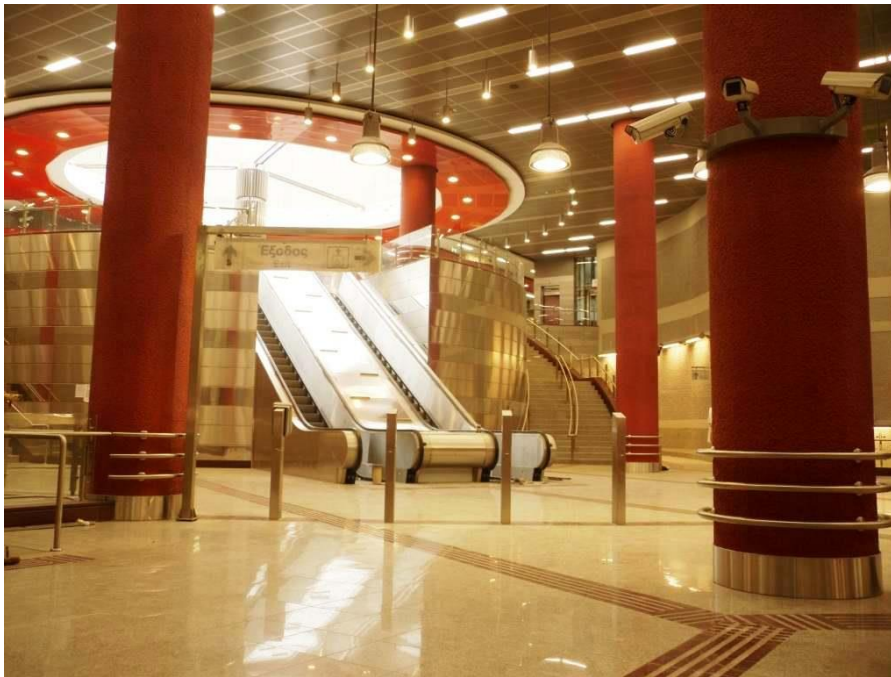




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών
Κατεύθυνση «Γεωτεχνολογία»

**Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με
φρεατοπασσάλους, προεντεταμένες αγκυρώσεις και αντηρίδες.
Το παράδειγμα του σταθμού «Περιστέρι» στο Μετρό Αθήνας**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ZORYANA V. STRUTYSNKA

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επίκουρος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων –Μεταλλουργών
Κατεύθυνση «Γεωτεχνολογία»

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας

**Παραμετρική ανάλυση αντιστηρίξεις βαθιάς εκσκαφής
με φρεατοπασσάλους, προεντεταμένες αγκυρώσεις και
αντηρίδες. Το παράδειγμα του σταθμού «Περιστέρι» στο
Μετρό Αθήνας**

STRUTYNSKA ZORYANA

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Εγκρίθηκε από τριμελή επιτροπή στις 22-10-2015

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επίκουρος καθηγητής του Ε.Μ.Π

Ροντογιάννη Θεοδώρα, Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π

Νομικός Παύλος, Επίκουρος καθηγητής του Ε.Μ.Π

Αθήνα 2015

Αφιερωμένο στον παππού και την γιαγιά μου....

«Αλλά κάτεχε ότι μονάχα εκείνος που παλεύει το σκοτάδι μέσα του θα'χει μεθαύριο μερτικό δικό του στον ήλιο»

Ο. Ελύτης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΨΗ.....	10
ABSTRACT	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1. ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ: Η ΓΡΑΜΜΗ 2 ΚΑΙ Ο ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	15
1.1 Η εταιρεία.....	15
1.2 Η πρόοδος της κατασκευής των γραμμών του μετρό σήμερα	18
1.3 Κατασκευή και πρόοδος κατασκευής της Γραμμής 2 «Ανθούπολη – Ελληνικό»	19
1.4 Γραμμή 2 – Σταθμός Περιστέρι.....	22
1.4.1 Γενικά.....	22
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	24
2.1 Μορφολογία περιοχής μελέτης	24
2.1.1 Γενικά.....	24
2.1.2 Ιστορική αναδρομή.....	24
2.1.3 Λατομεία – Ορυχεία Λιγνίτη Δήμου Περιστερίου	25
2.1.3.1 Στοιχεία εκμετάλλευσης.....	25
2.1.3.2 Λιγνιτωρυχεία σήμερα.....	28
2.2 Γεωλογικές Συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού.....	29
2.2.1 Μορφολογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης-Αττική	30
2.2.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας	31
2.2.2.1 Γενικά.....	31
2.2.2.2 Το βορειοδυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου των Αθηνών.....	33
2.2.2.3 Βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου Αθηνών	34
2.3 Γεωλογία στη στενή περιοχή του σταθμού.....	36
2.3.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί.....	36
2.3.1.1 Επιχώσεις.....	37
2.3.1.2 Κροκαλοπαγή.....	38
2.3.1.3 Αποσαθρωμένος Ασβεστιτικός Μεταψαμμίτης	38
2.3.1.4 Ισχυρός Ασβεστιτικός Μεταψαμμίτης.....	39
2.3.1.5 Μεταψαμμίτης	40
2.3.1.6 Τεκτονικό Μεταψαμμιτικό Λατυποπαγές	41
2.3.1.7 Μεταϊλύολιθος – Αργιλικός Σχιστόλιθος.....	42
2.3.1.8 Αποσαθρωμένη και Υγιής Μάργα	43
2.3.1.9 Ιλύολιθος	44
2.3.2 Τελική Γεωλογική δομή στην περιοχή Σταθμού «Περιστέρι».....	44

2.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες στην στενή περιοχή κατασκευής του σταθμού	46
2.4.1 Υδρογραφικό δίκτυο	46
2.4.2 Υδρογεωλογία της περιοχής	47
2.4.3 Εργαστηριακές δοκιμές Υδροπερατότητας – Υδραγωγιμότητας – Μετρήσεις Στάθμης	49
3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	53
3.1 Γενικά	53
3.2 Σχηματισμοί στην περιοχή του έργου με βάση την γεωτεχνική έρευνα	54
3.3 Γεωτεχνικές παράμετροι των σχηματισμών	57
3.3.1 Γενικά	57
3.3.2 Γεωτεχνικές παράμετροι Τεχνητών Επιχώσεων και Επιφανειακών Αποθέσεων	58
3.3.3 Γεωτεχνικές παράμετροι Κροκαλοπαγούς-Λατυποπαγούς	59
3.3.4 Γεωτεχνικές παράμετροι Αθηναϊκού Σχιστόλιθου	59
3.4 Τελική Γεωτεχνική τομή	63
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ	66
4.1 Γενικά	66
4.2 Ανάλυση προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού	67
4.3 Μεθοδολογία κατασκευής	69
4.4 Παρακολούθηση της κατασκευής	71
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΕΛΑΣΤΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ PLAXIS 2D ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΡΟ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ»	73
5.1 Γενικά	73
5.2 Το λογισμικό Plaxis	74
5.2.1 Καταστατικοί νόμοι για την περιγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους	77
5.3 Εισαγωγή δεδομένων – input program	79
5.3.1 Εισαγωγή “General Settings”	80
5.3.2 Βασικό παράθυρο Σχεδιασμού – Εισαγωγή γεωμετρίας	81
5.3.3 Καθορισμός ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού, διαφραγματικού τοίχου, αγκυρίων, πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου, αντηρίδων και επιβαλλόμενου φορτίου	83
5.3.3.1 Καθορισμός των ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού	84
5.3.3.2 Καθορισμός διαφραγματικού τοίχου- πασσάλων	87
5.3.3.3 Καθορισμός πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου	89
5.3.3.4 Καθορισμός αγκυρίων	91
5.3.3.5 Καθορισμός αντηρίδων	92
5.3.3.6 Καθορισμός του επιβαλλόμενου φορτίου στην επιφάνεια του εδάφους	93
5.3.4 Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης	94

5.3.5 Αρχικές συνθήκες-initial conditions	95
5.4 Εκτέλεση υπολογισμών	98
5.5 Εξαγωγή αποτελεσμάτων –Output	102
5.6 Εξαγωγή διαγραμμάτων – Curves	108
5.7	110
6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	111
6.1 Γενικά	111
6.2 1 ^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων	112
6.3 2 ^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων	124
6.4 3 ^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων	135
6.5 4 ^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων	141
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	149
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	155
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	158

EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1 Σχέδιο ανάπτυξης γραμμών Μετρό Αθήνας.....	17
Εικόνα 1.2 Κατασκευή της προσωρινής υποστήριξης του Σταθμού «Περιστέρι»	23
Εικόνα 2. 1. Αγγεία του 430-400 π.Χ από τάφο της περιοχής που αποκαλύφθηκε το 1950 (Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών)	25
Εικόνα 2.2. Σχέδιο εξόρυξης στο λιγνιτωρυχείο Περιστερίου,1940 (Πανγαία, 2007).....	26
Εικόνα 2. 3. Γεωλογικός και Τεκτονικός χάρτης των διαφόρων πατωμάτων και εγκάρσιων τομών λιγνιτωρυχείου Περιστέρι (Τρικκαληνός-Μούσουλος 1949)	27
Εικόνα 2 4. Σχέδιο υπόγειων στοών και το απόλυτο υψόμετρο	28
Εικόνα 2. 5. Αεροφωτογραφία της στενής περιοχής κατασκευής Σταθμού «Περιστέρι»	30
Εικόνα 2 6. Μορφολογία Λεκανοπεδίου Αττικής (Λουπασάκης,2014)	31
Εικόνα 2 7. Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής του Αττικής (1:μεταλλικοί σχηματισμοί Άνω Μειοκαινικής – Ολοκαινικής ηλικίας, 2: μη μεταμορφωμένοι αλπικοί σχηματισμοί, 3:μεταμορφωμένοι αλπικοί σχηματισμοί, 4:κύρια ρήγματα, 5:μεγάλης κλίμακας τεκτονική επαφή-αποκόλληση) (Παπανικολάου et al. 2002)	32
Εικόνα 2 8. Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών (Παπανικολάου et al. 2004).....	33
Εικόνα 2 9. Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη στην περιοχή Τουρκοβουνίων – Ενότητα Αθηνών (Παπανικολάου et al. 2002).....	35
Εικόνα 2 10. Γεωλογικός Χάρτης της στενής περιοχής μελέτης (Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος, Φύλλο ΑΘΗΝΑΙ-ΕΛΕΥΣΙΣ/ΙΓΜΕ 1986-κλίμακα 1:50.000)	37
Εικόνα 2 .11. Γεωλογική μηκοτομή του Σταθμού Περιστέρι (Πανγαία , 2007)	45
Εικόνα 2 12. Υδρογεωλογικός Χάρτης υδατικού διαμερίσματος Αττικής (ΙΓΜΕ,2013).....	46
Εικόνα 3. 1 Οριζοντιογραφία Περιοχής Σταθμού Περιστέρι-Θέσεις Γεωτρήσεων (Μελέτη Αττικό Μετρό - Πανγαία ΕΠΕ,2007)	54
Εικόνα 3. 2. Γεωλογική Τομή της περιοχής του Σταθμού «Περιστέρι» που γειτνιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελιστρίας με βάση τις πραγματοποιηθείσες γεωτρήσεις (Πανγαία ΕΠΕ, 2007)	64
Εικόνα 3 3Γεωτεχνικό Προσομοίωμα (Πανγαία ΕΠΕ, 2007)	64
Εικόνα 4.1 .Σύστημα αντιστήριξης με αντηρίδες στην περιοχή του Ι.Ν. Ευαγγελιστρίας (www.ametro.gr)	67
Εικόνα 4.2. Σχέδιο προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού(Πανγαία, 2007)	70
Εικόνα 5 1.Παραδειγμα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση (αριστερά) και διδιάστατου αξονοσυμμετρικού προσομοιώματος(δεξιά) (Ρλαχίς, 2009).....	75
Εικόνα 5. 2. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης για το ελαστικό- τέλεια πλαστικό μοντέλο	78
Εικόνα 5. 3. Διάγραμμα διατμητικής τάσης – αξονικής παραμόρφωσης	79
Εικόνα 5 4. Εισαγωγή γενικών στοιχείων του μοντέλου	80

Εικόνα 5 5. Εισαγωγή βασικών διαστάσεων στο σχεδιαστικό μοντέλο	81
Εικόνα 5. 6. Βασικό παράθυρο σχεδιασμού- γραμμή εργαλείων <i>Plaxis</i>	82
Εικόνα 5 7 Βασική γεωμετρία του προσομοιώματος που σχεδιάζεται για τον Σταθμό Περιστερί..	83
Εικόνα 5 .8 Καθορισμός των ιδιοτήτων των αδαφικών υλικών, αγκυρίων, διαφραγματικού τοίχου και αντηρίδων.....	84
Εικόνα 5 9. Καρτέλα εισαγωγής γενικών ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού	85
Εικόνα 5 10. Καρτέλα εισαγωγής των υπόλοιπων παραμέτρων εδαφικού υλικού	86
Εικόνα 5 .11. Καρτέλα εισαγωγής στοιχείων για την διεπιφάνεια	86
Εικόνα 5 .12. Παράθυρ εισαγωγής ιδιοτήτων για τον διαφραγματικό τοίχο	89
Εικόνα 5 13. Παράθυρο εισαγωγής ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίου	90
Εικόνα 5 .14. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων του αγκυρίου.....	91
Εικόνα 5 .15. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων αντηρίδας για την σχεδίαση της	92
Εικόνα 5. 16. Καρτέλα εισαγωγής των υπόλοιπων ιδιοτήτων αντηρίδας.....	93
Εικόνα 5 .17. Καρτέλα εισαγωγής του φορτίου της επιφάνειας.....	94
Εικόνα 5. 18. Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων του μοντέλου.....	95
Εικόνα 5. 19 Επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα.	96
Εικόνα 5 20. Καρτέλα εισαγωγής του υδροφόρου ορίζοντα.....	96
Εικόνα 5. 21 Πίεση πόρων νερού	96
Εικόνα 5.22. Παράθυρο εύρεσης συντελεστή K_0 για συγκεκριμένο $\Sigma Mweight$	97
Εικόνα 5 23 Παράθυρο κατανομής ενεργών τάσεων.....	98
Εικόνα 5.24. Καρτέλα εισαγωγής γενικών στοιχείων για κάθε φάση εκσκαφής.....	99
Εικόνα 5 25 Καρτέλα εισαγωγής <i>multipliers</i> για κάθε φάση εκσκαφής.	101
Εικόνα 5 26. Καρτέλα έναρξης υπολογισμών του μοντέλου.	102
Εικόνα 5 27. Συνολικές μετακινήσεις της εκσκαφής	103
Εικόνα 5 28 Συνολικές μετακινήσεις της εκσκαφής με <i>Shadings</i>	103
Εικόνα 5 29 Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις της εκσκαφής με <i>Shadings</i>	104
Εικόνα 5. 30. Μέγιστες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου για αποστάσεις πασσάλων 1.5 m	105
Εικόνα 5.31. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις διαφραγματικού τοίχου	106
Εικόνα 5.32. Μέγιστες αξονικές δυνάμεις διαφραγματικού τοίχου	106
Εικόνα 5.33. Μέγιστες καμπτικές ροπές διαφραγματικού τοίχου	107
Εικόνα 5.34. Ενεργές τάσεις	107
Εικόνα 5. 35. Σχεδιασμός των διαγραμμάτων <i>Curves</i>	108
Εικόνα 6.1. Συνολικές μετακινήσεις για απόσταση πασσάλων 2,5 m.....	114
Εικόνα 6.2. Συνολικές κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις για απόσταση πασσάλων 2,5 m	114
Εικόνα 6.3. Συνολικές κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις για απόσταση πασσάλων 2,5 m με <i>Shadings</i>	115
Εικόνα 6. 4. Συνολικές μετακινήσεις διαφραγματικού τοίχου για απόσταση πασσάλων 2,5m	116
Εικόνα 6.5. Καμπτικές ροπές διαφραγματικού τοίχου για αποστάσεις πασσάλων 2,5m	117
Εικόνα 6.6. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις του διαφραγματικού τοίχου για αποστάσεις πασσάλων 2,5m.....	117
Εικόνα 6. 7. Συνολικές μετακινήσεις για ανάλυση με δύναμη προέντασης $F_p=200$ kN	125
Εικόνα 6. 8. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις για δύναμη προέντασης $F_p=200$ kN	125

Εικόνα 6.9. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις για δύναμη προέντασης 200 kN με Shadings	126
Εικόνα 6.10. Μέγιστες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου για $F_p=200$ kN	127
Εικόνα 6.11. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις του διαφραγματικού τοίχου για $F_p=200$ kN	127
Εικόνα 6.12. Καμπτικές ροπές διαφραγματικού τοίχου για $F_p=200$ kN.....	128
Εικόνα 6.13. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις του διαφραγματικού τοίχου για $F_p=200$ kN	129
Εικόνα 6.14. Συνολικές μετακινήσεις για +1.00 m μήκος έμπηξης πασσάλων	136
Εικόνα 6.15. Συνολικές κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις για +1.00 m έμπηξη πασσάλων	136
Εικόνα 6.16. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις για +1.00 m έμπηξη πασσάλων με Shadings	137
Εικόνα 6.17. Μέγιστη μετακίνηση του διαφραγματικού τοίχου για βάθος έμπηξης +1.00 m	138
Εικόνα 6.18. Μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη μετακίνηση του διαφραγματικού τοίχου για βάθος έμπηξης +1.00 m.....	138
Εικόνα 6.19. Συνολικές μετακινήσεις για την ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδες και 4 σειρές αγκύρια	142
Εικόνα 6.20. Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις για ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδων και 4 σειρές αγκυρίων.....	142
Εικόνα 6.21. Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 2 σειρές αντηρίδων-4 σειρές αγκυρίων	143
Εικόνα 6.22. Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 3 σειρές αντηρίδων- 3 σειρές αγκυρίων	143
Εικόνα 6.23. Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 4 σειρές αντηρίδων-2 σειρές αγκυρίων	144
Εικόνα 6.24. Μέγιστες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου για ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδων – 4 σειρές αγκυρίων	145
Εικόνα 6.25. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις του διαφραγματικού τοίχου για ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδων – 4 σειρές αγκυρίων	145
Εικόνα 6.26. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις του διαφραγματικού τοίχου για ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδων – 4 σειρές αγκυρίων	146

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2. 1. Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας σε γεωτρήσεις (Πανγαία, 2007)	49
Πίνακας 2.2 Ημερήσιες διακυμάνσεις της στάθμης των υπόγειων νερών (Πανγαία ,2007).....	51
Πίνακας 2.3. Ανώτερες μετρηθείσες στάθμες εντός γεωτρήσεων	52
Πίνακας 3.1 Γεωτρήσεις συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας (Πανγαία, 2007)	53
Πίνακας 3 2. Γεωτεχνικές παράμετροι άρρηκτου βράχου (Πανγαία, 2007)	56
Πίνακας 3 3. Γεωτεχνικές παράμετροι εδαφοποιημένων ζωνών (Πανγαία , 2007).....	56
Πίνακας 3 4. Γεωτεχνικές παράμετροι βραχομάζας (Πανγαία, 2007).....	57
Πίνακας 3.5. Εκτίμηση γεωτεχνικών παραμέτρων μεταψαμμίτη (Πανγαία, 2007)	61
Πίνακας 3 6. Εκτίμηση γεωτεχνικών παραμέτρων Μεταλυόλιθου (Πανγαία, 2007)	62
Πίνακας 3 7.Γεωμηχανικά χαρακτηριστικά Μεταψαμμίτη – Μεταλυόλιθου	63
Πίνακας 3 8. Τιμές σχεδιασμού γεωτεχνικών παραμέτρων (Πανγαία, 2007).....	65
Πίνακας 4 .1. Μέγιστες αναμενόμενες παραμορφώσεις (Πανγαία, 2007).....	72
Πίνακας 5 .1. Δεδομένα εισαγωγής ανά εδαφικό σχηματισμό	87
Πίνακας 6.1. Τιμές των παραμέτρων που εισάγονται στο πρόγραμμα ανάλογα με την απόσταση των πασσάλων	113
Πίνακας 6.2.Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τεσσάρων παραμετρικών αναλύσεων 1 ^{ης} σειράς υπολογισμών	120
Πίνακας 6.3. Τιμές δύναμης προέκτασης για την 2 ^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων.....	124
Πίνακας 6.4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τεσσάρων παραμετρικών αναλύσεων 2 ^{ης} σειράς αναλύσεων	131
Πίνακας 6 . 5. Τιμές μήκους έμπηξης για την 3 ^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων	135
Πίνακας 6.6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τεσσάρων παραμετρικών αναλύσεων	140
Πίνακας 6 .7. Πίνακας. Αριθμός αντηρίδων – αγκυρίων για την 4 ^η σειρά υπολογισμών	141
Πίνακας 6.8. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τεσσάρων παραμετρικών αναλύσεων	146

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 5 1. Διάγραμμα Curves για τις κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C	109
Διάγραμμα 5 2. Διάγραμμα Curves για τις κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C	109
Διάγραμμα 6. 1. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το για απόσταση πασσάλων 2,5 m	118
Διάγραμμα 6. 2. Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B και C σε σχέση με την μεταβολή της απόστασης των πασσάλων	119
Διάγραμμα 6. 3. Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων	121
Διάγραμμα 6. 4. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων	121
Διάγραμμα 6. 5. Απόλυτες τιμές καμπτικών ροπών σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	122
Διάγραμμα 6. 6. Απόλυτες τιμές μέγιστων διατμητικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	123
Διάγραμμα 6.7. Απόλυτες τιμές μέγιστων αξονικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	123
Διάγραμμα 6. 8. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της δύναμης προέντασης ($F_p=200$ kN)	130
Διάγραμμα 6. 9. Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B και C σε συνάρτηση με την μεταβολή της F_p	130
Διάγραμμα 6 .10. Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	132
Διάγραμμα 6 .11. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλων σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	133
Διάγραμμα 6. 12. Απόλυτες τιμές καμπτικών ροπών σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	133
Διάγραμμα 6. 13. Απόλυτες τιμές διατμητικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	134
Διάγραμμα 6 .14. Απόλυτες τιμές αξονικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	134
Διάγραμμα 6.15. Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C για βάθος έμπιξης +1.00 m	139
Διάγραμμα 6.16. Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B και C σε σχέση με την μεταβολή του βάθους έμπιξης.....	139
Διάγραμμα 6 17. Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις σε συνάρτηση με τις αναλύσεις της 4 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	147
Διάγραμμα 6.18. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλων σε συνάρτηση με τις αναλύσεις της 4 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	147
Διάγραμμα 6.19. Απόλυτες τιμές μέγιστων διατμητικών δυνάμεων σε συνάρτηση με τις αναλύσεις της 4 ^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.	148

ΣΥΝΟΨΗ

Ο Σταθμός Περιστέρι είναι σταθμός Γραμμής 2 του Μετρό, ο οποίος τέθηκε σε λειτουργία τον Απρίλιο του 2013. Ο σταθμός αυτός εκτείνεται από την Χ.Θ. 1+681.28 έως την Χ.Θ. 1+791.29. Βρίσκεται στην κεντρική περιοχή του Δήμου Περιστερίου, συγκριμένα στην πλατεία Δημοκρατίας, παραπλεύρως του Ιερού Ναού Ευαγγελιστρίας και του υπό κατασκευή Δημαρχείου. Ο μόνιμος φορέας του Σταθμού Περιστέρι έχει μήκος περίπου 112 m. Το βάθος του φτάνει περίπου στα 25 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.

Το μεγαλύτερο τμήμα του σταθμού, μήκους 67 m περίπου, κατασκευάστηκε με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος, ενώ το υπόλοιπο τμήμα, που συνδέεται με τη σήραγγα επέκτασης της Γραμμής 2 προς το Φρέαρ Φλέμινγκ, μήκους 45 m περίπου, κατασκευάστηκε με υπόγεια διάνοιξη με συμβατικά μέσα και αποτελείται από την κύρια σήραγγα και δύο στοές κλιμακοστασίων εκατέρωθεν, οι οποίες κατασκευάστηκαν επίσης, με υπόγεια εκσκαφή 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 οπλισμένο σκυρόδεμα με διαστάσεις που κυμαίνονται από 1.20m x 1.00 m έως 1.50 m x 1.20 m και χαλύβδινες σωληνωτές αντηρίδες. Οι αντηρίδες τοποθετήθηκαν με αξονική απόσταση μεταξύ τους από 4.50 m έως 4.80 m.

Στην παρούσα διπλωματική γίνεται παρουσίαση των γεωλογικών, γεωτεχνικών και υδρογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή κατασκευής του σταθμού και διερεύνηση της ευστάθειας των πρανών πραγματοποιώντας παραμετρικές αναλύσεις με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείο Plaxis 2D. Οι παραμετρικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν τροποποιώντας τις παραμέτρους των δομικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται στην προσωρινή υποστήριξη της κατασκευής, προκειμένου να διαπιστωθεί πως επηρεάζουν

την ευστάθεια της κατασκευής. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν και τροποποιήθηκαν είναι η απόσταση των πασσάλων, η δύναμη προέντασης των αγκυρίων και το βάθος έμπηξης των πασσάλων. Για λόγους ενδιαφέροντος πραγματοποιήθηκε και μια επιπλέον παραμετρική ανάλυση, στην οποία οι αντηρίδες αντικαθίστανται με αγκύρια προκειμένου να διαπιστωθεί ο βαθμός με τον οποίο επιδρούν στην ευστάθεια του έργου και το μέγεθος των μετακινήσεων.

ABSTRACT

«Peristeri» station is one of the Line's 2 stations of Metro in Athens, which started working in April 2013. This station extends from 1+ 681.28 m to 1 + 791.29 m and is located in the central area of the Municipality of Peristeri in Republic Square, alongside the Church of Evangelistria and the Town Hall. The whole construction of Peristeri Station is approximately 112 m and its depth reaches about 25 m. The width of the station varies from position to position at both end-sections of the station, east and west, and it ranges from 23 m to 33 m, while the width of the central section in Peristeri station reaches 51 m. The largest section of the underground station, which is approximately 67 m long, is constructed by the method of the open trench. The remaining part of the underground station, which is connected to the tunnel, is approximately 45 m length and it is constructed by underground drilling conventional machinery. It consists of the main tunnel and two staircases arcade, which are also manufactured by underground excavation by conventional machinery.

To stabilize the slopes of the excavation, temporary retaining system was constructed. This retaining system consists of piles, 1.000 mm diameter, which are placed in axial distance of 1.50 m, headband made of reinforced concrete with dimensions ranging from 1.20 m x 1.00 m up to 1.50 m x 1.20 m and a steel tubular struts. The struts are placed with axial space from 4.50 m to 4.80 m.

In this diploma thesis the geological, geotechnical and hydrogeological conditions in the construction area of the station and a research about the stability of slopes, using the finite element program Plaxis 2D are presented. Then several parametric analyzes are made by changing the parameters of components used in the temporary support structure, in order to determine in which way they affect the stability of the structure. The parameters which are changed are the distance of the piles, the pre-stressing force of the anchors and the penetration depth of piles. For the sake of interest a further parametric analysis was held, in which the struts were replaced with anchors, in order to determine in which way this may affect the stability of the excavation and the size of ground movements.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά ορισμένους ανθρώπους η καθοδήγηση, η βοήθεια και η συμπαράσταση των οποίων ήταν καθοριστικοί παράγοντες για την διεκπεραίωση αυτής της διπλωματικής.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Λουπασάκη Κωνσταντίνο , Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. για την καθημερινή του βοήθεια και καθοδήγηση, για τις επιστημονικές του γνώσεις, συμβουλές και την συνεχή παρακολούθηση της διπλωματικής μου εργασίας, παρόλες τις υποχρεώσεις και το απασχολημένο πρόγραμμά του, καθώς και την συνεχή υποστήριξη και ενθάρρυνση του. Χωρίς την συμβολή του η παρούσα διπλωματική εργασία θα ήταν αδύνατον να πραγματοποιηθεί.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της επιτροπής εξέτασης της διπλωματικής μου εργασίας, τον κ. Νομικό Παύλο, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και την κ. Ροντογιάννη Θεοδώρα, Καθηγήτρια ΕΜΠ για τον χρόνο που διαθέσανε για την αξιολόγηση της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αττικό Μετρό Α.Ε., και ειδικότερα τον κ. Μάρκο Νόβακ, Διευθυντή τομέα Τεχνικής Γεωλογίας και τον κ. Γιώργο Στούμπο, Δρ. Τεχνικό Γεωλόγο της Αττικό Μετρό, για τα δεδομένα γεωτεχνικών μελετών που μας παραχώρησαν, χωρίς τα οποία θα ήταν αδύνατη η πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, την οικογένεια μου στην Ουκρανία και την πρώτη μου δασκάλα την κ. Χριστίνα για την αγάπη τους όλα αυτά τα χρόνια και τους πιο κοντινούς μου ανθρώπους, τον Ηλία και την Γεωργία, που με την αγάπη, την υποστήριξη, την υπομονή και την ανοχή τους με βοήθησαν καθοριστικά ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω αυτή την διπλωματική εργασία και ήταν δίπλα μου στις δύσκολες στιγμές καθώς και τους φίλους μου για όλα αυτά τα όμορφα χρόνια.

Σας ευχαριστώ πολύ όλους...

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της τροποποίησης γεωμετρικών και δομικών στοιχείων της προσωρινής αντιστήριξης στην ευστάθεια των πρηνών του σταθμού Περιστέρι και στις κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Η μελέτη των παραγόντων αυτών έγινε με την βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 2D.

Πιο αναλυτικά η διπλωματική εργασία αυτή αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

Το 1^ο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται στοιχεία για την εταιρεία της Αττικό Μετρό και τα κατασκευαστικά της έργα, με μια μικρή έμφαση στην γραμμή 2 και τον Σταθμό «Περιστέρι» που είναι και ο σταθμός μελέτης.

Το 2^ο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται τα γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του σταθμού, τα μορφολογικά, γεωλογικά, και υδρογεωλογικά στοιχεία της στενής περιοχής κατασκευής του σταθμού, που προέκυψαν από παλαιότερες και νεότερες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν.

Το 3^ο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται οι γεωτεχνικές συνθήκες κατασκευής του σταθμού. Συγκριμένα παρουσιάζονται οι τιμές των γεωτεχνικών και μηχανικών παραμέτρων στην περιοχή ενδιαφέροντος με βάση τις νεότερες και παλαιότερες γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή και η γεωτεχνική τομή σχεδιασμού που χρησιμοποιείται στις παραμετρικές αναλύσεις.

Το 4^ο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζονται συνοπτικά οι εργασίες εκσκαφής του έργου, η προσωρινή υποστήριξη του σταθμού και οι προδιαγραφές του έργου.

Το 5^ο κεφάλαιο, στο οποίο γίνεται η παρουσίαση του προγράμματος Plaxis, τον τρόπο λειτουργίας και τις εντολές του, την σειρά των βημάτων που ακολουθήθηκε και τις παραμέτρους που χρειάστηκε να εισαχθούν στο πρόγραμμα.

Το 6^ο κεφάλαιο, στο οποίο γίνεται η παρουσίαση των τεσσάρων σειρών παραμετρικών αναλύσεων, εστιάζοντας και παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης με τα δυσμενέστερα αποτελέσματα.

Το 7^ο κεφάλαιο, στο οποίο γίνεται η παρουσίαση των συμπερασμάτων της εργασίας και τον τρόπο με το οποίο η αλλαγή των παραμέτρων σε κάθε παραμετρική ανάλυση επηρεάζει την ευστάθεια και τις μετακινήσεις της κατασκευής.

1. ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ: Η ΓΡΑΜΜΗ 2 ΚΑΙ Ο ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ

1.1 Η εταιρεία

Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. είναι ελληνική ανώνυμη εταιρεία δημόσιου συμφέροντος, η οποία ιδρύθηκε το 1991 με έδρα την Αθήνα. Η εταιρεία αυτή διαθέτοντας το κατάλληλο επιστημονικό προσωπικό και την τεχνογνωσία είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας. Οι δύο κύριες γραμμές της Αθήνας έχουν συνολικό μήκος περίπου 59,7 χλμ και 40 σύγχρονους σταθμούς (συμπεριλαμβανομένων των 4 Σταθμών καθώς και τα 20,7 χλμ. γραμμής του προαστιακού από τον σταθμό ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ προς Αεροδρόμιο). Ο συνολικός αριθμός επιβατών που εξυπηρετούνται από τις γραμμές αυτές ανέρχεται στις 938.000 ημερησίως. Επιπλέον η Γραμμή 1 του ΗΣΑΠ εξυπηρετεί αντίστοιχα περισσότερους από 460.000 επιβάτες. Έτσι μαζί με το Τραμ και τον Προαστιακό το Μετρό έχει συντελέσει στη σύνθεση ενός σύγχρονου συγκοινωνιακού δικτύου που διευκολύνει και αναβαθμίζει την ποιότητα ζωής των κατοίκων της περιοχής (www.ametro.gr)

Το Βασικό Έργο του Μετρό της Αθήνας (Εθνική Άμυνα – Κεραμεικός & Σεπόλια-Δάφνη) ξεκίνησε να κατασκευάζεται το Νοέμβριο του 1992 με προγραμματισμένα 20 περίπου χλμ. δικτύου με 21 σταθμούς σε 2 Γραμμές. Τα πρώτα 13 χλμ. με 14 σταθμούς στα τμήματα Σύνταγμα-Εθνική Άμυνα της Γραμμής 3 και Σεπόλια-Σύνταγμα της Γραμμής 2 τέθηκαν σε λειτουργία τον Ιανουάριο του 2000, ενώ 5 επιπλέον χλμ. με 5 σταθμούς στο τμήμα Σύνταγμα-Δάφνη τέθηκαν σε λειτουργία το Νοέμβριο του 2000. Για το Βασικό Έργο, η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. χρηματοδότησε αρχαιολογικές ανασκαφές έκτασης 69.000 τετραγωνικών μέτρων, οι οποίες είναι οι μεγαλύτερες που έχουν γίνει ποτέ στη Αθήνα. Επιπλέον, προκειμένου να μειωθούν στο ελάχιστο οι πιθανότητες συνάντησης αρχαιολογικών ευρημάτων, οι σήραγγες του Μετρό διανοίχθηκαν, κατά μέσο όρο, σε βάθος μεγαλύτερο των 15 μέτρων, επίπεδο χαμηλότερο από αυτό στο οποίο συνήθως βρίσκονται τα αρχαιολογικά ευρήματα. Το Έργο κατασκευάστηκε με τη χρήση των πιο σύγχρονων τεχνολογιών και με την εντατική εργασία χιλιάδων εργαζομένων, επιστημόνων και τεχνιτών από την Ελλάδα και το εξωτερικό. Τον Απρίλιο του 2003 δόθηκε στο επιβατικό κοινό το τμήμα Σύνταγμα-Μοναστηράκι. Για την κατασκευή του

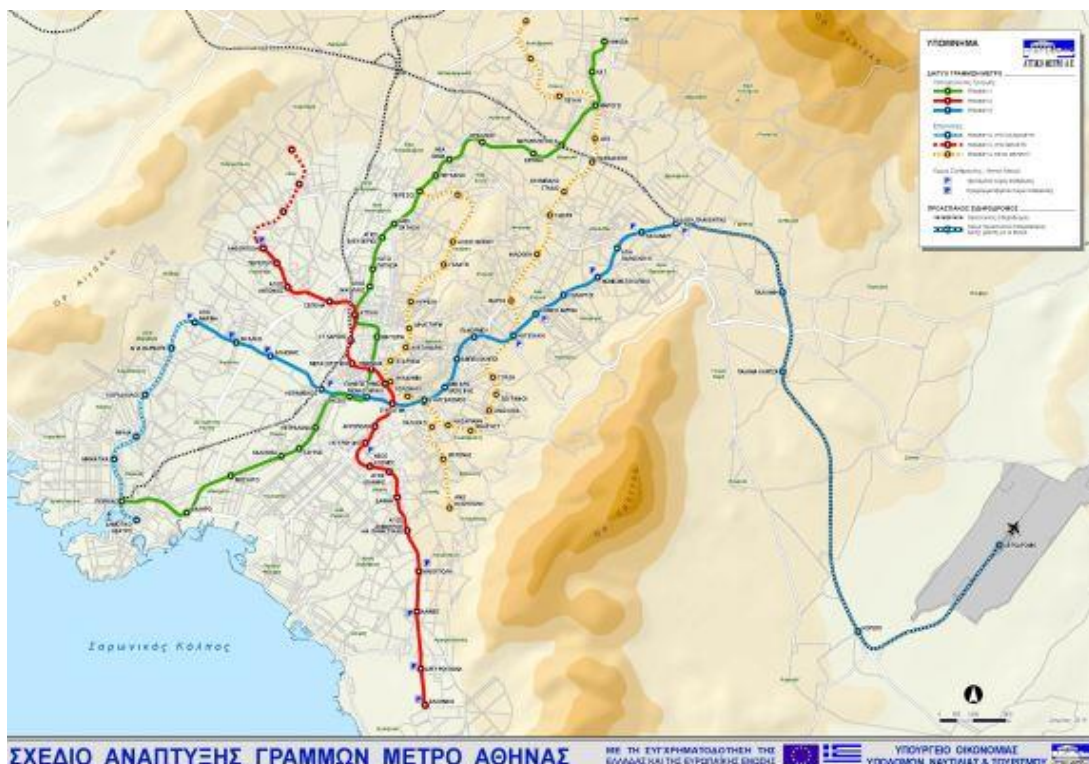
ΜΕΤΡΟ στο Μοναστηράκι πραγματοποιήθηκαν αρχαιολογικές ανασκαφές που έφεραν στο φως οικιστικά λείψανα από τον 8ο αιώνα π.Χ. (Γεωμετρική περίοδο) έως τον 19ο αιώνα μ.Χ. Από τα σημαντικότερα ευρήματα του σταθμού Μοναστηρακίου είναι η εγκιβωτισμένη κοίτη του Ηριδανού ποταμού. Τον Ιούνιο του 2004 τέθηκε σε λειτουργία το τμήμα ΔΑΦΝΗ-ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, 1,2 χλμ., ενώ μέσα στον Ιούλιο του 2004 τα τμήματα Εθνική Άμυνα -Χαλάνδρι, Χαλάνδρι-Δ.Πλακεντίας, συνολικού μήκους 5,9 χλμ. και Δ.Πλακεντίας-Αεροδρόμιο. Τον Αύγουστο του ίδιου χρόνου δόθηκε σε λειτουργία η επέκταση ΣΕΠΟΛΙΑ –ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ συνολικού μήκους 1,4 χλμ. Μέσα στο 2013 παραδόθηκαν στο επιβατικό κοινό άλλοι 7 σταθμοί συνολικού μήκους 8,5χλμ (Ηλιούπολη, Άλιμος, Αργυρούπολη, Ελληνικό, Περιστέρι, Ανθούπολη και Αγία Μαρίνα. Αυτή τη στιγμή (Εικόνα 1.1) το σημαντικότερο συγκοινωνιακό μέσο της Αθήνας εκτείνεται σε 39 χλμ. και 938.000 επιβάτες εξυπηρετούνται καθημερινά από 36 σύγχρονους σταθμούς (www.ametro.gr).

Εκτός από το έργο της κατασκευής του μετρό της Αθήνας, η εταιρεία έχει αναλάβει την κατασκευή του Μετρό της Θεσσαλονίκης. Οι εργασίες της κατασκευής του μετρό είναι σε αρκετά προχωρημένο στάδιο, για την υλοποίηση γραμμής συνολικού μήκους 9,6 χλμ με 13 σύγχρονους σταθμούς από τον Απρίλιο του 2006, όποτε και υπογράφηκε η σύμβαση για την κατασκευή του μετρό. Συγκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο σύγχρονοι μετροπόντικες για την διάνοιξη δύο παράλληλων σηράγγων διπλής τροχιάς σε βάθος από 16 έως 31 μέτρα. Τον Ιούνιο του 2013, μετά από την δημοπράτηση και υπογραφή της σχετικής σύμβασης ξεκίνησε η επέκταση της γραμμής του μετρό προς την Καλαμαριά με συνολικό μήκος 4.8 χλμ υπόγειας γραμμής και 5 νέους σύγχρονους σταθμούς. Υπολογίζεται ότι με το έργο αυτό θα εξυπηρετούνται καθημερινά γύρω στους 65.000 επιβάτες. Επιπλέον σχεδιάζεται κ νέα επέκταση του μετρό προς Σταυρούπολη, η οποία είναι όμως ακόμα στο στάδιο μελέτης.

Σήμερα όσον αφορά το μετρό της Αθήνας, η μελέτη και η κατασκευή νέων επεκτάσεων των γραμμών του μέτρο είναι στο σχέδιο προς υλοποίηση. Μάλιστα τον Μάρτιο του 2012 έγινε η υπογραφή της σύμβασης για την περαιτέρω επέκταση της γραμμής 3 από την Αγία Μαρίνα προς τον Πειραιά, ώστε ο Δήμος του Πειραιά να συνδεθεί με το Αεροδρόμιο. Το μήκος της επέκτασης φτάνει τα 7,6 χλμ και περιλαμβάνει κατασκευή 6 σταθμών. Εκτός από την κατασκευή περαιτέρω επεκτάσεων, σχεδιάζεται και η κατασκευή μιας καινούριας γραμμής του μετρό, η οποία θα εξυπηρετεί έως και 530.000

επιβάτες την ημέρα. Η νέα γραμμή αυτή είναι η Γραμμή 4, η οποία θα έχει μήκος 33 χλμ, θα περιλαμβάνει 30 σταθμούς και η διαδρομή που θα ακολουθήσει θα περιλαμβάνει τις περιοχές Περισσός – Άλσος Βείκου - Πανεπιστήμιο – Ευαγγελισμός – Γουδή – Κατεχάκη – Μαρούσι – Λυκόβρυση, καθώς και τις περιοχές Παγκράτι, Βύρωνας, Υμηττός και Ηλιούπολη.

Οι σήραγγες του έργου προβλέπεται να κατασκευαστούν με TBM διπλής τροχιάς, ενώ οι σταθμοί θα κατασκευαστούν με τις μεθόδους ανοικτού ορύγματος, υπόγειας διάνοιξης NATM και με τον συνδυασμό και των δύο μεθόδων. Η νέα γραμμή αυτή θα ενώνεται με συνδετήρια σήραγγα μονής τροχιάς με την υφιστάμενη συνδετήρια σήραγγα των γραμμών 2 & 3 στην περιοχή Συντάγματος, ώστε οι νέοι συρμοί να μπορούν να κατευθυνθούν στα υφιστάμενα αμαξοστάσια. Η κατασκευή του έργου αυτού θα έχει πολλά πλεονεκτήματα, θα δημιουργηθούν περίπου 3500 θέσεις εργασίες, θα εξυπηρετηθούν πολύ πυκνοκατοικημένες περιοχές του κέντρου της Αθήνας με έντονη επαγγελματική και εμπορική δραστηριότητα, όπου στεγάζονται Εκπαιδευτικά Ιδρύματα, Πανεπιστήμια Νοσοκομεία και Δικαστήρια. Μάλιστα υπολογίζεται ότι οι επιβάτες που θα χρησιμοποιούν καθημερινά το μετρό θα ξεπεράσουν τις 530.000. Ο προϋπολογισμός για την κατασκευή της γραμμής ανέρχεται στα 3,3 δις ευρώ.



Εικόνα 1.1 Σχέδιο ανάπτυξης γραμμών Μετρό Αθήνας (www.ametro.gr)

1.2 Η πρόοδος της κατασκευής των γραμμών του μετρό σήμερα

Σύμφωνα με τα στοιχεία της εταιρείας που παρουσιάζονται στον ιστότοπο της Αττικό Μετρό (www.ametro.gr) το Μάιο 2007 άρχισε να λειτουργεί η επέκταση της Γραμμής 3 του Μετρό από το Μοναστηράκι προς το Αιγάλεω με μήκος 4,3 χμ., με 3 σύγχρονους Σταθμούς. Το Δεκέμβριο του 2013 προστέθηκε άλλος ένας Σταθμός στη γραμμή 3, ο Σταθμός Αγία Μαρίνα, μήκους 1,4 χλμ. με εκτιμώμενη επιβατική ημερήσια κίνηση 30.000 επιβατών. Σημειώνεται ότι στην ίδια εργολαβία είχε ενταχθεί και η κατασκευή Χώρου Στάθμευσης ΙΧ οχημάτων, ακριβώς δίπλα από τον Σταθμό, συνολικής χωρητικότητας 382 θέσεων ΙΧ. Ακόμα ένα από τα σημαντικά έργα της ίδιας επέκτασης ήταν και η κατασκευή ενός αμαξοστασίου στον Ελαιώνα το οποίο παραδόθηκε στη ΣΤΑΣΥ Α.Ε. τον Ιούλιο του 2011.

Παράλληλα, ένας από τους μεγαλύτερους Δήμους της χώρας, ο Δήμος Περιστερίου, απέκτησε ακόμα δύο νέους Σταθμούς Μετρό τον Απρίλιο του 2013, τον σταθμό «Περιστέρι» και τον σταθμό «Ανθούπολη», μετά την επιτυχή ολοκλήρωση και λειτουργία του Σταθμού Άγιος Αντώνιος το καλοκαίρι του 2004. Σημειώνεται ακόμη ότι έχει διαμορφωθεί και αναπλαστεί η ομώνυμη πλατεία του Δήμου Περιστερίου στην θέση κατασκευής του σταθμού του μετρό, η οποία καλύπτει μια συνολική έκταση 10.000 τμ.

Τον Ιούλιο του 2013 προστέθηκε η επέκταση της Γραμμής 2 προς το Ελληνικό με 5,5 χλμ. υπόγειας Γραμμής και 4 νέους Σταθμούς «Ηλιούπολη», «Άλιμος», «Αργυρούπολη» και «Ελληνικό». Με την επέκταση αυτή εκτιμάται ότι οι επιβάτες που χρησιμοποιούν το Μετρό αυξήθηκαν κατά 83.000. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μειωθεί η οδική κυκλοφορία αφού υπολογίζεται ότι πλέον μετακινούνται 50.000 αυτοκίνητα λιγότερα στο οδικό δίκτυο ημερησίως.

Η πλήρης ανάπτυξη του βόρειου άκρου της Γραμμής 3 πραγματοποιήθηκε το Δεκέμβριο του 2010 με τη λειτουργία του Σταθμού Αγία Παρασκευή. Είχαν προηγηθεί ο Σταθμός ΧΟΛΑΡΓΟΣ τον Ιούλιο του ίδιου έτους και ο Σταθμός Νομισματοκοπείο το Σεπτέμβριο του 2009. Με την ίδια εργολαβία, στον Σταθμό Νομισματοκοπείο που είναι ο πρώτος Σταθμός Μετρό επί της Λεωφ. Μεσογείων που συναντούν οι προερχόμενοι από την Αγία Παρασκευή, τα Μεσόγεια και τα Ανατολικά παράλια της Αττικής - λειτουργεί Σταθμός

Μετεπιβίβασης από και προς λεωφορειακές γραμμές. Τέλος, δόθηκε στο κοινό και υπόγειος χώρος στάθμευσης συνολικής χωρητικότητας 630 θέσεων ΙΧ οχημάτων.

Το Μετρό της Αθήνας σήμερα σχεδιάζει και κατασκευάζει καινούριες γραμμές επέκτασης συνολικού μήκους 7,6 χλμ. υπόγειας γραμμής (6,5 χλμ σήραγγας με την χρήση TBM και το υπόλοιπο τμήμα με υπόγεια εκσκαφή) προς την Αγία Βαρβάρα, τον Κορυδαλλό, τη Νίκαια, τα Μανιάτικα και τον Πειραιά, με 6 νέους Σταθμούς.

Επιπλέον θα πρέπει να αναφερθεί ότι η Αττικό Μετρό Α.Ε, εκτός από την επέκταση της γραμμής 3 και της μελέτης για την κατασκευή της καινούριας γραμμής 4, προχωράει την μελέτη και κατασκευή άλλων σημαντικών έργων. Τον Σεπτέμβριο του 2013 ξεκίνησε η κατασκευή της επέκτασης του Τραμ από Ν. Φάληρο μέχρι το κέντρο του Πειραιά, ολοκληρώνοντας έτσι την απ' ευθείας σύνδεση του παραλιακού άξονα με τον Πειραιά μέσω του Τραμ. Ενώ μελέτες γίνονται τόσο για την επέκταση του Τραμ προς προς Κερατσίνι – Πέραμα, όσο και για την υπογειοποίηση της Γραμμής 1 (ΗΣΑΠ) στο τμήμα Ν. Φάληρο – Πειραιάς, όπου θα προστεθεί ένας επιπλέον νέος σταθμός στην περιοχή του εργοστασίου Κεράνης, ενοποιώντας λειτουργικά και πολεοδομικά τις περιοχές του Πειραιά από τις οποίες διέρχεται σήμερα επιφανειακά το μέσο αυτό (www.ametro.gr).

1.3 Κατασκευή και πρόδος κατασκευής της Γραμμής 2 «Ανθούπολη – Ελληνικό»

Η Γραμμή 2, του μετρό της Αθήνας, σύμφωνα με τα στοιχεία της Αττικό Μετρό, ξεκίνησε να κατασκευάζεται τον Νοέμβριο του 1992, αναπτύσσεται εξολοκλήρου υπογείως και έχει γενική διεύθυνση Βορρά- Νότου. Το συνολικό μήκος της γραμμής αυτής είναι 18 χιλιόμετρα και έχει συνολικά 20 σταθμούς (Ελληνικό, Αργυρούπολη, Άλαμος, Ηλιούπολη, Άγιος Δημήτριος, Δάφνη, Άγιος Ιωάννης, Νέος Κόσμος, Συγγρού Φιξ, Ακρόπολη, Σύνταγμα, Πανεπιστήμιο, Ομόνοια, Μεταξουργείο, Αττική, Σταθμός Λαρίσης, Σεπόλια, Άγιος Αντώνιος, Περιστέρι, Ανθούπολη). Οι πρώτοι σταθμοί που δόθηκαν προς χρήση για το επιβατικό κοινό ήταν 7 στο τμήμα Σεπόλια – Σύνταγμα, στις 28 Ιανουαρίου του 2000. Τον Νοέμβριο του 2000 παραδόθηκαν και άρχισαν να λειτουργούν ακόμη 5 χιλιόμετρα σήραγγας με 5 σταθμούς στο τμήμα Σύνταγμα – Δάφνη. Στις 5 Ιουνίου 2004 προστέθηκε ο Σταθμός Άγιος Δημήτριος ενώ στις 9 Αυγούστου 2004 ξεκίνησε να λειτουργεί και ο Σταθμός Άγιος Αντώνιος (στο Περιστέρι). Στις 5 Απριλίου 2013 μπήκε σε

λειτουργία η νέα επέκταση στο Βόρειο Άκρο της Γραμμής με τους σταθμούς ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ, ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ. Και τέλος στις 17 Ιουλίου 2013 λειτούργησε η επέκταση προς τα Νότια Προάστια με τους σταθμούς Ηλιούπολη, Άλιμο, Αργυρούπολη και Ελληνικό.

Συγκεκριμένα (www.ametro.gr):

Επέκταση Σεπόλια – Άγιος Αντώνιος

Στις αρχές Αυγούστου 2004 άνοιξε για το επιβατικό κοινό ο Σταθμός Άγιος Αντώνιος, στο πλαίσιο της επέκτασης της Γραμμής 2 στα δυτικά προάστια του Λεκανοπεδίου. Η επέκταση αυτή έχει μήκος 1,4 χλμ. και σήμερα εξυπηρετεί 50.000 επιβάτες ημερησίως. Η επέκταση αυτή είναι πολύ σημαντική καθώς μέσω αυτής το Μετρό ξεπέρασε τα όρια του Κηφισού ποταμού και μείωσε δραστικά το χρόνο μετακίνησης των κατοίκων των δυτικών προαστίων. Σήμερα, οι επιβάτες χρειάζονται μόλις 7 λεπτά για να μετακινούνται με ασφάλεια, ταχύτητα και άνεση από το Σταθμό Άγιος Αντώνιος έως το κέντρο της Πρωτεύουσας (πλατεία Ομονοίας) και περίπου 45 λεπτά για το Αεροδρόμιο ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ (με μια μετεπιβίβαση στο Σταθμό Σύνταγμα). Ο Σταθμός Αγ. Αντώνιος είναι ο πρώτος σταθμός της νέας γενιάς του Μετρό της Αθήνας και οι βασικοί άξονες για την τελική διαμόρφωσή του ήταν οι εξής:

- Ένταξη και ανάδειξη του υπόγειου έργου στον πολεοδομικό ιστό
- Άνεση και λειτουργικότητες σε επίπεδο εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος
- Αξιοποίηση των θετικών φυσικών παραμέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία το περιβάλλοντος

Το συμπέρασμα είναι ότι ο Σταθμός Άγιος Αντώνιος λειτουργεί αρμονικά ενταγμένος στον περιβάλλοντα χώρο και αναβαθμίζει αισθητά την ποιότητα της καθημερινής ζωής των περιοίκων και των χρηστών του Μετρό.

Επέκταση Δάφνη – Άγιος Δημήτριος

Το νέο τμήμα της Γραμμής 2 από την περιοχή της Δάφνης μέχρι τον Άγ. Δημήτριο, είναι μία επέκταση μήκους 1,2 χλμ., εκ των οποίων 350 μ. είναι σήραγγα τριπλής τροχιάς και 860 μ σήραγγα διπλής τροχιάς και με έναν νέο Σταθμό τον Άγιο Δημήτριο. Οι μέθοδοι κατασκευής αυτής της επέκτασης του Μετρό, είναι η μέθοδος NATM και Ανοιχτού

Ορύγματος. Το όλο έργο κατασκευάστηκε με τις υψηλές προδιαγραφές που θέτει η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. και έτσι σε αυτό είναι ενσωματωμένα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα παροχής και διανομής ισχύος, αερισμού, αντλιοστάσια, φωτισμού, πυροπροστασίας, ανελκυστήρες και κυλιόμενες κλίμακες. Επιπλέον, για τις ανάγκες λειτουργίας του μετρό εγκαταστάθηκαν σύγχρονα συστήματα, όπως συστήματα ασθενών ρευμάτων, σηματοδότησης, τηλεπικοινωνιών, τηλε-ελέγχου, κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης, σύστημα αναγγελιών, σύστημα ωρολογίων και σύστημα πληροφόρησης επιβατών. Οι κατασκευαστικές εργασίες για την επέκταση Σταθμός Δάφνη - Σταθμός Αγ. Δημήτριος ολοκληρώθηκαν εντός του 2004, και συγκεκριμένα ο Σταθμός παραδόθηκε σε εμπορική λειτουργία στις 5 Ιουνίου 2004, αφού πρώτα είχε γίνει και η αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου. Σήμερα, η επέκταση της γραμμής του μετρό εξυπηρετεί καθημερινά 45.000 επιβάτες.

Επέκταση Άγιος Δημήτριος – Ελληνικό

Το έργο επέκτασης της Γραμμής 2 προς το Ελληνικό προέβλεπε αρχικά τη δημιουργία υπέργειου μετρό με υπερυψωμένη γέφυρα, περίπου 5,5 χλμ. κατά μήκος της κεντρικής νησίδας της Λεωφ. Βουλιαγμένης, η οποία όμως θα δημιουργούσε σημαντική ηχητική και οπτική όχληση. Μετά από απόφαση του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων ακυρώθηκε ο σχετικός διαγωνισμός για το έργο αυτό και η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. προκήρυξε νέο, όπου το σύνολο της Γραμμής είναι πλέον υπόγειο, καθώς βάσει αναλυτικότερης εξέτασης του τρόπου κατασκευής διαπιστώθηκε ότι η υπογειοποίηση της Γραμμής θα επέφερε μικρή διαφορά στον προϋπολογισμό και το χρόνο κατασκευής του έργου.

Στις 8 Μαρτίου 2006 υπογράφηκε η σύμβαση για την υπόγεια επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό προς το Ελληνικό. Το συνολικό μήκος της επέκτασης είναι 5,5 χλμ. και περιλαμβάνει τους εξής 4 νέους σταθμούς: Ηλιούπολη, Άλιμος, Αργυρούπολη και Ελληνικό και την κατασκευή υπόγειου χώρου εναπόθεσης 8 συρμών για τις ανάγκες λειτουργίας της επέκτασης. Όλοι οι νέοι Σταθμοί έχουν μήκος 110 μ. και αποτελούνται από 3 επίπεδα, ενώ διαθέτουν εισόδους / εξόδους και στις δύο πλευρές της Λεωφ. Βουλιαγμένης. Για την κατασκευή της σήραγγας χρησιμοποιήθηκε μηχανήμα διάνοιξης σηράγγων TBM-EPB, με διάμετρο κεφαλής 9,5 μ. Οι σταθμοί, τα φρέατα αερισμού και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς επίσης και ο χώρος εναπόθεσης συρμών

κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο του ανοικτού ορύγματος. Με την επέκταση της Γραμμής αυτής εξυπηρετείται συγκοινωνιακά η ευρύτερη περιοχή κατά μήκος του άξονα της Λεωφόρου Βουλιαγμένης, δηλαδή οι περιοχές των δήμων Αγίου Δημητρίου, Ηλιούπολης, Αργυρούπολης, Αλίμου και Ελληνικού. Συγκεκριμένα, με την προσθήκη της συγκεκριμένης επέκτασης στο δίκτυο του Μετρό υπολογίζεται ότι ο αριθμός επιβατών που χρησιμοποιεί το μετρό καθημερινά αυξήθηκε κατά 83.000. Αντίθετα, στην οδική κυκλοφορία εκτιμάται μείωση της τάξεως των 50.000 μετακινήσεων με Ι.Χ. ημερησίως.

1.4 Γραμμή 2 – Σταθμός Περιστέρι

1.4.1 Γενικά

Μετά την ολοκλήρωση του διαγωνισμού για την επέκταση της Γραμμής 2 από τον Αγ. Αντώνιο προς την Ανθούπολη, τον Σεπτέμβριο του 2006 ξεκίνησαν οι κατασκευές για την επέκταση της γραμμής μήκους 1.5 χλμ που θα περιελάμβανε και δύο καινούριους σταθμούς, τον Σταθμό Ανθούπολη και Περιστέρι. Ο Σταθμός Περιστέρι τέθηκε σε λειτουργία στις 6 Απριλίου 2013, αποτελείται από 3 επίπεδα με ίδιο περίπου περίγραμμα συνολικής επιφάνειας 11.000 m².

Σύμφωνα με την Τεχνική Έκθεση Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων της Πανγαία Ε.Π.Ε. ο Σταθμός Περιστέρι εκτείνεται από την Χ.Θ. 1+681.28 έως την Χ.Θ. 1+791.29. βρίσκεται στην κεντρική περιοχή του Δήμου Περιστερίου, συγκεκριμένα στην πλατεία Δημοκρατίας, παραπλεύρως του Ναού Ευαγγελιστρίας και του υπό κατασκευή Δημαρχείου. Η Είσοδος –Εξόδος 2 ευρίσκεται στην απέναντι πλευρά της μελλοντικής παράκαμψης της Λεωφόρου Τσαλδάρη στο ρεύμα προς την οδό Θηβών (στην περιοχή των εργατικών πολυκατοικιών) και οδηγεί επίσης στο μεσοπάτωμα του σταθμού, μέσω υπόγειας διάβασης (που θα κατασκευασθεί με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος) κάτω από τη μελλοντική παράκαμψη της Λεωφόρου Π. Τσαλδάρη. Συνεπώς, η κατασκευή της Εισόδου -Εξόδου 2 προηγήθηκε της παράκαμψης της Λεωφόρου Παναγή Τσαλδάρη. Ο μόνιμος φορέας του Σταθμού Περιστέρι έχει μήκος περίπου 112 m. Το βάθος του φτάνει περίπου στα 25 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.

Το μεγαλύτερο τμήμα του σταθμού, μήκους 67 m περίπου, κατασκευάστηκε με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος (E&E), ενώ το υπόλοιπο τμήμα, που συνδέεται με τη σήραγγα επέκτασης της Γραμμής 2 προς το Φρέαρ Φλέμινγκ, μήκους 45 m περίπου, κατασκευάστηκε με υπόγεια διάνοιξη με συμβατικά μέσα (για την ελαχιστοποίηση όχλησης στην κυκλοφορία των οχημάτων, αφού στο σημείο διάνοιξης υπάρχει διασταύρωση έξι δρόμων) και αποτελείται από την κύρια σήραγγα και δύο στοές κλιμακοστασίων εκατέρωθεν, οι οποίες κατασκευάστηκαν επίσης, με υπόγεια εκσκαφή 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 (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1 .2 Κατασκευή της προσωρινής υποστήριξης του Σταθμού «Περιστέρι» (www.ametro.gr)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

2.1 Μορφολογία περιοχής μελέτης

2.1.1 Γενικά

Ο Δήμος Περιστερίου είναι ένα από τους μεγαλύτερους σε πληθυσμό Δήμους της χώρας, συγκεκριμένα είναι ο μεγαλύτερος σε έκταση και πληθυσμό από τους Δήμους της Δυτικής Αθήνας και ο τέταρτος μεγαλύτερος της χώρας όσον αφορά τον πληθυσμό. Συγκεκριμένα σύμφωνα με τα επίσημα στατιστικά της ΕΣΥΕ ο μέσος καθαρός πληθυσμός του Δήμου ανέρχεται σήμερα σε 400.000 κατοίκους περίπου. Ο πληθυσμός κατανέμεται σε έκταση 997 ha, ενώ η συνολική έκταση του δήμου προβλέπεται να ανέρθει σε περίπου 2000 ha με χωροθέτηση δημοτικών διαμερισμάτων και καθιέρωση τουριστικής και εμπορικής ζώνης.

Ο Δήμος του Περιστερίου χωρίζεται από το κέντρο της Αθήνας με τον ποταμό Κηφισό και απέχει από αυτό περίπου 4 km, ενώ συνορεύει με τους Δήμους των Αγίων Αναργύρων, των Νέων Λιοσίων, της Πετρούπολης στα βορειοδυτικά, του Χαϊδαρίου στα δυτικά και του Αιγάλεω στα νότια.

2.1.2 Ιστορική αναδρομή

Λέγεται ότι η ιστορία του Περιστερίου ξεκινάει το 1923, όταν εγκαταστάθηκαν οι πρώτοι πρόσφυγες από την Μ.Ασία και τον Πόντο. Με την έναρξη των ανασκαφών που ξεκίνησαν το 1981, αποκαλύφθηκαν πολλά αρχαιολογικά ευρήματα (Εικόνα 2.6), αγωγοί αποχέτευσης και αρχαίοι τάφοι που δείχνουν ότι η ιστορία της περιοχής αυτής ξεκινάει πολλές χιλιάδες χρόνια πριν, έως και 25 αιώνες πριν. Έρευνες πολλών αρχαιολόγων δείχνουν ότι στον χώρο του Δήμου Περιστερίου αναπτύχθηκαν οι δήμοι Χολαργός και Λευκονόη.



Εικόνα 2. 1. Αγγεία του 430-400 π.Χ από τάφο της περιοχής που αποκαλύφθηκε το 1950 (Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών)

Στις 18/1/1934 το Περιστερί αποσπάσθηκε από το Δήμο Αθηναίων, στον οποίο ανήκε και αναγνωρίσθηκε ως Δήμος λόγω του μεγάλου πληθυσμού του, με πρώτες δημοτικές εκλογές να διεξάγονται το 1934.

Την εποχή εκείνη και ιδιαίτερα μεταπολεμικά στο Δήμο Περιστερίου παρατηρήθηκε μια μεγάλη πληθυσμιακή αύξηση, ενώ επίσης προσαρτήθηκαν οι οικισμοί Περιστερί, Χρυσασλίδα, Άνω και Κάτω Γερμανικά, Κτιστά και ο συνοικισμός Ποντίων, Αρμενίων.

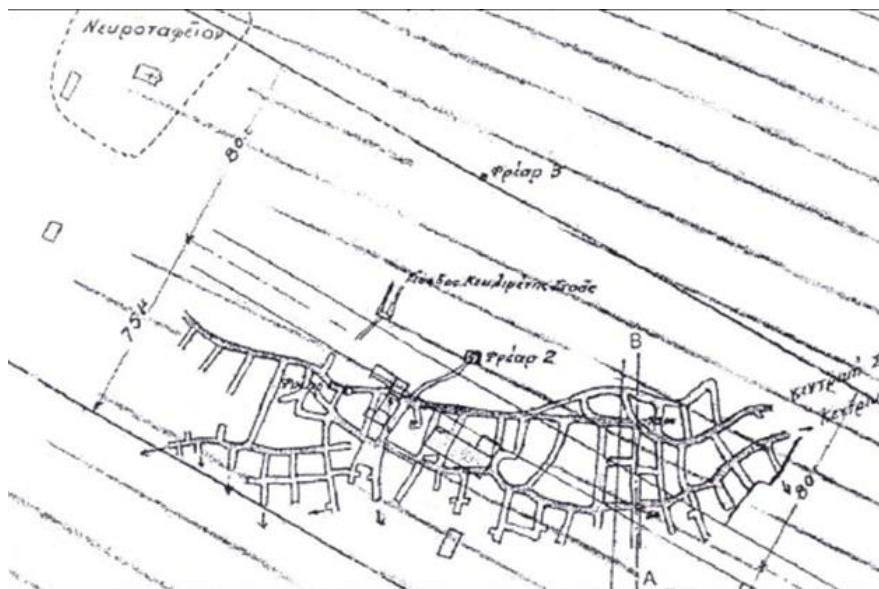
2.1.3 Λατομεία – Ορυχεία Λιγνίτη Δήμου Περιστερίου

Ιδιαίτερο ιστορικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη και η λειτουργία των λιγνιτωρυχείων στην περιοχή του Δήμου Περιστερίου, στα οποία γίνεται μια μικρή αναφορά στην παρακάτω παράγραφο.

2.1.3.1 Στοιχεία εκμετάλλευσης

Το 1932 ξεκίνησε η λειτουργία του λιγνιτωρυχείου, το οποίο απασχολούσε περίπου 800 άτομα. Οι πρώτες εκμεταλλεύσεις του λιγνίτη στη περιοχή του Περιστερίου, μέχρι και το 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο διεξάγονταν στο νότιο τμήμα του. Ο τρόπος εκμετάλλευσης που γινόταν, ήταν η εκμετάλλευση στους ανώτερους ορίζοντες κοντά στην επιφάνεια χωρίς η εκμετάλλευση να προχωράει σε μεγαλύτερο βάθος. Η μερική αυτή εκμετάλλευση είχε σαν αποτέλεσμα το μεγαλύτερο τμήμα του κοιτάσματος να μην εξορύσσεται.

Σύμφωνα με την μελέτη Πανγαία Ε.Π.Ε η εκμετάλλευση γινόταν με δύο επιμήκεις, οριζόντιες στοές με μήκος περίπου 250 m και βάθος περίπου 55 m. Οι δύο στοές, η διάνοιξη των οποίων έγινε κατά την παράταξη του κοιτάσματος, συνδέονταν με εγκάρσιες στοές που ακολουθούσαν την κλίση του κοιτάσματος και η προσπέλασή τους γινόταν με δύο κατακόρυφα φρέατα (Εικόνα 2.7). Λόγω της ύπαρξης υπόγειων υδάτων για την ομαλή διεξαγωγή των εργασιών της εκμετάλλευσης, στην κλίση του κοιτάσματος η εξόρυξη γινόταν με τέτοιο τρόπο που το επίπεδο όρυξης να ανέρχεται σταδιακά προς τον νότο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το νότιο τμήμα της εκμετάλλευσης ήταν στο πιο επιφανειακό τμήμα με βάθος 37 και οι στοές εκμετάλλευσης διανοίγονταν εντός του κοιτάσματος με ύψος 2.4-2.6 m.



