4}{64} + 25 \cdot 10^6 \cdot 0,1^3 \cdot (2,5-1)/12]/2,5 = 59,03 \cdot 10^4 \text{ kNm}$$

$$d = 0,805 \text{ m}, \text{ \acute{a}\rho\alpha: } w = \gamma d = 24 \cdot 0,805 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 19,320 \text{ kNm/m / m}.$$

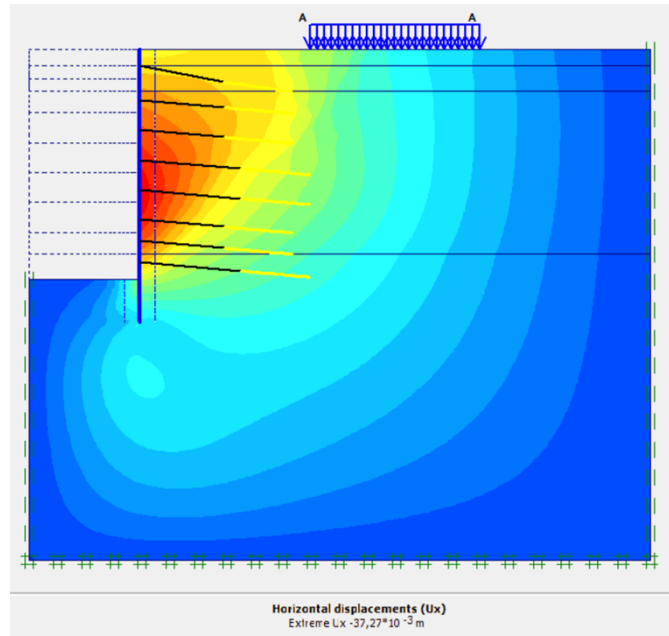
Properties	Properties	Properties
EA : 1,695E+07 kN/m	EA : 1,303E+07 kN/m	EA : 1,092E+07 kN/m
EI : 9,836E+05 kNm <sup>2</sup> /m	EI : 7,373E+05 kNm <sup>2</sup> /m	EI : 5,903E+05 kNm <sup>2</sup> /m
d : 0,834 m	d : 0,824 m	d : 0,805 m
w : 20,016 kN/m/m	w : 19,776 kN/m/m	w : 19,320 kN/m/m
v : 0,150	v : 0,150	v : 0,150
M <sub>p</sub> : 1,000E+15 kNm/m	M <sub>p</sub> : 1,000E+15 kNm/m	M <sub>p</sub> : 1,000E+15 kNm/m
N <sub>p</sub> : 1,000E+15 kN/m	N <sub>p</sub> : 1,000E+15 kN/m	N <sub>p</sub> : 1,000E+15 kN/m
Rayleigh α : 0,000	Rayleigh α : 0,000	Rayleigh α : 0,000
Rayleigh β : 0,000	Rayleigh β : 0,000	Rayleigh β : 0,000

Εικόνα 86: Παράμετροι διαφραγματικού τοίχου για κάθε περίπτωση απόστασης πασσάλων.

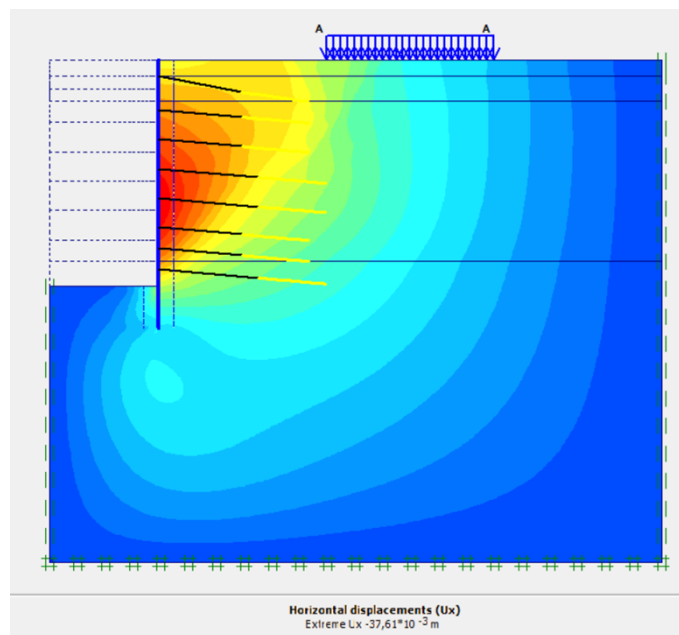


Εικόνα 87 Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 1,5m.

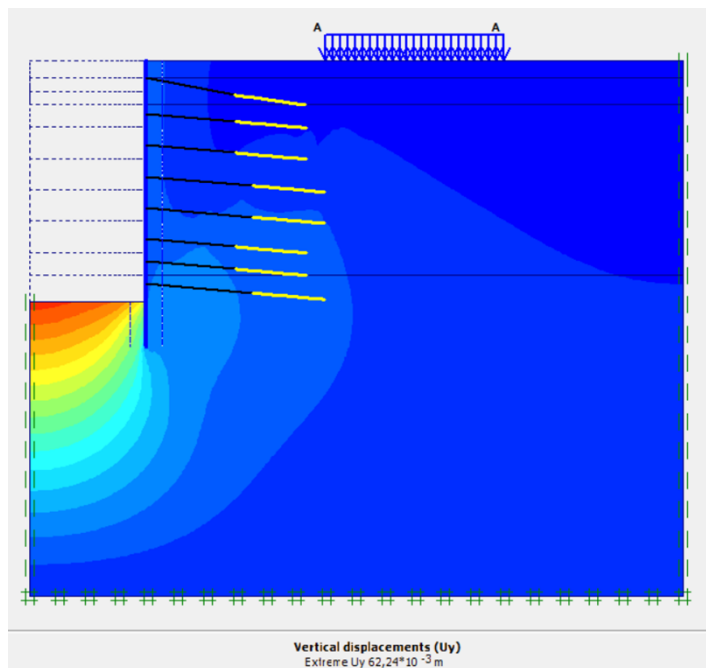
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση -3,67 cm.



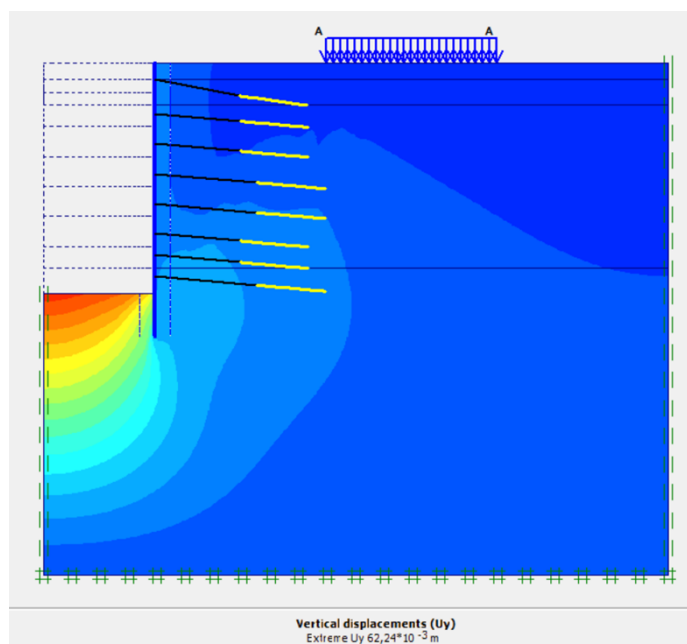
**Εικόνα 88: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 2m.  
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση -3,72cm.**



**Εικόνα 89: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 2,5m.  
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση -3,76cm.**

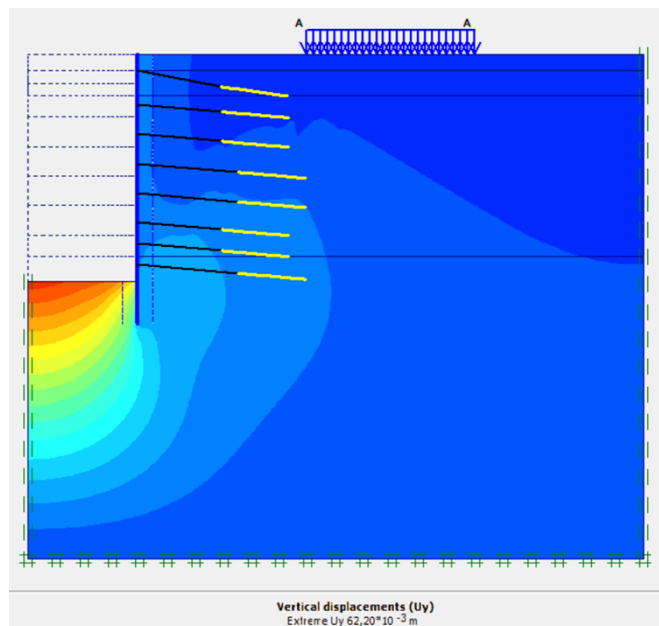


**Εικόνα 90** Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 1,5m.  
Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,22 cm.



**Εικόνα 91:** Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 2m.  
Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,22cm.





Εικόνα 92:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με απόσταση πασσάλων 2,5m. Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,22cm.

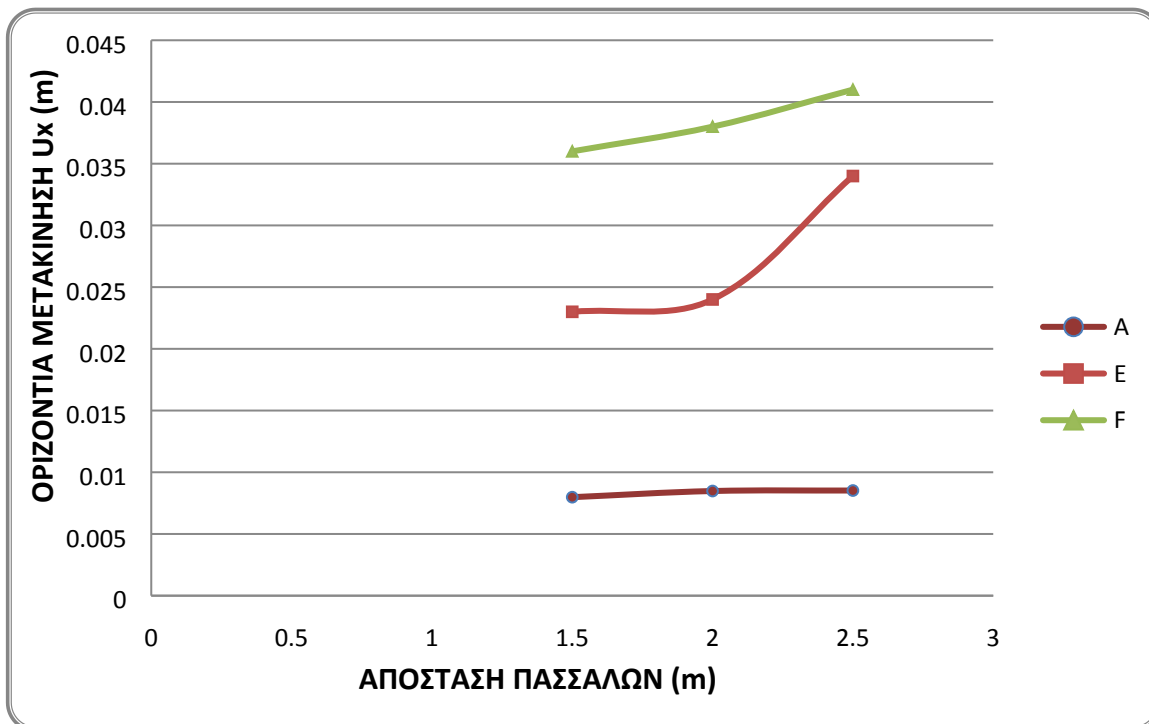
Πίνακας 23: Μέγιστες ριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)
1,5 m	3,67	6,22
2m	3,72	6,22
2,5 m	3,76	6,22

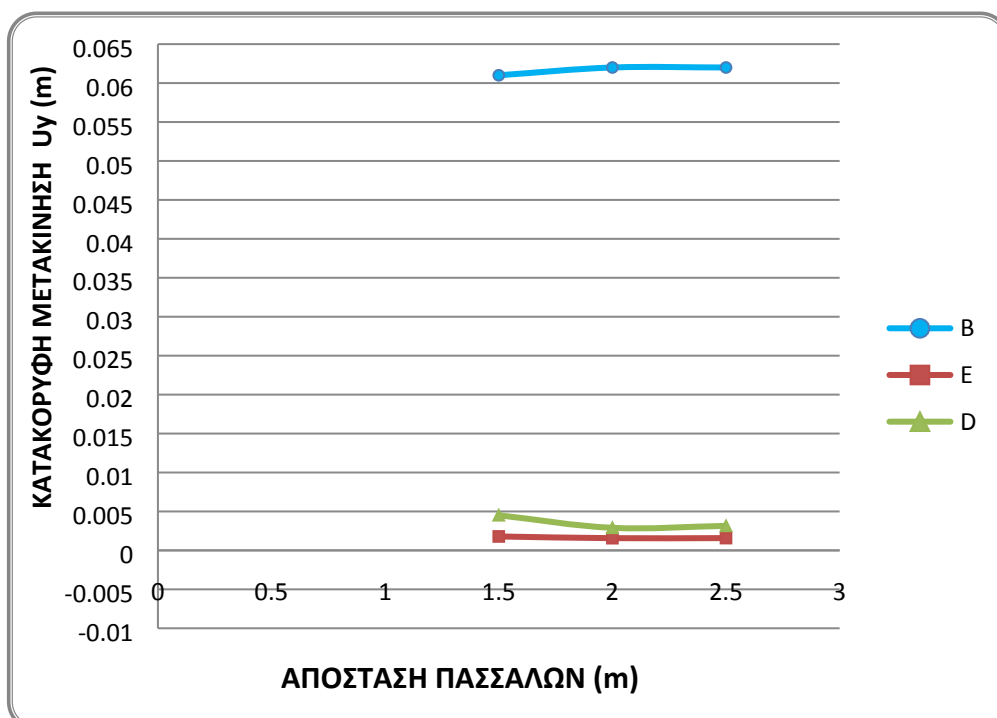
Όπως παρατηρείται, οι οριζόντιες μετακινήσεις έχουν μέγιστη τιμή 3,76cm και παρουσιάζονται, όπως είναι λογικό, όταν η απόσταση των πασσάλων είναι η μέγιστη από τις εξεταζόμενες. Ακόμα, οι κατακόρυφες μετακινήσεις δεν παρουσιάζουν διαφοροποίηση στην μέγιστη τιμή με την μεταβολή της απόστασης των πασσάλων. Ακολουθούν οι μετακινήσεις στα σημεία παρατήρησης.

Πίνακας 24: Απόλυτες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στα σημεία παρατήρησης.

Απόσταση πασσάλων (m)	Ux (m)			Uy (m)		
	A	E	F	B	E	D
1.5	0.00798	0.023	0.036	0.061	0.00179	0.00451
2	0.00848	0.024	0.038	0.062	0.00157	0.0029
2.5	0.00852	0.034	0.041	0.062	0.00158	0.00315

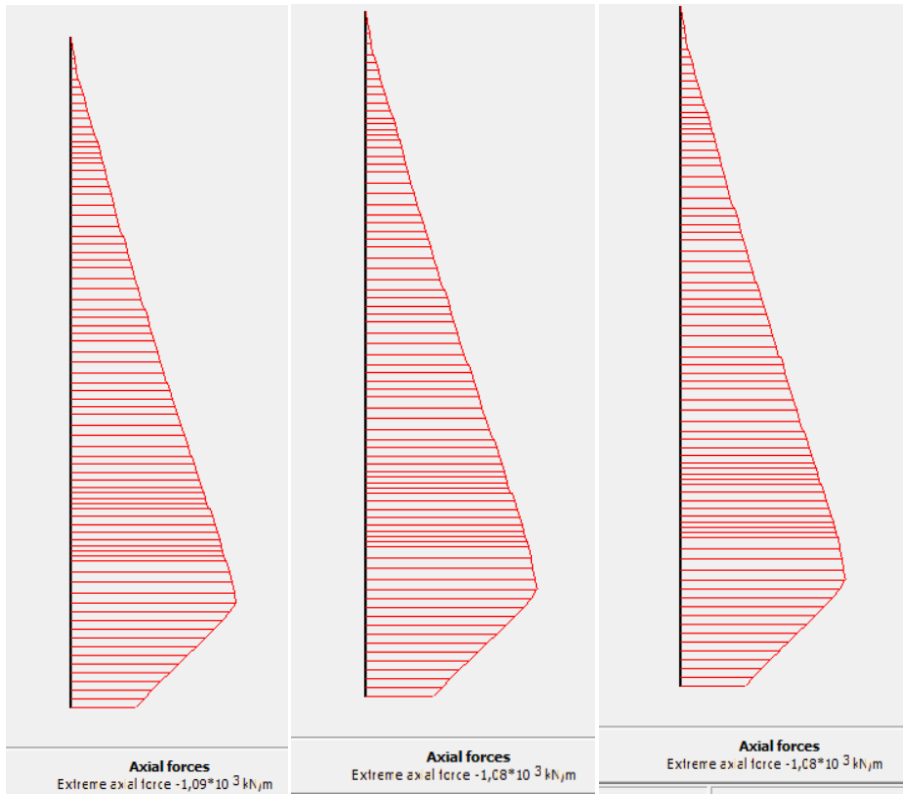


Εικόνα 93: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης πασσάλων.

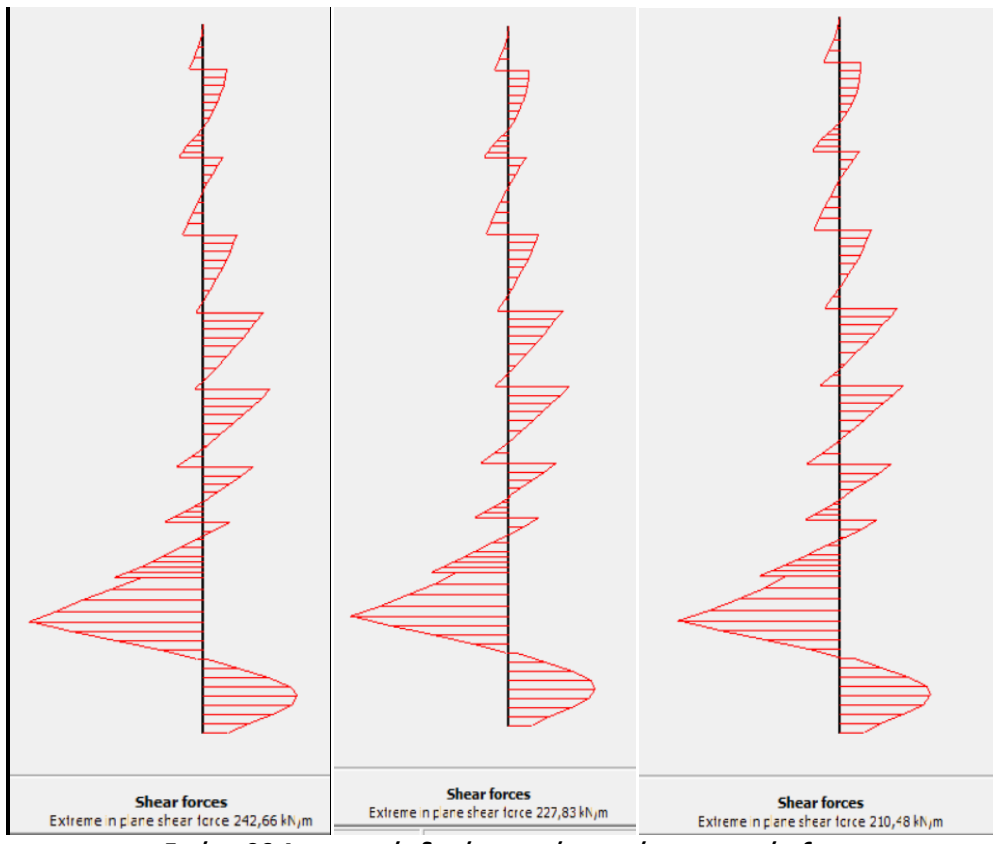


Εικόνα 94: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης πασσάλων.

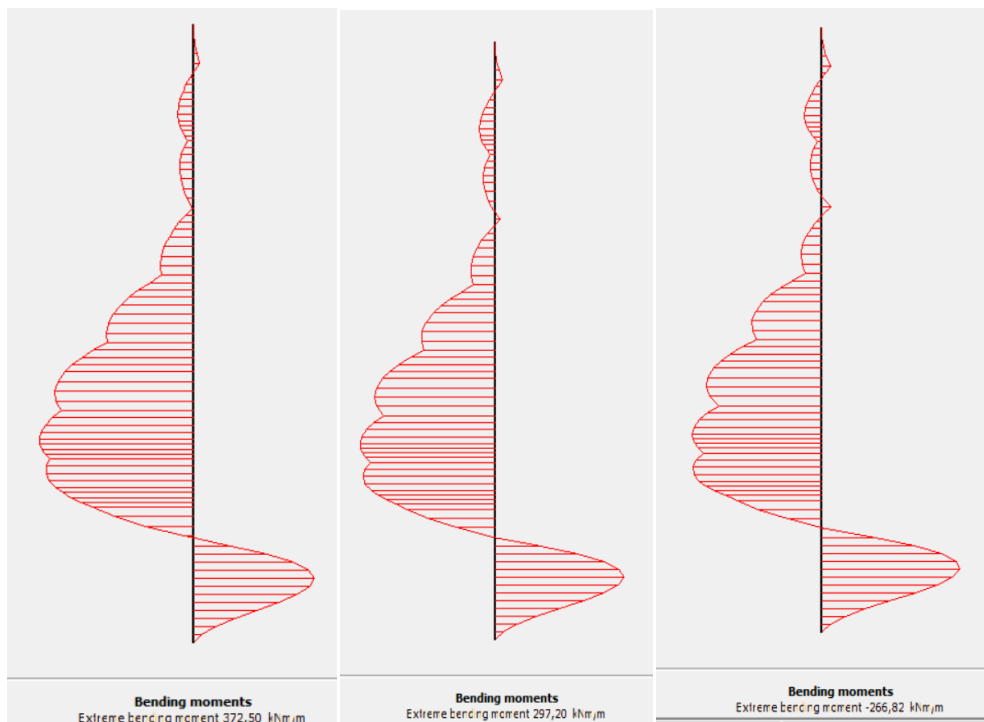
Στις εικόνες που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα διαγράμματα των εντατικών μεγεθών επί του τοίχου αντιστήριξης.



Εικόνα 95: Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης



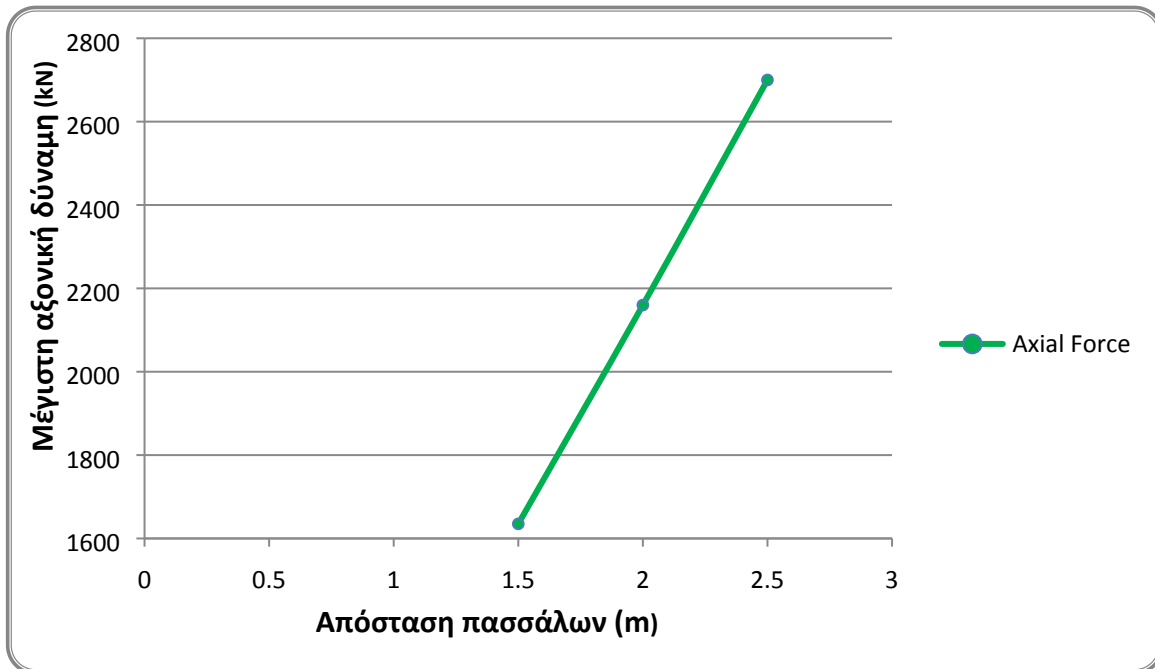
Εικόνα 96: Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης



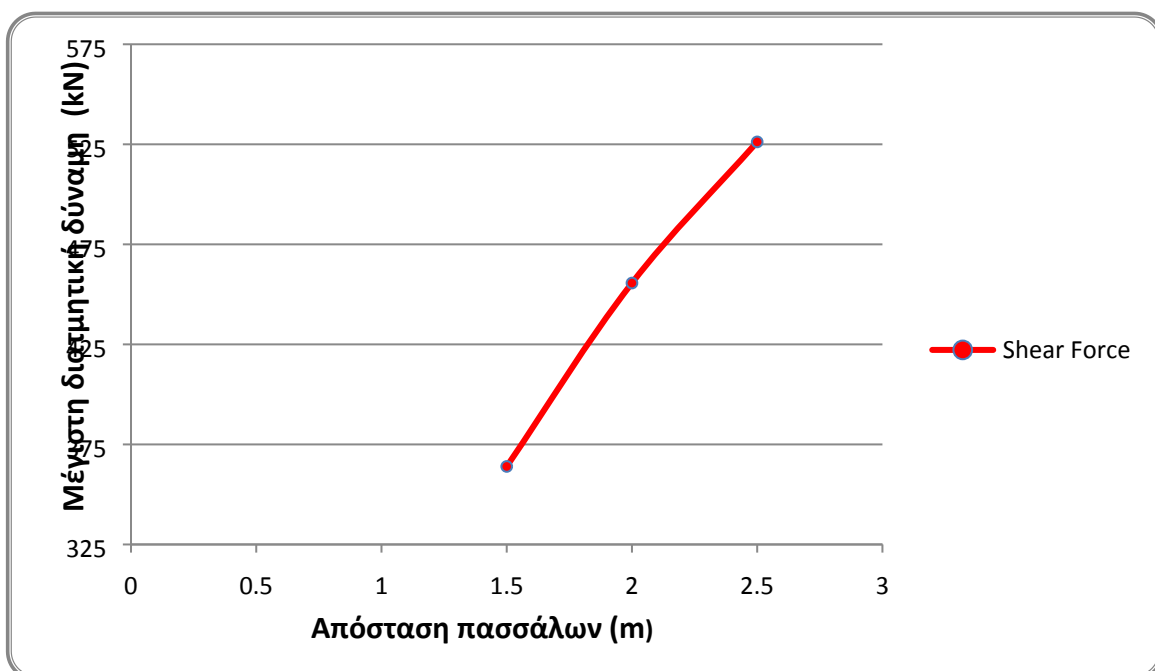
**Εικόνα 97:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης**

**Πίνακας 25: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.**

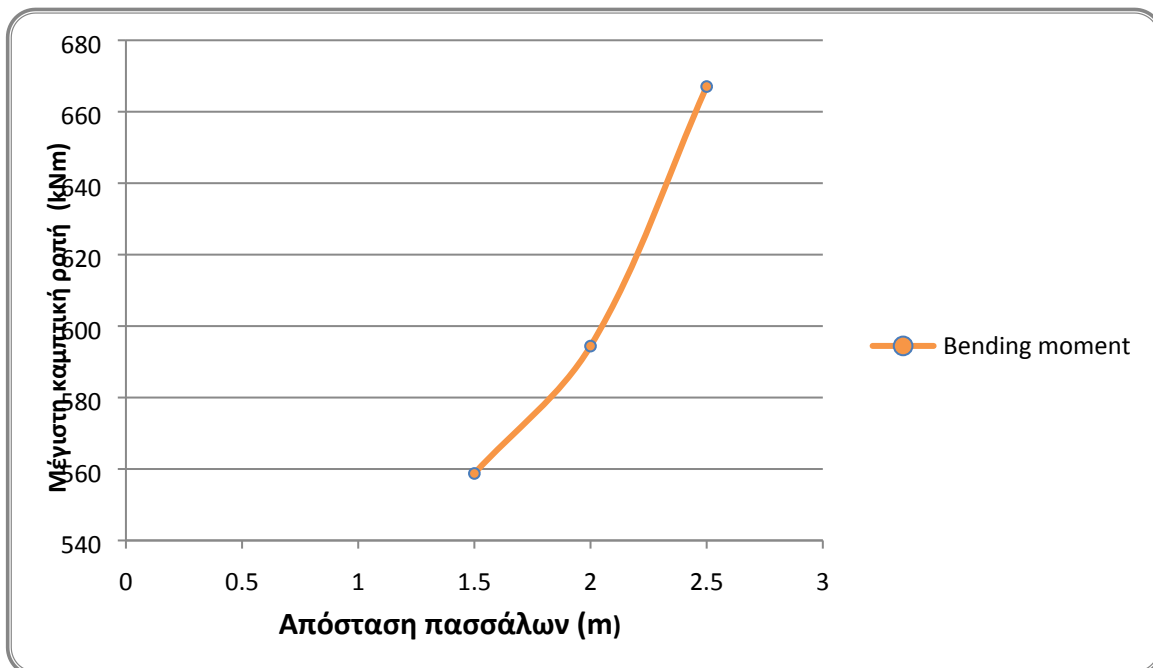
ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (KNm/m)
1,5 m	-1,09 10 <sup>3</sup>	242,66	372,50
2m	-1,08 10 <sup>3</sup>	227,83	297,20
2,5 m	-1,08 10 <sup>3</sup>	210,48	266,82



Εικόνα 98: Μέγιστη αξονική δύναμη επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσει της απόστασης πασσάλων.



Εικόνα 99: Μέγιστη διατμητική δύναμη επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσει της απόστασης πασσάλων.

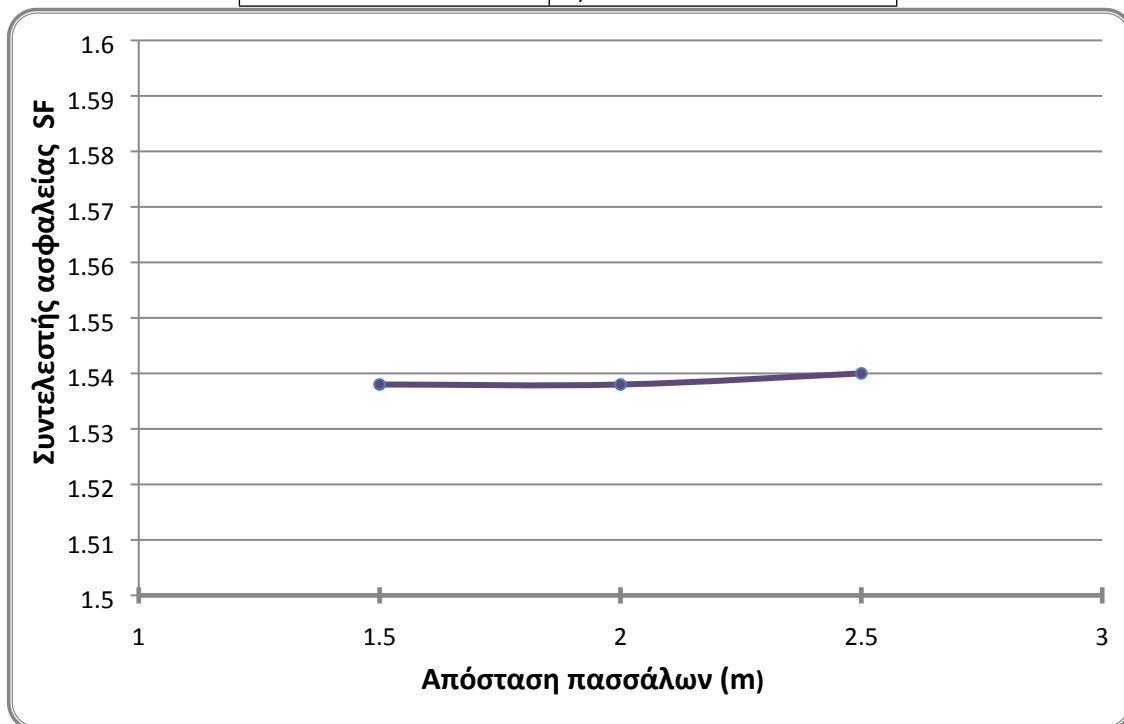


Εικόνα 100: Μέγιστη καμπτική ροπή επί του διαφραγματικού τοίχου συναρτήσει της απόστασης πασσάλων.