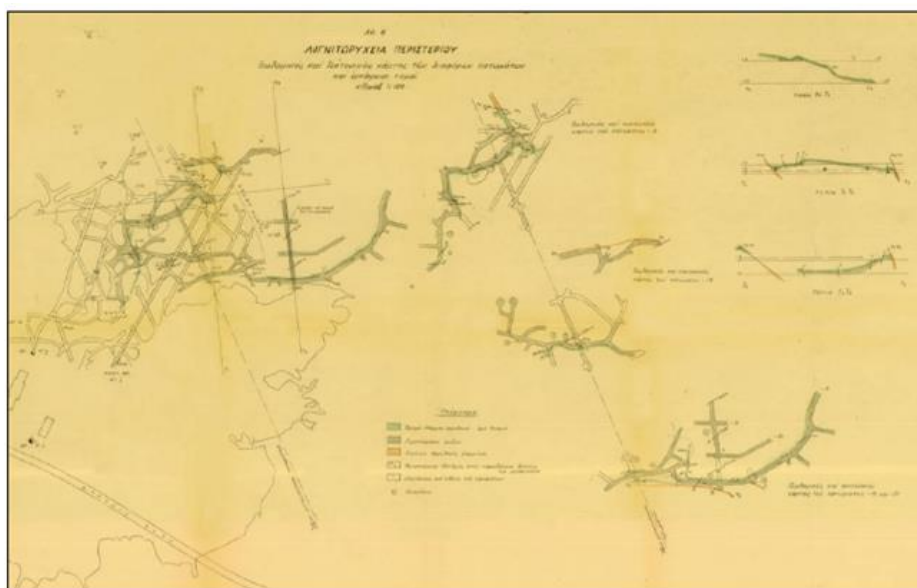
Εικόνα 2.2. Σχέδιο εξόρυξης στο λιγνιτωρυχείο Περιστερίου, 1940 (Πανγαία, 2007)

Από το μέγεθος των στοών καθώς και από τον τρόπο εκμετάλλευσης, αφού οι στοές καταλάμβαναν το 1/3 της περιοχής εξόρυξης εντός του μεταλλεύματος και ο συντελεστής ανάκτησης είναι 33%, η ποσότητα του εκμεταλλεύμενου κοιτάσματος ήταν περίπου 20.000 ton (εκτιμώμενη συνολική ποσότητα κοιτάσματος 86.250 ton). Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι περίπου 66.250 ton λιγνίτη έμειναν ανεκμετάλλευτοι, γεγονός που είναι απόλυτα δικαιολογημένο αφού η εκμετάλλευση γινόταν αποκλειστικά εντός του μεταλλεύματος με μικρό ύψος στοών.

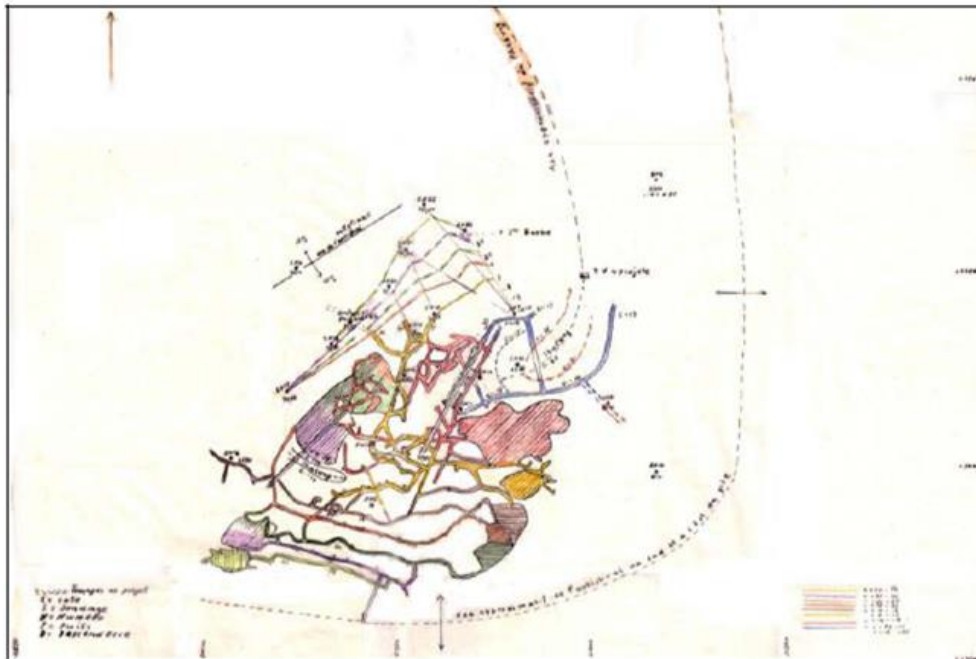
Την επόμενη χρονική περίοδο, κατά την διάρκεια του 2^ο Παγκοσμίου πολέμου δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για την εκμετάλλευση του λιγνίτη, ωστόσο φαίνεται οι

εργασίες εξόρυξης να εντατικοποιήθηκαν. Υπάρχει πιθανότητα εκμετάλλευσης με ληστρικό τρόπο από τους στύλους κοιτάσματος που είχαν παραμείνει από τις προηγούμενες εκμεταλλεύσεις. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την επέκταση των υπόγειων κενών, που με την πυρκαγιά εντός των στοών εξόρυξης, αυξήθηκαν ακόμη περισσότερο.

Από τις μελέτες Τρικκαληνού – Μούσουλου, που ανατέθηκαν από την Α.Ε. Λιγνιτωρυχεία Αττικής αντλούνται πληροφορίες για τον τρόπο εκμετάλλευσης, την εξάπλωση του κοιτάσματος και τις τεχνικές επέκτασής της εκμετάλλευσης (Εικόνα 2.8 και Εικόνα 2.9). Η υπόγεια εκμετάλλευση γινόταν σε 4 επίπεδα (-8m, -13m, -15m, -21m) και το δίκτυο στοών είχε συνολικό μήκος περίπου 1 km (Τρικκαληνός – Μούσουλος 1949). Όπως και πρωτύτερα οι εκμετάλλευση προχωρούσε επιφανειακά στο ανώτερο μέρος του λιγνιτικού ορίζοντα, όπου το πάχος ήταν περίπου 5 m, από τα οποία τα 3.75 m, ήταν το μετάλλευμα. Την περίοδο αυτή η εκμετάλλευση από το νοτιοδυτικό τμήμα επεκτείνεται στο βόρειο και ξεκινάει η λειτουργία του φρέατος Αγίας Βαρβάρας. Στην συνέχεια για την αύξηση της εκμετάλλευσης, άρχισε να γίνεται η χρήση της μεθόδου του επιμήκους μετώπου με λιθογόμωση ή ελεγχόμενη κατακρήμνιση της οροφής. Για την αύξηση της εκμετάλλευσης, πολλές φορές γινόταν απόληψη του μεταλλεύματος από τους στύλους που είχαν παραμείνει από προηγούμενες εκμεταλλεύσεις για την υποστήριξη της οροφής στο νότιο τμήμα.



Εικόνα 2. 3. Γεωλογικός και Τεκτονικός χάρτης των διαφόρων πατωμάτων και εγκάρσιων τομών λιγνιτωρυχείου Περιστερί (Τρικκαληνός-Μούσουλος 1949)



Εικόνα 2.4. Σχέδιο υπόγειων στοών και το απόλυτο υψόμετρο

Σύμφωνα με τα αρχεία του ΙΓΜΕ, το 1958 οι στοές που είχαν ορυχθεί για την εκμετάλλευση του λιγνίτη αρχίζουν να λιθογομώνονται, αφού η συνέχιση της εκμετάλλευσης και οι οικισμοί της περιοχής ήταν δύο παράγοντες που πλέον δεν μπορούσαν να συνυπάρξουν. Με την λιθογόμωση αυτή, ώστε να αποφευχθεί εκτεταμένη καθίζηση και να υποστηριχθεί καλύτερα η οροφή, το λιγνιτωρυχείο διαχωρίστηκε σε τρεις τομείς, που ήταν οι εξής:

- Πρώτος τομέας, σε βάθος 47-70m από την επιφάνεια
- Δεύτερος τομέας, σε βάθος 32-47 από την επιφάνεια, με μερική λιθογόμωση και κατακρήμνιση των στοών του
- Τρίτος τομέας σε βάθος 20-32m από την επιφάνεια, όπου όλες οι στοές λιθογομώθηκαν χωρίς πίεση

2.1.3.2 Λιγνιτωρυχεία σήμερα

Η ύπαρξη των λιγνιτωρυχείων και των στοών εκμετάλλευσης είναι γεγονός που δημιούργησε ανησυχίες κατά την κατασκευή επιφανειακών και υπόγειων κατασκευών στην περιοχή του Δήμου Περιστερίου. Ωστόσο τον Ιανουάριο του 2000 πραγματοποιήθηκαν 25 γεωτρήσεις στην περιοχή προκειμένου να διαπιστωθεί η κατάσταση των υπόγειων μεταλλείων του λιγνίτη. Η οχτώ από τις εικοσιπέντε γεωτρήσεις ήταν δειγματοληπτικές, ενώ οι υπόλοιπες δεκαεφτά δεν περιείχαν δείγμα

στο εσωτερικό τους. Από την μελέτη των δειγμάτων και αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων αυτών προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι λιγνιτικοί ορίζοντες και οι στοές βρίσκονται σε βάθος μεγαλύτερο από 65 m, μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις το βάθος φτάνει και τα 88 m με αποτέλεσμα να μην επηρεάζουν την κατασκευή και τις εργασίες του σταθμού (Πανγαία, 2007).

2.2 Γεωλογικές Συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού

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 (Εικόνα 2.1), τα οποία συγκεντρώθηκαν για την διεκπεραίωση της κατασκευής του σταθμού του μετρό του Περιστερίου.

Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από παλιότερες έρευνες και μελέτες καθώς και από τις γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές έρευνες πεδίου που γίνανε επιτόπου προκειμένου να προσδιοριστεί η στρωματογραφία στην περιοχή, η έκταση και το πάχος της κάθε μιας στρώσης του υπεδάφους, τα φυσικά και 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, το μέγεθος των καθιζήσεων, το είδος της κατηγορίας του εδάφους όσον αφορά την σεισμική επικινδυνότητα και τις απαραίτητες μεθόδους βελτίωσης και αντιστήριξή τους με τελικό σκοπό την ασφαλή και οικονομική κατασκευή του σταθμού.

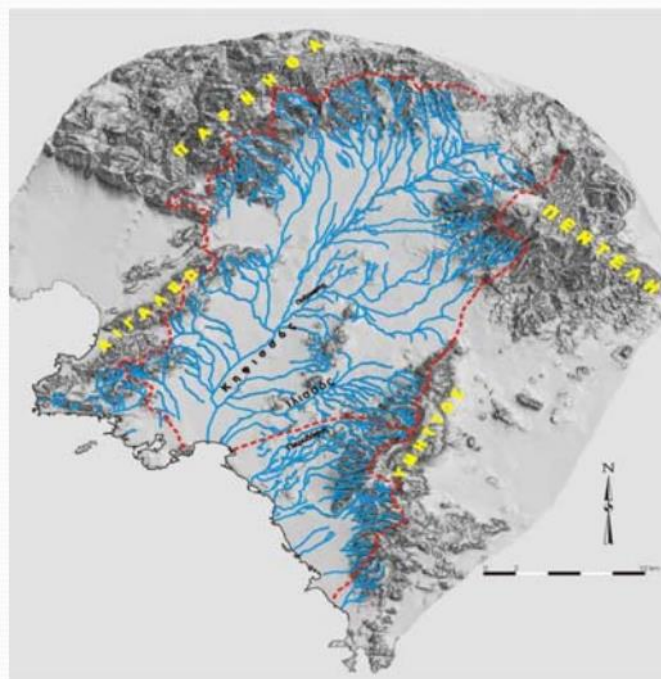


Εικόνα 2. 5. Αεροφωτογραφία της στενής περιοχής κατασκευής Σταθμού «Περιστέρι»

2.2.1 Μορφολογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης-Αττική

Η ευρύτερη περιοχή στην οποία βρίσκεται ο σταθμός Περιστερίου είναι το λεκανοπέδιο Αττικής με άξονα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ με 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).

Κατά μήκος του κεντρικού άξονα του Λεκανοπεδίου Αττικής αναπτύσσονται αρκετοί λόφοι (Τουρκοβούνια, Λυκαβηττός, Στρέφη, Ακρόπολη, Φιλοπάππου κ.α.). Συγκεκριμένα η σειρά λόφων, που αποτελείται από τα Τουρκοβούνια, τον Λυκαβηττό, την Ακρόπολη και τον λόφο του Φιλοπάππου, χωρίζουν το λεκανοπέδιο Αττικής σε ανατολικό και δυτικό τμήμα (Εικόνα 2.2). Το δυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου, στο οποίο βρίσκεται η περιοχή μελέτης και το έργο, αποστραγγίζεται από τον Κηφισό ποταμό, ο οποίος πηγάζει από τον αυχένα του Μπογιατσίου και εκβάλλει στον όρμο του Φαλήρου.



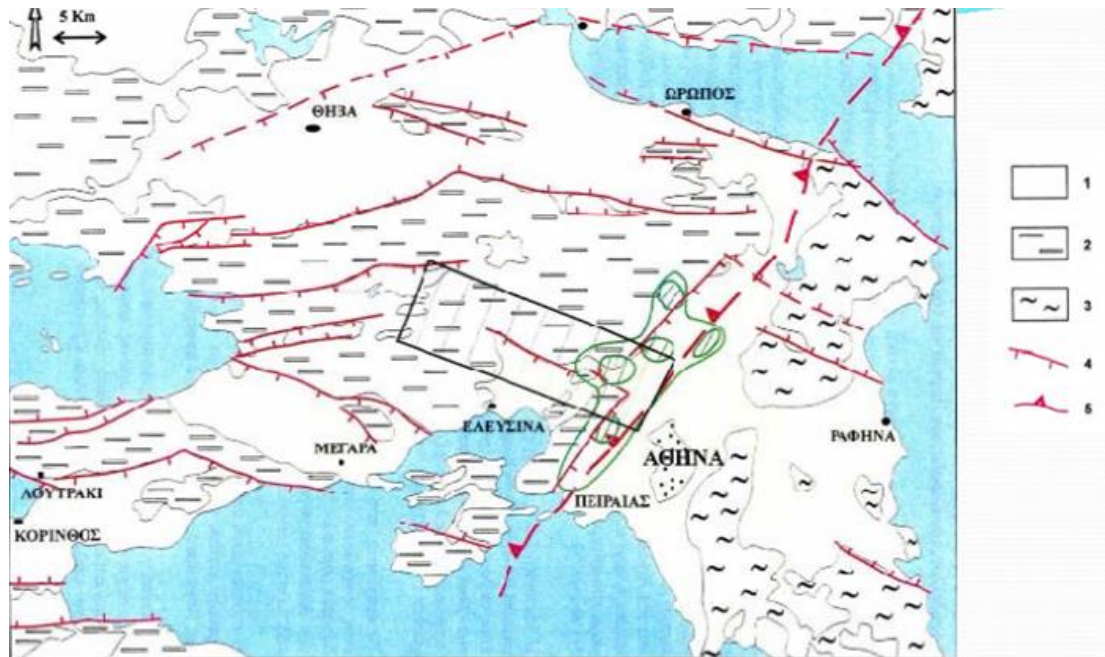
Εικόνα 2.6. Μορφολογία Λεκανοπεδίου Αττικής (Λουπασάκης, 2014)

Το ανάγλυφο της περιοχής είναι σχετικά ομαλό με αρκετά ήπιες κλίσεις πρνανών γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, με μικρή εξαίρεση τους λόφους που αναπτύσσονται σε σημεία όπου αναδύεται το γεωλογικό υπόβαθρο. Ο κύριος ορεινός όγκος που υπάρχει στην ευρύτερη περιοχή κατασκευής του έργου είναι το όρος Αιγάλεω και βρίσκεται σε απόσταση 3.0 km από αυτό, με υψόμετρο που ανέρχεται στα 450 m και ανάπτυγμα ΝΔ-ΒΑ διεύθυνσης. Το υψόμετρο στη θέση του σταθμού «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» συγκεκριμένα κυμαίνεται μεταξύ +54.00 και +59.00 m. Το χαμηλότερο υψομετρικά μορφολογικό στοιχείο στην περιοχή είναι ο ποταμός Κηφισός, ο οποίος, στο σημείο της οδού Παναγή Τσαλδάρη έχει υψόμετρο +44.00 m (Παγαία, 2007).

2.2.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας

2.2.2.1 Γενικά

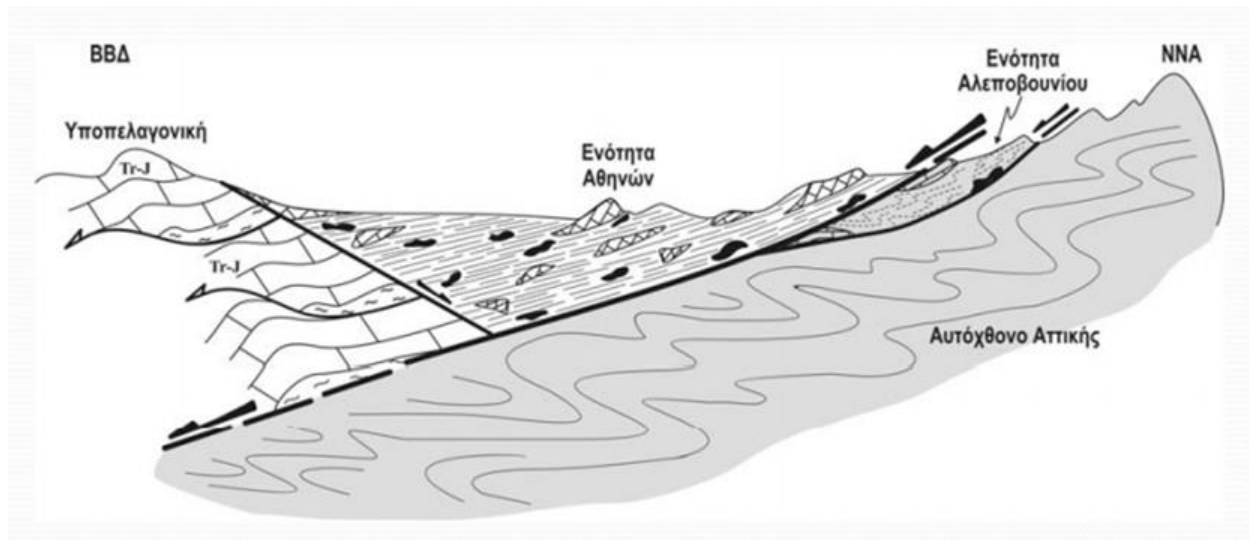
Γενικά η γεωλογική δομή του λεκανοπεδίου της Αθήνας παρουσιάζει πολυπλοκότητα όσον αφορά στο γεωτεκτονικό της πλαίσιο (Εικόνα 2.3). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν το λεκανοπέδιο αποτελούνται από δύο κατηγορίες τους αλπικούς και τους μεταλπικούς. Οι αλπικοί σχηματισμοί δομικά συστατικά των ορεινών όγκων και λόφων που αναπτύσσονται στο λεκανοπέδιο Αττικής, ενώ οι μεταλπικοί σχηματισμοί δομούν κυρίως το εσωτερικό του λεκανοπεδίου (Παπανικολάου et al. 2002).



Εικόνα 2 7. Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής του Αττικής (1:μεταλλικοί σχηματισμοί Άνω Μειοκαινικής – Ολοκαινικής ηλικίας, 2: μη μεταμορφωμένοι αλπικοί σχηματισμοί, 3:μεταμορφωμένοι αλπικοί σχηματισμοί, 4:κύρια ρήγματα, 5:μεγάλης κλίμακας τεκτονική επαφή-αποκόλληση) (Παπανικολάου et al. 2002)

Μια μεγάλη τεκτονική ζώνη έχει χωρίσει το λεκανοπέδιο σε δύο διαφορετικές γεωλογικές ενότητες διαφορετικών πετρωμάτων. Η μια γεωλογική ενότητα είναι το βορειοδυτικό τμήμα που καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους του Αιγάλεω και της Πάρνηθας και συνίστανται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ιζηματογενείς ανθρακικούς μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στην Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη η αλλιώς στην ενότητα του μη μεταμορφωμένου Αυτόχθονου συστήματος της Αττικής.

Το βορειοανατολικό και το νοτιοανατολικό τμήμα καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους της Πεντέλης και του Υμηττού, αντίστοιχα, που συνίστανται από μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στην Αττικοκυκλαδική Μεταμορφωμένη Μάζα.



Εικόνα 2 8. Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών (Παπανικολάου et al. 2004)

2.2.2.2 Το βορειοδυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου των Αθηνών

Το βορειοδυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου των Αθηνών αποτελείται από μη-μεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα, που αποτελούν τους ορεινούς όγκους του Αιγαλέω, της Πάρνηθας και του Ποικίλου Όρους, και παρουσιάζει την παρακάτω στρωματογραφική διάρθρωση:

- Στη βάση υφίσταται το ελαφρά μεταμορφωμένο Νεοπαλαιοζωϊκό υπόβαθρο μετακλαστικών σχηματισμών με ανθρακικές ενστρώσεις.
- Ακολουθούν ανθρακικά πετρώματα Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας, με μέγιστο πάχος περί τα 700 m. Στους ανωτέρω σχηματισμούς έχουν αποτεθεί οφιολιθικά πετρώματα λόγω παλαιοαλπικών πτυχώσεων.
- Τέλος, η στρωματογραφική στήλη συνεχίζεται με τους επικλυσιογενείς ασβεστολίθους του Μέσου – Ανώτερου Κρητιδικού, που έχουν αποτεθεί ασύμφωνα στους προηγούμενους σχηματισμούς, με πάχος που ανέρχεται σε 300 m. Η στρωματογραφική στήλη του όρους Αιγάλεω είναι η ακόλουθη (Παναγία, 2007):
- Νεοπαλαιοζωϊκό – Μ. Τριαδικό: Τεφροπράσινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, βασικά εκρηξιγενή και κροκαλοπαγή με ενστρώσεις και φακούς μελανότεφρων ασβεστόλιθων

- Μ. Τριαδικό – Κ. Ιουρασικό: Ανοιχτότεφροι, μεσο-παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι – δολομίτες, που αποτελούν τον κύριο όγκο του όρους.
- Κενομάνιο – Σενώνιο: Επικλυσιγενείς, λεπτοστρωματώδεις ή μεσο-παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, που κατά θέσεις καλύπτουν τα βωξίτικα και σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα.

2.2.2.3 Βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου Αθηνών

Στο βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου αποτελείται από την Αυτόχθονη Ενότητα Αλμυροπόταμου-Αττικής, όπου αναπτύσσονται οι ορεινοί όγκοι της Πεντέλης και του Υμηττού. Η στρωματογραφία στην περιοχή αυτή από τους παλιότερους έως τους νεότερους σχηματισμούς είναι η εξής (Lepsius, 1893):

Η μεταμορφωμένη ενότητα της Βάρης με

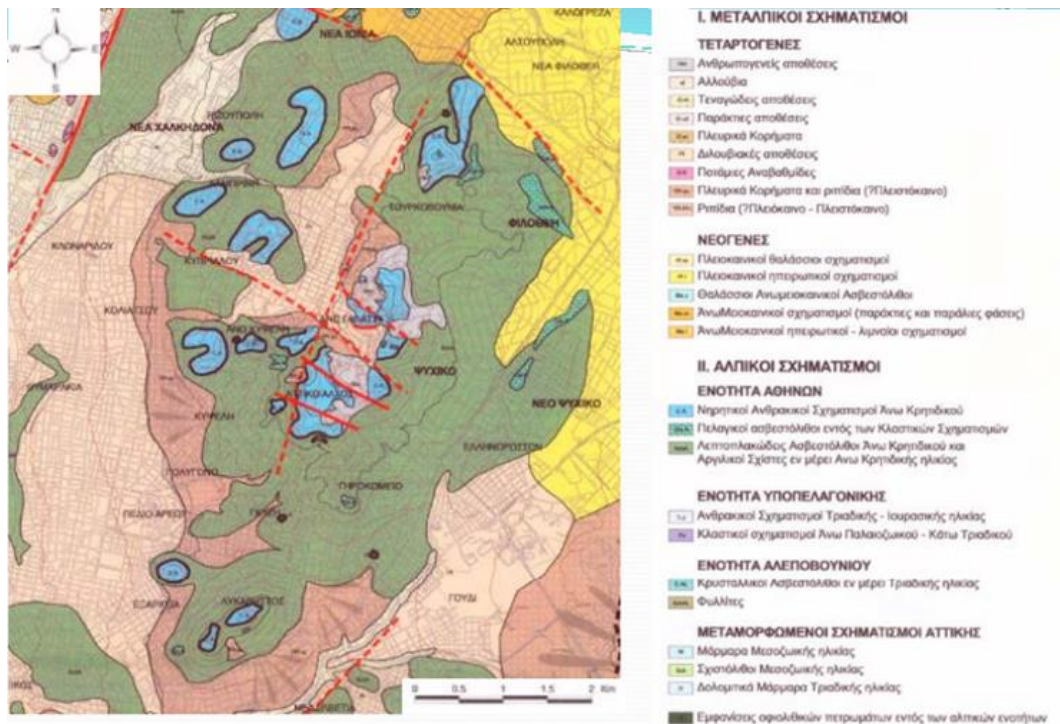
- Ασβεστομιγείς και μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι με λεπτοστρωματώδεις κρυσταλλικούς δολομιτικούς ασβεστόλιθους (Σχιστόλιθοι Βάρης), που έχουν πάχος 100 m περίπου και συναντώνται μόνο σε περιοχές της Βάρης.
- Δολομίτες και ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι Πιρναρής, που περιλαμβάνει σχιστόλιθους και μεταβασικά πετρώματα στη βάση, ανοιχτότεφρου, τεφρού ή μελανού χρώματος, πάχους περίπου 200 m (βαθμίδα Πιρναρής) με πολύπλοκη δομή ισοκλινών πτυχών και εσωτερικών ολισθήσεων. Συναντώνται στον Νότιο Υμηττό πάνω από τις περιοχές Ελληνικού – Αργυρούπολης.

Η μεταμορφωμένη ενότητα Υμηττού και Πεντέλης με

- Κατώτερο μάρμαρο, που αποτελείται από ροδόχροα, υποκίτρινα ή λευκά άστρωτα μάρμαρα, κατά θέσεις κυψελώδη – λατυποπαγή. Εμφανίζουν πάχος περίπου 500 m και αποτελούν την κύρια μάζα του Υμηττού και εν μέρει της Πεντέλης.
- Μαρμαρυγιακοί και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι με ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων ή μαρμάρων (Σχιστόλιθοι Καισαριανής). Το πάχος του σχηματισμού ανέρχεται σε 250 m περίπου και συναντάται στον Βόρειο Υμηττό και στην Πεντέλη. Περιλαμβάνει επίσης μάρμαρα και δολομίτες που μεταβατικά περνάνε σε σχιστόλιθους.

- Μετα-ηφαιστειοζηματογενή ακολουθία στη βάση (μεταφορωμένη ενότητα Πεντέλης) που περνάει τελικά σε μια ακολουθία μαρμάρων μεγάλου πάχους.

Πάνω σε αυτά τα στρώματα υπάρχει ασυμφωνία του «Κατώτερου Ασβεστόλιθου» και των «Στρωμάτων Καρά», που εμφανίζονται στους βόρειους και δυτικούς πρόποδες του Υμηττου. Στη συνέχεια ακολουθούν με ασυμφωνία, οι «Σχιστόλιθοι των Αθηνών», που είναι ένα κλαστικό δυναμο-μεταμορφωμένος σχηματισμός φλυσχοειδούς χαρακτήρα με εναλλαγές στρωματογραφικά και πλευρικά ιλυόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου, μεταψαμμιτικών χαλαζιτών και κροκαλοπαγών και ο «Ανώτερος Ασβεστόλιθος του Λυκαβηττού», Κρητιδικής ηλικίας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι «Σχιστόλιθοι Αθηνών» συναντώνται στα κεντρικά και δυτικά στο Λεκανοπέδιο Αττικής, υπερκείμενοι της Υποπελαγονικής Ενότητας, και στα ανατολικά, υπερκείμενοι του Αυτόχθονου της Αττικής. Οι σχιστόλιθοι αυτοί με βάση την λιθολογική τους σύσταση, τον βαθμό μεταμόρφωσης και την παραμόρφωσή τους αποτελούν δύο ενότητες, την Ενότητα Αθηνών που είναι υπερκείμενη και δεν έχει ουσιαστικά μεταφορτωθεί και την Ενότητα Αλεποβουνίου, που είναι υποκείμενη και έχει μεταμορφωθεί.



Εικόνα 2 9. Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη στην περιοχή Τουρκοβουνίων – Ενότητα Αθηνών (Παπανικολάου et al. 2002)

2.3 Γεωλογία στη στενή περιοχή του σταθμού

2.3.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί

Η στενή περιοχή μελέτης βρίσκεται στην λεκάνη του Περιστερίου, που ανήκει στους «Σχιστόλιθους των Αθηνών». Μεγάλα τμήματα του συστήματος των Σχιστόλιθων καλύπτονται από νεώτερης ηλικίας, σχηματισμούς του Νεογενούς και Τεταρτογενούς μικρού έως μεγάλου πάχους. Οι σχηματισμοί, που βρίσκονται στην περιοχή του έργου είναι (Πανγαία, 2007):

Οι Ασβεστόλιθοι του όρους Αιγάλεω. Συναντώνται βόρεια και βορειοδυτικά ως προς το έργο και το χρώμα που τους διακρίνει είναι λευκό έως τεφρό και είναι συμπαγείς και ανακρυσταλλωμένοι.

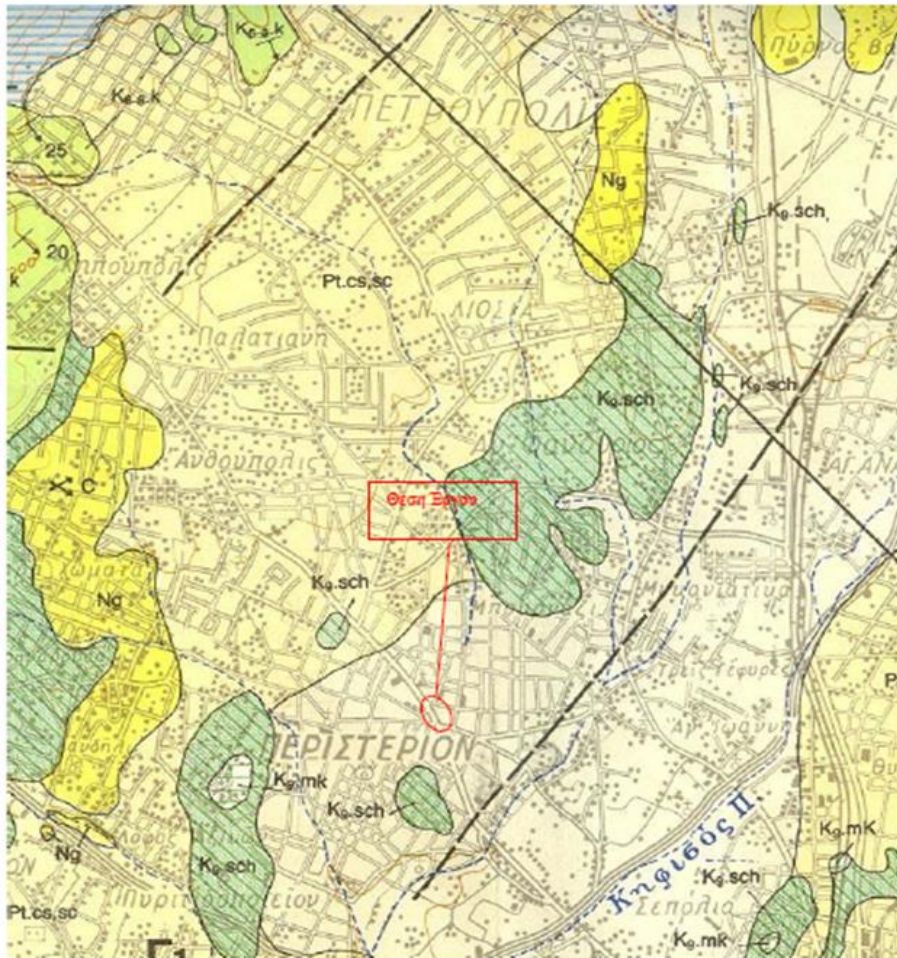
Οι Σχιστόλιθοι των Αθηνών, που συναντώνται και αποτελούν το άμεσο περιβάλλον του έργου, αποτελούνται από τεφρούς κυανότεφρους ή υποπράσινους αργιλικούς, ψαμμιτικούς σχιστόλιθους, ασβεστιτικούς ψαμμίτες και γραουβάκες, με ενστρώσεις ασβεστολίθων και σχιστωδών μαργών και με μικρά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων, κυρίως σπλιτών. Δυτικά του σταθμού, παρατηρείται ανάδυση των σχιστολιθών έως την επιφάνεια του εδάφους.

Τα Νεογενή ιζήματα που έχουν σημαντική επιφανειακή εμφάνιση δυτικά της θέσης του έργου. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα λιμναίας φάσης, μαργών, αργίλων και ψαμμιτών με ενδιάμεσες παρεμβολές κροκαλοπαγών και λιγνιτικών κοιτασμάτων. Οι σχηματισμοί αυτοί προς τα πάνω εμφανίζονται ως ερυθρόπηλους και κροκαλοπαγή και βρίσκονται πάνω από τον «Αθηναϊκό Σχιστόλιθο»

Τεταρτογενείς αποθέσεις, δηλαδή ριπίδια χειμάρρων, πλευρικά κορήματα και προσχωσιγενή υλικά κοιλάδων, που αποτελούνται από ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή, τα οποία είναι συγκολλημένα με ψαμμιτομαργαϊκό συνδετικό υλικό.

Αλλουβιακές αποθέσεις με χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά με ερυθρογή και κροκαλολατύπες.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τεταρτογενείς και αλλουβιακές αποθέσεις είναι εμφανείς σε όλη την επιφάνεια του έργου με διαφορετικό πάχος (Εικόνα 2.11).



Εικόνα 2 10. Γεωλογικός Χάρτης της στενής περιοχής μελέτης (IGME 1986)

Με βάση τα στοιχεία από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και από τις επιτόπου παρατηρήσεις κατά την κατασκευή του σταθμού και της σήραγγας οι βασικοί σχηματισμοί που συναντώνται κατά μήκος του έργου είναι

- ✓ Τεχνητές επιχώσεις και ολοκαινικές αποθέσεις,
- ✓ Νεογενείς σχηματισμοί, που αποτελούνται από κροκαλοπαγή, αποσαθρωμένες μάργες, σκληρές μάργες και ιλυόλιθους
- ✓ Αθηναϊκός σχιστόλιθος, που αποτελείται από αποσαθρωμένο ασβεστιτικό μεταψαμμίτη, ισχυρό ασβεστιτικό μεταψαμμίτη, τεκτονικά μεταψαμμιτικά λατυποπαγή, μεταψαμμίτες, μεταιλυόλιθους και αργιλικούς σχιστόλιθους.

2.3.1.1 Επιχώσεις

Σε όλο το μήκος του έργου υπάρχουν τεχνητές επιχώσεις οι οποίες έχουν αναμιχθεί με ολοκαινικές αποθέσεις είτε από φυσικά αίτια είτε κατά την κατασκευή των φρεάτων

εκσκαφής κατά την διάρκεια ανόρυξης των γεωτρήσεων για να αποφευχθούν τα δίκτυα Ο.Κ.Ω.

Οι επιχώσεις με πάχος που φτάνει τα 2.40 m, αποτελούνται από ανοιχτοκάστανη έως ιλυώδη άμμο με χάλικες και κροκάλες, όπου κατά θέσεις είναι αργιλώδης. Είναι ένας διαπερατός σχηματισμός, με αποτέλεσμα να μπορεί να τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες με σχετικά μικρή σκληρότητα αφού η εκσκαφή του ήταν αρκετά εύκολη.

2.3.1.2 Κροκαλοπαγή

Μετά τους σχηματισμούς των ανθρωπογενών επιχώσεων συναντώνται τα κροκαλοπαγή, τα οποία είναι καστανέρυθρα έως ερυθρά με μέτρια έως ισχυρή συγκόλληση. Είναι ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένα και κερματισμένα με ασβεστιτικό υλικό συγκόλλησης, το οποίο κατά θέσεις αλλάζει και εμφανίζεται να είναι ιλυώδες έως μαργαικό. Πολλές φορές εμφανίζεται ως ψηφιδωπαγές με αργιλοαμμώδες υλικό σύνδεσης, ισχυρά και καλά συγκολλημένο.

Κατά την πρόοδο της κατασκευής ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται μετά την Χ.Θ. 1+578,38 στο τμήμα της σήραγγας και σε όλο το μήκος του σταθμού, με εξαίρεση το μήκος μεταξύ των θέσεων Χ.Θ.1+708,06 και Χ.Θ. 1+722,89. Το πάχος τους σχηματισμού έχει μέση τιμή περίπου 2.10 m υποκείμενα των τεχνητών επιχώσεων.

Ο σχηματισμός του κροκαλοπαγούς έχει σχετικά μέτρια διαπερατότητα με αποτέλεσμα σε θέσεις όπου το υπόβαθρο είναι αδιαπέρατο, δηλαδή όπου συναντάται ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος, να δημιουργείται ένας επικρεμμάμενος υδροφόρος ορίζοντας. Η ροή του ύδατος εντός του κροκαλοπαγούς είναι παράλληλη στον άξονα του έργου με κατεύθυνση τον Κηφισό Ποταμό και εκφορτίζεται στον σχηματισμό των ασβεστιτικών μεταψαμμιτών.

2.3.1.3 Αποσαθρωμένος Ασβεστιτικός Μεταψαμμίτης

Ο σχηματισμός αυτός απαντάται σχεδόν επιφανειακά και βρίσκεται κάτω από τον σχηματισμό του κροκαλοπαγούς και των επιφανειακών επιχώσεων. Η εμφάνιση του

κατά την κατασκευή της σήραγγας παρατηρείται έως την θέση Χ.Θ. 1+578,38 και στην συνέχεια αντικαθίσταται πλευρικά από τον σχηματισμό του κροκαλοπαγούς.

Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από τεφρό έως τεφροπράσινο ασβεστιτικό μεταψαμμίτη, ο οποίος είναι έντονα αποσαθρωμένος, κερματισμένος και οξειδωμένος στις επιφάνειες ασυνέχειας. Σε κάποια σημεία είναι αρκετά πτυχωμένος υπάρχουν καρστικοί σχηματισμοί. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο ασβεστιτικός ψαμμίτης αυτός είναι ένα πέτρωμα το οποίο λόγω της άμεσης επαφής του με τον ατμοσφαιρικό περιβάλλον στο παρελθόν και της επαφής του με το επιφανειακό νερό που εισχωρεί μέσα στον σχηματισμό του αποσαθρώθηκε σε έναν ασθενέστερο σχηματισμό, ο οποίος μπορεί να διατηρεί τις δομές του μητρικού πετρώματος είτε έχει κερματιστεί και συγκολληθεί ξανά. Στην περίπτωση της επανασυγκόλλησης έχει διαφορετική σύσταση των τεμαχίων από τα οποία αποτελείται. Η διαφορετική φυσική κατάσταση του αποσαθρωμένου ασβεστιτικού μεταψαμμίτη έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει ανομοιομορφία στις αντοχές του, ο οποίος κατά κύριο λόγο είναι ένας βραχώδης σχηματισμός. Το μέσο πάχος του αποσαθρωμένου ασβεστιτικού μεταψαμμίτη σύμφωνα με τα μητρώα των γεωτρήσεων είναι περίπου 2.80 m.

Η διαπερατότητα του σχηματισμού αυτού είναι σχετικά μέτρια και εξυπηρετεί την κατακόρυφη τροφοδοσία του υποκείμενου υγιούς σχηματισμού των ασβεστιτικών μεταψαμμιτών, ενώ πλευρικά τροφοδοτείται από τα κροκαλοπαγή.

2.3.1.4 Ισχυρός Ασβεστιτικός Μεταψαμμίτης

Από τα μητρώα των γεωτρήσεων συμπεραίνεται ότι ο ασβεστιτικός μεταψαμμίτης αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής διάνοιξης της σήραγγας έως την Χ.Θ. 1+563, όπου αρχίζει να εμφανίζεται συναντάει την βάση της σήραγγας στη Χ.Θ. 1+583, την οροφή της στην Χ.Θ. 1+604.75 και τέλος αποσφηνώνεται πάνω από τον σχηματισμό του Τεκτονικού Μεταψαμμιτικού λατυποπαγούς στην θέση Χ.Θ 11+677.49. Όσο αφορά την περιοχή του σταθμού «Περιστέρι», ο σχηματισμός αυτός συναντάται κατά τόπου σε μεμονωμένους πάγκους στην περιοχή του σταθμού Περιστέρι.

Ο σχηματισμός του ισχυρού ασβεστιτικού μεταψαμμίτη αποτελείται από τεφρό, μέτρια ισχυρό έως ισχυρό, συμπαγή ασβεστιτικό μεταψαμμίτη με ενστρώσεις μεταλυόλιθου

και ασβεστιτικών φλεβών, ο οποίος είναι τοπικά πτυχωμένος και εμφανίζει καρστικοποίηση.

Από τις εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν στον σχηματισμό αυτόν, ο σχηματισμός εμφάνισε σχετικά χαμηλή υδροπερατότητα λόγω των σφραγισμένων ασυνεχειών του, όμως γενικά αποτελεί περατό σχηματισμό υπό συνθήκες ροής χωρίς πίεση και διαμορφώνει φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα στο βάθος των 20.00 m περίπου.

2.3.1.5 Μεταψαμμίτης

Ο σχηματισμός του μεταψαμμίτη απαντάται σε όλο το μήκος του σταθμού Περιστέρι, εκτός από το υπόγειο τμήμα διάνοιξης και στο μήκος της σήραγγας που ακολουθεί μέχρι την θέση Χ.Θ 1+870. Έπειτα η συνέχεια του μεταψαμμίτη διακόπτεται μεταξύ των Χ.Θ 1+780 έως 1+790, από τον σχηματισμό Τεκτονικού Μεταψαμμιτικού Λατυποπαγούς. Η περιοχή του σταθμού «Περιστέρι» εμφανίζεται ως ένα μεγάλο σύγκλινο όπου ο σχηματισμός του Μεταψαμμίτη λόγω πτύχωσης είναι σχετικά κερματισμένος και ο πυρήνας του μεταξύ των θέσεων Χ.Θ. 1+780 και Χ.Θ. 1+790 αποτελείται από τον Τεκτονικό Μεταψαμμιτικό Λατυποπαγές, οι υποκείμενοι σχηματισμοί των μεταιλιθίων και αργιλικών σχιστόλιθων είναι πιο συμπαγή, αφού εμφανίζουν μεγαλύτερη πλαστικότητα ωστόσο έχουν μεγαλύτερα ίχνη διάτμησης στην μάζα τους.

Ο μεταψαμμίτης εμφανίζεται τεφρός έως τεφροπράσινος, ασθενής έως μέτρια ισχυρός, μέτρια αποσαθρωμένος, πολλές φορές εμφανίζεται ως ασβεστιτικός, εξαλλοιωμένος και κερματισμένος. Το μέσο πάχος του σχηματισμού φτάνει και τα 20.00 m. Ο μεταψαμμίτης που απαντάται στην περιοχή εμφανίζεται με τέσσερις κύριες μορφές:

1. Συμπαγής ισχυρός μεταψαμμίτης με ασβεστιτικό υλικό. Ο σχηματισμός αυτός βρίσκεται κυρίως επιφανειακά, αφού εκεί σχηματίζεται στο ασβεστιτικό υλικό, εξαιτίας της διάλυσης ανθρακικού ασβέστιο από τα υπερκείμενα κροκαλοπαγή, που διαμορφώνει τον συμπαγή την συμπαγή βραχώδης υφή. Στρωματογραφικά βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια αμέσως κάτω από τα κροκαλοπαγή.
2. Συμπαγής μέτρια ασθενής έως μέτρια ισχυρός αμιγής υγιής μεταψαμμίτης. Είναι δομικό υλικό του κεντρικού και δυτικού τμήματος του σταθμού

«Περιστέρι» και είναι κυρίαρχη φάση στον μεταψαμμιτικό σχηματισμό στην περιοχή του σταθμού «Ανθούπολη»

3. Ασθενής μεταψαμμίτης. Και αυτός ο σχηματισμός δημιουργείται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους ή σε επιλεκτικές θέσεις όπου υπάρχει κυκλοφορία υπόγειων υδάτων δημιουργείται σαν φάση από αποσάθρωση η εξαλλοίωση.
4. Εναλλαγές μεταψαμμίτη – μεταλιουλίθου, όπου ωστόσο επικρατεί ο μεταψαμμίτης. Οι εναλλαγές αυτές του μεταψαμμίτη και μεταλιουλίθου συναντώνται σε όλη την μάζα του σχηματισμού και έχουν μέτρια έως ασθενή χαρακτηριστικά λόγω τόσο της δομής όσο και της σύστασης.

Με βάση τις γεωτρήσεις το μέγιστο βάθος που βρίσκεται ο σχηματισμός του μεταψαμμίτη δεν είναι πάνω από 32.00 m με μέση τιμή τα 20.00 m. Ο μεταψαμμίτης έχει χαμηλή υδροπερατότητα και η πιθανή ροή νερού γίνεται μόνο μέσα από την συμπαγή βραχώδη φάση του, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται επιλεκτικές δίοδοι ροής μέσα στη μάζα του. Η σύνθετη διαμόρφωση του μεταψαμμίτη εμποδίζει τελικά την κίνηση του υπόγειου νερού, που έχει σαν αποτέλεσμα την χαμηλή διαπερατότητα, αυτό αποδεικνύεται και μέσα από τις δοκιμές υδροπερατότητας με εισπίεση ύδατος.

2.3.1.6 Τεκτονικό Μεταψαμμιτικό Λατυποπαγές

Σύμφωνα με τα μητρώα των γεωτρήσεων ο σχηματισμός του Τεκτονικού Μεταψαμμιτικού Λατυποπαγούς κάνει την εμφάνιση του στην θέση Χ.Θ 1+563, και συναντάει την βάση της σήραγγας στη Χ.Θ 1+583 και την οροφή της περί τη Χ.Θ 1+604.75. Σε ορισμένα θέσεις κάνει την εμφάνισή του και ο μεταψαμμίτης ο οποίος παρεμβάλλεται στον σχηματισμό του μεταψαμμιτικού λατυποπαγούς και είναι αρκετά κερματισμένος. Στην Χ.Θ 1+715 μεταπίπτει στον σχηματισμό του μεταψαμμίτη. Ο σχηματισμός αυτός γενικά αποτελεί την μεταβατική ζώνη από τον ισχυρό σχηματισμό του ασβεστιτικού μεταψαμμίτη στους αμιγής σχηματισμούς του Αθηναϊκού σχιστόλιθου, δηλαδή τον μεταψαμμίτη και μεταλιουλίθο, που παρουσιάζουν μεγαλύτερη πλαστικότητα στις παραμορφώσεις και φτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Στον σταθμό «Περιστέρι» ο σχηματισμός αυτός συναντάται στην περιοχή μεταξύ των Χ.Θ 1+780 και Χ.Θ 1+790, η οποία συνιστά τον πυρήνα της μεγάλης συγκλινικής δομής που διαμορφώνει τη γεωτεκτονική δομή του σταθμού και δημιουργηθεί λόγω της έντονης

πτύχωσης. Το πάχος του σχηματισμού ξεκινάει από τα 12.00 m στην περιοχή της σήραγγας και φτάνει τα 16 m στην περιοχή του σταθμού.

Ο σχηματισμός αυτός είναι ένα τεκτονικό λατυποπαγές με εναλλαγές μεταψαμμίτη μεταιλυόλιθου και ασβεστιτικού μεταψαμμίτη, με τεμάχη και λατύπες μεταψαμμίτη και ασβεστιτικού μεταψαμμίτη τα οποία βρίσκονται σε πολύ ασθενή, καστανοπράσινη εντελώς διατμημένη αργιλολυώδη μάζα. Τα υλικά τα οποία αποτελούν ουσιαστικά τον σχηματισμό αυτόν είναι μεταψιμμιτικής σύσταση και για αυτό άλλωστε ονομάστηκε τεκτονικό μεταψαμμιτικό λατυποπαγές.

Ο σχηματισμό του Τεκτονικού μεταψαμμιτικού λατυποπαγούς έχει πολύ χαμηλή υδροπερατότητα και αποτελεί στην ουσία έναν φυσικό φραγμό στην κίνηση του υπόγειου νερού. Αυτό αποδεικνύεται άλλωστε και από τις γεωτρήσεις που παρουσιάζουν ότι η στάθμη των υπόγειων νερών κατέρχεται από τα 15.00 m στα 21.00 m, και ακολουθεί την γεωμετρία του γεωλογικού ορίου ασβεστιτικού μεταψαμμίτη – τεκτονικού μεταψαμμιτικού λατυποπαγούς, δημιουργώντας έναν επικρεμάμενο υδροφόρο ορίζοντα ο οποίος μεταπίπτει σε φρεάτιο και είναι πιθανόν να δημιουργηθεί πρόβλημα λόγω μεγαλύτερων εισροών υδάτων κατά την διάνοιξη της σήραγγας.

2.3.1.7 Μεταιλυόλιθος – Αργιλικός Σχιστόλιθος

Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται συστηματικά ως ο υποδεέστερος στρωματογραφικά σχηματισμός, με αποτέλεσμα ουσιαστικά να αποτελεί το γενικό υπόβαθρο της περιοχής στην οποία κατασκευάζεται το έργο. Οι σχηματισμοί που τον αποτελούν είναι οι εναλλαγές, λόγω της έντονης πτύχωσης στην περιοχή του σταθμού «Περιστέρι», του μεταιλυόλιθου και αργιλικού σχιστόλιθου. Στρωματογραφικά κατώτερος είναι ο αργιλικός σχιστόλιθος.

Ο σχηματισμός αυτό επικρατεί στο περιβάλλον διάνοιξης της σήραγγας, αναδύεται ως γεωλογικό υπόβαθρο του έργου στη Χ.Θ 1+583, αναδύεται στο ύψος της βάσης της σήραγγας στη Χ.Θ 1+620 και κατέρχεται με την εμφάνιση εναλλαγών με τον μεταιλυόλιθο, στην αρχή του σταθμού «Περιστέρι».

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων ο σε βάθη τα οποία είναι χαμηλότερα της κατασκευής, εκτός της θεμελίωσης, ο σχηματισμός αυτός αποτελεί το γεωλογικό

υπόβαθρο για όλο τον σταθμό «Περιστέρι». Παρουσιάζει ανάδυση λόγω πτύχωσης σε ύψος των 20.00 m από την επιφάνεια του εδάφους στις Χ.Θ 1+732 και Χ.Θ 1+786. Σε όλο το μήκος του σταθμού παρατηρούνται εναλλαγές μεταίλυόλιθου και αργιλικού σχιστόλιθου λόγω πτύχωσης, όπου στους ανώτερους ορίζοντες επικρατεί ο μεταίλυόλιθος και στους κατώτερους ο αργιλικός σχιστόλιθος.

Ο σχηματισμός αυτός συνήθως βρίσκεται σε τέσσερις φάσεις:

1. Εναλλαγές τεφροπράσινου μεταψαμμίτη με μεταίλυόλιθο, σχηματισμός ο οποίος είναι μέτρια ασθενής έως ασθενής και κερματισμένος, όπου επικρατεί κυρίως ο Μεταίλυόλιθος .
2. Μεταίλυόλιθος, ο οποίος είναι ασθενής έως μέτρια ασθενής και εξαλλοιωμένος
3. Εναλλαγές αργιλικού σχιστόλιθου με μεταίλυόλιθο
4. Αργιλικός σχιστόλιθος, ο οποίος είναι σκουρότερος και ασθενής έως μέτρια ασθενής.

Ο σχηματισμός αυτός σύμφωνα με τις εργαστηριακές δοκιμές στις οποίες υποβλήθηκε έχει χαμηλή υδροπερατότητα, η οποία ουσιαστικά οφείλεται στην λιθολογική του σύσταση.

2.3.1.8 Αποσαθρωμένη και Υγιής Μάργα

Στην περιοχή κατασκευής εμφανίζονται οι νεογενείς σχηματισμοί με την μορφή μαργών, μαργαικών ασβεστόλιθων και μαργαικών κροκαλοπαγών. Κάτω από τις επιφανειακές αποθέσεις υπάρχει ένα στρώμα με πάχος το οποίο δεν ξεπερνάει τα 3.50 m και αποτελείται από υπόλευκη έως καστανοκίτρινη, μέτρια έως έντονα αποσαθρωμένη ασθενή μάργα. Ο υποκείμενος σχηματισμός αποτελείται από εναλλαγές υπόλευκης, μέτρια ισχυρής αμμώδους μάργας, ισχυρών μαργαικών και ασβεστόλιθων και κροκαλοπαγών.

Λόγω αποσάθρωσης και της ύπαρξης συστημάτων ασυνεχειών η αποσαθρωμένη μάργα παρουσιάζει μέτρια έως χαμηλή διαπερατότητα, ωστόσο στην περιοχή του σταθμού ακριβώς, ο σχηματισμός είναι πραγματικά αδιαπέρατος και διαμορφώνεται ένας επικρεμάμενος υδροφόρος ορίζοντας μέσα στην αποσαθρωμένη ζώνη.

2.3.1.9 Ιλυόλιθος

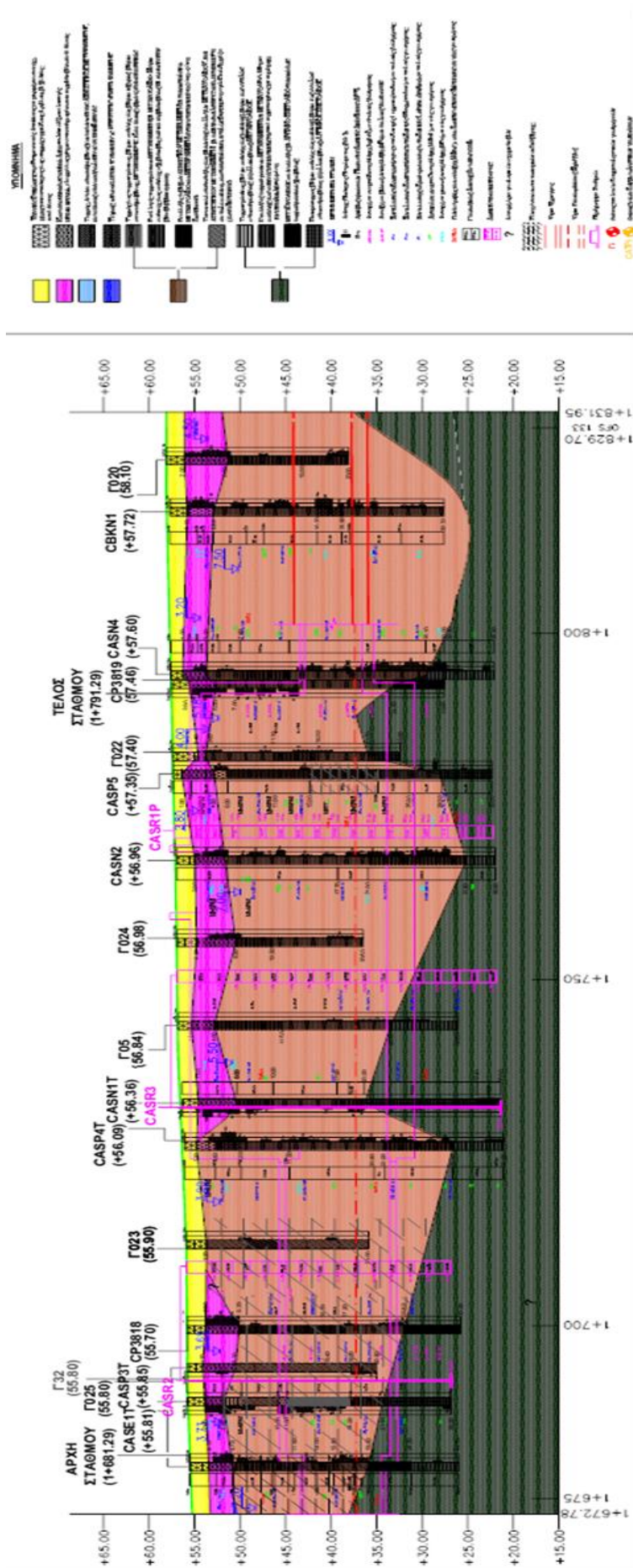
Τέλος στο τερματικό φρέαρ κάτω από το βάθος των 22.50 m συναντάται ένας τεφρός συμπαγής ιλυόλιθος, ο οποίος είναι μέτρια ισχυρός έως ισχυρός σχηματισμός. Μέσα από τις εργαστηριακές δοκιμές υδροπερατότητας εμφανίζεται ότι είναι ένας αδιαπέρατος σχηματισμός.

2.3.2 Τελική Γεωλογική δομή στην περιοχή Σταθμού «Περιστέρι»

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορεί να σχηματιστεί η τελική γεωλογική δομή (Εικόνα 2.11) στην περιοχή που κατασκευάζεται ο σταθμός, η οποία αποτελείται από (Πανγαία , 2007):

1. Ανθρωπογενείς αποθέσεις που συναντώνται στην επιφάνεια και αποτελούνται από ολοκαινικές αλλουβιακές προσχώσεις των οποίων το πάχος σύμφωνα με τις γεωτρήσεις δεν είναι μεγαλύτερο από 3.00 m. Οι αποθέσεις αυτές είναι λεπτομερείς αποθέσεις, που αποτελούνται από ερυθρούς πηλούς, χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, αμμώδεις αργίλου και λεπτόκοκκους άμμους.
2. Το Νεογενές, που είναι υποκείμενος σχηματισμός χωρίς επιφανειακή εμφάνιση στην στενή περιοχή κατασκευής. Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από καστανά έως καστανέρυθρα ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και λατυποπαγές, μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένα, που σε θέσεις εμφανίζονται ως «αμμοχάλικα». Το πάχος του Νεογενούς σύμφωνα με τις ανορυχθίσεις γεωτρήσεις δεν ξεπερνάει τα 6.00 m, ενώ το βάθος στο οποίο εκτείνεται φτάνει τα 7.20 m από την επιφάνεια του εδάφους.
3. Το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης αποτελείται από τον σχηματισμό των «Αθηναϊκών Σχιστόλιθων». Οι «Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι» είναι ένα σύστημα πετρωμάτων που αποτελείται από φλυσχοειδή ιζήματα τεφρών, καστανοπράσινων και φαιοπράσινων αργλικών και ψαμμιτικών σχιστόλιθων με ενδιάμεσες στρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών, ασβεστόλιθων και σχιστωδών μαργών, και εγκλείσματα εκρηξιγενών πετρωμάτων, όπως πηλίτες.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΗΘΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

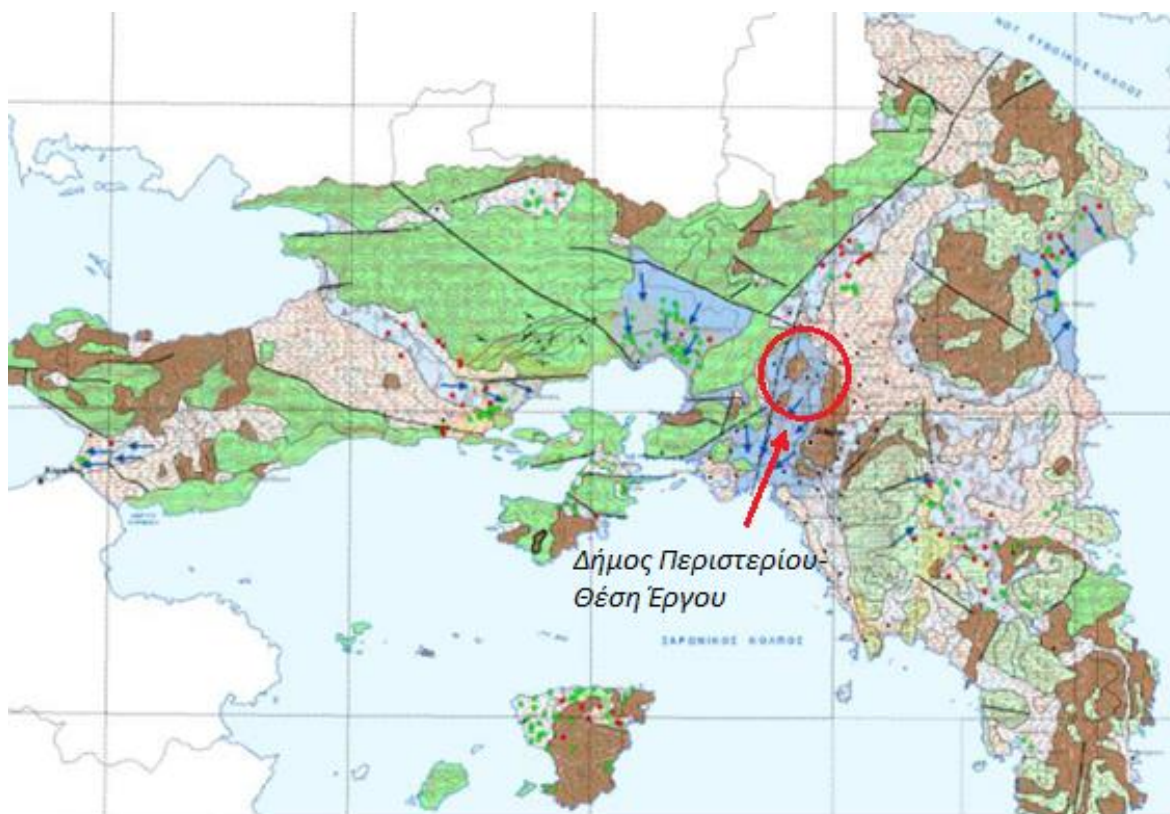


Εικόνα 2.11. Γεωλογική μηκοτομή του Σταθμού Περιστέρι (Παγκαλιά, 2007)

2.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες στην στενή περιοχή κατασκευής του σταθμού

2.4.1 Υδρογραφικό δίκτυο

Τα σημαντικότερα υδρογραφικά στοιχεία της περιοχής είναι ο Κηφισός Ποταμός, που τροφοδοτεί τις κοντινές περιοχές με αρκετά μεγάλες ποσότητες νερού και το ρέμα της Πικροδάφνης. Ο Κηφισός Ποταμός είναι ο τελικός αποδέκτης όλων των ρεμάτων της περιοχής και μαζί με το ρέμα της Πικροδάφνης, που διέρχεται κάθετα τον άξονα του Μετρό, διαμορφώνει ένα αλλουβιακό πεδίο στην περιοχή του έργου που έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.



Εικόνα 2 12. Υδρογεωλογικός Χάρτης υδατικού διαμερίσματος Αττικής (ΙΓΜΕ,2013)

Στην περιοχή κατασκευής παρατηρείται δημιουργία επιφανειακών υδροφορέων, εξαιτίας της ύπαρξης πολλών κλάδων μικρής τάξης, οι οποίοι σχηματίζονται με την κατείσδυση του νερού στους χαλαρούς σχηματισμούς που υπάρχουν στην περιοχή. Στην περιοχή υπάρχει και ένα επιπλέον ρέμα το οποίο πηγάζει από το όρος Αιγάλεω και διέρχεται μέσα από τους ολοκαινικούς αλλουβιακούς σχηματισμούς με αποτέλεσμα να τροφοδοτεί και αυτό τους επιφανειακούς υδροφορείς. Στην ευρύτερη περιοχή, η

επιφανειακή και υπόγεια απορροή του όρους Αιγάλεω με κύρια διεύθυνση του είναι ΒΑ-ΝΔ και καταλήγει στη λίμνη Κουμουνδούρου, μειώνοντας έτσι τον όγκο του νερού που κυκλοφορεί υπόγεια στην περιοχή (Εικόνα 2.12).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περιοχή υπάρχουν όγκοι νερού που προέρχονται από τα αστικά λύματα τα οποία τροφοδοτούσαν παλαιότερα το υπόγειο δίκτυο ύδατος της περιοχής.

2.4.2 Υδρογεωλογία της περιοχής

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την υδρογεωλογία των σχηματισμών και τις υδραυλικές του ιδιότητες είναι αρκετοί, η κατάσταση των σχηματισμών σε ότι αφορά τον βαθμό αποσάθρωσης, των ασυνεχειών, της ύπαρξης των ρηγμάτων καθορίζουν την κυκλοφορία του νερού μέσα από το εσωτερικό τους.

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή της κατασκευής παρουσιάζει έντονη ιδιομορφία από σχηματισμό σε σχηματισμό. Συγκεκριμένα οι ανθρωπογενείς και ολοκαινικές αποθέσεις έχουν σχετικά υψηλή υδροπερατότητα, αφού είναι αδρομερή υλικά με χαμηλή πυκνότητα. Τα νεογενή κροκαλοπαγή έχουν επίσης αρκετά υψηλή υδροπερατότητα. Επιτρέπουν την κυκλοφορία του νερού μέσα από την μάζα, αφού χαρακτηρίζονται από έντονο βαθμό αποσάθρωσης και κερματισμού με υψηλό δευτερογενές πορώδες.

Ο σχηματισμός του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου, στο περιβάλλον του οποίου γίνεται κυρίως η κατασκευή, παρουσιάζει μεγάλη ιδιομορφία όσον αφορά την υδροπερατότητα του. Ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος» είναι ένας σχηματισμός με υδροστεγανότητα λόγω παρουσίας σχιστόλιθων, μεταλυολίθων και αργιλοποιημένων ζωνών αποσάθρωσης, διάτμησης και τεκτονισμού στην μάζα του. Ωστόσο υπάρχει παρουσία επιλεκτικών διόδων κυκλοφορίας υπόγειου νερού μέσα στην περιοχή εξαιτίας της παρουσίας μεταψαμμιτικών και μεταβατικών ζωνών εναλλαγής μεταψαμμιτών/μεταλυολίθων και στρώσεων κερματισμού. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού υπάρχει παρουσία μεμονωμένων υδροφορέων, μικρής έως μέτριας δυναμικότητας μέσα στον σχηματισμό.

Από τα μητρώα των γεωτρήσεων που διεξήχθησαν, από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών κατάταξης και από την μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων

προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος» περιέχει σχετικά μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων που φτάνει στο 30%. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο σχηματισμός έχει την συμπεριφορά «ημιπερατού»- αδιαπέρατου» σχηματισμού. Το νερό κυκλοφορεί με μεγαλύτερη δυσκολία λόγω της μικρής περατότητας του σχηματισμού σε σχέση με «περατούς» σχηματισμούς. Θα μπορούσε να ειπωθεί επιπλέον ότι στον σχηματισμό αυτόν χρησιμοποιείται ο χαρακτηρισμός «βαθμός κορεσμού» και όχι «υδροφόρος ορίζοντας» με διακριτή στάθμη και κυκλοφορία νερού όπως στην περίπτωση των περατών κοκκωδών εδαφών, αφού το υπόγειο νερό πληρώνει μερικώς ή πλήρως τα κενά που υπάρχουν (πορώδες) και συγκρατείται μέσα σε αυτά, ανάμεσα στους κόκκους του εδάφους.

Η κυκλοφορία του υπόγειου νερού εμφανίζεται μόνο στις διόδους, που αναπτύσσονται μέσα σε ενδιαστρώσεις μεταψαμμιτικών και κερματισμένου σχιστόλιθου με μικρότερο βαθμό αποσάθρωσης, όπως προαναφέρθηκε. Το γεγονός της μικρής περατότητας του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου» και της ύπαρξης των δύο υπερκείμενων σχετικά πιο περατών σχηματισμών, προκύπτει το συμπέρασμα ότι υπάρχει ένας επικρεμάμενος του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου» υδροφόρος ορίζοντας, που θεωρείται σε δυσμενέστερη περίπτωση ως «πλήρως κορεσμένος».

Γενικότερα η ροή των υπόγειων υδάτων είναι παράλληλη με την διεύθυνση του άξονα της σήραγγας με στάθμη η οποία στην περιοχή κατασκευής κυμαίνεται από +47 m έως +49 m μεταξύ των θέσεων Χ.Θ 1+450 έως Χ.Θ 1+600. Από τα αποτελέσματα των φρεάτων, που ωστόσο έχουν καταστραφεί πλέον, παλαιότερης γεωτεχνικής έρευνας, φαίνεται ότι η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα κυμαίνεται από 1.70 m έως 4.63 m, όπως παρουσιάζεται ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα (Πανγαία,2007).

Η περιοχή της κατασκευής του σταθμού, όπως ειπώθηκε νωρίτερα βρίσκεται κοντά στο ρέμα της Πικροδάφνης και το ρήγμα το οποίο είναι υποπαράλληλο σε αυτό με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ποσότητα των υπόγειων υδάτων που εισρέουν στη σήραγγα και να δημιουργείται δυσμενέστερο υδρογεωλογικό περιβάλλον στη περιοχή κατασκευής του έργου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα παλαιότερων γεωτρήσεων και πρακτικά παρουσιάζεται ότι στις θέσεις επιφανειακά κοντά στο φρέαρ πρόσβασης του σταθμού, που υπάρχουν κροκαλοπαγή δημιουργείται επικρεμάμενος υδροφόρος ορίζοντας με στάθμη η οποία

κυμαίνεται από 2m έως 5m. Η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου στη περιοχή του Τερματικού Φρέατος, εντός των Νεογενών σχηματισμών βρίσκεται σε βάθος 6.60 m έως 8.00 m (Παναγιά, 2007).

2.4.3 Επιτόπου δοκιμές Υδροπερατότητας – Υδραγωγιμότητας – Μετρήσεις Στάθμης

Σύμφωνα με την μελέτη για την Αττικό Μετρό Α.Ε που έγινε από την Παναγιά, για τον προσδιορισμό της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών στην περιοχή κατασκευής του σταθμού, και συγκεκριμένα για να ελεγχθεί η υδροπερατότητα τους, πραγματοποιήθηκαν σε γεωτρήσεις παλαιότερων ερευνών, επί τόπου δοκιμές κατερχόμενου φορτίου Maag, δοκιμές ανερχόμενου φορτίου Lefranc στα πιο χαλαρά εδάφη και δοκιμές εισπίεσης ύδατος Lugeon σε βραχώδεις σχηματισμούς. Ενδεικτικά παρακάτω (Πίνακας 2.1) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις δοκιμές υδροπερατότητας σε αυτές τις γεωτρήσεις.

Πίνακας 2. 1. Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας σε γεωτρήσεις (Παναγιά, 2007)

Αριθμός Γεωτρήσης	Είδος Δοκιμής	Βάθος	Συντελεστής Υδροπερατότητας (cm ³ /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 x 10 ⁻⁶
Γ16	Lugeon	10.00 – 13.00	0
		13.00 – 16.00	0
		16.00 – 19.00	1.11 x 10 ⁻⁵
		19.00 – 22.00	7.32 x 10 ⁻⁶
		22.00 – 25.00	0
Γ17	Lugeon	10.00 – 13.00	7.00 x 10 ⁻⁴
		13.00 – 16.00	1.06 x 10 ⁻⁴
		16.00 – 19.00	8.68 x 10 ⁻⁵
		19.00 – 22.00	7.08 x 10 ⁻⁵
		22.00 – 25.00	4.43 x 10 ⁻⁵
Γ25	Lugeon	10.00 – 13.00	0
		13.00 – 16.00	6.99 x 10 ⁻⁶
		16.00 – 19.00	0
		19.00 – 22.00	1.01 x 10 ⁻⁵
		22.00 – 25.00	1.01 x 10 ⁻⁴
Γ26	Lugeon	10.00 – 13.00	0
		13.00 – 16.00	0
		16.00 – 19.00	4.39 x 10 ⁻⁶
		19.00 – 22.00	6.24 x 10 ⁻⁶
		22.00 – 25.00	1.18 x 10 ⁻⁶
Γ32	Lugeon	10.00 – 13.00	1.50 x 10 ⁻⁴
		13.00 – 16.00	1.60 x 10 ⁻⁴
		16.00 – 19.00	1.69 x 10 ⁻⁴
		19.00 – 22.00	2.26 x 10 ⁻⁵
		22.00 – 25.00	8.49 x 10 ⁻⁶
Γ37	Lugeon	10.00 – 13.00	0
		13.00 – 16.00	4.53 x 10 ⁻⁶
		16.00 – 19.00	1.06 x 10 ⁻⁶
		19.00 – 22.00	1.17 x 10 ⁻⁶
		22.00 – 25.00	1.28 x 10 ⁻⁷
Γ05	Lefranc	14.40 – 17.95	4.82 x 10 ⁻⁷
		14.40 – 11.00	3.45 x 10 ⁻⁷
		14.40 – 25.90	3.53 x 10 ⁻⁷
		25.50 – 30.80	2.96 x 10 ⁻⁷
Γ07	Lefranc	10.20 – 14.50	4.59 x 10 ⁻⁶
		17.90 – 18.90	1.13 x 10 ⁻⁵
		21.70	7.98 x 10 ⁻⁶
		22.00 – 25.90	1.10 x 10 ⁻⁶
Γ013	Lugeon	15.00 – 18.50	2.86 x 10 ⁻⁶
CP3818	Maag	8.00 – 9.80	1.81 x 10 ⁻⁵
		13.00 – 14.70	2.02 x 10 ⁻⁵
		19.40 – 20.40	2.25 x 10 ⁻⁵
		24.20 – 25.20	1.69 x 10 ⁻⁵
CP3819	Lugeon	7.20 – 10.20	4.53 x 10 ⁻⁴
		10.00 – 13.00	4.55 x 10 ⁻⁵
		15.10 – 18.10	5.24 x 10 ⁻⁵
		18.70 – 21.70	4.97 x 10 ⁻⁵
CP3820	Maag	5.10 – 5.90	1.81 x 10 ⁻⁵
		10.60 – 11.50	3.38 x 10 ⁻⁵
		14.90 – 15.70	2.48 x 10 ⁻⁵
		19.90 – 20.90	3.70 x 10 ⁻⁵
		4.00 – 9.00	3.36 x 10 ⁻⁴
CP3821	Lugeon	8.30 – 10.30	1.97 x 10 ⁻⁴
		12.20 – 17.20	1.25 x 10 ⁻⁴
		17.70 – 22.70	4.70 x 10 ⁻⁵
		5.80 – 8.80	7.90 x 10 ⁻⁵
CP3822	Lugeon	11.20 – 14.20	1.50 x 10 ⁻⁴
		14.00 – 19.00	1.15 x 10 ⁻⁵
		22.20 – 27.20	1.56 x 10 ⁻⁵

Αντίστοιχες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν και κατά την εκτέλεση των διερευνητικών γεωτρήσεων κατά μήκος των χαράξεων. Από τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών προκύπτει ότι η διαπερατότητα λαμβάνουν τιμές από 10^{-3} cm/sec έως 10^{-5} cm/sec, που είναι αρκετά χαμηλές, ενώ οι τιμές από τις δοκιμές Lugeon στις μάργες και στους σχιστόλιθους είναι πολύ χαμηλές. Συγκεκριμένα από δοκιμές περατότητας στο Κροκαλοπαγές/ Λατυποπαγές οι τιμές της περατότητας κυμαίνονται από 1×10^{-4} cm/sec έως 4×10^{-4} cm/sec, με μέση τιμή $k = 2.3 \times 10^{-4}$ cm/sec. Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε νέες γεωτρήσεις, προκύπτει ότι στο Σχιστόλιθο για την φάση του Μεταψαμμίτη η περατότητα είναι ίση με $k = 2 \times 10^{-5}$ cm/sec και για την φάση του Μεταλυόλιθου 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 με $k = 1.2 \times 10^{-6}$ cm/sec. 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

Συμπεράσματα για την υδροπερατότητα των σχηματισμών λαμβάνονται και μέσα από δοκιμαστικές αντλήσεις σε ορισμένα αρδευτικά φρέατα, που υπάρχουν στην περιοχή και έχουν διανοιχτεί κυρίως σε μάργες και σχιστόλιθους σε υψηλό υψόμετρο και στα τεταρτογενή σε χαμηλό, το βάθος των οποίων φτάνει και τα 20.00 m.

Για την μέτρηση της στάθμης των υπόγειων υδάτων εφαρμόστηκε η μέθοδος της μέτρησης της μεταβολής της στάθμης κατά την διάρκεια της διάνοιξης των γεωτρήσεων με βήμα μιας ημέρας. Η καταγραφή της στάθμης γινόταν δύο φορές την ημέρα, μια το πρωί πριν ξεκινήσουν οι εργασίες και μια το απόγευμα, αφού τελείωναν οι εργασίες. Σε ορισμένες γεωτρήσεις γινόταν μέτρηση των υδάτων και μετά την λήξη των εργασιών μέσω τοποθέτησης πιεζόμετρων (Πίνακας 2.2). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τις υπόλοιπες γεωτρήσεις, τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν την τελευταία μέρα διάτρησης είναι και τα πιο αντιπροσωπευτικά.

Πίνακας 2.2 Ημερήσιες διακυμάνσεις της στάθμης των υπόγειων νερών (Πανγαία ,2007)

Γεώτρηση	Μέση Ημερ.	Μέση Βρ.	Περίοδος Λήψης Μετρήσεων	Πλήθος Μετρήσεων	Σχηματισμός
CASN4	2.34	2.28	14/11/06(βρ.)÷21/11/06(πρ/βρ)	11	Κροκαλοπαγές
CBN1	6.98	5.90	27/11/06(βρ.)÷1/12/06(πρ/βρ)	9	Μεταψαμμίτης
CASN1T	5.60	2.58	27/11/06(βρ.)÷5/12/06(πρ/βρ)	13	Λατυποπαγές
CASP4T	4.68	2.35	20/11/06(βρ.)÷24/11/06(πρ/βρ)	9	Κροκαλοπαγές μεταψαμμίτης
CASN2	2.85	2.30	7/12/06(βρ.)÷11/12/06(πρ/βρ)	9	Λατυποπαγές ψηφιδοπαγές
CASP5	3.90	2.87	19/10/06(βρ.)÷27/10/06(πρ/βρ)	13	Κροκαλοπαγές
CASH1CC2	1.80	2.00	5/10/06(βρ.)÷6/10/06(πρ/βρ)	3	Κροκαλοπαγές

Η στάθμη του ύδατος που καταγράφεται με αυτή την μέθοδο δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη, ειδικά οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται το βράδυ. Αυτό συμβαίνει γιατί αν η περατότητα του σχηματισμού είναι μεγάλη συγκρατεί και ένα ποσοστό νερού το οποίο χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια της διάτρησης. Το πρωί αντίθετα ένα μέρος του νερού αυτού διαφεύγει στον υπόγειο υδροφορέα, αφού δεν εκτελούνται εργασίες διατρήσεις μέχρι την λήψη της πρωινής μέτρησης και η στάθμη πέφτει. Έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι η μέτρηση που λαμβάνεται το πρωί είναι πιο αξιόπιστη από την βραδινή. 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 κατεισδύσει το επιπλέον νερό της διάτρησης. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο όταν ολοκληρωθούν όλες οι εργασίες διάτρησης, για αυτό και οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται την τελευταία μέρα διάτρησης είναι και οι πιο αντιπροσωπευτικές.

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. Μετά το πέρας των εργασιών, οι μετρηθείσες στάθμες είχαν μια ανοδική κίνηση. Μέσα στις γεωτρήσεις είχαν τοποθετηθεί και πιεζόμετρα δονούμενης χορδής, τα οποία 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 και ενδιαστρώσεις Μεταψαμμίτη και Μεταλιυόλιθου.

Πίνακας 2.3. Ανώτερες μετρηθείσες στάθμες εντός γεωτρήσεων

Γεώτρηση	Στάθμη (m)	Παρατηρήσεις
CASP3T	3.74	-
CASP1T	3.65	Πιεζόμετρο Δ. Χορδής
CASP5	7.77	Πιεζόμετρο Δ. Χορδής
CASP4T	3.90	-

3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

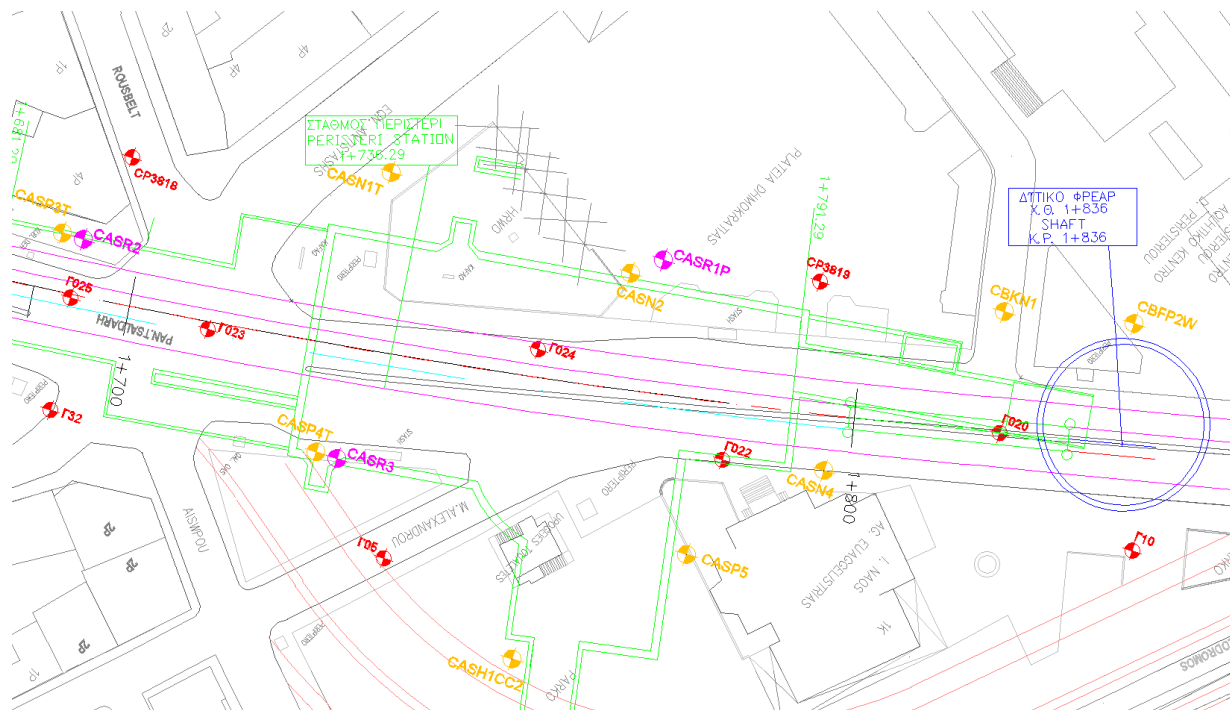
3.1 Γενικά

Στα δείγματα που ελήφθησαν από την εκτέλεση 22 δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (Πίνακας 3.1) στα πλαίσια της συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές και έγινε η επί τόπου εκτίμηση του γεωλογικού δείκτη αντοχής GSI με ένα εύρος τιμών για κάθε σχηματισμό.

Οι βασικοί σχηματισμοί που συναντήθηκαν κατά μήκος του έργου είναι Τεχνητές Επιχώσεις και Ολοκαινικές Αποθέσεις, Νεογενείς Σχηματισμοί, που αποτελούνται από Κροκαλοπαγή, Αποσαθρωμένες Μάργες, Σκληρές Μάργες, Ιλυόλιθοι και Αθηναϊκός Σχιστόλιθος, που αποτελείται από Αποσαθρωμένο Ασβεστιτικό Μεταψαμμίτη, Ισχυρό Ασβεστιτικό Μεταψαμμίτη, Τεκτονικά Μεταψαμμιτικά Λατυποπαγή, Μεταψαμμίτες, Μεταιλυόλιθους και Αργιλικούς Σχιστόλιθους.

Πίνακας 3.1 Γεωτρήσεις συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας (Πανγαία, 2007)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Χ.Θ.	X	Y	Z	ΒΑΘΟΣ	ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΑΠΟ
CASN1T	1+732.15	96497.175	104050.9090	56.36	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASP4T	1+728.48	96531.729	104069.9370	56.09	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASH1CC2	1+758.57	96533.4815	104108.7050	57.02	15.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASN2	1+767.10	96484.445	104083.9000	56.96	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASP5	1+779.65	96506.7300	104115.9570	57.35	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASN4	1+796.69	96485.510	104121.5300	57.30	35.50 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CBKN1	1+818.89	96452.899	104124.1870	57.72	30.10 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CP3819	1+793.25	96468.4574	104103.7400	57.46	29.90 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASR1P	1+771.36	96480.044	104085.869	57.17	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASR2	1+692.04	96532.869	104027.033	55.85	29.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CASR3	1+731.55	96530.381	104072.622	56.09	35.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
G020	1+819.88	96466.3380	104135.6610	58.10	20.00 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
G022	1+782.84	96495.1423	104110.9770	57.40	25.00 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
G023	1+711.27	96530.9848	104048.1738	55.90	20.00 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
G05	1+739.76	96536.8089	104087.0500	56.84	30.80 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
G024	1+755.98	96501.6974	104082.4716	56.98	20.50 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ



Εικόνα 3.1 Οριζοντιογραφία Περιοχής Σταθμού Περιστέρι-Θέσεις Γεωτρήσεων (Πανγαία, 2007)

3.2 Σχηματισμοί στην περιοχή του έργου με βάση την γεωτεχνική έρευνα

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω δοκιμές έγινε δυνατή η ομαδοποίηση των σχηματισμών που αναφέρονται παραπάνω με βάση τα γεωτεχνικά τους χαρακτηριστικά. Από αυτή την ενοποίηση, σύμφωνα με την μελέτη της Αττικό Μετρό Α.Ε. προκύπτουν τελικά τρεις γεωτεχνικές ενότητες, που έχουν παρόμοια γεωτεχνικά χαρακτηριστικά:

- ✓ Επιφανειακές Αποθέσεις (αλλούβια) και Τεχνητές Επιχώσεις
- ✓ Κροκαλοπαγές και σε ορισμένες θέσεις Λατυποπαγές / Ψηφιδοπαγές
- ✓ Αθηναϊκός Σχιστόλιθος, ο οποίος χωρίζεται σε Μεταψαμμίτη και Μεταίλυόλιθο και τοπικά Αργιλικός Σχιστόλιθος

Στην γεωλογική ταξινόμηση και δομή οι «Τεχνητές Επιχώσεις» και οι «Επιφανειακές Επιχώσεις» εξαιτίας της διαφορετικής τους προέλευσής τους, ανήκουν σε διαφορετική ενότητα, όμως έχουν παρόμοια γεωτεχνικά χαρακτηριστικά (φυσικές και μηχανικές ιδιότητες) για αυτό κατατάσσονται στην ίδια γεωτεχνική ενότητα. Η ενότητα αυτή

αποτελείται από κίτρινη, καστανοκίτρινη άμμο με χαλίκια, όπου το πάχος της από 1.30 m φτάνει τα 3.20 m. Από το σύνολο των γεωτρήσεων, αφού οι διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα πάχη των στρωμάτων είναι μικρές το μέσο τελικό πάχος της ενότητας αυτής υπολογίζεται να είναι ίσο με 2.30 m (0.00 έως 2.30).

Κάτω από τις Επιφανειακές Αποθέσεις και Τεχνητές Επιχώσεις, υπάρχει η ενότητα Κροκαλοπαγούς – Λατυποπαγούς, με τεφρό-καστανότεφρο χρώμα και ελαφρά έως έντονα αποσαθρωμένη. Το πάχος της ενότητας αυτής κυμαίνεται από 0.80 m έως 4.80 m, με τελικό πάχος της ενότητας να είναι ίσο με 2.70 m (-2.30 έως 5.00 m).

Η τελευταία ενότητα του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου» εκτείνεται μέχρι το βάθος πέρα από 35 μέτρα, που είναι και το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων, με την εμφάνιση του μεταϊλύολιθου σε βάθος 24 m περίπου. Ο Αθηναϊκός Σχιστόλιθος, αποτελεί τον σχηματισμό που ανήκει στους σχηματισμούς που ονομάζονται «φλύσχης» και για αυτό αποτελείται από εναλλαγές δύο διαφορετικών γεωλογικών φάσεων του Μεταψαμμίτη και Μεταϊλύολιθου. Ο σχηματισμός του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου εμφανίζει χαρακτηριστικά εδαφοποίησης και αρκετά πτωχής έως μέτριας ποιότητας βραχώμαζα.

Στους παρακάτω πίνακες ενδεικτικά παρουσιάζονται τα εύρη τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων των σχηματισμών, πριν την τελική ομαδοποίηση στις τρεις γεωτεχνικές ενότητες, οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί σε παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τον άρρηκτο βράχο και σε παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τις εδαφοποιημένες ζώνες και βραχομάζας, όπως παρουσιάζονται στην μελέτη Πανγαία. Οι παράμετροι αυτές προέκυψαν από την αξιολόγηση των στοιχείων της γεωτεχνικής έρευνας.

Πίνακας 3 2. Γεωτεχνικές παράμετροι άρρηκτου βράχου (Πανγαία ΕΠΕ, 2007)

Σχηματισμός	Φαινόμενο Βάρος γ	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σ_{ci}	Μέτρο Ελαστικότητας E_i
	kN/m^3	MPa	MPa
Επιχώσεις – ολοκαινικές αποθέσεις	21.0	-	-
Κροκαλοπαγές	21.5	11.5-14.6	1405 -2152
Αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης	-	6.2	612.56
Ισχυρός ασβεστιτικός μεταψαμμίτης	-	15.1-18.5	1445 – 1868
Μεταψαμμίτης	22.4	5.4 – 9.3	550 – 1023
Τεκτονικό μεταψαμμιτικό λατυποπαγές	-	-	-
Μεταϊλύολιθος – Αργιλικός σχιστόλιθος	-	-	-
Αποσαθρωμένη μάργα	-	-	-
Υγιής μάργα	19.7	2.7 – 3.3	490 – 860
Ιλυόλιθος	21.4	5.0 – 8.6	4000

Πίνακας 3 3. Γεωτεχνικές παράμετροι εδαφοποιημένων ζωνών (Πανγαία , 2007)

Σχηματισμός	ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ CU		
	Αντοχή Ανεμπόδιστης θλίψης q	ΣΥΝΟΧΗ c	Γωνία εσωτ. Τριβής φ
	kN/m^2	kN/m^2	($^\circ$)
Επιχώσεις – ολοκαινικές αποθέσεις	-	5	28 – 30
Κροκαλοπαγές	74.0	-	-
Αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης	421.5	-	-
Ισχυρός ασβεστιτικός μεταψαμμίτης	371	-	-
Μεταψαμμίτης	80 – 100	3.4 – 4.5	19 – 27
Τεκτονικό μεταψαμμιτικό λατυποπαγές	63.6 – 87.6	3.2 - 4.5	25 – 27
Μεταϊλύολιθος – Αργιλικός σχιστόλιθος	53.7 – 65.09	5.2	20 – 24
Αποσαθρωμένη μάργα	214.5	-	-
Υγιής μάργα	461 – 647	-	-
Ιλυόλιθος	-	-	-

Πίνακας 3 4. Γεωτεχνικές παράμετροι βραχομάζας (Πανγαία, 2007)

Σχηματισμός	Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής <i>GSI</i>	ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ <i>CU</i>		
		ΦΑΙΝΟΜ. ΣΥΝΟΧΗ <i>c</i>	Γωνία Τριβής Ασυνεχ. φ	Υδροπερατότητα <i>K</i>
		<i>MPa</i>	($^{\circ}$)	<i>cm/sec</i>
Επιχώσεις – ολοκαινικές αποθέσεις	-	-	-	$1.08 * 10^{-4}$
Κροκαλοπαγές	52 – 56	-	-	$2.49 * 10^{-5}$
Αποσαθρωμένος ασβεστιτικός μεταψαμμίτης	26 – 30	-	-	$6.37 * 10^{-5}$
Ισχυρός ασβεστιτικός μεταψαμμίτης	50 – 54	0.13 – 0.16	35 – 43	$4.29 * 10^{-5}$
Μεταψαμμίτης	33 – 37	0.10 – 0.13	14 – 33	$2.38 * 10^{-5}$
Τεκτονικό μεταψαμμιτικό λατυποπαγές	29 – 33	-	-	$2.38 * 10^{-5}$
Μεταϊλύολιθος – Αργιλικός σχιστόλιθος	23 – 27	-	-	$1.41 * 10^{-5}$
Αποσαθρωμένη μάργα	31 – 35	-	-	$9.49 * 10^{-4}$
Υγιής μάργα	58 – 62	0.02 – 0.18	22.20–33.5	$6.76 * 10^{-4}$
Ιλυόλιθος	82 – 86	-	-	$2.89 * 10^{-5}$

3.3 Γεωτεχνικές παράμετροι των σχηματισμών

3.3.1 Γενικά

Από τις εμπειρικές μελέτες της Αττικό Μετρό και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης, έγινε δυνατός ο προσδιορισμός των παραμέτρων που καθορίζουν την διατμητική αντοχή καθώς και της παραμορφωσιμότητας των σχηματισμών.

Ο προσδιορισμός κατέστη δυνατός μέσω της χρήσης των μέσων τιμών των εργαστηριακών δοκιμών (έγινε ωστόσο και η καταγραφή μέγιστων και ελάχιστων τιμών για κάθε παράμετρο) και γνωστών εμπειρικών σχέσεων, που δίνουν την δυνατότητα

σύνδεσης των παραμέτρων που προσδιορίζουν την διατμητική αντοχή και την παραμορφωσιμότητα με τα αποτελέσματα από τις επιτόπου δοκιμές για μη συνεκτικούς, κοκκώδεις και συνεκτικούς σχηματισμούς.

Με την χρήση αυτών των εμπειρικών σχέσεων, έγινε δυνατός ο προσδιορισμός των τιμών σχεδιασμού για τις τρεις γεωτεχνικές ενότητες. Τα αποτελέσματα και οι γεωτεχνικές παράμετροι για τον κάθε σχηματισμό σύμφωνα με την μελέτη της Παναγία αναλύεται παρακάτω.

3.3.2 Γεωτεχνικές παράμετροι Τεχνητών Επιχώσεων και Επιφανειακών Αποθέσεων

Οι εργαστηριακές δοκιμές στον σχηματισμό αυτόν ήταν αδύνατον να πραγματοποιηθούν καθώς πρόκειται για έναν σχηματισμό, ο οποίος δεν είναι συνεκτικός με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η λήψη δειγμάτων που να τον αντιπροσωπεύουν. Δυνατή ήταν κυρίως η επί τόπου εξέταση του σχηματισμού αυτού, από την οποία προέκυψε ότι έχει μικρή συνοχή και αποτελείται από πυκνή άμμο με χάλικες. Ο σχηματισμό βάση δοκιμών SPT μπορεί να χαρακτηριστεί ως «πυκνός».

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία μπορεί να γίνει μια υπόθεση για την γωνία τριβής ϕ' , ορισμένοι ερευνητές προτείνουν για «πυκνούς» μη συνεκτικούς σχηματισμούς το $\phi' = 38^\circ$ περίπου. Αν εφαρμοστεί η σχέση Ohzaki, που αναφέρεται παραπάνω, για $N_{SPT} = 30$, τιμή που χαρακτηρίζει πυκνούς σχηματισμούς, προκύπτει $\phi = 39,5^\circ$. Μέσα στο σχηματισμό υπάρχει και ένα ποσοστό λεπτόκοκκων, λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν το γεγονός αυτό, θεωρείται $\phi' = 30^\circ - 35^\circ$ και $c' = 5-10$ kPa. Για να υπολογιστεί το μέτρο συμπίεστικότητας του σχηματισμού, εφαρμόζονται οι εξισώσεις των Τάσιου & Αναγνωστόπουλου και Παπαδόπουλου & Αναγνωστόπουλου, όπου για χονδρή άμμο θεωρείται το $C = 7$, $c_1 = 2.60$ $c_2 = 0.69$. Στην πρώτη περίπτωση υπολογίζεται η $E_{oed} = 25$ MPa και στην δεύτερη $E_{oed} = 39.5$ MPa. Αυτό επιτρέπει στο μέτρο συμπίεστικότητας να μπορεί να πάρει ένα εύρος τιμών από 25 MPa έως 40 MPa. Για να υπολογιστεί ο συντελεστής ουδέτερων γαιών, χρησιμοποιείται η σχέση Jacky, όπου προκύπτει $k_0 = 0.43 - 0.50$ (Παναγία, 2007).

3.3.3 Γεωτεχνικές παράμετροι Κροκαλοπαγούς-Λατυποπαγούς

Όπως έχει προαναφερθεί ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται σε ελαφρά έως έντονα αποσαθρωμένη κατάσταση, συγκολλημένος με αργιλικό ή μαργαϊκό συνδετικό υλικό. Σύμφωνα με τις επί τόπου δοκιμές προκύπτει ότι οι τιμές του δείκτη ποιότητας πετρώματος RQD κυμαίνεται από 23% έως 100%, με μέση τιμή του δείκτη 60%. Η μέση τιμή της μονοαξονική θλίψης, από τις δέκα δοκιμές μονοαξονικής θλίψης και μια δοκιμή σημειακής φόρτισης PLT, σε άρρηκτα τεμάχια, προκύπτει ίση με $\sigma_{cm}=13.16$ MPa.

Υπολογίστηκε και ο δείκτης πλαστικότητας από τις δοκιμές κατάταξης του σχηματισμού και βρέθηκε ίσος με 7, επιπλέον το ποσοστό χαλίκων, άμμου και λεπτόκοκκων προέκυψε 64%, 14% και 22% αντίστοιχα, με αποτέλεσμα ο σχηματισμό να χαρακτηρίζεται ως «Αργιλωδεις Χάλικες». Για να υπολογιστούν οι παράμετροι της διατμητικής αντοχή c και ϕ , και το μέτρο συμπίεστότητας έγινε η χρήση του λογισμικού του Rocscience, που βασίζεται στο κριτήριο αντοχής Hoek – Brown. Ο υπολογισμός έγινε συναρτήσει του δείκτη GSI, ο οποίος κυμαίνεται από 50 έως 70, με μέση τιμή 57 και του δείκτη m_i , που λαμβάνει τιμή από 18 έως 24 για τα κροκαλοπαγή και 14 έως 24 για τα λατυποπαγή.

Από τους παραπάνω υπολογισμούς, υπολογίζοντας την μέση τιμή των αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι: $\sigma_{cm} = 2.813$ MPa, $c = 194$ kPa, $\phi = 54^\circ$ και $E_m = 1.583$ MPa. Αν ληφθεί υπόψη ότι ο σχηματισμός κατά τόπου είναι σε πιο «χαλαρή» δομή, οι τελικές τιμές που λαμβάνονται κατά τον σχεδιασμό είναι $\gamma = 22$ kN/m², $c' = 40$ kPa, $\phi' = 40^\circ$ και $E = 300$ MPa. Ο συντελεστής ουδέτερων ωθήσεων k_0 λαμβάνοντας υπόψη τις κατάλληλες σχέσεις και το γεγονός ότι ο σχηματισμός είναι ελαφρά υπερστερεοποιημένος λαμβάνει τιμές από 0.45 έως 0.50 (Πανγαία, 2007).

3.3.4 Γεωτεχνικές παράμετροι Αθηναϊκού Σχιστόλιθου

Ο σχηματισμός του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου αποτελείται από δύο φάσης, αυτή του «Μεταψαμμίτη» και αυτή του «Μεταιυόλιθου», εμφανίζεται σε δύο μορφές στην περιοχή του σταθμού, εδαφοποιημένος και μέτριας ποιότητας βραχομάζα. Για να υπάρχουν αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα, σύμφωνα με την μελέτη της Πανγαία ΕΠΕ, εργαστηριακές δοκιμές εκτελέστηκαν και στα δύο δείγματα. Συγκεκριμένα για τον δείκτη ποιότητας πετρώματος GSI, οι τιμές κυμαίνονται από 10 έως 30 για εδαφοποιημένο

Σχιστόλιθο και 32 έως 60 για μέτριας ποιότητας βραχομάζα. Αν αναλυθούν πιο λεπτομερειακά τα αποτελέσματα της δοκιμής, αποδεικνύεται ότι η μεταψαμμιτική φάση του Σχιστόλιθου παρουσιάζει πιο συμπαγή δομή από την μεταιλυολιθική. Ωστόσο οι μέσες τιμές του δείκτη GSI και για τις δύο φάσεις είναι κοντά στην τιμή 30 και στο σύνολο ο σχηματισμός του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου λαμβάνει μέση τιμή GSI, ίση $GSI_m = 33$. Αυτό δείχνει ότι, δομικά οι δύο φάσεις του σχηματισμού παρουσιάζουν περίπου ίδια χαρακτηριστικά.

Οι τιμή μέσης αντοχής που προέκυψε από δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης για τον εδαφοποιημένο μεταψαμμίτη είναι $q_u = 204$ kPa και για τον εδαφοποιημένο μεταιλυόλιθο είναι $q_u = 86$ kPa.

Για τον χαρακτηρισμό της φάσης του Μεταψαμμίτη πραγματοποιήθηκαν 39 δοκιμές κατάταξης και προσδιορισμού ορίων Atterberg. Σύμφωνα με την πρώτη σειρά δοκιμών, προέκυψε ότι τα ποσοστά των λεπτόκοκκων κυμαίνονται από 6% έως 63%, τα ποσοστά της άμμου από 17% έως 58% και τα ποσοστά χαλίκων από 3% έως 75%, με μέσες τιμές 29%, 41% και 30%. Από τις δοκιμές Attenberg, προέκυψε το συμπέρασμα ότι πρόκειται για μη πλαστικό υλικό, γεγονός το οποίο σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα κατάταξης δείχνουν ότι ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως «αργιλώδης άμμος με χάλικες».

Για τον χαρακτηρισμό της φάσης του μεταίλυόλιθου πραγματοποιήθηκαν 15 δοκιμές κατάταξης και προσδιορισμού ορίων Atterberg. Σύμφωνα με την πρώτη σειρά δοκιμών, προέκυψε ότι τα ποσοστά των λεπτόκοκκων κυμαίνονται από 5% έως 49%, τα ποσοστά της άμμου από 17% έως 59% και τα ποσοστά χαλίκων από 4% έως 78%, με μέσες τιμές 31%, 43% και 26%. Από τις δοκιμές Attenberg, προέκυψε το συμπέρασμα ότι πρόκειται για μη πλαστικό υλικό, γεγονός το οποίο σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα κατάταξης δείχνουν και ότι πρόκειται ξανά για σχηματισμό «αργιλώδους άμμου με χάλικες».

Η πραγματοποίηση της δοκιμής της μονοαξονικής θλίψης ήταν αρκετά δύσκολη, λόγω έλλειψης δειγμάτων, αφού πρόκειται κυρίως για κερματισμένο και εξαλλοιωμένο σχηματισμό και τα κατάλληλα δείγματα είναι περιορισμένα. Για τον μεταψαμμίτη η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη έλαβε τιμές από 2.10MPa έως 34.39 MPa, με μέση τιμή 15.43 MPa. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τρεις υψηλότερες τιμές αφορούν κυρίως δείγματα πολύ σκληρών τεμαχών, τα οποία δεν είναι τόσο αντιπροσωπευτικά για όλη την περιοχή της κατασκευής, για το λόγο αυτό ως μέση τιμή της αντοχής σε μονοαξονική

θλίψη για τον μεταψαμμίτη λαμβάνεται η τιμή $\sigma_{cm}=6.0$ MPa. Για τον μεταϊλυόλιθο η μέση αντοχή σε μονοαξονική θλίψη λαμβάνει τιμές από 2.27 MPa έως 3.51 MPa, με μέση τιμή $\sigma_{cm}=2.89$ MPa.

Για τις δοκιμές σημειακής φόρτισης δεν υπάρχουν ξεκάθαρα αποτελέσματα ωστόσο παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα των δοκιμών για τα δείγματα του Μεταλυόλιθου δίνουν έχουν υψηλότερες τιμές από ότι τα αποτελέσματα για τα δείγματα του μεταψαμμίτη. Αυτό το γεγονός είναι αρκετά λογικό, αφού και την πράξη οι πυρήνες που λαμβάνονται από την φάση του μεταψαμμίτη θραύονται πολύ πιο εύκολα με το χέρι η το γεωλογικό σφυρί από του πυρήνες του μεταϊλυόλιθου.

Για να υπολογιστούν οι τιμές των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής c και ϕ και της παραμορφωσιμότητας E , για τον σχηματισμό έγινε η χρήση του προγράμματος Rocklab της Rocscience, που εφαρμόζει το κριτήριο Hoek-Brown. Για την εισαγωγή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ελήφθησαν τιμές από $\sigma_{ci}=2.0$ MPa έως $\sigma_{ci}=6.0$ MPa, που αντιπροσωπευτούν ένα μεγάλο κομμάτι του σχηματισμού στην περιοχή κατασκευής, όμως ελέγχθηκαν και υψηλότερες τιμές μονοαξονικής αντοχής. Οι τιμές για την εισαγωγή της παραμέτρου m_i ελήφθησαν από 7 έως 10 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες για τον μεταψαμμίτη και μεταϊλυόλιθο αντίστοιχα.

Πίνακας 3.5. Εκτίμηση γεωτεχνικών παραμέτρων μεταψαμμίτη (Πανγαία, 2007)

σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	σ_{cm} (MPa)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)
4.0	32	10	0.462	147(32)	25(46)	139
4.0	35	10	0.497	155(31)	26(48)	170
6.0	35	10	0.746	111(31)	35(53)	255
7.5	35	10	0.932	122(32)	37(59)	319
10.0	35	10	1.243	137(36)	38(59)	425
10.0	25	7	0.791	95(34)	32(47)	224

Πίνακας 3 6. Εκτίμηση γεωτεχνικών παραμέτρων μεταίλου λίθου (Πανγαία, 2007)

σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	σ_{cm} (MPa)	c (kPa)	φ (°)	E (MPa)
3.5	32	7	0.337	113(37)	22(37)	122
3.5	32	10	0.404	128(34)	25(43)	122
2.0	32	7	0.193	64(38)	22(30)	69
4.0	32	10	0.462	147(32)	25(46)	139
2.0	28	7	0.173	54(38)	22(28)	54
4.0	35	10	0.497	155(31)	26(48)	170
6.0	35	10	0.746	111(31)	35(53)	255

Για το υπολογισμό του συντελεστή ωθήσεως γαιών σε ηρεμία k_0 και μέτρου ελαστικότητας E , αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα μετρήσεων των πρεσσιομετρικών γεωτρήσεων που διανοίχθηκαν στην περιοχή σε απόσταση από 2.0 m έως 3.0 από τις δειγματοληπτικές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δείγματα των πρεσσιομετρικών γεωτρήσεων εξετάστηκαν και μακροσκοπικά προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά την διαφοροποιημένη δομή του Αθηναϊκού σχιστόλιθου.

Οι τιμές των πρεσσιομετρήσεων που είναι πολύ χαμηλές η πολύ υψηλές αμελούνται. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής πρεσσιομετρίας μετράται επί τόπου το μέτρο παραμόρφωσης Menard (E_M), το οποίο μέσω του ρεολογικού συντελεστή «α» και μέσω της σχέσης $E_{oed} = E_M / \alpha$, δίνει τιμές του μέτρου συμπιεστότητας E_{oed} . Η τιμή του συντελεστή «α» εξαρτάται από το είδος του σχηματισμού και από το αν ο σχηματισμός είναι υπερστερεοποιημένος ή κανονικά στερεοποιημένος. Για να γίνει έλεγχος του βαθμού στερεοποίησης γίνεται έλεγχος του λόγου E_M / p_i , όπου το p_i είναι η οριακή τάση θραύσης. Στην περίπτωση του Αθηναϊκού σχιστόλιθου η μέση τιμή του παραπάνω κλάσματος παίρνει τιμές από 8.0 έως 15.1, και ο σχηματισμός μπορεί να χαρακτηριστεί κανονικά έως ελαφρά υπερστερεοποιημένος, για τον οποίο ο συντελεστής «α» λαμβάνει τιμές από 0.5 έως 0.67 με μέση τιμή ίση με 0.583. Εφαρμόζοντας την σχέση που αναφέρεται παραπάνω για την φάση του Μεταψαμμίτη, το μέτρο συμπιεστότητας παίρνει τιμές από 15.3 MPa έως 192.7 MPa με μέση τιμή 82.6 MPa, ενώ για την φάση του Μεταίλου λίθου παίρνει τιμές από 61.3 MPa έως 329.8 MPa με μέση τιμή 174 MPa. Η μέση τιμή της συμπιεστότητας για το σύνολο των αποτελεσμάτων είναι 100.4 MPa. Ο

συντελεστής γαιών σε ηρεμία με βάση τις πρεσσιομετρήσεις λαμβάνει τιμές από 0.32 έως 0.59.

Συνεκτιμώντας όλα τα παραπάνω, παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 3.7) με τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου, για την φάση του μεταψαμμίτη και την φάση του μεταϊλυόλιθου.

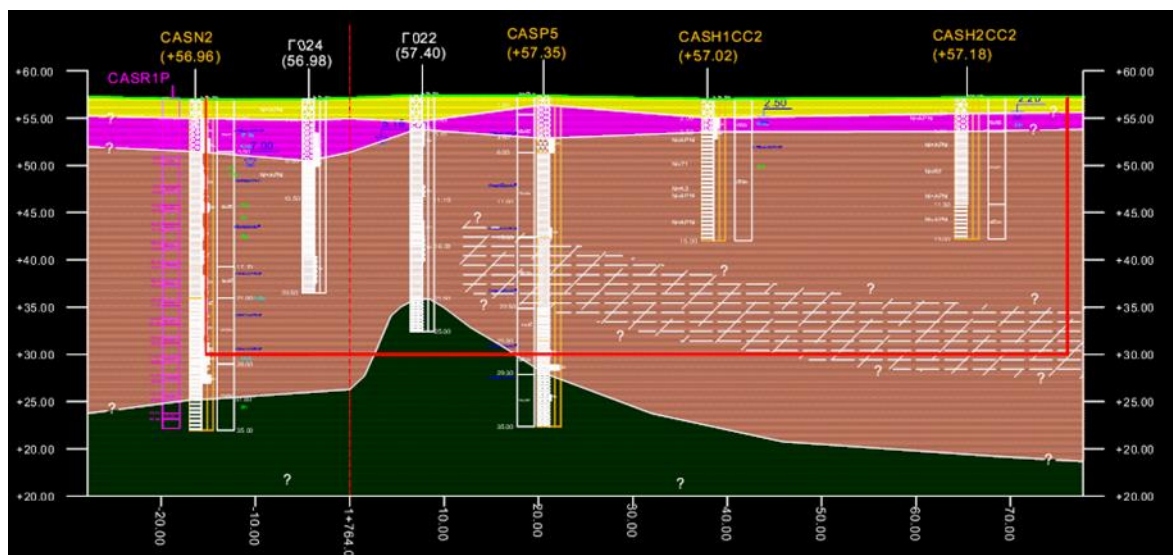
Πίνακας 3 7.Γεωμηχανικά χαρακτηριστικά μεταψαμμίτη – μεταϊλυόλιθου

	$\gamma(kN/m^3)$	$c(kPa)$	$\varphi(^{\circ})$	E_{oed}	E_m	k_o
Μεταψαμμίτης	22.5	25 έως 30	28 έως 33	60 έως 130	-	0.50 έως 0.60
Μεταϊλυόλιθος	22.5	25 έως 30	25 έως 30	-	120 έως 150	0.55 έως 0.65

3.4 Τελική Γεωτεχνική τομή

Όπως έχει ήδη αναλυθεί, στην περιοχή κατασκευής του σταθμού οι σχηματισμοί έχουν ομαδοποιηθεί σε τρεις βασικούς, τις «Επιφανειακές Αποθέσεις και Τεχνητές Επιχώσεις», το «Κροκαλο-λατυποπαγές» και τον «Αθηναϊκό Σχιστόλιθο», ο οποίος παρουσιάζει δύο φάσεις τον Μεταψαμμίτη και τον Μεταϊλυόλιθο (Εικόνα 3.2).

Για τους δύο πρώτους σχηματισμούς η μεταβολή του πάχους τους δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές για αυτό, ως πάχος τους στην γεωτεχνική τομή λαμβάνεται το μέσο πάχος που προκύπτει από το σύνολο των γεωτρήσεων. Συγκεκριμένα και τις Επιφανειακές Επιχώσεις και Τεχνητές Επιχώσεις το πάχος είναι ίσο με 2.30 m, ενώ για το Κροκαλο-λατυποπαγές με 2.70 m (από 2.30 m έως 5.00 m). Για τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο, από τα δείγματα των γεωτρήσεων καταγράφεται ότι ο μεταψαμμίτης εμφανίζεται σε βάθος από 3.40 m έως 29.30 m ενώ ο μεταϊλυόλιθος σε βάθος μεγαλύτερο από 20.00 m που φτάνει μέχρι το τέλος των γεωτρήσεων (35.00 m). Αν ληφθούν υπόψη μόνο οι γεωτρήσεις που έγιναν στο κεντρικό τμήμα του σταθμού ο μεταϊλυόλιθος εμφανίζεται κυρίως σε βάθος 24.00 m, προχωρώντας προ το Δυτικό Φρέαρ, ο μεταϊλυόλιθος βυθίζεται και εμφανίζεται σε βάθος 28.00 m.



Εικόνα 3.2. Γεωλογική Τομή της περιοχής του Σταθμού «Περιστέρι» που γειτνιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελιστρίας με βάση τις πραγματοποιηθείσες γεωτρήσεις (Παναγιά ΕΠΕ, 2007)

Αξιολογώντας τα γεωτεχνικά αλλά και γεωλογικά δεδομένα που έχουν αναλυθεί παραπάνω είναι δυνατόν να σχεδιαστεί η απλουστευμένη γεωτεχνική τομή του σταθμού, όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 3.3). Ο υδροφόρος ορίζοντα βρίσκεται στη διεπιφάνεια των Επιφανειακών Επιχώσεων και Τεχνητών Αποθέσεων και του Κροκαλοπαγούς, αφού όπως αναλύθηκε ο σχηματισμός του Κροκαλοπαγούς έχει καλή υδροπερατότητα.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ & ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	$\gamma=21.0 \text{ KN/m}^3$	$c'=5-10 \text{ KPa}$	$\phi'=30^\circ-35^\circ$	$E'=25-40 \text{ MPa}$	$k_v=0.43-0.50$	$k=10^{-4} \text{ cm/sec}$	0.00	
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ - ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c'=40 \text{ KPa}$	$\phi'=40^\circ$	$E'=300 \text{ MPa}$	$k_v=0.45-0.50$	$k=10^{-3} \text{ cm/sec}$	2.30	
ΑΘΗΝΑΪΚΟΣ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ	ΜΕΤΑΨΑΜΜΙΤΙΚΗ ΦΑΣΗ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c'=25-30 \text{ KPa}$	$\phi'=28-33^\circ$	$E_m=60-130 \text{ MPa}$	$k_v=0.50-0.60$	$k=10^{-6} \text{ cm/sec}$	5.00
	ΜΕΤΑΛΛΥΟΛΙΘΙΚΗ ΦΑΣΗ	$\gamma=22.5 \text{ KN/m}^3$	$c'=25-35 \text{ KPa}$	$\phi'=25^\circ-30^\circ$	$E_m=120-150 \text{ MPa}$	$k_v=0.55-0.65$	$k=10^{-6} \text{ cm/sec}$	24.00
							ΤΕΛΟΣ	

Εικόνα 3.3. Γεωτεχνικό Προσομοίωμα (Παναγιά, 2007)

Συνοπτικά οι τιμές σχεδιασμού των γεωτεχνικών παραμέτρων για κάθε σχηματισμό που αναλύθηκαν προηγουμένως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.8. Τιμές σχεδιασμού γεωτεχνικών παραμέτρων (Παναγιά, 2007)

Σχηματισμός	Βάθος (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E' ή E_{oed} (MPa)	k_o	k (cm/sec)	Χαρακτηρισμός* Περαιτότητας
Επιφανειακές Αποθέσεις & Τεχνητές Επιχώσεις	0.00 ÷ 2.30	21.0	5÷10	30÷35	25÷40	0.43÷0.50	10 ⁻⁴	«Πτωχή»
Κροκαλοπαγές - Λατυποπαγές	2.30 ÷ 5.00	22.5	40	40	300	0.45 ÷ 0.50	10 ⁻³	«Καλή»
Αθηναϊκός Σχιστόλιθος	5÷24	22.5	25÷30	28÷33	60÷130	0.50÷ 0.60	10 ⁻⁵	«Πτωχή»
	>24	22.5	25÷35	25÷30	120÷150	0.55 ÷ 0.65	10 ⁻⁵	«Πτωχή»

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

4.1 Γενικά

Η σχεδίαση της προσωρινής αντιστήριξης έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί τις συνθήκες ευστάθειας σε όλο τον σταθμό, με μοναδική διαφοροποίησή της σε σημεία μεγαλύτερης ευαισθησίας. Επίσης η αντιστήριξη της εκσκαφής σχεδιάστηκε ώστε ταυτόχρονα να περιοριστούν στο ελάχιστο οι μετακινήσεις στο περιβάλλον της εκσκαφής.

Το κύριο σύστημα αντιστήριξης το οποίο χρησιμοποιείται στην κατασκευή του σταθμού αποτελείται από φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Η συγκεκριμένη μέθοδος αντιστήριξης χρησιμοποιείται κυρίως σε σημεία του σταθμού όπου το πλάτος υπερβαίνει τα 35 m. Σε σημεία όπου το πλάτος είναι μικρότερο ή είναι επιθυμητές μικρότερες μετακινήσεις λόγω παράπλευρων κατασκευών μεγάλης ευαισθησίας, όπως ο Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς, το σύστημα αντιστήριξης αλλάζει και οι πέντε πρώτες σειρές αγκυρών αντικαθίσταται με τέσσερις σειρές αντηρίδων, ώστε οι μετακινήσεις, τόσο οι οριζόντιες όσο και οι κατακόρυφες να περιοριστούν στο ελάχιστο (Εικόνα 4.1).

Σύμφωνα με το Τεύχος «Προδιαγραφές Μελετών και Επιδόσεων Έργων Πολιτικού Μηχανικού» της Αττικό Μετρό Α.Ε. οι μέγιστες επιτρεπόμενες μετακινήσεις και παραμορφώσεις είναι:

- Μέγιστη Καθίζηση Εδάφους, $\delta_v^{max} < 25 \text{ mm}$
- Μέγιστη Γωνιακή Παραμόρφωση $\gamma^{max} < 1:600$
- Μέγιστη Οριζόντια Μετακίνηση $\delta_h^{max} < 0.25\%$

Οι συγκριμένες προδιαγραφές εφαρμόζονται κυρίως για κτήρια που χαρακτηρίζονται κανονικά και δεν αποτελούν μνημεία.

Στην περίπτωση του σταθμού Περιστέρι, για το σημείο που γειτνιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς, οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μετακινήσεων και παραμορφώσεων είναι χαμηλότερες, συγκριμένα (Πανγαία, 2007):

- Μέγιστη Καθίζηση Εδάφους $\delta_v^{max} < 15 \text{ mm}$

- Μέγιστη Γωνιακή Παραμόρφωση $\gamma^{\max} < 1:800$

Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας για την γενική θραύση του εδάφους είναι $FS_{\Sigma T} = 1.50$ σε στατικές συνθήκες, σε περιοχές ωστόσο μεγάλης ευαισθησίας λαμβάνεται $FS = 1.7$.



Εικόνα 4.1 .Σύστημα αντιστήριξης με αντηρίδες στην περιοχή του Ι.Ν. Ευαγγελιστρίας (www.ametro.gr)

4.2 Ανάλυση προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού

Το σύστημα αντιστήριξης του σταθμού που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια της κατασκευής παρουσιάζει διαφοροποίηση, λόγω της αλλαγής των φορτίων που επιβάλλονται, τους περιορισμούς για τις παραμορφώσεις που αναλύθηκαν παραπάνω και τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται.

Μετά την αξιολόγηση γεωτεχνικών, γεωλογικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών της εκσκαφής η αντιστήριξη σύμφωνα με τα στοιχεία της Μελέτης της Πανγαία, περιλαμβάνει την κατασκευή διαφραγματικού τοίχου, που αποτελείται από πασσάλους

διαμέτρου 1000 mm, οι οποίοι κατασκευάζονται με απόσταση 1.50 m μεταξύ τους και το μήκος έμπηξης είναι περίπου 4 m (τελικό βάθος -30.00 m με -26.00 m το τελικό βάθος της εκσκαφής). Περιλαμβάνει κεφαλόδεσμο πασσαλοτοιχίας κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα C 25/30 με μεταβλητές διαστάσεις, οι οποίες ορίζονται ανάλογα με τα επιβαλλόμενα φορτία στον κεφαλόδεσμο. Σημαντικό στοιχείο για τον καθορισμό των διαστάσεων του κεφαλόδεσμου είναι αν σε αυτό τοποθετείται αντηρίδα. Συγκεκριμένα οι διαστάσεις του (π × υ) λαμβάνουν τιμές από 1.20 × 1.00 m, σε θέσεις όπου το σύστημα αντιστήριξης αποτελείται από αγκύρια, έως 1.50 × 1.20, σε θέσεις όπου η κατασκευή περιλαμβάνει και αντηρίδα που είναι τοποθετημένη πάνω στον κεφαλόδεσμο.

Όπως έχει ήδη αναλυθεί ο σταθμός δεν παρουσιάζει ομοιομορφία σε όλη την έκταση του όσο αναφορά το πλάτος του αλλά και την ευαισθησία των κατασκευών που υπάρχουν παράπλευρα της κατασκευής. Συγκεκριμένα για το τμήμα της εκσκαφής που γειτνιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελιστρίας, που μελετάται στην παρούσα διπλωματική επιλέγεται ένα σύστημα που αποτελείται από αγκύρια και αντηρίδες, ώστε να εξασφαλίζεται ακαμψία στο επάνω μέρος της κατασκευής για να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερες μετακινήσεις. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής κατασκευαστικά στοιχεία:

- Τέσσερις σειρές σωληνωτών αντηρίδων, όπου η πρώτη τοποθετείται πάνω στον κεφαλόδεσμο στην στάθμη -1.00 m, η δεύτερη στη στάθμη – 4.45 m, η τρίτη στη στάθμη – 9.75 m και η τέταρτη στη στάθμη – 14.75 m, με κάθετη απόσταση μεταξύ τους περίπου 4.50 m.
- Δύο σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, που έχουν διατομή 4 Φ 0.6” με κάρναβο 1.50 m × 3.50 m, κατασκευασμένα από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900 με μήκος από 19 m έως 23 m εναλλάξ για να δημιουργηθεί η πεσσοειδής διάταξη των πακτωμένων τμημάτων των αγκυρίων για να μην υπάρχει τοπική συγκέντρωση των δυνάμεων αγκύρωσης. Η τοποθέτηση της πρώτης σειρά των αγκυρίων θα γίνει 5.25 m χαμηλότερα από την τελευταία αντηρίδα, δηλαδή στα 20.00 m.

Οι στάθμες των αντηρίδων έχουν επιλεγεί έτσι, ώστε να μην συμπίπτουν με τις στάθμες των πλακών του μόνιμου φορέα και να εξασφαλίζεται το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης

των οπλισμών του περιμετρικού τοιχίου, για να μην απαιτείται διακοπή της σκυροδέτησης ή των οπλισμών. Έτσι είναι δυνατή η κατασκευή και του μόνιμου φορέα χωρίς διακοπές.

Στην υπόλοιπη εκσκαφή, σύμφωνα με την μελέτη της Πανγαία, που περιλαμβάνει το τμήμα κοντά στο οποίο υπάρχει εδράζει το κτήριο του Δημαρχείου αλλά και τα σημεία στα οποία δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση των αντηρίδων λόγω των διαστάσεων της εκσκαφής ή λόγω της κατασκευής στου μόνιμου φορέα, οι αντηρίδες αντικαθίστανται από τα αγκύρια. Συγκεκριμένα τοποθετούνται επτά σειρές αγκυρίων με διατομή 4 Φ0.6 " σε κάρναβο διαστάσεων 1.50 m × 3.50 m κατασκευασμένα από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900 με μήκος που κυμαίνεται από 19 m έως 27 m, για να δημιουργηθεί όπως ειπώθηκε και πριν πεσοειδής διάταξη των πακτωμένων τμημάτων των αγκυρίων για να αποφευχθεί η τοπική συγκέντρωση των δυνάμεων αγκύρωσης. Η πρώτη σειρά αγκυρίων τοποθετείται σε στάθμη -1.50 m από την επιφάνεια του εδάφους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλα τα αγκύρια τα οποία χρησιμοποιούνται στο σύστημα αντιστήριξης έχουν τανυστεί με δύναμη προέντασης $F_p = 600 \text{ kN}$, η οποία ωστόσο διαφοροποιείται κατά θέσεις ανάλογα με τις ανάγκες της κατασκευής.

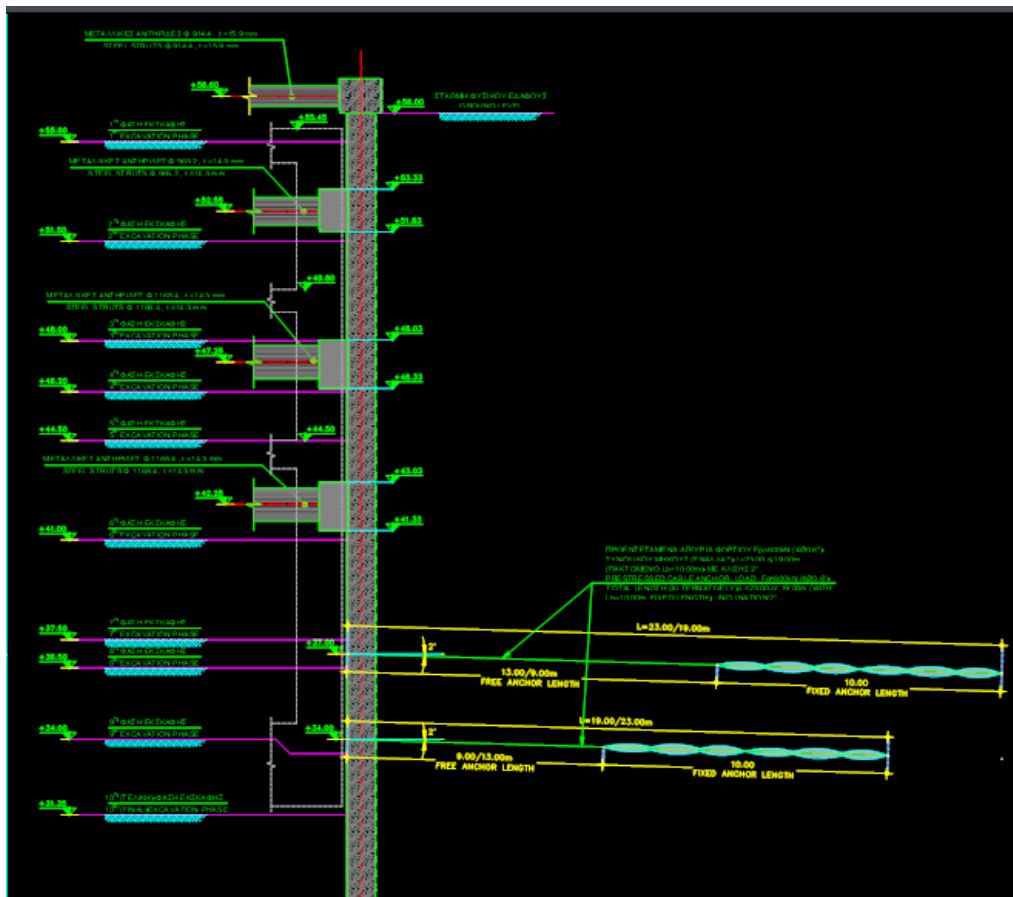
Άλλο ένα δομικό στοιχείο το οποίο συμμετέχει στο σύστημα αντιστήριξης είναι το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, πάχους 0.10 m, μπροστά από τους πασσάλους το οποίο είναι οπλισμένο με δομικό πλέγμα T 188 και έχει και αποστραγγιστικές οπές με διάμετρο 53 mm και μήκους 6.00 m, ανά 5 m σε σημεία όπου χρειάζονται.

4.3 Μεθοδολογία κατασκευής

Η κατασκευή του σταθμού περιλαμβάνει την εκσκαφή του εδαφικού υλικού, την κατασκευή και τοποθέτηση της προσωρινής αντιστήριξης και την κατασκευή του μόνιμου φορέα.

Το πρώτο στάδιο της κατασκευής του προσωρινού συστήματος αντιστήριξης είναι η κατασκευή των φρεατοπασσάλων περιμετρικά της προβλεπόμενης εκσκαφής, δηλαδή πριν ξεκινήσουν οι εργασίες εκσκαφής, σε όλο το μήκος του έργου. Αρχικά γίνεται η διάτρηση των πασσάλων και έπειτα η σκυροδέτηση τους και η τοποθέτηση των κλωβών του χαλύβδινου οπλισμού. Στην συνέχεια ακολουθεί η εκσκαφή του εδάφους, η οποία

γίνεται σε τμήματα και βάθος το οποίο να επιτρέπει το καλούπωμα και την σκυροδέτηση του κεφαλόδεσμου στην κεφαλή των πασσάλων.



Εικόνα 4.2. Σχέδιο προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού (Παναγία, 2007)

Το επόμενο βήμα της εκσκαφής είναι η τοποθέτηση των αντηρίδων κάτω από τον κεφαλόδεσμο στις προβλεπόμενες στάθμες. Οι αντηρίδες που χρησιμοποιούνται είναι σωληνωτές και έχουν διατομή η οποία μπορεί να κυμαίνεται από $\Phi 914.4/15.9$ έως $\Phi 1168.4/14.3$. Η επιλογή της διατομής της αντηρίδας γίνεται με βάση την επιβολή φορτίων που θα πρέπει να αναλάβει. Η αξονική απόσταση των αντηρίδων όπως ήδη έχει αναφερθεί είναι 4.50 m. Τέλος τοποθετούνται τα προεντεταμένα αγκύρια. Για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν λιγότερη διατάραξη του εδάφους, η διάτρηση των αγκυριών γίνεται εναλλάξ, οριζόντια. Στην συνέχεια τοποθετούνται άμεσα οι τένοντες και η διάτρηση πληρώνεται με τσιμεντένεμα. Μόλις ολοκληρωθεί η πήξη του τσιμεντένεματος, τα αγκύρια τανίζονται με την απαιτούμενη δύναμη προέντασης. Οι εργασίες εκσκαφής συνεχίζονται μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία τάνυσης των υπερκείμενων αγκυριών. Οι αντηρίδες σε ορισμένα σημεία αντικαθίστανται από αγκύρια όπως έχει τονιστεί και πιο πάνω (Εικόνα 4.2).

Σε σημεία όπου είναι κρίσιμο το μέγεθος των μετακινήσεων τοποθετούνται ειδικά όργανα δομικής παρακολούθησης. Σε περιπτώσεις που οι καταγραφόμενες τιμές είναι κρίσιμες η εκσκαφή πραγματοποιείται σε μικρότερα βήματα και λαμβάνονται τοπικά, επιπρόσθετα μέτρα στήριξης.

Για την αντιμετώπιση εισροής ύδατος, που μπορεί να γίνει μέσα από διακλάσεις του σχιστόλιθου, όπου διατηρεί υπολειμματική δομή βράχου, δηλαδή όπου υπάρχει ψαμμιτικές ενδιαστρώσεις με υψηλό βαθμό κερματισμού και μικρό βαθμό αποσάθρωσης, πραγματοποιούνται επί τόπου αντλήσεις.

4.4 Παρακολούθηση της κατασκευής

Η παρακολούθηση των καθιζήσεων και των πιθανών παραμορφώσεων στην περιοχή της κατασκευής του σταθμού είναι απαραίτητη διαδικασία, για να αποφευχθούν πιθανές αστοχίες και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα υποστήριξης. Οι προβλεπόμενες ενέργειες παρακολούθησης είναι οι εξής (Πανγαία, 2007):

- Εγκατάσταση συστήματος ανακλαστήρων στον κεφαλόδεσμο της πασσαλοτοιχίας και στα τοιχώματα του ορύγματος (στις θέσεις όπου αναμένονται, με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων, οι μεγαλύτερες μετακινήσεις) για την εκτέλεση τρισδιάστατων (3-D) τοπογραφικών μετρήσεων
- Εγκατάσταση συστήματος ανακλαστήρων στον Ναό Ευαγγελιστριάς για την εκτέλεση τρισδιάστατων τοπογραφικών μετρήσεων.
- Εγκατάσταση συστήματος χωροσταθμικών ακίδων επί του κεφαλόδεσμου και στην περιοχή πέριξ του πλησιέστερου προς το έργο τμήματος του Ναού Ευαγγελιστριάς για την μέτρηση των επιφανειακών καθιζήσεων.
- Εγκατάσταση πιεζομέτρων ανοικτού τύπου (Casagrande) και δονούμενης χορδής (vibratingwire)
- Εγκατάσταση κλισιομέτρων σε πασσάλους και γεωτρήσεις
- Εγκατάσταση κυψελών μέτρηση φορτίου αντηρίδων και αγκυρίων.
- Εγκατάσταση οριζοντίων και κατακόρυφων εκτασιομέτρων (extensometers)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθορίζουν αν πρέπει να ληφθούν περαιτέρω ενέργειες. Συγκεκριμένα αν οι παραμορφώσεις που καταγράφονται από τα όργανα, ως ποσοστό των αναμενόμενων με βάση την μελέτη είναι από 70-100%, αυξάνεται η συχνότητα των μετρήσεων, γίνεται παρακολούθηση του έργου και επί τόπου αυτοψία για τυχόν ρωγματώσεις στα μέτρα υποστήριξης ή εμφανείς αστοχίες και λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα υποστήριξης. Αν το ποσοστό είναι πολύ μεγάλο >120% οι εργασίες διακόπτονται άμεσα και εφαρμόζονται μέτρα έκτακτου ανάγκης. Τα μέτρα που μπορεί να εφαρμοστούν είναι προσθήκη επιπλέον αντηρίδων και τάνυση των αγκυρίων με μεγαλύτερη δύναμη προέντασης, ως μέτρο έκτακτης ανάγκης λαμβάνεται η άμεση επίχωση της εκσκαφής με τα υλικά των εκσκαφών. Οι μέγιστες αναμενόμενες παραμορφώσεις στην κατασκευή παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4 .1. Μέγιστες αναμενόμενες παραμορφώσεις (Πανγαία, 2007)

Είδος Αντιστήριξης	Είδος Παραμόρφωσης	Θέση Κατασκευής	Όριο Επιφυλακής (mm)	Όριο Συναγερμού (mm)
Αντιστήριξη με Αγκύρια	Ολική Καθίζηση	Όπισθεν Κεφαλόδεσμου	14 ÷ 19.5	19.5 ÷ 23
	Οριζόντια Παραμόρφωση	Πασσαλοστοιχία	25 ÷ 35	35 ÷ 42
Αντιστήριξη με Αγκύρια κ' Αντηρίδες	Ολική Καθίζηση	Όπισθεν Κεφαλόδεσμου	6 ÷ 9	9 ÷ 11
	Οριζόντια Παραμόρφωση	Πασσαλοστοιχία	13 ÷ 18	18 ÷ 22

5.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΕΛΑΣΤΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ PLAXIS 2D ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΡΟ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ»

5.1 Γενικά

Στην σημερινή εποχή, τα προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων έχουν διευκολύνει πολύ την αποπεράτωση μεγάλων κατασκευαστικών έργων. Έτσι στην περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης, για την επίτευξη του βέλτιστου σχεδιασμού της αντιστήριξης του σταθμού μετρό χρησιμοποιήθηκε Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων και μη γραμμικών, ελαστοπλαστικών προσομοιωμάτων συμπεριφοράς του εδάφους, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Plaxis 2D.

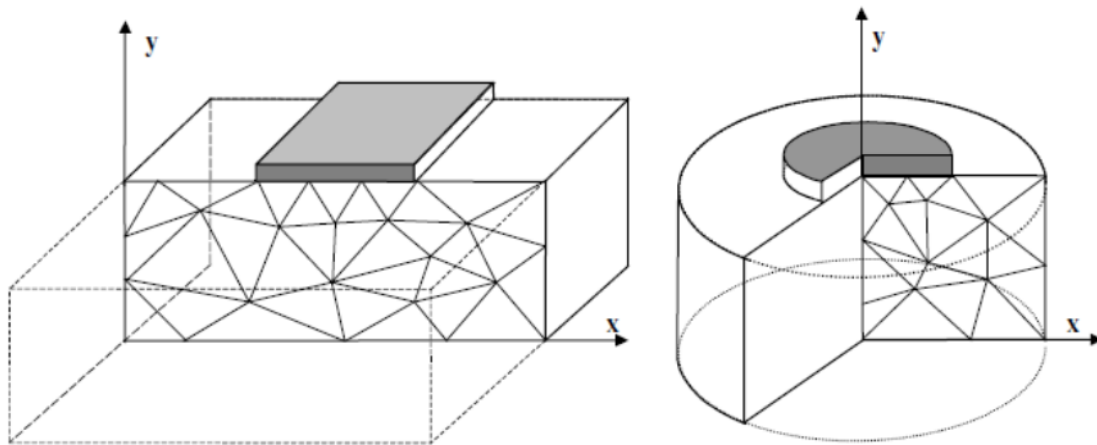
Το πρόγραμμα αυτό δίνει την δυνατότητα, χρησιμοποιώντας εξελιγμένα εδαφικά μοντέλα, να προσομοιωθούν στάδια κατασκευής του έργου και της λειτουργίας του συστήματος «Αντιστήριξη – Έδαφος». Υπάρχει δυνατότητα της λεπτομερούς εικόνας όσον αφορά τις μετακινήσεις και τις τάσεις στο μοντέλο που σχεδιάζεται, αφού ικανοποιούνται οι εξισώσεις «παραμορφώσεων – τάσεων». Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα μέσω του προγράμματος να μπορούν να εντοπιστούν πιθανές ζώνες διαρροής, πεδία ανάπτυξης παθητικών και ενεργών ωθήσεων καθώς και να προβλεφθεί πιθανή αστοχία της κατασκευής.

Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων επιπλέον προσφέρει την δυνατότητα της μελέτης του τρόπου με τον οποίο αλληλεπιδρούν τα διάφορα κατασκευαστικά στοιχεία που σχεδιάζονται και τοποθετούνται στο μοντέλο που σχεδιάζεται και δίνεται η δυνατότητα της αλλαγής του ώστε να ικανοποιούνται οι συνθήκες που απαιτούνται στο εκάστοτε μοντέλο. Τα σχεδιαστικά αυτά στοιχεία μπορεί να είναι το μήκος έμπηξης των πασσάλων, η δύναμη προέντασης των αγκυρίων, η διάμετρος των πασσάλων, η αντικατάσταση των αντηρίδων με αγκύρια κτλ.

5.2 Το λογισμικό Plaxis

Το λογισμικό Plaxis όπως αναφέρθηκε πριν, είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που εξελίχθηκε για την ανάλυση και την μελέτη των μετακινήσεων και της ευστάθειας των γεωτεχνικών κατασκευών. Μετά την απλή σχεδίαση του μοντέλου της εκσκαφής, υπάρχει η δυνατότητα διακριτοποίησης του χώρου, δηλαδή του διαχωρισμού του χώρου σε μικρότερα στοιχεία. Με αυτόν τον τρόπο αυτόν, 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, χρησιμοποιώντας στην ουσία μαθηματικά προσομοιώματα, εξασφαλίζεται η ισορροπία σε κάθε στοιχείο και η συνολική ισορροπία του μοντέλου (Ρίζος, 2010).

Η προσομοίωση των γεωτεχνικών προβλημάτων στο πρόγραμμα γίνεται είτε μέσω διδιάστατων αξονοσυμμετρικών προσομοιωμάτων είτε διδιάστατων προσομοιωμάτων με επίπεδη παραμόρφωση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1. 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 5 1. Παράδειγμα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση (αριστερά) και διδιάστατου αξονοσυμμετρικού προσομοιώματος (δεξιά) (Plaxis, 2009).

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 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, τα αγκύρια, οι αντηρίδες κτλ. 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. Τα κατασκευαστικά στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν είναι οι πλάκες, τα αγκύρια και το πακτωμένο τμήμα τους και οι αντηρίδες.

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:

$$EA_1 = \frac{E(\text{kPa}) \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} (\text{m}^2)}{x(\text{m})}$$

$$EI_1 = \frac{E(\text{kPa}) \cdot \pi \cdot \frac{d^4}{64} (\text{m}^4)}{x(\text{m})}$$

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 υπολογίζεται με βάση τους τύπους:

$$EA_2 = \frac{E(\text{kPa}) \cdot (x - d) \cdot w (\text{m}^2)}{x(\text{m}^2)}$$

$$EI_2 = \frac{E(\text{kPa}) \cdot \frac{(x-d) \cdot w^3}{12} (\text{m}^4)}{x(\text{m}^2)}$$

όπου

d: Διάμετρος πασσάλων (m)

x: Απόσταση πασσάλων (m)

w: Πάχος ενδιάμεσου τοιχίου (m)

E: Μέτρο ελαστικότητας τοιχίου (kPa)

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.

Από αυτές τις δύο παραμέτρους υπολογίζεται επίσης και το ισοδύναμο πάχος πλάκας kP_a από την εξίσωση:

$$dequal = \sqrt{\frac{12 EI}{EA}}$$

Για το αγκύριο, θα πρέπει να υπολογιστεί η δυστένεια το EA, σύμφωνα με τον τύπο

$$EA = E \cdot A_s$$

Όπου

E: Μέτρο ελαστικότητας αγκυρίου (kPa)

A_s : Συνολική επιφάνεια διατομής (cm)

Ενώ για να υπολογιστεί η δυστένεια του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$\Sigma EA = E_b \cdot A_b + E \cdot A_s = E_b \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} - A_s \right) 10^{-4} \text{m}^2 + E (\text{kPa}) \cdot A_s \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

Όπου

d : διάμετρος του βολβού πάκτωσης (cm)

A_s : Συνολική επιφάνεια διατομής (cm)

E : Μέτρο ελαστικότητας 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:

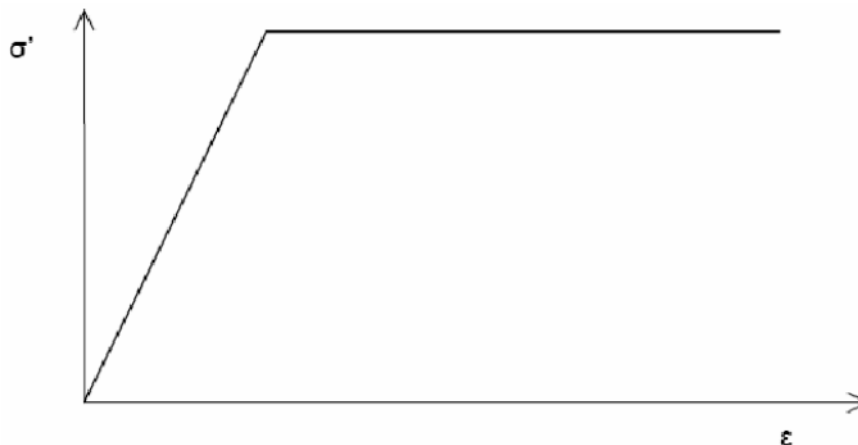
$$EA = E \cdot A$$

Όπου $A = \pi \cdot (D^2 - d^2)$

5.2.1 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 (Εικόνα 5.2). Στο μοντέλο αυτό οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι το μέτρο ελαστικότητας του Young (E), ο λόγος του Poisson (ν), η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ), η συνοχή (c) και η γωνία διογκωσιμότητας (ψ) και υπάρχει δυνατότητα μεταβολής κάποιων μηχανικών χαρακτηριστικών του εδαφικού υλικού καθώς αυξάνεται το βάθος.



Εικόνα 5. 2. 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 (ν).

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 (Εικόνα 5.3). 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

$$E_i = E_i^{ref} \left(\frac{c \cot \varphi - c'_3}{c \cot \varphi - p^{ref}} \right)^m$$

Όπου

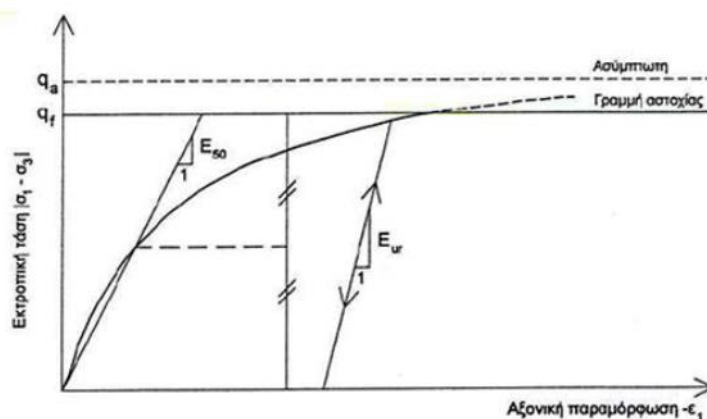
E_i : μέτρο ελαστικότητας του εδάφους (σε φόρτιση, αποφόρτιση και συμπίεση)

E_i^{ref} : μέτρο ελαστικότητας αναφοράς

p^{ref} : τάση αναφοράς (λαμβάνεται ίση με 100 kPa)

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

Το μοντέλο αυτό θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της εδαφικής συμπεριφοράς για την παραμετρική ανάλυση της παρούσας διπλωματικής.



Εικόνα 5. 3. Διάγραμμα διατμητικής τάσης – αξονικής παραμόρφωσης

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

5.3 Εισαγωγή δεδομένων – input program

Σε αυτή την παράγραφο θα ακολουθήσει η διαδικασία περιγραφής των βημάτων για την σχεδίαση και την εισαγωγή όλων των απαραίτητων δεδομένων και παραμέτρων για να είναι δυνατή η προσομοίωση της κατασκευής του σταθμού.

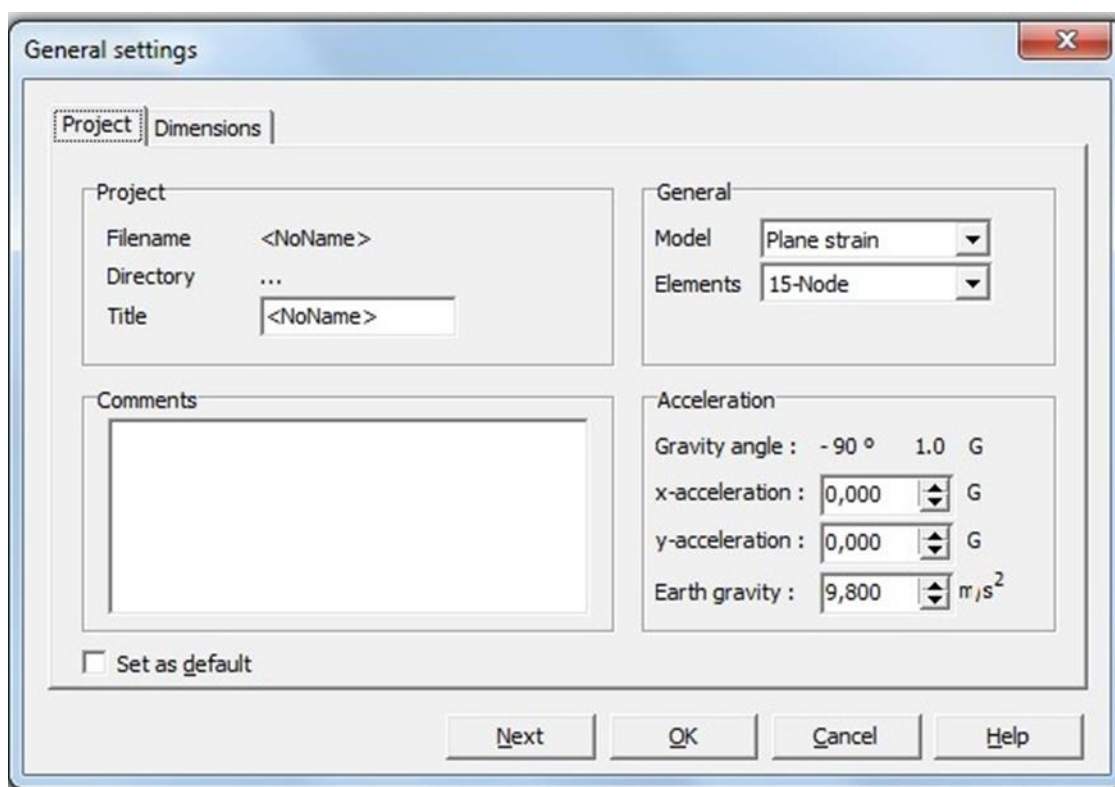
Έτσι αρχικά σχεδιάζεται το περίγραμμα του χώρου μέσα στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η εκσκαφή του σταθμού και τα εδαφικά στρώματα όπως παρουσιάζονται στο γεωτεχνικό μοντέλο που προκύπτει από τις γεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή. Έπειτα γίνεται η σχεδίαση του διαφραγματικού τοίχου, των αντηρίδων, των αγκυριών, και του φορτίου

στην επιφάνεια της εκσκαφής και διαχωρίζονται τα δέκα στάδια κατασκευής. Στην συνέχεια τοποθετούνται οι συνοριακές συνθήκες και εισάγονται οι ιδιότητες των εδαφικών σχηματισμών, αγκυρίων, διαφραγματικού τοίχου και των αντηρίδων.

5.3.1 Εισαγωγή “General Settings”

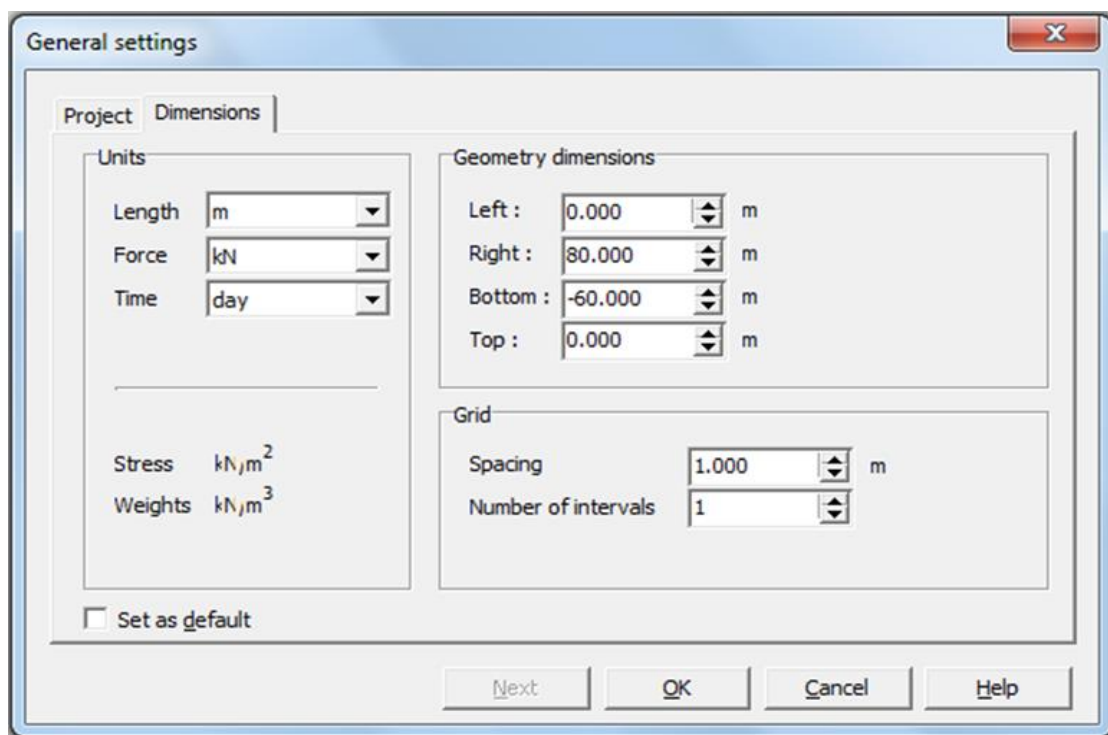
Μετά το άνοιγμα του προγράμματος, με την επιλογή της εντολής “New Project” εμφανίζεται το παράθυρο «General Settings» που αποτελείται από δύο φύλλα.

Στο πρώτο φύλλο “Project” δίνεται ο τίτλος του αρχείου, που είναι και το όνομα του σταθμού. Στο πεδίο “General” επιλέγεται το μοντέλο επίπεδης παραμόρφωσης ή αξονομετρικού προσομοιώματος και τον αριθμό των πεπερασμένων στοιχείων του καννάβου. Στην περίπτωση που δουλεύεται σε αυτή την διπλωματική επιλέγεται “Model”– Plain Strain και “Elements” – 15Node. Στο πεδίο “ Acceleration” δεν γίνεται προσθήκη επιπλέον δεδομένων γιατί δεν λαμβάνονται υπόψη οι δυναμικές φορτίσεις (Εικόνα 5.4).



Εικόνα 5 4. Εισαγωγή γενικών στοιχείων του μοντέλου

Στο δεύτερο φύλλο που είναι το φύλλο “Dimensions” στο πεδίο “Units” τοποθετούνται οι μονάδες των μεγεθών, συγκεκριμένα για Length-m, Force-kN και Time-s. Στο πεδίο “Geometry dimensions” εισάγονται οι διαστάσεις του περιγράμματος του χώρου στον οποίο θα γίνει ο σχεδιασμός της εκσκαφής (Left 0, Right 80, Bottom-60, top 0) και στο πεδίο “Grid” καθορίζονται οι παράμετροι και οι αποστάσεις της καννάβου. Στην περίπτωση αυτού του μοντέλου επιλέγεται “Spacing” – 0,1 και “Numbers of intervals” – 1, τα οποία μεταβάλλονται ανάλογα με τις ανάγκες της σχεδίασης. Τέλος με την επικύρωση της εντολής “ok”, στην οθόνη εμφανίζεται το γεωμετρικό μοντέλο.



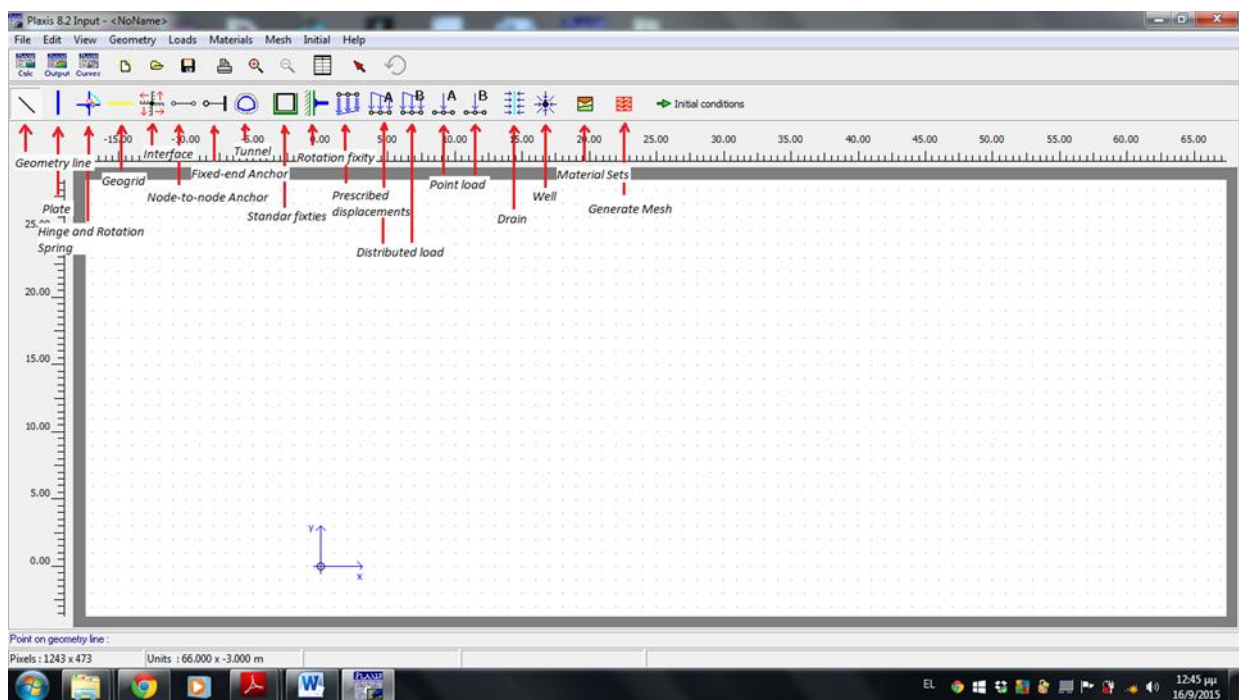
Εικόνα 5 5. Εισαγωγή βασικών διαστάσεων στο σχεδιαστικό μοντέλο

5.3.2 Βασικό παράθυρο Σχεδιασμού – Εισαγωγή γεωμετρίας

Αρχικά θα γίνει η ανάλυση των εντολών που χρησιμοποιούνται για την σχεδίαση του γεωμετρικού μοντέλου και έπειτα θα παρουσιαστεί η γεωμετρία του μοντέλου της παρούσας διπλωματικής.

Οι εντολές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

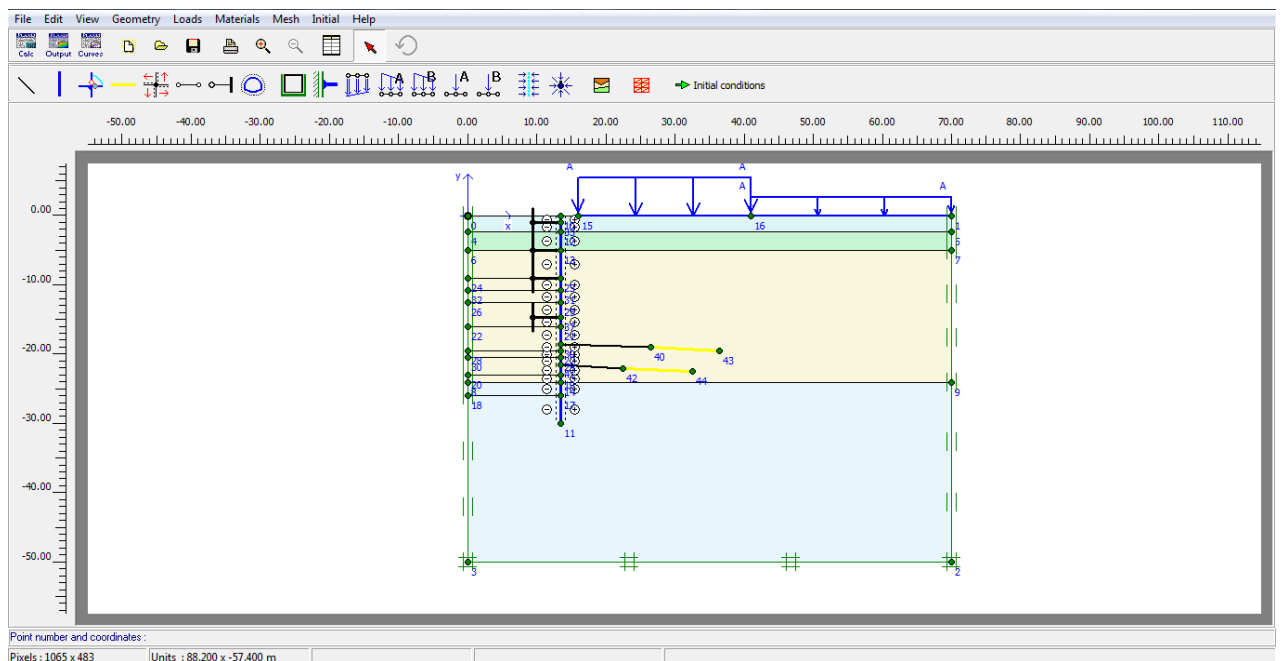
- “Geometry line” χρησιμοποιείται για την σχεδίαση του μοντέλου, για τον διαχωρισμό των εδαφικών στρώσεων καθώς και για τον διαχωρισμό των φάσεων εκσκαφής κάθε φορά
- “Plates” χρησιμοποιείται για την σχεδίαση του διαφραγματικού τοίχου
- “Interfaces” χρησιμοποιείται για να οριστεί η επαφή μεταξύ του διαφραγματικού τοίχου και του εδάφους
- “Node - to - node – anchor” χρησιμοποιείται για την σχεδίαση του αγκυρίου
- “Geogrid” χρησιμοποιείται για την σχεδίαση του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου
- “Standart Fixities” χρησιμοποιείται και την δημιουργία συνοριακών τιμών
- “Surface load” χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του φορτίου που ασκείται στην επιφάνεια της εκσκαφής που προσομοιώνει το μοντέλο



Εικόνα 5. 6. Βασικό παράθυρο σχεδιασμού- γραμμή εργαλείων Plaxis

Το πλάτος της εκσκαφής του σταθμού «Περιστέρι» ξεκινούσε από 20 m και στην παρεία της εκσκαφής που βρισκόταν το Δημαρχείο έφτανε να υπερβαίνει τα 35 m. Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται η διατομή του σταθμού που γειτνιάζει με τον ο Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς, το πλάτος της οποίας είναι 27 m. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο πρόγραμμα σχεδιάζεται το μισό της διατομής (13,5 m) αφού θεωρείται ότι η κατασκευή είναι συμμετρική. Το βάθος της εκσκαφής είναι περίπου 26 m με αποτέλεσμα να γίνεται χρήση πασσάλων συνολικού ύψους 30 m, με μήκος έμπηξης +4 m. Τοποθετήθηκαν δύο

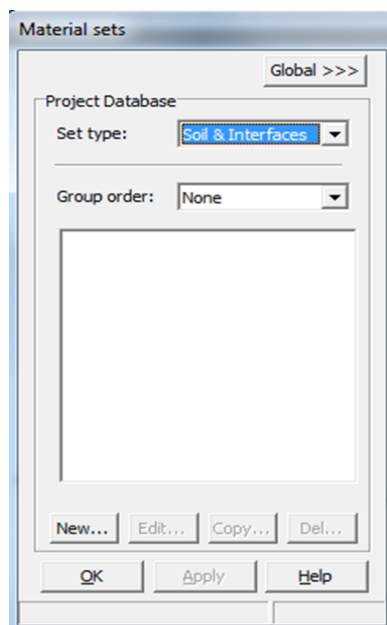
σειρές αγκυριών με μήκος 23 και 19 μέτρων αντίστοιχα με μήκος πακτωμένου τμήματος 10 m, κλίση 2° και δύναμη προέντασης $F_p = 600$ kN. Επιπλέον τοποθετήθηκαν και τέσσερις σειρές αντηρίδων σε βάθος -1.00 m, - 4.5 m, - 9.8 m, 14.8 m αντίστοιχα με μήκος ίσο με το πλάτος της εκσκαφής για να ελαχιστοποιηθούν οι μετακινήσεις. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ορίζεται και το φορτίο των κατασκευών και του I.N. Ευαγγελιστριάς με το Load System A. Η βασική γεωμετρία της κατασκευής παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5. 7. Βασική γεωμετρία του προσομοιώματος που σχεδιάζεται για τον Σταθμό Περιστέρι

5.3.3 Καθορισμός ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού, διαφραγματικού τοίχου, αγκυριών, πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου, αντηρίδων και επιβαλλόμενου φορτίου

Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή του βασικού μοντέλου, καθορίζονται οι ιδιότητες των εδαφικών υλικών, διαφραγματικού τοίχου, αγκυριών, πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου και αντηρίδων. Οι παραπάνω ενέργειες γίνονται μέσω της εντολής “Material Sets” στην γραμμή εργαλείων του προγράμματος που εμφανίζει ένα νέο παράθυρο στο οποίο δίνεται η δυνατότητα να γίνει η εισαγωγή των ιδιοτήτων ανάλογα με το υλικό που επιλέγεται, όπως έχουν προκύψει από την γεωλογική και γεωτεχνική μελέτη.



Εικόνα 5.8 Καθορισμός των ιδιοτήτων των εδαφικών υλικών, αγκυρίων, διαφραγματικού τοίχου και αντηρίδων

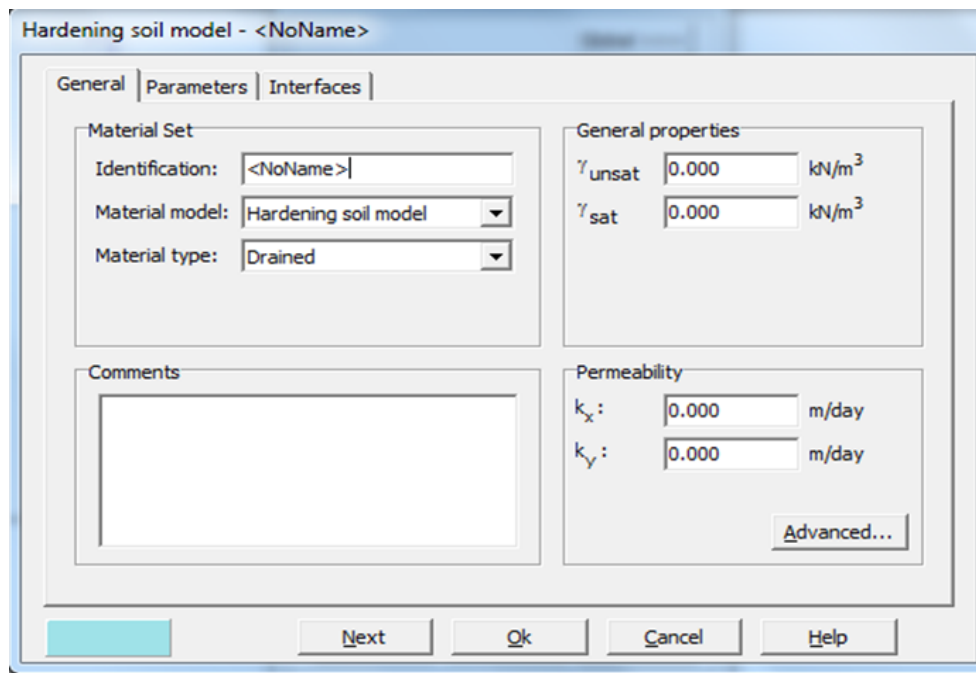
Για να γίνει η επιλογή του υλικού και τον καθορισμό των ιδιοτήτων, από το πεδίο “Project Database”, στην εντολή “Set type” μπορεί να επιλεγεί “Soil and interfaces” για εδαφικά υλικά, “Plates” για διαφραγματικούς τοίχους και πλάκες, “Geogrid” για πακτωμένο τμήμα αγκυρίου και “Anchors” για αντηρίδες και αγκύρια. Κάθε φορά που επιλέγουμε τον τύπο που μελετάμε, με την εντολή “New” δίνεται η δυνατότητα να εισαχθούν οι ιδιότητες για το κάθε υλικό στην συνέχεια η εισαγωγή τους σε κάθε υλικό ξεχωριστά και με την εντολή “Edit” να επεξεργαστούν τα ήδη εισαχθέντα δεδομένα για τα εδαφικά υλικά και τα δομικά στοιχεία υποστήριξης (Εικόνα 5.8).

5.3.3.1 Καθορισμός των ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού

Από την εντολή “Set type” επιλέγοντας το “soil and interfaces” και επιλέγοντας το “new” εμφανίζεται παράθυρο με τρία φύλλα εισαγωγής δεδομένων “General”, “Parameters” και “Interfaces”.

Στο φύλλο “General” (Σχήμα 5.9) μπορεί να ονομαστεί το εδαφικό υλικό στο “Material Set” στο πεδίο “identification”. Η προσομοίωση του εδαφικού υλικού γίνεται με το μοντέλο “Hardening Soil”, το οποίο επιλέγεται από το πεδίο “Material Model”. Για να καθοριστούν οι υδρογεωλογικές συνθήκες επιλέγεται “drained conditions” (στραγγιζόμενες συνθήκες) για όλους τους εδαφικούς σχηματισμούς. Επιπλέον στο

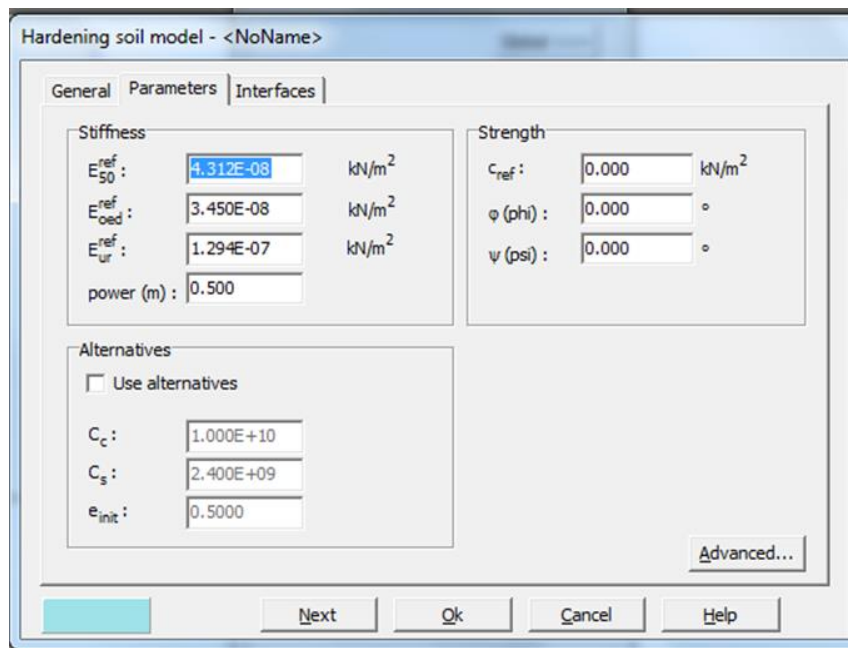
πεδίο “General Properties” εισάγονται οι τιμές του φαινομένου βάρους (γ_{unsat}) και του κορεσμένου φαινομένου βάρους (γ_{sat}), ενώ στο πεδίο “Permeability” εισάγονται οι τιμές διαπερατότητας οι οποίες προέκυψαν από τις δοκιμές διαπερατότητας που έγιναν και απαιτούνται για αναλύσεις στερεοποίησης και υπολογισμού υπόγειας ροής. Λαμβάνεται $K_x = K_y$, ωστόσο πολλές φορές υπάρχει σημαντική διαφορά στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα με αποτέλεσμα το πρόγραμμα να θεωρεί $K_x \neq K_y$.



Εικόνα 5.9. Καρτέλα εισαγωγής γενικών ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού

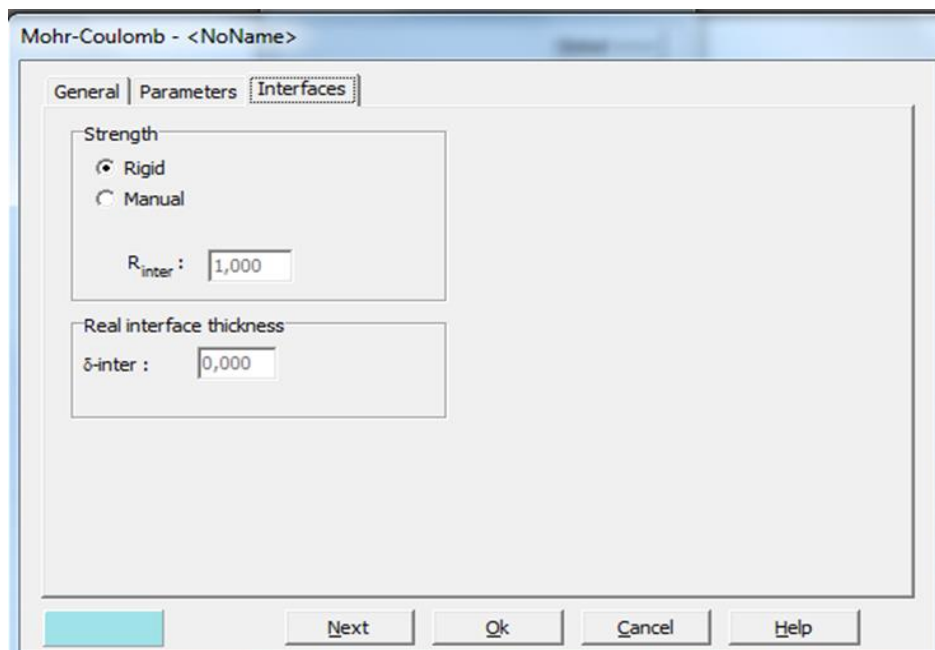
Στο φύλλο “Parameters” εισάγονται οι παράμετροι που προσδιορίζουν την σκληρότητα και την ακαμψία του υλικού (Εικόνα 5.10).

Στο πεδίο “Stiffness” εισάγονται οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας E_{50}^{ref} , του οιδιμετρικού μέτρου ελαστικότητας E_{oed}^{ref} και του E_{ur}^{ref} . Στο πεδίο “Alternatives” δεν προσδιορίζεται κάποια παράμετρος και δεν πραγματοποιείται καμία ενέργεια. Στο πεδίο “Strength” εισάγονται οι τιμές της συνοχής c_{ref} , η γωνία τριβής φ και η διογκωσιμότητας ψ .



Εικόνα 5.10. Καρτέλα εισαγωγής των υπόλοιπων παραμέτρων εδαφικού υλικού

Στο φύλλο “Interfaces” (Σχήμα 5.11) προσδιορίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων της διεπιφάνειας, με τις οποίες τα στοιχεία της κατασκευής μπορούν να συνδεθούν με τα στοιχεία της κατασκευής. Στις διεπιφάνειες αυτές δίνονται ιδιότητες όμοιες με αυτές του εδάφους μειωμένες κατά συντελεστή R_{inter} ώστε να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής. Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται $R_{inter}=0,7$.



Εικόνα 5.11. Καρτέλα εισαγωγής στοιχείων για την διεπιφάνεια

Η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων για τον εδαφικό σχηματισμό ολοκληρώνεται με την επικύρωση της εντολής “ok”. Η αντιστοιχία του εδαφικού υλικού στο μοντέλο του

προγράμματος γίνεται σέρνοντας το συγκριμένο υλικό από το “Material Set” με το αριστερό κλικ στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί το εδαφικό αυτό στρώμα στο μοντέλο ή κάνοντας δεξί κλικ στο εδαφικό στρώμα, στην επιλογή “Properties” επιλέγοντας το “Cluster” και επιλέγοντας το “Change” προσδιορίζεται το είδος του εδαφικού υλικού.

Η εισαγωγή των δεδομένων πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο και για τους υπόλοιπους τρεις σχηματισμούς. Οι τιμές που εισάγονται στο πρόγραμμα για τον προσδιορισμό των για τεσσάρων εδαφικών σχηματισμών παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5 .1. Δεδομένα εισαγωγής ανά εδαφικό σχηματισμό

Ονομασία	Τύπος	γ_{unsat}	γ_{sat}	k_x	k_y	E_{50}^{ref}	E_{oed}^{ref}	E_{ur}^{ref}	c_{ref}	φ	ψ
1 Fill	Drained	19.0	19.0	0.0864	0.0864	25000.0	31679.0	75000.0	5.0	30.0	0
2 Conglomerate	Drained	22.5	22.5	0.0864	0.0864	3E5	1.2627E5	9E5	40.0	40.0	0
3 Sandstone	Drained	22.5	22.5	0.0886	0.0886	60000.0	70000.0	1.8E5	25.0	30.0	0
4 Siltstone	Drained	22.5	22.5	0.0886	0.0886	1.05E5	1.4E5	3.15E5	30.0	30.0	0

5.3.3.2 Καθορισμός διαφραγματικού τοίχου- πασσάλων

Η διαδικασία είναι παρόμοια με τον καθορισμό του εδαφικού υλικού. Από την επιλογή “Materials” επιλέγεται το “plates” και στο παράθυρο που εμφανίζεται κάνουμε αριστερό κλικ στο “new”.

Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 5.12) στο πεδίο “Material Set” υπάρχει η δυνατότητα ονομασίας για τη πλάκα δίπλα στο “identification” και προσθήκης σχολίων στο “comments”. Στην επιλογή “Material type” δίνεται η δυνατότητα να οριστεί ως πλαστικό ή ελαστοπλαστικό το υλικό. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου επιλέγεται το ‘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 alpha-beta θεωρούνται 0 αφού στη παρούσα εργασία δε γίνονται

αναλύσεις με σεισμικά φορτία. Τα παραπάνω στοιχεία προκύπτουν ύστερα από υπολογισμούς που φαίνονται παρακάτω .

Ο διαφραγματικό στοιχείο 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:

$$EA = 30 \cdot 10^6 \text{kPa} \cdot \pi \cdot \frac{1^2}{4} \text{m}^2 = 23,55 \cdot 10^6 \text{kN}$$

$$EI = 30 \cdot 10^6 \text{kPa} \cdot \pi \cdot \frac{1^4}{64} \text{m}^4 = 1,471875 \cdot 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$$

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:

$$EA_1 = \frac{23,55 \cdot 10^6 \text{kN}}{1,5 \text{m}} = 15,7 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$EI_1 = \frac{1,471875 \cdot 10^6 \text{kNm}^2}{1,5 \text{m}} = 0,98125 \cdot 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$$

Ανάμεσα στους πασσάλους τοποθετήθηκε και τοίχιο από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το πάχος του ενδιάμεσου τοιχίου αυτού είναι $t=10$ cm και συμβάλλει στην αξονική και καμπτική δυσκαμψία με αποτέλεσμα την ανάγκη του συνυπολογισμού του στα δεδομένα εισαγωγής τους προγράμματος.

$$EA_2 = \frac{25 \cdot 10^6 \cdot (1,5 - 1) \cdot 0,10 \text{ kN}}{1,5 \text{ m}} = 0,83 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$EI_2 = \frac{25 \cdot 10^6 \cdot \frac{(1,5-1) \cdot 0,1^3}{12} \text{ kN} \cdot \text{m}^2}{1,5} = 694,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Επομένως οι τελικές τιμές προκύπτουν από το άθροισμα

$$\Sigma EA = EA_1 + EA_2 = 15,7 \cdot 10^6 + 0,83 \cdot 10^6 = 16,53 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

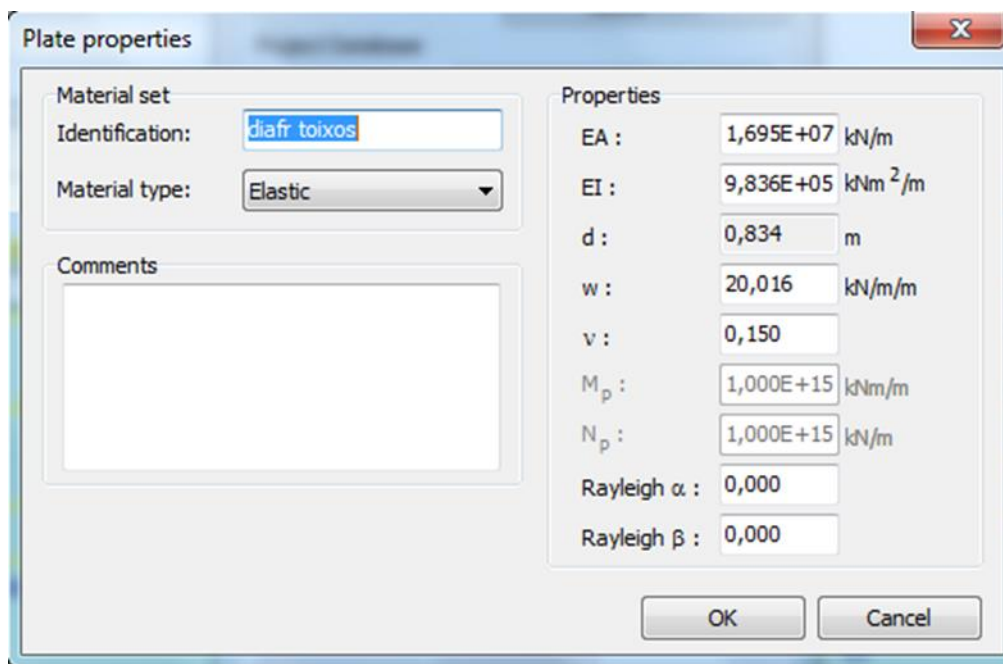
$$\Sigma EI = EI_1 + EI_2 = 0,98125 \cdot 10^6 + 694,4 = 981944,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

Το βάρος (w) των στοιχείων υπολογίζεται από τον τύπο $w = \gamma \cdot d$, όπου $\gamma = 24 \frac{kN}{m^3}$ και $d = 0,844m$, άρα:

$$w = \gamma \cdot d = 24 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,844m \cdot 1m \cdot 1m = 20,256 \frac{kN}{m/m}$$

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



Εικόνα 5 .12. Παράθυρο εισαγωγής ιδιοτήτων για τον διαφραγματικό τοίχο

Η ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για τον προσδιορισμό του διαφραγματικού τοίχου γίνεται επιλέγοντας το “ok”. Η αντιστοιχία του στο μοντέλο του προγράμματος γίνεται σέρνοντας το συγκριμένο υλικό από το “Material Set” με το αριστερό κλικ στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί ο τοίχος ή κάνοντας δεξί κλικ στον διαφραγματικό τοίχο, στην επιλογή “Properties” κλικάροντας το “Plates chain” και επιλέγοντας το “Change” προσδιορίζεται το είδος του διαφραγματικού τοίχου που αντιστοιχεί στο μοντέλο που σχεδιάζεται.

5.3.3.3 Καθορισμός πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου

Από την επιλογή “Materials” επιλέγεται το “Geogrids” και στο παράθυρο που εμφανίζεται κάνουμε αριστερό κλικ στο “new”.

Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 5.13) στο πεδίο “Material Set” υπάρχει η δυνατότητα ονομασίας δίπλα στο “identification” και προσθήκης σχολίων στο “comments”. Στην επιλογή “Material type” δίνεται η δυνατότητα να οριστεί ως πλαστικό ή ελαστοπλαστικό το υλικό. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου επιλέγεται το ‘elastic’. Στο πεδίο “Properties” εισάγεται η τιμή για την δυστένεια EA.

Ο βολβός πάκτωσης είναι Φ 0.1 m με μήκος 10 m. Τα αγκύρια αποτελούνται από 4 τένοντες με $\Phi 0.6''$, άρα η συνολική επιφάνεια διατομής είναι $A_s = 4 \cdot 1,39 = 5,56 \text{ cm}^2$

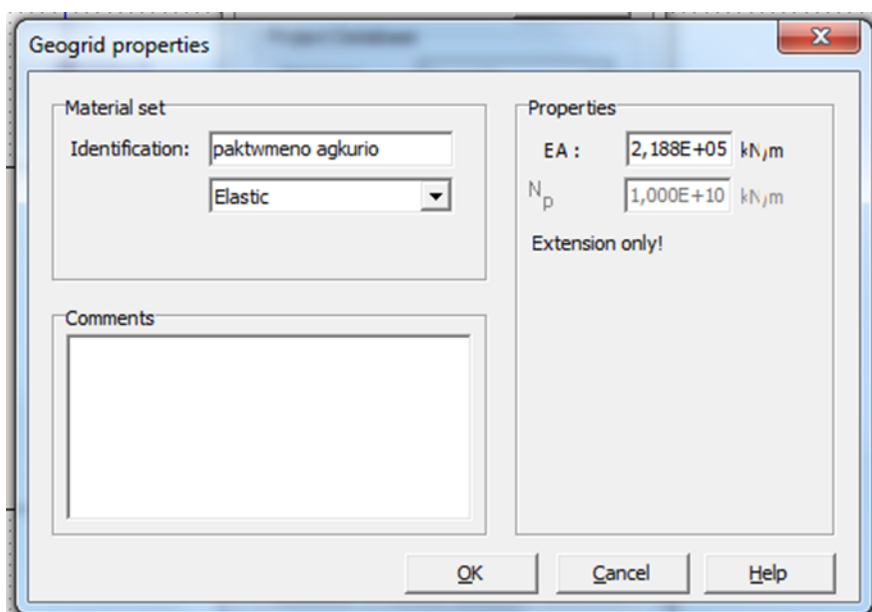
Άρα η δυστένεια του κάθε αγκυρίου είναι

$$E \cdot A_s = 210 \cdot 10^6 \text{ kPa} \cdot 5,56 \text{ cm}^2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 116760 \text{ kN}$$

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

$$\begin{aligned} \Sigma EA &= E_b \cdot A_b + EA_s = 15 \cdot 10^6 \text{ kPa} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 10^2}{4} - 5,56 \right) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 + 116760 \text{ kN} \\ &= 109410 + 116760 = 218820 \text{ kN} \end{aligned}$$

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 5.13. Παράθυρο εισαγωγής ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίου

Η ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για τον προσδιορισμό του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου γίνεται επιλέγοντας το “ok”. Η αντιστοιχία του στο μοντέλο του προγράμματος γίνεται σέρνοντας το συγκριμένο υλικό από το “Material Set” με το αριστερό κλικ στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί το πακτωμένο αγκύριο ή κάνοντας δεξί κλικ στον σχεδιασμένο πακτωμένο αγκύριο, στην επιλογή “Properties” επιλέγοντας αρχικά το “ Geogrid chain ” και στην συνέχεια το “Change” προσδιορίζεται το είδος του πακτωμένου βολβού που αντιστοιχεί στο μοντέλο που σχεδιάζεται.

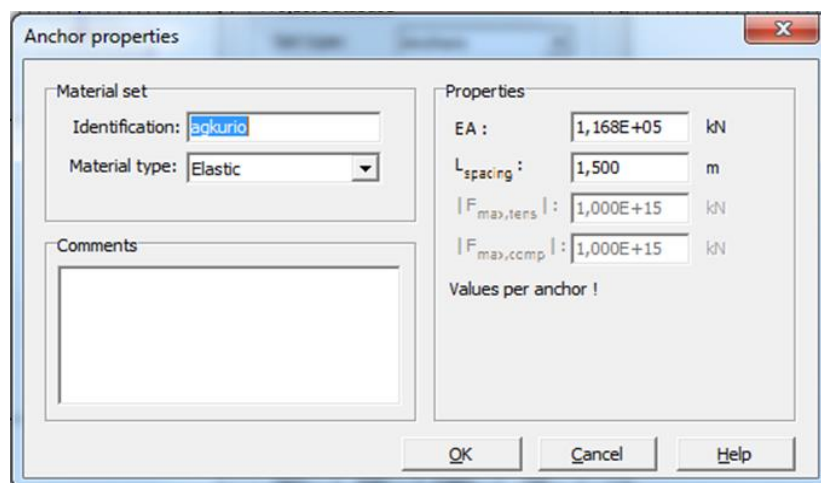
5.3.3.4 Καθορισμός αγκυρίων

Από την επιλογή “Materials” επιλέγεται το “Anchors” και στο παράθυρο που εμφανίζεται κάνουμε αριστερό κλικ στο “new”.

Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 5.14) στο πεδίο “Material Set” υπάρχει η δυνατότητα ονομασίας δίπλα στο “identification” και προσθήκης σχολίων στο “comments”. Στην επιλογή “Material type” δίνεται η δυνατότητα να οριστεί ως πλαστικό η ελαστοπλαστικό το υλικό. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου επιλέγεται το ‘elastic’. Στο πεδίο “Properties” εισάγεται η τιμή για την δυστένεια EA και το $L_{spacing}$ που είναι η ορίζονται απόσταση 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

$$E \cdot A_s = 210 \cdot 10^6 \text{ kPa} \cdot 5,56 \text{ cm}^2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 116760 \text{ kN}$$

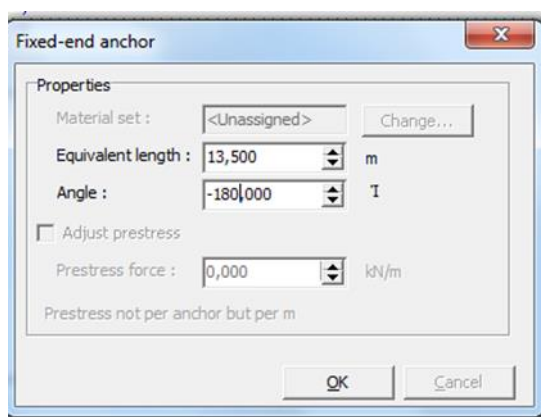


Εικόνα 5 .14. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων του αγκυρίου

Η ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για τον προσδιορισμό του αγκυρίου γίνεται επιλέγοντας το “ok”. Η αντιστοιχία του στο μοντέλο του προγράμματος γίνεται σέρνοντας το συγκριμένο υλικό από το “Material Set” με το αριστερό κλικ στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί το αγκύριο ή κάνοντας δεξί κλικ στον σχεδιασμένο αγκύριο, στην επιλογή “Properties” επιλέγοντας αρχικά το “ Geogrid chain ” και στην συνέχεια το “Change”, προσδιορίζεται το είδος του αγκυρίου που αντιστοιχεί στο μοντέλο που σχεδιάζεται.

5.3.3.5 Καθορισμός αντηρίδων

Κατά τον σχεδιασμό της αντηρίδας επιλέγεται το “Fixed end Anchor” από το πάνελ σχεδίασης (Εικόνα 5.15), και εισάγονται τα πρώτα δεδομένα για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων της. Εμφανίζεται το παράθυρο “Fixed-end Anchor” όπου στο πεδίο “Properties” εισάγουμε για τον “Equivalent length” το ισοδύναμο μήκος της αντηρίδας, στην περίπτωση αυτή καθώς προσομοιώνεται το μισό πλάτος της εκσκαφής το μήκος είναι 13.5 m και για το πεδίο “Angle” την γωνία -180° .



Εικόνα 5.15. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων αντηρίδας για την σχεδίαση της

Στην συνέχεια από την επιλογή “Materials” επιλέγεται το “Anchors” και στο παράθυρο που εμφανίζεται κάνουμε αριστερό κλικ στο “new”.

Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 5.16) στο πεδίο “Material Set” υπάρχει η δυνατότητα ονομασίας δίπλα στο “identification” και προσθήκης σχολίων στο “comments”. Στην επιλογή “Material type” δίνεται η δυνατότητα να οριστεί ως πλαστικό η ελαστοπλαστικό το υλικό. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου επιλέγεται το ‘elastic’. Στο

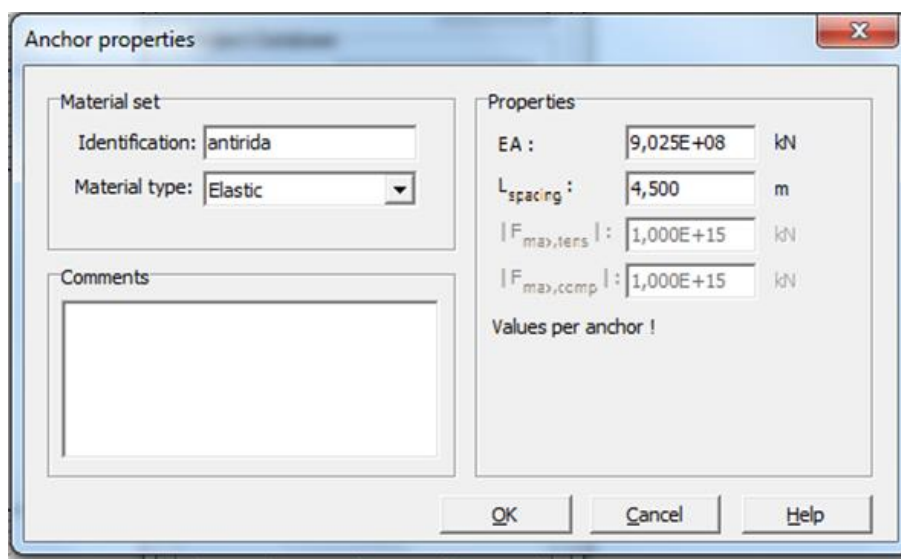
πεδίο “Properties” εισάγεται η τιμή για την δυστένεια EA και το $L_{spacing}$ που είναι η απόσταση των αντηρίδων.

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

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot (D^2 - d^2) = 3,14 \cdot ((1,17)^2 - (0,0143)^2) \\ &= 3,14 \cdot (1,3689 \text{ m}^2 - 0,000204 \text{ m}^2) = 4,298 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Άρα η δυστένεια της αντηρίδας είναι,

$$E \cdot A = 210 \cdot 10^6 \text{ kPa} \cdot 4,298 \text{ m}^2 = 902,52 \cdot \text{kN}$$



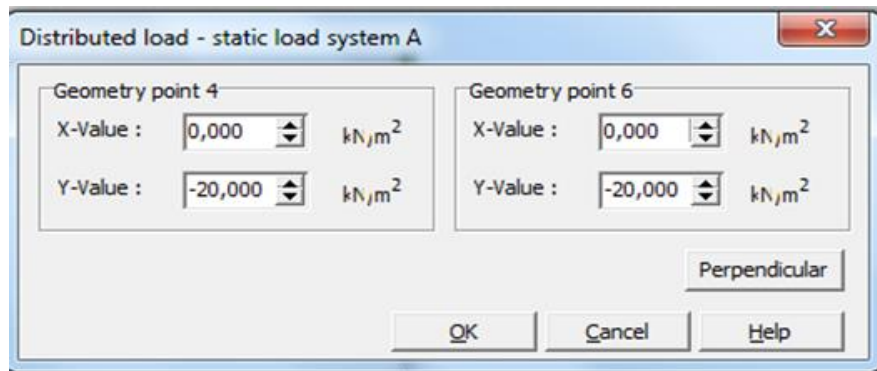
Εικόνα 5. 16. Καρτέλα εισαγωγής των υπόλοιπων ιδιοτήτων αντηρίδας

Η ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για τον προσδιορισμό της αντηρίδας γίνεται επιλέγοντας το “ok”. Η αντιστοιχία του στο μοντέλο του προγράμματος γίνεται σέρνοντας το συγκριμένο υλικό από το “Material Set” με το αριστερό κλικ στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί η αντηρίδα.

5.3.3.6 Καθορισμός του επιβαλλόμενου φορτίου στην επιφάνεια του εδάφους

Στην περίπτωση αυτής της διπλωματικής λαμβάνεται υπόψη το επιφανειακό φορτίο. Και αυτό λόγω της ύπαρξης του ναού τη Ευαγγελιστρίας σε απόσταση λίγων μέτρων από την εκσκαφή. Για να οριστεί το φορτίο, από το πάνελ των εργαλείων επιλέγεται το “Distributed load– load system A” στην συνέχεια σχεδιάζεται το φορτίο στο γεωμετρικό μοντέλο και έπειτα με διπλό κλικ στο φορτίο εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο (Εικόνα

5.17). Στο παράθυρο αυτό υπάρχει πεδίο “Construction elements” όπου επιλέγεται το “Destributed Load (system A)” και επιβεβαιώνεται πατώντας το “ok”. Αυτή η ενέργεια έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζεται καινούριο παράθυρο “Distributed load – static load system A”, στο πεδίο “Geometry point 4” στο “ Y-Value” ορίζεται το φορτίο ίσο με $-20,00 \text{ kN/m}^2$. Αντίστοιχα στο πεδίο “Geometry point 6” στο “ Y-Value” ορίζεται και πάλι το φορτίο ίσο με $-20,00 \text{ kN/m}^2$.



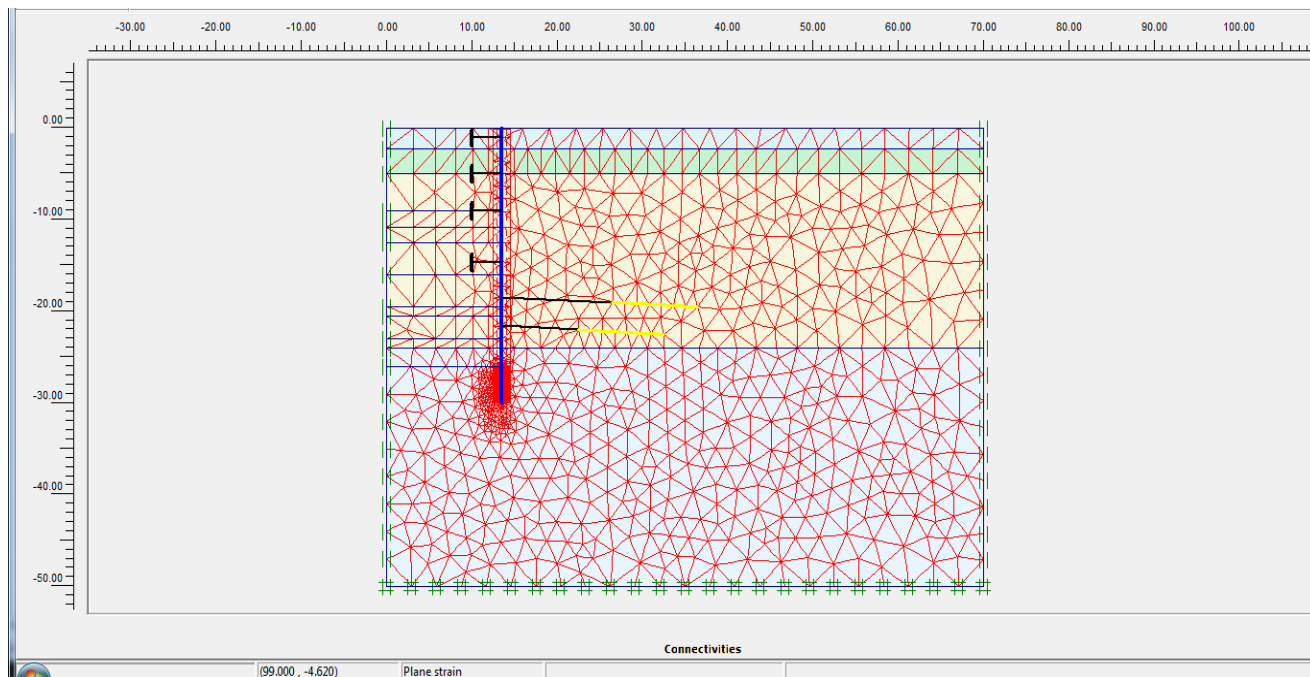
Εικόνα 5.17. Καρτέλα εισαγωγής του φορτίου της επιφάνειας

Ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για να οριστεί το φορτίο στην υπόλοιπη επιφάνεια της εκσκαφής πέραν του Ναού της Ευαγγελιστριάς στο γεωμετρικό μοντέλο. Σε αυτή την περίπτωση στο παράθυρο “Distributed load – static load system A” για τις τιμές του “ Y-Value” εισάγεται η τιμή ίση με -10 kN/m^2 .

5.3.4 Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης

Το επόμενο βήμα μετά την σχεδίαση του μοντέλου της εκσκαφής και τον προσδιορισμό όλων των χαρακτηριστικών των κατασκευαστικών υλικών είναι η σχεδίαση του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων. Από το πάνελ σχεδίασης επιλέγεται το “Generate Mesh” (εικονίδιο) που έχει σαν αποτέλεσμα το μοντέλο να διαιρείται σε μικρά τρίγωνα τυχαία προσανατολισμένα που συνδέονται μεταξύ του με κόμβους. Για να επιλεχθεί η επιθυμητή πυκνότητα καννάβου και να γίνει μια πιο λεπτομερής ανάλυση από την πάνω γραμμή εργαλείων επιλέγεται η ενέργεια “Mesh” και στην συνέχεια πατώντας το “Global Coarseness” εμφανίζεται καινούριο παράθυρο, όπου στο πεδίο “Element distribution” επιλέγεται το “Very fine” για να γίνει ανάλυση με πολύ λεπτό πλέγμα καννάβου και στη συνέχεια επικυρώνουμε πατώντας “Generate”. 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 (Εικόνα 5.18). Στο τέλος της κάθε ενέργειας επιλέγεται το “Update” για γίνει η καταχώρηση των εντολών που εισάγονται στον υπολογισμό του μοντέλου.



Εικόνα 5.18. Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων του μοντέλου

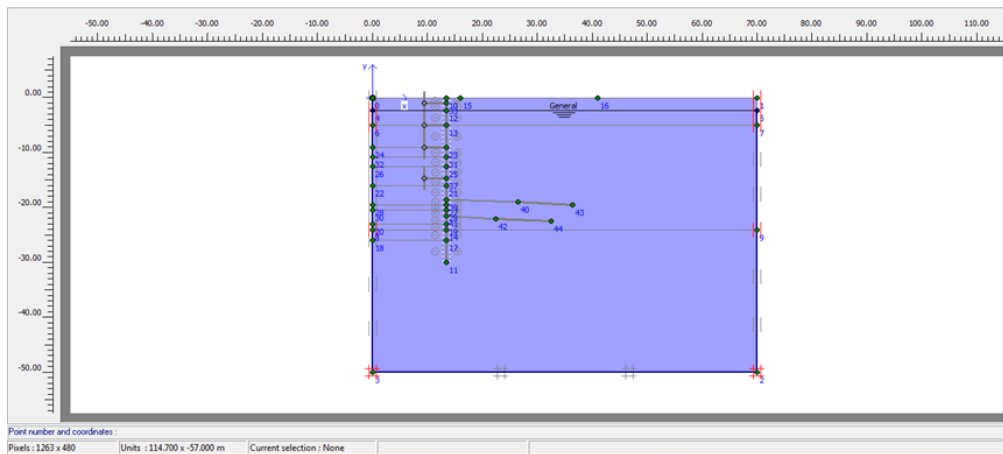
5.3.5 Αρχικές συνθήκες - initial conditions

Μετά την διαδικασία της Διακριτοποίηση του μοντέλου, υπολογίζονται οι αρχικές εντατικές συνθήκες. Από την γραμμή των εργαλείων του προγράμματος επιλέγεται το “Initial Conditions” με αποτέλεσμα να το γεωμετρικό μοντέλο να μεταφέρεται σε καινούριο παράθυρο με καινούρια γραμμή εργαλείων. Για να οριστούν οι αρχικές εντατικές συνθήκες θα πρέπει να οριστούν τόσο οι υδροστατικές όσο και γεωστατικές τάσεις.

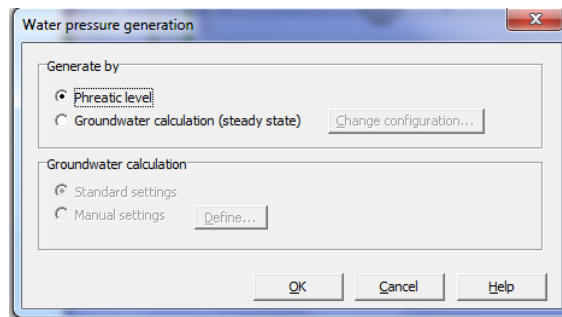
Υδροστατικές τάσεις

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 στα 2,3 μέτρα (Εικόνα 5.19).

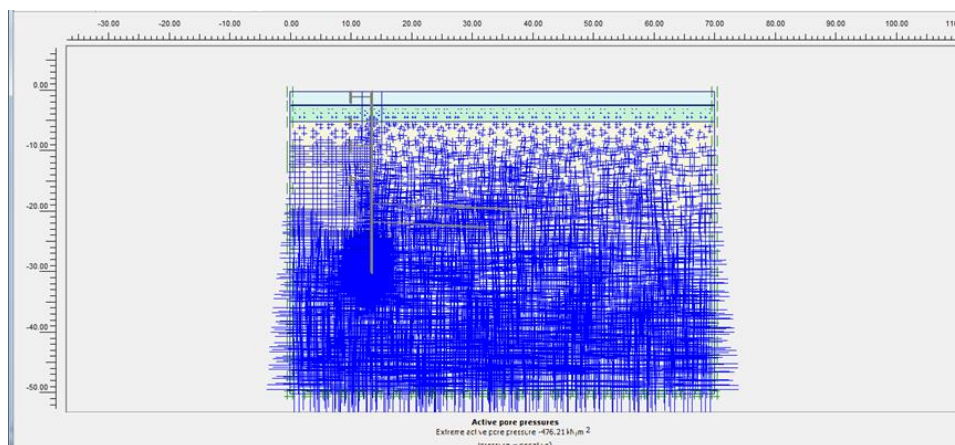
έπειτα με την εντολή “Generate water pressures” εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο όπου στο πεδίο “Generate by” επιλέγεται το “Phreatic level” ώστε ο υπολογισμός των πιέσεων να γίνει με βάση τον υδροφόρο ορίζοντα (Εικόνα 5.20). Επιβεβαιώνοντας αυτή την εντολή με το “οκ” εμφανίζεται καινούριο παράθυρο με την πίεση του νερού των πόρων (Σχήμα 5.21) όπου επιλέγεται η εντολή “update” ώστε τα καινούρια δεδομένα να εισαχθούν στο γεωμετρικό μοντέλο που σχεδιάζεται. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λαμβάνεται $\gamma_{\text{water}}=10\text{kN/m}^3$.



Εικόνα 5.19 Επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα.