Παρακάτω ακολουθούν συγκεντρωτικά οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας για κάθε ανάλυση της πρώτης παραμετρικής σειράς.

Πίνακας 26: Τιμές συντελεστή ασφαλείας.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
1,5 m	1,538
2m	1,538
2,5 m	1,540



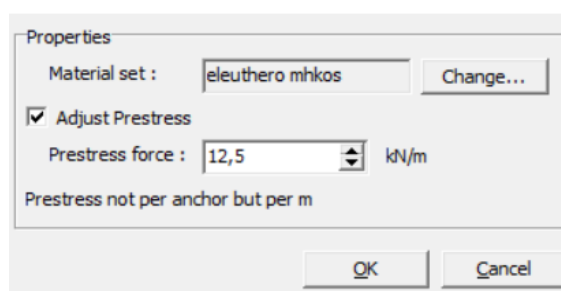
Εικόνα 101: Τιμή του συντελεστή ασφαλείας συναρτήσει της απόστασης πασσάλων.

#### 4.2.4. Παραμετρική ανάλυση για δύναμη προέντασης – Τρόπος αντιστήριξης εκκαφής: 8 σειρές αγκυριών

Στην τέταρτη σειρά αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή της αλλαγής των μηχανικών χαρακτηριστικών των αγκυριών στις συνολικές μετακινήσεις. Με αυτό τον σκοπό πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σειρές αναλύσεων με διαφορετική δύναμη προέντασης:

- Ανάλυση με δύναμη προέντασης  $F=100$  KN

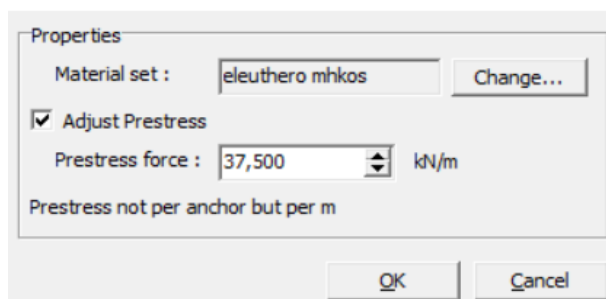
Στο πρόγραμμα Πλακίσεισάγεται η τιμή ανά μέτρο. Επομένως  $100/8=12,5$  KN/m, όπου 8m ο βολβός πάκτωσης των αγκυριών.



Εικόνα 102:Εισαγωγή στο Πλακίτης δύναμης προέντασης σε KN/m για την ανάλυση με  $F=100$ KN

- Ανάλυση με δύναμη προέντασης  $F=300$  KN

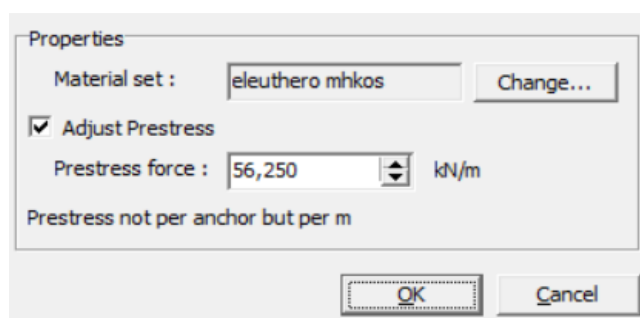
Η δύναμη προέντασης ανά μέτρο για αυτήν την ανάλυση λαμβάνεται ίση με  $300/8=37,5$  KN/m, όπου 8m ο βολβός πάκτωσης των αγκυριών.



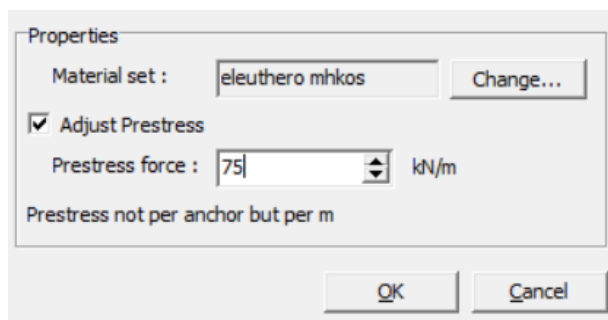
Εικόνα 103:Εισαγωγή στο Πλακίτης δύναμης προέντασης σε KN/m για την ανάλυση με  $F=300$ KN

- Ανάλυση με δύναμη προέντασης  $F=450$  KN

Η δύναμη προέντασης ανά μέτρο για αυτήν την ανάλυση λαμβάνεται ίση με  $450/8=56,25$  KN/m, όπου 8m ο βολβός πάκτωσης των αγκυριών.

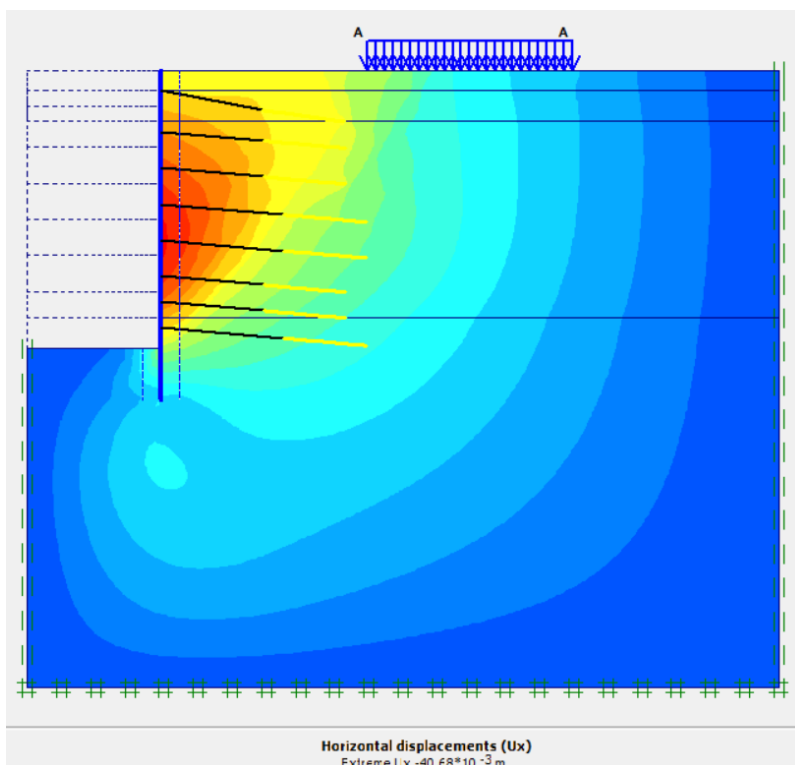


- Εικόνα 104:Εισαγωγή στο Πλακίτης δύναμης προέντασης σε KN/m για την ανάλυση με F=450KN
- Ανάλυση με δύναμη προέντασης F=600 KN



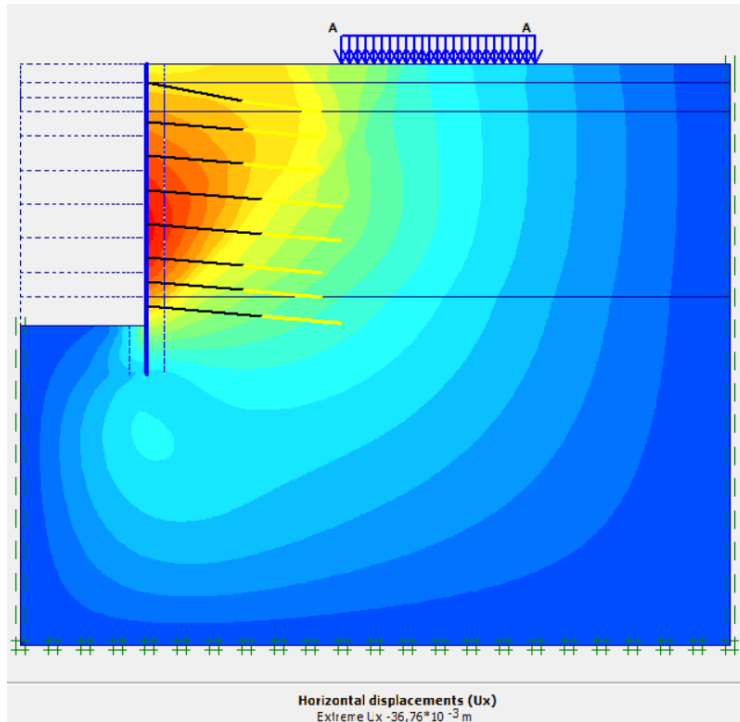
Εικόνα 105:Εισαγωγή στο Πλακίτης δύναμης προέντασης σε KN/m για την ανάλυση με F=600KN

Η δύναμη προέντασης ανά μέτρο για αυτήν την ανάλυση λαμβάνεται ίση με  $600/8=75$  KN/m, όπου 8m ο βολβός πάκτωσης των αγκυριών.

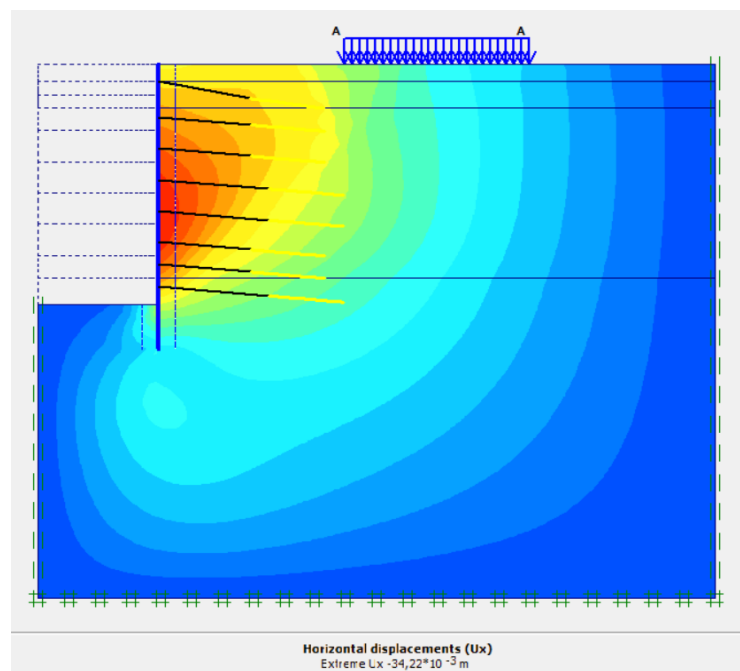


Εικόνα 106 Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης F=100 KN.  
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 4,06 cm.

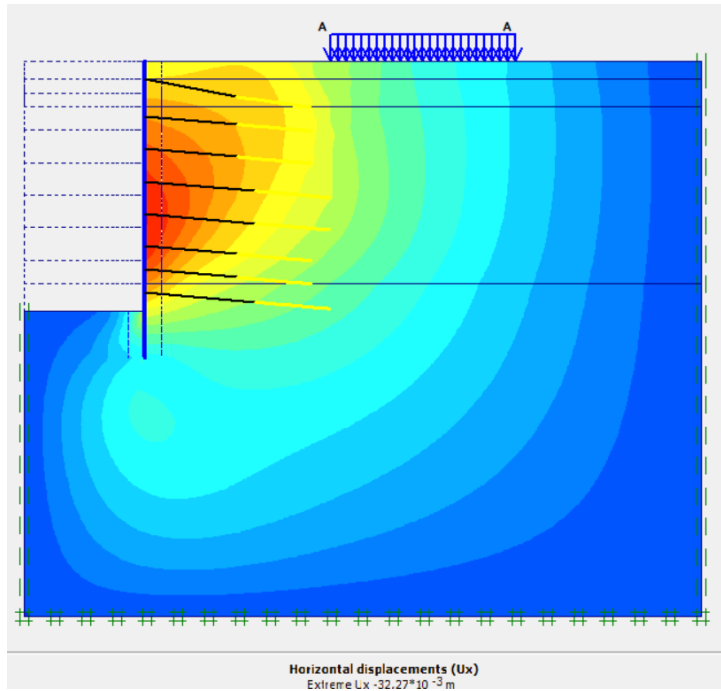




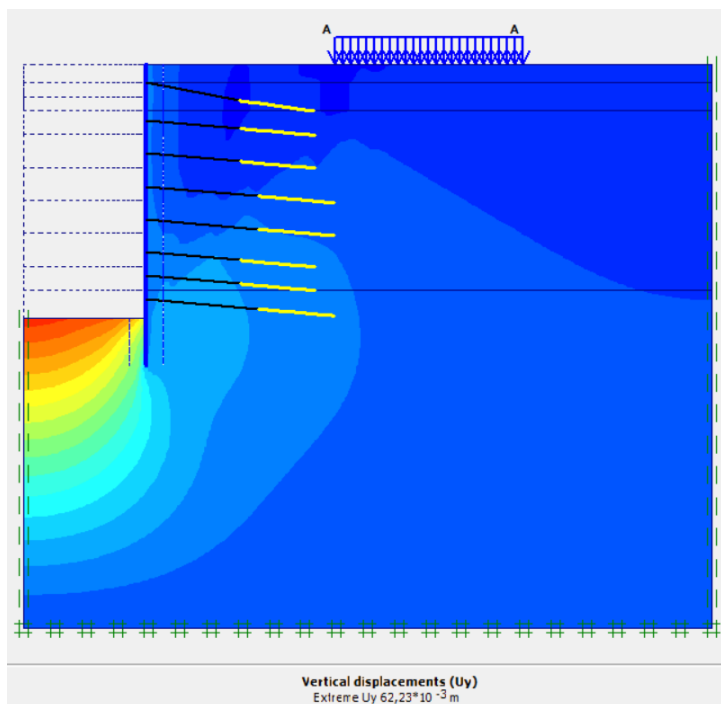
Εικόνα 107: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέκτασης F=300 KN.  
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 3,67cm.



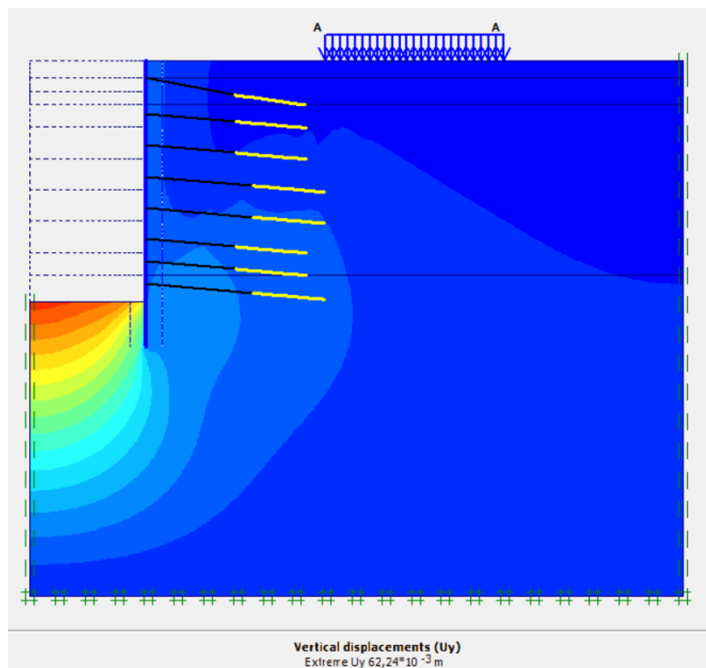
Εικόνα 108: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέκτασης F=450 KN.  
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 3,42cm.



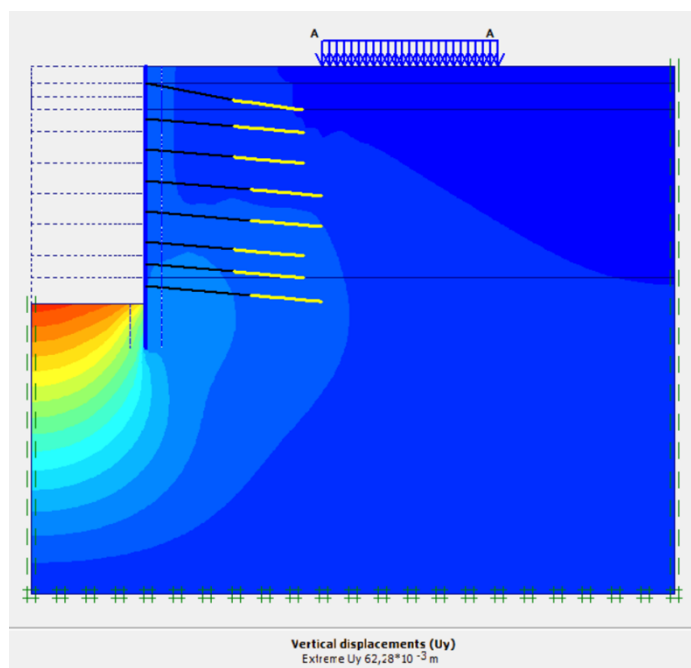
Εικόνα 109: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέκτασης  $F=600$  kN. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 3,22cm.



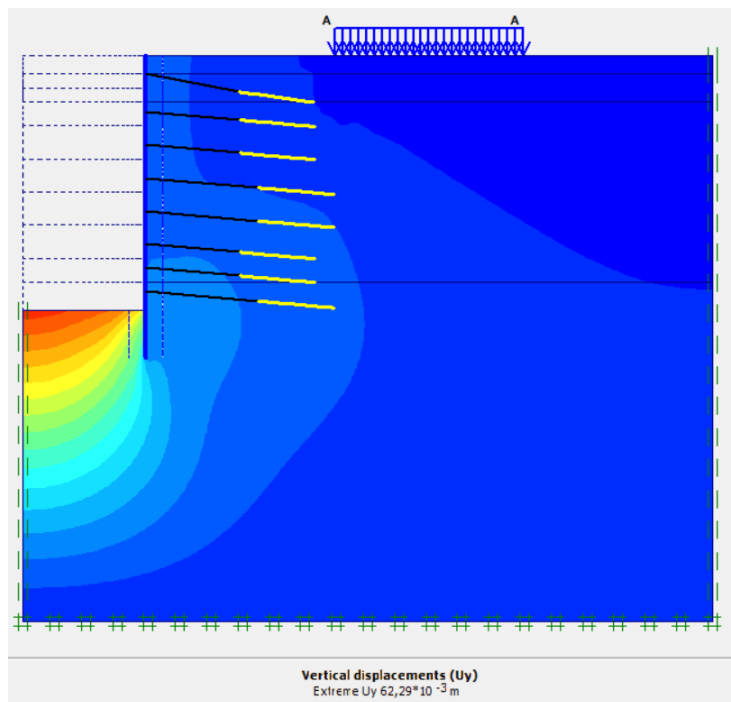
Εικόνα 110: Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέκτασης  $F=100$  kN. Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,22 cm.



**Εικόνα 111:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης F=300 KN.  
Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,22cm.**



**Εικόνα 112:Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με δύναμη προέντασης F=450 KN.  
Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,21cm.**



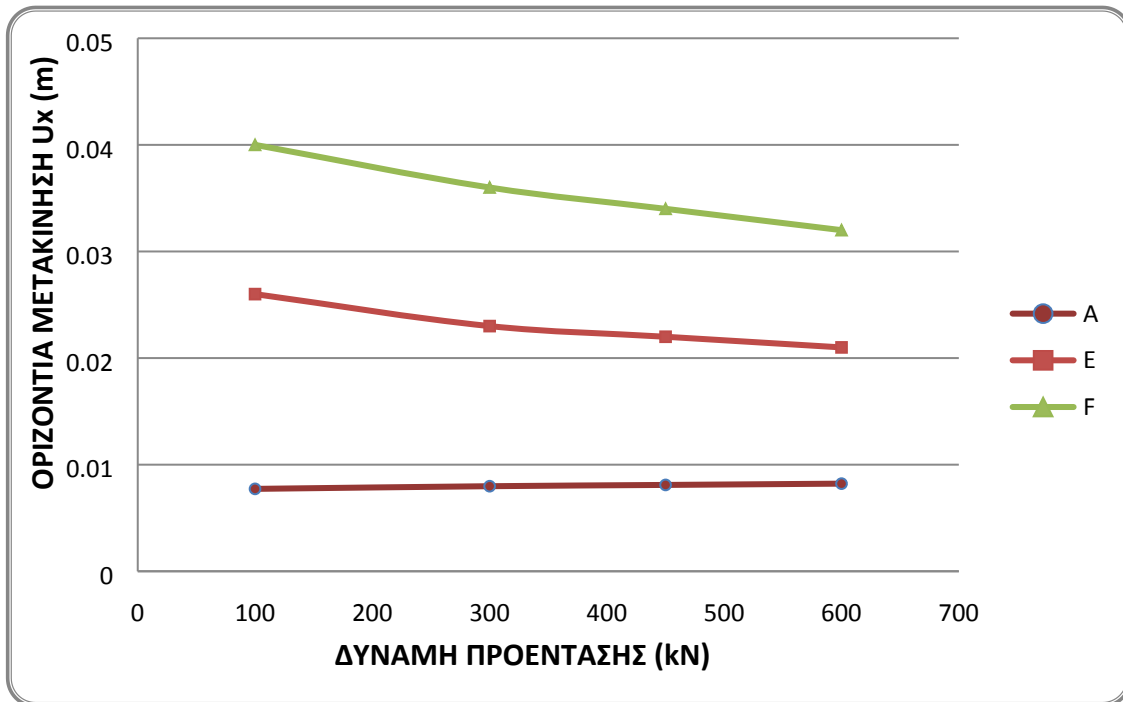
Εικόνα 113: Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση δύναμη προέντασης  $F=600 \text{ KN}$ . Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση  $6,22 \text{ cm}$ .

Πίνακας 27: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις.

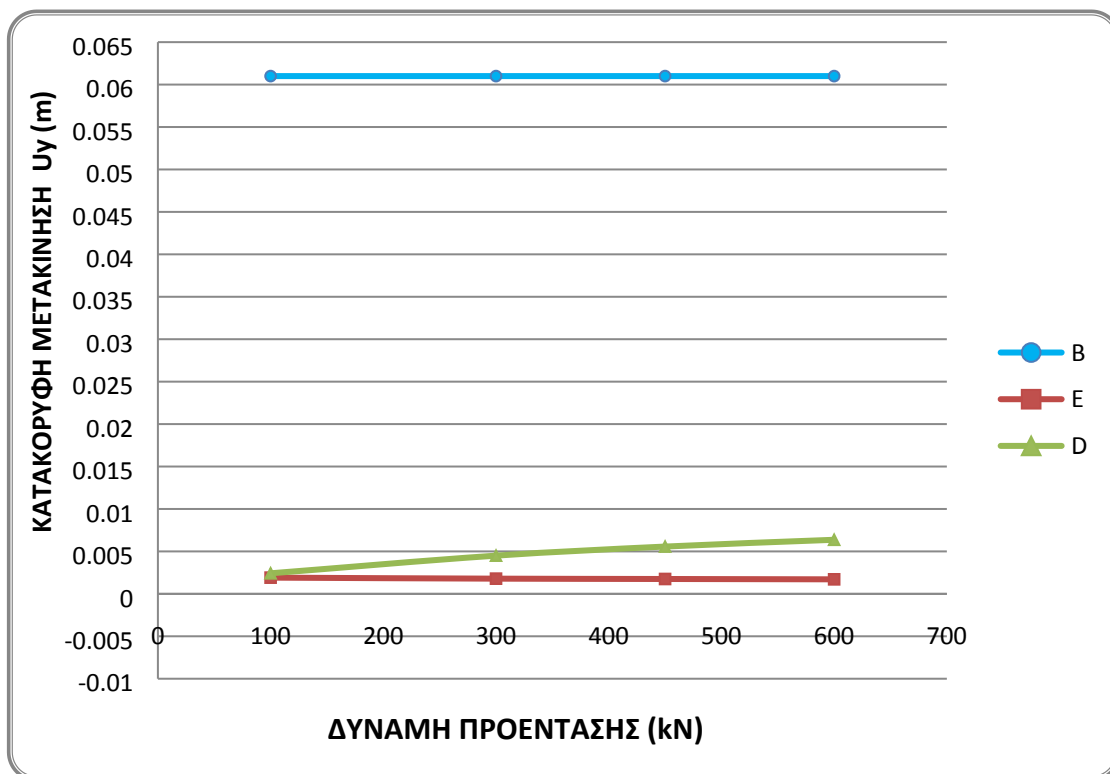
ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)
F=100 KN	4,06	6,22
F=300 KN	3,67	6,22
F=450 KN	3,42	6,21
F=600 KN	3,22	6,22

Πίνακας 28: Απόλυτες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στα σημεία παρατήρησης.

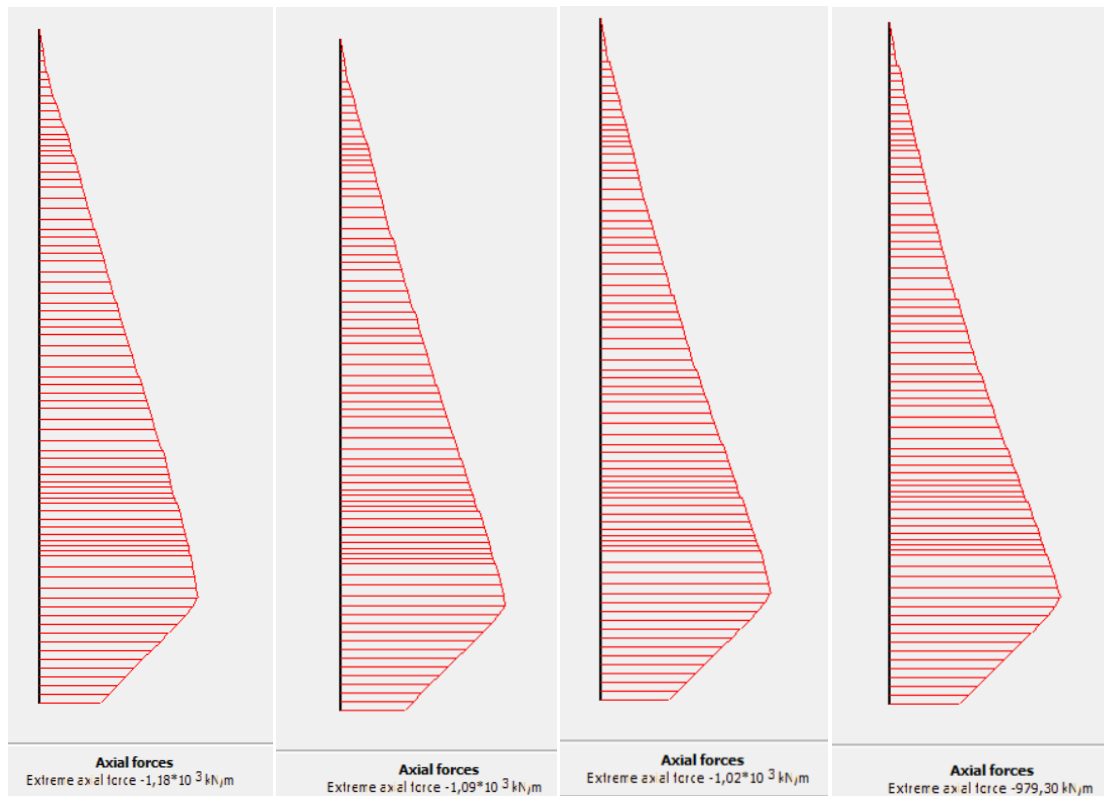
Δύναμη Προέντασης (KN)	Ux (m)			Uy (m)		
	A	E	F	B	E	D
100	0.00773	0.026	0.04	0.061	0.00191	0.00242
300	0.00798	0.023	0.036	0.061	0.00179	0.0045
450	0.0081	0.022	0.034	0.061	0.00175	0.00557
600	0.00822	0.021	0.032	0.061	0.00171	0.00637



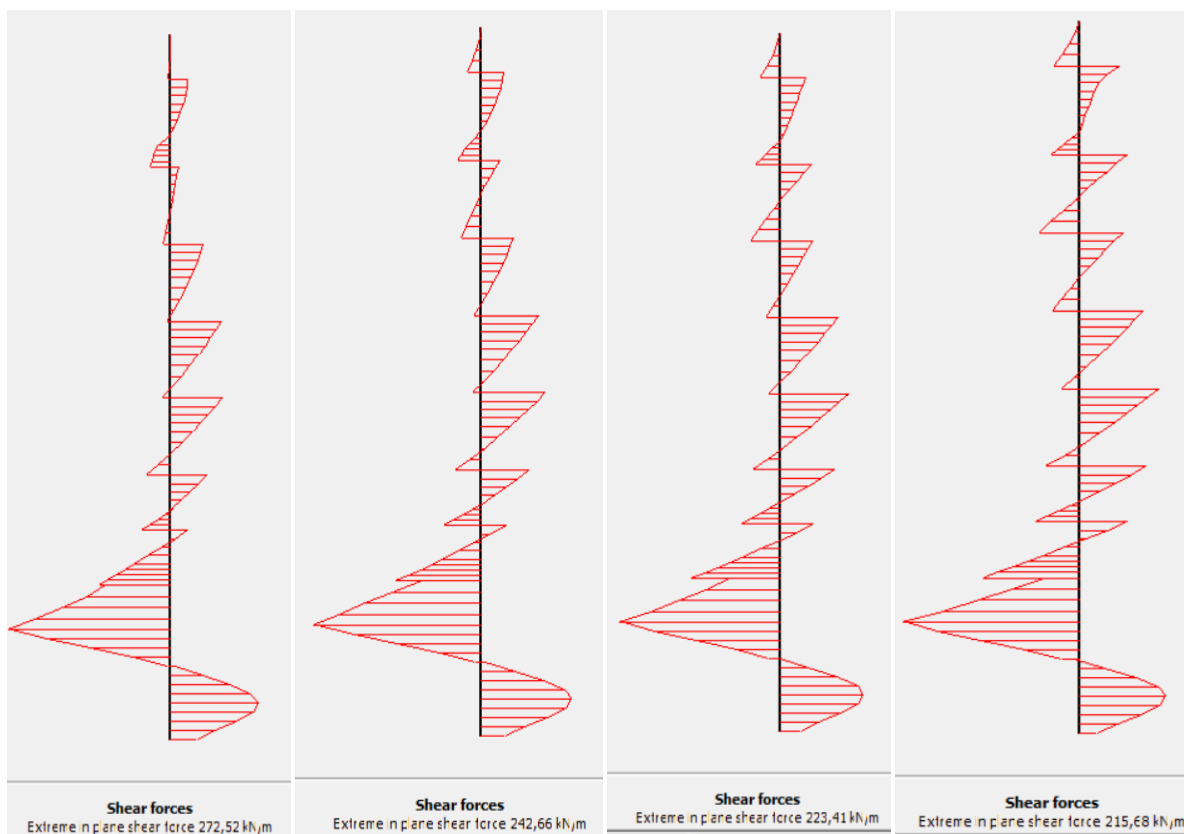
Εικόνα 114: Οριζόντια μετατόπιση συναρτήσει της δύναμης προέντασης των αγκυρίων.



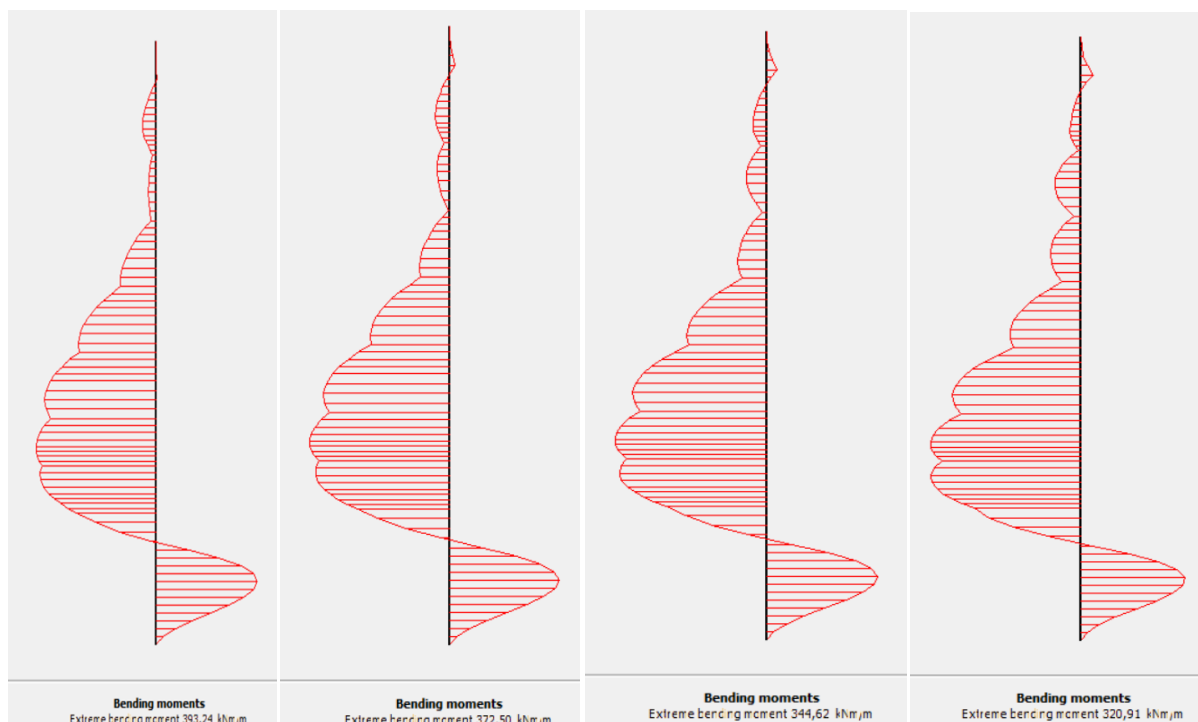
Εικόνα 115: Κατακόρυφη μετατόπιση συναρτήσει της δύναμης προέντασης των αγκυρίων



Εικόνα 116: Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης



Εικόνα 117: Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης

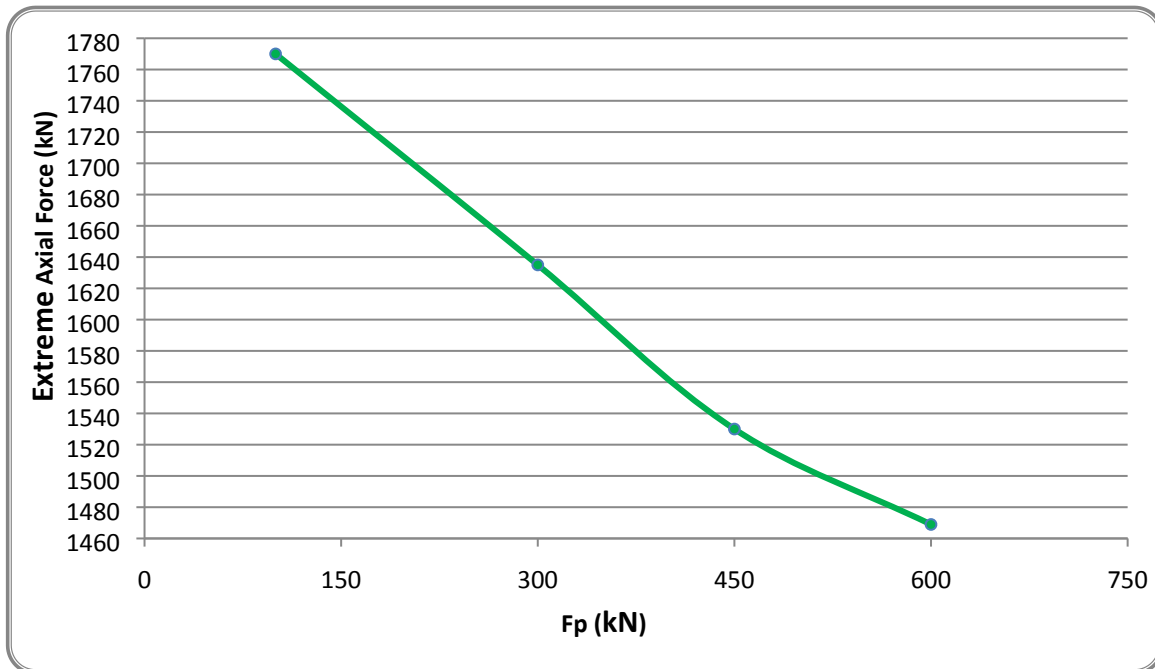


Εικόνα 118:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης

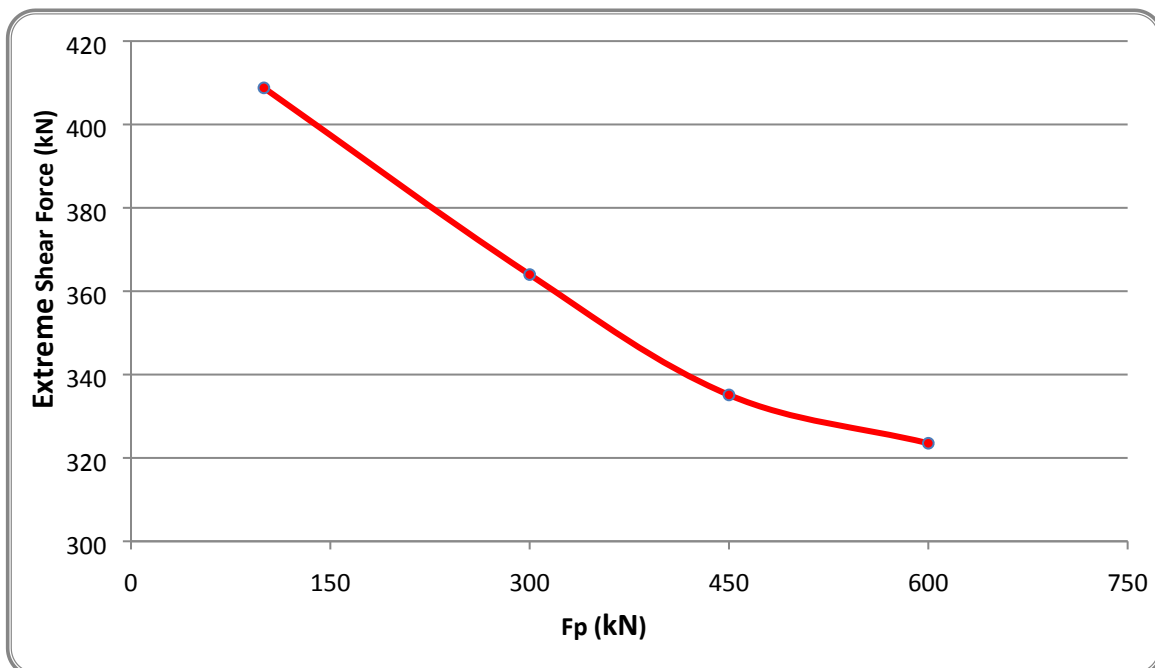
Πίνακας 29: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (KNm/m)
F=100 KN	-1,18 10 <sup>3</sup>	272,52	393,24
F=300 KN	-1,09 10 <sup>3</sup>	242,66	372,50
F=450 KN	-1,02 10 <sup>3</sup>	223,41	344,62
F=600 KN	-979,30	215,68	320,91

Οι παραπάνω τιμές πολλαπλασιάζονται με την απόσταση των πασσάλων, στη συγκεκριμένη σειρά αναλύσεων δηλαδή πολλαπλασιάζονται με το 1,5 m. Επομένως προκύπτουν τα ακόλουθα συγκεντρωτικά διαγράμματα που αφορούν την μεταβολή των αξονικών δυνάμεων, των διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών που ασκούνται στον διαφραγματικό τοίχο αντίστοιχα ,σε συνάρτηση με την δύναμη προέκτασης των αγκυρίων.

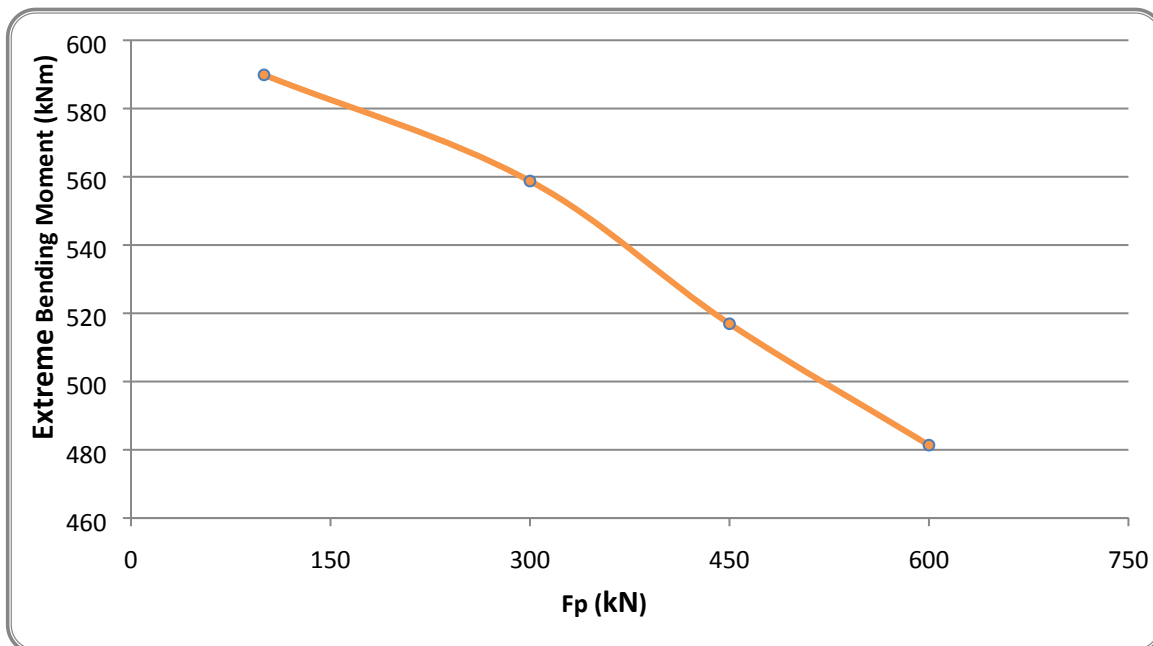


Εικόνα 119: Μέγιστες αξονικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης των αγκυρίων.



Εικόνα 120: Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης των αγκυρίων.



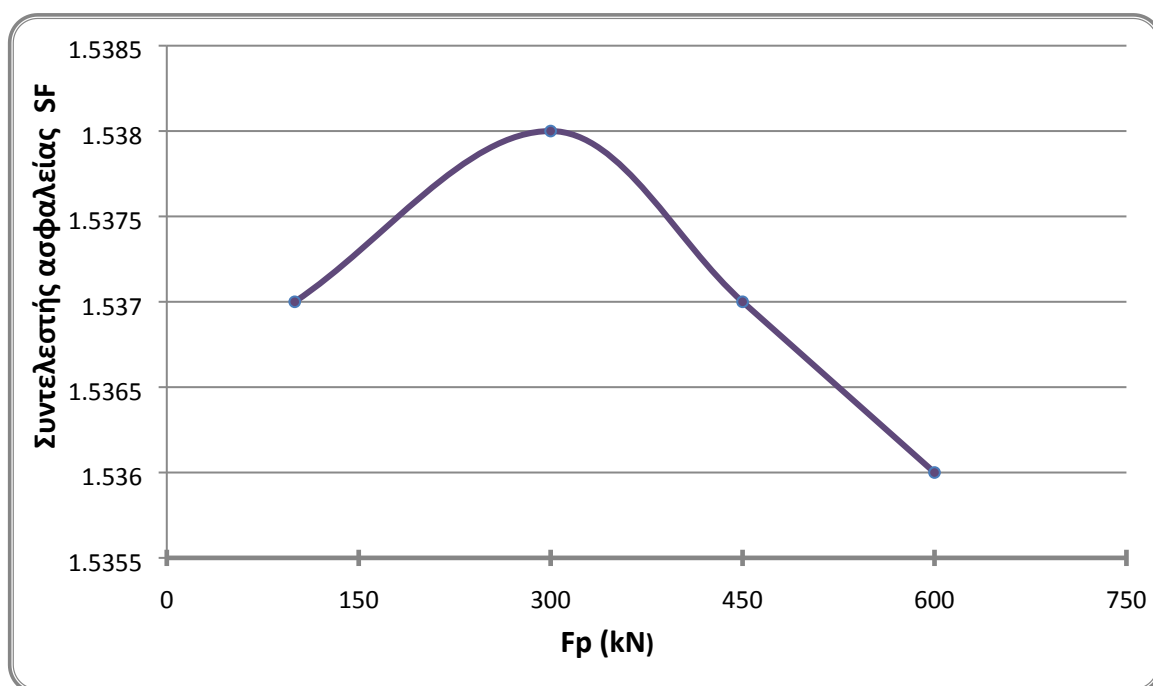


Εικόνα 121: Μέγιστες καμπτικές ροπές επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης των αγκυριών.

Παρακάτω ακολουθούν συγκεντρωτικά οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας για κάθε ανάλυση της πρώτης παραμετρικής σειράς.

Πίνακας 30: Τιμές συντελεστή ασφαλείας

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
F=100 KN	1,537
F=300 KN	1,538
F=450 KN	1,537
F=600 KN	1,536

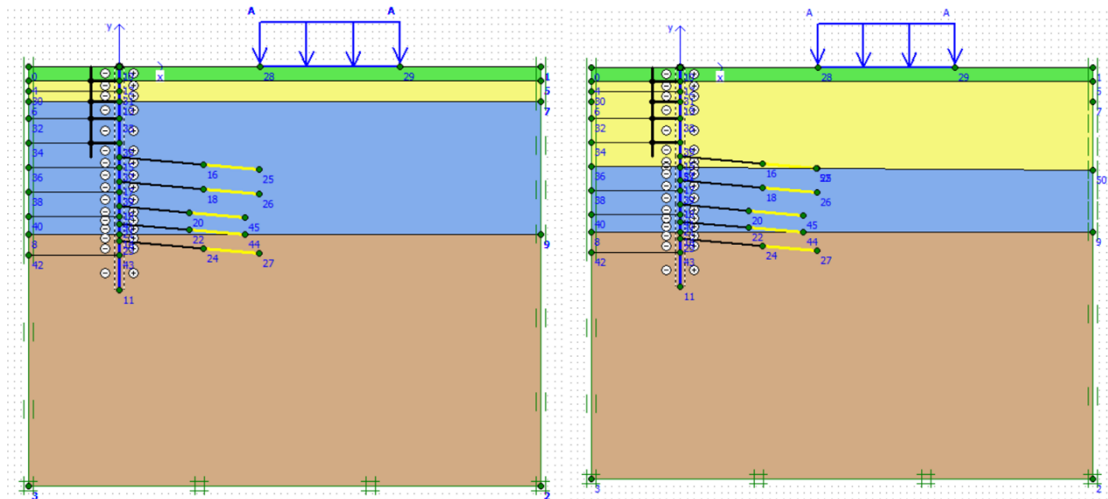


Εικόνα 122: Τιμές συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τη δύναμη προέντασης των αγκυριών

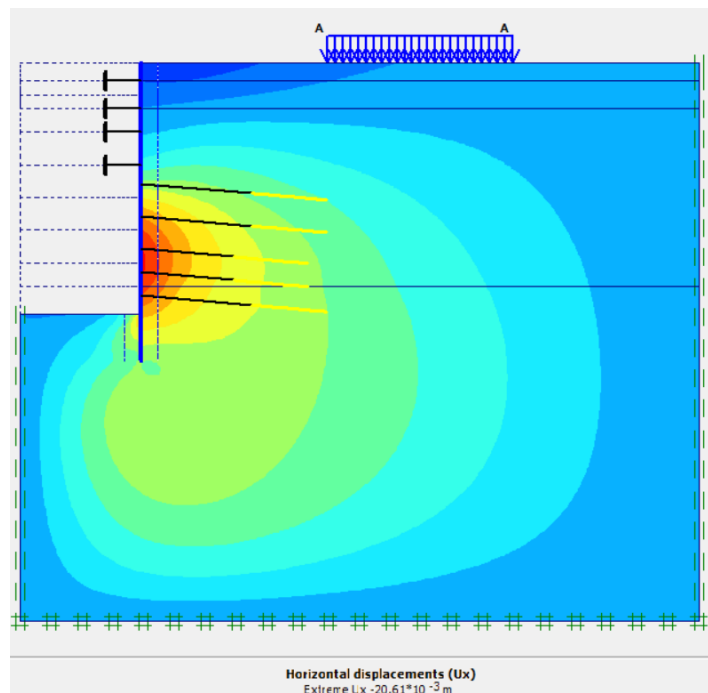
#### 4.2.5. Παραμετρική ανάλυση για στρωματογραφία- Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 5 σειρές αγκυριών και 4 σειρές αντηρίδων

Μετά από αυτές, ακολουθούν αναλύσεις με τέσσερις αντηρίδες και πέντε σειρές αγκυριών με δύναμη προέντασης 600 kN, στις οποίες γίνεται μεταβολή της στρωματογραφίας και της στάθμης υπόγειου νερού ως εξής:

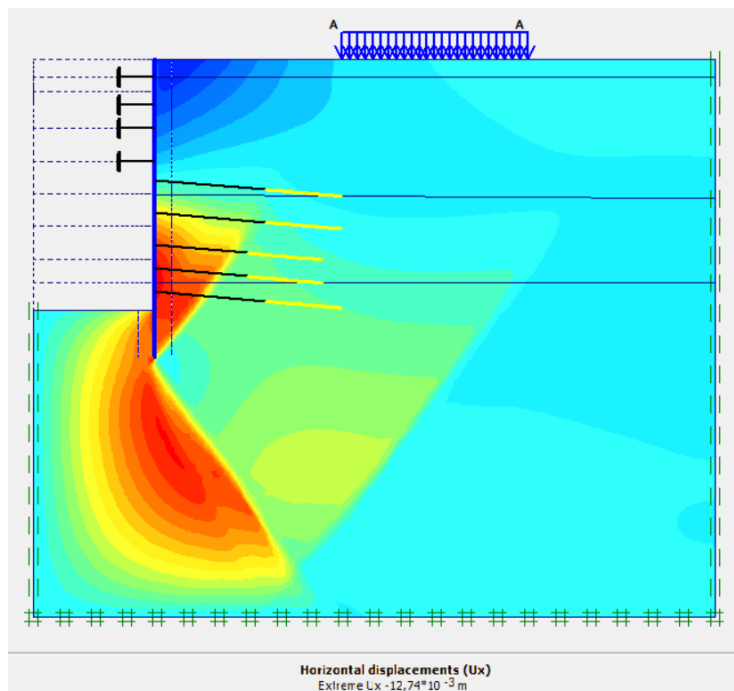
- πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m
- πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m



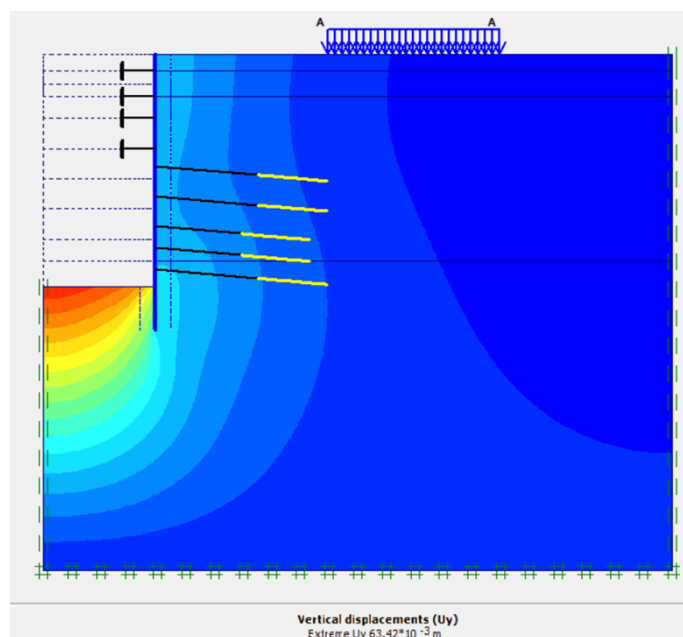
Εικόνα 123: Προσομοίωμα μοντέλου για κάθε περίπτωση στρωματογραφίας.



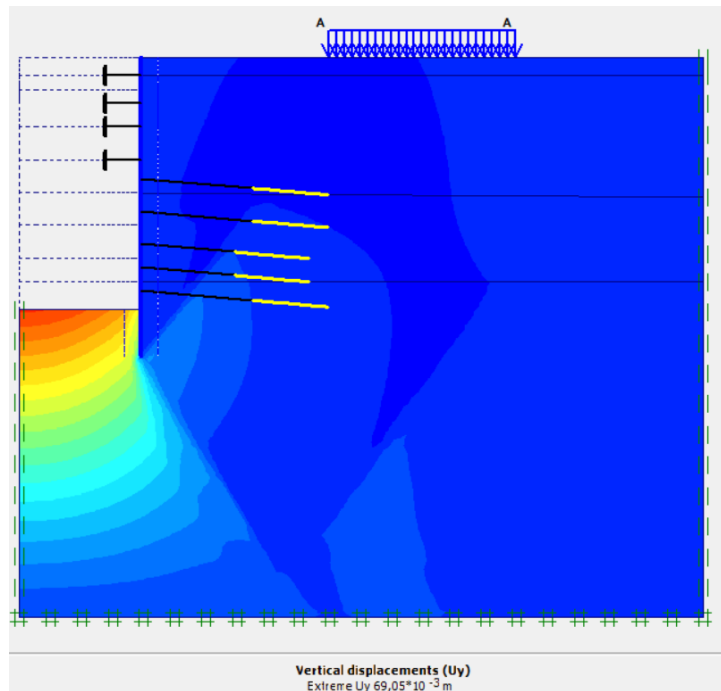
Εικόνα 124: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 2,06 cm.



Εικόνα 125: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 1,27 cm.



Εικόνα 126: Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 6,34 cm.



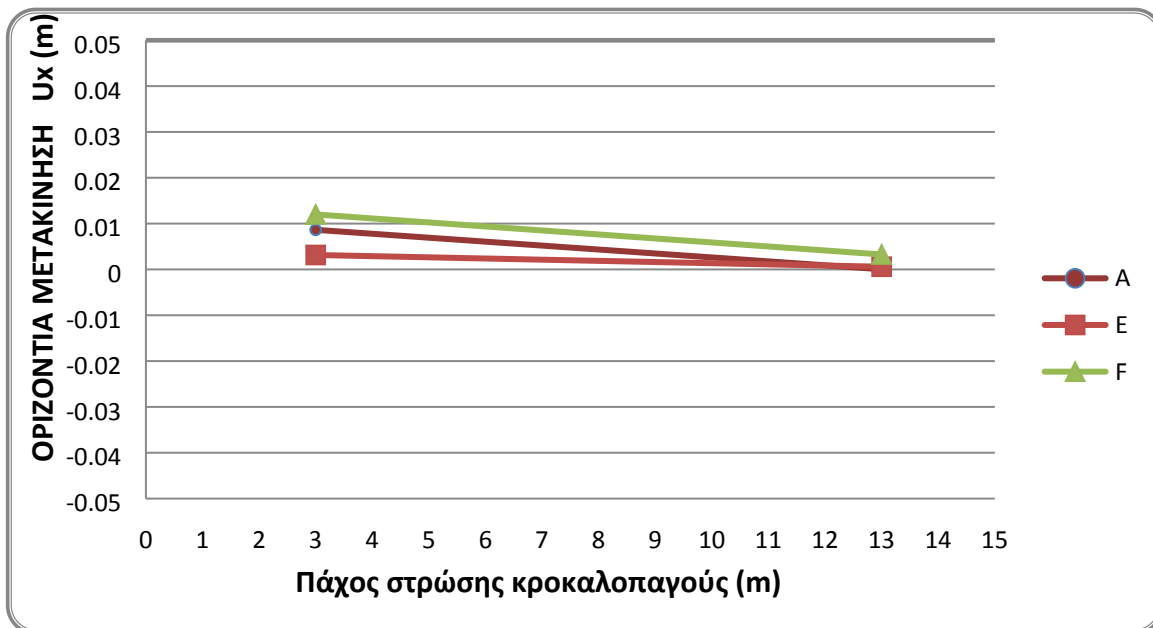
Εικόνα 127: Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 6,91 cm.

Πίνακας 31: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις της πρώτης παραμετρικής ανάλυσης.

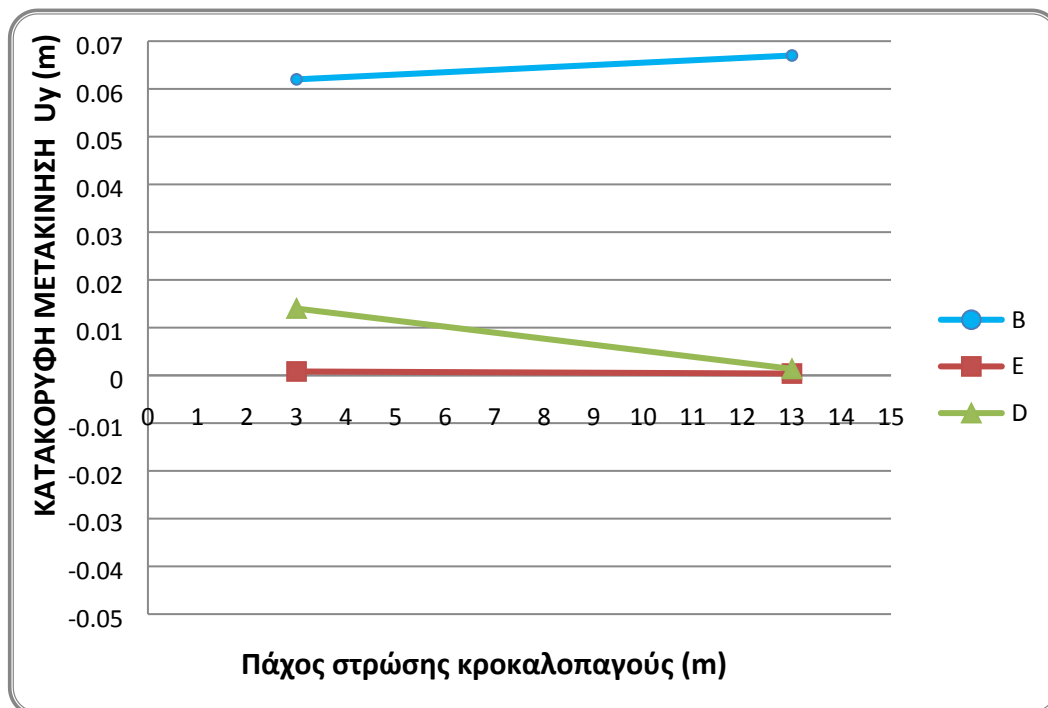
ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m	2,06	6,34
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m	1,27	6,91

Πίνακας 32: Απόλυτες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στα σημεία παρατήρησης.

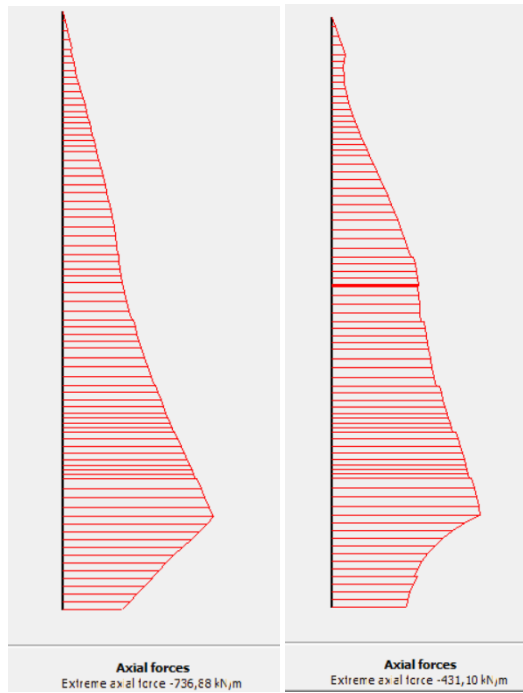
ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΑΠΟΥΓΟΥΣ (m)	Ux (m)			Uy (m)		
	A	E	F	B	E	D
3	0.00864	0.00315	0.012	0.062	0.000821	0.014
13	0.0000393	0.000589	0.00326	0.067	0.000387	0.00136



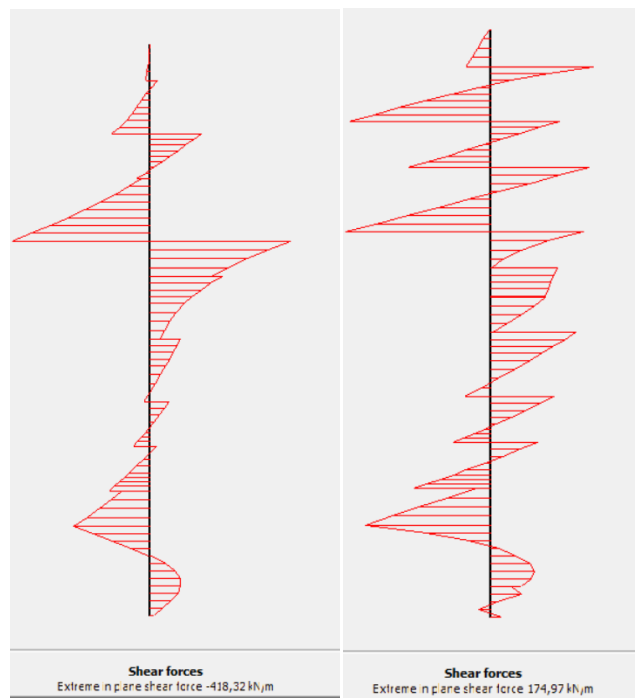
Εικόνα 128:Οριζόντια μετακίνηση σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.



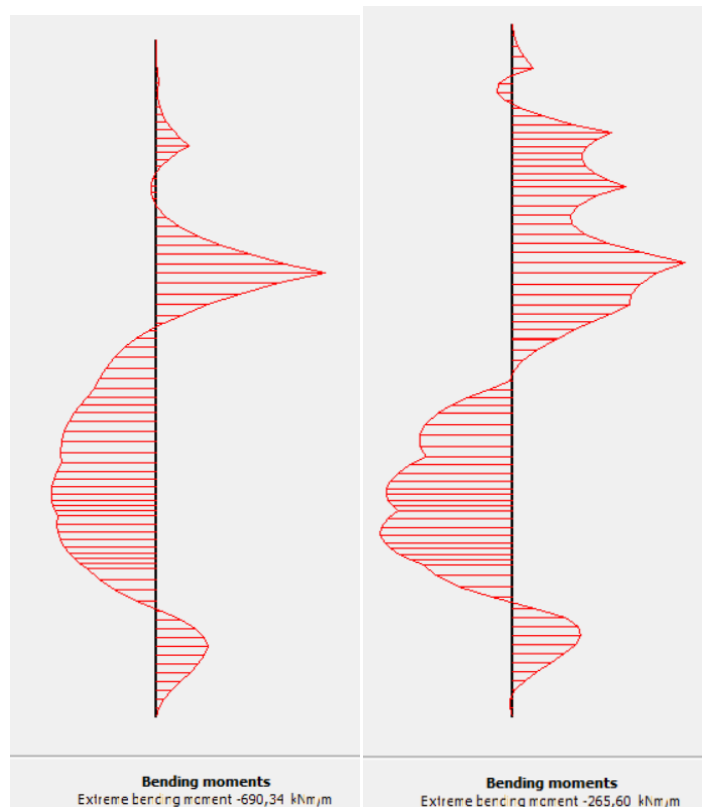
Εικόνα 129:Κατακόρυφη μετακίνηση σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.