Εικόνα 5.20. Καρτέλα εισαγωγής του υδροφόρου ορίζοντα

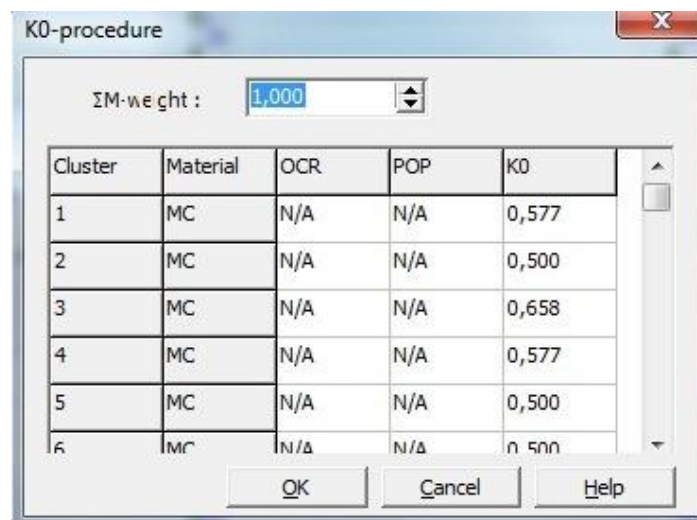


Εικόνα 5.21 Πίεση πόρων νερού

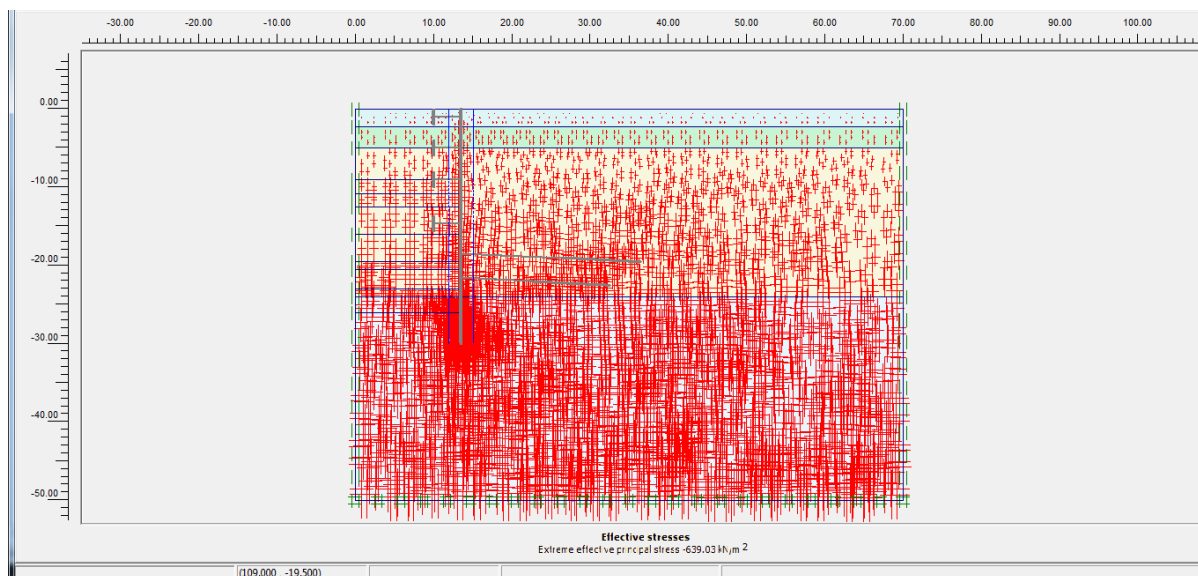
Γεωστατικές τάσεις

Στην 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” από το πάνελ εργαλείων για να υπολογιστούν οι κατακόρυφες και οριζόντιες γεωστατικές τάσεις. Με την ενέργεια αυτή θα πρέπει να οριστεί το ΣM_{weight} για να καθοριστεί ο συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων (K_0) για κάθε γεωλογικό στρώμα το οποίο επιλέγεται να είναι ίσο με 1,000 (Εικόνα 5.22). τα στοιχεία εισάγονται πατώντας το “ok” και ανοίγει καινούριο παράθυρο με το σχεδιαστικό μοντέλο που δείχνει την κατανομή των ενεργών τάσεων (Εικόνα 5.23). Για να εισαχθούν οι καινούριες εντολές επικυρώνεται η εντολή “update” και γίνεται επιστροφή στο αρχικό μοντέλο.

Μια σημαντική λεπτομέρεια που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία και το επιβαλλόμενο φορτίο που έχει οριστεί θα πρέπει να είναι απενεργοποιημένα, να έχουν δηλαδή γκρι χρώμα πριν από την έναρξη κατασκευής σε στάδια και των υπολογισμών.



Εικόνα 5.22. Παράθυρο εύρεσης συντελεστή K_0 για συγκεκριμένο ΣM_{weight} .



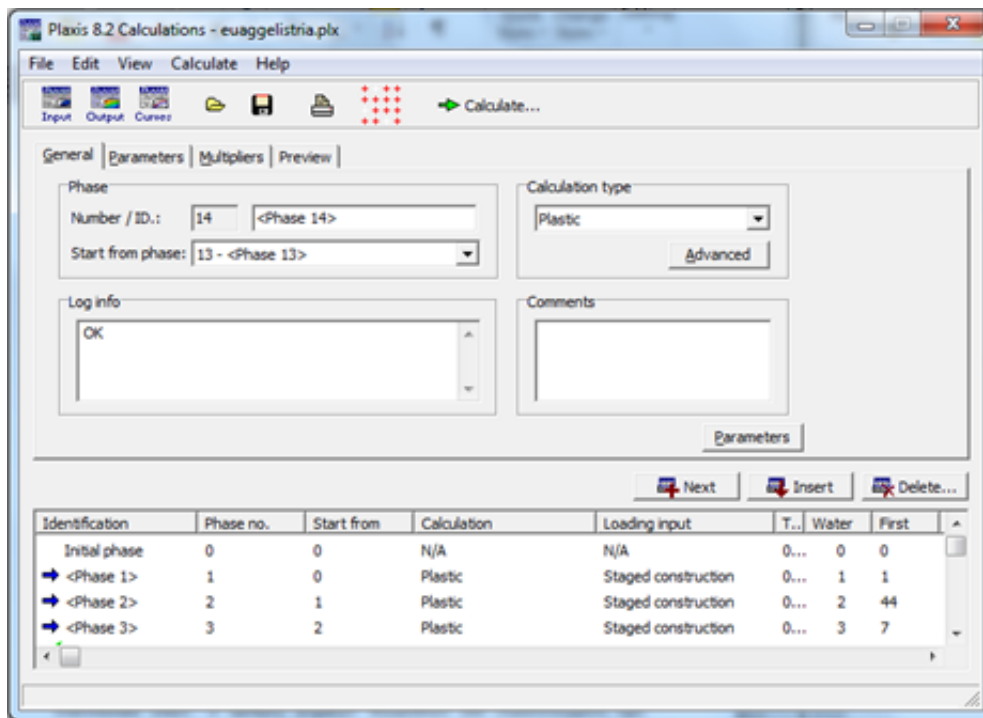
Εικόνα 5.23. Παράθυρο κατανομής ενεργών τάσεων.

5.4 Εκτέλεση υπολογισμών

Αφού γίνει η εισαγωγή των δεδομένων για τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και εδαφικά στρώματα ακολουθεί η εισαγωγή των υπόλοιπων στοιχείων και την εκτέλεση των υπολογισμών σε φάσεις. 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 με τέσσερις καρτέλες. Στη πρώτη καρτέλα, την καρτέλα “General” (Εικόνα 5.24) στο πεδίο “Phase” εισάγεται προαιρετικά το όνομα του σταδίου (“Number/ ID”) και στο πεδίο “Start from phase” γίνεται η επιλογή του σταδίου που είναι πριν από αυτό. Στο πεδίο “calculation type” 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.

Η αρχική φάση (“Initial phase”) με τον αριθμό 0 αντιστοιχεί στο αρχικό εντατικό πεδίο του μοντέλου πριν από την έναρξη των υπολογισμών όπως ορίστηκε πριν.



Εικόνα 5.24.Καρτέλα εισαγωγής γενικών στοιχείων για κάθε φάση εκσκαφής

Στην δεύτερη καρτέλα “parameters” (Εικόνα 5.25) 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”. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην διπλωματική αυτή 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 μετακινήσεις, καθιζήσεις στην επιφάνεια, ωστόσο εξαιτίας του γεγονός ότι οι

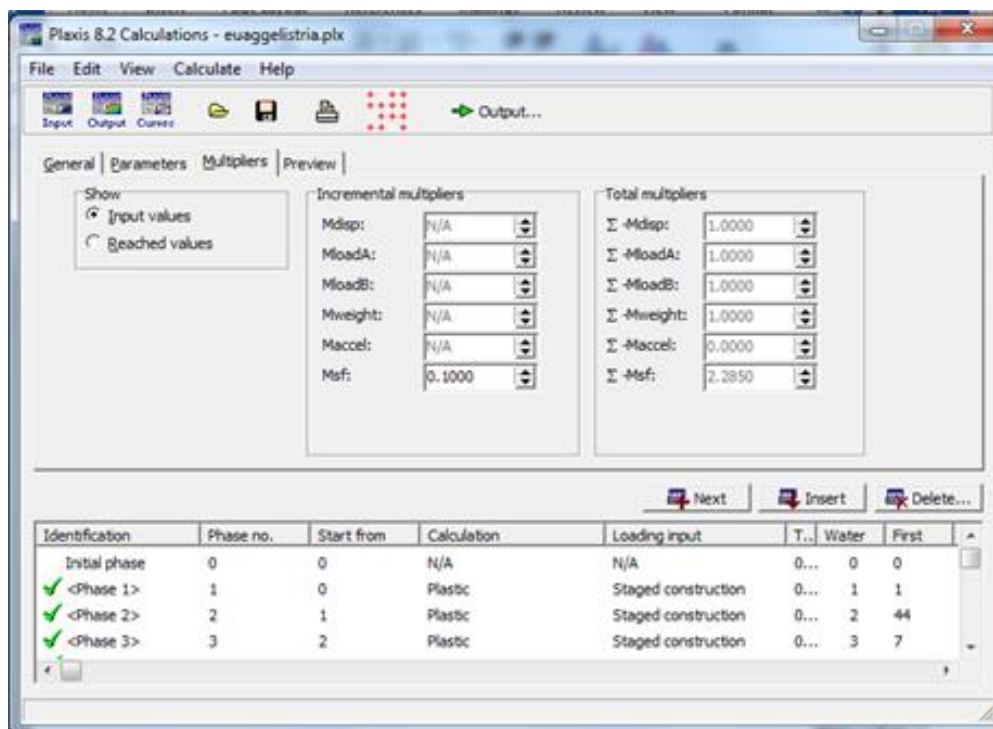
κατασκευές έχουν χτιστεί στο σημείο αρκετό καιρό πριν οι καθιζήσεις που ενδεχομένως να προκαλούσαν έχουν επέλθει στο έδαφος πριν ξεκινήσει η εκσκαφή του σταθμού.

Για να ξεκινήσει ο προσδιορισμός των φάσεων κατασκευής που ακολουθούν αυτής των αρχικών συνθηκών που ορίστηκε πρωτίτερα χρησιμοποιείται η εντολή “Next”. Έχοντας πατήσει και επιλέξει την επόμενη φάση κατασκευής με την εντολή “Define” (που βρίσκεται σε αυτή καρτέλα) το πρόγραμμα μεταφέρεται σε καινούριο παράθυρο που υπάρχει το γεωτεχνικό μοντέλο-προσωμοίωμα και γίνεται η εκσκαφή των εδαφικών σχηματισμών και η επιλογή των τμημάτων ή στοιχείων που κατασκευάζονται στο συγκεκριμένο στάδιο, που ήταν αρχικά απενεργοποιημένα με χρώμα γκρι και μετά την επιλογή τους χρωματίζονται. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα στάδια της κατασκευής αλλάζουν ανάλογα με την παραμετρική ανάλυση και τα κατασκευαστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται, όμως η κύρια αρχική κατασκευαστική διαδικασία αποτελείται από 13 στάδια, τα οποία είναι:

- 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
- Στο τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η δεύτερη εκσκαφή
- Στο πέμπτο στάδιο πραγματοποιείται η τρίτη εκσκαφή και ενεργοποιείται η δεύτερη αντηρίδα
- Στο έκτο στάδιο πραγματοποιείται η τέταρτη εκσκαφή και ενεργοποιείται η τρίτη αντηρίδα
- Στο έβδομο στάδιο πραγματοποιείται η πέμπτη εκσκαφή
- Στο όγδοο στάδιο πραγματοποιείται η έκτη εκσκαφή
- Στο ένατο στάδιο ενεργοποιείται η τέταρτη αντηρίδα
- Στο δέκατο στάδιο πραγματοποιείται η έβδομη εκσκαφή και ενεργοποιείται η πρώτη σειρά αγκυρίων
- Στο ενδέκατο στάδιο πραγματοποιείται η όγδοου εκσκαφή
- Στο δωδέκατο στάδιο πραγματοποιείται η ένατη εκσκαφή και ενεργοποιείται η δεύτερη σειρά αγκυρίων

- Στο δεκατο τρίτο στάδιο πραγματοποιείται η δέκατη εκσκαφή μέχρι την τελική στάθμη

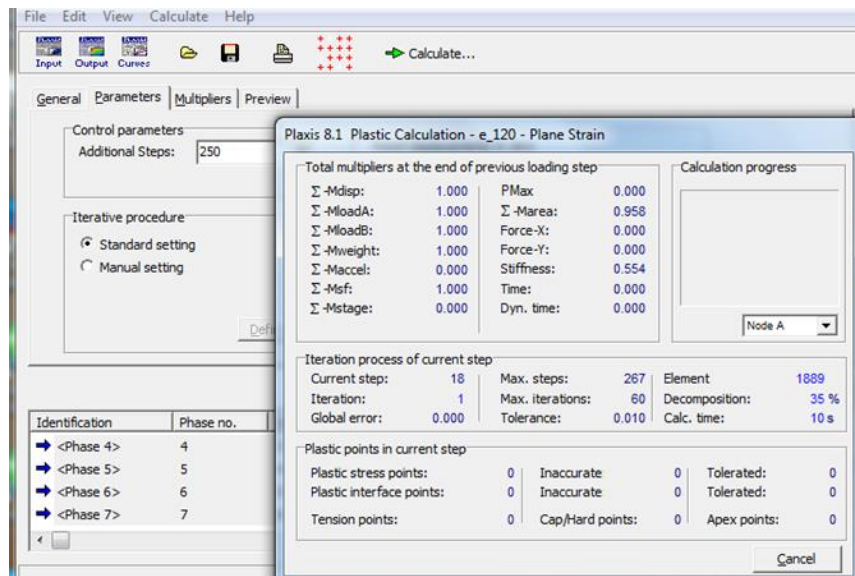
Στην τρίτη καρτέλα “Multipliers” στο ίδιο παράθυρο εντολών (Εικόνα 5.25), γίνεται ο ορισμός των πολλαπλασιαστών του σταδίου με σκοπό την παραγωγή των φορτίσεων και χρησιμοποιείται μόνο για αναλύσεις “Total Multipliers”.



Εικόνα 5 25 Καρτέλα εισαγωγής multipliers για κάθε φάση εκσκαφής.

Στην καρτέλα “Preview” υπάρχει η δυνατότητα προεπισκόπησης του γεωμετρικού μοντέλου σε κάθε φάση κατασκευής του μοντέλου.

Στο παράθυρο των εντολών υπάρχει δυνατότητα επιλογής σημείων που υπάρχουν στο γεωμετρικό μοντέλο και αντιπροσωπεύουν σημεία όπου μπορεί να υπάρχουν έντονες παραμορφώσεις και συγκέντρωση τάσεων. Επιλέγοντας αυτά τα σημεία με το τέλος των υπολογισμών υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής διαγραμμάτων παραμόρφωσης – υπολογιστικών βημάτων για το καθένα από αυτά. Η επιλογή των σημείων μπορεί να γίνει μέσω της εντολής – κουμπιού στη γραμμή των εντολών “Select points for curves”. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή θα πρέπει να γίνει πριν την έναρξη των υπολογισμών. Μετά την ολοκλήρωση των φάσεων κατασκευής από την γραμμή των εργαλείων επιλέγεται η εντολή “Calculate” και ξεκινάει η επίλυση του μοντέλου εμφανίζοντας ένα καινούριο παράθυρο στην οθόνη (Εικόνα 5.26).



Εικόνα 5.26. Καρτέλα έναρξης υπολογισμών του μοντέλου

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της επίλυσης του μοντέλου όλες οι φάσεις κατασκευής που επιλύθηκαν προηγουμένως είναι επισημασμένες με πράσινο χρώμα, σε περίπτωση που έχει γίνει κάποιο λάθος κατά την διάρκεια σχεδιασμού των φάσεων η κατά την διάρκεια των υπολογισμών η φάση που έχει το λάθος εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα μαζί με μήνυμα που αναφέρει που υπάρχει το λάθος.

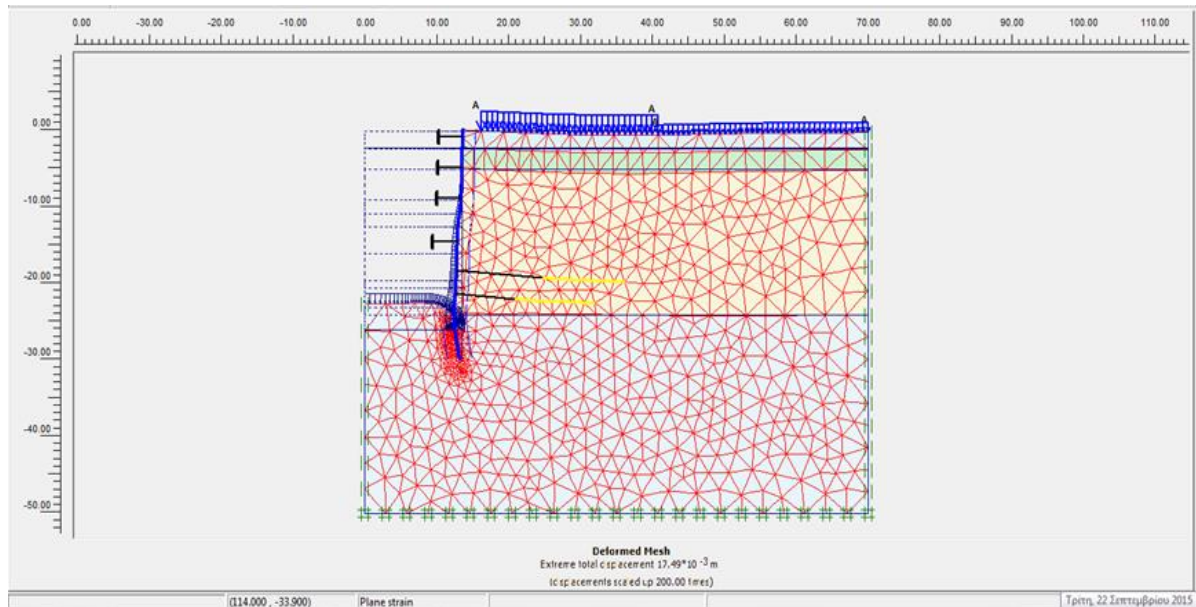
Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων από την γραμμή των εργαλείων επιλέγεται η εντολή “Output”. Η εκτενέστερη περιγραφή της εξαγωγής των αποτελεσμάτων θα γίνει στην επόμενη παράγραφο.

5.5 Εξαγωγή αποτελεσμάτων –Output

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μέσω της εντολής “Output”, γίνεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της επίλυσης του μοντέλου. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται γραφικά (διανύσματα και χρωματική παρουσίαση) και αριθμητικά οριζόντιες κατακόρυφες και συνολικές μετατοπίσεις ταχύτητες και επιταχύνσεις επιλέγοντας τις από το “deformations menu”, καθώς και ολικές και ενεργές τάσεις από το “stresses menu”.

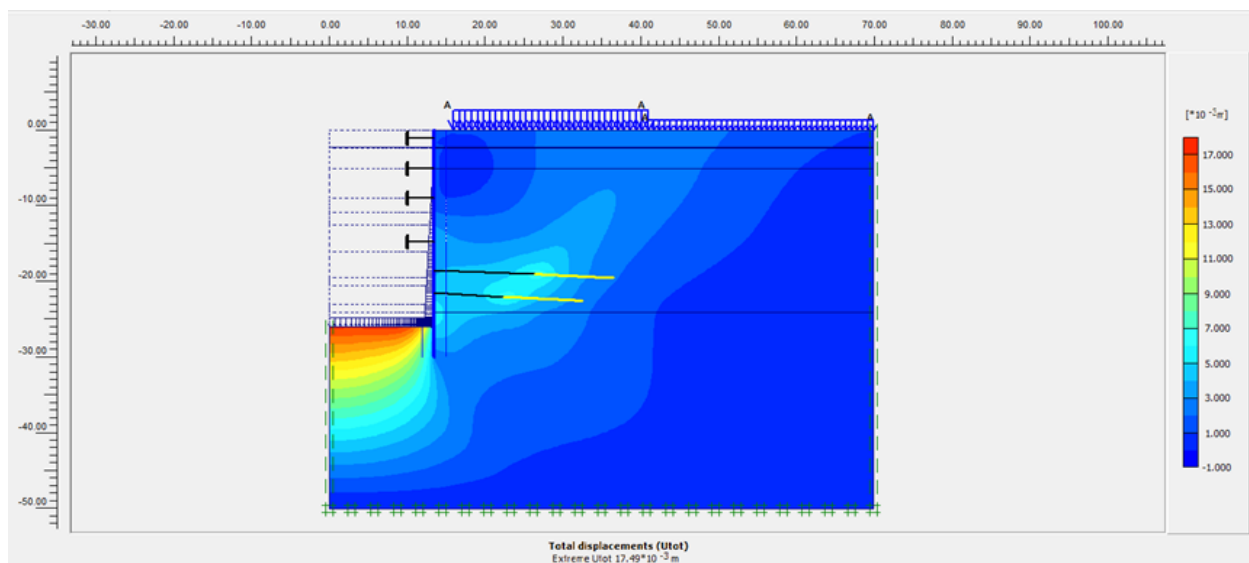
Επιπλέον μέσω της εντολής “Output” το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα της παρουσίασης των τελικών αποτελεσμάτων της επίλυσης του μοντέλου αλλά και πατώντας σε κάθε φάση την συγκεκριμένη εντολή, μπορούμε να δούμε τις παραμορφώσεις – μετακινήσεις σε κάθε φάση ξεχωριστά.

Παρακάτω παρουσιάζεται η εικόνα του παραμορφωμένου κάναβου και των συνολικών μετακινήσεων του βασικού μοντέλου της κατασκευής της εκσκαφής του σταθμού, οι οποίες είναι της τάξης των 1,4 cm.

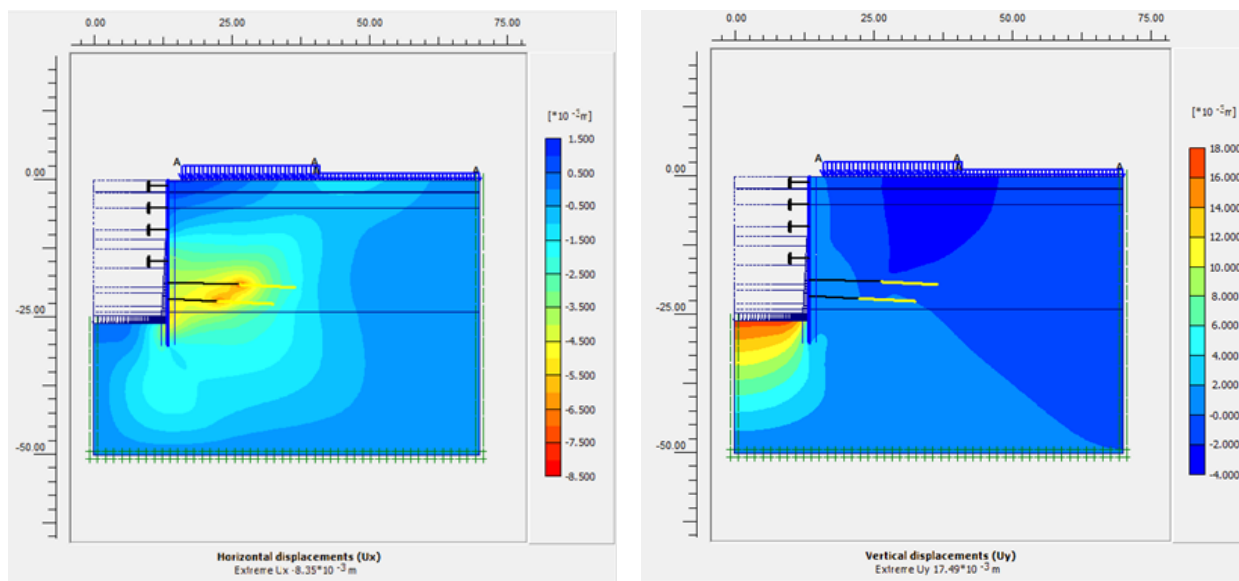


Εικόνα 5.27. Συνολικές μετακινήσεις της εκσκαφής

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.



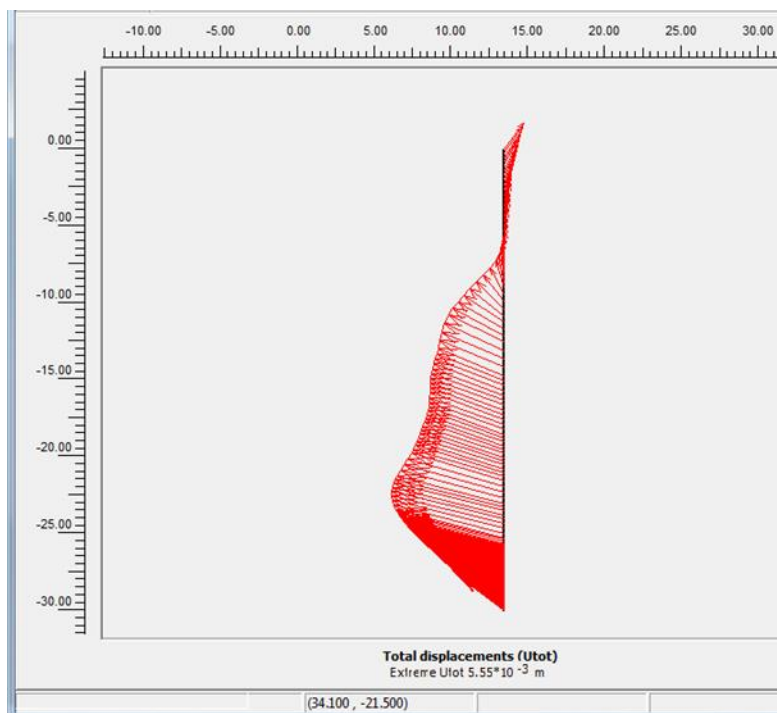
Εικόνα 5.28. Συνολικές μετακινήσεις της εκσκαφής με Shadings



Εικόνα 5.29. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις της εκσκαφής με Shadings

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις είναι στην περιοχή όπου έχει εφαρμοστεί το μέτρο υποστήριξης με τις αγκυρώσεις με μετακινήσεις της τάξης των 8,3 mm, επηρεάζοντας ελάχιστα τον εδαφικό σχηματισμό μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, όπου εμφανίζονται ωστόσο ελάχιστες μετακινήσεις του 1,5 mm. Οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις εμφανίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής και ταυτίζονται με τις συνολικές μετακινήσεις. Παρατηρείται ότι το σημείο στο οποίο εδράζεται ο I.N. Ευαγγελιστριάς εμφανίζει μηδαμινές μετακινήσεις, με μέγιστη τιμή καθίζησης του 1 mm.

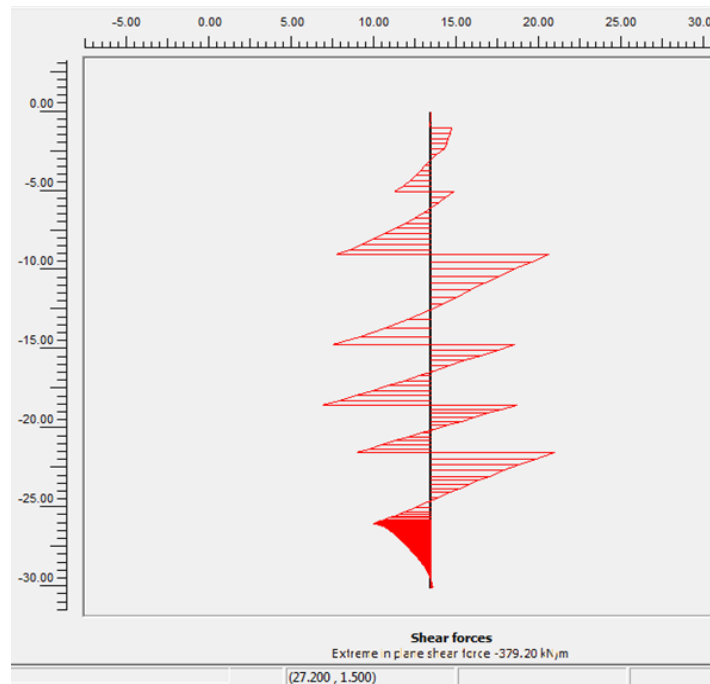
Υπάρχει η δυνατότητα του υπολογισμού των μετακινήσεων και για τους πασσάλους που οφείλονται στις ωθήσεις του εδάφους κατά την τελική εκσκαφή. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνολικές μετατοπίσεις του διαφραγματικού τοίχου της βασικής εκσκαφής που αποτελείται από πασσάλους διαμέτρου 1000mm και απόσταση μεταξύ τους ίση με 1.5 m (Εικόνα 5.30).



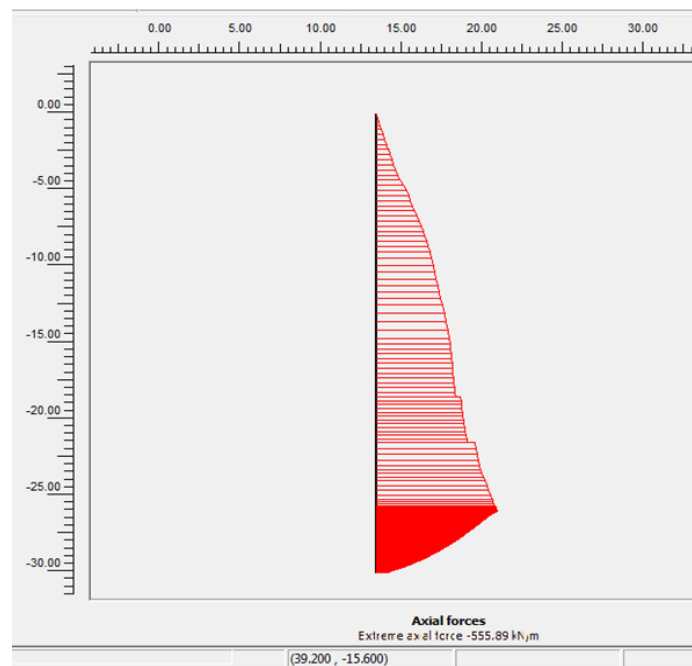
Εικόνα 5. 30. Μέγιστες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου για αποστάσεις πασσάλων 1.5m

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι οι συνολικές μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου είναι 5.55mm. Οι κατακόρυφες και οι οριζόντιες μετακινήσεις στην στέψη του τοίχου είναι 1,3 mm και 0,98 mm αντίστοιχα, ενώ οι κατακόρυφες και οι οριζόντιες μετακινήσεις στην κλείδα είναι 1,42 mm και 1,78 mm αντίστοιχα.

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 379.20kN/m (Εικόνα 5.31), ενώ οι αξονικές δυνάμεις είναι ίσες με 555.89 kN/m (Εικόνα 5.32).



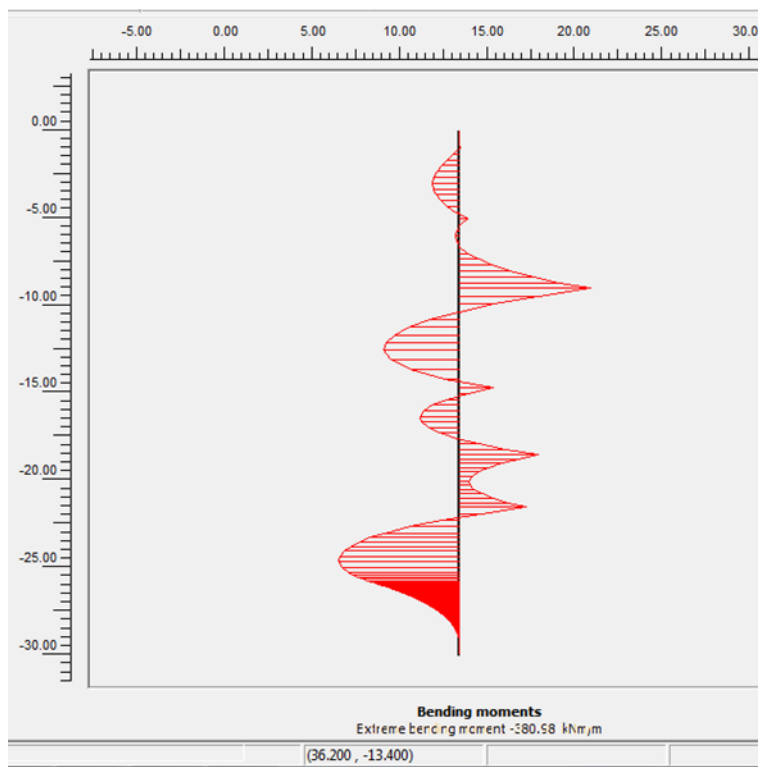
Εικόνα 5.31. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις διαφραγματικού τοίχου



Εικόνα 5.32. Μέγιστες αξονικές δυνάμεις διαφραγματικού τοίχου

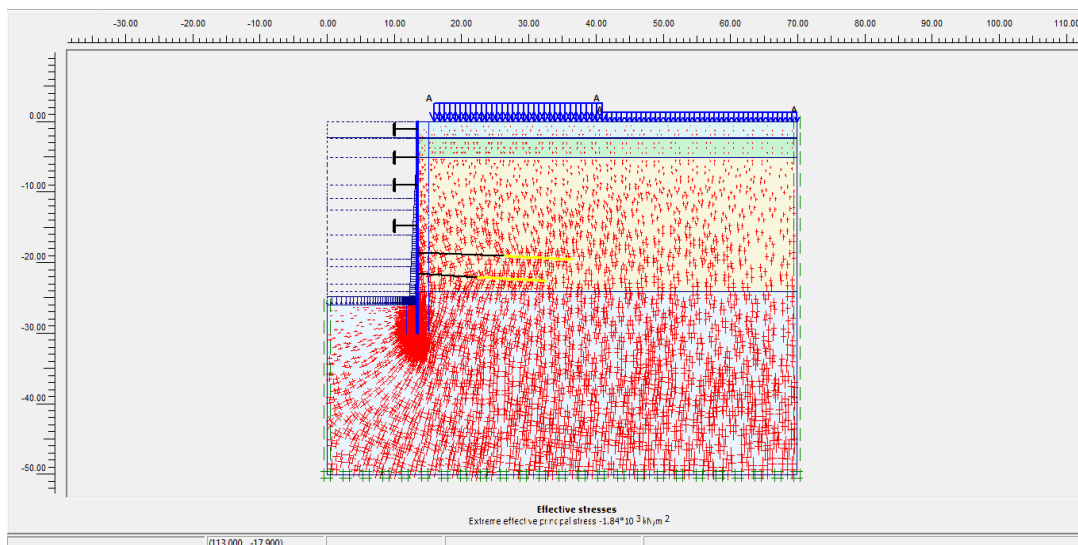
Οι καμπτικές ροπές του διαφραγματικού τοίχου είναι -380.98 kN/m (Εικόνα 5.33). Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι ροπές που υπολογίζει το πρόγραμμα είναι συναρτήσει του μήκους της απόστασης των πασσάλων, επομένως για να υπολογιστεί η απόλυτη τιμή των ροπών,

θα πρέπει το αποτέλεσμα να πολλαπλασιαστεί επί 1.5 m. Άρα η απόλυτη τιμή των καμπτικών ροπών του διαφραγματικού τοίχου είναι 571.47kN.



Εικόνα 5.33. Μέγιστες καμπτικές ροπές διαφραγματικού τοίχου

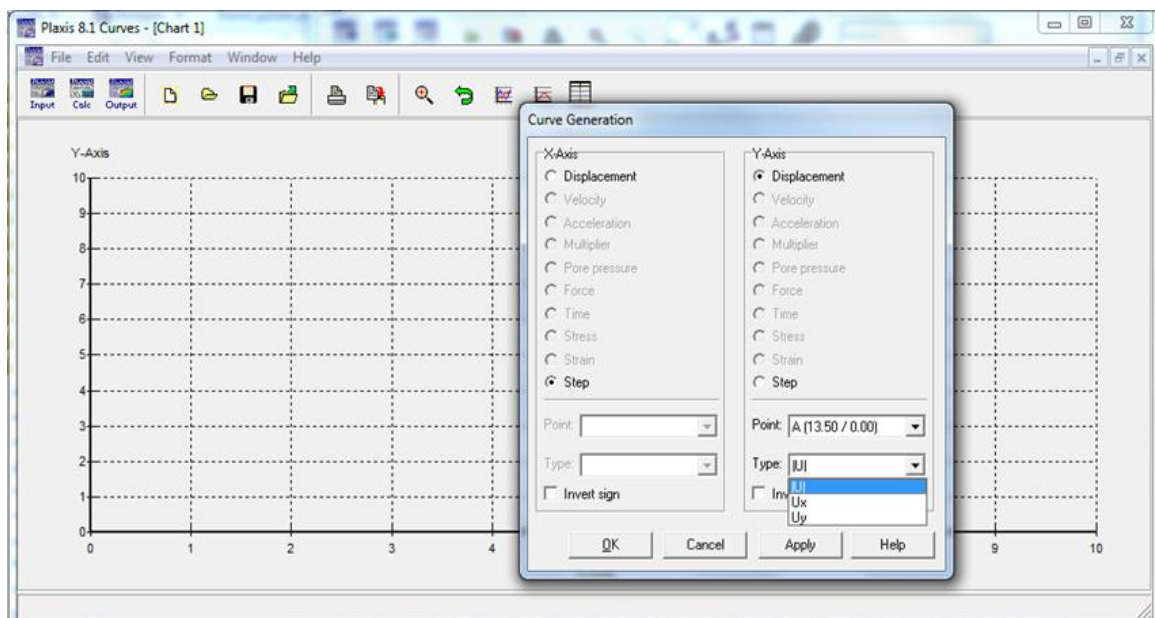
Οι ενεργές τάσεις, όπως φαίνεται (Εικόνα 5.34) λαμβάνουν τιμή $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$, χωρίς να αναπτύσσουν κάποιο ζώνη διαρροής, παρά μόνο στη ζώνη μπροστά από το πακτωμένο τμήμα των πασσάλων.



Εικόνα 5.34. Ενεργές τάσεις

5.6 Εξαγωγή διαγραμμάτων – Curves

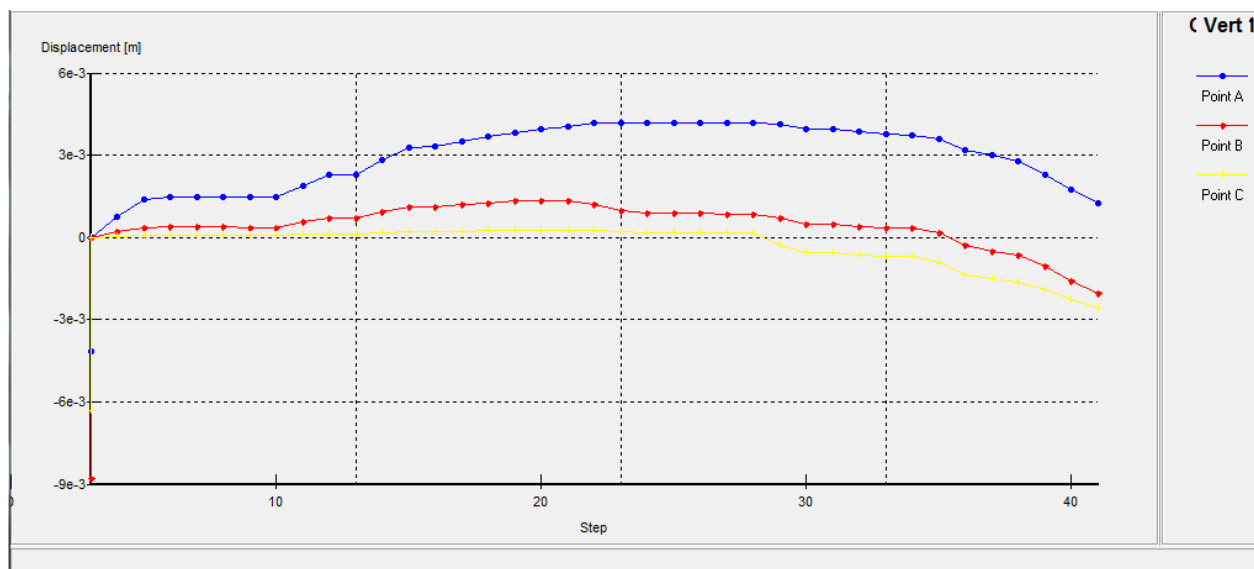
Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα να παραχθούν διαγράμματα για κάθε σημείο από αυτά που επιλέχθηκαν (εντολή “Select points) πριν ξεκινήσουν οι υπολογισμοί και να παρατηρηθούν οι εκάστοτε μετακινήσεις για κάθε σημείο και για κάθε βήμα της κατασκευής. Τα διαγράμματα μπορεί να παρουσιάζουν κατακόρυφες ή οριζόντιες μετακινήσεις. Για να γίνει δυνατή η εξαγωγή αυτών των διαγραμμάτων, από την γραμμή εργαλείων του προγράμματος, επιλέγεται η εντολή “Curves” και το αρχείο Plaxis για το οποίο θα παραχθούν τα διαγράμματα. Στην οθόνη εμφανίζεται καινούριο παράθυρο “Curve Generation”, όπου ορίζονται οι άξονες, για τον άξονα Χ, το “Step” (το βήμα του υπολογισμού) και για τον άξονα Υ, το “Displacement” (η εκάστοτε μετακίνηση για το συγκριμένο βήμα υπολογισμού) (Εικόνα 5.35). Στο πεδίο “Point” παρουσιάζονται τα σημεία τα οποία επιλέχθηκαν πριν ξεκινήσουν οι υπολογισμοί και επιλέγεται το σημείο για το οποίο θα γίνει το διάγραμμα, ενώ στο πεδίο “Type” ορίζεται το “Uy” για την κατακόρυφη μετακίνηση, το “Ux” για την οριζόντια μετακίνηση και το [U] για την συνολική μετακίνηση. Έπειτα μόλις ολοκληρωθεί η συμπλήρωση των παραπάνω επιλογών, επιλέγεται το “Apply” και η τελική επικύρωση γίνεται με την εντολή “Ok”.



Εικόνα 5.35. Σχεδιασμός των διαγραμμάτων Curves

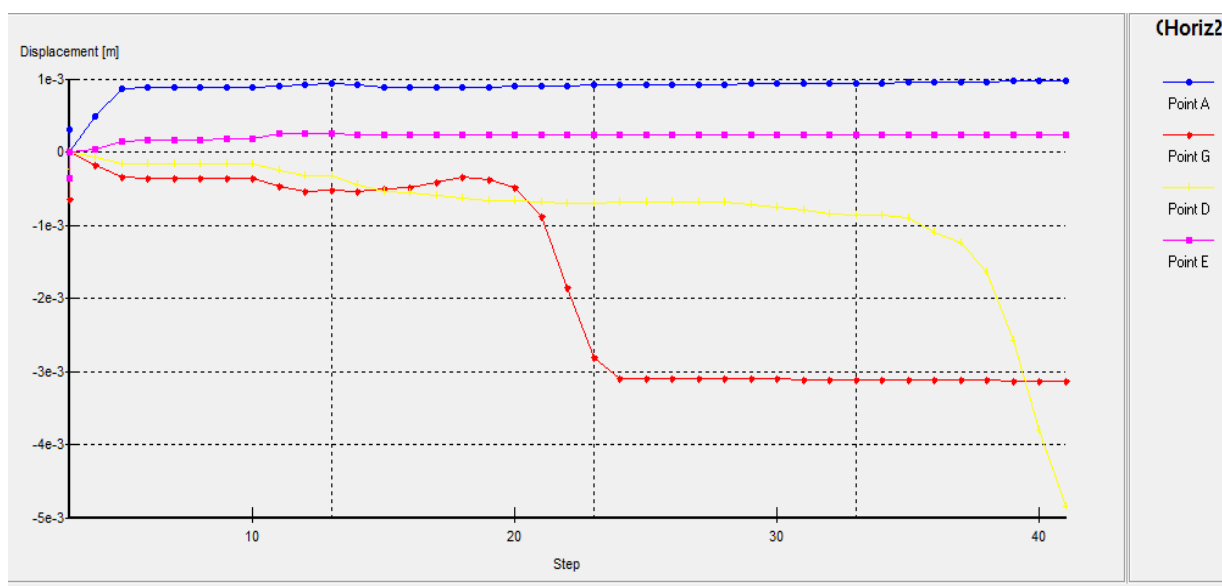
Για να μελετηθούν οι κατακόρυφες μετακινήσεις επιλέχθηκε το σημείο A, στην κορυφή του πάσσαλου, το σημείο B σε απόσταση 13,5m από τον πάσσαλο και το σημείο C, σε απόσταση 28m από τον πάσσαλο. Από το διάγραμμα “Curves” που δημιουργείται

παρατηρείται ότι η μέγιστη καθίζηση είναι περίπου 2,5mm και εμφανίζεται πάνω στο σημείο C, που είναι το πιο απομακρυσμένο από τον πάσσαλο σε σχέση με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα (Διάγραμμα 5.1).



Διάγραμμα 5.1. Διάγραμμα Curves για τις κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C

Για να μελετηθούν οι οριζόντιες μετακινήσεις επιλέχθηκε το σημείο A, στην κορυφή του πάσσαλου, το σημείο E στα 5 m (δεύτερη αντηρίδα) το σημείο G στο βάθος 14,5 m περίπου (τέταρτη αντηρίδα) και το σημείο D στο τέλος της εκσκαφής σε βάθος 26 m. Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση είναι στο τέλος της εκσκαφής στο σημείο D και είναι περίπου 4,9 mm (Διάγραμμα 5.2).



Διάγραμμα 5.2. Διάγραμμα Curves για τις κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C

5.7 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 γενικής θραύσης του εδάφους. Ο υπολογισμός γίνεται μέχρι την αστοχία της κατασκευής. Συγκεκριμένα για την περίπτωση της κατασκευής του αρχικού μοντέλου (τέσσερις σειρές αντηρίδων, δύο σειρές αγκυρίων, απόσταση πασσάλων 1,5m, διάμετρος πασσάλων 1m, βάθος έμπηξης πασσάλων + 4m, και δύναμη προέντασης των αγκυρίων $F_p = 600$ kN), προκύπτει $FS = 2,2 > FS_{\text{minimum}} = 1,7$.

6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

6.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση των παραμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για την εκσκαφή της διατομής του σταθμού η οποία γειτνιάζει με τον Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς. Προκειμένου να διερευνηθεί ο τρόπος και ο βαθμός επιρροής των διάφορων μέτρων υποστήριξης στην ευστάθεια της εκσκαφής, εξετάστηκαν διάφοροι παράγοντες όπως είναι το βάθος έμπηξης των πασσάλων, η δύναμη προέντασης των αγκυρίων, η απόσταση των πασσάλων και κατ' επέκταση και των αγκυρίων. Επιπλέον για λόγους ενδιαφέροντος έγιναν διερευνητικές αναλύσεις στις οποίες οι αντηρίδες αντικαθίστανται σταδιακά από αγκύρια. 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 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.

Στην πρώτη σειρά αναλύσεων εξετάστηκαν η επίδραση της απόστασης των πασσάλων και συνάμα της απόστασης των αγκυρίων, στις συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων, στις κατακόρυφες μετακινήσεις, στις μέγιστες διατμητικές και καμπτικές ροπές που αναπτύσσονται σε αυτούς. Για αυτό τον σκοπό πραγματοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις αναλύσεις για πασσάλους με διάμετρο 1000mm:

- 1^A Ανάλυση για απόσταση 2,5 m
- 1^B Ανάλυση για απόσταση 2 m
- 1^Γ Ανάλυση για απόσταση 1,5 m
- 1^Δ Ανάλυση για απόσταση 1 m

Στην δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων, ελέγχθηκε πως η δύναμη προέντασης των αγκυρίων επηρεάζει τις μετακινήσεις. Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις αναλύσεις με δύναμη προέντασης:

- 2^A Ανάλυση με $F_p = 600$ kN
- 2^B Ανάλυση με $F_p = 400$ kN
- 2^Γ Ανάλυση με $F_p = 200$ kN
- 2^Δ Ανάλυση με $F_p = 0$ kN

Στην τρίτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων μεταβλήθηκε το μήκος έμπηξης των πασσάλων και εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο επιδρά αυτό στις συνολικές μετακινήσεις. Για τον σκοπό αυτό έγιναν τέσσερις παραμετρικές αναλύσεις:

- 3^A Ανάλυση με μήκος έμπηξης 4 m (-30.00 m με στάθμη εκσκαφής -26.00m)
- 3^B Ανάλυση με μήκος έμπηξης 3 m (-29.00 m)
- 3^Γ Ανάλυση με μήκος έμπηξης 2 m (-28.00 m)
- 3^Δ Ανάλυση με μήκος έμπηξης 1 m (-27.00 m)

Στην τέταρτη σειρά αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή της σταδιακής αντικατάστασης των αντηρίδων του αρχικού προσομοιώματος με αγκύρια στις συνολικές μετακινήσεις. Με αυτό τον σκοπό πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σειρές αναλύσεων:

- 4^A Ανάλυση με τέσσερις αντηρίδες και δύο σειρές αγκυρίων
- 4^B Ανάλυση με τρεις αντηρίδες και τρεις σειρές αγκυρίων
- 4^Γ Ανάλυση με δύο αντηρίδες και τέσσερις σειρές αγκυρίων
- 4^Δ Ανάλυση με μια σειρά αντηρίδων και τέσσερις σειρές αγκυρίων
- 4^E Ανάλυση με πέντε σειρές αγκυρίων

6.2 1^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Στην πρώτη παραμετρική ανάλυση μεταβάλλεται η απόσταση μεταξύ των πασσάλων και συνεπώς και των αγκυρίων που εδράζουν πάνω σε αυτούς. Η μεταβολή αυτή έχει σαν αποτέλεσμα η κατανομή των δυνάμεων που ασκούνται να κατανέμονται σε διαφορετικές επιφάνειες. Για τον λόγο αυτό τα δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα προκειμένου να επιλυθεί το μοντέλο μεταβάλλονται. Συγκεκριμένα

μεταβάλλεται η αξονική δυσκαμψία του ΕΑ του διαφραγματικού τοίχου και η καμπτική δυσκαμψία EI , το πάχος d , το οποίο υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα και το βάρος w (γινόμενο $d \times \gamma$). Επιπλέον εισάγεται διαφορετική απόσταση για το $L_{spacing}$ των αγκυρίων ίση με την απόσταση των πασσάλων με την αξονική δυσκαμψία και καμπτική δυσκαμψία των αγκυρίων να παραμένει ίδια αφού το πρόγραμμα διαιρεί αυτόματα την τιμή που εισάγεται ανά την απόσταση.

Χρησιμοποιώντας τους τύπους υπολογίζεται η αξονική δυσκαμψία ΕΑ και η καμπτική EI , λαμβάνοντας υπόψη και την συμβολή του τοιχίου από σκυρόδεμα το οποίο μεταβάλλεται και αυτό λόγω της μεταβολής της απόστασης των πασσάλων. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τις καινούριες τιμές των παραμέτρων που μεταβάλλονται και εισάγονται εκ νέου στο πρόγραμμα.

Πίνακας 6.1. Τιμές των παραμέτρων που εισάγονται στο πρόγραμμα ανάλογα με την απόσταση των πασσάλων

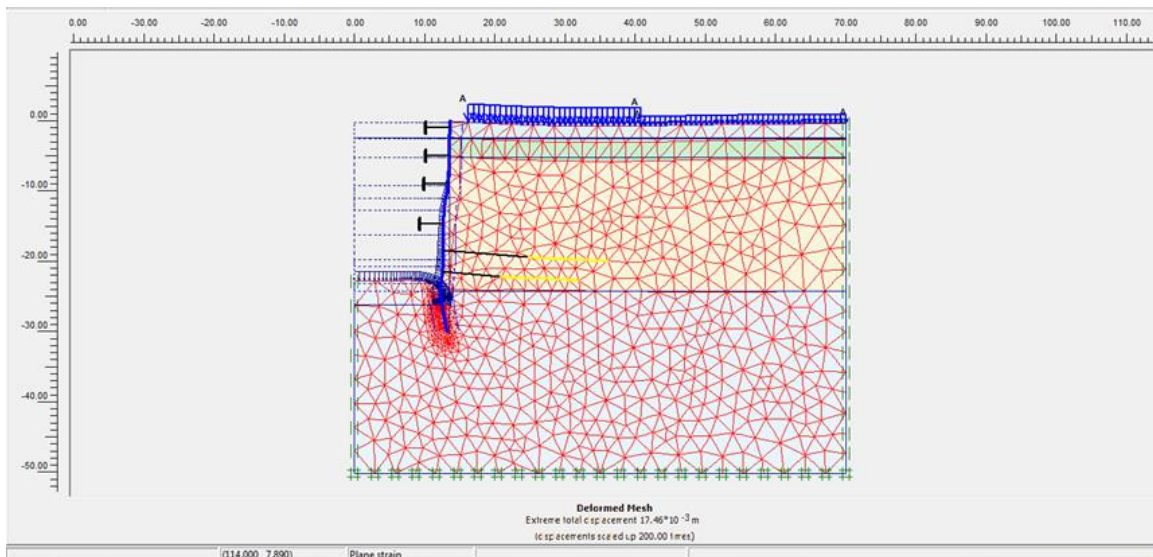
ΑΝΑΛΥΣΗ	1^A (2,5 m)	1^B (2 m)	1^Γ (1,5 m)	1^Δ (1 m)
ΕΑ (δ/ου τοίχου) (kN/m)	$10,92 \times 10^6$	$13,025 \times 10^6$	$16,53 \times 10^6$	$23,55 \times 10^6$
EI (δ/ου τοίχου) (kN×m)	590000	736979,2	981944,4	$1,472 \times 10^6$
d (δ/ου τοίχου) (kN/m)	0,805	0,824	0,844	0,866
w (δ/ου τοίχου) (kN/m)	19,32	19,776	20,256	20,784
Lspacing (αγκυρίου) (m)	2,5	2	1,5	1

Μετά την εισαγωγή των νέων δεδομένων στο πρόγραμμα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις και υπολογισμός του προσομοιώματος και για τις τέσσερις περιπτώσεις και για την κάθε ανάλυση έγινε εξαγωγή των δεδομένων output και διαγράμματα στην επιλογή Curves. Στο τέλος της κάθε παραμετρικής ανάλυσης μελετήθηκαν τα αποτελέσματα των παραμορφώσεων των πασσάλων, των καμπτικών ροπών που αναπτύσσονται στους πασσάλους, των μέγιστων διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους και των κατακόρυφων μετατοπίσεων σε συγκεκριμένα σημεία πάνω στην επιφάνεια της εκσκαφής.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της 1^A ανάλυσης, δηλαδή για απόσταση πασσάλων ίση με 2,5 m, η οποία θεωρείται ως δυσμενέστερη με βάση τα αποτελέσματα

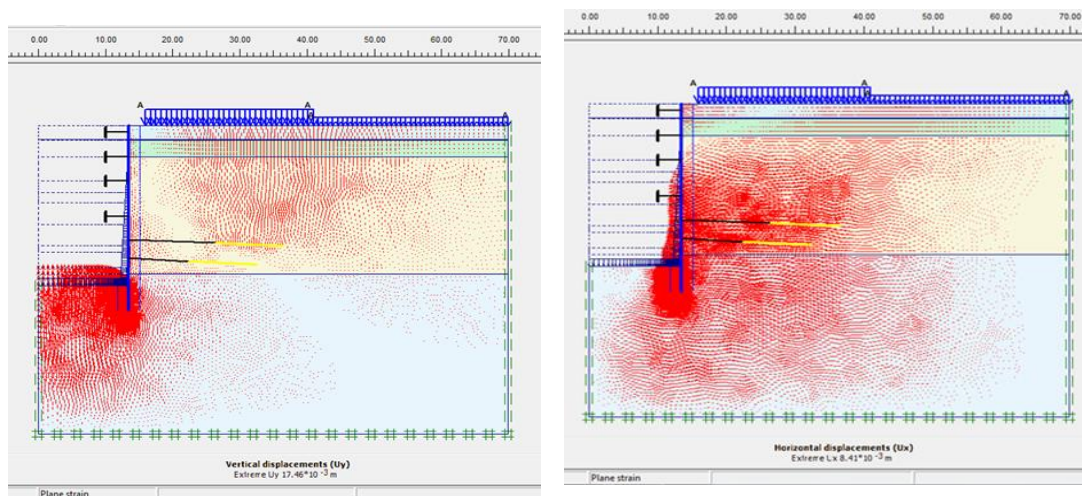
που προκύπτουν από τις αναλύσεις. Στο Παράρτημα 1 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα και των τεσσάρων αναλύσεων.

Το προσομοίωμα της εκσκαφής μετά την εκτέλεση των υπολογισμών παρουσιάζεται παρακάτω.



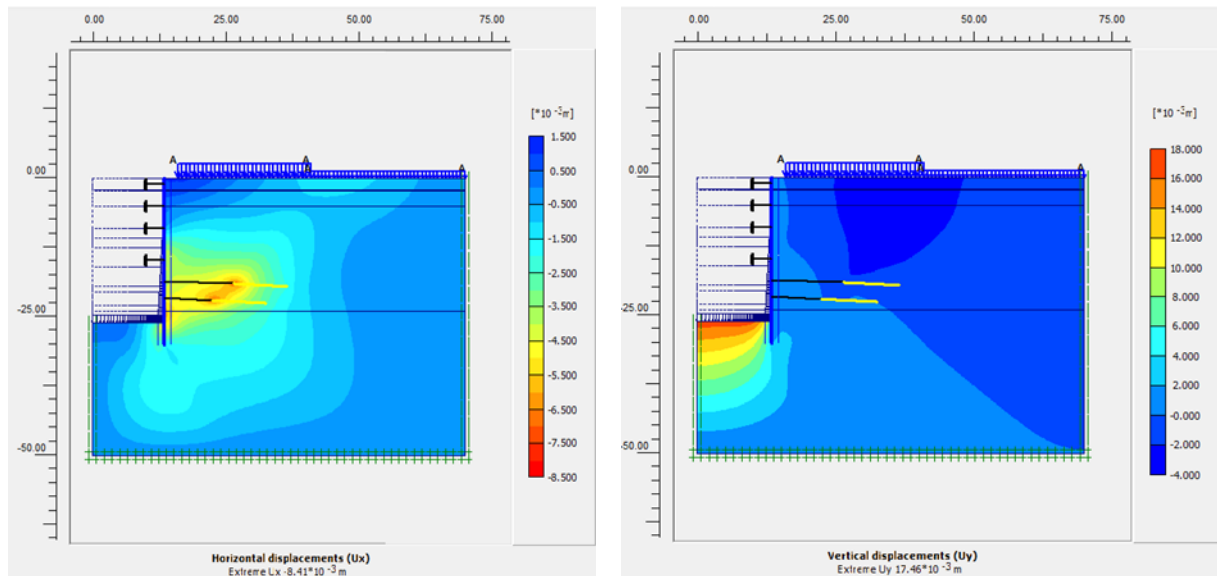
Εικόνα 6.1. Συνολικές μετακινήσεις για απόσταση πασσάλων 2,5 m

Οι μέγιστες μετακινήσεις σύμφωνα με το πρόγραμμα φτάνουν περίπου στο 1,74cm. Το πρόγραμμα, όπως ήδη ειπώθηκε δίνει την δυνατότητα υπολογισμού των μέγιστων κατακόρυφων και οριζόντιων μετατοπίσεων (Εικόνα 6.2). Συγκεκριμένα οι μέγιστες κατακόρυφες μετατοπίσεις είναι και οι μέγιστες μετατοπίσεις της εκσκαφής που εμφανίζονται στο δάπεδο και είναι ίσες με 1,74cm. Οι μέγιστες οριζόντιες μετατοπίσεις είναι της τάξης των 8,4 mm.



Εικόνα 6.2. Συνολικές κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις για απόσταση πασσάλων 2,5 m

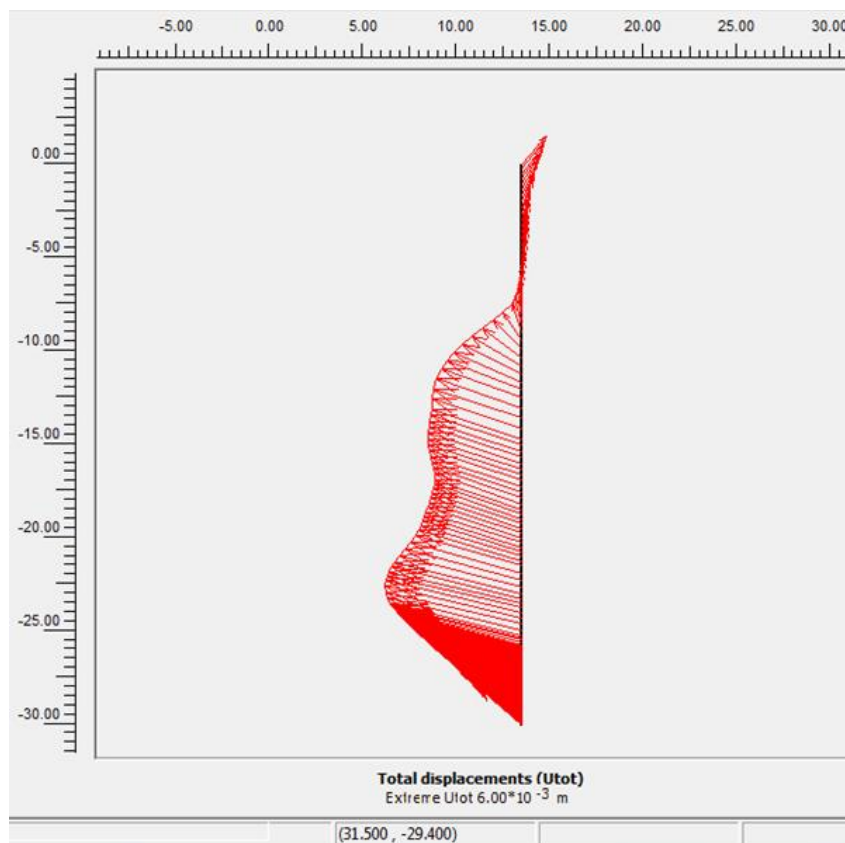
Πολύ ενδιαφέρον είναι να παρατηρήσουμε τις κατακόρυφες και τις οριζόντιες μετακινήσεις με Shadings.



Εικόνα 6.3. Συνολικές κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις για απόσταση πασσάλων 2,5 m με Shadings

Όπως φαίνεται στα πάνω διαγράμματα οι μέγιστες κατακόρυφες μετατοπίσεις εμφανίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής, με την μορφή ανυψώσεων, και οι μέγιστες οριζόντιες μετατοπίσεις εμφανίζονται στην περιοχή των αγκυριών.

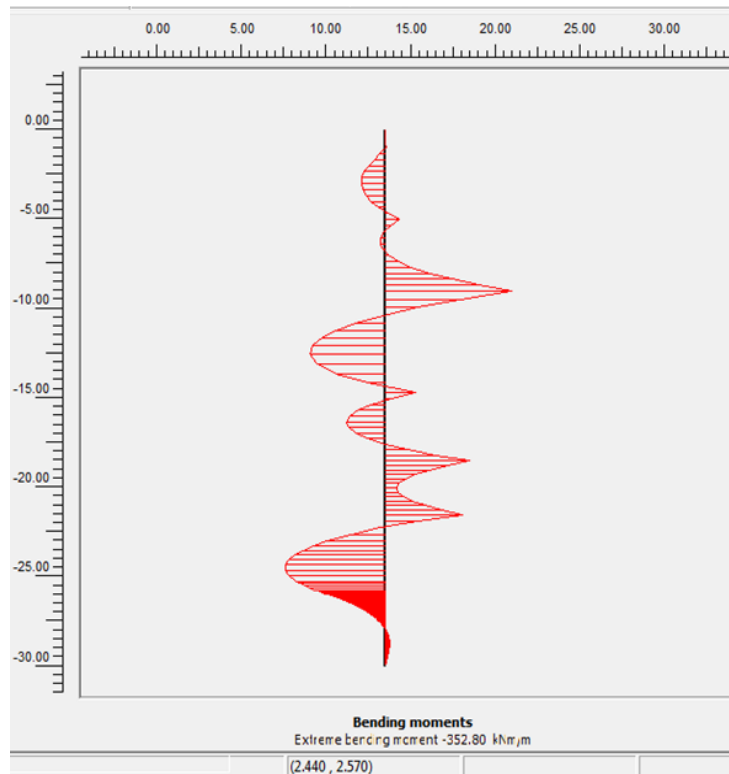
Οι συνολικές μετακινήσεις όσον αφορά τους πασσάλους είναι 6 mm (Εικόνα 6.4). Στην στέψη των πασσάλων οι κατακόρυφες μετακινήσεις είναι 1,23 mm και στην κλείδα 1,48 mm.



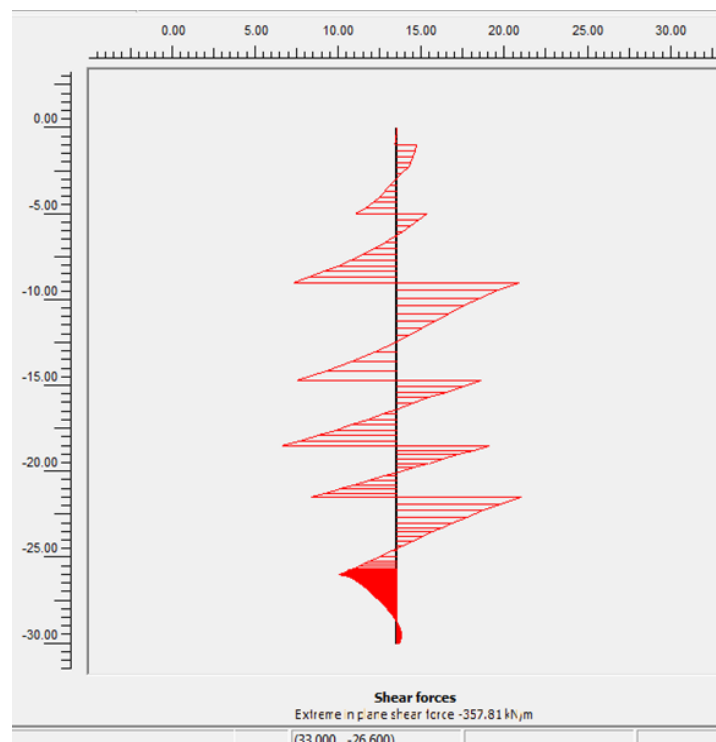
Εικόνα 6. 4. Συνολικές μετακινήσεις διαφραγματικού τοίχου για απόσταση πασσάλων 2,5m

Οι καμπτικές ροπές προκύπτουν ίσες με 352.80 kNm/m (Εικόνα 6.5). Πρέπει να τονιστεί ξανά ότι η τιμή αυτή δίνεται ανά μονάδα μήκους και θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί την απόσταση των πασσάλων. Η τελική απόλυτη τιμή προκύπτει ίση με 882 kN.

Οι μέγιστες διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στον διαφραγματικό τοίχο είναι ίσες με 357,81 kN/m (Εικόνα 6.6). Το αρνητικό πρόσημο της δύναμης, υποδηλώνει την αντίθετη φορά της. Η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται και πάλι με την απόσταση των πασσάλων ώστε να υπολογιστεί η απόλυτη τιμή της. Έτσι η τελική απόλυτη τιμή των διατμητικών δυνάμεων είναι 894,52 kN.