**Εικόνα 130:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης**



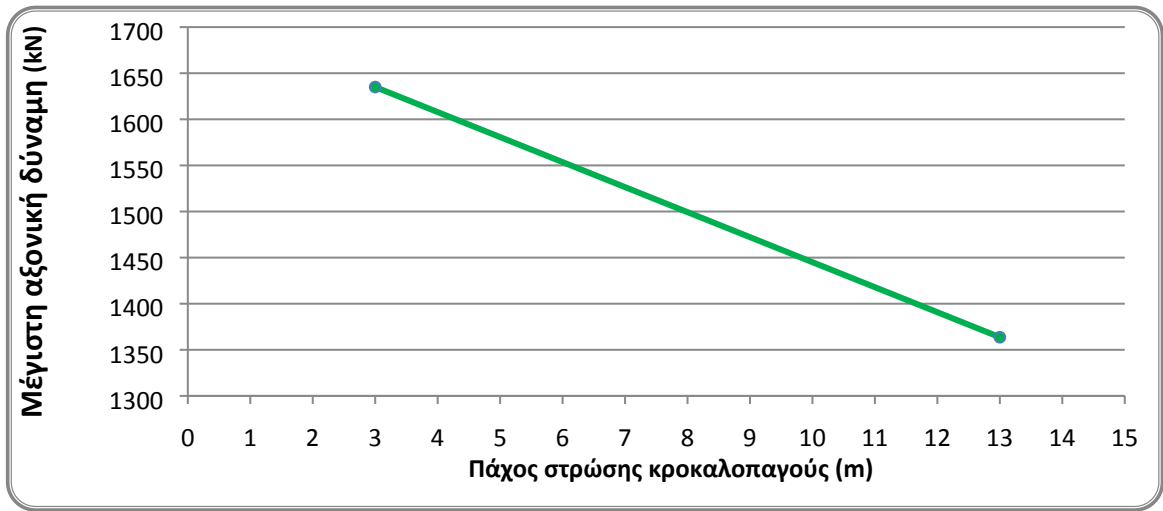
**Εικόνα 131:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης**



Εικόνα 132: Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης

Πίνακας 33: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (KNm/m)
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m	-736,68	418,32	-690,34
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m	-431,10	174,97	-265,60

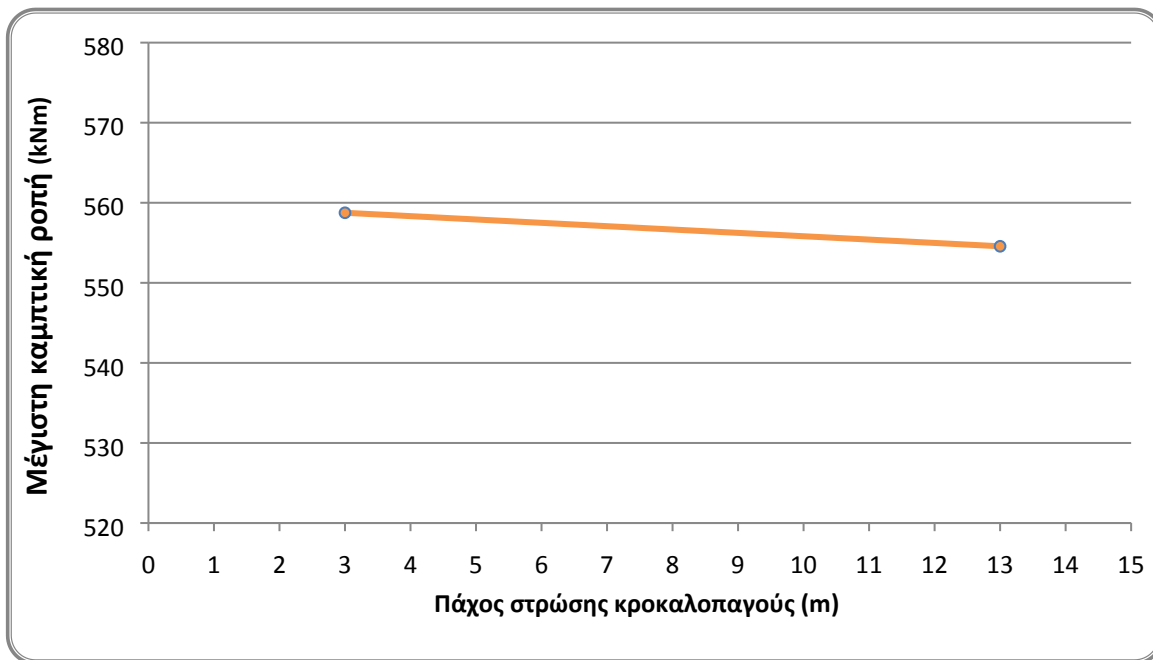


Εικόνα 133:Μέγιστες αξονικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.



Εικόνα 134:Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.





Εικόνα 135:Μέγιστες καμπτικές ροπές επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με το πάχος στρώσης του κροκαλοπαγούς.

Παρακάτω ακολουθούν συγκεντρωτικά οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας για κάθε ανάλυση της πρώτης παραμετρικής σειράς.

Πίνακας 34: Τιμές συντελεστή ασφαλείας.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 3 m και μεταψαμμίτη 19 m	2,615
πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13 m και μεταψαμμίτη 9 m	2,229

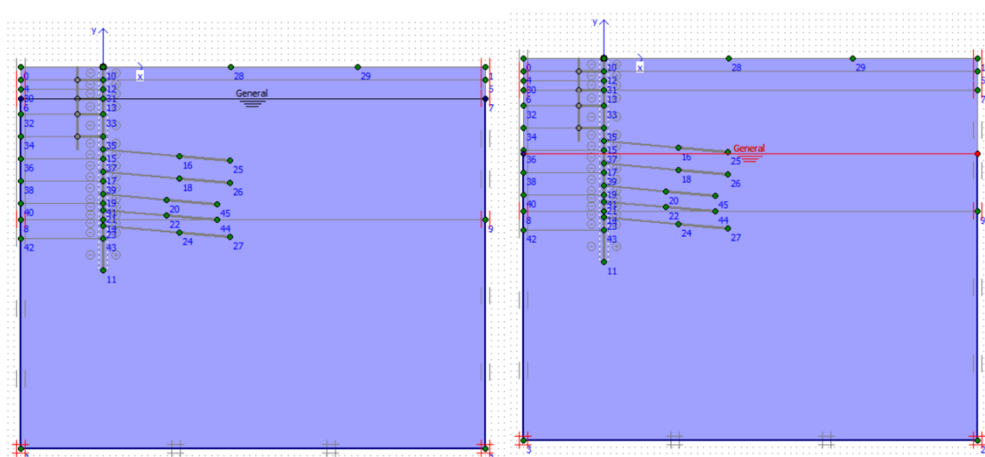


Εικόνα 136: Τιμές συντελεστή ασφαλείας συναρτήσει του πάχους του κροκαλοπαγούς.

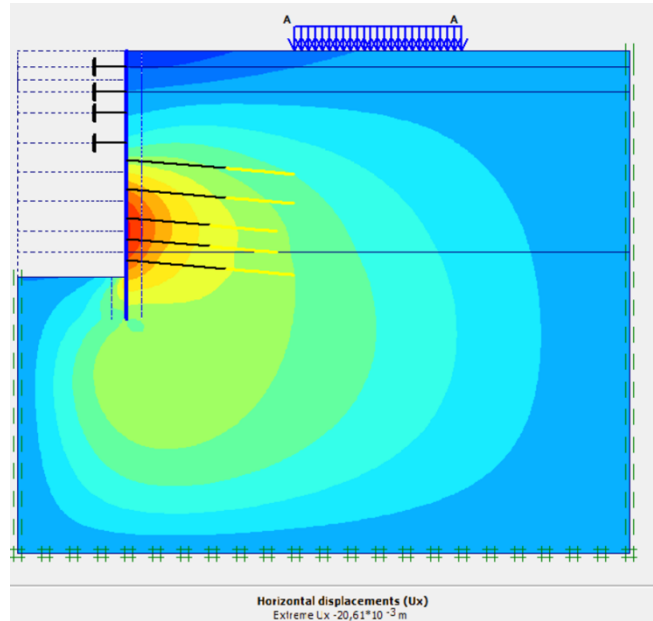
#### 4.2.6. Παραμετρική ανάλυση για στάθμη υπόγειου νερού – Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής: 5 σειρές αγκυρίων και 4 σειρές αντηρίδων

Στην έκτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων, με τέσσερις αντηρίδες και πέντε σειρές αγκυρίων με δύναμη προέντασης 600 kN, μεταβλήθηκε η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με:

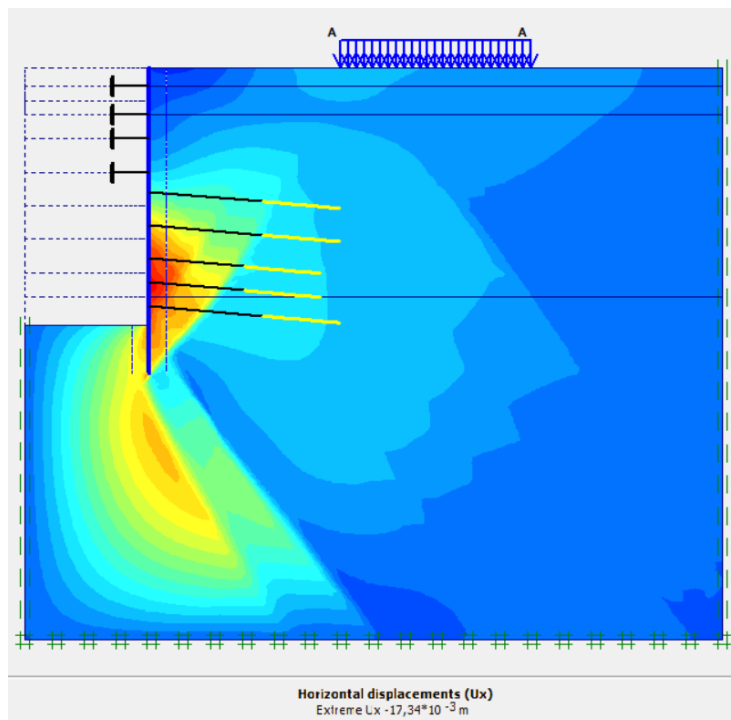
- Σ.Υ.Ο.: -5 m
- Σ.Υ.Ο.: -15 m



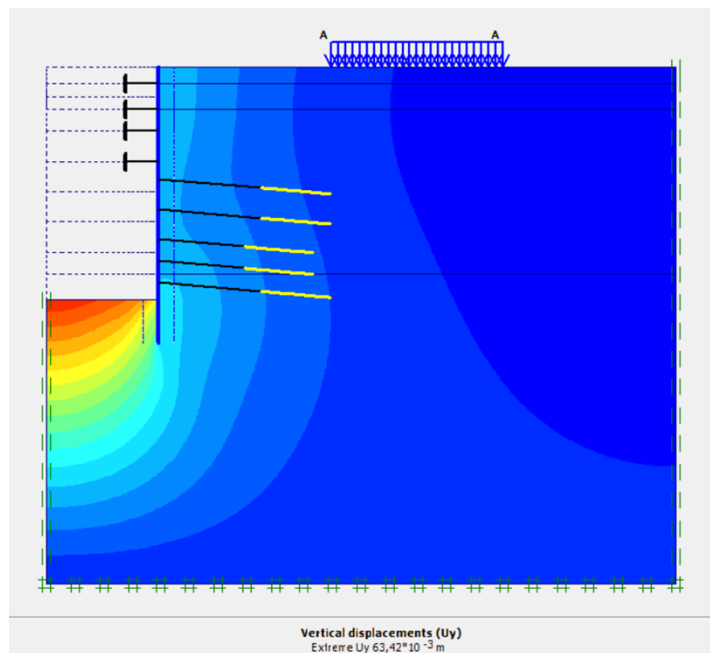
Εικόνα 137: Προσομοίωμα μοντέλου για κάθε περίπτωση στάθμης υπόγειου νερού.



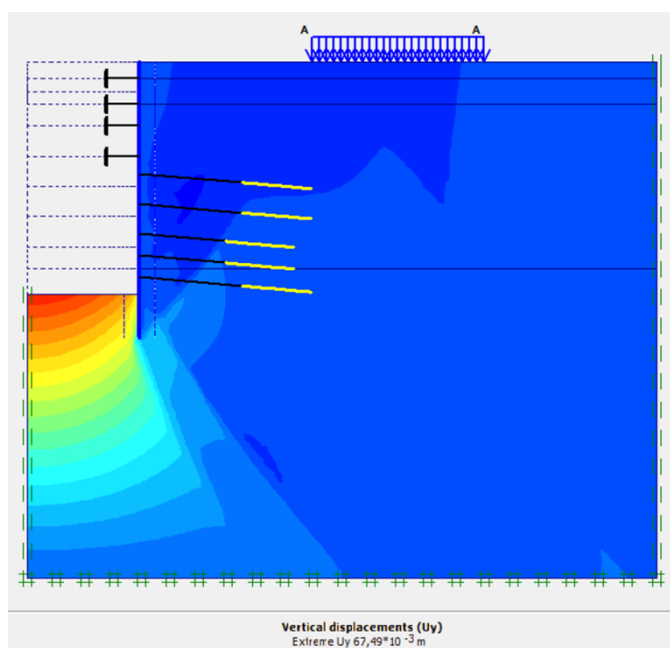
Εικόνα 138 Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -5 m  
. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 2,06cm.



Εικόνα 139: Οριζόντιες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -15 m.  
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 1,73cm.



Εικόνα 140 Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -5 m.  
Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,34cm.



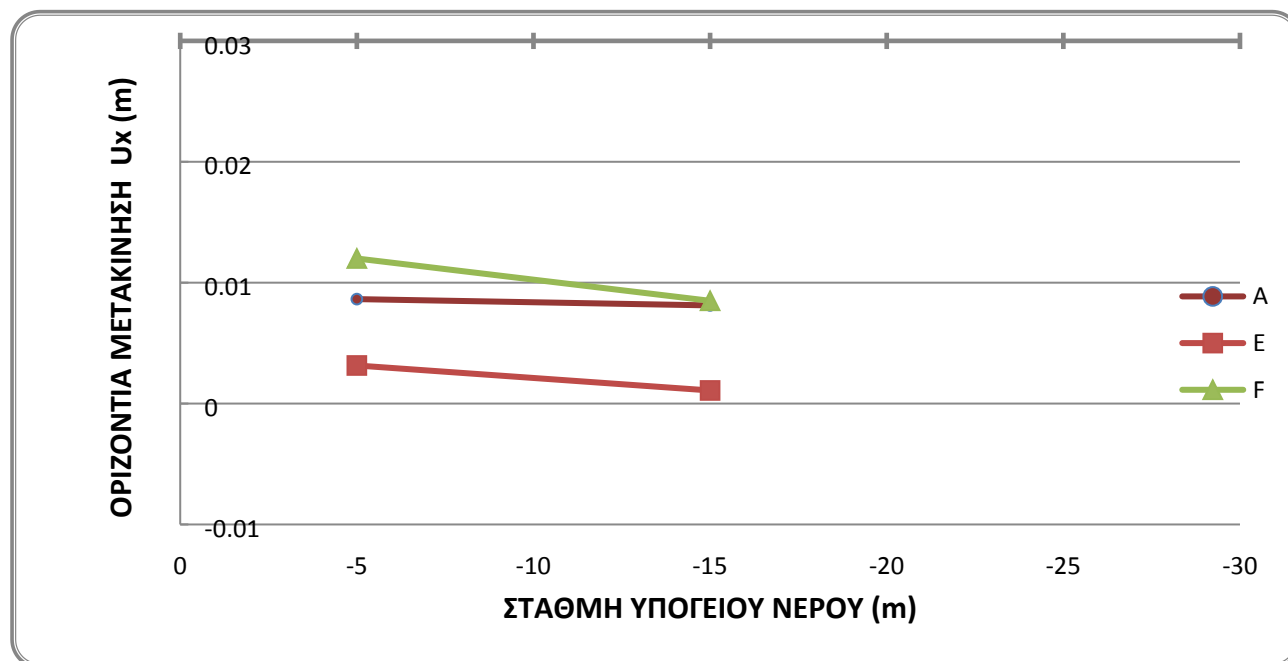
Εικόνα 141: Κατακόρυφες μετακινήσεις στην περίπτωση με Σ.Υ.Ο.: -15 m.  
Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 6,74cm.

Πίνακας 35: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις.

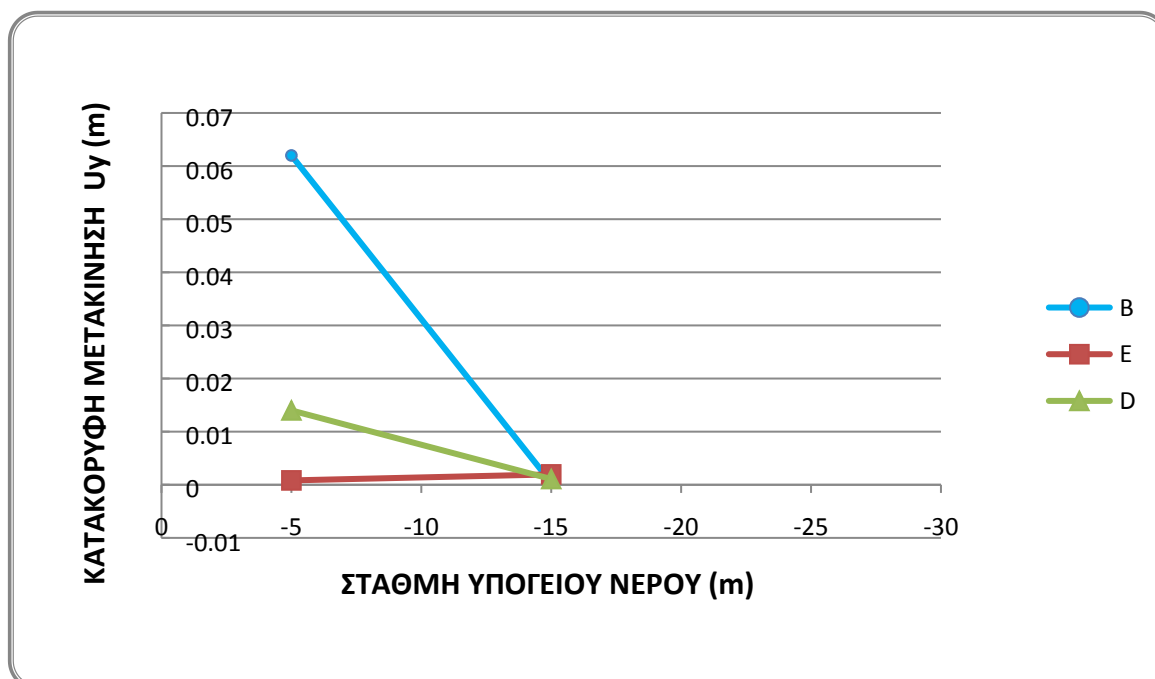
ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)
Σ.Υ.Ο.: -5 m	2,06	6,34
Σ.Υ.Ο.: -15 m	1,73	6,74

Πίνακας 36: Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις στα σημεία παρατήρησης.

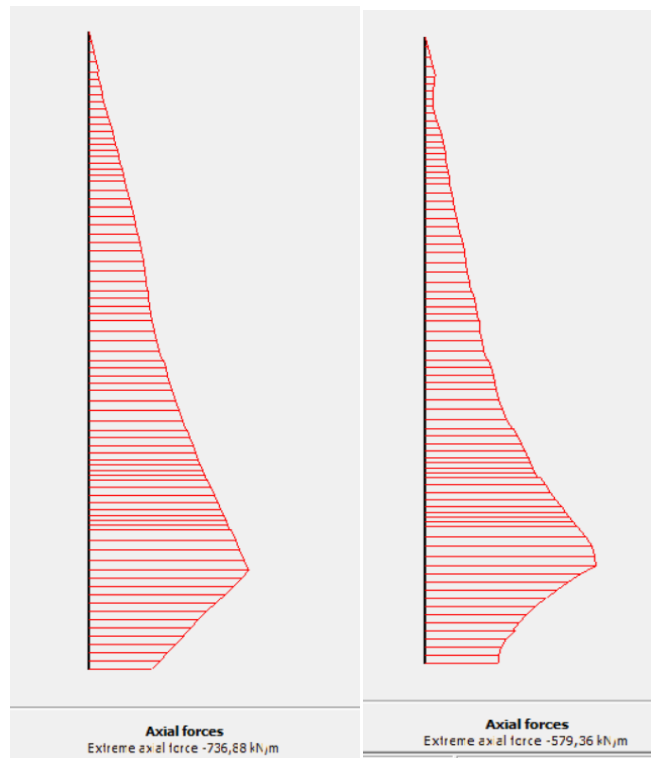
ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ (m)	U <sub>x</sub> (m)			U <sub>y</sub> (m)		
	A	E	F	B	E	D
-5	0,00864	0,00315	0,012	0,062	0,000821	0,014
-15	0,00812	0,001084	0,0085	0,00038	0,00195	0,00108



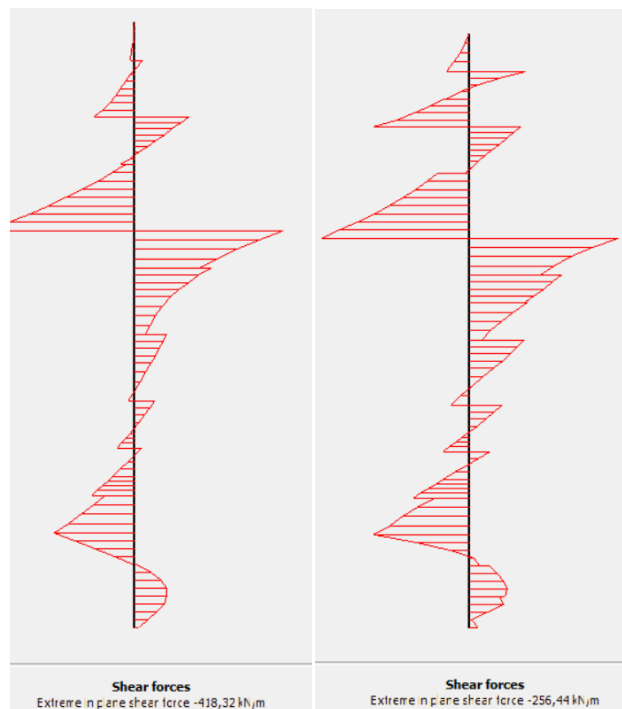
Εικόνα 142:Οριζόντια μετακίνηση σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.



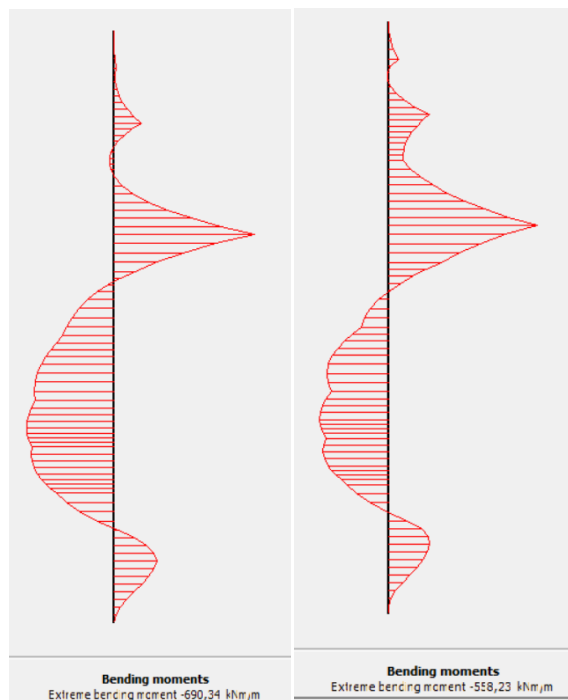
Εικόνα 143:Κατακόρυφη μετακίνηση σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.



Εικόνα 144:Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης



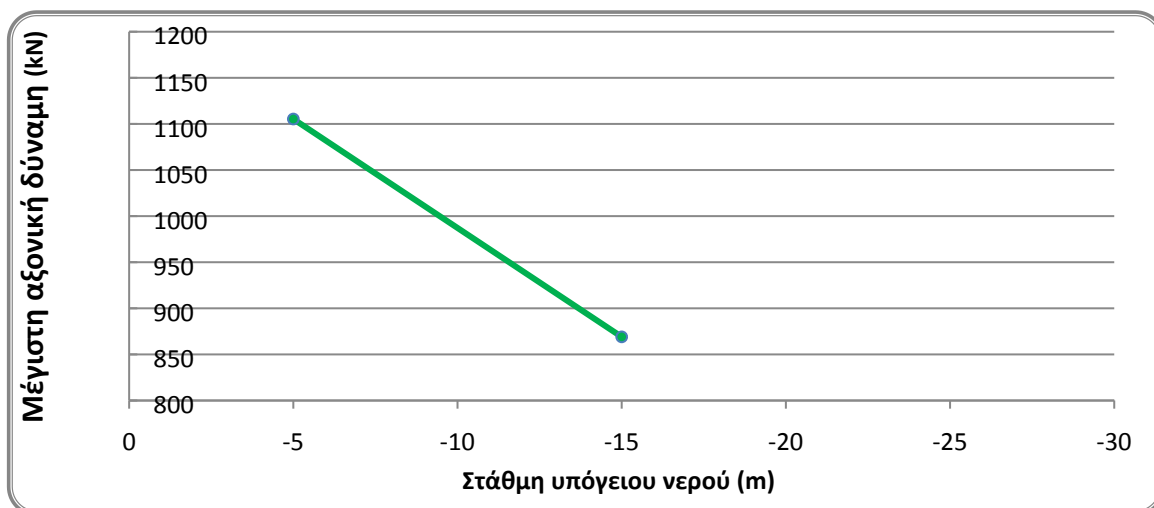
Εικόνα 145:Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης



Εικόνα 146:Καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης

Πίνακας 37: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.

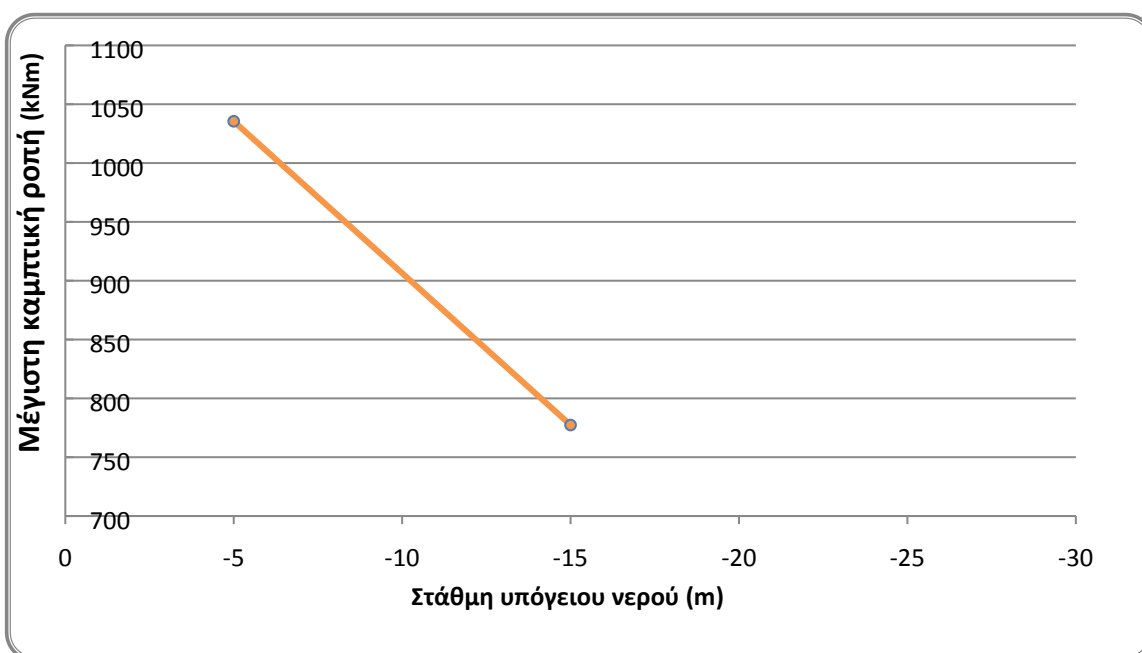
ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (KNm/m)
Σ.Υ.Ο.: -5 m	736,88	418,32	690,34
Σ.Υ.Ο.: -15 m	579,36	256,44	518,23



Εικόνα 147:Μέγιστες αξονικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.



Εικόνα 148:Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.

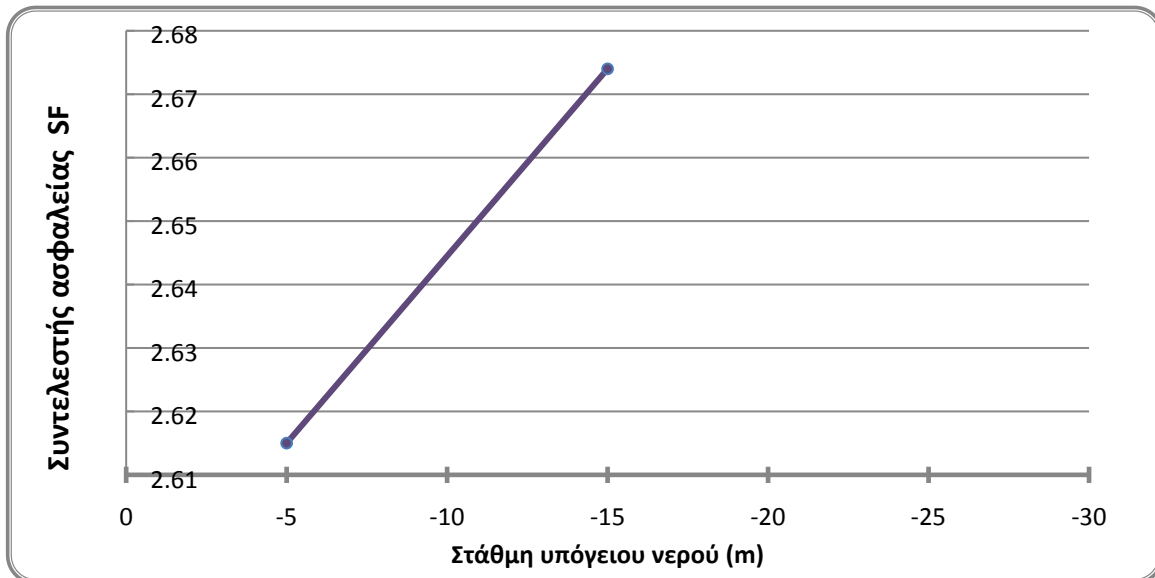


Εικόνα 149:Μέγιστες καμπτικές ροπές επί του διαφραγματικού τοίχου σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.

Πίνακας 38: Τιμές συντελεστή ασφαλείας

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
Σ.Υ.Ο.: -5 m	2,615
Σ.Υ.Ο.: -15 m	2,674

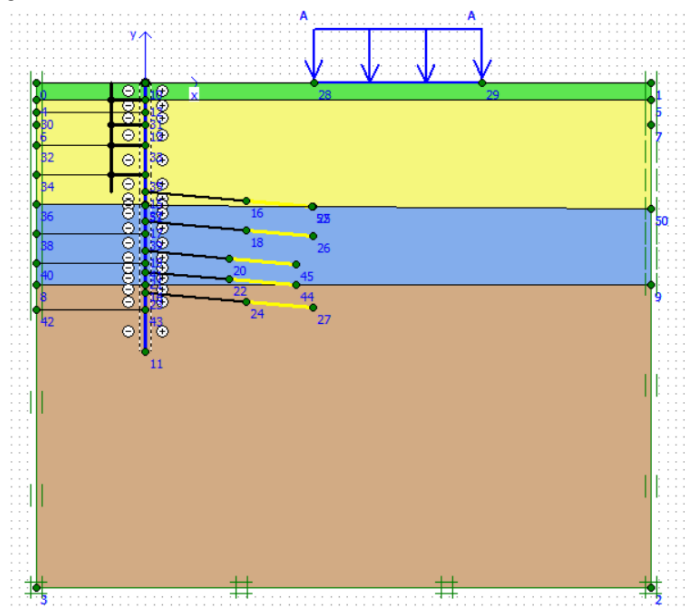




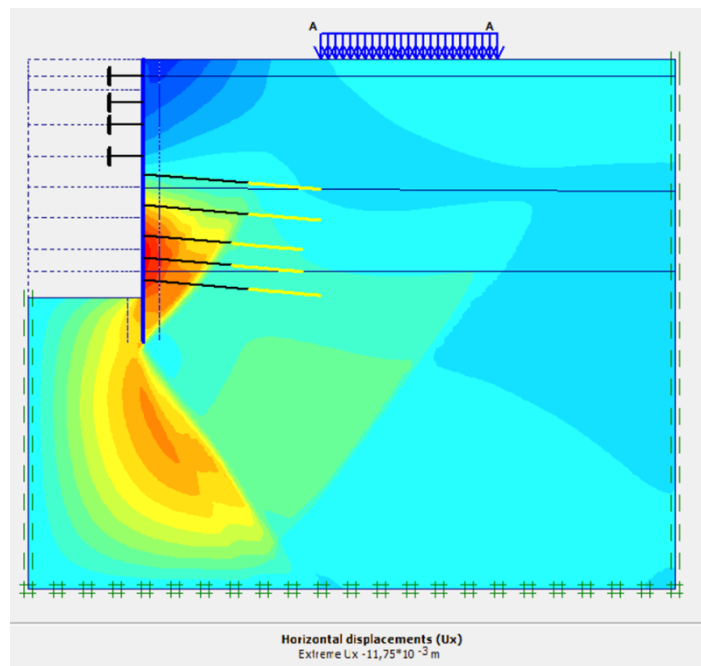
Εικόνα 150:Τιμές του συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τη στάθμη του υπόγειου νερού.

#### 4.2.7. Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας ιλυολίθου E=190 MPa – Τρόπος αντιστήριξης εκσκαφής : 5 σειρές αγκυριών και 4 σειρές αντηρίδων

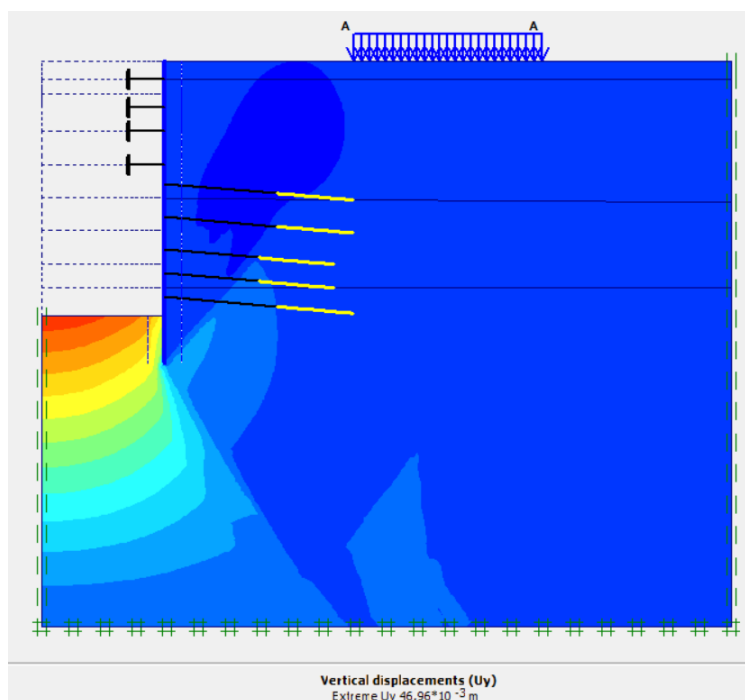
Τέλος, λαμβάνοντας την ανάλυση με τις τέσσερις αντηρίδες και τις πέντε σειρές αγκυριών με δύναμη προέντασης 600 KN, με στάθμη υπόγειου νερού -15m και πάχος στρώσης κροκαλοπαγούς 13m, πραγματοποιείται άλλη μία ανάλυση, μεταβάλλοντας τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βαθύτερης στρώσης, του ιλυόλιθου. Συγκεκριμένα αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας εκείνης της στρώσης σε E=190 MPa. Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων, καθώς και των εντατικών μεγεθών επί του διαφραγματικού τοίχου.



Εικόνα 151:Προσομοίωμα μοντέλου.



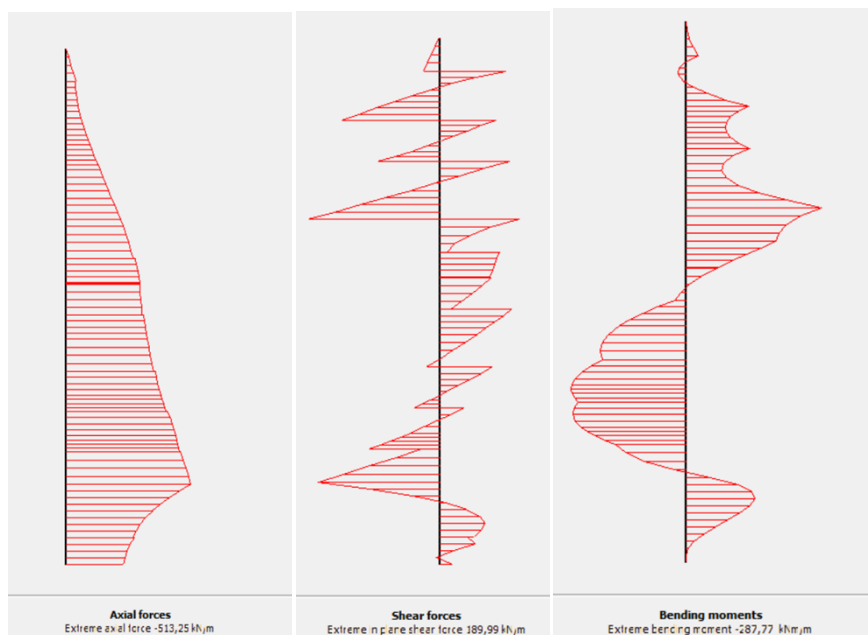
Εικόνα 152. Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση 1,17m.



Εικόνα 153 Μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση 4,69 cm

Πίνακας 39: Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις της πρώτης παραμετρικής ανάλυσης.

ΑΝΑΛΥΣΗ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (cm)
Esiltstone=190 MPa	1,17	4,69



Εικόνα 154: Αξονικές, διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης

Πίνακας 40: Εντατικά μεγέθη επί του τοίχου αντιστήριξης.

ΑΝΑΛΥΣΗ	ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ (KN/m)	ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (KNm/m)
Esiltstone=190 MPa	513,25	189,99	287,77

Πίνακας 41: Τιμές συντελεστή ασφαλείας

ΑΝΑΛΥΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
Esiltstone=190 MPa	2,539

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις του προσομοιώματος βαθιάς εκσκαφής σε σταθμό μετρό. Για τις αναλύσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα ο σταθμός μετρό «Περιστέρι», της γραμμής 2. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα που αντλήθηκαν από αυτό το παράδειγμα αφορούν μόνο την γεωμετρία του σταθμού (βάθος και πλάτος εκσκαφής) και την γεωλογία της στενής περιοχής του έργου. Διατηρώντας σταθερά αυτά τα δεδομένα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με διαφορετικούς τρόπους υποστήριξης της εκσκαφής σε σχέση με την ήδη υπάρχουσα κατάσταση του σταθμού μετρό στο Περιστέρι. Εκτός από τους τρόπους υποστήριξης έγιναν παραδοχές για τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κάθε εδαφικής στρώσης, ελέγχοντας τα δεδομένα από σχετική βιβλιογραφία, καθώς και για τις μηχανικές και γεωμετρικές παραμέτρους των μέτρων υποστήριξης.

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις του προσομοιώματος βαθιάς εκσκαφής με οκτώ σειρές προεντεταμένων αγκυρίων. Μέσω αυτών των αναλύσεων εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο η αλλαγή της στρωματογραφίας, της στάθμης του υπόγειου νερού, της απόστασης των πασσάλων και της δύναμης προέντασης των αγκυρίων επηρεάζουν τις μετακινήσεις του εδάφους, τις καμπτικές ροπές και τις διατμητικές και αξονικές δυνάμεις που ασκούνται στον τοίχο αντιστήριξης.

Έπειτα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις του προσομοιώματος βαθιάς εκσκαφής με τέσσερις σειρές από αντηρίδες και πέντε σειρές προεντεταμένων αγκυρίων. Πάλι εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο η αλλαγή της στρωματογραφίας και της στάθμης του υπόγειου νερού επηρεάζουν τις μετακινήσεις του εδάφους και τα εντατικά μεγέθη που ασκούνται στον τοίχο αντιστήριξης.

Για την μείωση των εδαφικών μετακινήσεων και των δυνάμεων και ροπών που ασκούνται στον διαφραγματικό τοίχο, πραγματοποιείται μία ανάλυση που αφορά την αλλαγή μηχανικών χαρακτηριστικών της βαθύτερης στρώσης.

Κατά αυτόν τον τρόπο, γίνονται συγκρίσεις των αποτελεσμάτων και διεξάγονται συμπεράσματα που αφορούν τόσο την γεωλογία, όσο και γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των μέτρων υποστήριξης.

Πιο αναλυτικά, από τις αναλύσεις της παρούσας εργασίας, διεξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της στρώσης του κροκαλοπαγούς, το οποίο αποτελείται από ισχυρότερα μηχανικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τα βαθύτερα εδαφικά στρώματα, τόσο ελαττώνονται οι μετακινήσεις του εδάφους. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μέγιστες τιμές των οριζόντιων μετακινήσεων εμφανίζονται σε κάθε περίπτωση στην στρώση του ψαμμίτη και όχι σε αυτή του κροκαλοπαγούς. Επίσης, οι απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών και των μέγιστων αξονικών και διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους μειώνονται όσο αυξάνεται το πάχος του κροκαλοπαγούς.

- Η ύπαρξη του υπόγειου νερού παρατηρήθηκε ότι αποτελεί βοηθητικό παράγοντα στις μετακινήσεις του εδάφους και στις διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται στους πασσάλους. Όμως η ύπαρξη του νερού οδηγεί σε αύξηση των αξονικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών του διαφραγματικού τοίχου. Αναλυτικότερα, όσο ψηλότερα είναι η στάθμη του υπόγειου νερού τόσο χαμηλότερες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις υπάρχουν. Για παράδειγμα για πτώση στάθμης υπόγειου νερού από -5m σε -25m ,η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση παρουσιάζει πτώση της τάξης 21,5 % και η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση παρουσιάζει πτώση της τάξης 2,7%. Προφανώς οι οριζόντιες μετακινήσεις επηρεάζονται περισσότερο από την ύπαρξη του νερού.
- Όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των πασσάλων, τόσο αυξάνονται οι μέγιστες μετακινήσεις της εκσκαφής. Επίσης, οι απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών και των μέγιστων αξονικών και διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους αυξάνονται όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των πασσάλων. Ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται όσο μειώνεται η απόσταση μεταξύ των πασσάλων. Τέλος, όσο μειώνεται η απόσταση των πασσάλων τόσο αυξάνεται το κόστος κατασκευής του σταθμού, καθώς χρησιμοποιούνται περισσότερα μέτρα υποστήριξης ανά τρέχον μέτρο.
- Όσο αυξάνεται η δύναμη προέντασης τόσο μειώνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις. Η αύξηση της δύναμης προέντασης των αγκυρίων μειώνει αρκετά τις μετακινήσεις, όμως αν η τιμή της δύναμης προέντασης των αγκυρίων είναι πολύ μεγάλη υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθούν πλαστικές ζώνες κατά μήκος των αγκυρίων. Έτσι, σε συνδυασμό με το μήκος των αγκυρίων που ισούται έως και 20 m μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα στις κατασκευές που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από το σταθμό.
- Η αντικατάσταση κάποιων σειρών αγκυρίων από αντηρίδες προκαλεί μείωση των συνολικών μετακινήσεων, κατακόρυφων και οριζόντιων. Το παραπάνω εξηγείται, καθώς οι αντηρίδες που εδράζουν στον διαφραγματικό τοίχο ασκούν πίεση στην εκσκαφή και εμποδίζουν την οριζόντια μετακίνηση του.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν συμπεραίνεται επίσης ότι μεταβάλλοντας την στρωματογραφία, την στάθμη του υπόγειου νερού, την απόσταση μεταξύ των πασσάλων, την δύναμη προέντασης και αντικαθιστώντας ορισμένες σειρές αγκυρίων με αντηρίδες (σε κάθε παραμετρική ανάλυση μεταβάλλεται μια παράμετρος κάθε φορά), η τιμή του συντελεστή ασφαλείας δεν γίνεται ποτέ μικρότερος από την τιμή  $SF = 1,5$ .

Οι μικρότερες επιδράσεις σε ότι αφορά τις οριζόντιες μετακινήσεις επιφέρει η αλλαγή της απόστασης των πασσάλων. Η αλλαγή ωστόσο της απόστασης των πασσάλων επιβάλλει την αναδιαστασιολόγησή τους, καθώς αυξάνονται οι καμπτικές ροπές και οι διατμητικές και αξονικές δυνάμεις.

Οι μεγαλύτερες επιδράσεις σε ότι αφορά τις μετακινήσεις επιφέρει η διαμόρφωση της γεωλογίας της στενής περιοχής του έργου. Υπάρχουν πετρώματα τα οποία μπορούν να μείνουν και ανυποστήρικτα κατά τη διάρκεια μιας βαθιάς εκσκαφής και γεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποσαθρώνονται με την ύπαρξη νερού και αναπτύσσουν μεγάλες μετακινήσεις στο έδαφος με κίνδυνο την μετακίνηση και αστοχία των κοντινών κατασκευών. Γι' αυτό, για την επιλογή των μέτρων υποστήριξης και των μηχανικών χαρακτηριστικών τους σε κάθε έργο πρέπει να ληφθούν υπόψη οι γεωλογικές, υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής. Γι' αυτό, αναφορικά με τις αναλύσεις που λαμβάνουν ως μέτρο υποστήριξης τις οκτώ σειρές αγκυρίων, κρίνεται ανεπαρκής η λύση μόνο με τον συγκεκριμένο τρόπο υποστήριξης, ακόμα και στην περίπτωση όπου η δύναμη προέντασης είναι 600 KN, καθώς οι τιμές των μετακινήσεων και των εντατικών μεγεθών που ασκούνται στο διαφραγματικό τοίχο είναι πολύ μεγάλες. Η αντικατάσταση ορισμένων σειρών αγκυρίων, λοιπόν, με αντηρίδες μπορεί να περιορίσει τις μετατοπίσεις στην επιφάνεια του εδάφους κατά την εκσκαφή.

Ο συνδυασμός των αγκυρίων και των αντηρίδων με περισσότερες μεταβολές στην γεωμετρία και στην χωροθέτηση τους, καθώς και η επιβολή φορτίου στον πυθμένα της εκσκαφής μέσω πλάκας σκυροδέματος αποτελεί πρόταση για περαιτέρω έρευνα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ: «Προδιαγραφές Μελετών και Επιδόσεων Έργων Πολιτικού Μηχανικού»,– Εκδόσεις Αττικό Μετρό, Αθήνα

Γαλανού Αικ. και Χατζηπέτρου Ε., 2010, Τεχνικογεωλογικές και Υδρογεωλογικές Συνθήκες και Προβλήματα στην Επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό (Τμήμα Αγ. Αντώνιος – Περιστέρι), Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Γκόρτσος Γ., 2012, «Τεχνικο-γεωλογική και γεωτεχνική αξιολόγηση των συνθηκών σε σχέση με τη μηχανοποιημένη διάνοιξη σηράγγων. Η επέκταση του μετρό της Θεσσαλονίκης προς Καλαμαριά», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Δρ. Παχάλης Κ. Γκότσης, Πεπερασμένα στοιχεία, Εκδόσεις ΖΗΤΗ 2005.

ΙΓΜΕ, 1978: «Υδρογεωλογική Μελέτη Δήμου Περιστερίου Αττικής – Πρόβλημα– Υπέρμετρου Ανυψώσεως της στάθμης του Υδροφόρου Ορίζοντος», Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα

ΙΓΜΕ, Αθήνα 1986: Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος, Φύλλο Αθήναι – Ελευσίς (κλ.1:50.000)–

Κανακάρη Ε., 2011: « Μετρό Θεσσαλονίκης – Πρόβλεψη εδαφικών μετατοπίσεων»,– Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Καρασογιαννίδης Δ., 2019, Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων. Επιλύσεις με δεδομένα από το σταθμό «Μανιάτικα» του Μετρό Αθήνας, Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Κρασσικόπουλος Γ. και Ταμβάκης Λ., 2011, Εκτίμηση Κινδύνου στην Επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό των Αθηνών «Άγιος Αντώνιος-Περιστέρι», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Κωμοδρόμος Μ. Αμιλίου, Θεμελιώσεις, Αντιστηρίξεις, Οριακή Ισορροπία – Αριθμητικές Μέθοδοι, (2012).

Λουπασάκης Κ., 2013: «Τεχνική Γεωλογία II» Διαφάνειες Μαθήματος, Σχολή Μηχανικών–Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Μερτήρη Ε., 2008, «Υδρογεωλογικές συνθήκες σε τμήμα της επέκτασης του μετρό Νίκαια – Πειραιάς αλληλεπίδραση σήραγγας – υπογείων νερών», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: « Επέκταση της Γραμμής 2 “Τμήμα Άγιος Αντώνιος - Ανθούπολη”– Γενική έκθεση αξιολόγησης αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών», Αθήνα

ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: «Έκθεση Παρουσίασης Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών», Αθήνα

ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: «Σταθμός Περιστερί – Τμήμα Ανοικτής Εκσκαφής Μελέτη– Προσωρινής Αντιστήριξης», Αθήνα

ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: «Επέκταση της Γραμμής 2 “Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη”, “Σταθμός Περιστερί” – Τμήμα ανοικτής εκσκαφής, Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης», Αθήνα

ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: «Επέκταση της Γραμμής 2 “Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη”, έκθεση μελέτης γραφείου, Αθήνα

Παπανικολάου Δ. Και συνεργάτες, 2002 : « Γεωλογική – Γεωτεχνική μελέτη Λεκανοπεδίου– Αθηνών», Αθήνα

Ρίζος Π., 2010: « Καθιζήσεις λόγω διάνοιξης δίδυμης σήραγγας του Μετρό της– Θεσσαλονίκης στο τμήμα Νέος Σιδηρόδρομος Σταθμός – Αγία Σοφία», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Τσαντάκης Ε., 2016, «Συγκριτικές 2D και 3D αναλύσεις τεμνόμενων διαφραγματικών τοίχων με πεπερασμένα στοιχεία. Επιλύσεις με δεδομένα από το σταθμό Περιστερί του Μετρό Αθήνας», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Bathe, K.J. (1982): Finite element analysis in engineering analysis, Prentice-Hall, New Jersey.

Brinkgreve, R.B.J. - Engin, E. - Swolfs, W.M. ,2014, PLAXIS 2D anniversary manual, Delft University of Technology & PLAXIS bv, The Netherlands.

Strutysnka Z., 2015, «Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους, προεντεταμένες αγκυρώσεις και αντηρίδες. Το παράδειγμα του σταθμού Περιστερί στο Μετρό Αθήνας», Διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα



---

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

---



---

1<sup>η</sup>

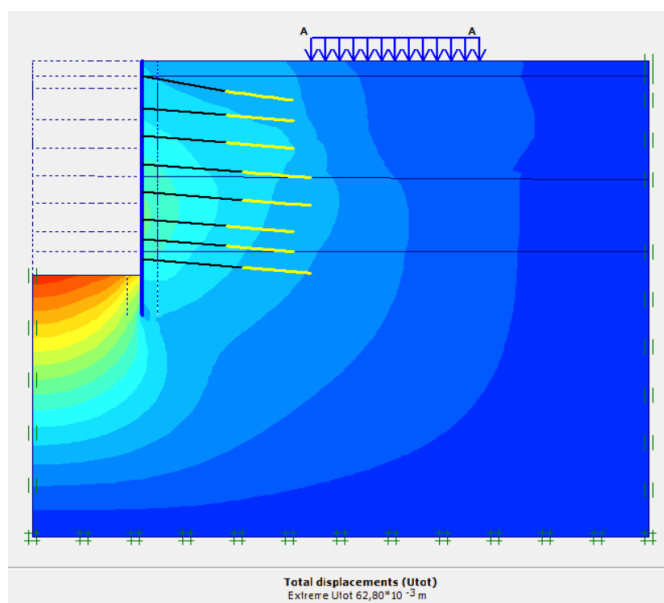
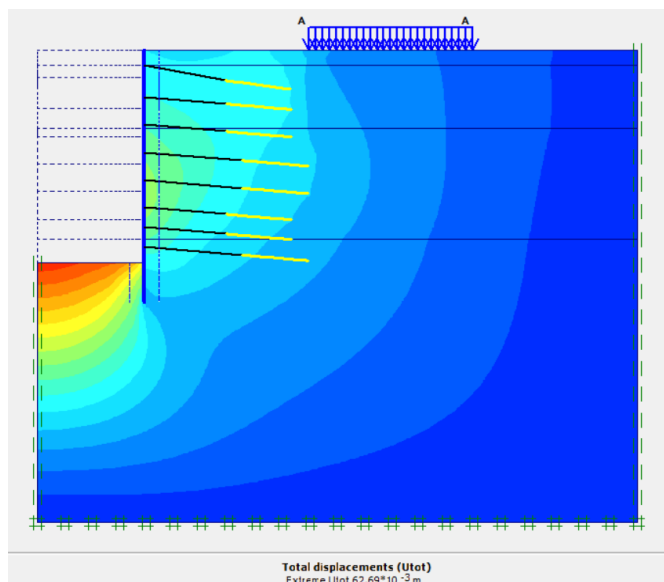
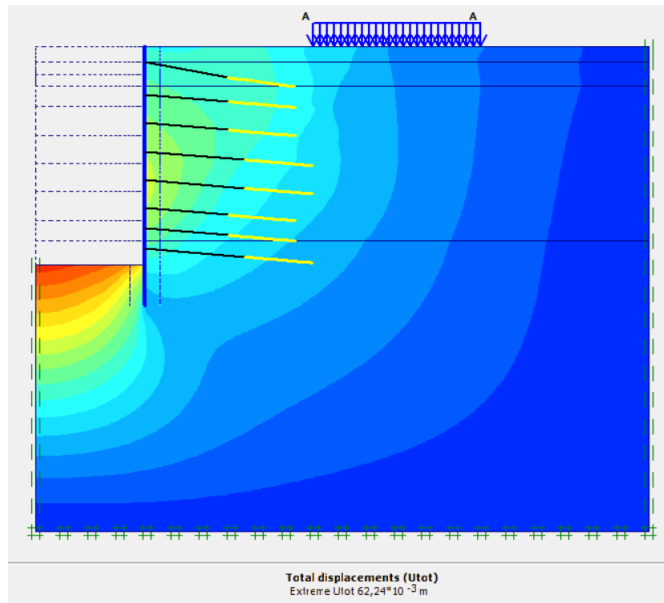
# ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

---

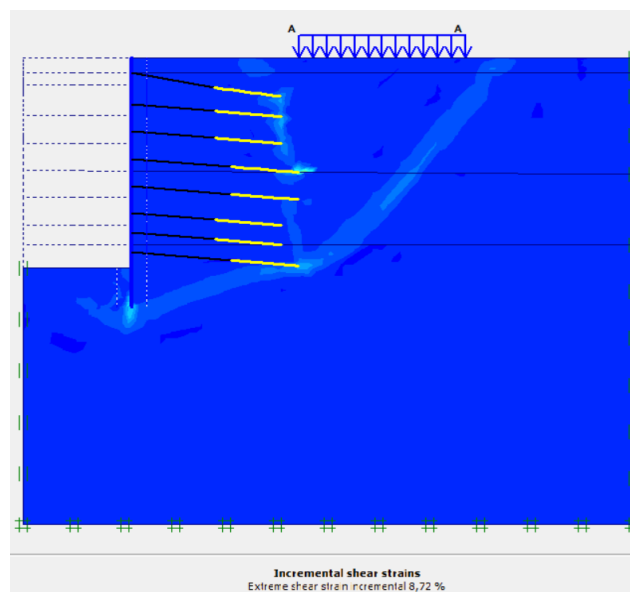
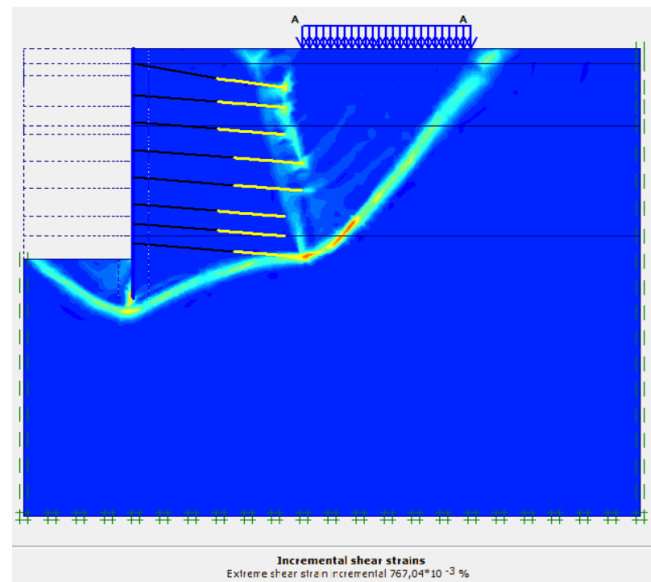
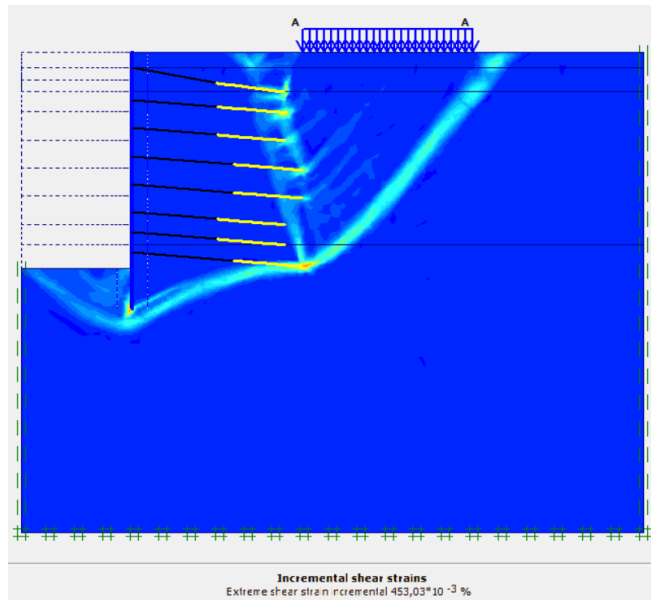
ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ  
ΕΚΣΚΑΦΗΣ:

8 ΣΕΙΡΕΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

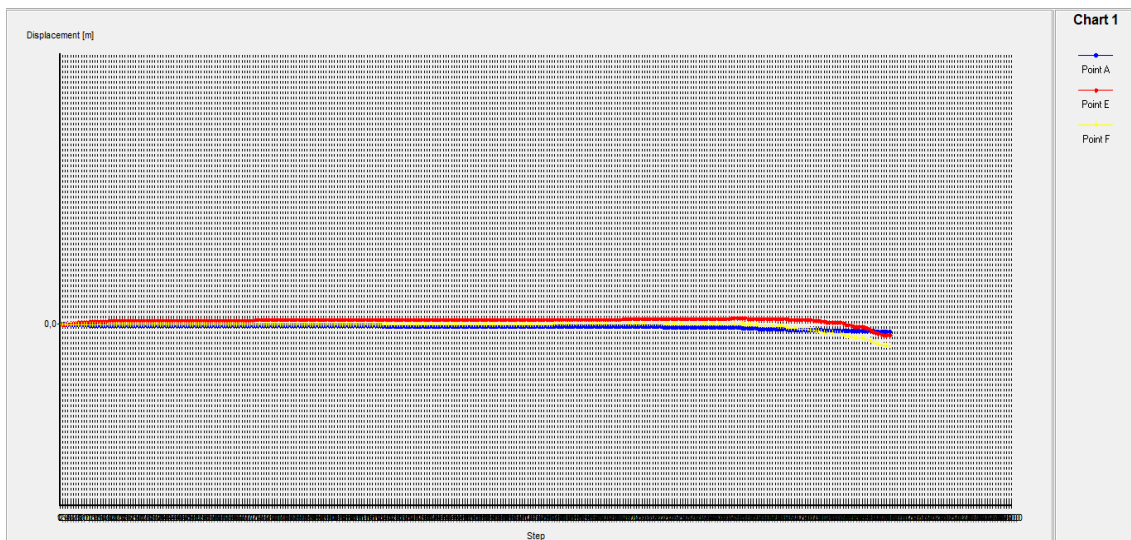
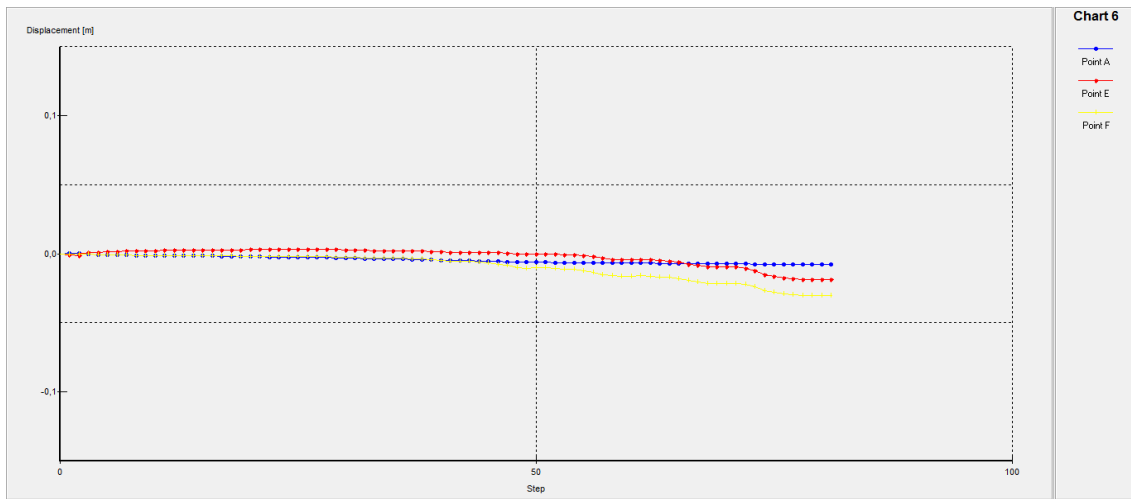
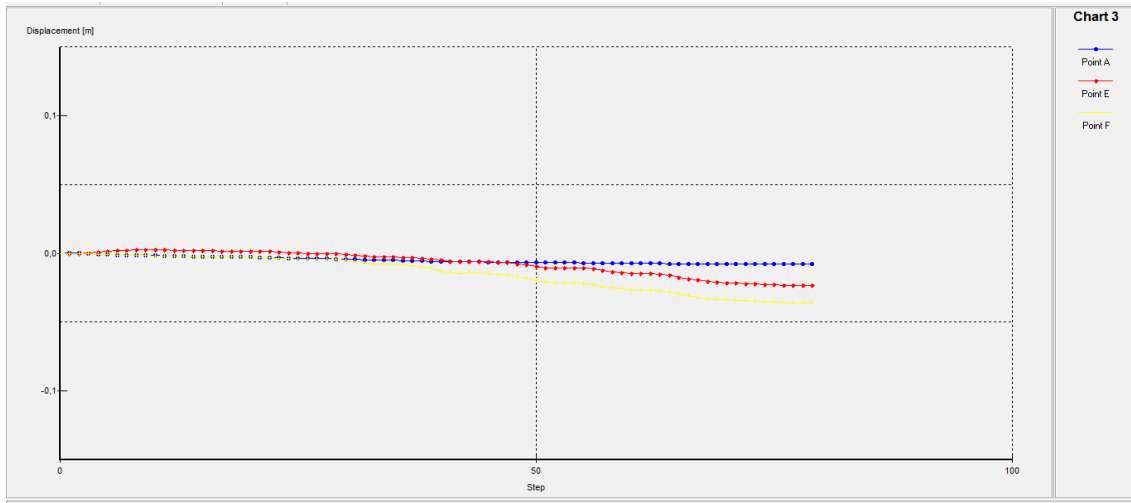
---