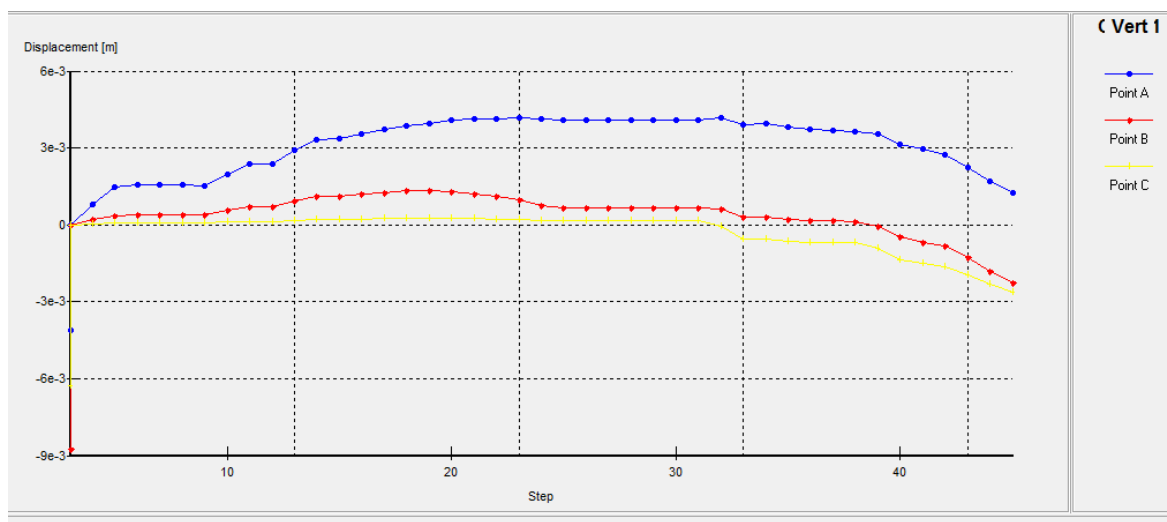
Εικόνα 6.5. Καμπτικές ροπές διαφραγματικού τοίχου για αποστάσεις πασσάλων 2,5m



Εικόνα 6.6. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις του διαφραγματικού τοίχου για αποστάσεις πασσάλων 2,5m

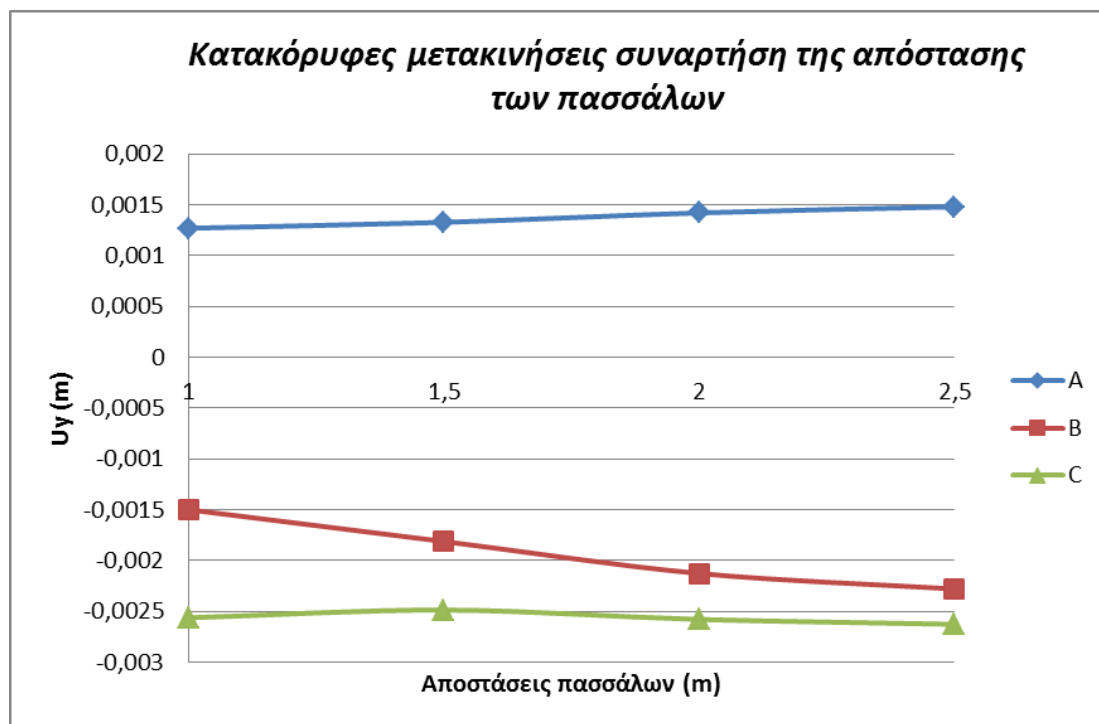
Για να εξεταστούν οι κατακόρυφες μετακινήσεις σε διάφορα σημεία της επιφάνειας του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Curves. Τα σημεία για την μελέτη των

κατακόρυφων μετακινήσεων είναι το A, ακριβώς στην αρχή της εκσκαφής πάνω στον πάσσαλο, το σημείο B, περίπου 13 m μακριά από τον πάσσαλο και το σημείο C, 28 m μακριά από τον πάσσαλο στην επιφάνεια του εδάφους. Όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα παρατηρούνται ελάχιστα μεγαλύτερες μετακινήσεις μακριά από τον πάσσαλο σε σχέση με τα άλλα δύο εξεταζόμενα σημεία (Εικόνα 6.7). Συγκεκριμένα στο σημείο A, παρατηρείται μια ανύψωση του εδάφους της τάξης του 1 mm, καθίζηση παρατηρείται στο σημείο B της τάξης των 2 mm και στο σημείο C της τάξης των 2,5 mm περίπου.



Διάγραμμα 6.1. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το για απόσταση πασσάλων 2,5 m

Το διάγραμμα Curves παράχθηκε και για τις υπόλοιπες παραμετρικές αναλύσεις με σκοπό την παρατήρηση των μετακινήσεων στα σημεία A, B και C στην επιφάνεια του εδάφους στην οποία εδράζει ο I.N. Ευαγγελιστριάς και να εξαχθούν συμπεράσματα για το πώς η αλλαγή της απόσταση των πασσάλων επηρεάζει τις μετακινήσεις αυτές. Από τα αποτελέσματα της καταγραφής των μετακινήσεων και για τα τρία σημεία της κάθε ανάλυσης, κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 6.2. Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B και C σε σχέση με την μεταβολή της απόστασης των πασσάλων

Παρατηρώντας το διάγραμμα, για το σημείο A, συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνεται η απόσταση των πασσάλων παρατηρείται μια ανύψωση του σημείου, δηλαδή κατακόρυφη μετακίνηση προς τα πάνω η οποία μπορεί να οφείλεται στην πίεση που ασκεί η αντηρίδα πάνω στον τοίχο και συνεπώς και στο εδαφικό υλικό, η οποία αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης των πασσάλων.

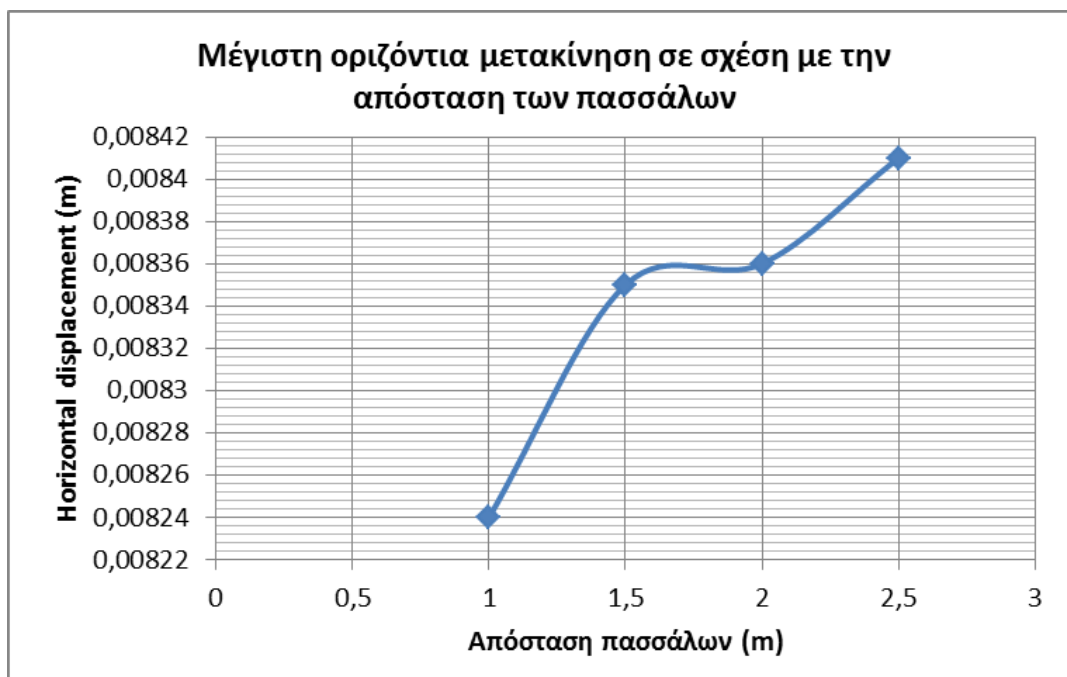
Για το σημείο B, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η απόσταση των πασσάλων τόσο μεγαλύτερη είναι καθίζηση του εδαφικού υλικού στο σημείο αυτό. Ενώ για το σημείο C, για απόσταση πασσάλων από 1,5 m έως 2,5 m, παρατηρείται επίσης μια σταδιακή καθίζηση στο σημείο αυτό.

Αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν και για τις τέσσερις περιπτώσεις των παραμετρικών αναλύσεων. Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των υπολογισμών της πρώτης σειράς παραμετρικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τεσσάρων παραμετρικών αναλύσεων 1^{ης} σειράς υπολογισμών

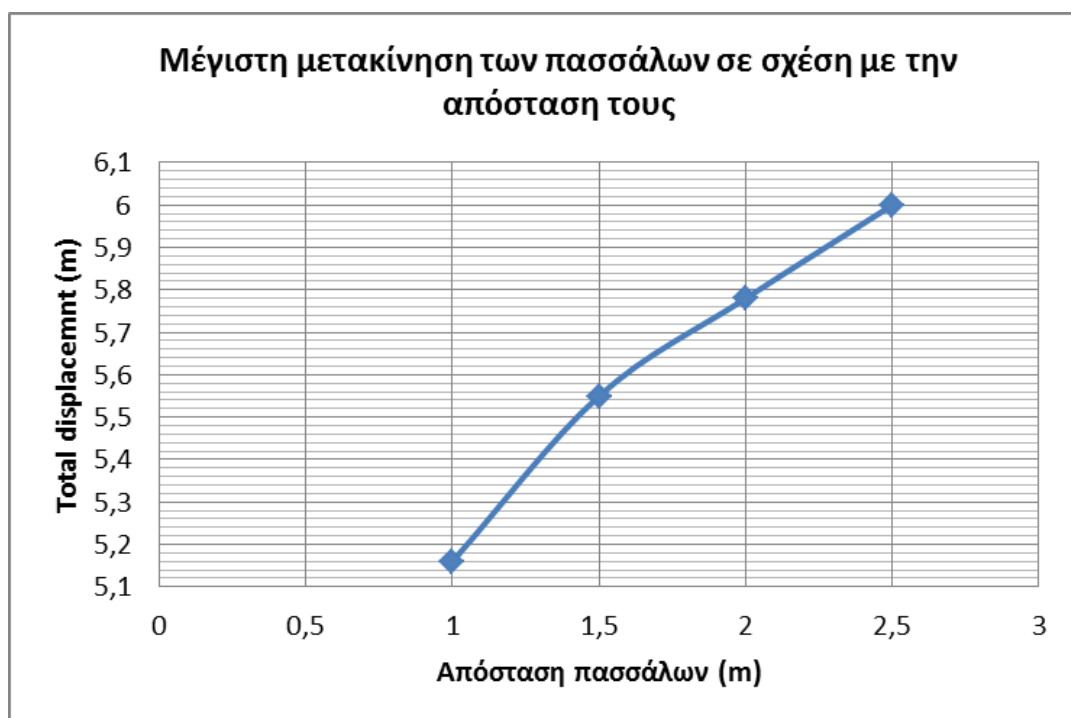
Ανάλυση	1^A (2,5 m)	1^B (2 m)	1^Γ (1,5 m)	1^Δ (1 m)
Total displacement (m)	17,46 * 10 ⁻³	17,46 * 10 ⁻³	17,46 * 10 ⁻³	17,45 * 10 ⁻³
Vertical displacement (m)	17,46 * 10 ⁻³	17,46 * 10 ⁻³	17,46 * 10 ⁻³	17,45 * 10 ⁻³
Horizontal displacement (m)	8,41 * 10 ⁻³	8,36 * 10 ⁻³	8,35 * 10 ⁻³	8,24 * 10 ⁻³
Total displacement για τον διαφραγματικό τοίχο (m)	6,00 * 10 ⁻³	5,78 * 10 ⁻³	5,55 * 10 ⁻³	5,16 * 10 ⁻³
Bending moments (kNm)	882	712	571,47	418,17
Shear force (kN)	894,53	733,84	568,8	395,45
Axial force (kN)	1370,2	1103,04	833,84	559,79

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, παρατηρώντας τα συνολικά αποτελέσματα και των τεσσάρων αναλύσεων προκύπτουν κάποια συμπεράσματα. Αρχικά οι συνολικές μετακινήσεις, οι οποίες ταυτίζονται με τις κατακόρυφες μετακινήσεις δεν μεταβάλλονται σημαντικά, είναι της τάξης του 1,7 cm. Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί εμφανίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής και η αλλαγή της απόστασης μεταξύ των πασσάλων να μην έχει μεγάλη επίδραση σε αυτές. Τα μέτρα υποστήριξης και η αλλαγή τους έχει επιφέρει επιδράσεις κυρίως στις κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις στην επιφάνεια του εδάφους και στην επιφάνεια της εκσκαφής, στον διαφραγματικό τοίχο. Παρατηρώντας τις συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις, με την μείωση της απόστασης των πασσάλων μειώνονται και αυτές (Διάγραμμα 6.3). Για απόσταση 2,5 m οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις είναι 8,41mm και για απόσταση 1 m οι μετακινήσεις περιορίζονται στα 8,2mm.



Διάγραμμα 6.3. Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Το ίδιο ισχύει και για τις μέγιστες μετακινήσεις των πασσάλων, είναι φανερό ότι όσο μικραίνει η απόσταση μεταξύ των πασσάλων τόσο μειώνονται και αυτές (Διάγραμμα 6.4). Συγκεκριμένα για απόσταση 2,5 m οι μέγιστες μετακινήσεις τους είναι 6 mm και για απόσταση 1 m οι μετακινήσεις των πασσάλων περιορίζονται στα 5,16 mm. Η μείωση της μετακινήσεις για τους πασσάλους είναι περίπου στο 14 %.



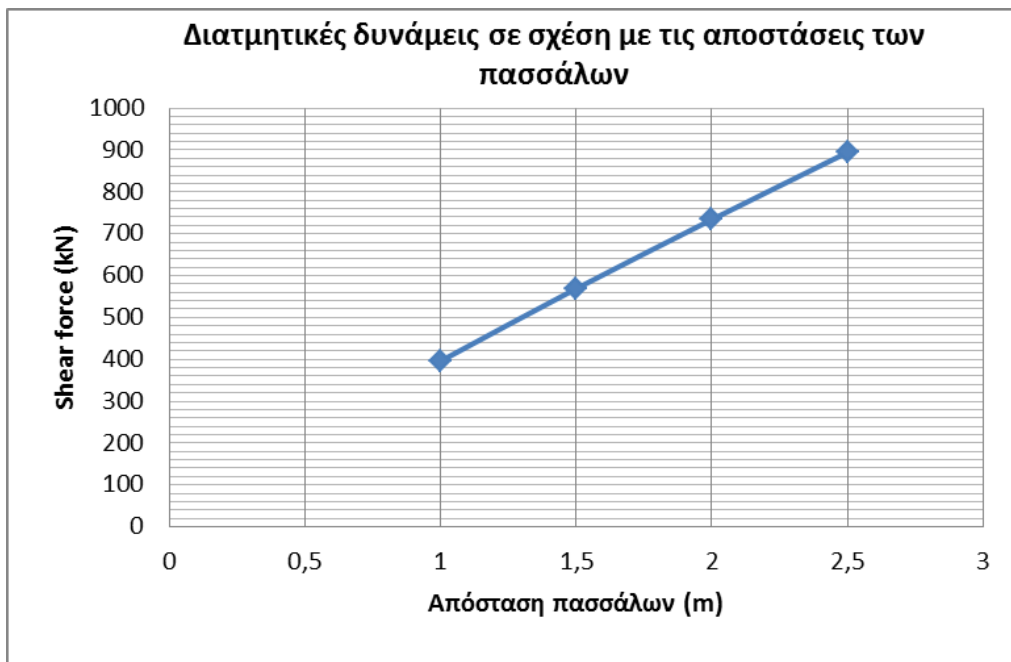
Διάγραμμα 6.4. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Αν παρατηρήσουμε τις απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών, οι ροπές μειώνονται όσο μειώνεται η απόσταση των πασσάλων (Διάγραμμα 6.5). Η μείωση των καμπτικών ροπών είναι της τάξης του 53 %.

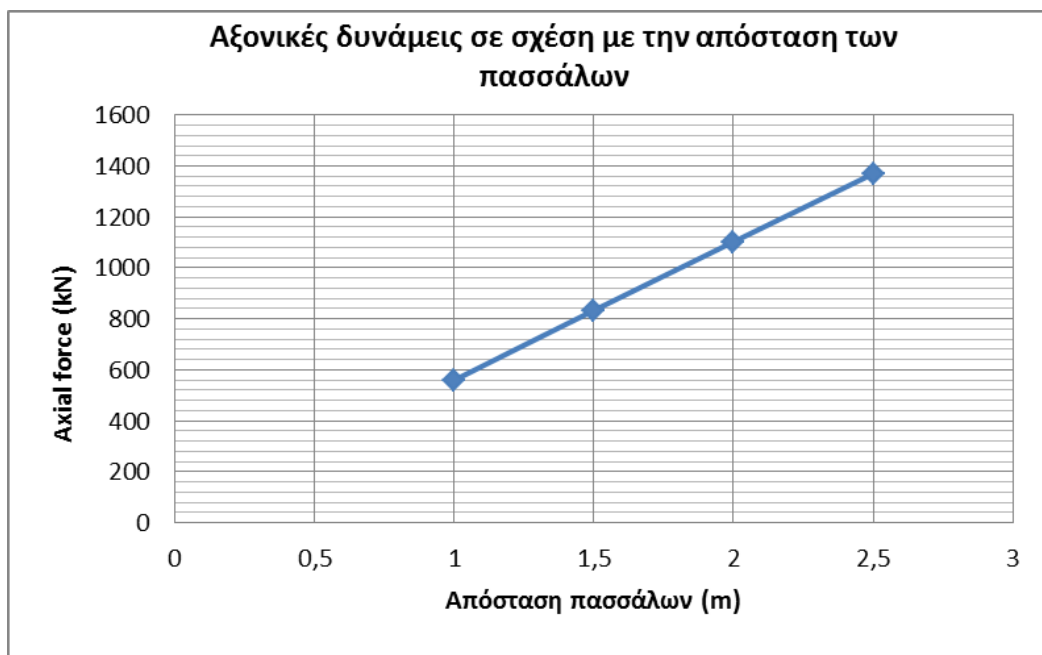


Διάγραμμα 6.5. Απόλυτες τιμές καμπτικών ροπών σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Το ίδιο ισχύει και για τις αξονικές και διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται στους πασσάλους, μειώνονται όσο μειώνεται η απόσταση των πασσάλων (Διάγραμμα 6.6, 6.7). Η μείωση για τις διατμητικές δυνάμεις είναι της τάξης του 56% και για τις αξονικές δυνάμεις της τάξης του 59 %. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι καμπτικές ροπές, οι αξονικές και διατμητικές δυνάμεις είναι σημαντικοί παράμετροι για την διαστασιολόγηση και τον σχεδιασμό των πασσάλων.



Διάγραμμα 6. 6. Απόλυτες τιμές μέγιστων διατμητικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.



Διάγραμμα 6.7. Απόλυτες τιμές μέγιστων αξονικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Όσον αφορά τον δείκτη ασφαλείας είναι αρκετά υψηλός, της τάξης του $FS = 2,13$, τιμή μεγαλύτερη από $FS_{\text{minimum}} = 1,7$.

6.3 2^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Στην δεύτερη παραμετρική ανάλυση μεταβάλλεται η δύναμη προέντασης F_p , των αγκυριών. Η αλλαγή αυτής της παραμέτρου πραγματοποιείται στο προσομοίωμα πριν από την έναρξη των υπολογισμών, κατά την διάρκεια προσδιορισμού των φάσεων. Οι προεντάσεις που εφαρμόστηκαν ήταν ίδιες και για τις δύο σειρές αγκυριών σε κάθε ανάλυση και παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

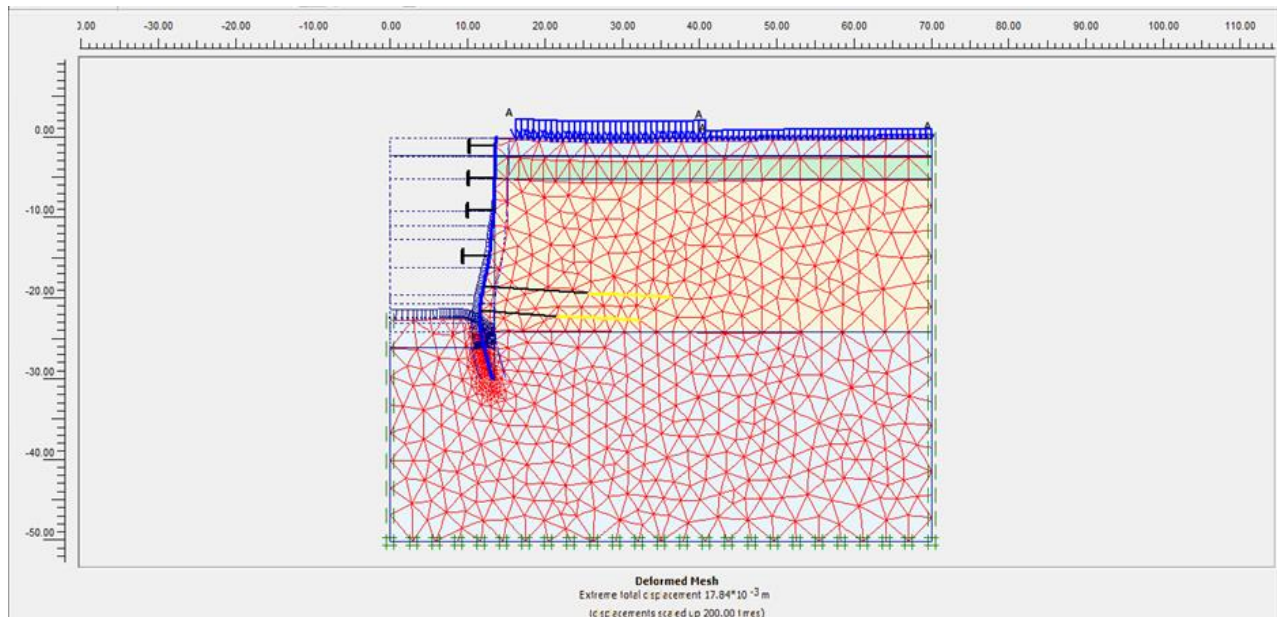
Πίνακας 6.3. Τιμές δύναμης προέντασης για την 2^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Ανάλυση	Δύναμη προέντασης F_p (kN)
2 ^A	600
2 ^B	400
2 ^F	200

Μετά την εισαγωγή των νέων δεδομένων στο πρόγραμμα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις του προσομοιώματος και για τις τρεις περιπτώσεις, ενώ για κάθε ανάλυση έγινε εξαγωγή των δεδομένων output και διαγράμματα στην επιλογή Curves. Στο τέλος της κάθε παραμετρικής ανάλυσης μελετήθηκαν τα αποτελέσματα των συνολικών μετακινήσεων, των συνολικών κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων, των παραμορφώσεων των πασσάλων, των καμπτικών ροπών που αναπτύσσονται στους πασσάλους, των μέγιστων διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους και των κατακόρυφων μετατοπίσεων σε συγκεκριμένα σημεία πάνω στην επιφάνεια της εκσκαφής.

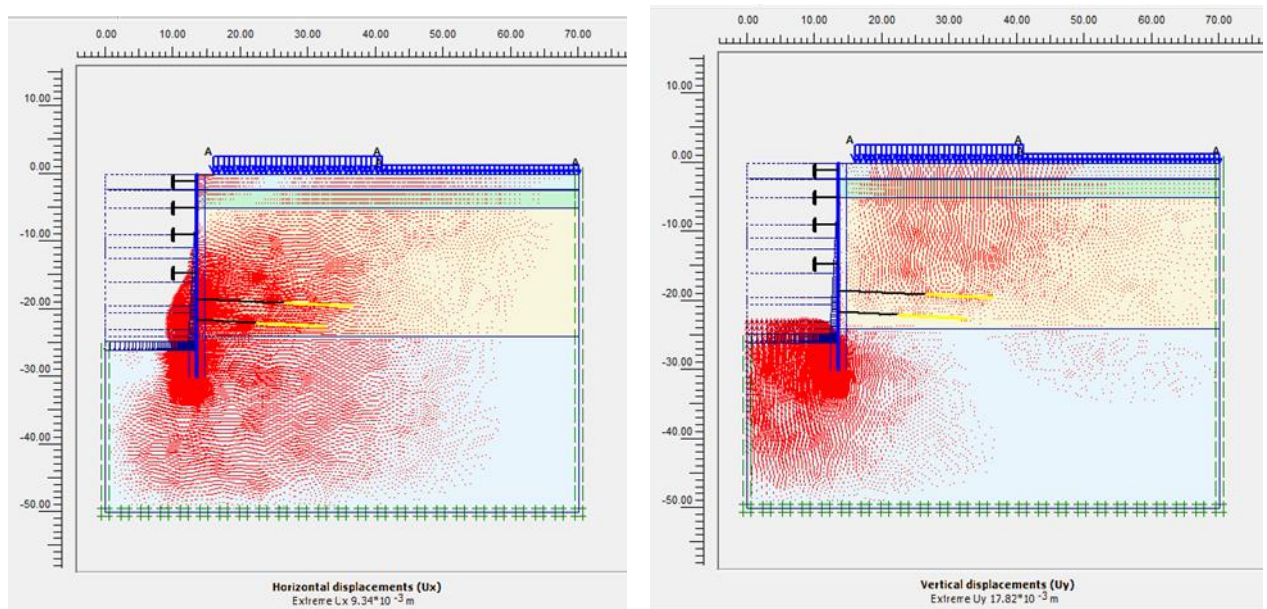
Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της 2^F ανάλυσης, δηλαδή για δύναμη προέντασης ίση με 200 kN, η οποία θεωρείται ως δυσμενέστερη με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις. Στο Παράρτημα 2 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα και των τριών αναλύσεων.

Το προσομοίωμα της εκσκαφής μετά την εκτέλεση των υπολογισμών παρουσιάζεται παρακάτω.

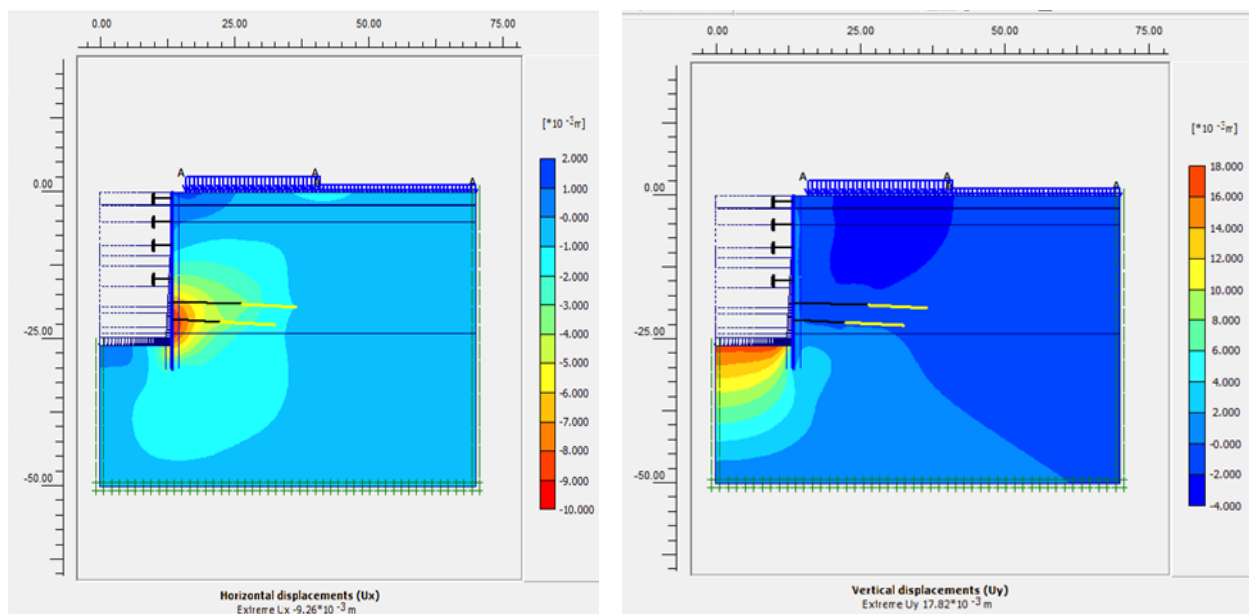


Εικόνα 6. 7. Συνολικές μετακινήσεις για ανάλυση με δύναμη προέντασης $F_p=200 \text{ kN}$

Οι μέγιστες μετακινήσεις σύμφωνα με το πρόγραμμα φτάνουν περίπου στο 1,78cm. Οι μέγιστες κατακόρυφες μετατοπίσεις είναι και οι μέγιστες μετατοπίσεις και είναι ίσες με 1,78cm (Εικόνα 6.8). Οι μέγιστες οριζόντιες μετατοπίσεις είναι της τάξης των 9,26mm.



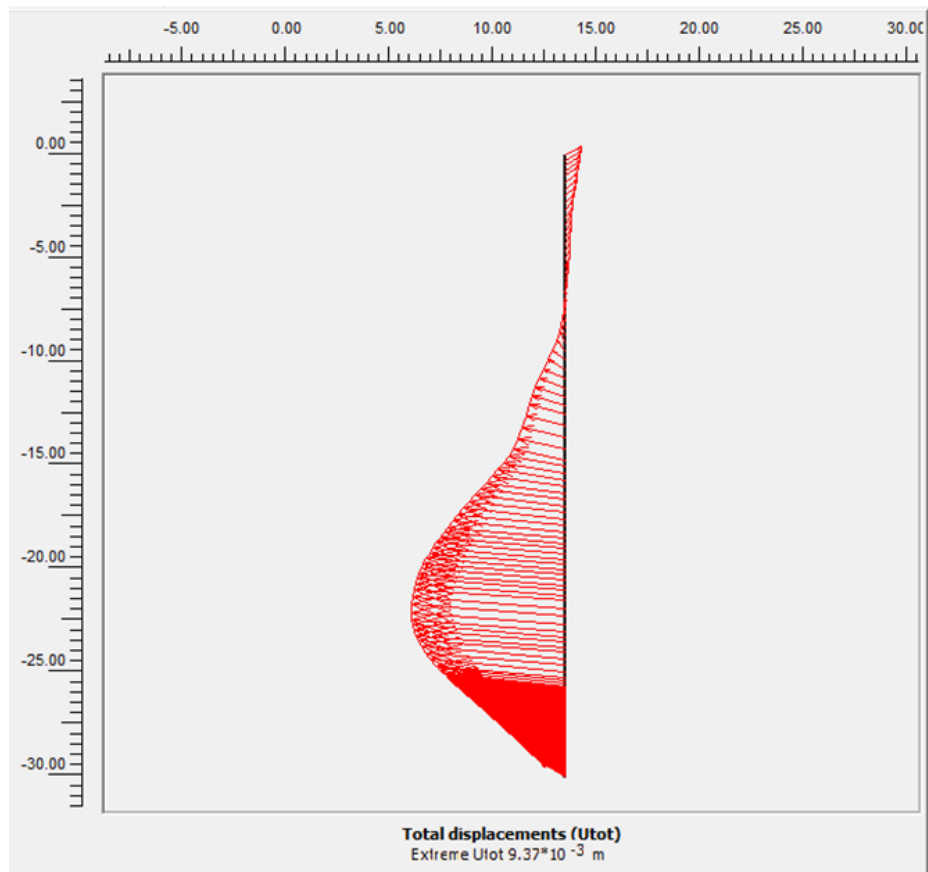
Εικόνα 6. 8. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις για δύναμη προέντασης $F_p=200 \text{ kN}$



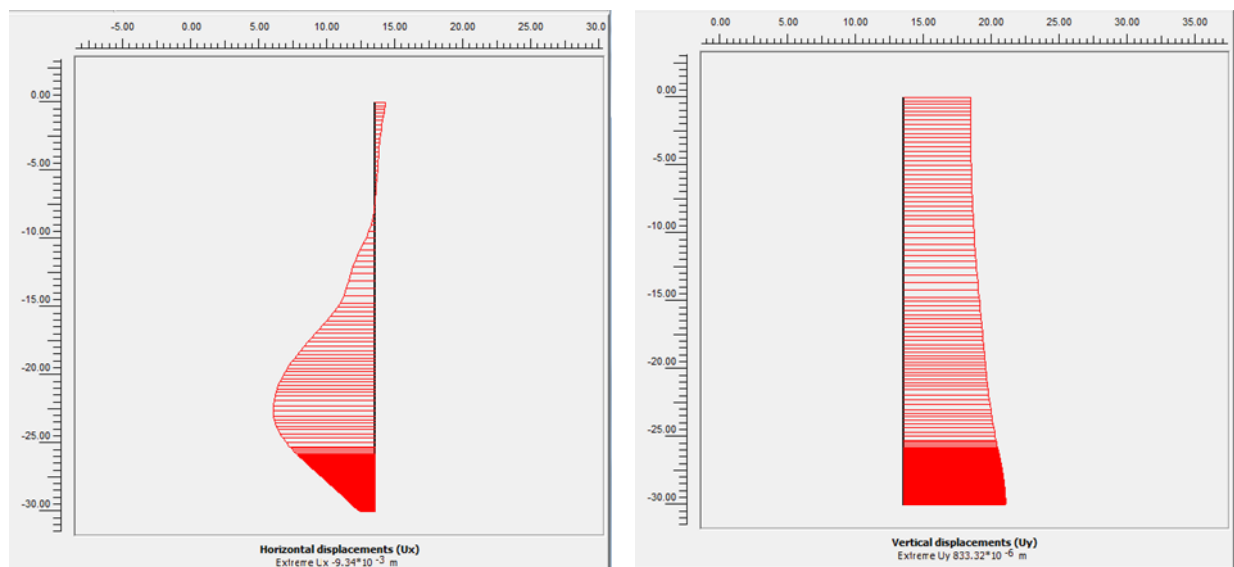
Εικόνα 6.9. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις για δύναμη προέντασης 200 Kn με Shadings

Όπως φαίνεται στα πάνω διαγράμματα οι μέγιστες κατακόρυφες μετατοπίσεις εμφανίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής, με την μορφή ανύψωσης, και οι μέγιστες οριζόντιες μετατοπίσεις εμφανίζονται στην περιοχή των αγκυριών. Αυτό που είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί επίσης είναι ότι τα αγκύρια με μικρότερη δύναμη προέντασης σε σύγκριση με την παραμετρική ανάλυση όπου εφαρμόζεται $F_p=600$ kN, προκαλούν μικρότερες οριζόντιες μετατοπίσεις στην επιφάνεια του εδάφους.

Οι συνολικές μετακινήσεις όσον αφορά τους πασσάλους είναι 9,37mm (Εικόνα 6.10). Οι κατακόρυφες μετακινήσεις στην στέψη και στην κλείδα είναι μηδαμινές, και οι οριζόντιες μετακινήσεις στην στέψη είναι της τάξης του 1 mm, ενώ στην κλείδα των πασσάλων 1,44 mm.

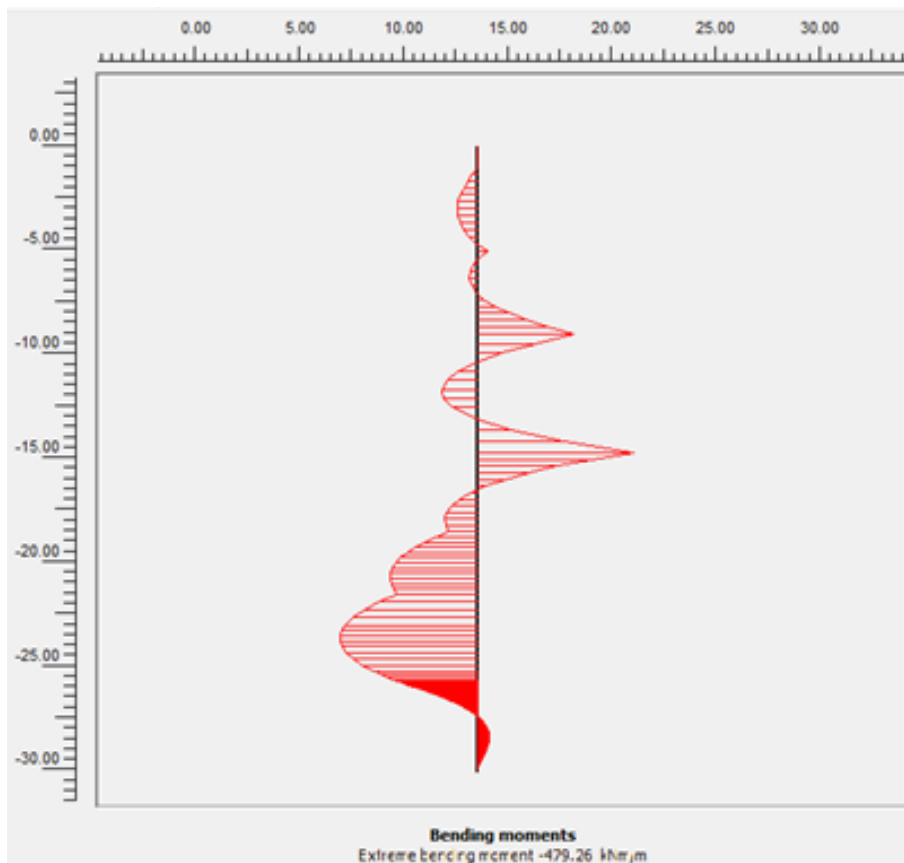


Εικόνα 6.10. Μέγιστες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου για $F_p=200$ kN



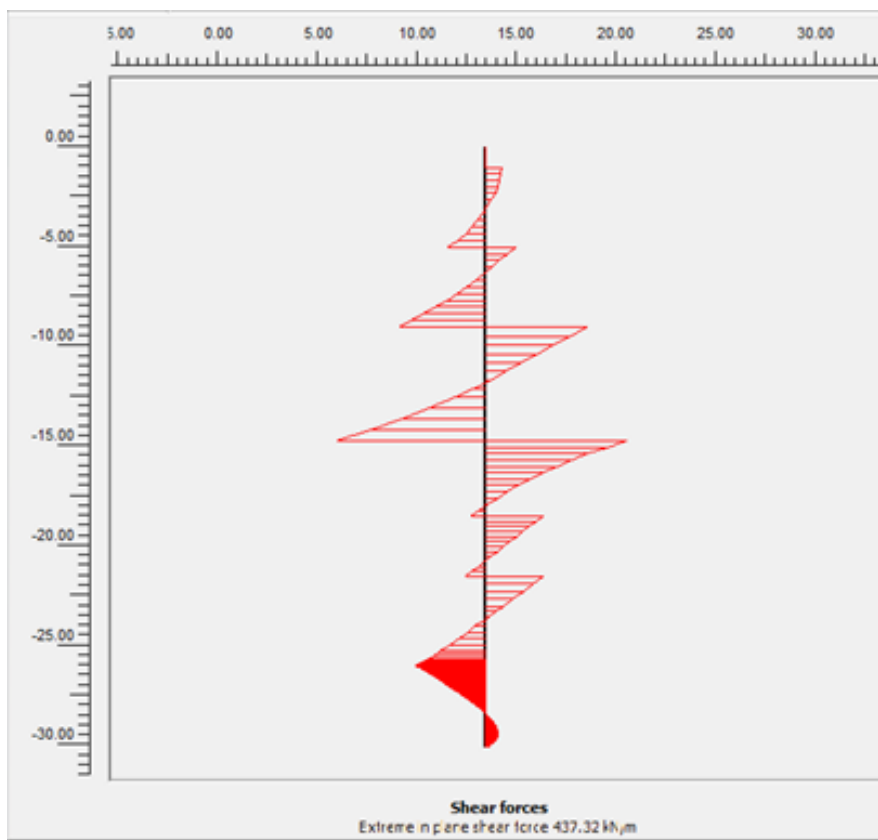
Εικόνα 6.11. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις του διαφραγματικού τοίχου για $F_p=200$ kN

Οι καμπτικές ροπές προκύπτουν ίσες με $479,26 \text{ kNm/m}$ (Εικόνα 6.12). Πρέπει να τονιστεί ξανά ότι η τιμή αυτή δίνεται ανά μονάδα μήκους και θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί την απόσταση των πασσάλων ($1,5 \text{ m}$). Η τελική απόλυτη τιμή προκύπτει ίση με $718,9 \text{ kN}$.



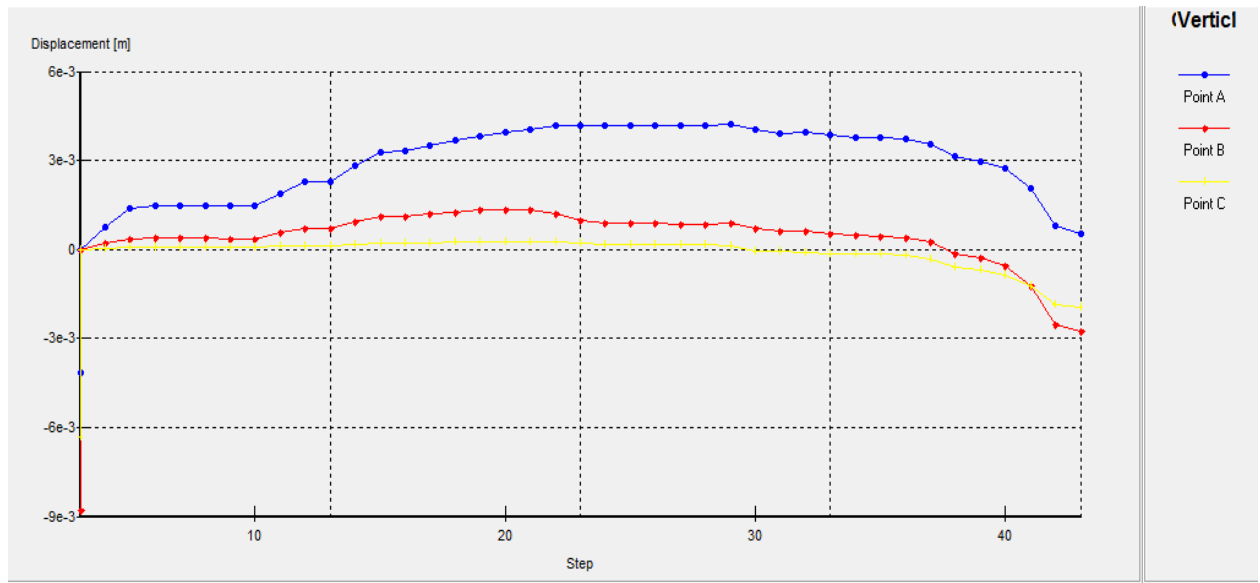
Εικόνα 6. 12. Καμπτικές ροπές διαφραγματικού τοίχου για $Fp=200 \text{ kN}$

Οι μέγιστες διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στον διαφραγματικό τοίχο είναι ίσες με 437.32 kN/m (Εικόνα 6.13). Η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται και πάλι με την απόσταση των πασσάλων ώστε να υπολογιστεί η απόλυτη τιμή της ($1,5 \text{ m}$). Έτσι η τελική απόλυτη τιμή των διατμητικών δυνάμεων είναι $655,98 \text{ kN}$.



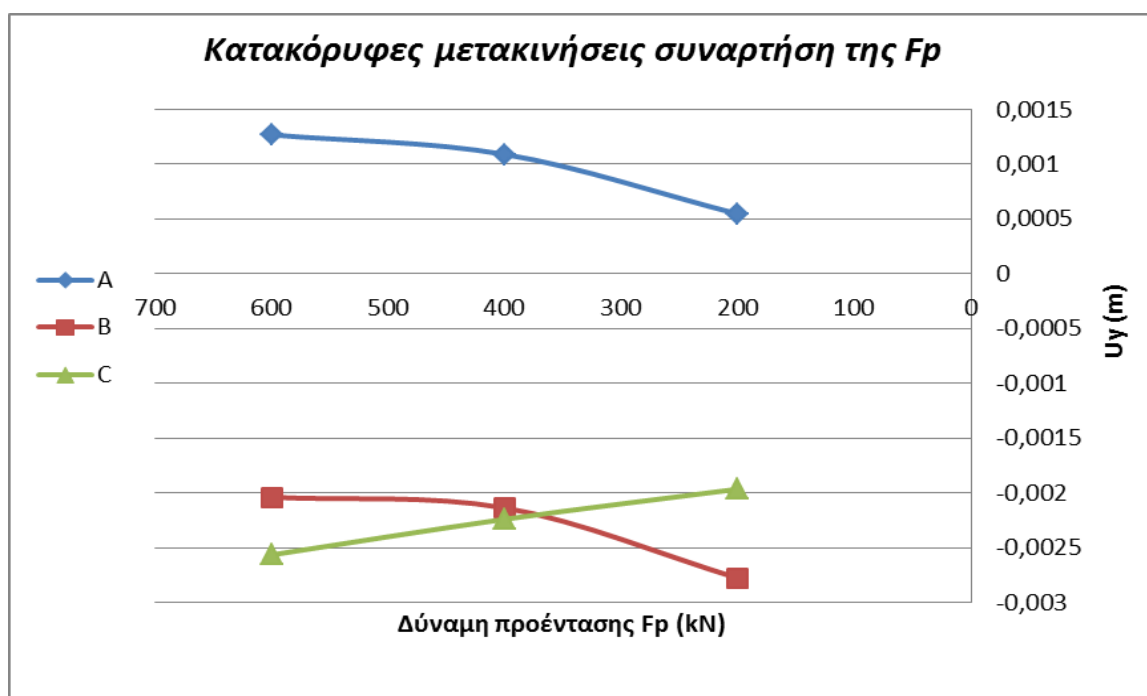
Εικόνα 6.13. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις του διαφραγματικού τοίχου για $F_p=200$ kN

Για να παρατηρηθούν και να μελετηθούν οι κατακόρυφες μετακινήσεις σε διάφορα σημεία της επιφάνειας του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Curves (Διάγραμμα 6.8). Τα σημεία τα οποία χρησιμοποιούνται είναι ίδια με την 1^η παραμετρική ανάλυση. Όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα παρατηρούνται ελάχιστα μεγαλύτερες μετακινήσεις στο σημείο Β. Συγκεκριμένα στο σημείο Α, παρατηρείται μια ανύψωση του εδάφους της τάξης του 0,55 mm, καθίζηση παρατηρείται στο σημείο Β της τάξης των 2,8 mm και στο σημείο C της τάξης των 1,9mm περίπου.



Διάγραμμα 6. 8. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της δύναμης προέντασης ($F_p=200 \text{ kN}$)

Το διάγραμμα Curves παράχθηκε και για τις υπόλοιπες τρεις παραμετρικές αναλύσεις με σκοπό την παρατήρηση των μετακινήσεων στα σημεία A, B και C στην επιφάνεια του εδάφους στην οποία εδράζει ο I.N. Ευαγγελιστριάς και να εξαχθούν συμπεράσματα για το πώς η αλλαγή της δύναμης προέντασης των αγκυριών επηρεάζει τις μετακινήσεις αυτές. Από τα αποτελέσματα της καταγραφής των μετακινήσεων και για τα τρία σημεία της κάθε ανάλυσης, κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 6. 9. Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B και C σε συνάρτηση με την μεταβολή της F_p

Παρατηρώντας το διάγραμμα, για το σημείο A, συμπεραίνεται ότι όσο μειώνεται η δύναμη προέντασης παρατηρείται καθίζηση στο σημείο αυτό, η οφείλεται στο γεγονός ότι όσο μικρότερη είναι η F_p , τόσο μικρότερη είναι η περίσφιξη των εδαφικών σχηματισμών. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στο σημείο B.

Στο σημείο C το οποίο είναι το πιο μακρινό στην επιφάνεια του εδάφους παρατηρείται ότι για $F_p=600$ kN εμφανίζεται αρχικά μια καθίζηση της τάξης 2,5 mm περίπου και όσο μειώνεται η δύναμη προέντασης μειώνεται, συγκεκριμένα για $F_p = 400$ kN, εμφανίζεται καθίζηση περίπου 2,2mm και για $F_p=200$ kN, η καθίζηση είναι 2 mm. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα αγκύρια λόγω του μήκους τους (23 m) και όσο αυξάνεται η δύναμη προέντασης μπορεί να επηρεάζουν και να προκαλούν ελάχιστες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους, οι οποίες ωστόσο είναι τόσο μικρές που δεν λαμβάνονται υπόψη.

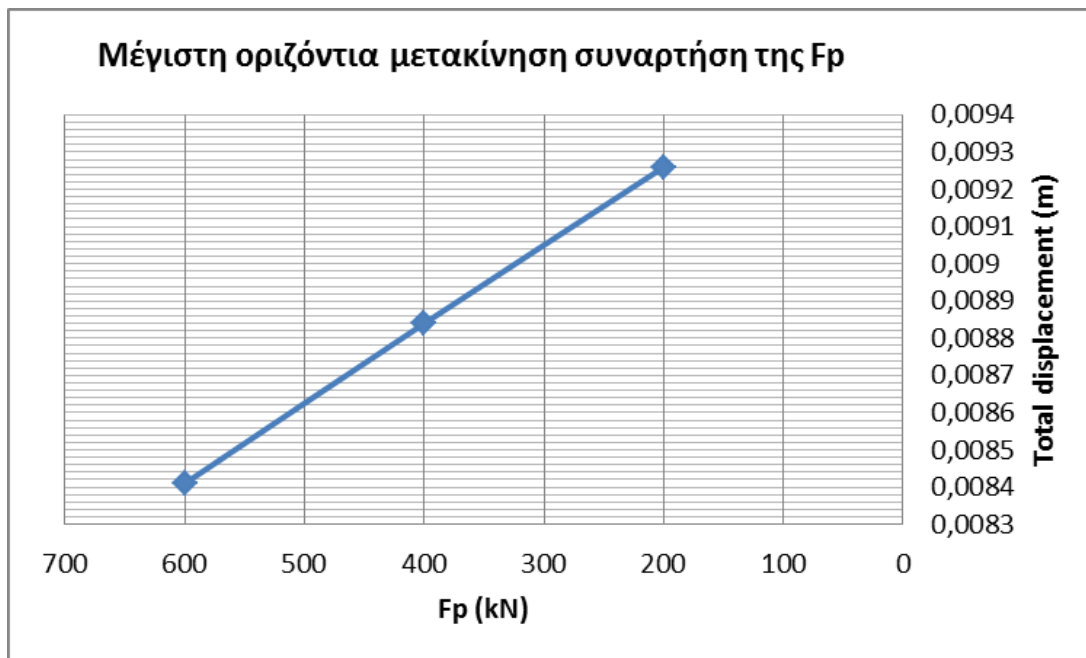
Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των υπολογισμών της πρώτης σειράς παραμετρικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τεσσάρων παραμετρικών αναλύσεων 2^{ης} σειράς αναλύσεων

Ανάλυση	1^A (600 kN)	1^B (400 kN)	1^C (200 kN)
Total displacement (m)	17,46 * 10 ⁻³	17,65 * 10 ⁻³	17,84 * 10 ⁻³
Vertical displacement (m)	17,46 * 10 ⁻³	17,64 * 10 ⁻³	17,82 * 10 ⁻³
Horizontal displacement (m)	8,35 * 10 ⁻³	8,84 * 10 ⁻³	9,26 * 10 ⁻³
Total displacement για τον διαφραγματικό τοίχο (m)	5,55 * 10 ⁻³	6,93 * 10 ⁻³	9,37 * 10 ⁻³
Bending moments (kNm)	571,5	644,7	718,9
Shear force (kN)	568,8	612,4	655,98
Axial force (kN)	833,8	925,2	1016,5

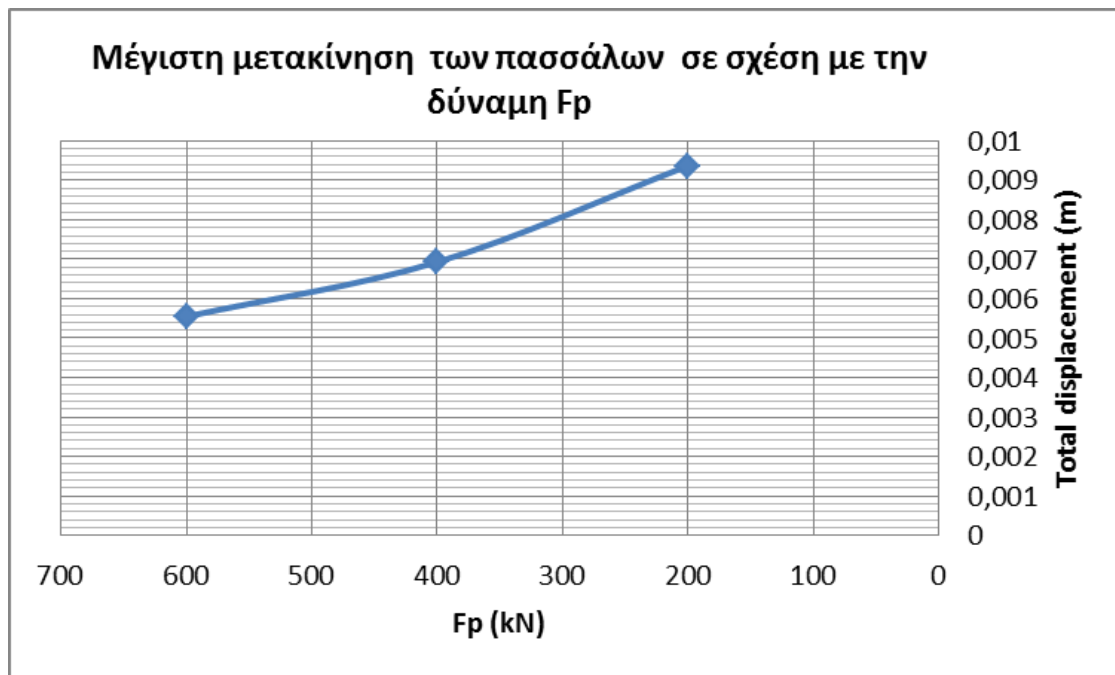
Με βάση τον παραπάνω πίνακα, παρατηρώντας τα συνολικά αποτελέσματα και των τριών αναλύσεων προκύπτουν κάποια συμπεράσματα. Αρχικά οι συνολικές μετακινήσεις, οι οποίες ταυτίζονται με τις κατακόρυφες μετακινήσεις δεν μεταβάλλονται σημαντικά, είναι της τάξης του 1,7 cm έως 1,78 cm στην τελευταία περίπτωση με $F_p=200$ kN. Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί εμφανίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής και η αλλαγή της δύναμης προέντασης να μην έχει μεγάλη επίδραση, αφού οι μεταβολές είναι

πολύ μικρές. Παρατηρώντας τις συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις, με την αύξηση της δύναμης προέντασης, αυτές μειώνονται. Για $F_p=200$ kN οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις είναι 9,26 mm και για $F_p=600$ kN οι μετακινήσεις περιορίζονται στα 8,41mm (Διάγραμμα 6.10).



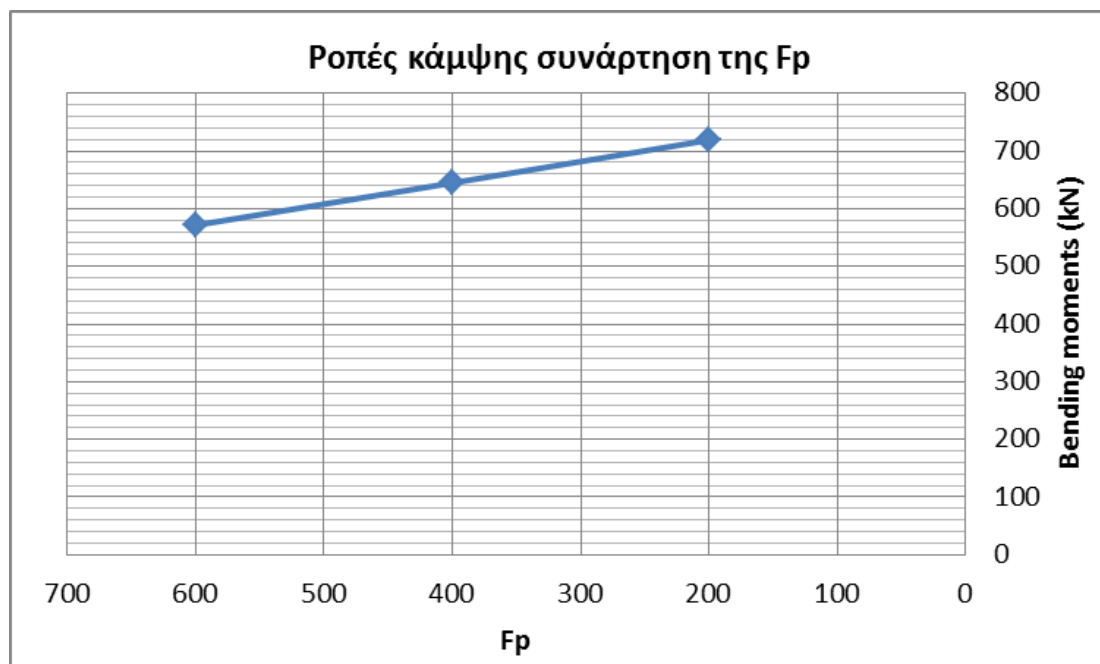
Διάγραμμα 6.10. Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Το ίδιο ισχύει και για τις μέγιστες μετακινήσεις των πασσάλων, είναι φανερό ότι όσο αυξάνεται η δύναμη προέντασης τόσο μειώνονται οι συνολικές μετακινήσεις τους (Διάγραμμα 6.11). Συγκεκριμένα για δύναμη προέντασης $F_p=200$ kN οι μέγιστες μετακινήσεις τους είναι 9,37 mm και για $F_p=600$ kN οι μετακινήσεις των πασσάλων περιορίζονται στα 5,55 mm. Η μείωση της μετακινήσεις για τους πασσάλους είναι περίπου στο 41 %.



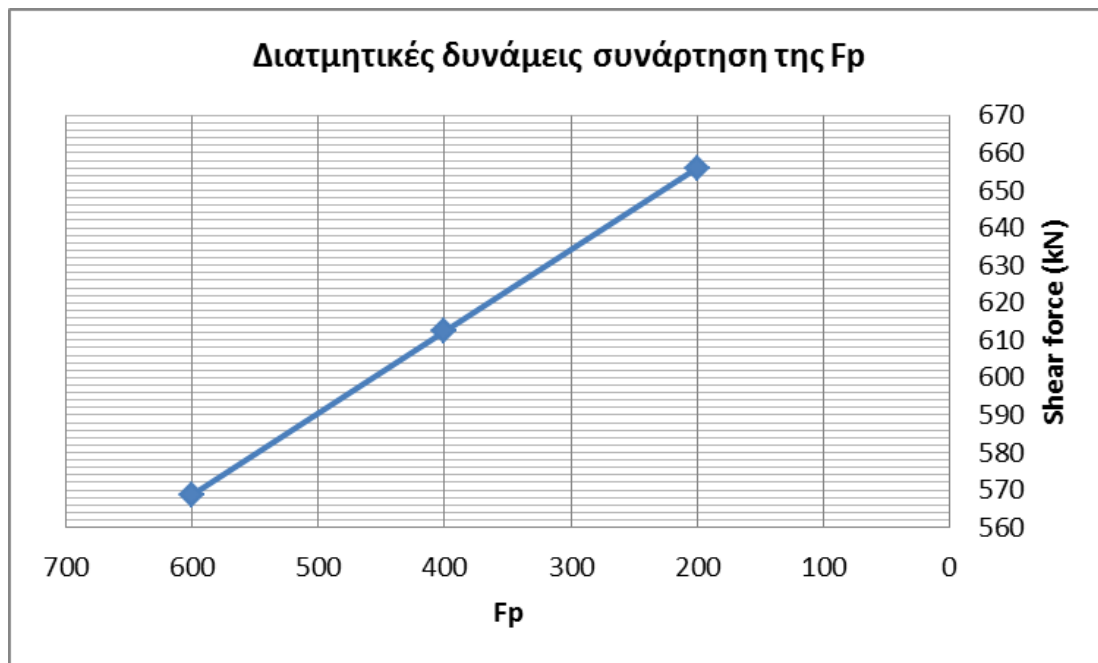
Διάγραμμα 6.11. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλων σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Αν παρατηρήσουμε τις απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών, οι ροπές μειώνονται όσο αυξάνεται η δύναμη προέντασης (Διάγραμμα 6.12). Η μείωση των καμπτικών ροπών είναι της τάξης του 20%.

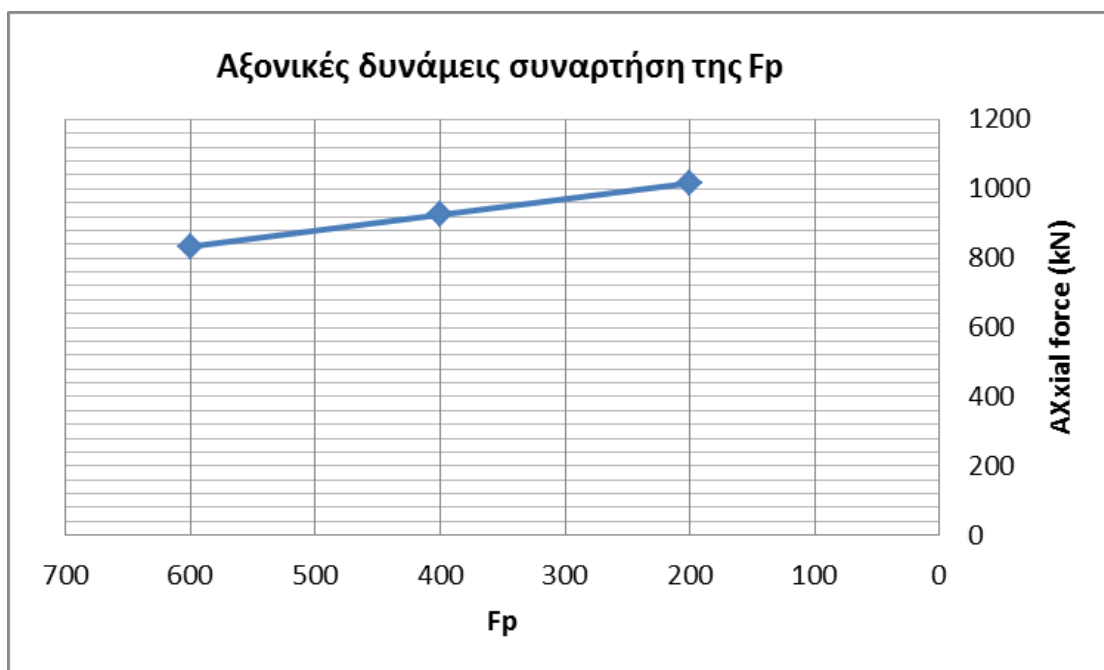


Διάγραμμα 6.12. Απόλυτες τιμές καμπτικών ροπών σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Το ίδιο ισχύει και για τις αξονικές και διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται στους πασσάλους, μειώνονται όσο αυξάνεται η δύναμη προένταση των αγκυρίων (Διάγραμμα 6.13,6.14). Η μείωση για τις διατμητικές δυνάμεις είναι της τάξης του 13% και για τις αξονικές δυνάμεις της τάξης του 18 %.



Διάγραμμα 6.13. Απόλυτες τιμές διατμητικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.



Διάγραμμα 6.14. Απόλυτες τιμές αξονικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την δύναμη προέντασης 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

6.4 3^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Στην η σειρά παραμετρικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκαν τέσσερις αναλύσεις στις οποίες αλλάζει το μήκος έμπηξης του διαφραγματικού τοίχου. Η αλλαγή αυτή πραγματοποιείται πριν την έναρξη των υπολογισμών, κατά την σχεδίαση του προσομοιώματος στο βασικό παράθυρο γεωμετρίας. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

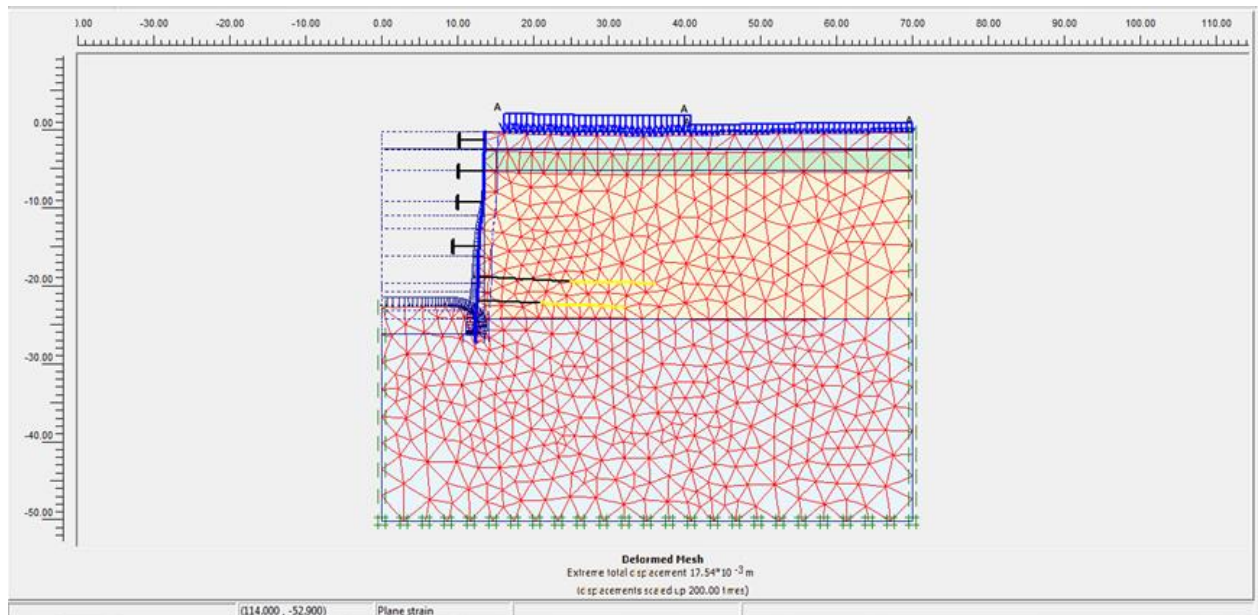
Πίνακας 6 . 5. Τιμές μήκους έμπηξης για την 3^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Ανάλυση	Μήκος έμπηξης πασσάλων (m)
3 ^A	+4.00
3 ^B	+3.00
3 ^C	+2.00
3 ^D	+1.00

Μετά την εισαγωγή των νέων δεδομένων στο πρόγραμμα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις του προσομοιώματος και για τις τέσσερις περιπτώσεις ενώ για την κάθε ανάλυση έγινε εξαγωγή των δεδομένων output και διαγράμματα στην επιλογή Curves. Στο τέλος της κάθε παραμετρικής ανάλυσης μελετήθηκαν τα αποτελέσματα των συνολικών μετακινήσεων, των συνολικών κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων, των παραμορφώσεων των πασσάλων και των κατακόρυφων μετατοπίσεων σε συγκεκριμένα σημεία πάνω στην επιφάνεια της εκσκαφής.

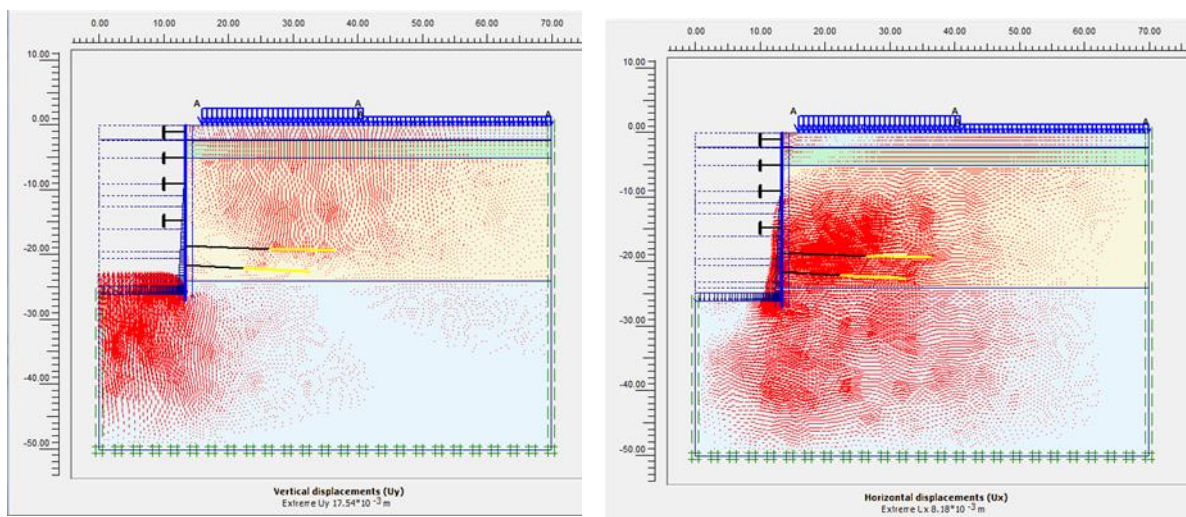
Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της 3^A ανάλυσης, δηλαδή για μήκος έμπηξης +1.00 m (-27.00 m βάθος), η οποία θεωρείται ως δυσμενέστερη με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις. Στο Παράρτημα 3 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα και των τεσσάρων αναλύσεων.

Το προσομοίωμα της εκσκαφής μετά την εκτέλεση των υπολογισμών παρουσιάζεται παρακάτω.

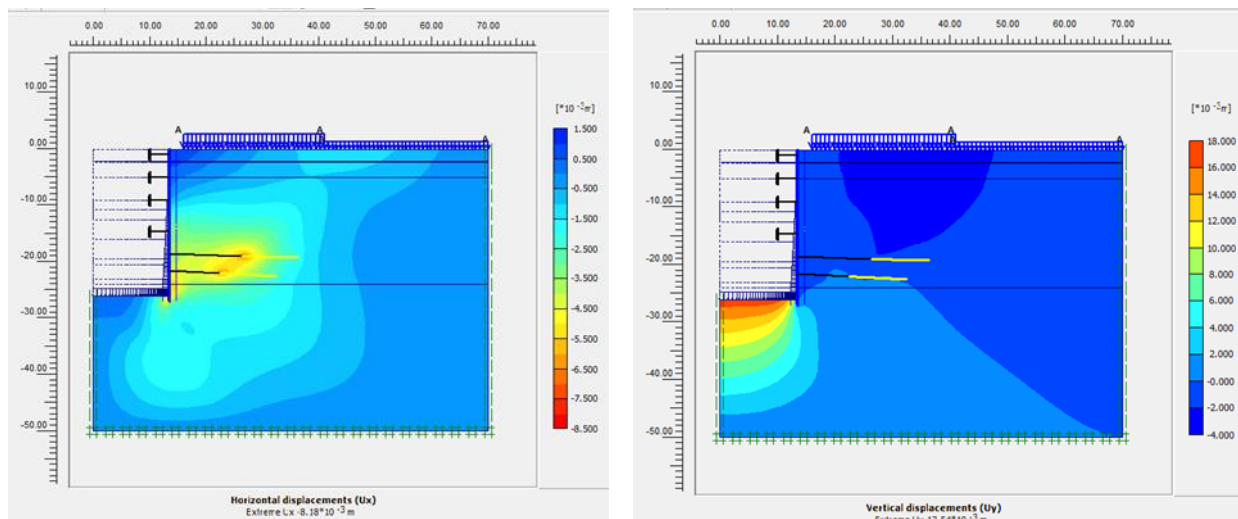


Εικόνα 6.14. Συνολικές μετακινήσεις για +1.00 m μήκος έμπηξης πασσάλων

Οι μέγιστες μετακινήσεις σύμφωνα με το πρόγραμμα φτάνουν περίπου στο 1,75 cm. Οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις ταυτίζονται με τις μέγιστες μετακινήσεις και είναι ίσες με 1,75 cm. Οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις είναι της τάξης των 8,18 mm (Εικόνα 6.15).



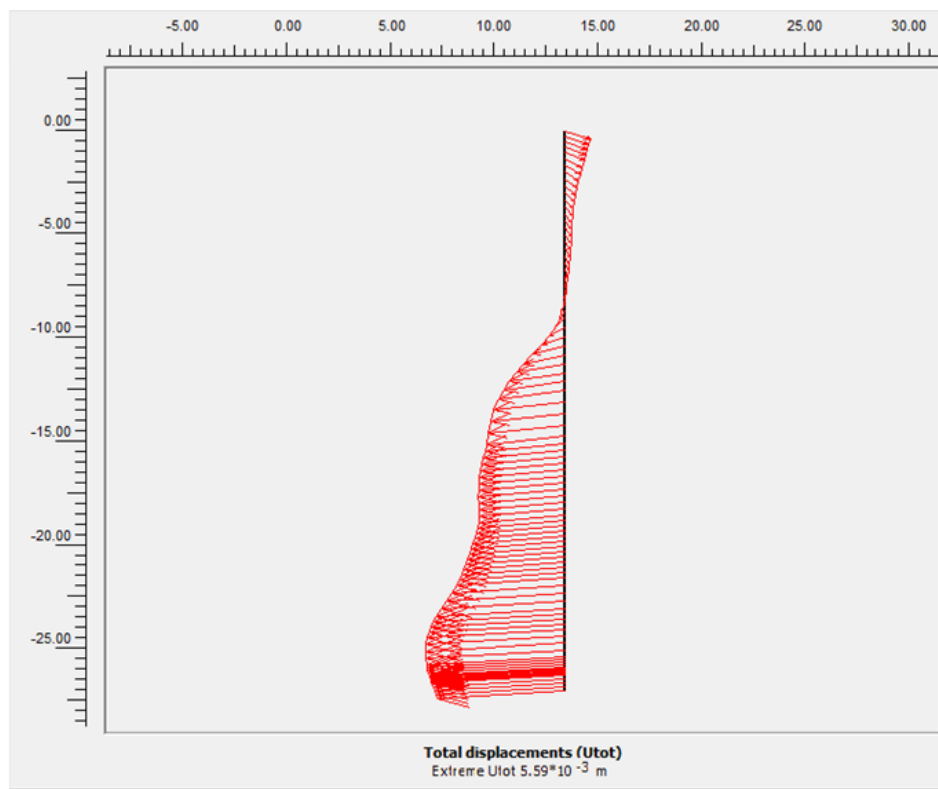
Εικόνα 6.15. Συνολικές κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις για +1.00 m έμπηξη πασσάλων



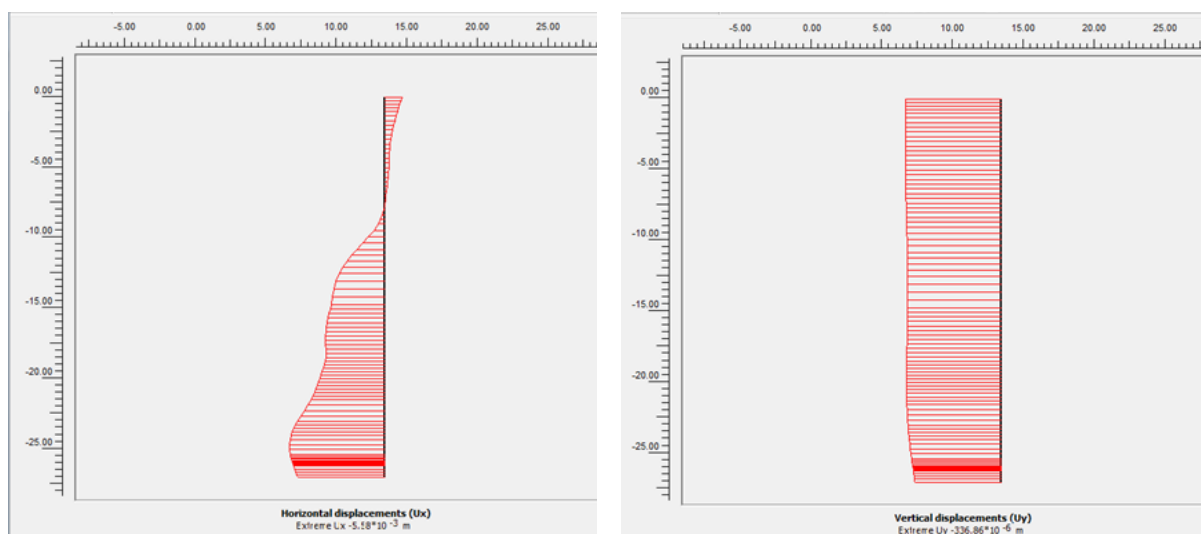
Εικόνα 6.16. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις για +1.00 m έμπηξη πασσάλων με Shadings

Όπως φαίνεται στα πάνω διαγράμματα οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις εμφανίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής και οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις εμφανίζονται στην περιοχή των αγκυριών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση της έμπηξης των πασσάλων επηρεάζει αρκετά τις οριζόντιες μετακινήσεις και είναι εμφανής και στην επιφάνεια του εδάφους όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 6.16). Αν παρατηρήσει κανείς τις εικόνες από τις υπόλοιπες αναλύσεις όσο μειώνεται η έμπηξη των πασσάλων τόσο αυξάνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις στην επιφάνεια του εδάφους (Παράρτημα 3).

Οι συνολικές μετακινήσεις όσον αφορά τους πασσάλους είναι 5,59mm (Εικόνα 6.17). Οι κατακόρυφες μετακινήσεις στην στέψη και στην κλείδα είναι μηδαμινές, και οι οριζόντιες μετακινήσεις στην στέψη είναι της τάξης του 1 mm, ενώ στην κλείδα των πασσάλων 5,1mm.

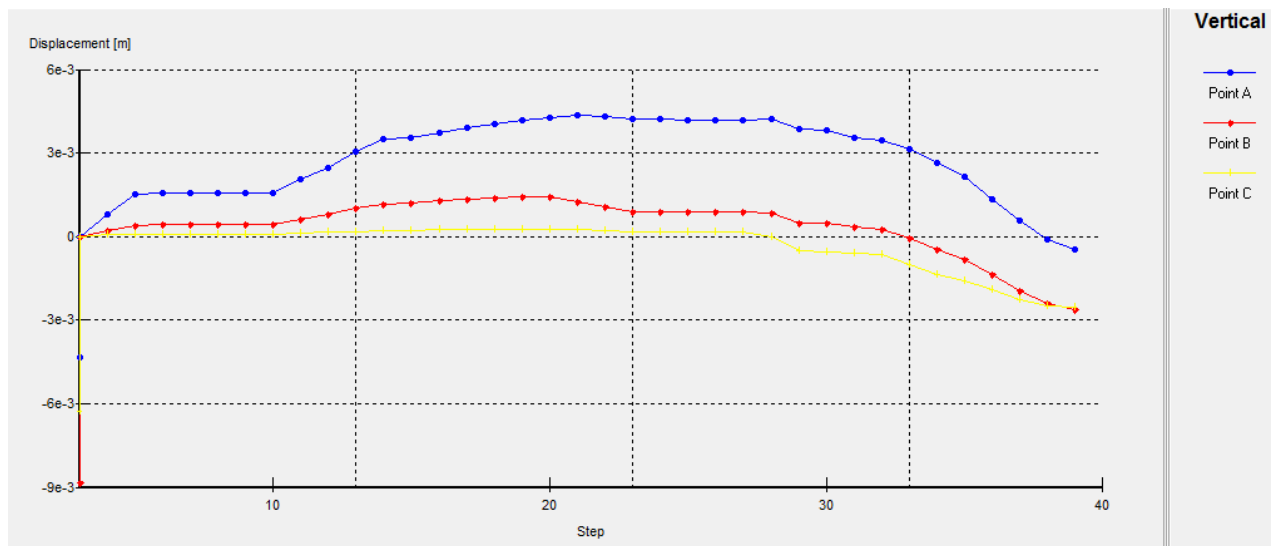


Εικόνα 6.17. Μέγιστη μετακίνηση του διαφραγματικού τοίχου για βάθος έμψηξης +1.00 m



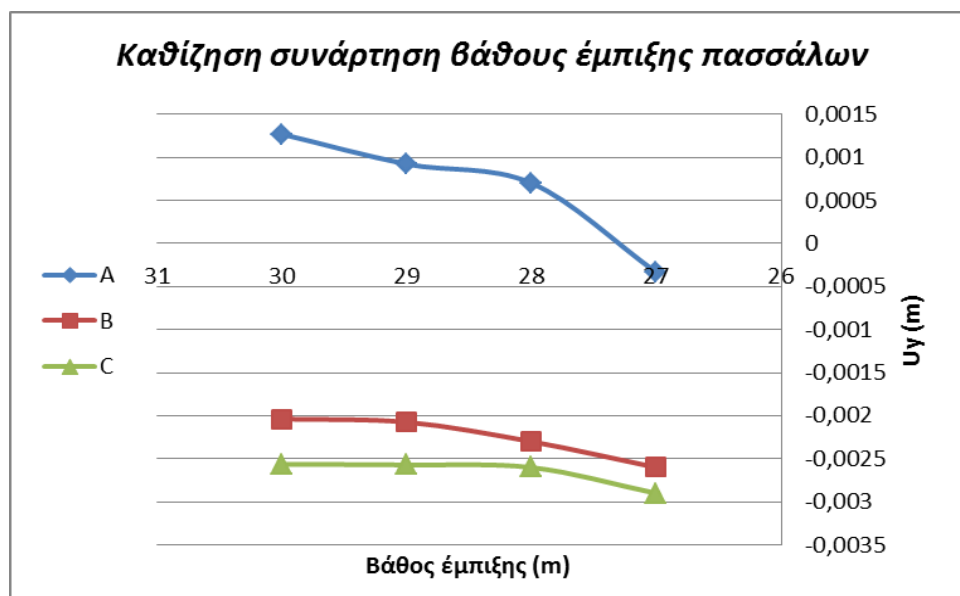
Εικόνα 6.18. Μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη μετακίνηση του διαφραγματικού τοίχου για βάθος έμψηξης +1.00 m

Για να εξεταστούν οι κατακόρυφες μετακινήσεις σε διάφορα σημεία της επιφάνειας του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Curves. Τα σημεία τα οποία χρησιμοποιούνται είναι ίδια με την 1^η παραμετρική ανάλυση. Όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα παρατηρούνται ελάχιστα μεγαλύτερες μετακινήσεις μακριά από τον πάσσαλο. Συγκεκριμένα στο σημείο B και C, παρατηρείται καθίζηση στο της τάξης των 2,6mm.



Διάγραμμα 6.15. Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C για βάθος έμπηξης +1.00 m

Το διάγραμμα Curves παράχθηκε και για τις υπόλοιπες τρεις παραμετρικές αναλύσεις με σκοπό την παρατήρηση των μετακινήσεων στα σημεία A, B και C στην επιφάνεια του εδάφους στην οποία εδράζει ο I.N. Ευαγγελιστριάς (Διάγραμμα 6.15). Από τα αποτελέσματα της καταγραφής των μετακινήσεων και για τα τρία σημεία της κάθε ανάλυσης, κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 6.16. Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B και C σε σχέση με την μεταβολή του βάθους έμπηξης

Παρατηρώντας το διάγραμμα, συμπεραίνεται και για τα τρία σημεία ότι όσο μειώνεται το βάθος έμπηξης των πασσάλων, τόσο αυξάνεται η κατακόρυφη μετακίνηση (καθίζηση) του εδάφους.

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των υπολογισμών της πρώτης σειράς παραμετρικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τεσσάρων παραμετρικών αναλύσεων

Ανάλυση	3^A (+4.00 m)	3^B (+3.00 m)	3^Γ (+2.00 m)	3^Δ (+1.00 m)
Total displacement (m)	17,49 * 10 ⁻³	17,65 * 10 ⁻³	17,55 * 10 ⁻³	17,54 * 10 ⁻³
Vertical displacement (m)	17,49* 10 ⁻³	17,65 * 10 ⁻³	17,34 * 10 ⁻³	17,54 * 10 ⁻³
Horizontal displacement (m)	8,3 * 10 ⁻³	8,38* 10 ⁻³	8,21 * 10 ⁻³	8,18 * 10 ⁻³
Total displacement για τον διαφραγματικό τοίχο (m)	5,55 * 10 ⁻³	5,63 * 10 ⁻³	5,25* 10 ⁻³	5,59*10 ⁻³
Bending moments (kNm)	571,5	572	564,98	574,8
Shear force (kN)	568,8	581,3	570,18	559,2
Axial force (kN)	833,8	746,3	667	449,7
SF (Συντελεστής ασφαλείας)	2,23	2,3	2,28	2,23

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, παρατηρώντας τα συνολικά αποτελέσματα και των τριών αναλύσεων προκύπτουν κάποια συμπεράσματα. Αρχικά οι συνολικές μετακινήσεις, οι οποίες ταυτίζονται με τις κατακόρυφες μετακινήσεις δεν μεταβάλλονται σημαντικά, υπάρχει μια ελάχιστη αύξηση όσο μειώνεται το μήκος έμπηξης. Παρατηρώντας τις συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις, κάποιες τιμές μειώνονται αντί να αυξάνονται με την μείωση του μήκος έμπηξης, ωστόσο είναι πολύ μικρές. Το ίδιο ισχύει και για τις μέγιστες μετακινήσεις του τοίχου. Οι τιμές δηλαδή δεν μεταβάλλονται ομοιόμορφα με την μείωση της έμπηξης των πασσάλων.

6.5 4^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Για λόγους ενδιαφέροντος πραγματοποιήθηκε μια ακόμη παραμετρική ανάλυση, στην οποία γίνεται αντικατάσταση των αντηρίδων με αγκύρια. Συγκεκριμένα πραγματοποιούνται τρεις αναλύσεις με γεωτεχνικό προσομοίωμα η προσωρινή υποστήριξη του οποίου, στην πρώτη ανάλυση αποτελείται από τέσσερις σειρές αντηρίδες και δύο σειρές αγκυρίων, στην δεύτερη αποτελείται από τρεις σειρές αντηρίδες και τρεις σειρές αγκυρίων και στην τρίτη ανάλυση στην αποτελείται από δύο σειρές αντηρίδων και τέσσερις σειρές αγκυρίων (Πίνακας 6.7).

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αντηρίδων δεν μεταβάλλονται σε σχέση με τα αρχικά. Συγκριμένα είναι σωληνωτές με διατομή Φ1.168,4/14,3 και έχουν μήκος 27 m, όσο και η διατομή της εκσκαφής. Το ίδιο ισχύει και για τα αγκύρια για τα οποία χρησιμοποιήθηκε δύναμη προέντασης $F_p = 600$ kN.

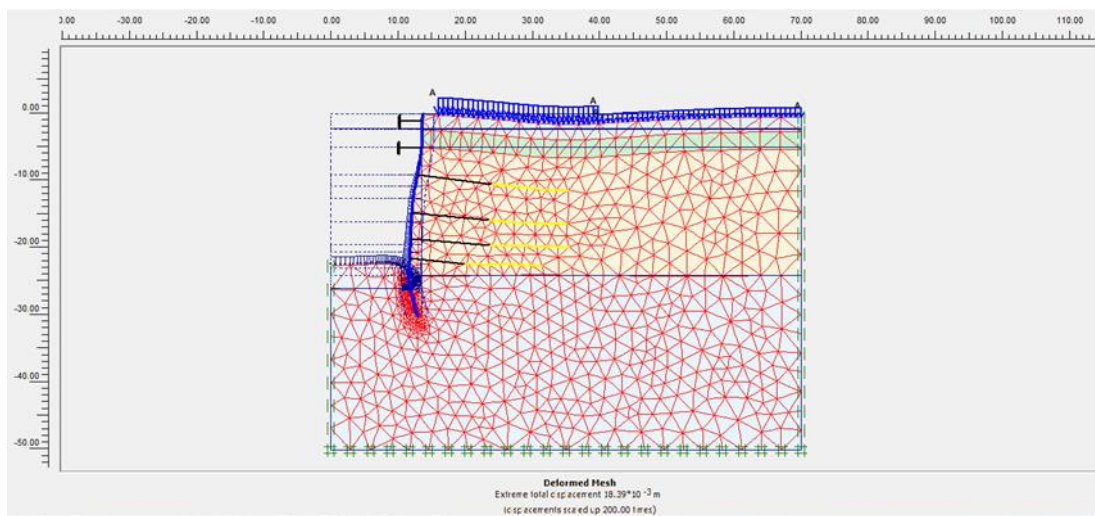
Πίνακας 6.7. Πίνακας. Αριθμός αντηρίδων – αγκυρίων για την 4^η σειρά υπολογισμών

Ανάλυση	Μέτρα υποστήριξης
4^A	4 αντηρίδες – 2 αγκύρια
4^B	3 αντηρίδες – 3 αγκύρια
4^F	2 αντηρίδες – 4 αγκύρια

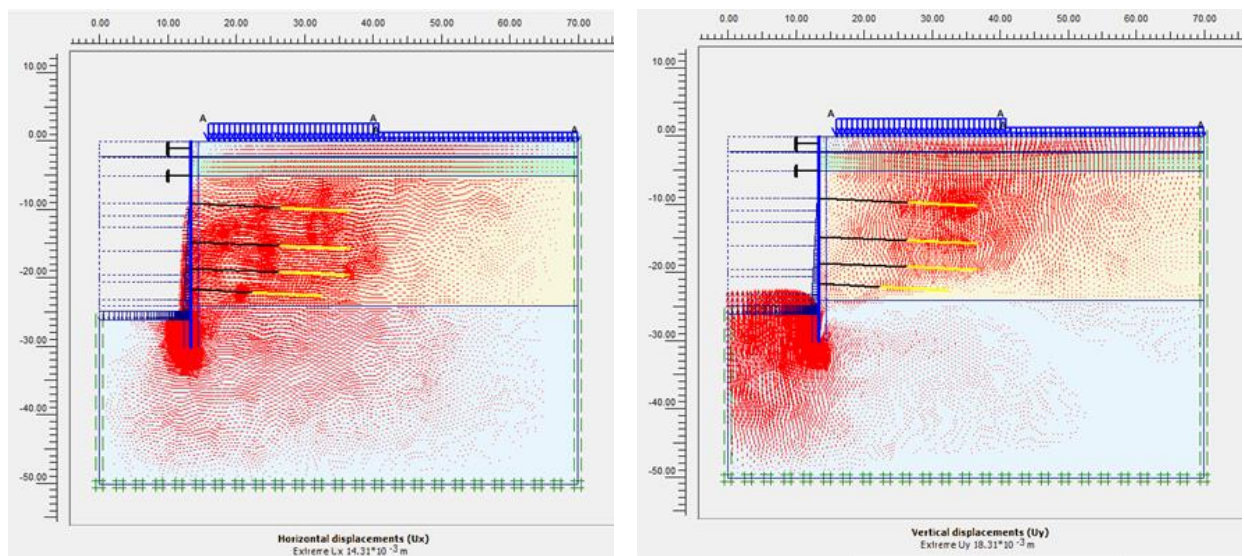
Η αντικατάσταση των αντηρίδων από τα αγκύρια έγινε στην φάση του σχεδιασμού της βασικής γεωμετρίας του μοντέλου. Αυτή η διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις τρεις αναλύσεις. Στην συνέχεια ακολούθησαν οι υπολογισμοί και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων στο output program και διαγραμμάτων Curves. Στο τέλος της κάθε παραμετρικής ανάλυσης μελετήθηκαν τα αποτελέσματα των συνολικών μετακινήσεων, των συνολικών κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων, των παραμορφώσεων των πασσάλων και των διατμητικών τάσεων που ασκούνται σε αυτούς.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της 4^F ανάλυσης, δηλαδή για την ανάλυση που εκτός από τον διαφραγματικό τοίχο έχει ως μέτρα υποστήριξης δύο αντηρίδες και δύο σειρές αγκυρίων, η οποία θεωρείται ως χειρότερη με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις. Στο Παράρτημα 4 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα

αποτελέσματα και των τριών αναλύσεων. Το προσομοίωμα της εκσκαφής μετά την εκτέλεση των υπολογισμών παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 6.19. Συνολικές μετακινήσεις για την ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδες και 4 σειρές αγκύρια

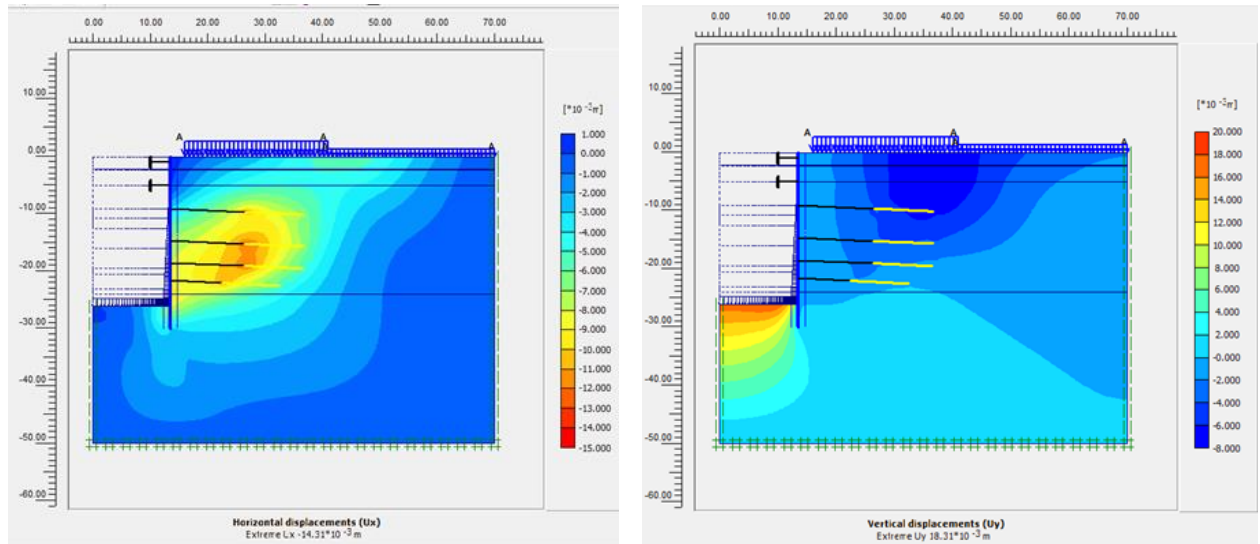


Εικόνα 6.20. Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις για ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδων και 4 σειρές αγκυριών

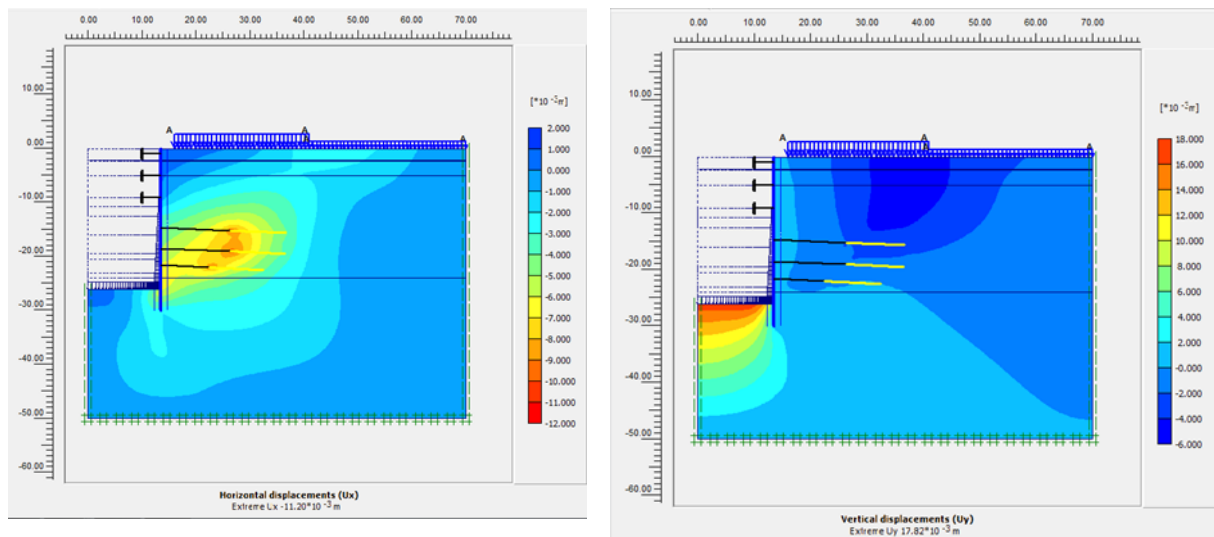
Οι μέγιστες μετακινήσεις σύμφωνα με το πρόγραμμα φτάνουν περίπου στο 1,84 cm. Οι μέγιστες κατακόρυφες μετατοπίσεις είναι και οι μέγιστες μετατοπίσεις και είναι ίσες με 1,8cm. Οι μέγιστες οριζόντιες μετατοπίσεις είναι της τάξης των 1,43 mm (Εικόνα 6.20).

Όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις παρατηρώντας τις εικόνες (Εικόνα) οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις εμφανίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής και οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις εμφανίζονται στην περιοχή των αγκυριών.

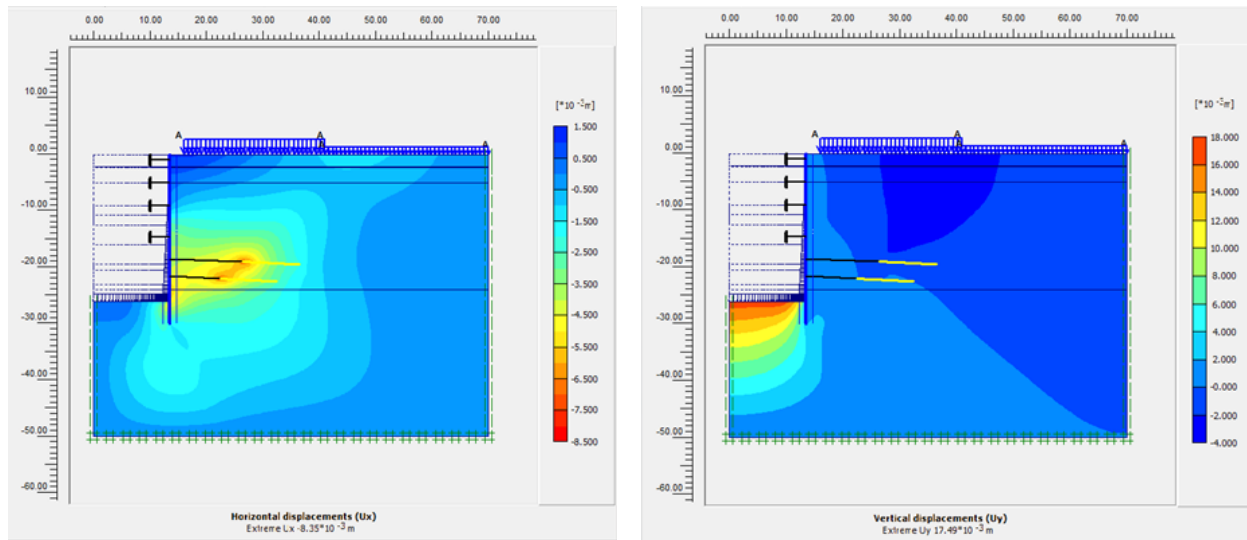
Ενδιαφέρον έχει να συγκρίνουμε τις οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις μέσω των εικόνων με χρωματισμό Shading και των τριών αναλύσεων, για να γίνει κατανοητό το πως η αντικατάσταση των αντηρίδων με αγκύρια, τις επηρεάζει.



Εικόνα 6.21. Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 2 σειρές αντηρίδων-4 σειρές αγκυρίων



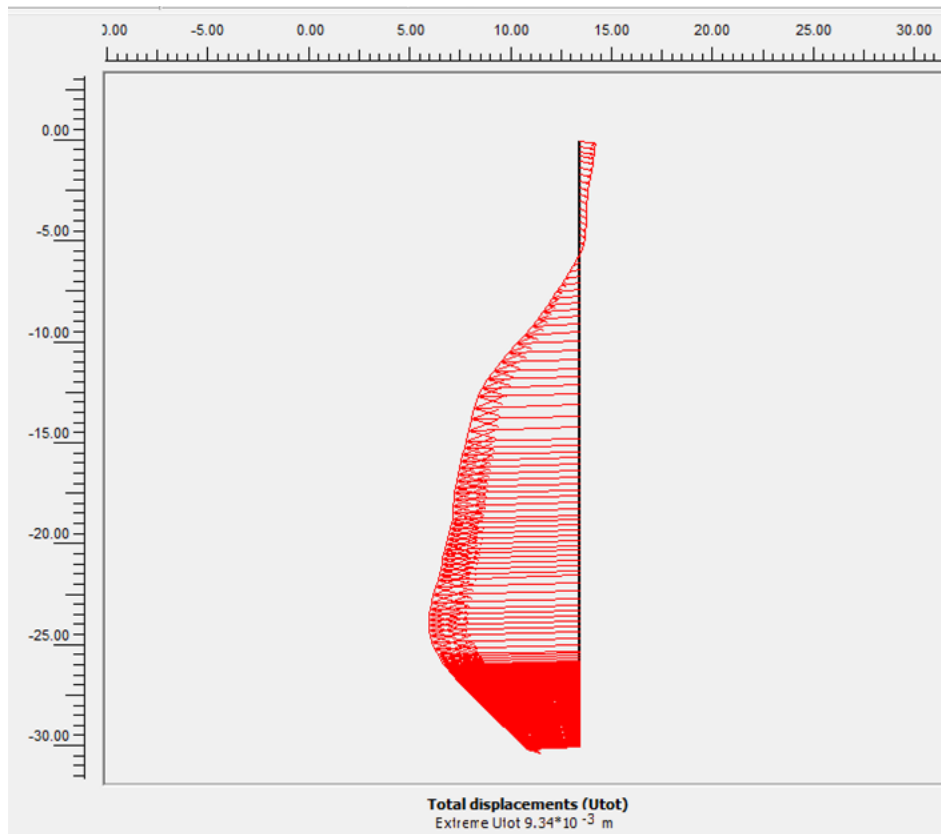
Εικόνα 6.22. Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 3 σειρές αντηρίδων- 3 σειρές αγκυρίων



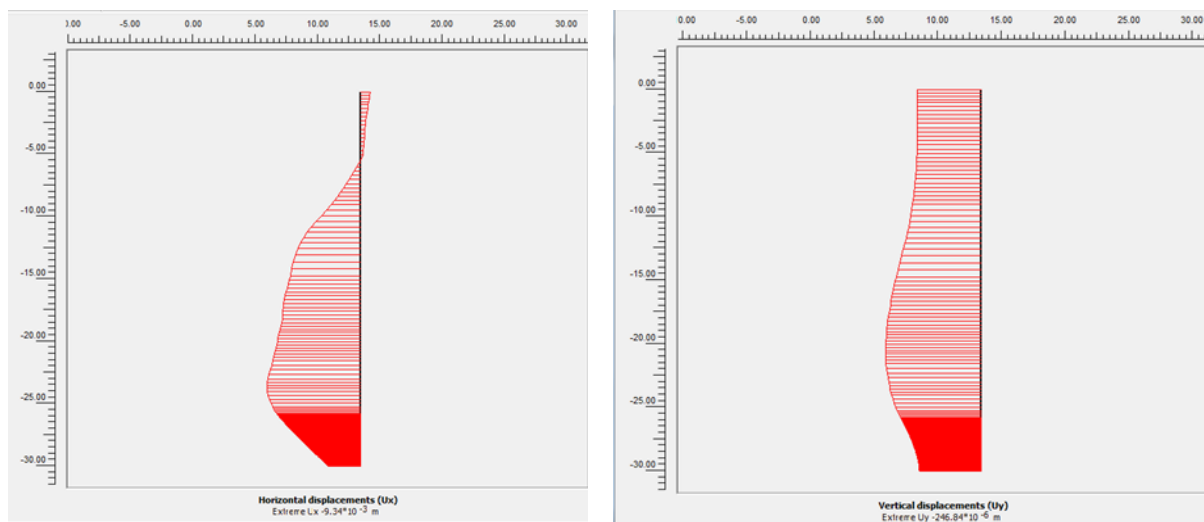
Εικόνα 6.23. Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 4 σειρές αντηρίδων-2 σειρές αγκυρίων

Από τις παραπάνω εικόνες (Εικόνες 6.21, 6.22, 6.23), μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση και στις τρεις περιπτώσεις είναι στον πυθμένα της εκσκαφής. Παρατηρώντας τις εικόνες των οριζόντιων μετατοπίσεων είναι φανερό ότι αυξάνονται όσο αυξάνονται τα αγκύρια. Αυτό είναι λογικό αφού οι αντηρίδες που εδράζουν στον διαφραγματικό τοίχο ασκούν πίεση στην εκσκαφή και εμποδίζουν την οριζόντια μετακίνηση του. Όσο αυξάνονται τα αγκύρια αυξάνονται οι οριζόντιες μετατοπίσεις στην περιοχή που εφαρμόζουν, με αποτέλεσμα όπως φαίνεται στις Εικόνες να προκαλούν μεγαλύτερες μετατοπίσεις στην επιφάνεια του εδάφους, όπου εδράζει ο Ι.Ν.Ευαγγελιστριάς, γεγονός που δεν είναι επιθυμητό λόγω της ευαισθησίας της κατασκευής.

Οι συνολικές μετακινήσεις όσον αφορά τους πασσάλους είναι 9,34mm (Εικόνα 6.24). Οι κατακόρυφες μετακινήσεις στην κλείδα και στην στέψη του τοίχου είναι μηδαμινές, ενώ οι οριζόντιες μετακινήσεις στη κλείδα είναι 3 mm περίπου (Εικόνα 6.25).

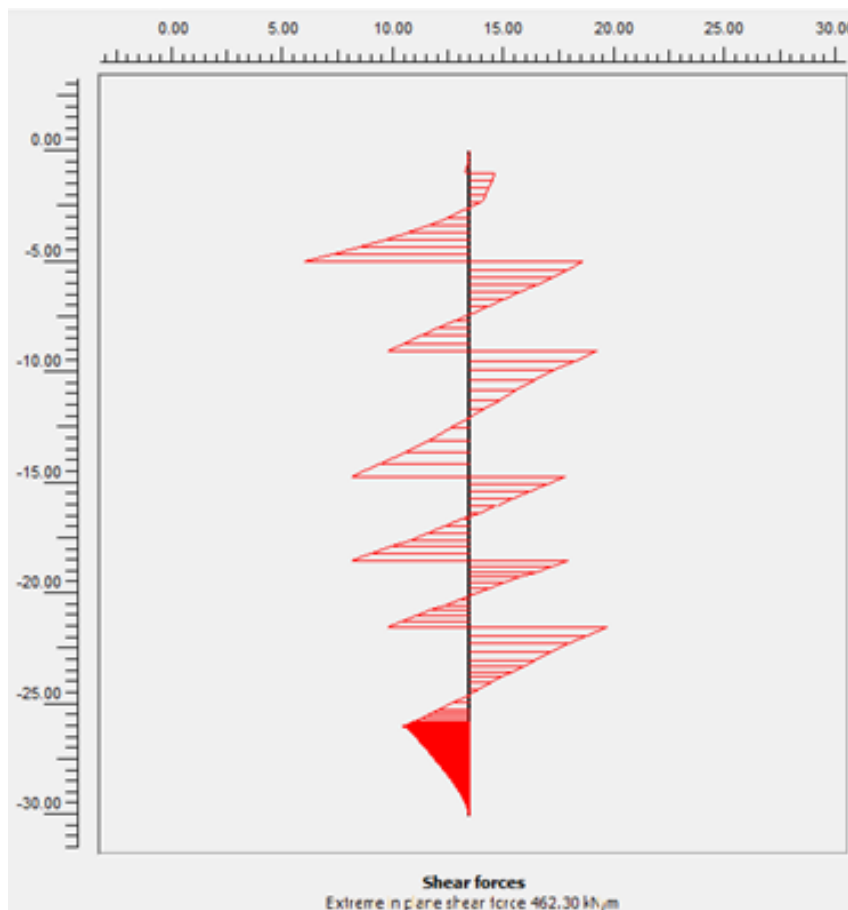


Εικόνα 6.24. Μέγιστες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου για ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδων – 4 σειρές αγκυριών



Εικόνα 6.25. Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις του διαφραγματικού τοίχου για ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδων – 4 σειρές αγκυριών

Οι μέγιστες διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στον διαφραγματικό τοίχο είναι ίσες με 462.30 kN/m (Εικόνα 6.26). Η τελική απόλυτη τιμή των διατμητικών δυνάμεων είναι 693,5kN.



Εικόνα 6.26. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις του διαφραγματικού τοίχου για ανάλυση με 2 σειρές αντηρίδων – 4 σειρές αγκυρίων

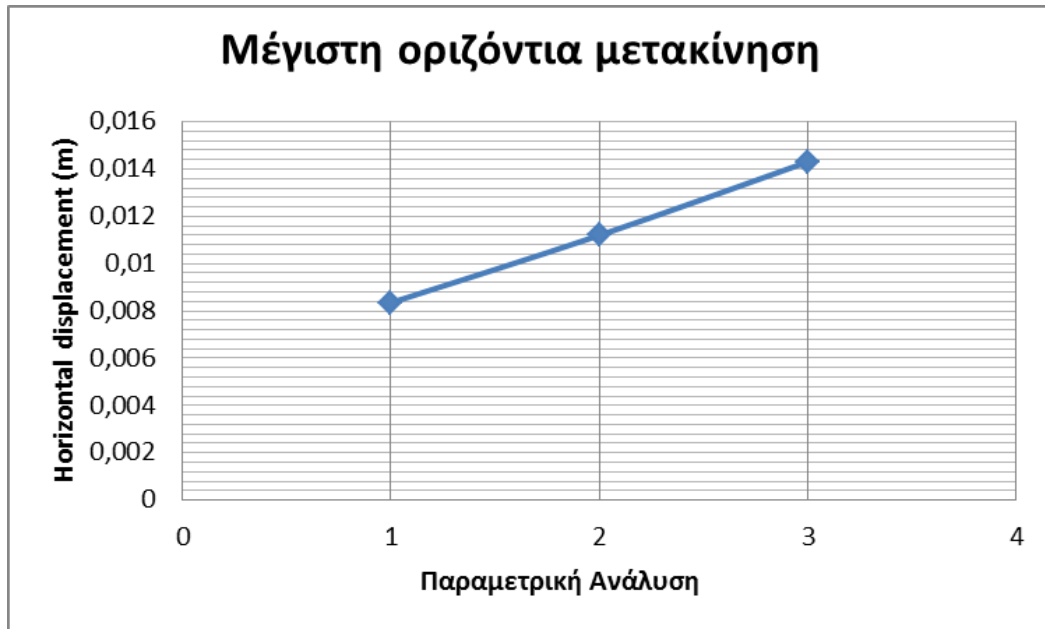
Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των υπολογισμών της τέταρτης σειράς παραμετρικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.8. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τεσσάρων παραμετρικών αναλύσεων

Ανάλυση	4 ^A	4 ^B	4 ^Γ
Total displacement (m)	17,46 * 10 ⁻³	17,84 * 10 ⁻³	18,39 * 10 ⁻³
Vertical displacement (m)	17,46 * 10 ⁻³	17,82 * 10 ⁻³	18,39 * 10 ⁻³
Horizontal displacement (m)	8,35 * 10 ⁻³	11,2 * 10 ⁻³	14,31 * 10 ⁻³
Total displacement για τον διαφραγματικό τοίχο (m)	5,55 * 10 ⁻³	7,05 * 10 ⁻³	9,34 * 10 ⁻³
Shear force (kN)	568,8	655,13	693,45
SF (συντελεστής ασφαλείας)	2,23	1,96	1,85

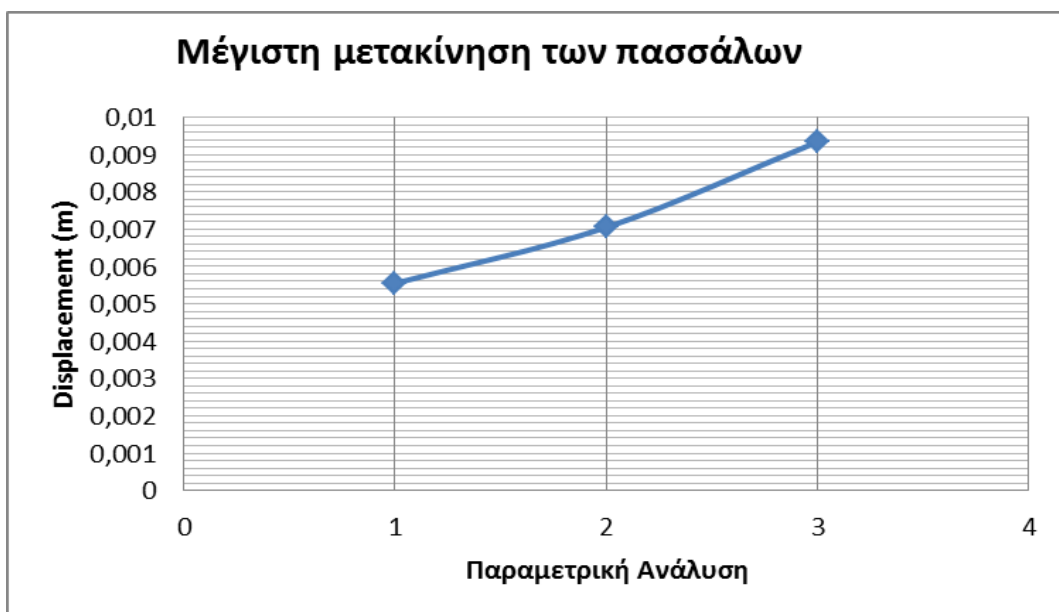
Με βάση τον παραπάνω πίνακα, παρατηρώντας τα συνολικά αποτελέσματα και των τριών αναλύσεων προκύπτουν κάποια συμπεράσματα. Οι μέγιστες μετακινήσεις, οι

οποίες ταυτίζονται με τις κατακόρυφες αυξάνονται όσο μειώνονται οι αντηρίδες, όμως η μεταβολή δεν είναι πάρα πολύ μεγάλη. Όσο μειώνονται οι αντηρίδες αυξάνονται και οι οριζόντιες μετακινήσεις (Διάγραμμα 6.17). Η αύξηση είναι της τάξης του 41,6%.



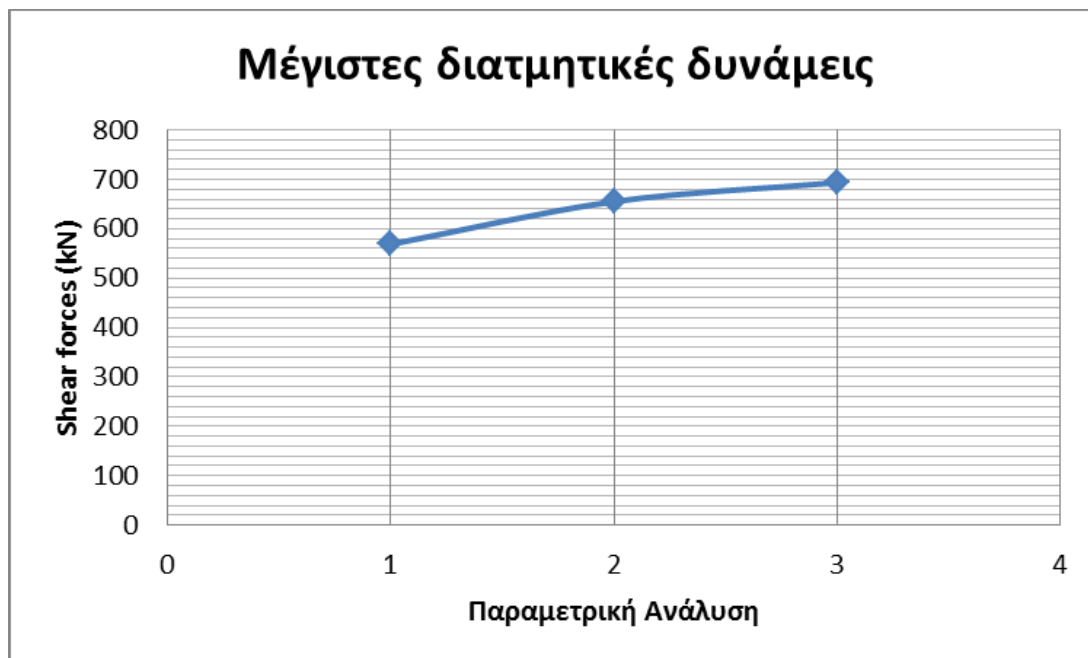
Διάγραμμα 6.17. Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις σε συνάρτηση με τις αναλύσεις της 4^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Το ίδιο ισχύει και για τις μέγιστες μετακινήσεις των πασσάλων, είναι φανερό ότι αυξάνονται με την αντικατάσταση των αντηρίδων από τα αγκύρια (Διάγραμμα 6.18). Συγκεκριμένα η αύξηση είναι περίπου 40,6%



Διάγραμμα 6.18. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλων σε συνάρτηση με τις αναλύσεις της 4^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Αν παρατηρήσουμε τις απόλυτες τιμές των διατμητικών δυνάμεων, αυτές αυξάνονται όσο μειώνονται οι αντηρίδες (Διάγραμμα 6.19). Η αύξηση των διατμητικών δυνάμεων είναι της τάξης του 53 %.



Διάγραμμα 6.19. Απόλυτες τιμές μέγιστων διατμητικών δυνάμεων σε συνάρτηση με τις αναλύσεις της 4^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Ο συντελεστής ασφαλείας SF, με την αντικατάσταση των αντηρίδων από αγκύρια μειώνεται. Για την ανάλυση με τις τέσσερις σειρές αντηρίδων και δύο σειρές αγκυρίων ο SF = 2,23. Για την ανάλυση με τις τρεις σειρές αντηρίδων και τρεις σειρές αγκυρών ο SF = 1,96 και για την ανάλυση με δύο σειρές αντηρίδων και τρεις σειρές αγκυρίων ο SF = 1,85. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι και οι τρεις συντελεστές ασφαλείας είναι μεγαλύτεροι από $SF_{\text{minimum}} = 1.7$

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Σταθμός Περιστέρι εκτείνεται από την Χ.Θ. 1+681.28 έως την Χ.Θ. 1+791.29. βρίσκεται στην κεντρική περιοχή του Δήμου Περιστερίου, συγκεκριμένα στην πλατεία Δημοκρατίας, όπου γειτνιάζει με τον Ναός Ευαγγελιστρίας και το υπό κατασκευή Δημαρχείο. Ο μόνιμος φορέας του Σταθμού Περιστέρι έχει μήκος περίπου 112 m. Το βάθος του φτάνει περίπου στα 25 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.

Το μεγαλύτερο τμήμα του σταθμού, μήκους 67 m περίπου, κατασκευάστηκε με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος, ενώ το υπόλοιπο τμήμα, που συνδέεται με τη σήραγγα επέκτασης της Γραμμής 2 προς το Φρέαρ Φλέμινγκ, μήκους 45 m περίπου, κατασκευάστηκε με υπόγεια διάνοιξη με συμβατικά μέσα και αποτελείται από την κύρια σήραγγα και δύο στοές κλιμακωστών εκατέρωθεν, οι οποίες κατασκευάστηκαν επίσης, με υπόγεια εκσκαφή 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 οπλισμένο 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.

Η ιδιαιτερότητα του Σταθμού «Περιστέρι», όπως προαναφέρθηκε είναι ότι γειτνιάζει εκτός από τις συνηθισμένες κατασκευές με το Ι.Ν.Ευαγγελιστρίας και το Δημαρχείο, κάτι το οποίο απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή κατά την κατασκευή του σταθμού και των προσωρινών μέτρων υποστήριξης, ώστε οι μετακινήσεις να είναι οι μικρότερες δυνατές και να είναι εντός των απαιτούμενων ορίων που προβλέπει η νομοθεσία.

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε η προσωρινή υποστήριξη της διατομής του Σταθμού η οποία γειτνιάζει με τον Ι.Ν.Ευαγγελιστρίας και πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις με τις οποίες έγινε δυνατό να παρατηρηθεί με ποιό τρόπο επηρεάζουν οι αλλαγές ορισμένων κατασκευαστικών παραμέτρων την συνολική

κατασκευή του σταθμού, σε ότι αφορά τις συνολικές κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις, της μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου, τις κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια του εδάφους, τις ροπές κάμψης, τις διατμητικές και αξονικές δυνάμεις.

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σειρές αναλύσεων. Η 1^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η αλλαγή της απόστασης των πασσάλων επηρεάζει τις συνολικές μετακινήσεις, τις μετακινήσεις των πασσάλων, τις καμπτικές ροπές και τις διατμητικές και αξονικές δυνάμεις. Η 2^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η αλλαγή της δύναμης προέντασης των αγκυρίων επηρεάζει τις συνολικές μετακινήσεις, τις μετακινήσεις των πασσάλων, τις καμπτικές ροπές και τις διατμητικές και αξονικές δυνάμεις. Η 3^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η αλλαγή του βάθους έμπηξης των πασσάλων επηρεάζει τις συνολικές μετακινήσεις, τις μετακινήσεις των πασσάλων, τις καμπτικές ροπές και τις διατμητικές και αξονικές δυνάμεις. Και η 4^η σειρά αναλύσεων εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η αντικατάσταση των αντηρίδων από αγκύρια επηρεάζει τις συνολικές μετακινήσεις, τις μετακινήσεις των πασσάλων και τις διατμητικές δυνάμεις. Από τις αναλύσεις αυτές προέκυψαν κάποια γενικά συμπεράσματα.

Από την 1^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων, προκύπτει ότι (§ 6.2):

- Όσο μειώνεται η απόσταση μεταξύ των πασσάλων, τόσο μειώνονται οι μέγιστες μετακινήσεις της εκσκαφής, κατακόρυφες και οριζόντιες. Συγκεκριμένα οι οριζόντιες μετακινήσεις για απόσταση πασσάλων 1 m, είναι $8,24 \cdot 10^{-3}$ m, ενώ για απόσταση 2,5 m, αυξάνονται στα $8,41 \cdot 10^{-3}$ m. Η αύξηση ωστόσο είναι αρκετά μικρή της τάξης του 2 %.
- Το ίδιο ισχύει και για τις μετακινήσεις των πασσάλων μειώνονται όσο μειώνεται η απόσταση μεταξύ τους. Για απόσταση 1 m, οι συνολικές μετακινήσεις τους είναι $5,16 \cdot 10^{-3}$ m, ενώ για απόσταση 2,5 m, φτάνουν τα $6 \cdot 10^{-3}$ m, αύξηση της τάξης του 14 %.
- 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. Για απόσταση 1 m η τιμή των καμπτικών ροπών είναι 418 kNm, ενώ για 2,5 m η τιμή αυξάνεται στα 882 kNm.

Το ίδιο συμβαίνει και με τις διατμητικές δυνάμεις από 395,5 kN αυξάνονται στα 894,5 kN, ενώ οι αξονικές δυνάμεις από 559,8 kN αυξάνονται στα 1370,2 kN.

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

- Ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται όσο μειώνεται η απόσταση μεταξύ των πασσάλων, λαμβάνει τιμή ίση με $SF = 2,25$ για απόσταση πασσάλων 1 m και τιμή ίση με $SF=2,1$ για απόσταση πασσάλων 2,5 m.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όσο μικραίνει η απόσταση των πασσάλων τόσο αυξάνεται το κόστος κατασκευής του σταθμού. Αυτό συμβαίνει διότι στην ίδια περίμετρο εκσκαφής αντιστοιχούν περισσότεροι πάσσαλοι και αντίστοιχα περισσότερα αγκύρια τα οποία εδράζονται στους πασσάλους.

Από την 2^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων, προκύπτει ότι (§ 6.3):

- Όσο αυξάνεται η δύναμη προέντασης τόσο μειώνονται οι συνολικές, οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις. Για $F_p = 600$ kN οι συνολικές μετακινήσεις είναι της τάξης του $17,46 \cdot 10^{-3}$ m, ενώ $F_p = 200$ kN για αυξάνονται στις $17,84 \cdot 10^{-3}$ m. Οι συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις για $F_p = 600$ kN είναι 8,35 mm, ενώ για $F_p = 200$ kN αυξάνονται στις 9,25 mm, αύξηση της τάξης του 9,8%.
- Το ίδιο ισχύει και για τις μετακινήσεις των πασσάλων, μειώνονται όσο αυξάνεται η προένταση των αγκυρίων, για $F_p = 600$ kN είναι 5,55 mm ενώ για $F_p = 200$ kN 9,37 mm, αύξηση της τάξης του 41 %.
- Ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται όσο αυξάνεται η δύναμη προέντασης, μάλιστα για $F_p = 600$ kN λαμβάνει τιμή $SF=2,23$, ενώ για $F_p = 200$ kN λαμβάνει τιμή $SF= 1,98$

Με βάση τα παραπάνω μπορεί κανείς να πει ότι η δύναμη προέντασης των αγκυρίων και η αύξηση της μειώνει αρκετά τις μετακινήσεις συγκριτικά με τα αγκύρια που δεν έχουν προενταθεί καθόλου. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως ότι αν η τιμή της δύναμης προέντασης των αγκυρίων είναι πολύ μεγάλη, υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθούν πλαστικές ζώνες κατά μήκος των αγκυρίων. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι το μήκος των αγκυρίων που χρησιμοποιούνται φτάνει τα 23 m μπορεί να δημιουργούσε πρόβλημα στις κατασκευές σε μεγάλες αποστάσεις από το σταθμό.

Από την 3^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων (§ 6.4), μπορεί κανείς να δει ότι η αλλαγή του μήκους έμπηξης των πασσάλων προκαλεί μικρές μεταβολές στις συνολικές μετακινήσεις και στις μετακινήσεις των πασσάλων και δεν μπορεί να πει κανείς ότι η αύξηση του μήκους έμπηξης μειώνει τις μετακινήσεις αναλογικά, όπως συνέβη στις δύο προηγούμενες παραμετρικές αναλύσεις. Το επίσης παρατηρείται ότι ο συντελεστής ασφαλείας παρουσιάζει πολύ μικρές μεταβολές. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην κατασκευή των πασσάλων. Ο κάθε πάσσαλος εξοπλίζεται με αγκύρια και αντηρίδες, με αποτέλεσμα να έχει μικρές ελεύθερες επιφάνειες. Μάλιστα πολλές φορές το μεγάλο μήκος έμπηξης μπορεί να προκαλέσει μετακινήσεις στους πασσάλους που εισέρχονται μέσα στο έδαφος και αυτό να προκαλεί μεγαλύτερες τιμές οριζόντιων μετατοπίσεων στα σημεία αυτά. Ωστόσο είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όσο μειώνεται το μήκος των πασσάλων αυξάνονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις πίσω από τους πασσάλους.

Οι καμπτικές ροπές και οι διαμητικές δυνάμεις δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα με την αλλαγή μήκους έμπηξης. Ενώ οι αξονικές δυνάμεις αυξάνονται όσο αυξάνεται το μήκος έμπηξης, για + 1.00 m είναι 449,7 kN, ενώ για + 4.00 m, είναι 833,8 kN.

Από την 4^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων, προκύπτει ότι (§ 6.5):

- Η αντικατάσταση των αντηρίδων από αγκύρια προκαλεί αύξηση των συνολικών μετακινήσεων, κατακόρυφων και οριζόντιων. Συγκεκριμένα οι συνολικές μετακινήσεις για την επίλυση με τέσσερις σειρές αντηρίδες και δύο σειρές αγκύρια είναι 17,46 mm, ενώ για δύο σειρές αντηρίδων και τέσσερις σειρές αγκυρίων είναι της τάξης του 18,39 mm. Οι οριζόντιες μετακινήσεις είναι 8,35 mm και με την αντικατάσταση των αντηρίδων φτάνουν στα 14,3 mm, αύξηση της τάξης του 42%.

Οι αντηρίδες που εδράζουν στον διαφραγματικό τοίχο ασκούν πίεση στην εκσκαφή και εμποδίζουν την οριζόντια μετακίνηση του. Όσο αυξάνονται τα αγκύρια, τα οποία αντικαθιστούν τις αντηρίδες, αυξάνονται οι οριζόντιες μετατοπίσεις στην περιοχή που εφαρμόζουν, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται μεγαλύτερες μετατοπίσεις στην επιφάνεια του εδάφους, όπου εδράζει ο Ι.Ν. Ευαγγελιστριάς, γεγονός που δεν είναι επιθυμητό λόγω της ευαισθησίας της κατασκευής.

- Η αντικατάσταση των αντηρίδων από αγκύρια προκαλεί αύξηση των συνολικών μετακινήσεων των πασσάλων. Συγκεκριμένα για την πρώτη επίλυση (τέσσερις σειρές αγκυρίων- δύο σειρές αντηρίδων) είναι 5,55 mm, ενώ στην τελευταία επίλυση (δύο σειρές αντηρίδων- τέσσερις σειρές αγκυρίων) αυξάνονται στα 9,34 mm, αύξηση της τάξης του 41 %.
- Οι απόλυτες τιμές των διατμητικών δυνάμεων αυξάνονται όσο οι αντηρίδες αντικαθίστανται από τα αγκύρια. Συγκεκριμένα για την πρώτη επίλυση είναι της τάξης των 568,8 kN ενώ για την τελευταία 693,5 kN.
- Ο συντελεστής ασφαλείας μειώνεται όσο οι αντηρίδες αντικαθίστανται από τα αγκύρια. Για την πρώτη επίλυση $FS = 2,2$ ενώ για την τελευταία $FS = 1,87$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν πραγματοποιήθηκε η επίλυση με αντικατάσταση και των υπόλοιπων δύο σειρών αντηρίδων γιατί τα αγκύρια έχουν αρκετά μεγάλο μήκος (μέχρι 23 m) και η εφαρμογή τους κοντά στην επιφάνεια μπορεί να προκαλούσε προβλήματα στις θεμελιώσεις των γειτονικών κατασκευών.

Σύμφωνα και με τις 4 σειρές των παραμετρικών αναλύσεων τα συμπεράσματα που εξαγονται, όσο αφορά την κατασκευαστική διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι τα εξής:

- Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν, μπορεί κανείς συμπεράνει ότι αλλάζοντας την απόσταση μεταξύ των πασσάλων, την δύναμη προέντασης, το βάθος έμπηξης των πασσάλων και αντικαθιστώντας τις αντηρίδες με τα αγκύρια (σε κάθε παραμετρική ανάλυση αλλάζει μια παράμετρος κάθε φορά) οι κατακόρυφες μετακινήσεις πίσω από τους πασσάλους αυξάνονται μεν σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό του σταθμού. Ωστόσο σύμφωνα με τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων Curves για τα σημεία A,B και C οι κατακόρυφες αυτές μετακινήσεις εξακολουθούν να είναι μικρότερες από την αντίστοιχη επιτρεπόμενη $\delta_{v,επ} = 15$ mm. Αντίστοιχα οι οριζόντιες μετακινήσεις με την αλλαγή των στοιχείων υποστήριξης αυξάνονται σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό του σταθμού, όμως εξακολουθούν να είναι μικρότερες από την αντίστοιχη επιτρεπόμενη $\delta_{h,επ} = 65$ mm = 0,0025 x 26 m.

Επιπλέον αν παρατηρήσει κανείς τους δείκτες ασφαλείας, ακόμα και για τις χειρότερες περιπτώσεις των αναλύσεων:

- Απόσταση πασσάλων 2,5 m

- Δύναμη προέντασης των αγκυρίων $F_p=200$ Kn
- Βάθος έμπιξης +1 m
- Αντικατάσταση δύο σειρών αντηρίδων με δύο σειρές αγκύρια

Εξακολουθούν να είναι μεγαλύτεροι του $SF_{\text{minimum}} = 1,7$ (δείκτης ασφαλείας που λαμβάνεται με σκοπό να αποφευχθεί ο δυνητικός μηχανισμός αστοχίας κάτω από την πασσαλοστοιχία του συστήματος αντιστήριξης).

- ii. Οι μικρότερες επιδράσεις σε ότι αφορά τις συνολικές μετακινήσεις και τις μετακινήσεις των πασσάλων επιφέρει η αλλαγή της απόστασης των πασσάλων και του βάθους έμπιξης. Η αλλαγή ωστόσο της απόστασης των πασσάλων επιβάλλει την αναδιαστασιολόγηση τους καθώς αυξάνονται οι καμπτικές ροπές και οι διατμητικές και αξονικές δυνάμεις. Οι καμπτικές ροπές, οι διατμητικές και αξονικές δυνάμεις δεν έχουν μεγάλες μεταβολές με την αλλαγή του βάθους έμπιξης.

Η μείωση της δύναμης προέντασης F_p αυξάνει τις μετακινήσεις των πασσάλων, ωστόσο η υπερβολική αύξηση της, μπορεί να επηρεάσει τις ήδη υπάρχουσες κατασκευές στην επιφάνεια του εδάφους.

Η αντικατάσταση των αντηρίδων με αγκύρια μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες μετατοπίσεις στην επιφάνεια του εδάφους και είναι πιο πιθανό υπάρξουν προβλήματα στις ήδη υπάρχουσες κατασκευές σε μεγάλη ακτίνα γύρω από τον σταθμό, ειδικά αν χρησιμοποιηθούν αγκύρια μεγάλου μήκους. Οι αντηρίδες περιορίζουν αυτές τις μετακινήσεις και τις μετακινήσεις κατά την εκσκαφή, ειδικότερα στην περιοχή του Ι.Ν.Ευαγγελιστριάς, στο ελάχιστο μέχρι να τοποθετηθεί η μόνιμη υποστήριξη του σταθμού.