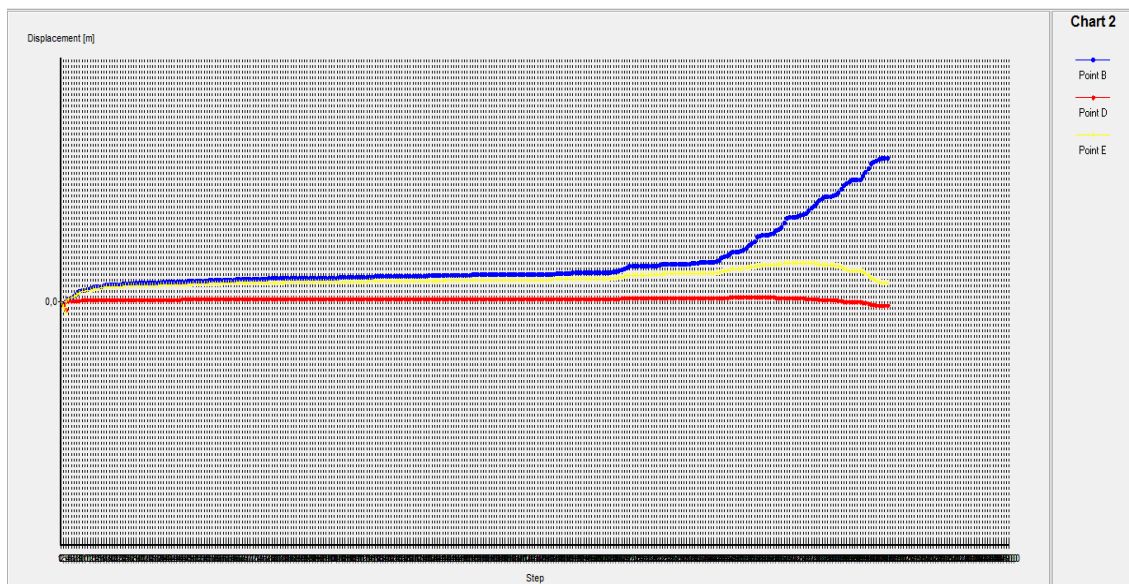
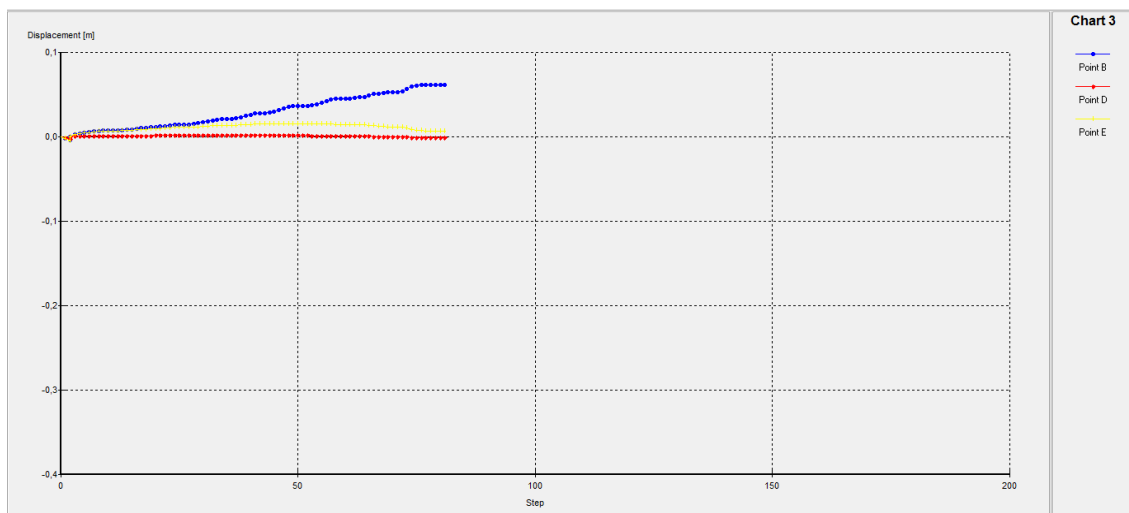
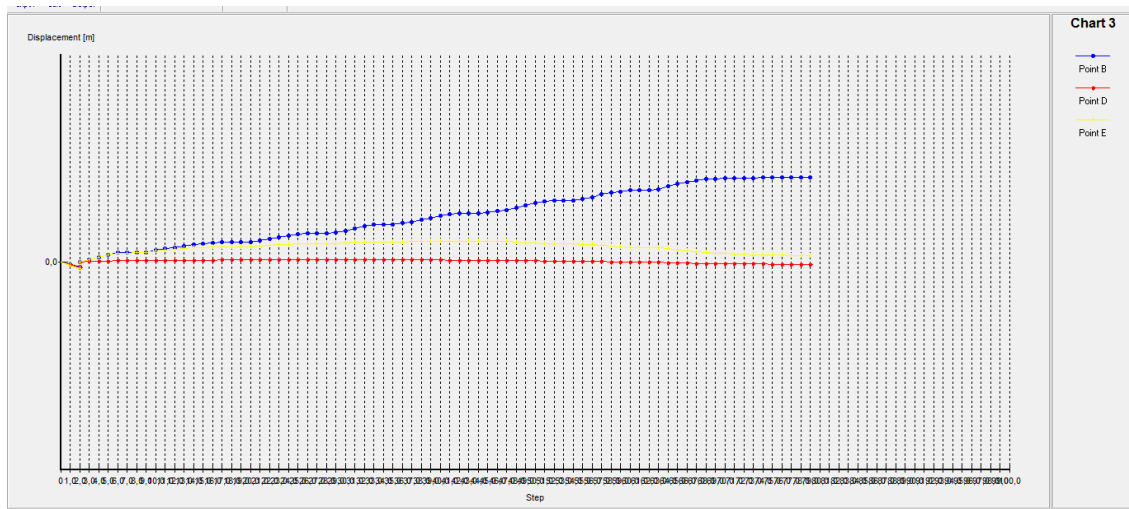
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (SHADINGS) ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΥΣ 3, 8, 13 m



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΥΣ 3, 8, 13 m ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ



ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **A, E, F** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΥΣ 3, 8, 13 m



ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **B**, **D**, **E** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  
ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΥΣ 3, 8, 13 m

---

# 2Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

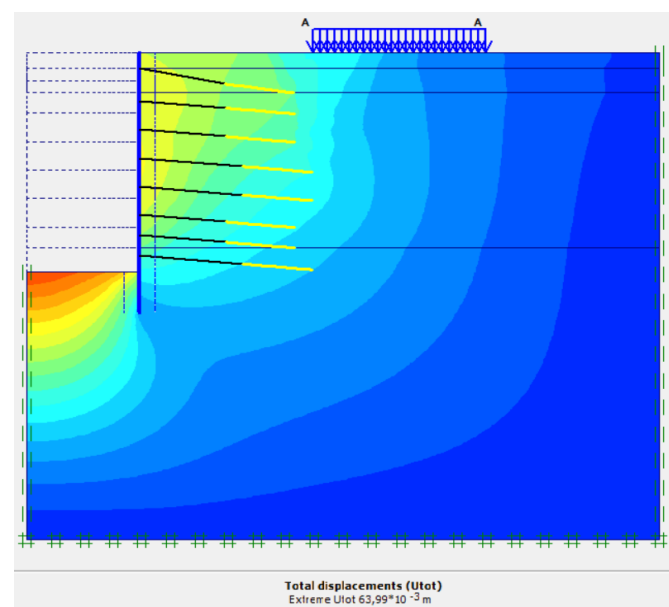
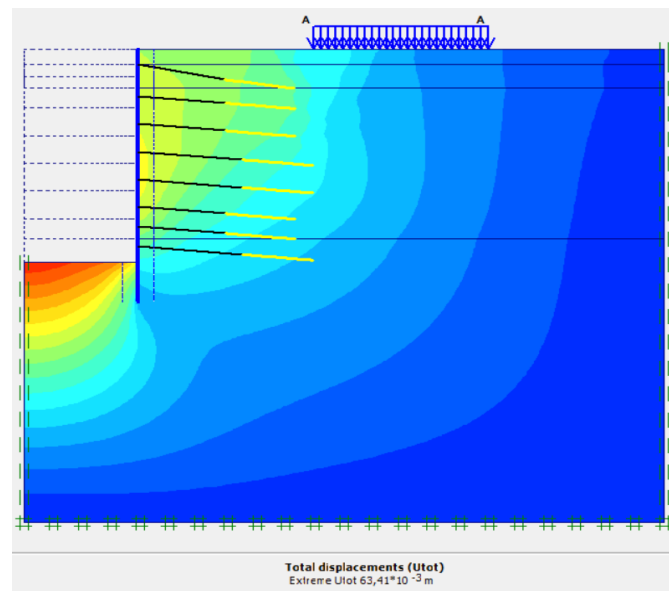
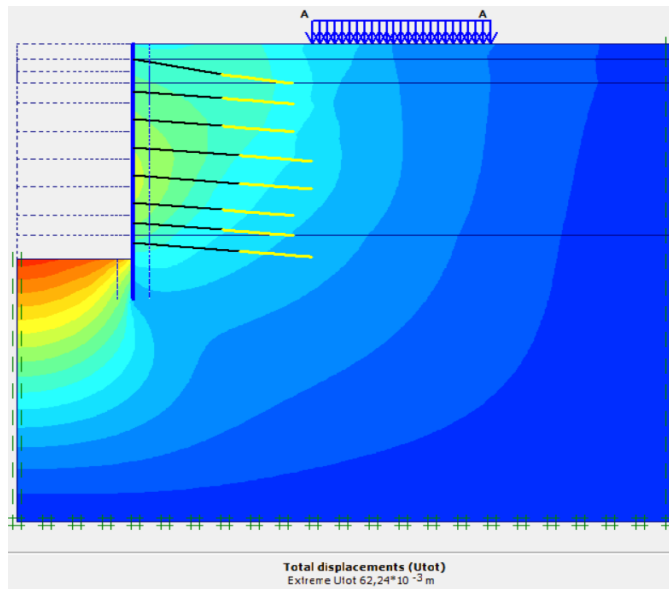
---

ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ  
ΕΚΣΚΑΦΗΣ:

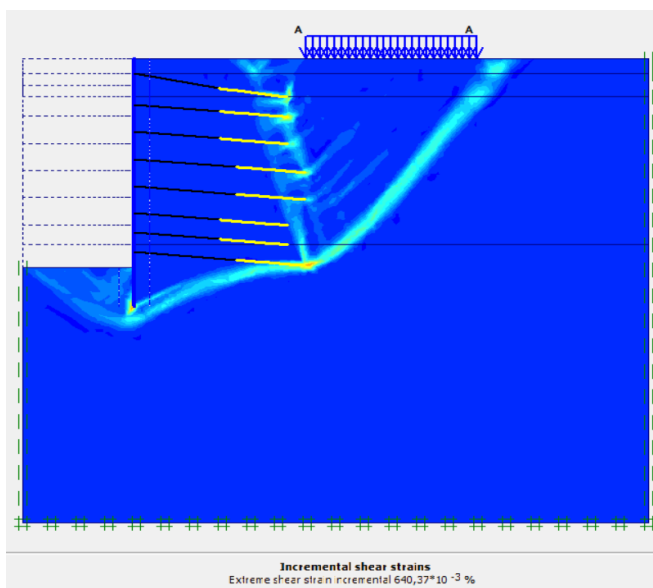
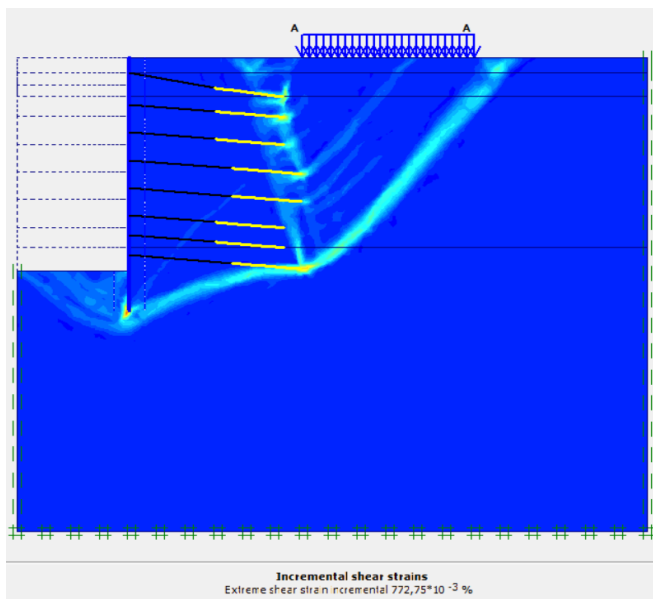
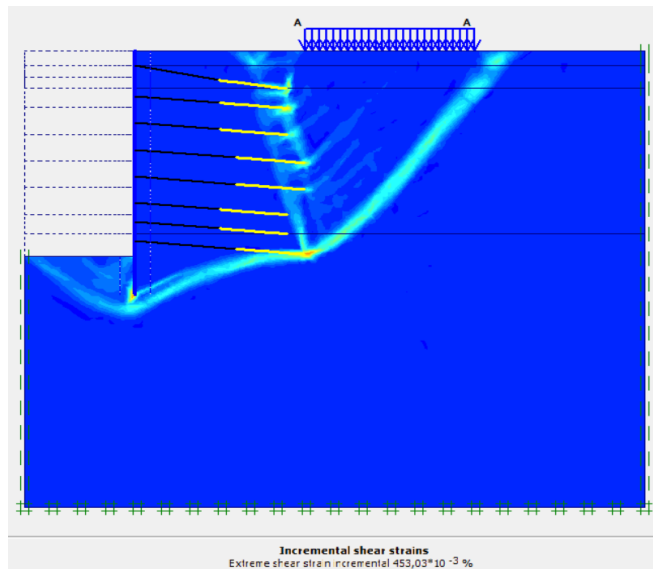
8 ΣΕΙΡΕΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

---

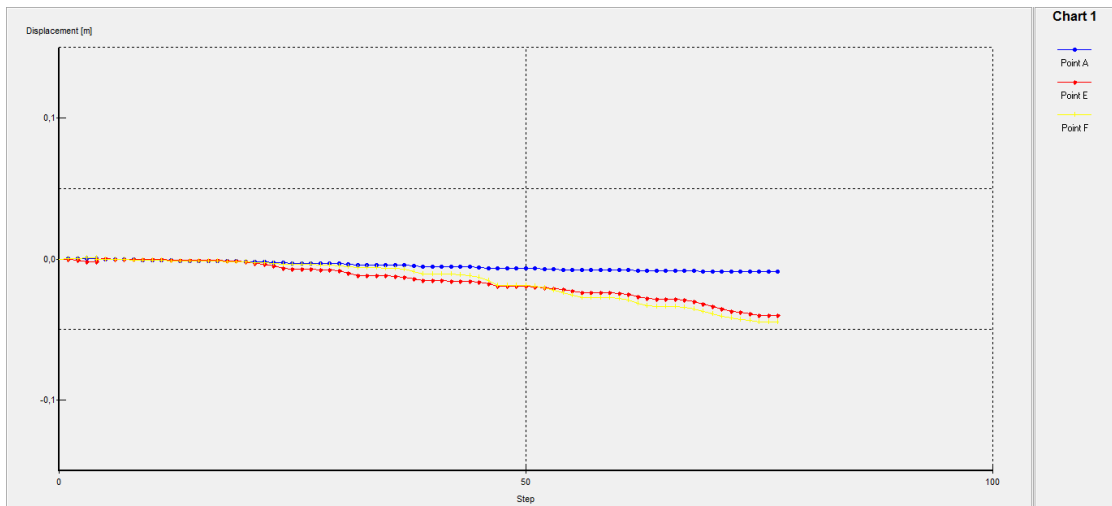
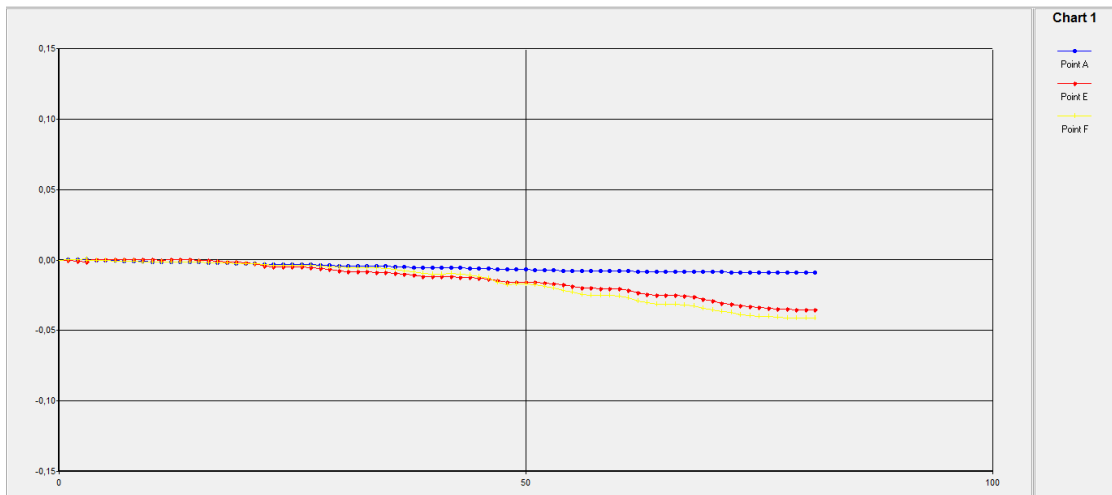
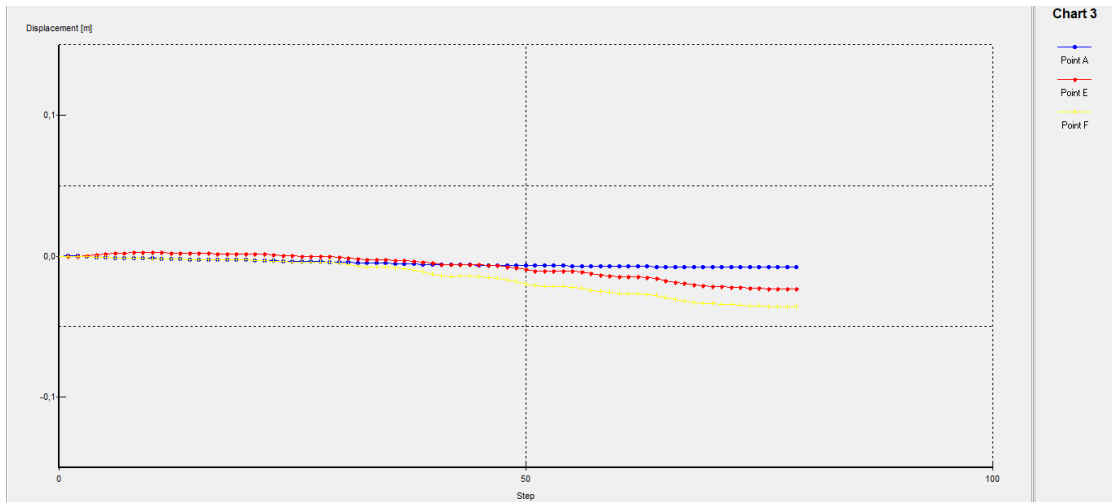




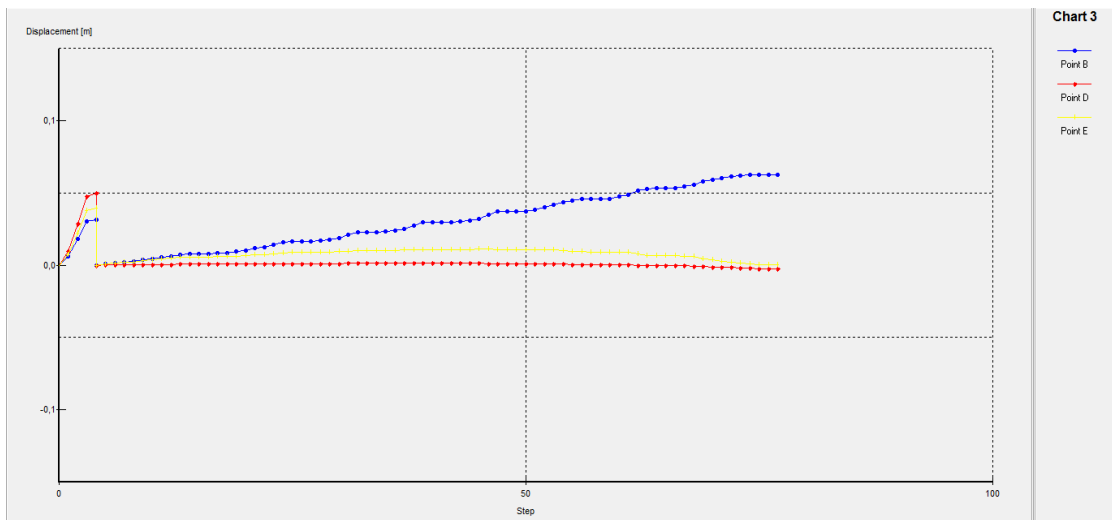
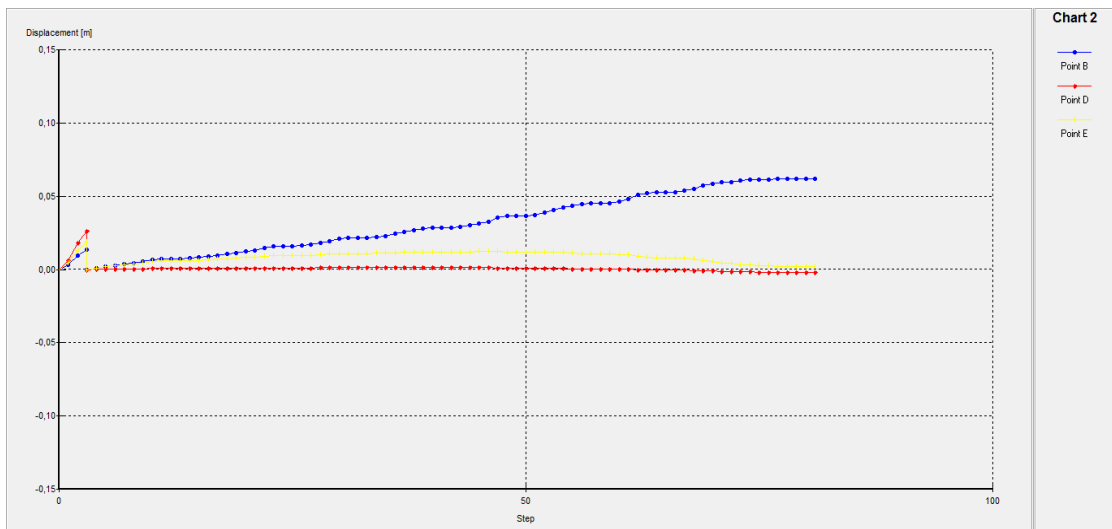
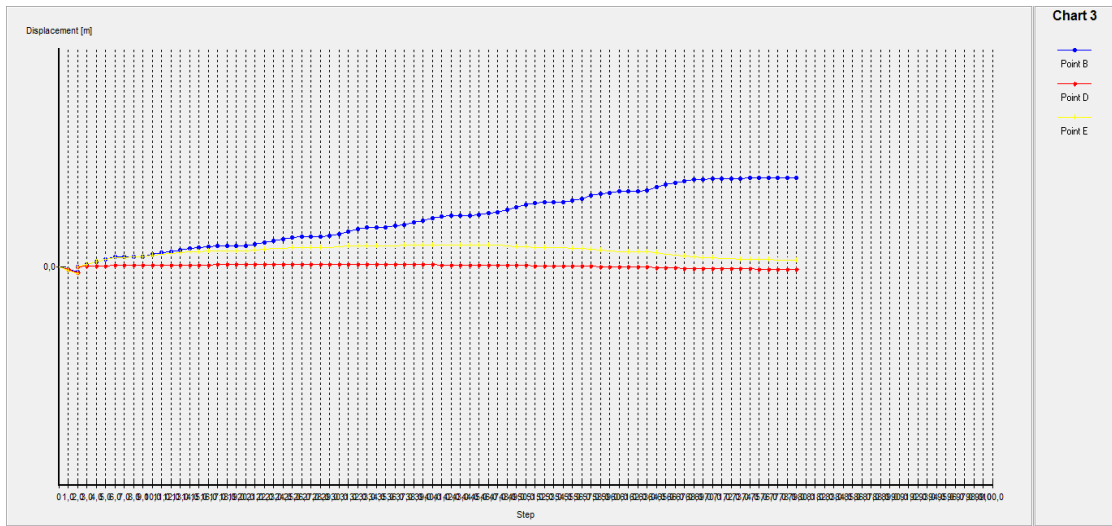
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (SHADINGS) ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ -5 m, -15 m, -25 m



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ -5 m, -15 m, -25 m



ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **A**, **E**, **F** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ -5 m, -15 m, -25 m



ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **B, D, E** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  
ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ -5 m, -15 m, -25 m

---

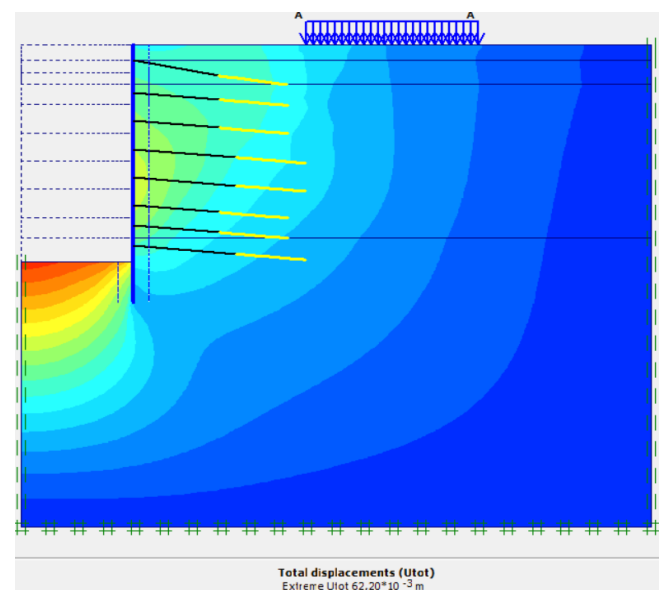
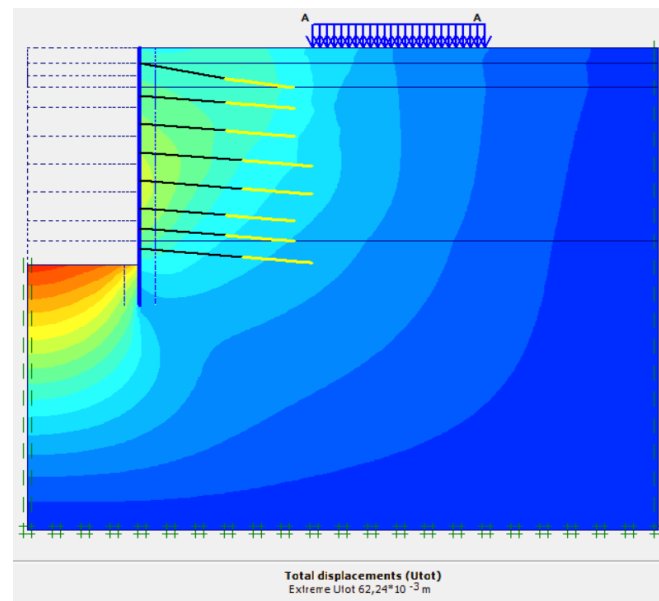
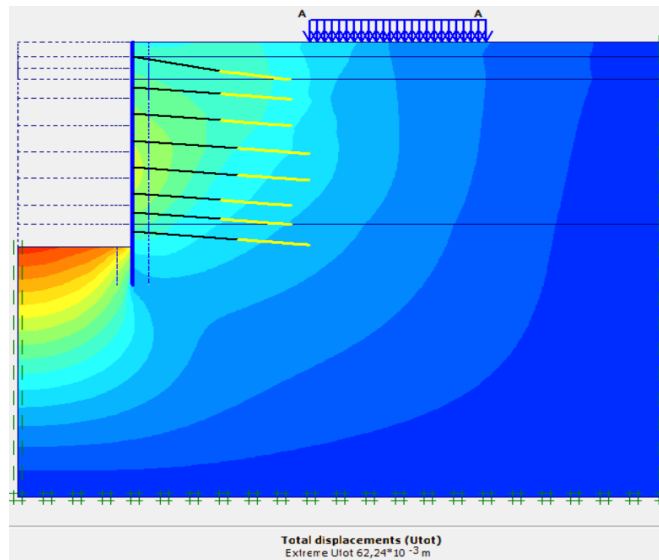
# 3Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

---

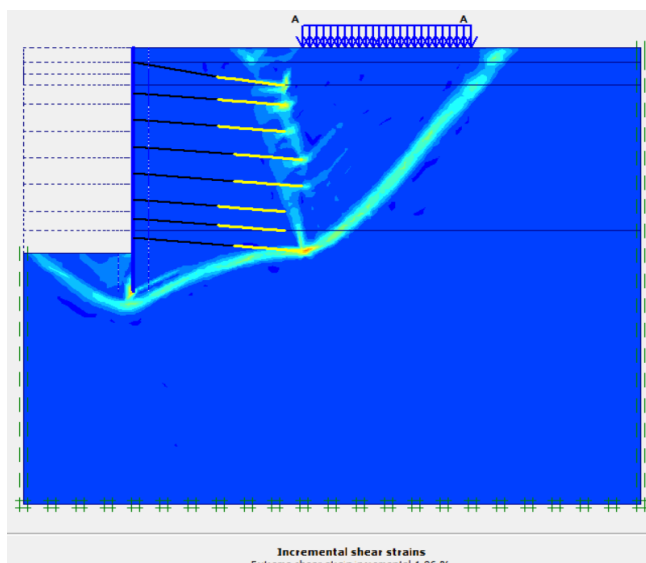
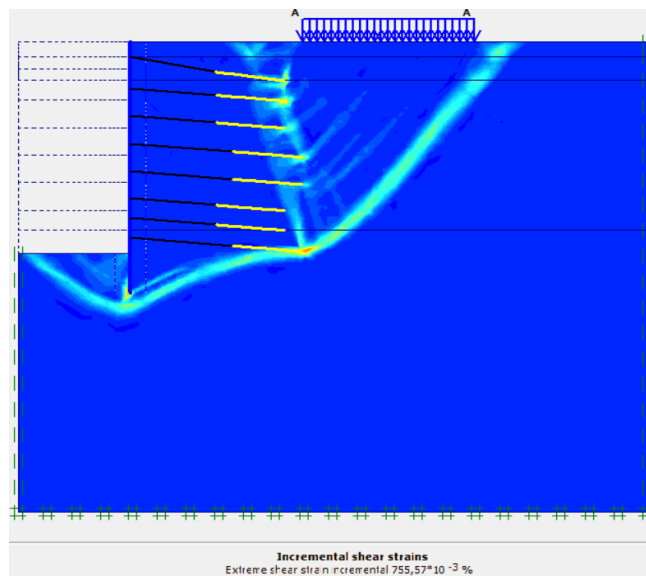
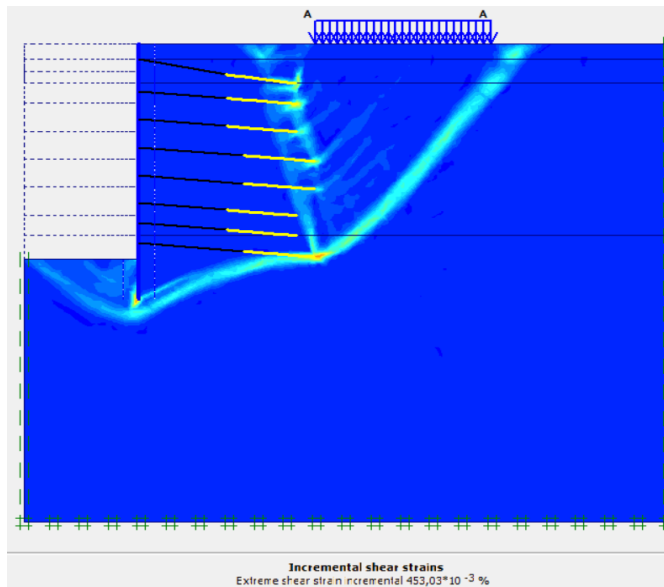
ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ  
ΕΚΣΚΑΦΗΣ:

8 ΣΕΙΡΕΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

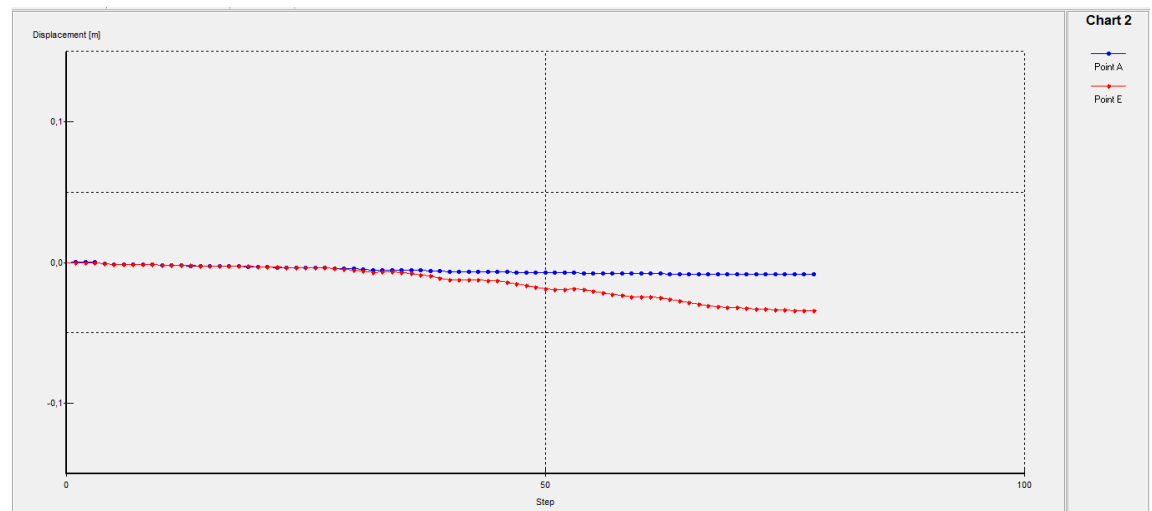
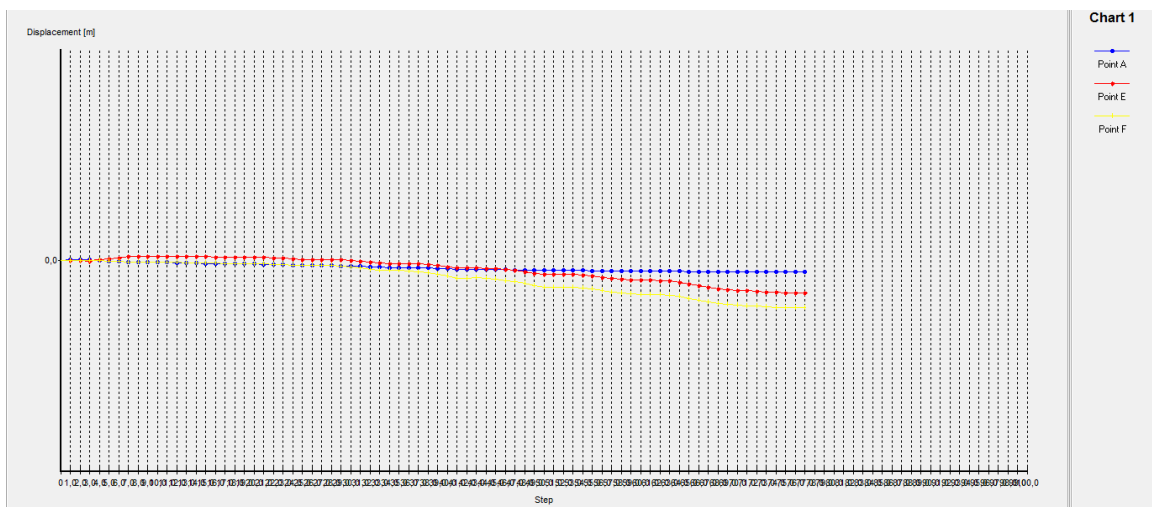
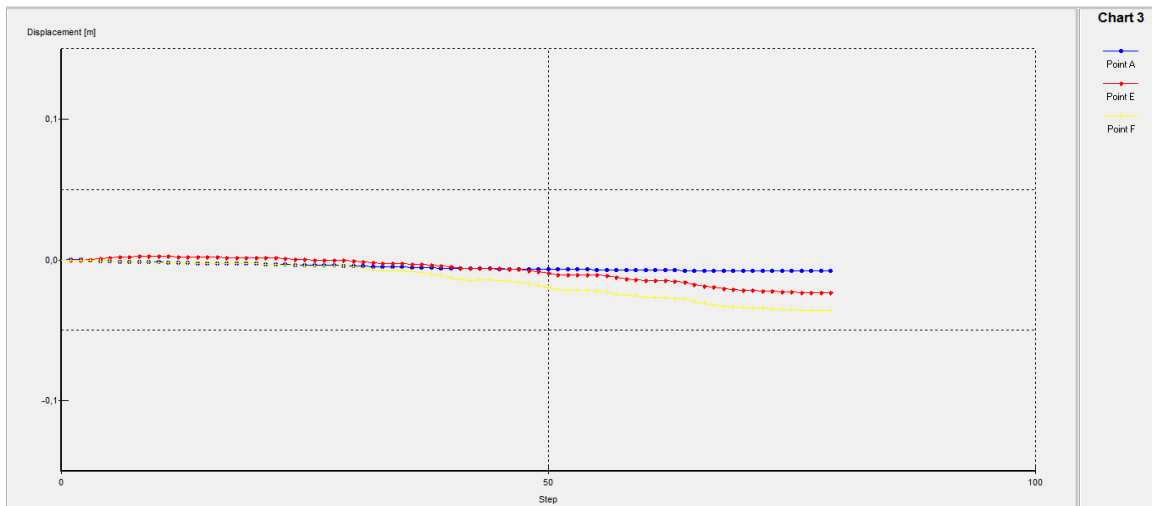
---



ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (SHADINGS) ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ 1,5 m, 2 m, 2,5 m

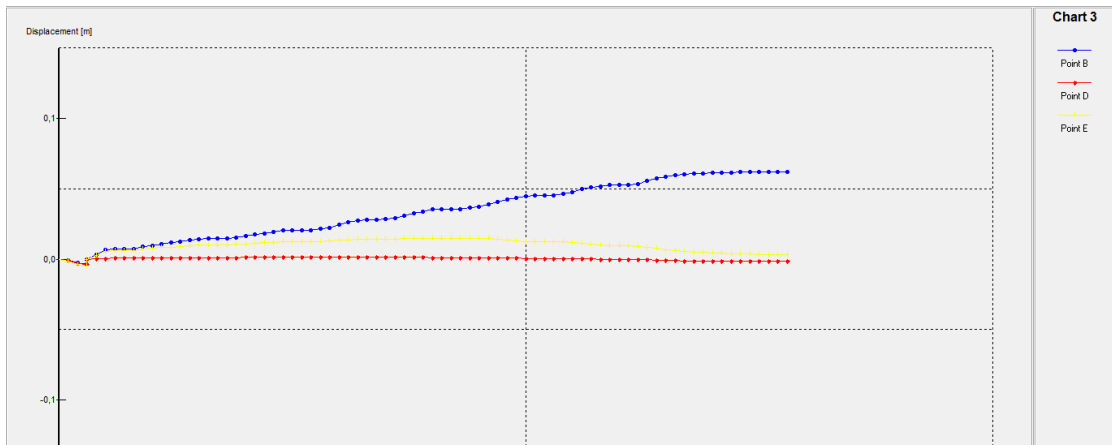
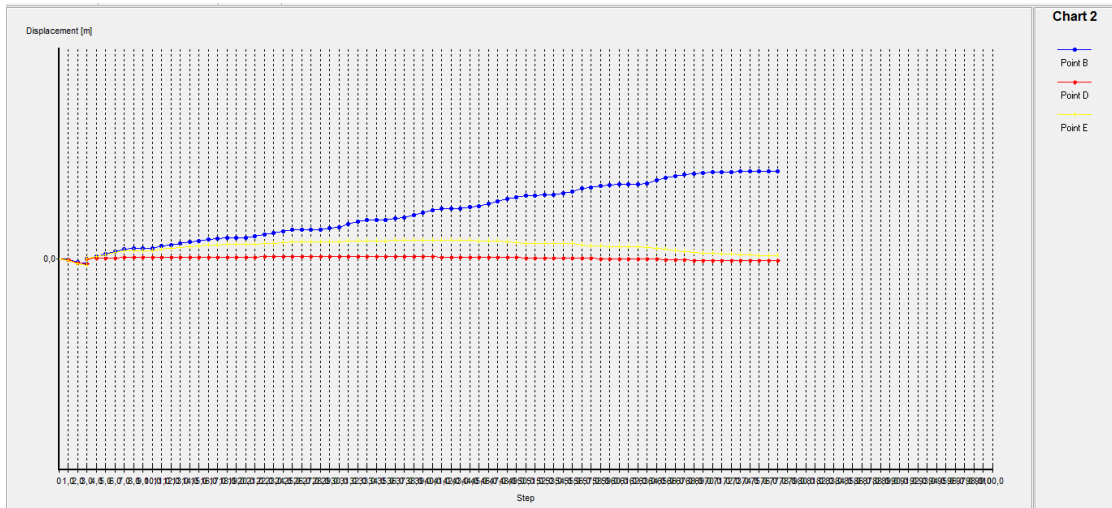
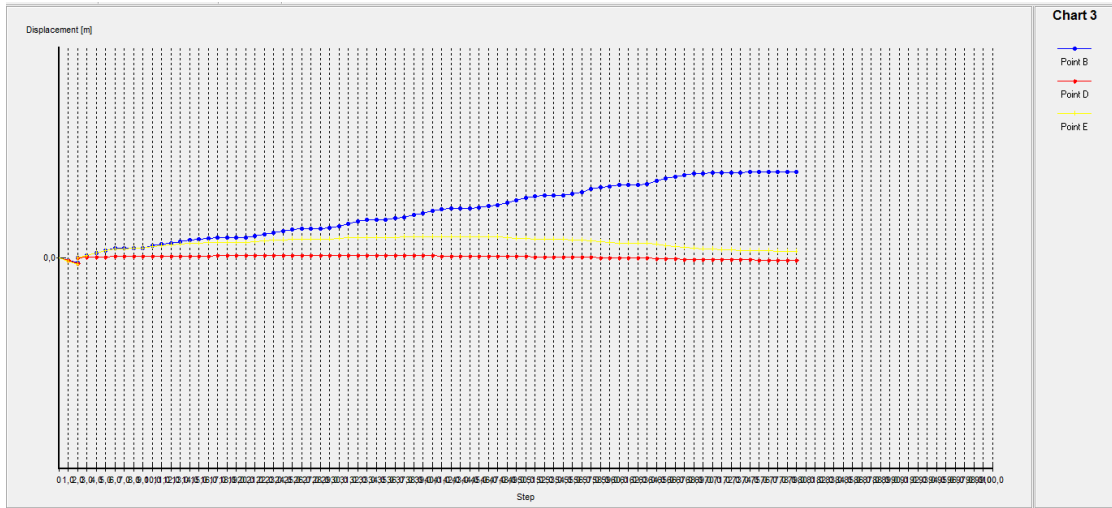


ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ 1,5 m, 2 m, 2,5 m



ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **A**, **E**, **F** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ 1,5 m, 2 m, 2,5 m





ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **B, D, E** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ 1,5 m, 2 m, 2,5 m

---

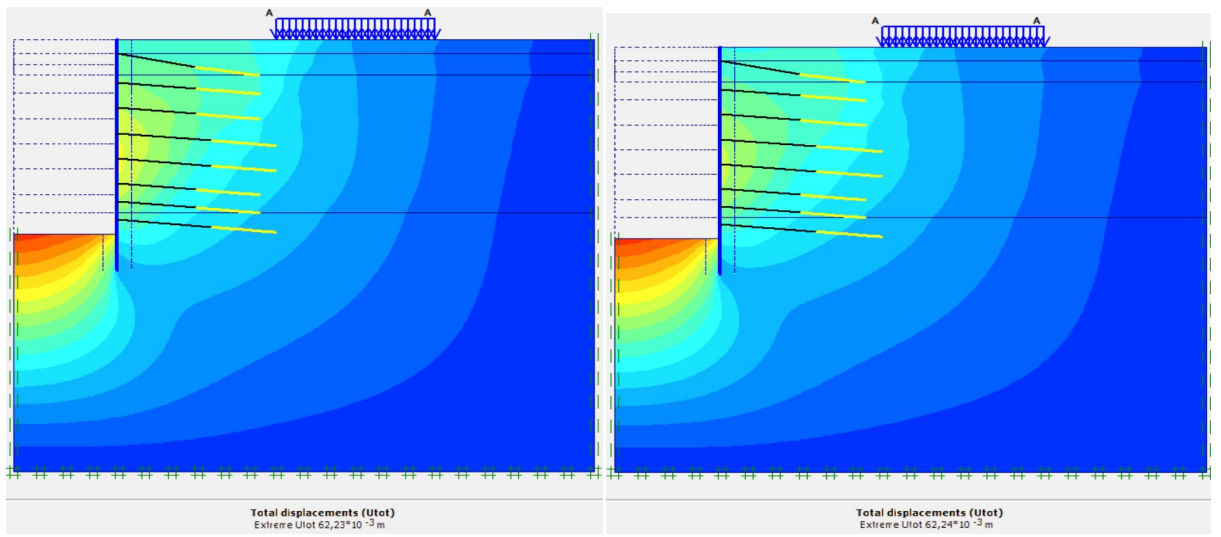
# 4Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

---

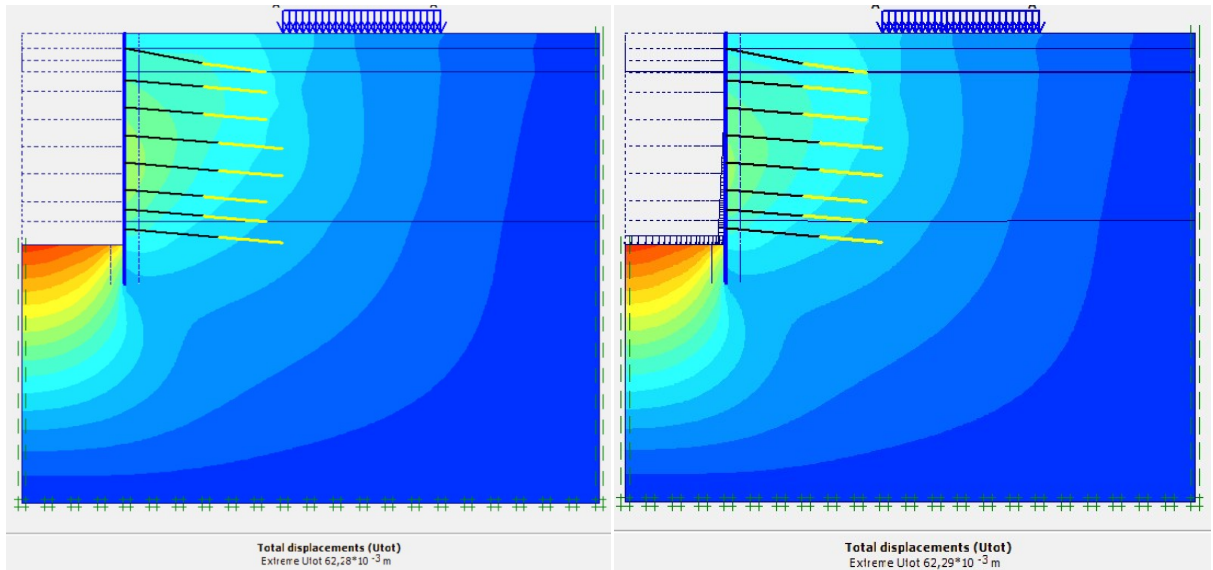
ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ  
ΕΚΣΚΑΦΗΣ:

8 ΣΕΙΡΕΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

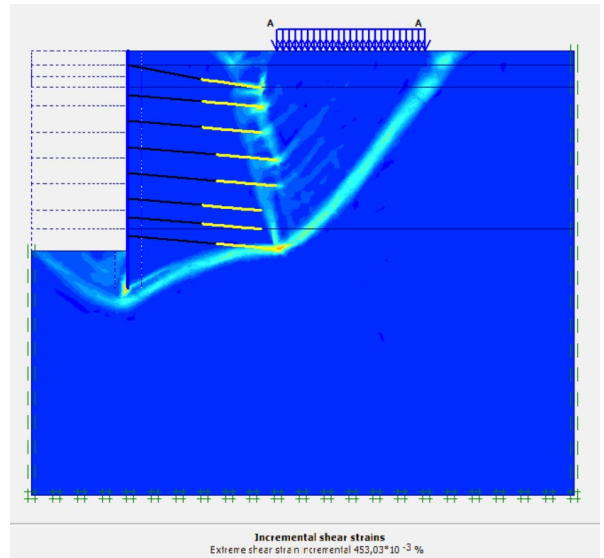
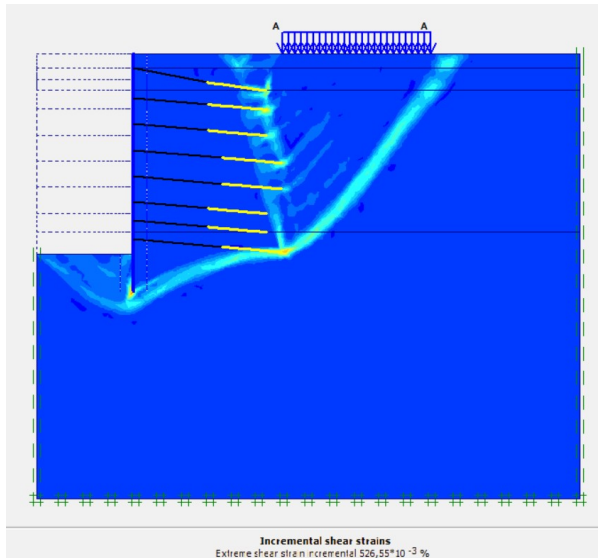
---



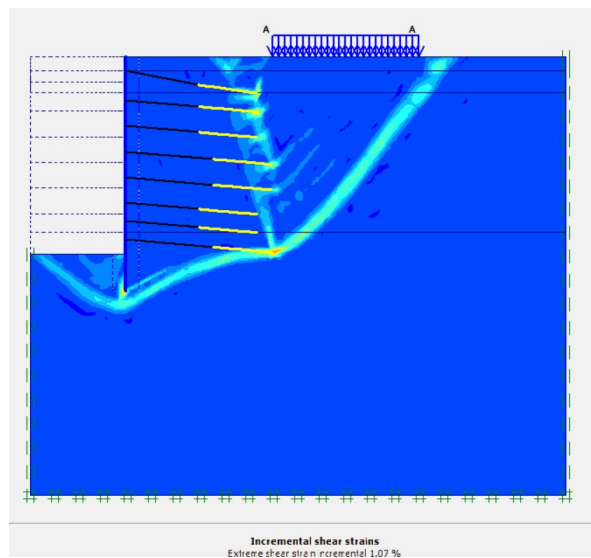
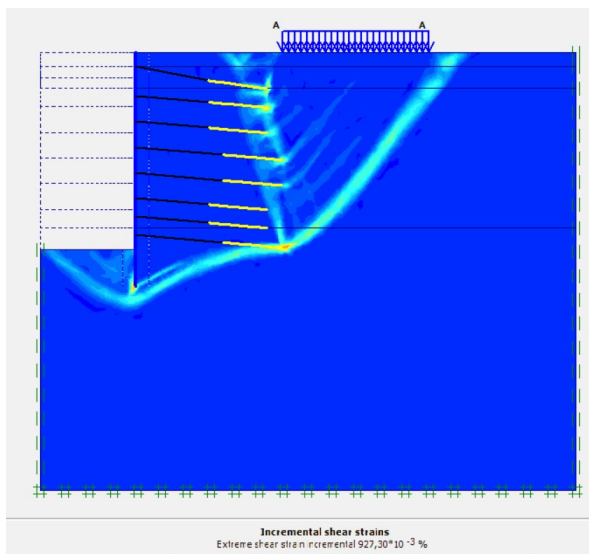
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (SHADINGS) ΓΙΑ ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ 100 kN ΚΑΙ 300 kN



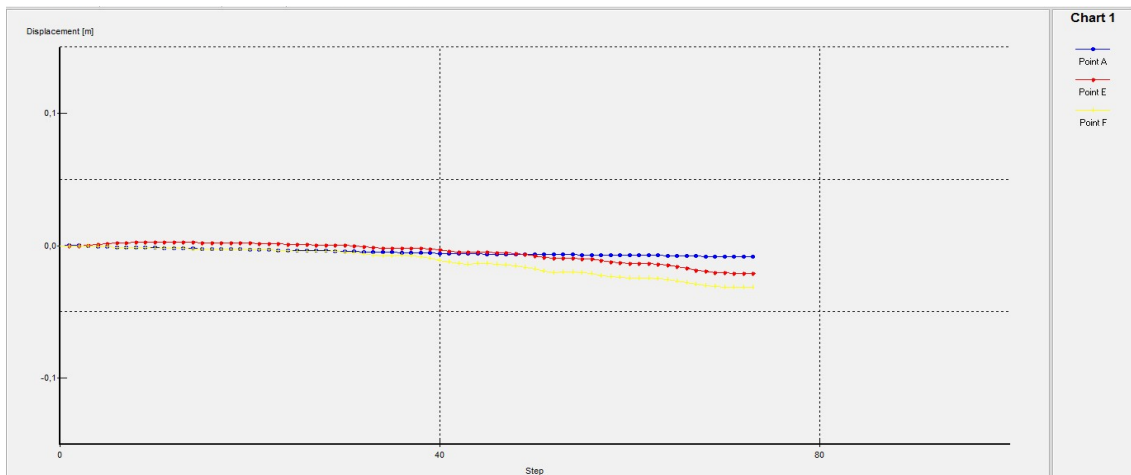
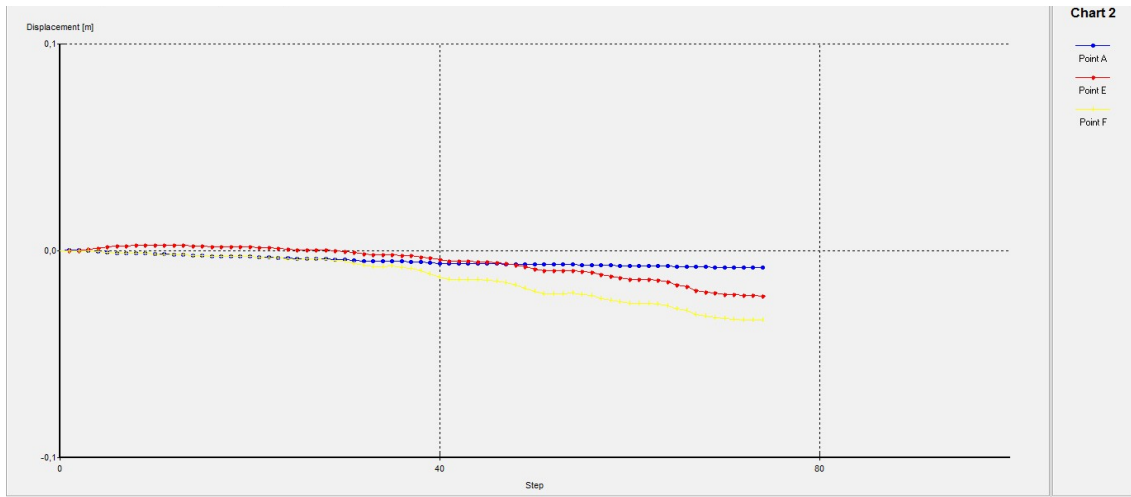
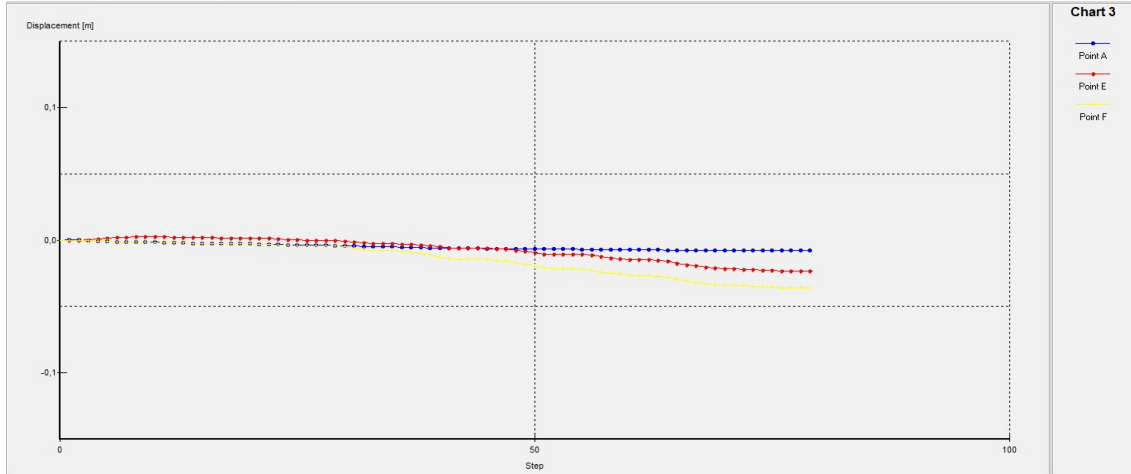
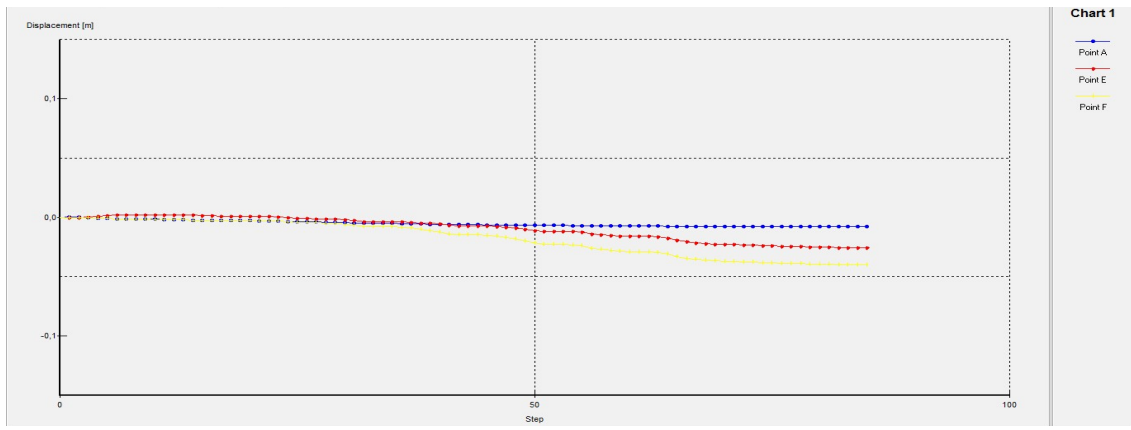
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (SHADINGS) ΓΙΑ ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ 450 kN ΚΑΙ 600 kN



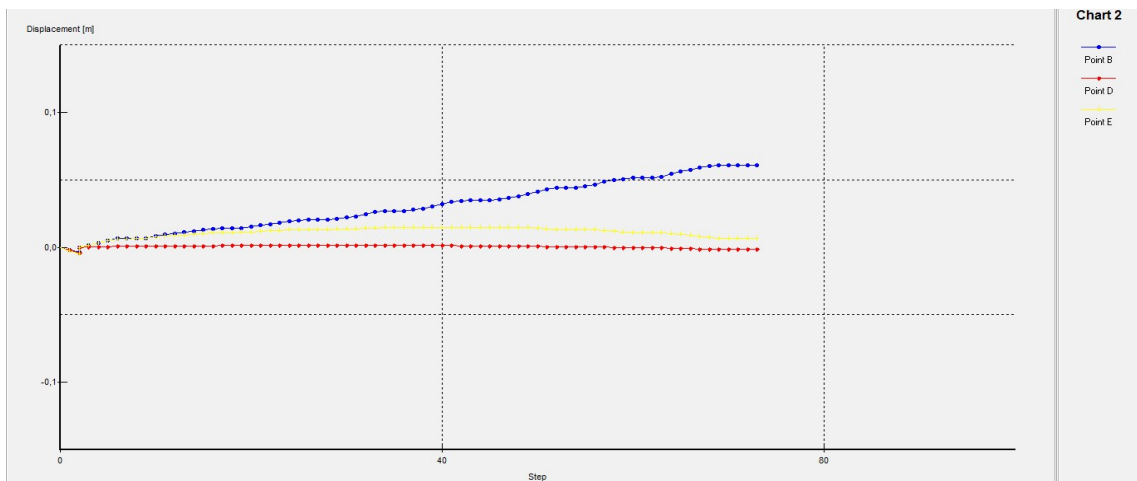
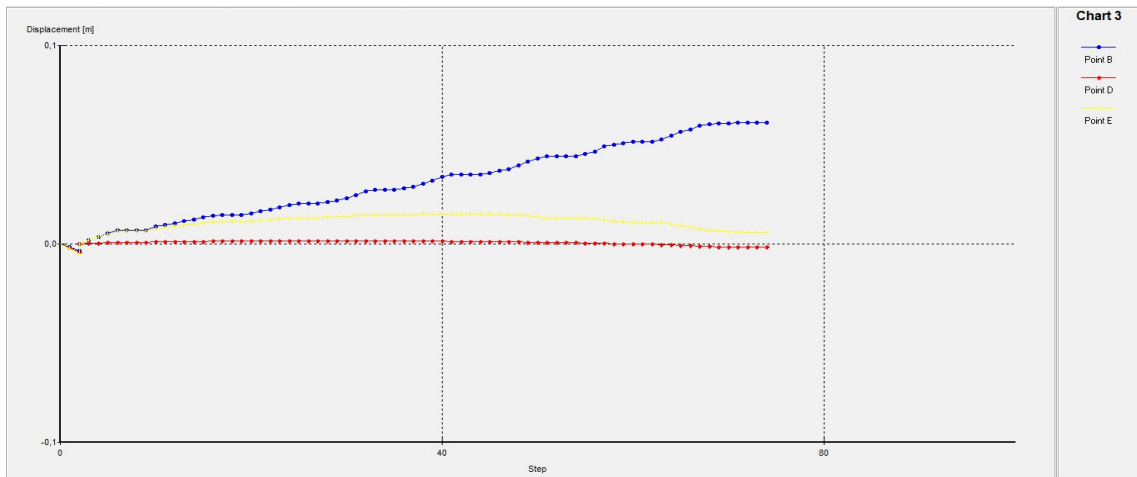
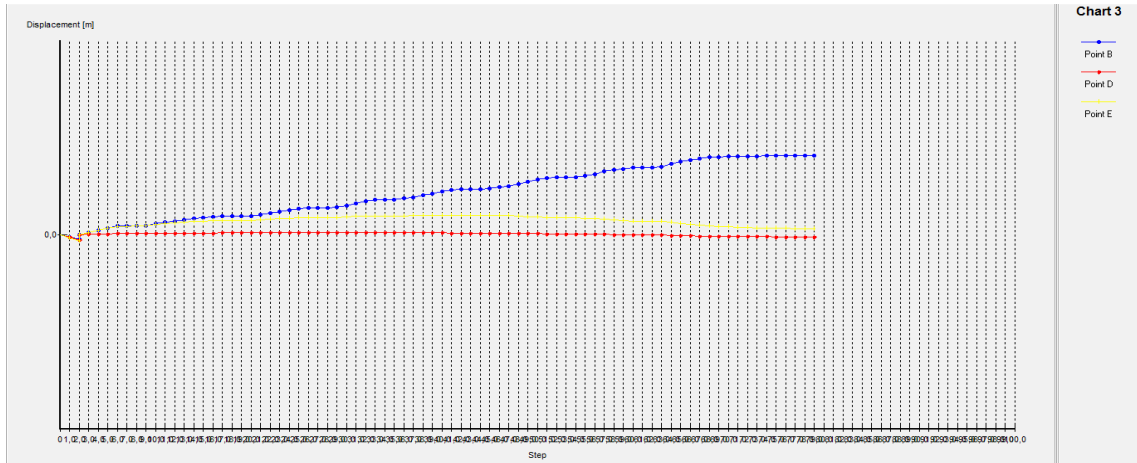
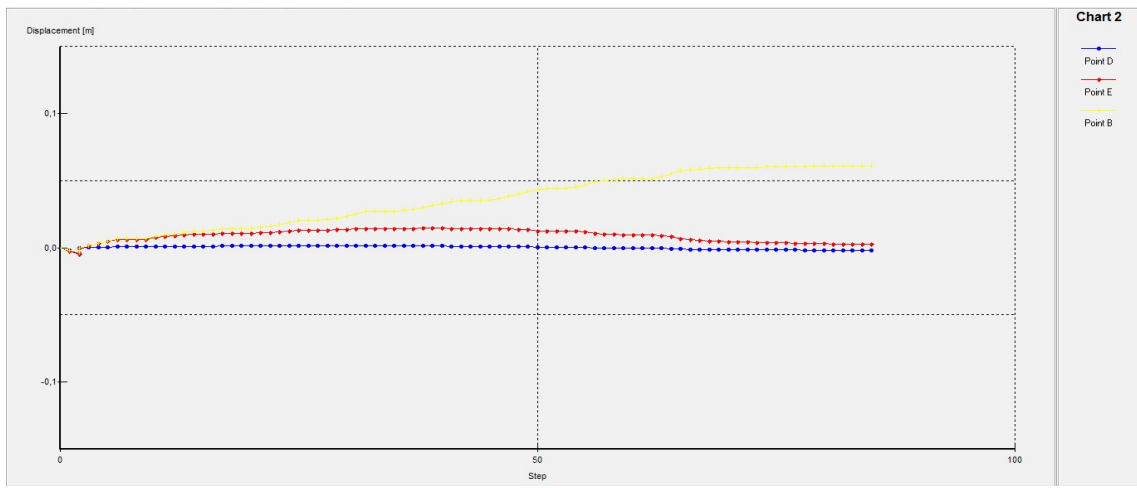
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ 100 kN ΚΑΙ 300 kN



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ 450 kN ΚΑΙ 600 kN



ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **A, E, F** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ 100 kN, 300 kN, 450 kN ΚΑΙ 600 kN



ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **B, D, E** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ 100 kN, 300 kN, 450 kN ΚΑΙ 600 kN

---

5<sup>Η</sup>

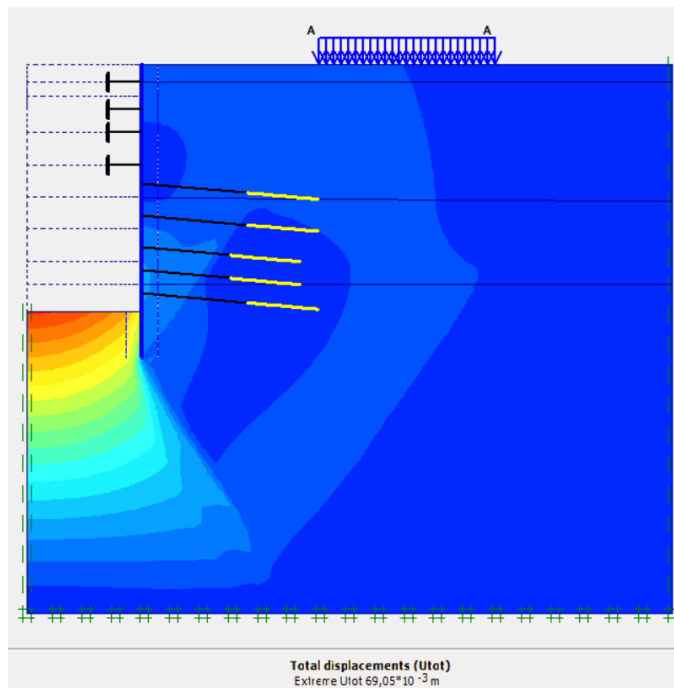
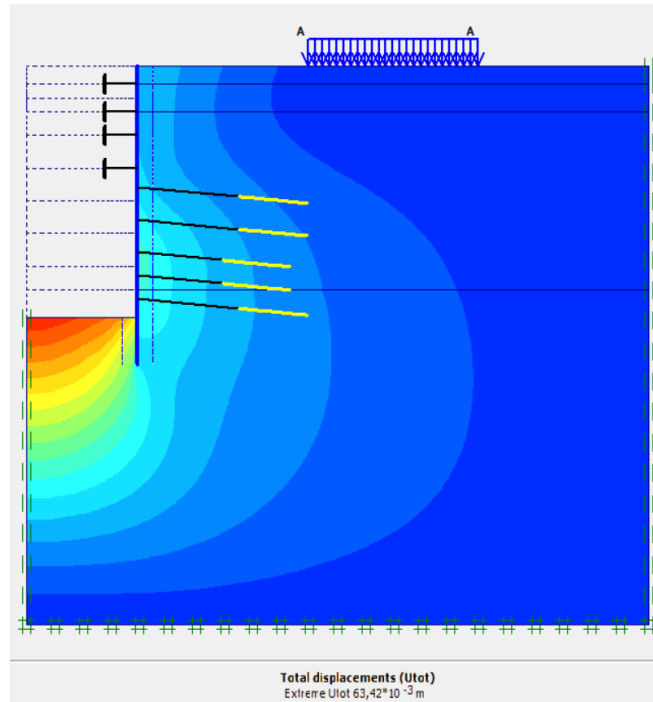
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ  
ΑΝΑΛΥΣΗ

---

ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ  
ΕΚΣΚΑΦΗΣ:

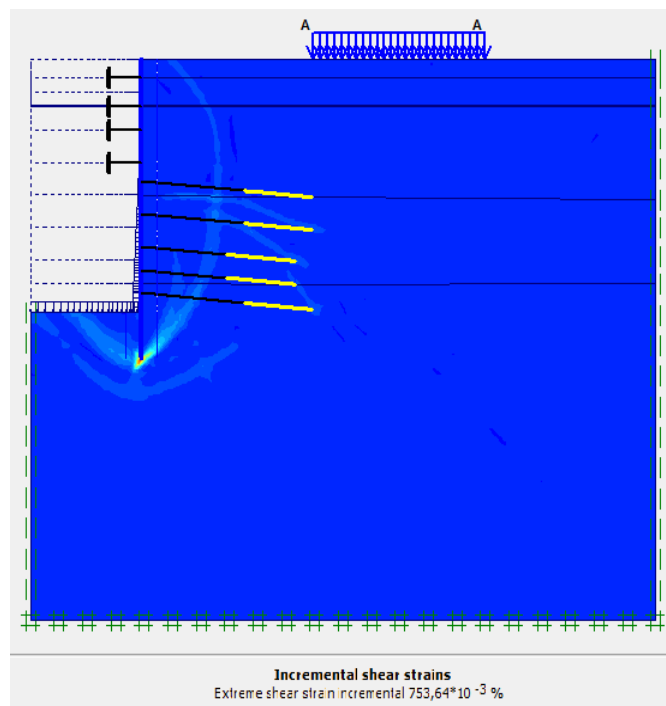
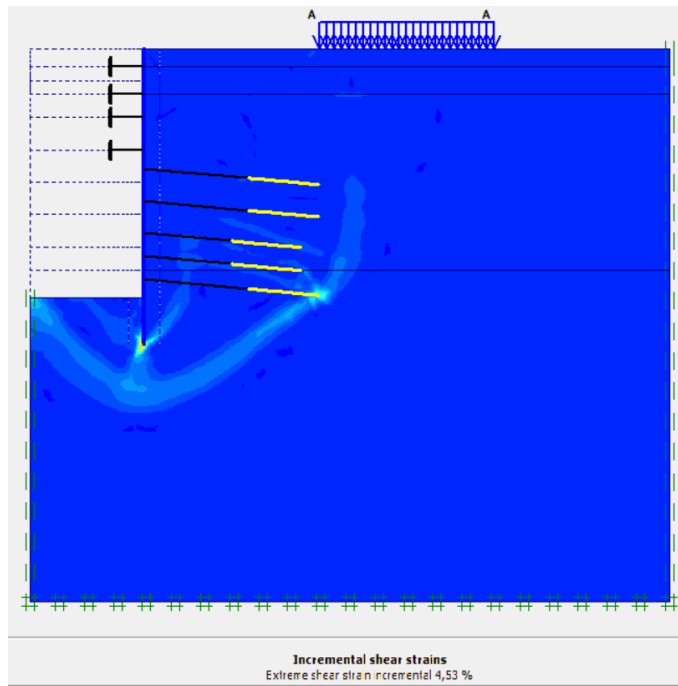
5 ΣΕΙΡΕΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΚΑΙ  
4 ΣΕΙΡΕΣ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ

---

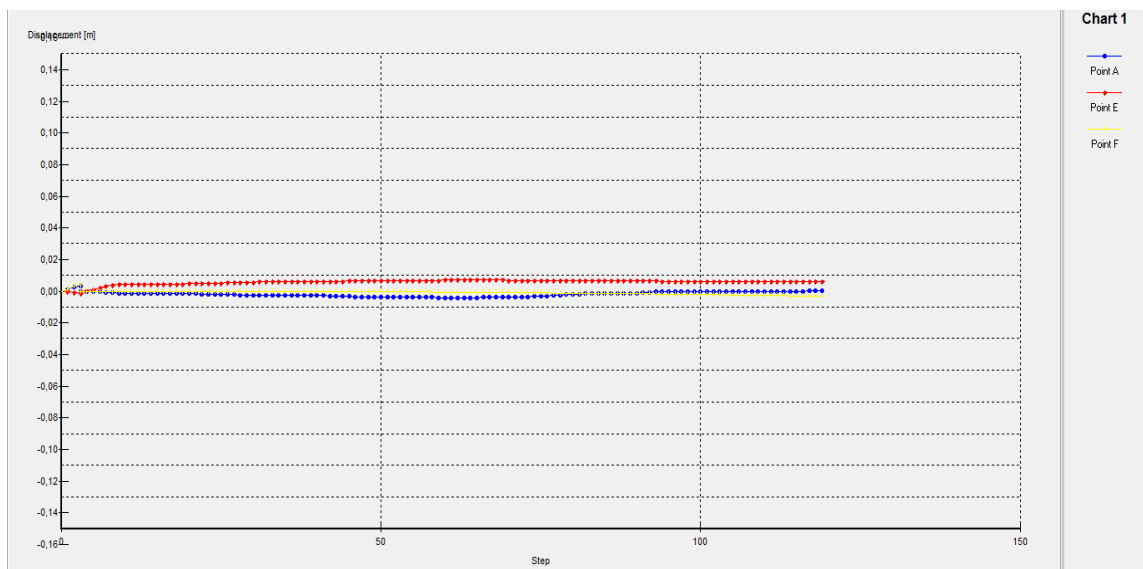
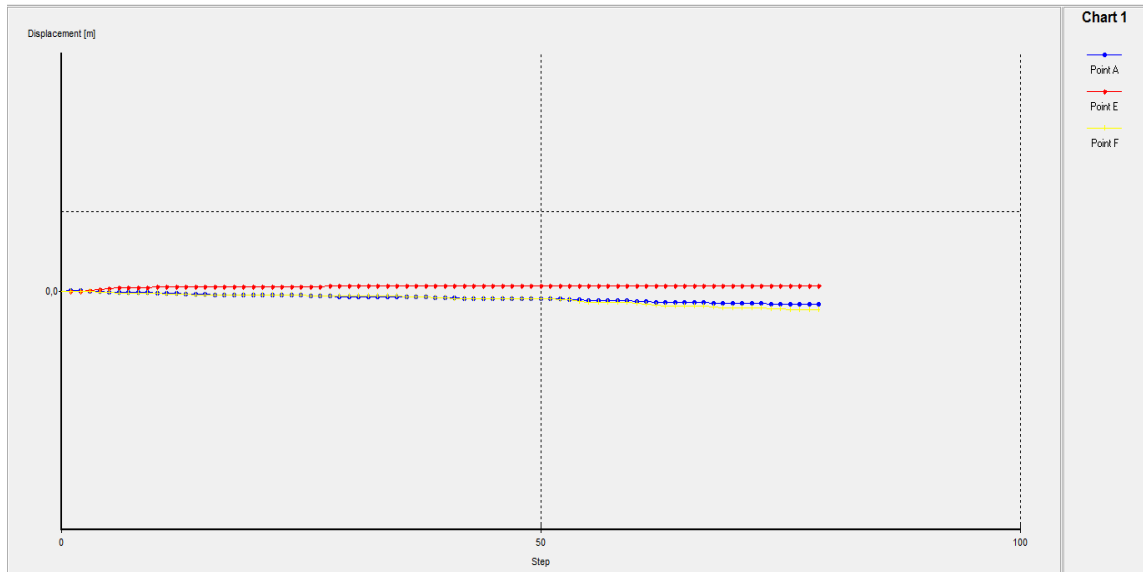


ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (SHADINGS) ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΥΣ 3 m ΚΑΙ 13 m

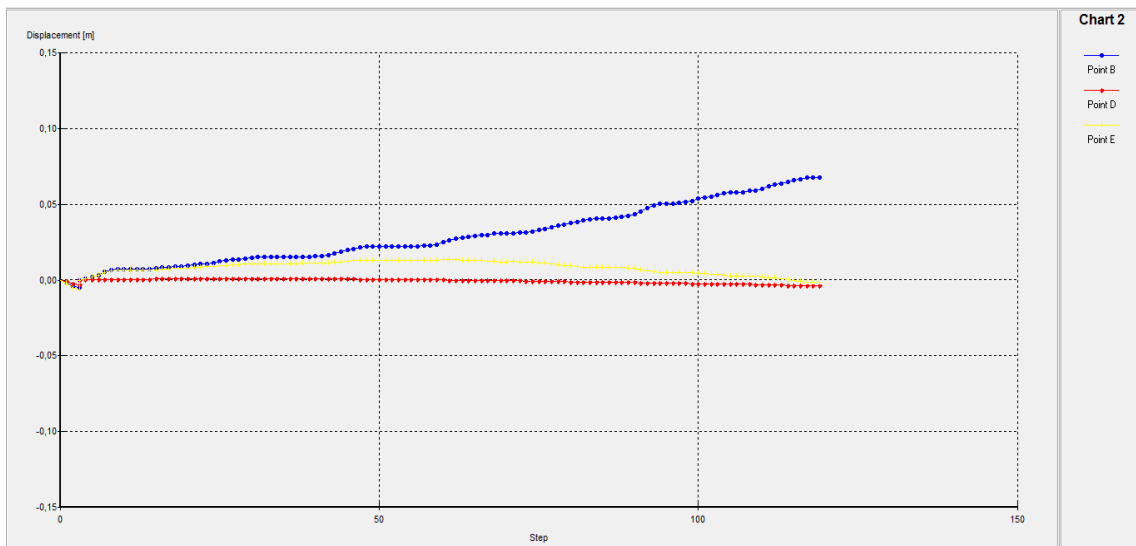
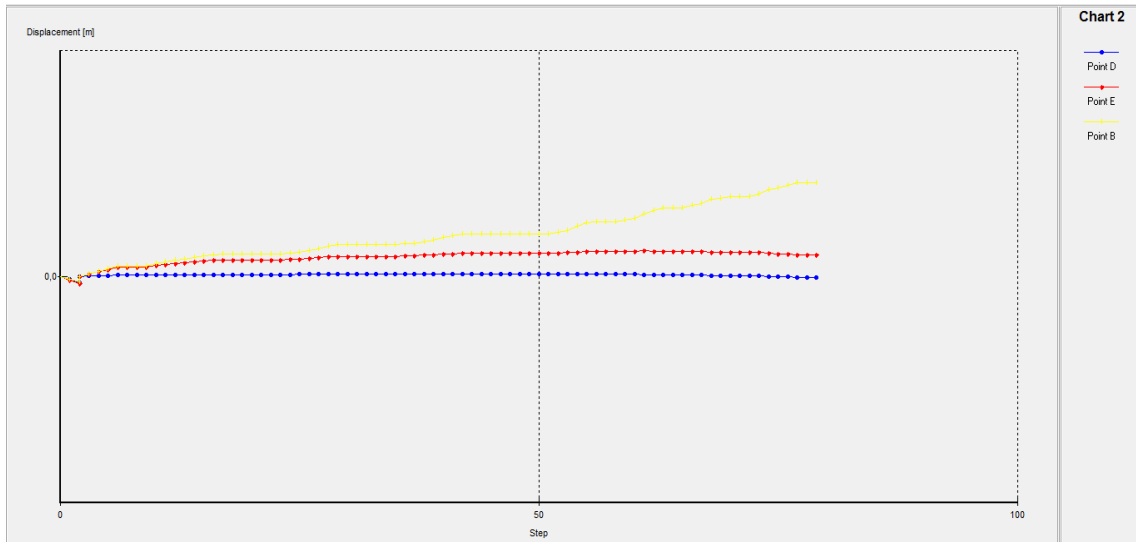




ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΥΣ 3 m ΚΑΙ 13 m ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ



ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **A**, **E**, **F** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΥΣ 3 m ΚΑΙ 13 m



ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **B**, **D**, **E** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  
ΓΙΑ ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΟΥΣ 3 m ΚΑΙ 13 m

---

6<sup>Η</sup>

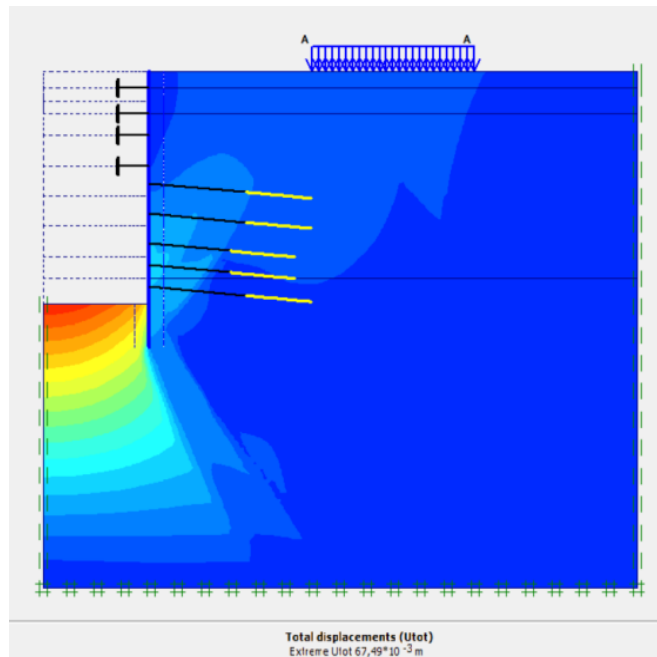
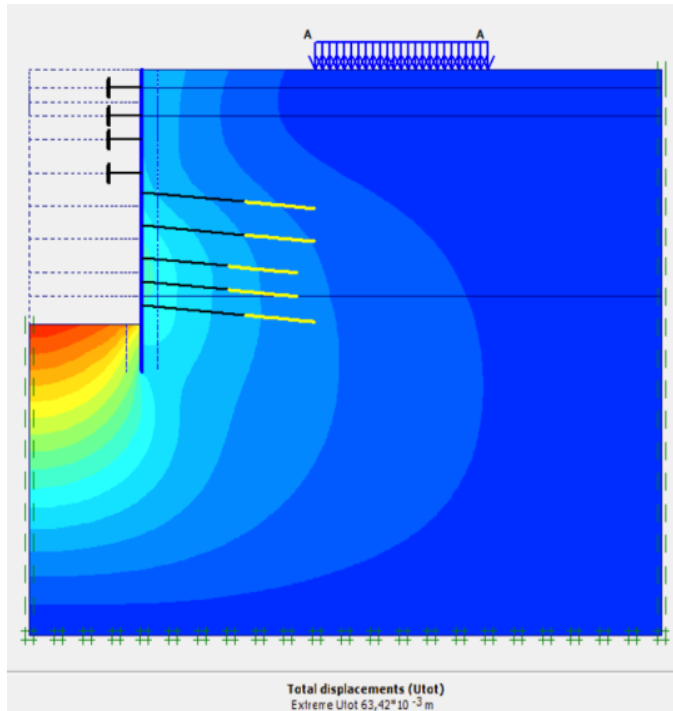
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ  
ΑΝΑΛΥΣΗ

---

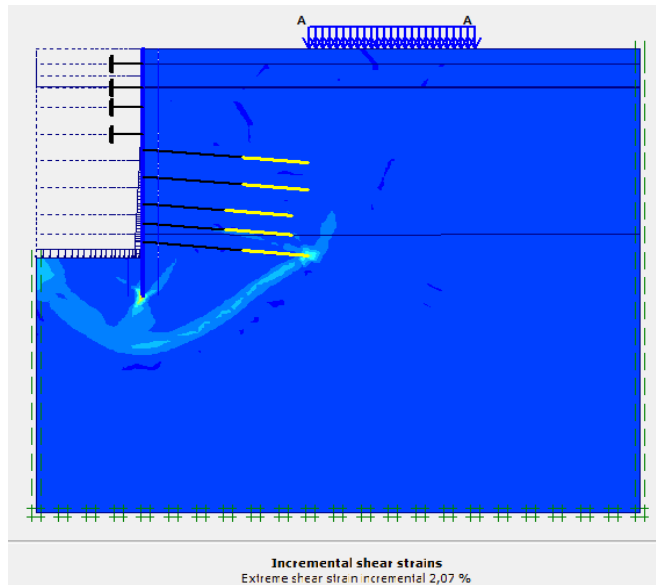
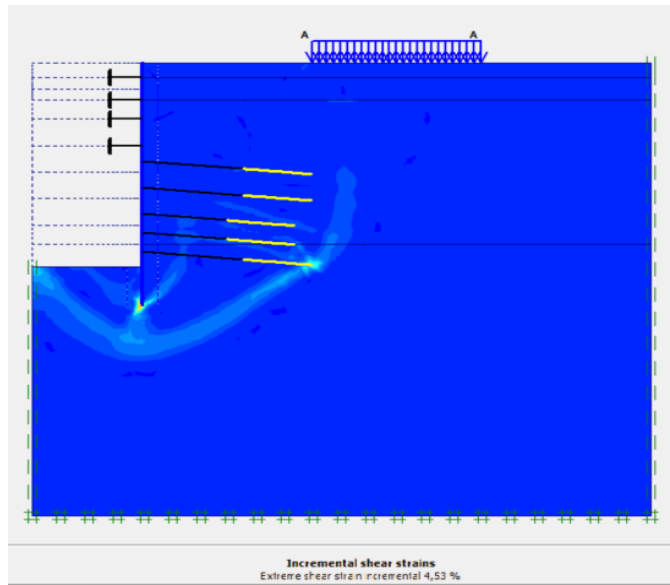
ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ  
ΕΚΣΚΑΦΗΣ:

5 ΣΕΙΡΕΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΚΑΙ  
4 ΣΕΙΡΕΣ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ

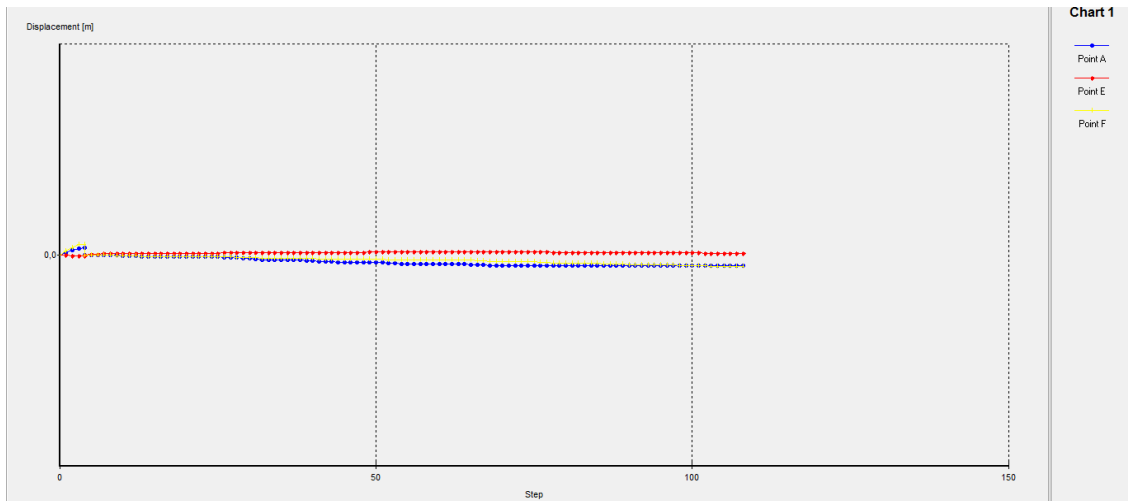
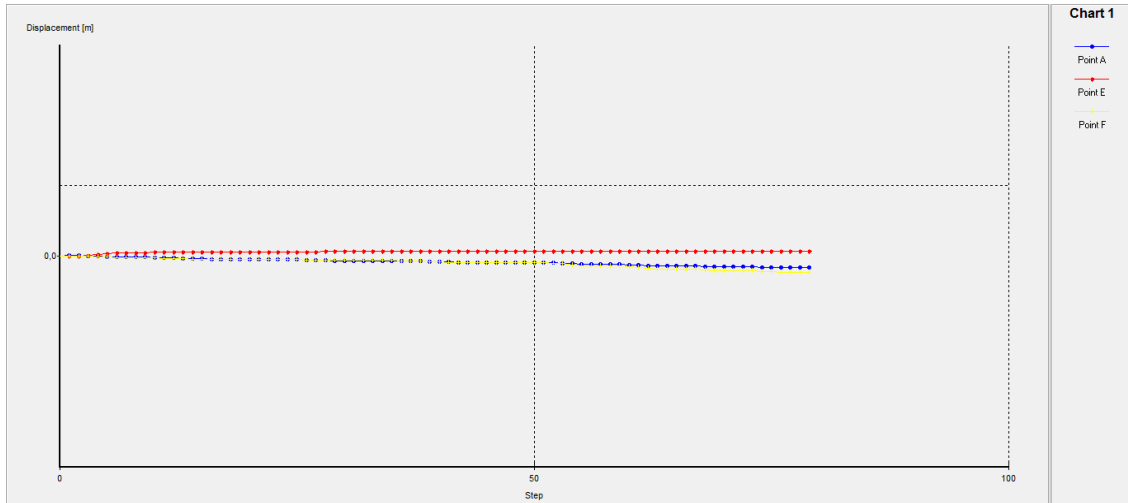
---



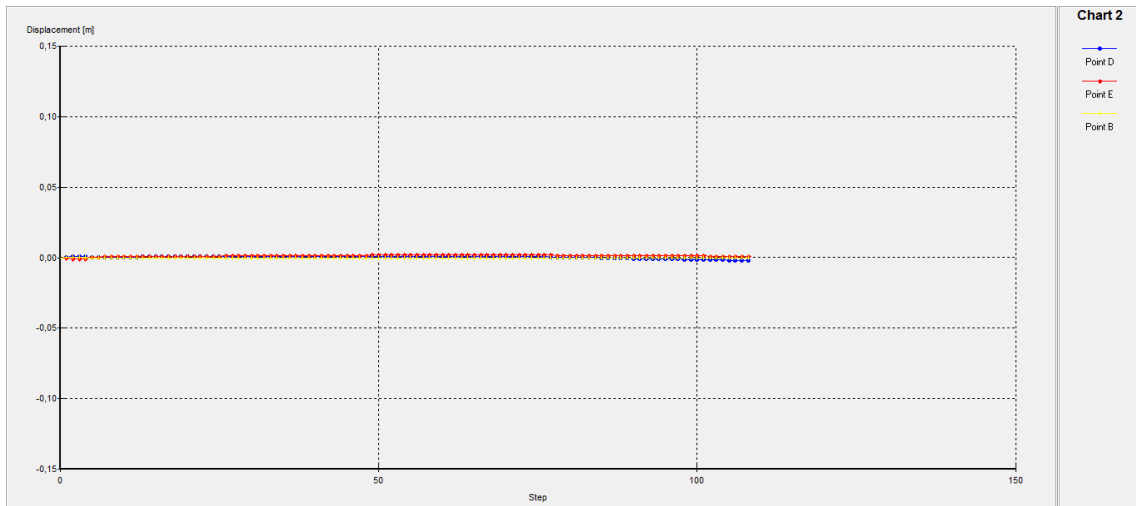
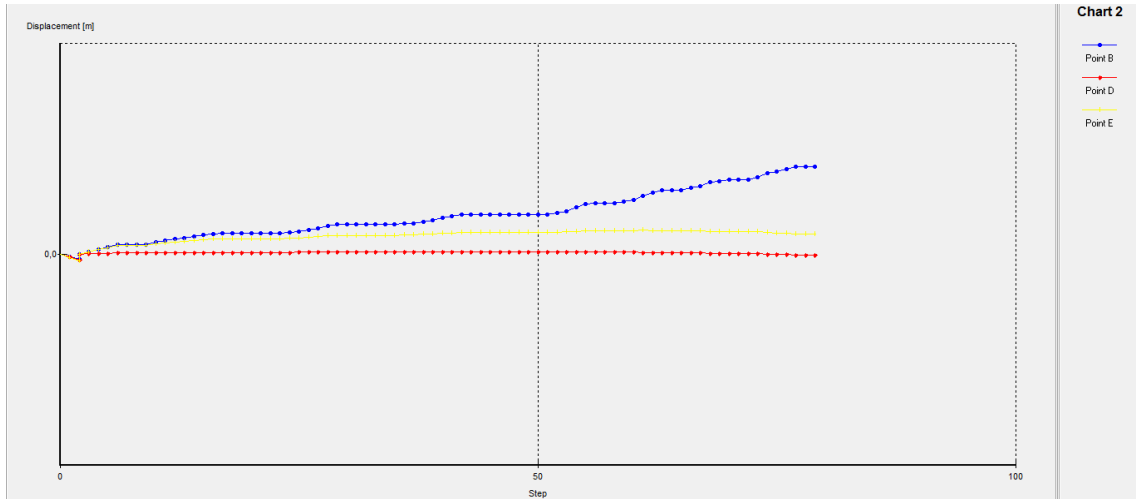
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (SHADINGS) ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ -5 m, -15 m.



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ -5 m ΚΑΙ -15 m.



ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **A**, **E**, **F** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ -5 m ΚΑΙ -15 m.



ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **B, D, E** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  
ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ -5 m ΚΑΙ -15 m.



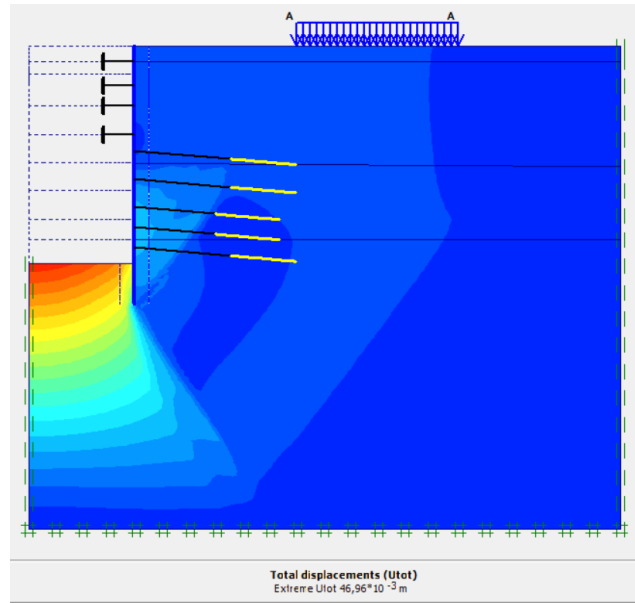
---

# 7Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

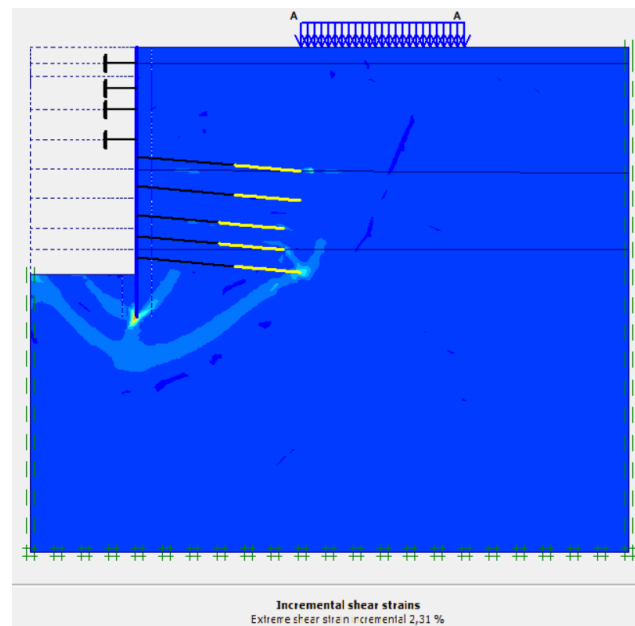
---

ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ  
ΕΚΣΚΑΦΗΣ:  
5 ΣΕΙΡΕΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΚΑΙ  
4 ΣΕΙΡΕΣ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ

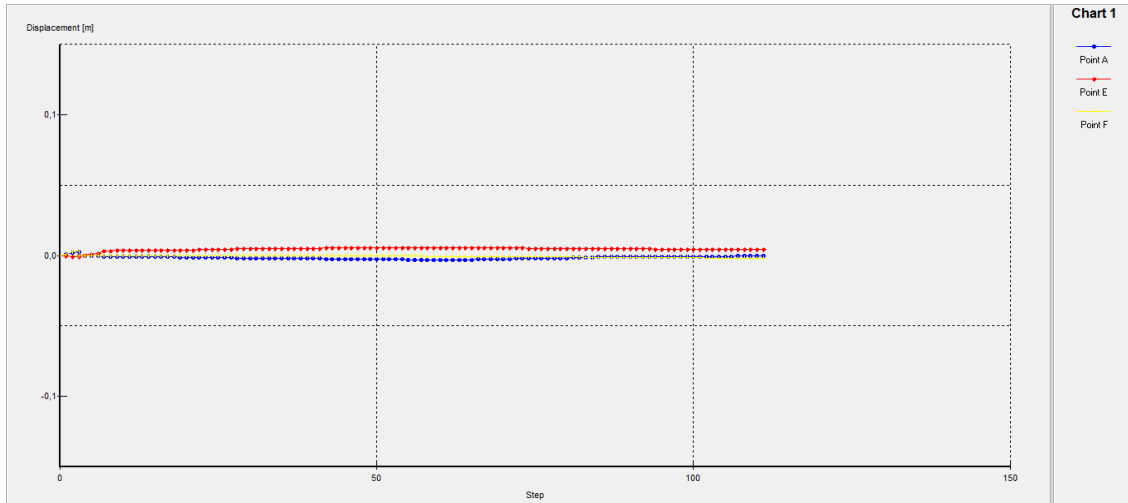
---



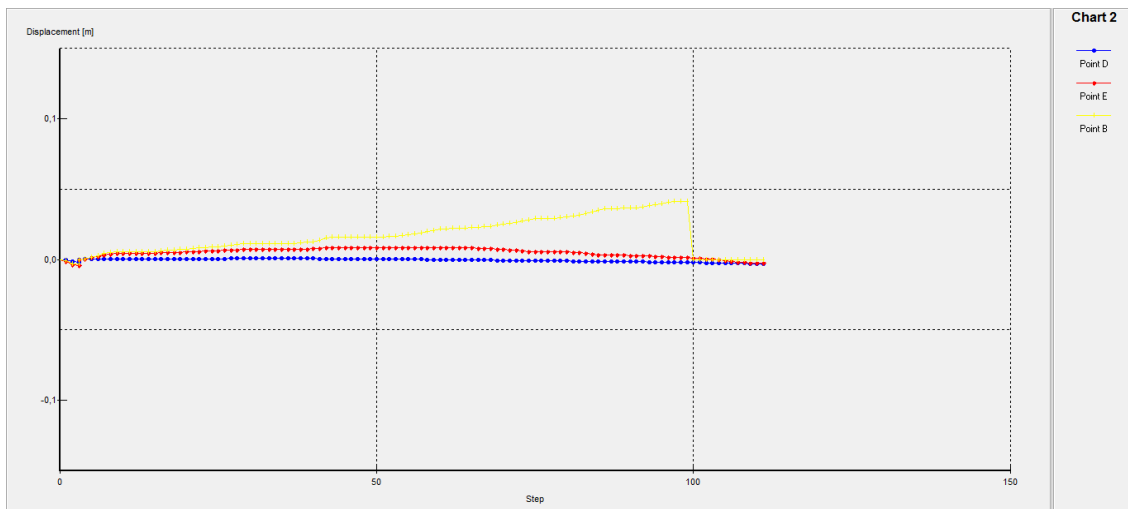
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (SHADINGS) ΓΙΑ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ Esilt=190MPa



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ Esilt=190MPa



ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **A, E, F** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ  $E_{silt}=190\text{MPa}$



ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ **B, D, E** ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ  $E_{silt}=190\text{MPa}$