- iii. Στο πεδίο ενεργών τάσεων για τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις φαίνεται ότι σε κανένα σημείο δεν αναπτύσσεται ουσιαστικά, «ζώνη διαρροής», εκτός από μια ζώνη μπροστά από το πακτωμένο τμήμα των πασσάλων, στην οποία ενεργοποιείται η μέγιστη αντοχή του εδάφους.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: «Επέκταση της Γραμμής 2 “Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη”, “Σταθμός Περιστερί” – Τμήμα ανοιχτής εκσκαφής, Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης» Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα
- ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: « Επέκταση της Γραμμής 2 “Τμήμα Άγιος Αντώνιος - Ανθούπολη” Γενική έκθεση αξιολόγησης αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών» Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα
- ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: « Επέκταση της Γραμμής 2 “Τμήμα Άγιος Αντώνιος - Ανθούπολη” Έκθεση μελέτης γραφείου» Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα
- ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: «Έκθεση Παρουσίασης Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών» Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα
- ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., 2007: «Σταθμός Περιστερί – Τμήμα Ανοιχτής Εκσκαφής Μελέτη Προσωρινής Αντιστήριξης» Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση – Υπολογισμοί, Αθήνα
- Λουπασάκης Κ., 2013: «Τεχνική Γεωλογία II» Διαφάνειες Μαθήματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- 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)
- Τρικκαλινός Ι. και Μούσουλος Λ., 1949: « Μελέτη Λιγνιτωρυχείων Αττικής», Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα
- Παπανικολάου Δ. Και συνεργάτες, 2002 : « Γεωλογική – Γεωτεχνική μελέτη Λεκανοπεδίου Αθηνών» Εφαρμοσμένο Ερευνητικό πρόγραμμα, Αθήνα
- Κανακάρη Ε., 2011: « Μετρό Θεσσαλονίκης – Πρόβλεψη εδαφικών μετατοπίσεων», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Ρίζος Π., 2010: « Καθιζήσεις λόγω διάνοιξης δίδυμης σήραγγας του Μετρό της Θεσσαλονίκης στο τμήμα Νεος Σιδηρόδρομος Σταθμός – Αγία Σοφία», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Πογιατζή Ε., Σπανού Ν., Κοντογιάννη Β., Παπαδόπουλος Κ., Κωνσταντοπούλου Γ., Στεφούλη Μ., 2013: « Περιγραφή Γεωκινδύνων για την Αθήνα», Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα

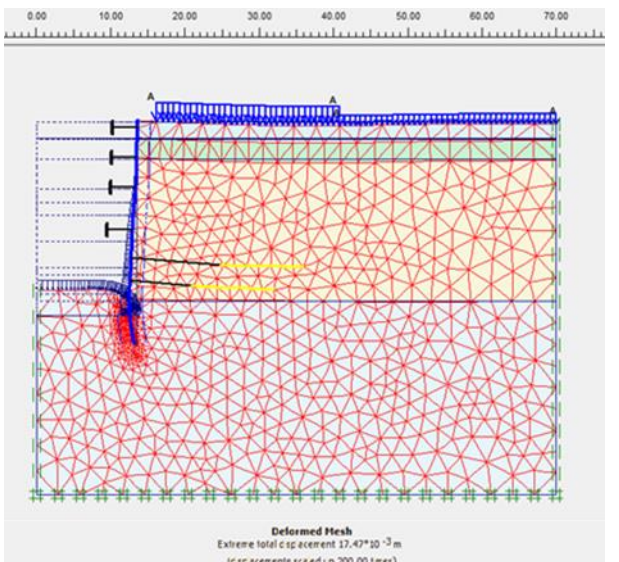
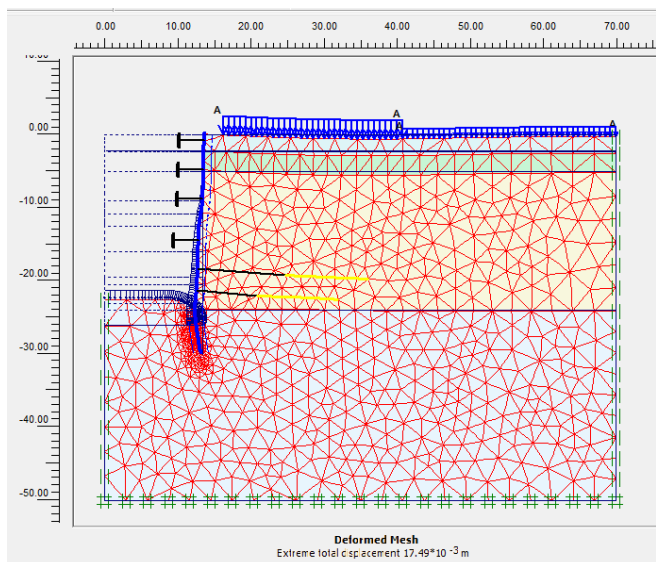
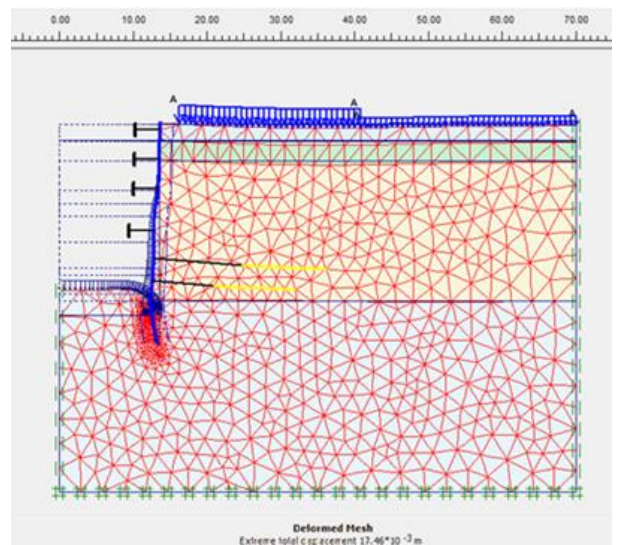
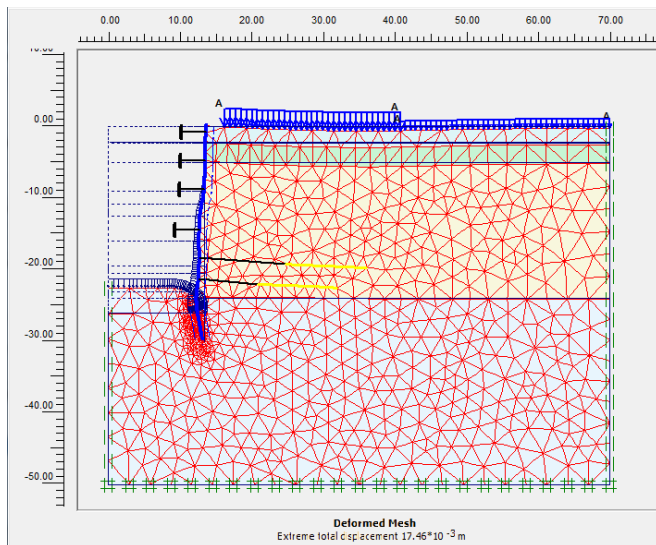
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας και Σύλλογος Ποιτικών Μηχανικών Ελλάδος, 2001 : «Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000», Εκδόσεις Εκπαιδευτική Αττικής Α.Ε., Αθήνα
- ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ: «Προδιαγραφές Μελετών και Επιδόσεων Έργων Πολιτικού Μηχανικού», Εκδόσεις Αττικό Μετρό, Αθήνα
- Brinkgreve R.B.J. and Collaborators, 2009: «Plaxis 2D – Version 8.2 - Tutorial Manual», Delft University of Technology & Plaxis b.v., A.A. Balkema Publishers Lisse, Netherlands
- Lepsius R.,1893. Geologie von Attika.Ein Beitrag zur Lehre von Metamorphismus der Gesteine, Berlin
- Ιστότοπος της Εταιρείας ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2015
<http://www.ametro.gr>

Παράρτημα

Παράρτημα 1

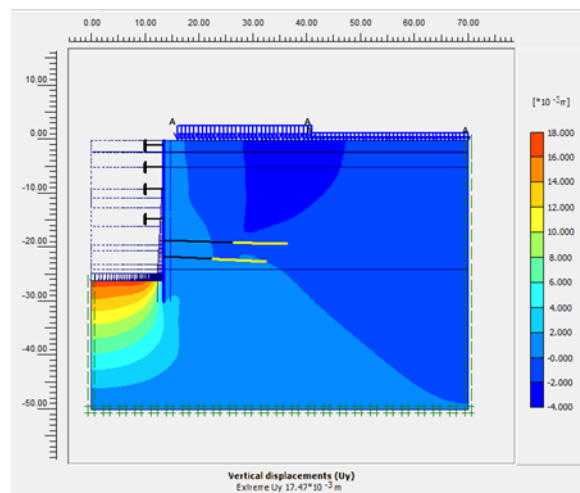
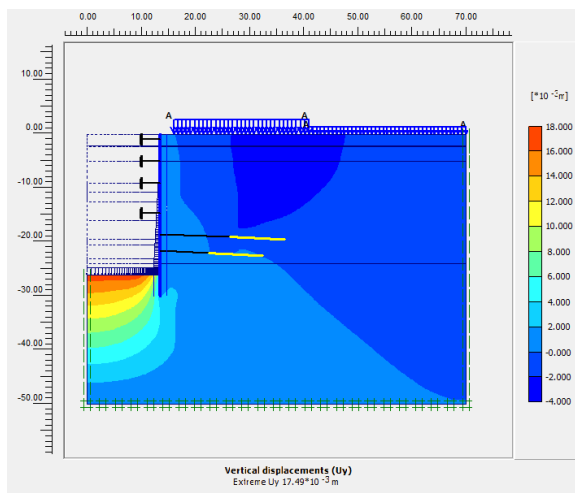
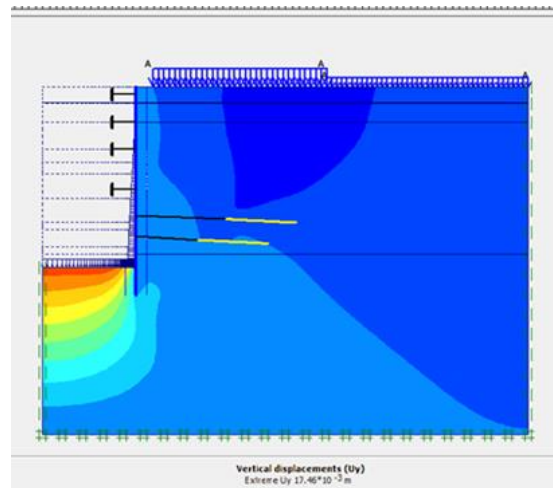
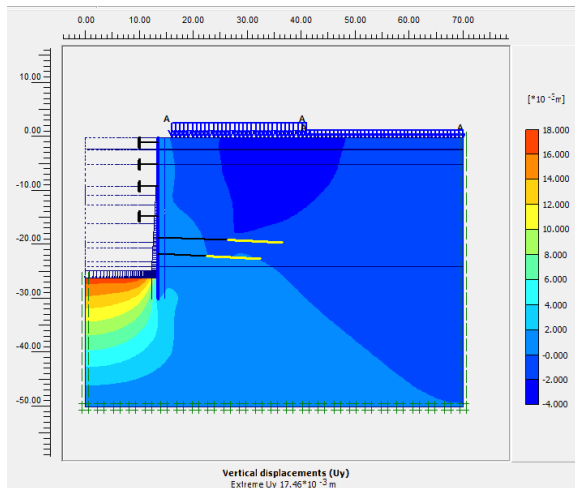
1^η Παραμετρική Ανάλυση

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



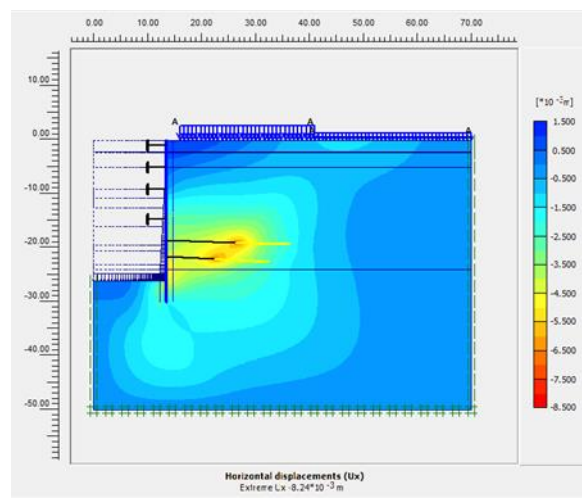
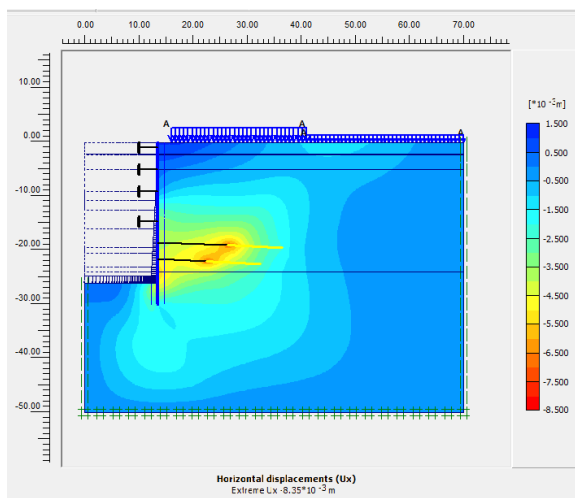
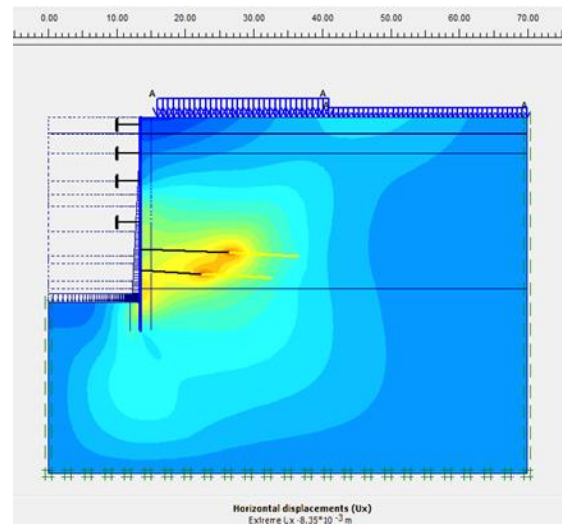
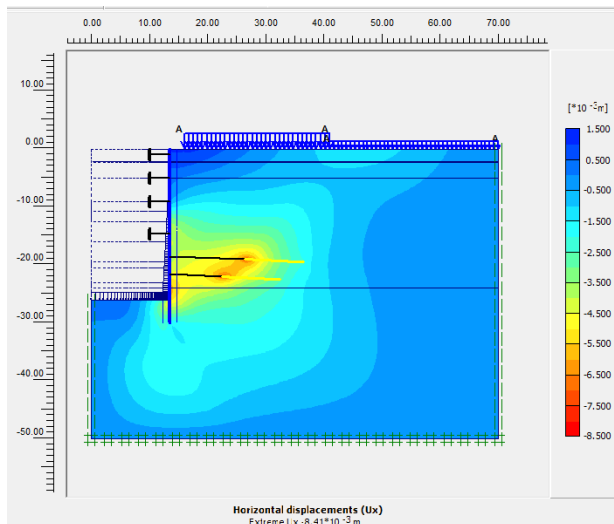
Συνολικές μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για απόσταση πασσάλων 2,5 m, 2m, 1,5 m, 1m, αντίστοιχα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



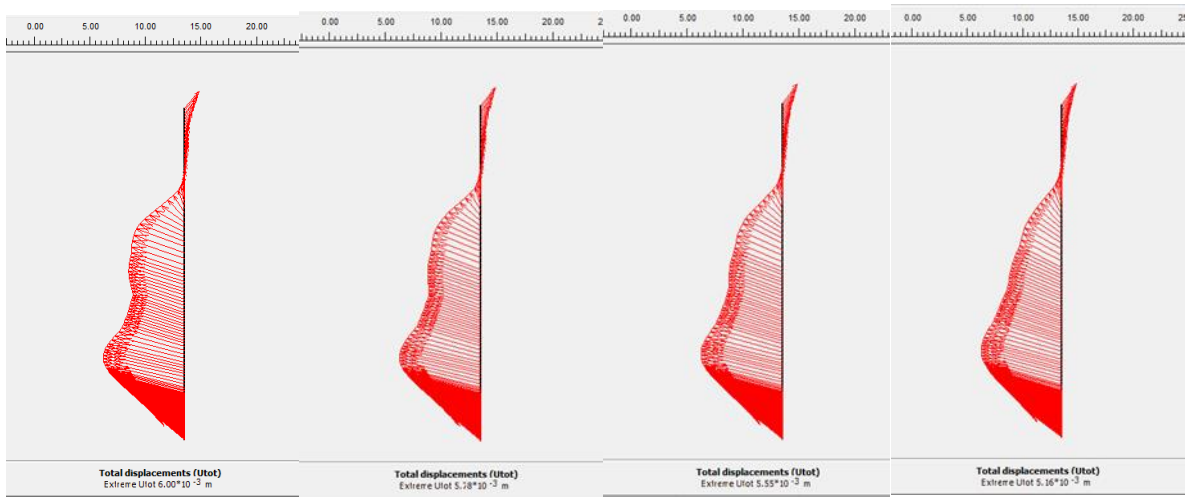
Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για απόσταση πασσάλων 2,5 m, 2m, 1,5 m, 1m, αντίστοιχα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΗ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

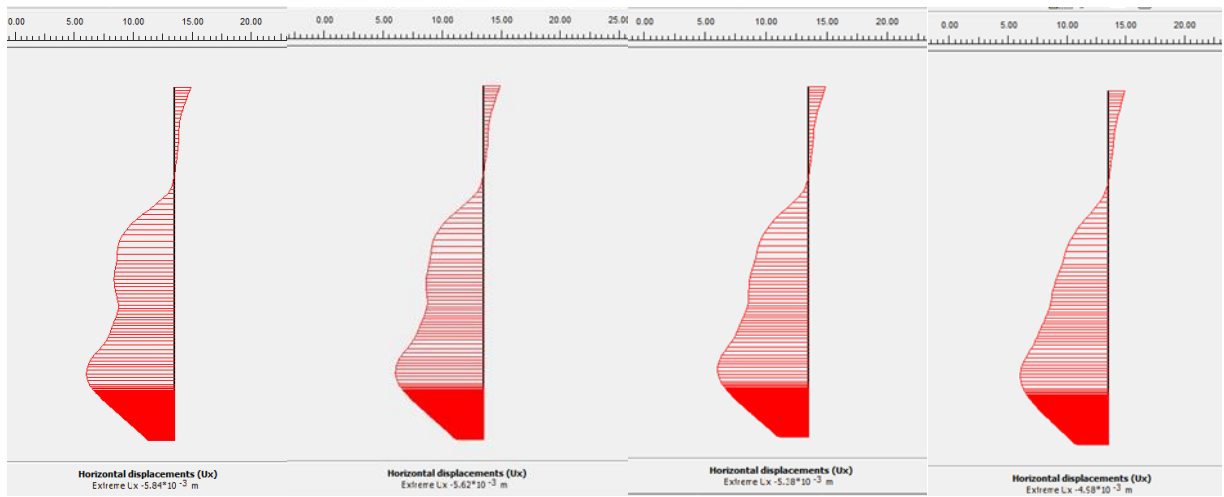


Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για απόσταση πασσάλων 2,5 m, 2m, 1,5 m, 1m, αντίστοιχα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

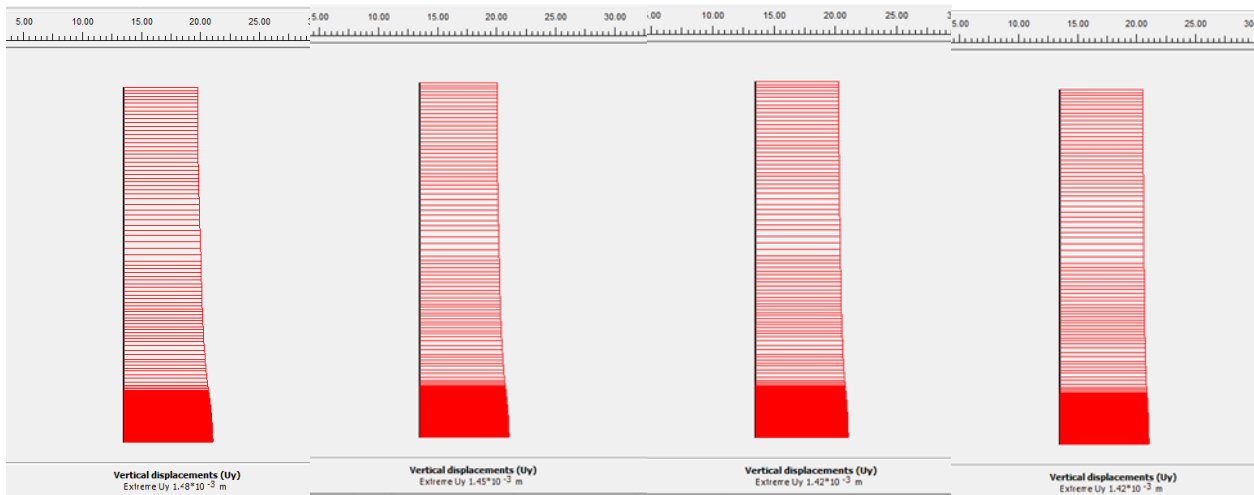


Μέγιστες μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για απόσταση πασσάλων 2,5 m, 2m, 1,5 m, 1m, αντίστοιχα

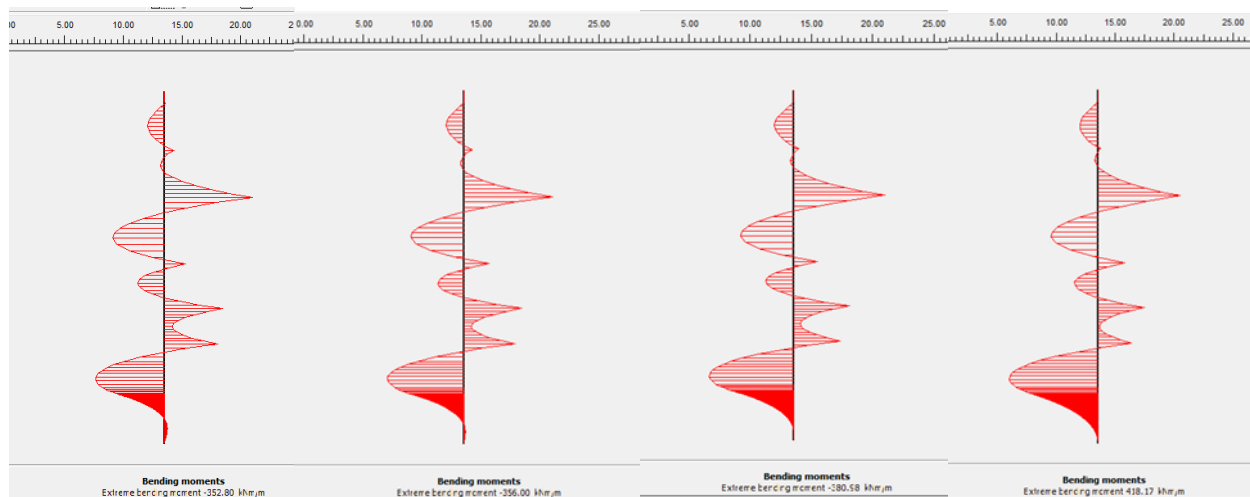


Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για απόσταση πασσάλων 2,5 m, 2m, 1,5 m, 1m, αντίστοιχα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

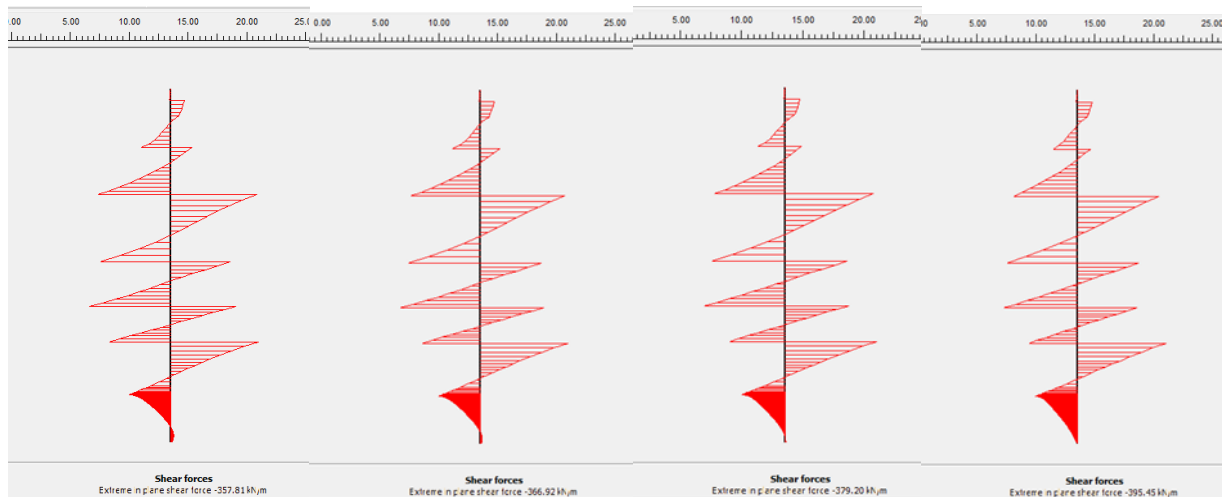


Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για απόσταση πασσάλων 2,5 m, 2m, 1,5 m, 1m, αντίστοιχα

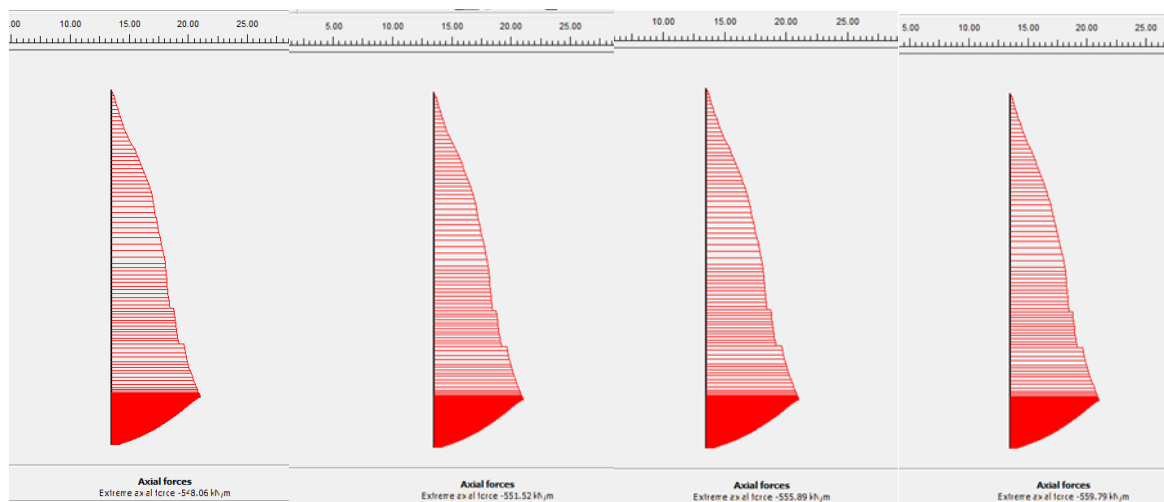


Μέγιστες καμπτικές ροπές των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για απόσταση πασσάλων 2,5 m, 2m, 1,5 m, 1m, αντίστοιχα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

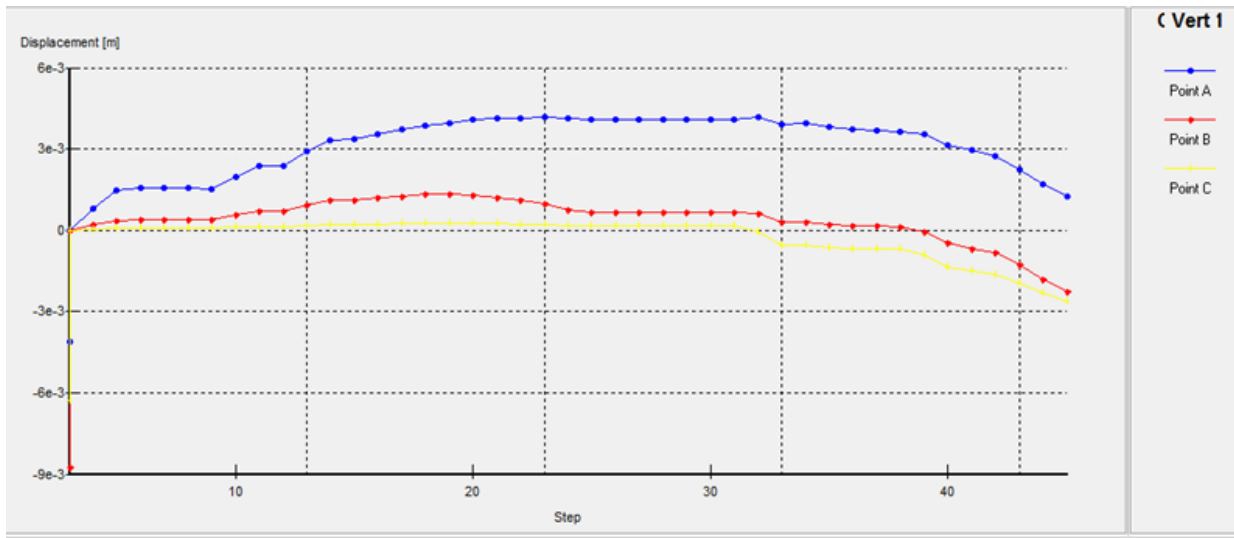


Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για απόσταση πασσάλων 2,5 m, 2m, 1,5 m, 1m, αντίστοιχα

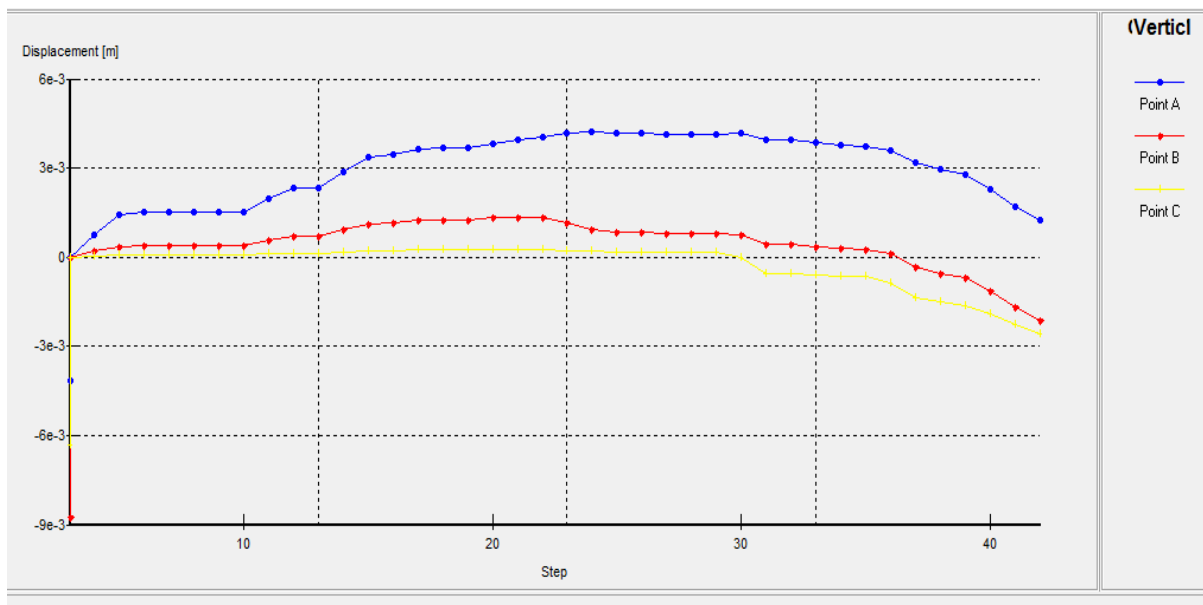


Μέγιστες αξονικές δυνάμεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για απόσταση πασσάλων 2,5 m, 2m, 1,5 m, 1m, αντίστοιχα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

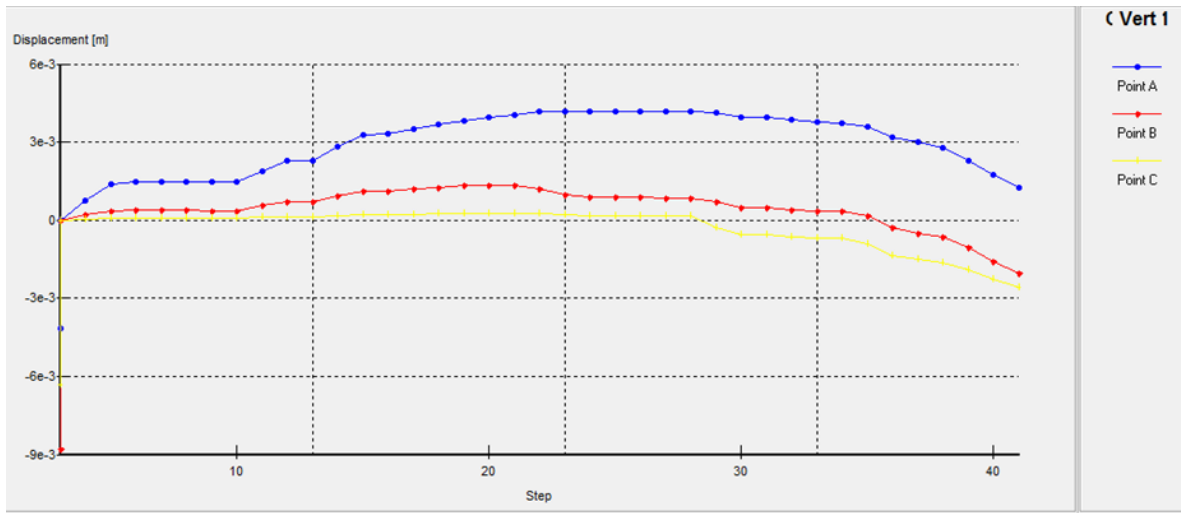


Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο (απόσταση πασσάλων 2,5 m)

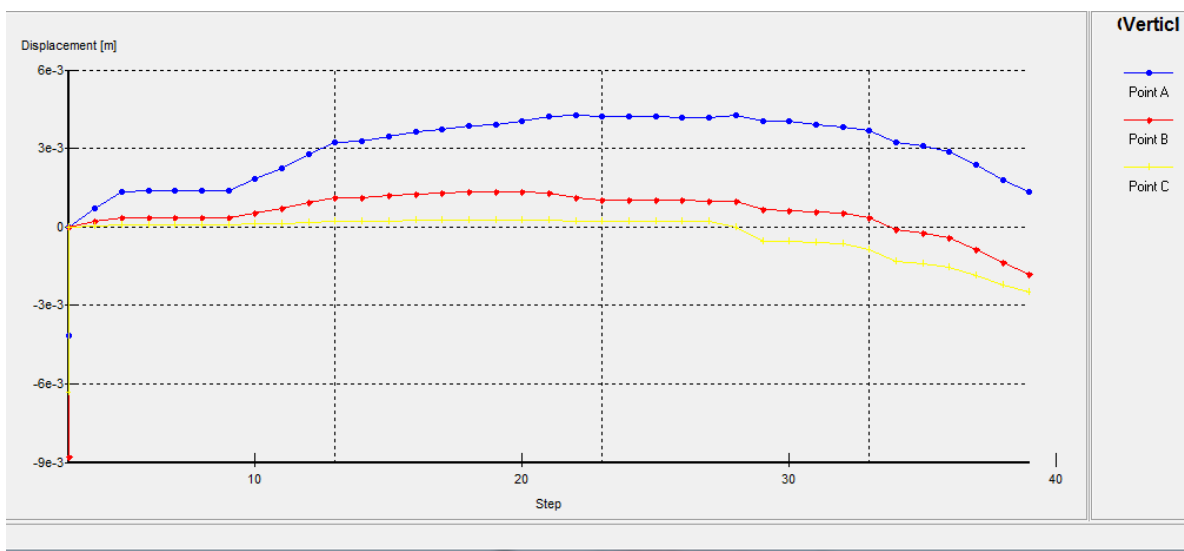


Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο (απόσταση πασσάλων 2m) .

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο (απόσταση πασσάλων 1,5 m) .

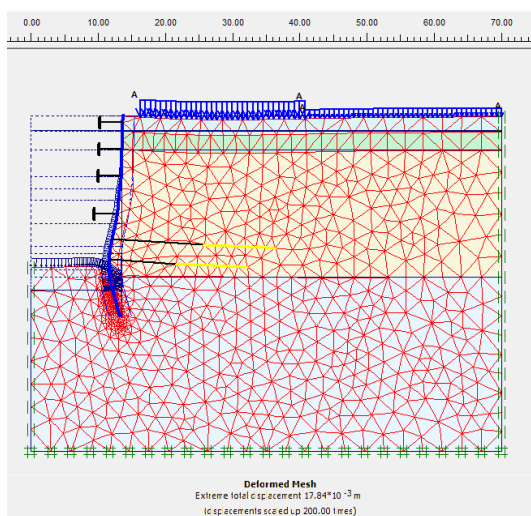
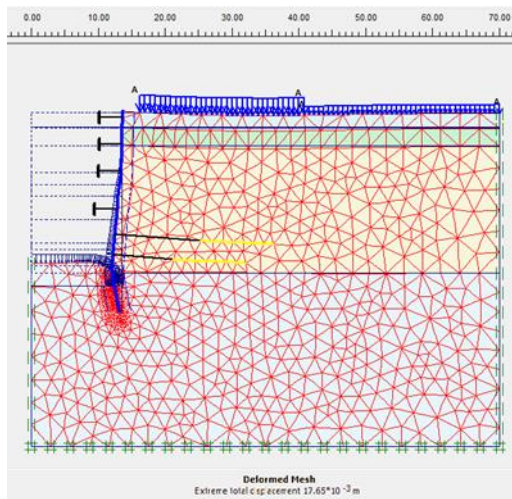
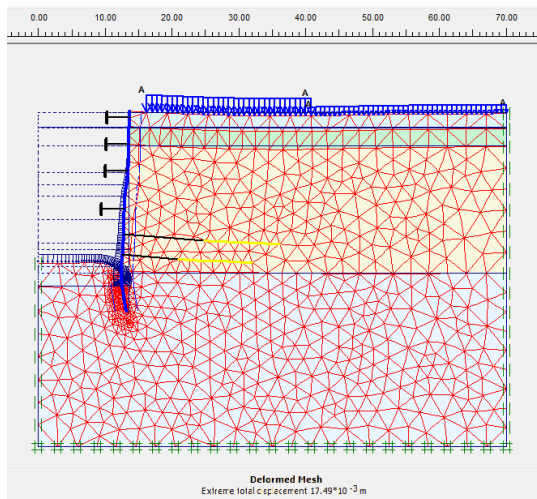


Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο (απόσταση πασσάλων 1m) .

Παράρτημα 2

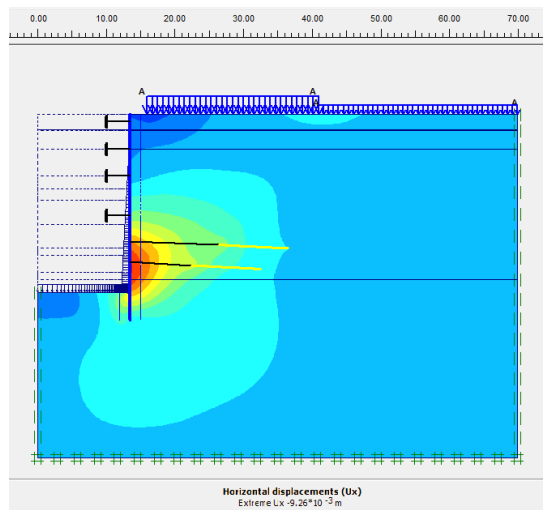
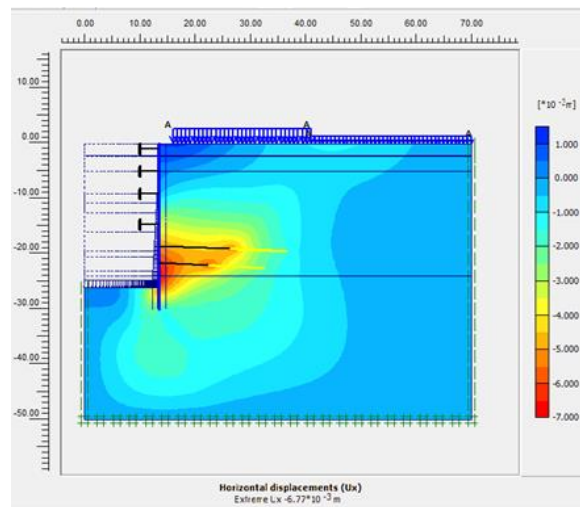
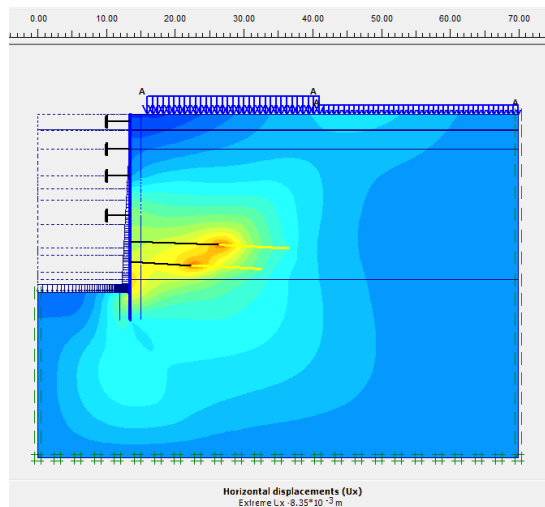
2^η Παραμετρική Ανάλυση

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



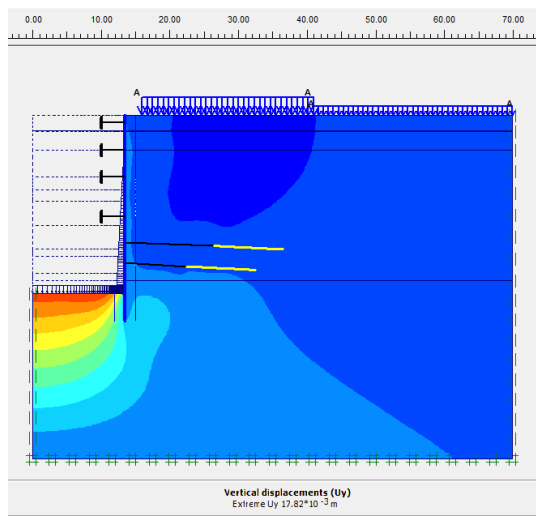
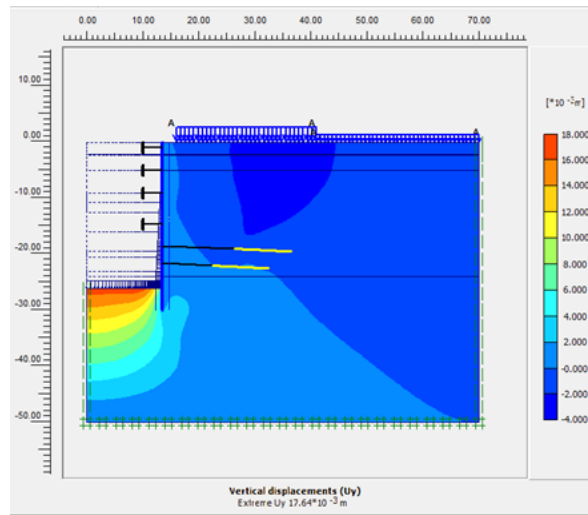
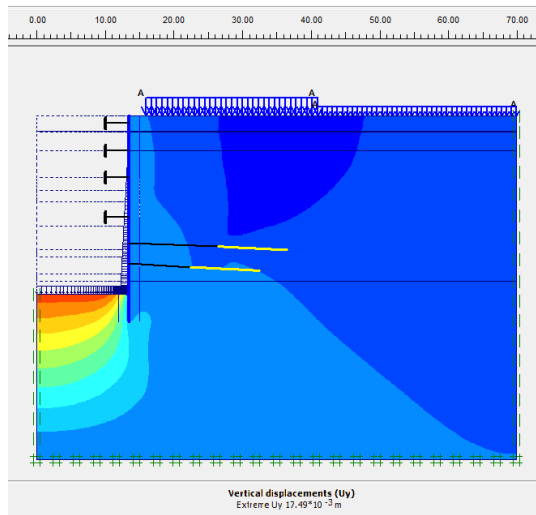
Συνολικές μετακινήσεις εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για 600 kN, 400 kN και 200 kN.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΤΗΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

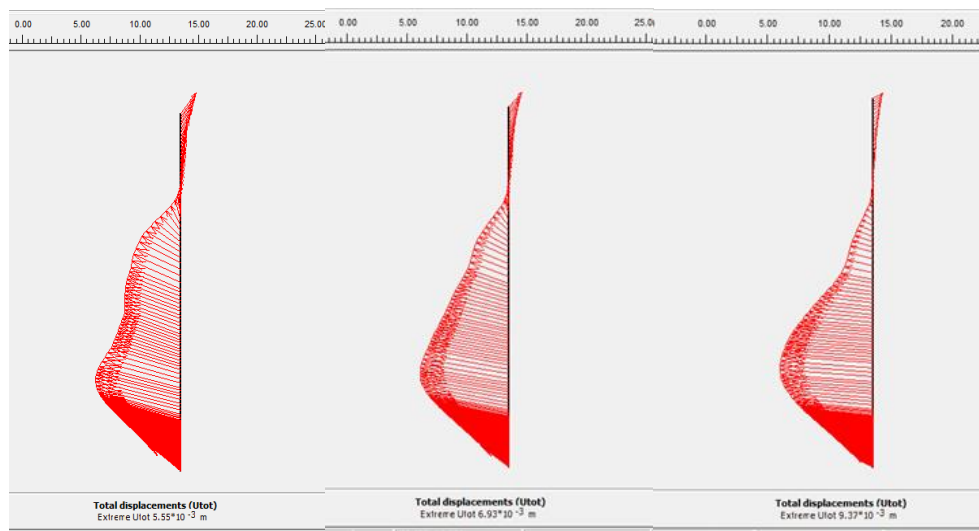


Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για 600 kN, 400 kN και 200 kN.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

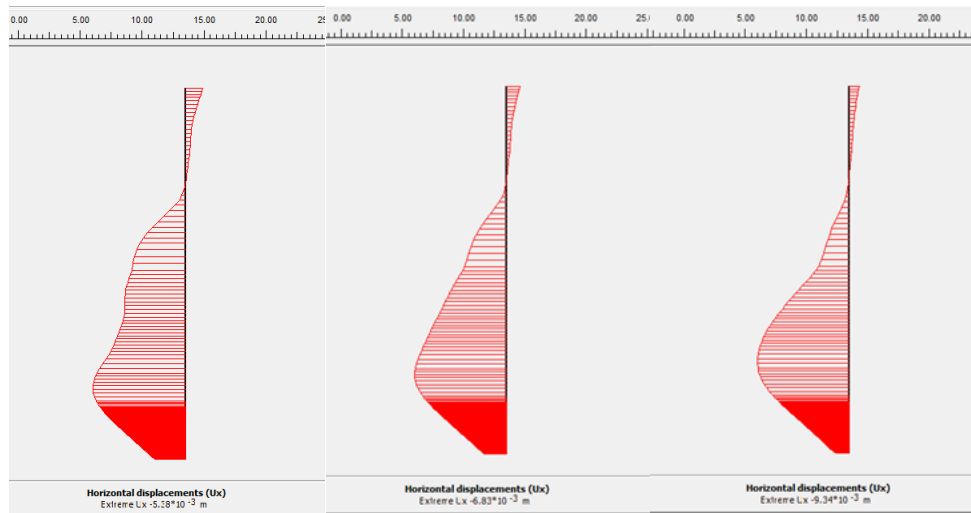


Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για 600 kN, 400 kN και 200 kN.

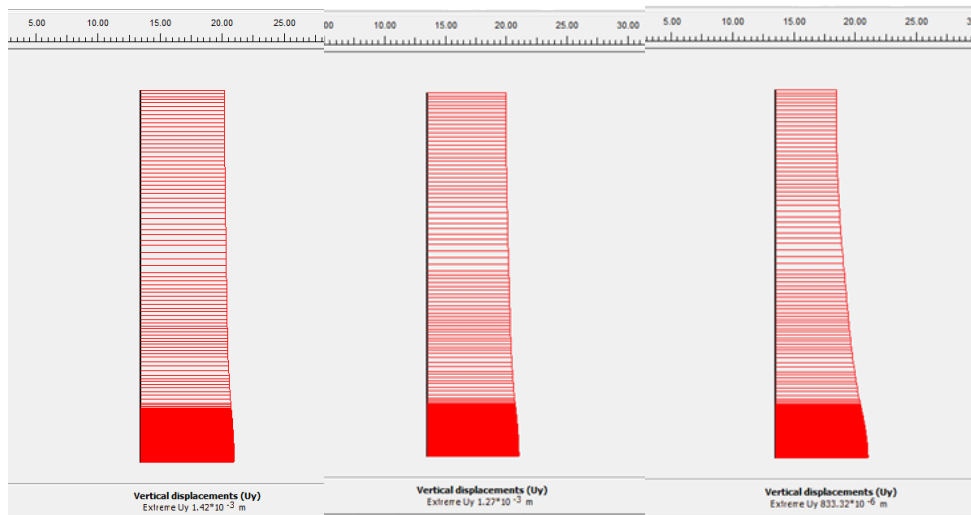


Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για 600 kN, 400 kN και 200 kN

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

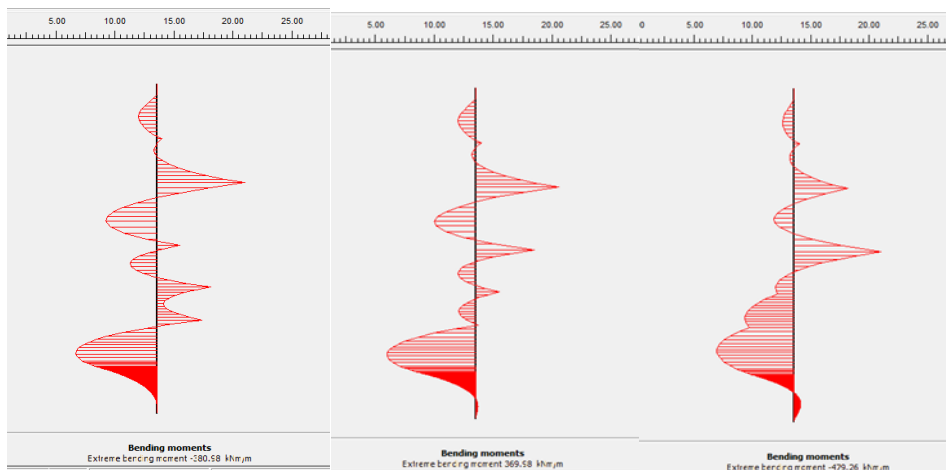


Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για 600 kN, 400 kN και 200 kN

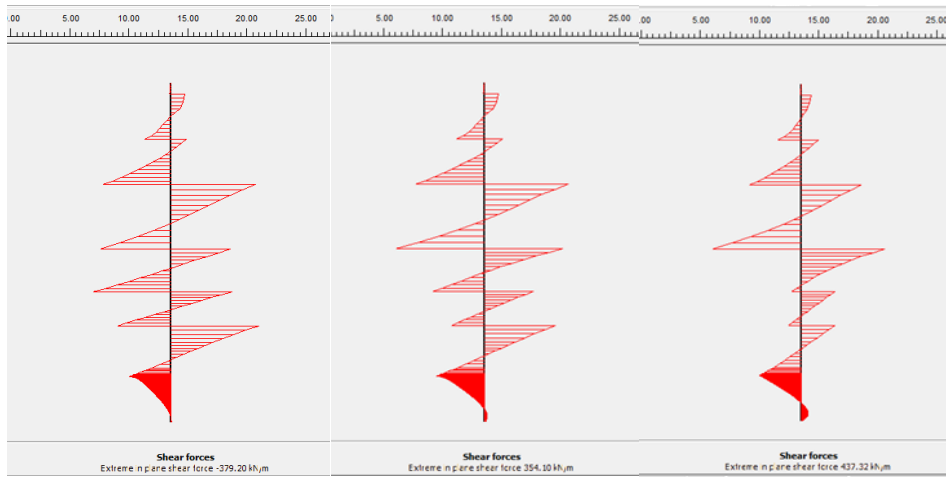


Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για 600 kN, 400 kN και 200 kN

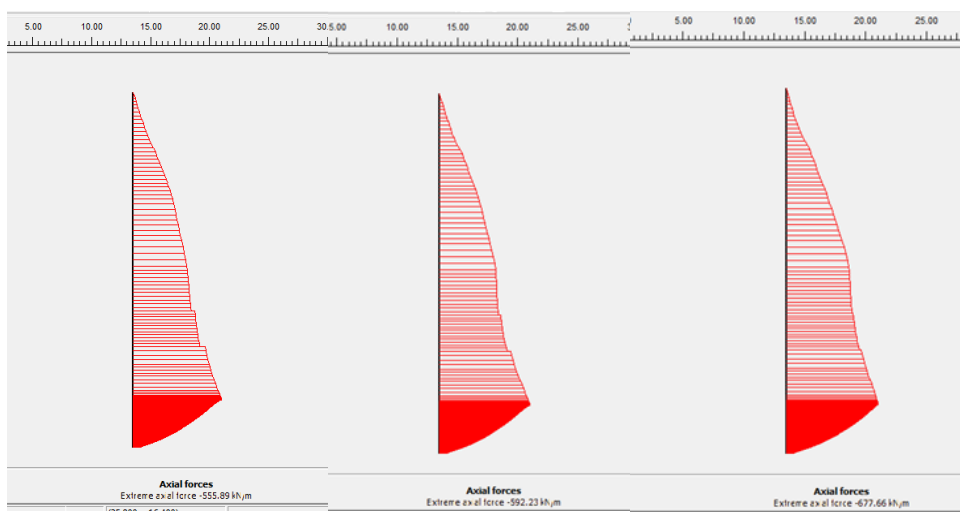
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Συνολικές καμπτικές ροπές των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για 600 kN, 400 kN και 200 kN

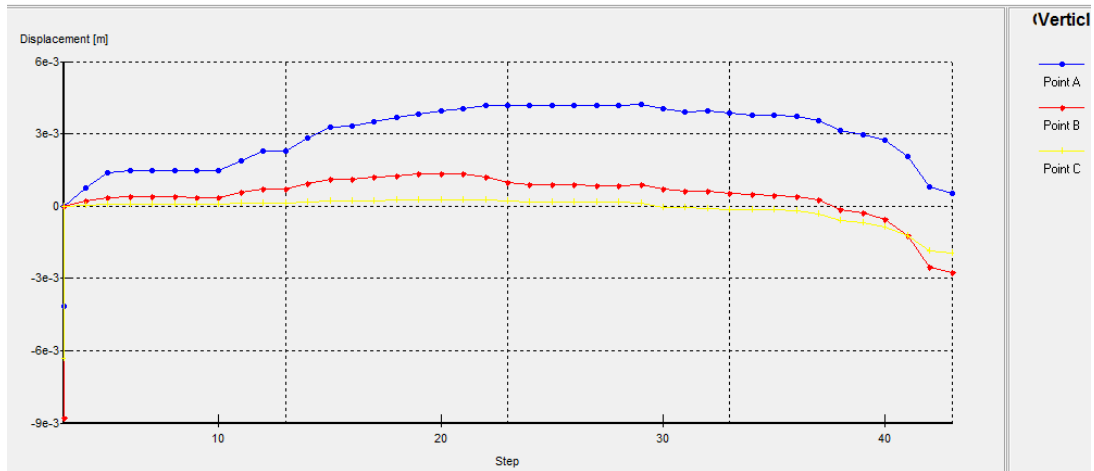


Συνολικές διατμητικές δυνάμεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για 600 kN, 400 kN και 200 kN

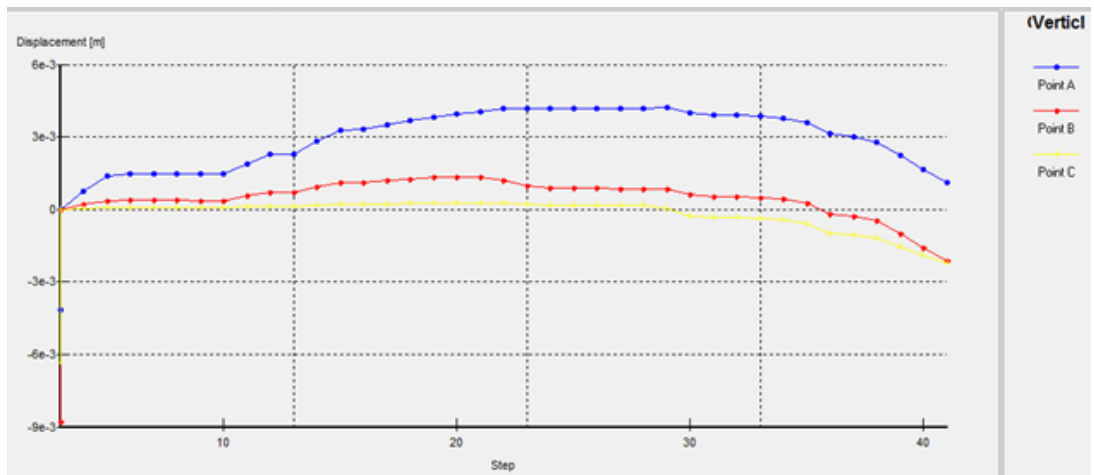


Συνολικές αξονικές δυνάμεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για 600 kN, 400 kN και 200 kN

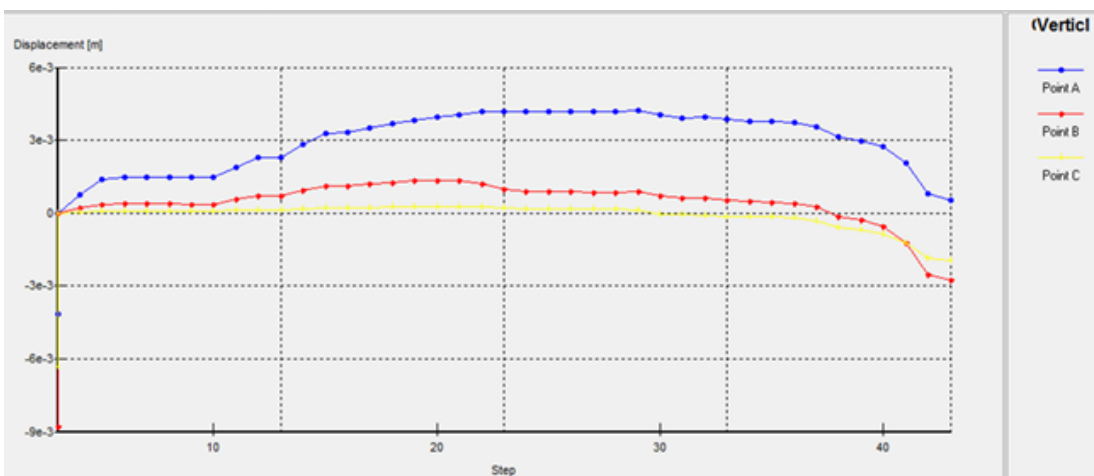
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της δύναμης προέντασης ($F_p=600$ kN) .



Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της δύναμης προέντασης ($F_p=400$ kN) .

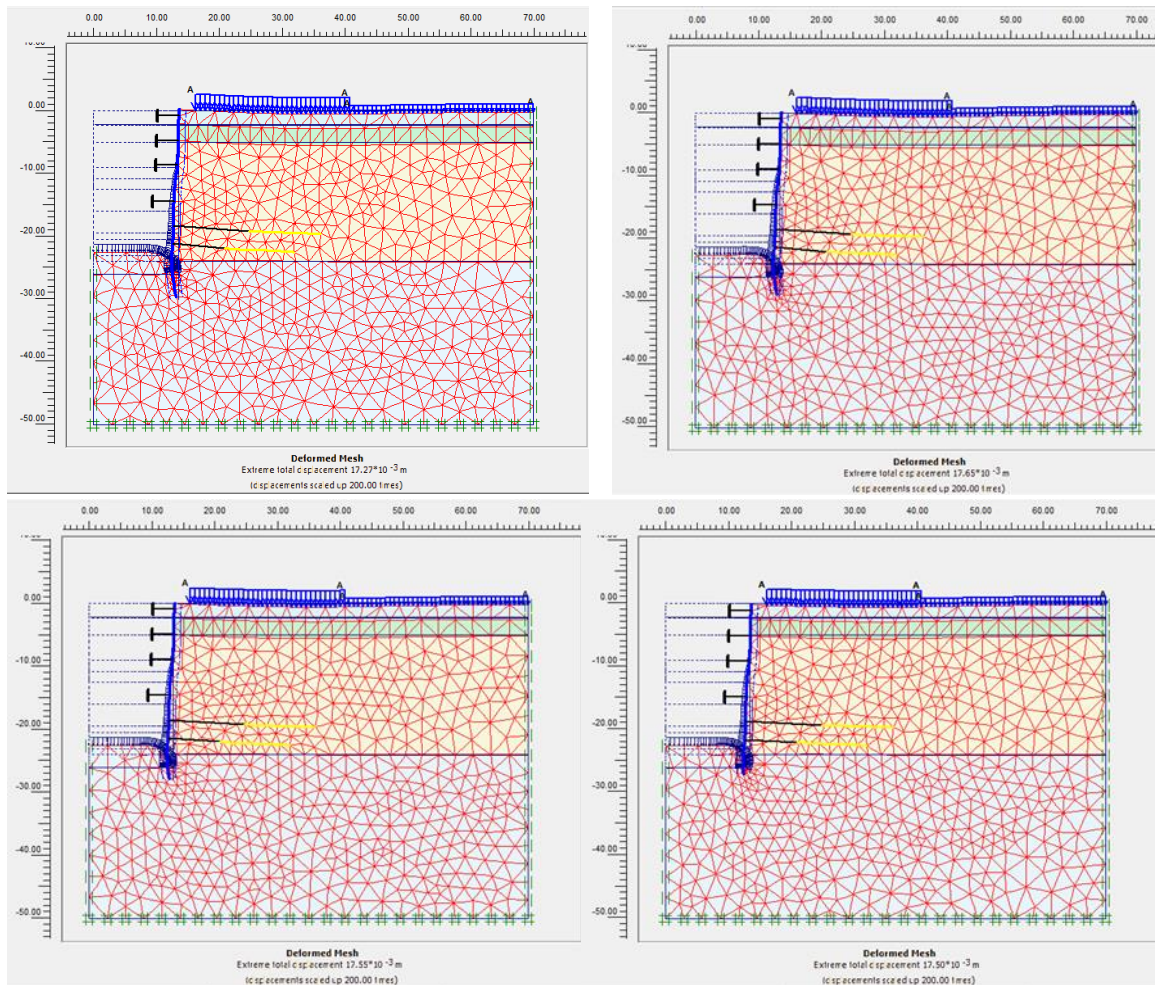


Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της δύναμης προέντασης ($F_p=200$ kN) .

Παράρτημα 3

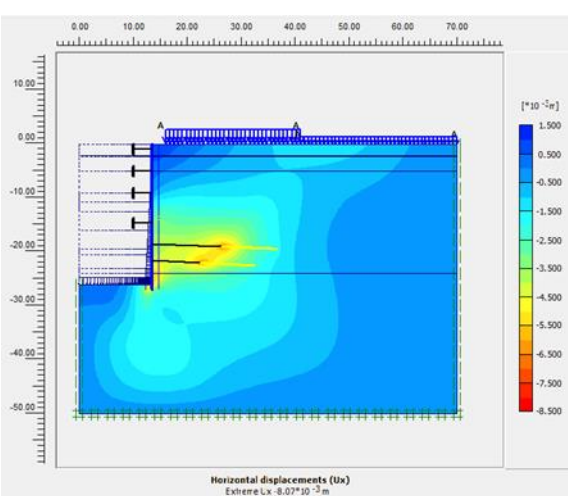
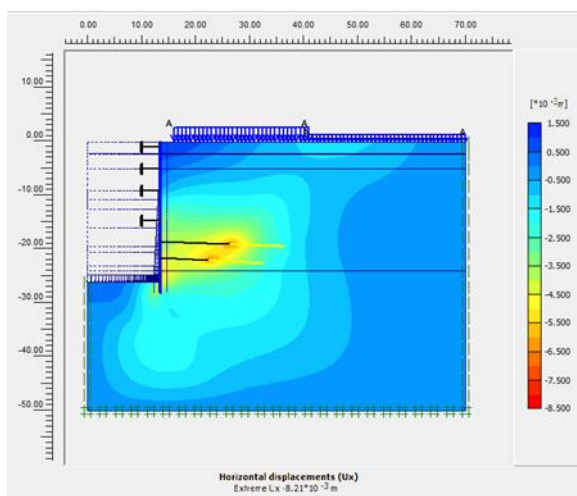
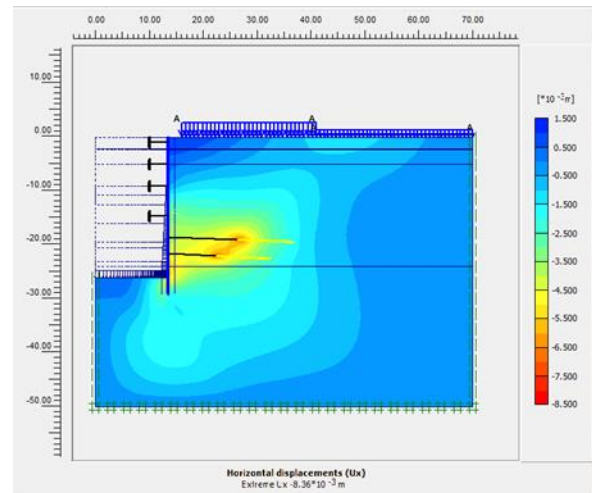
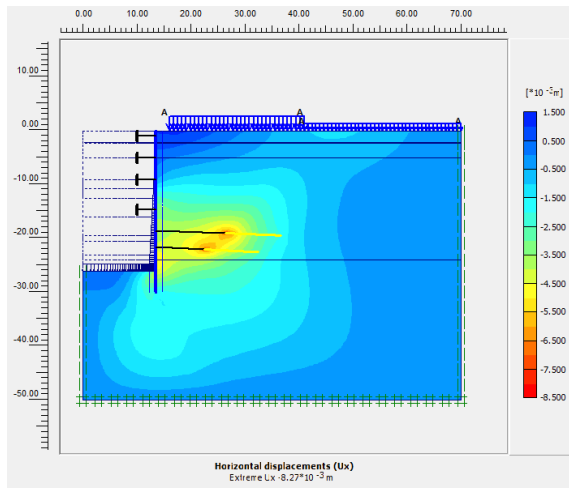
3^η Παραμετρική Ανάλυση

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



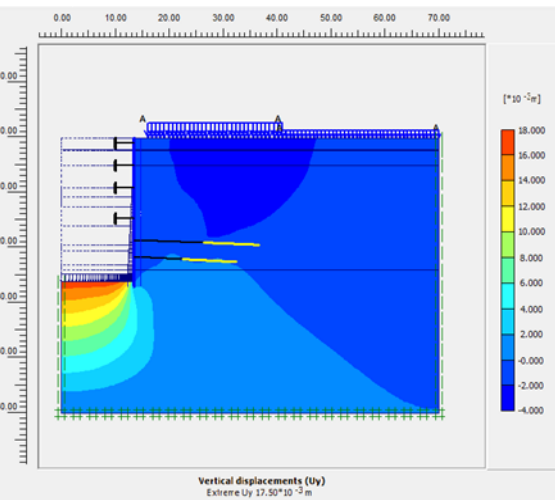
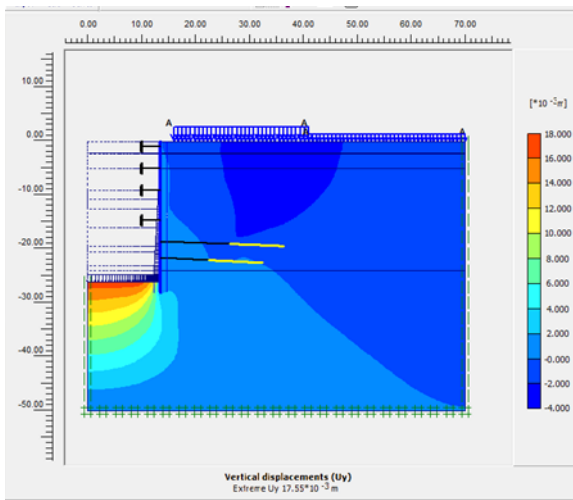
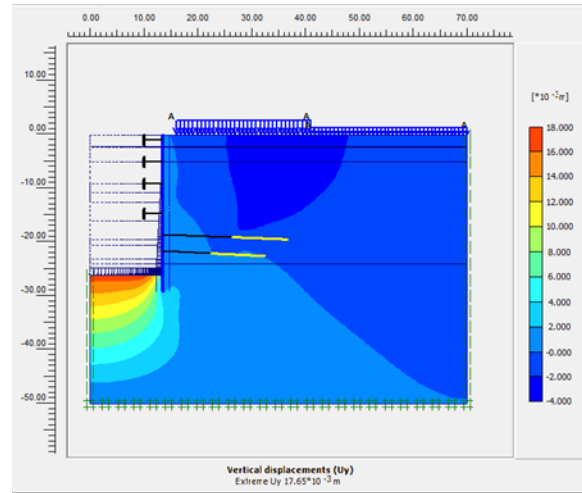
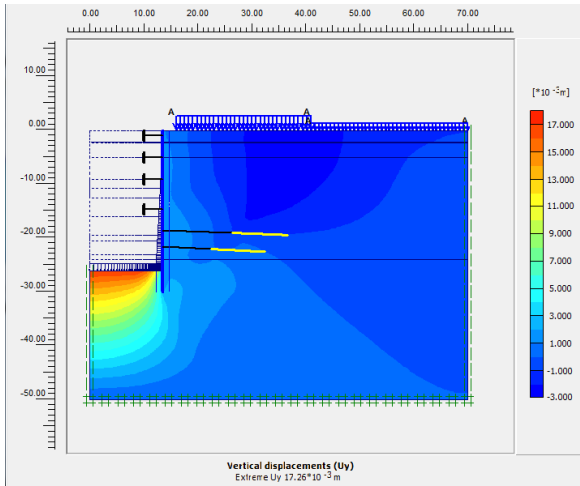
Συνολικές μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για μήκος έμπηξης +4 m, +3 m, +2 m, +1 μαντίστια

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

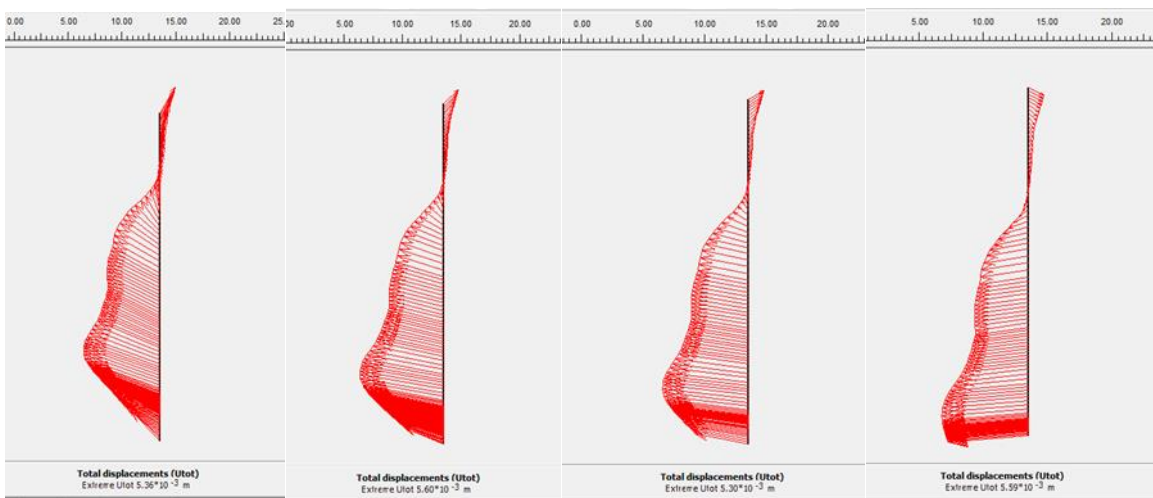


Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για μήκος έμπτυξης +4 m, +3 m, +2 m, +1 m αντίστοιχα

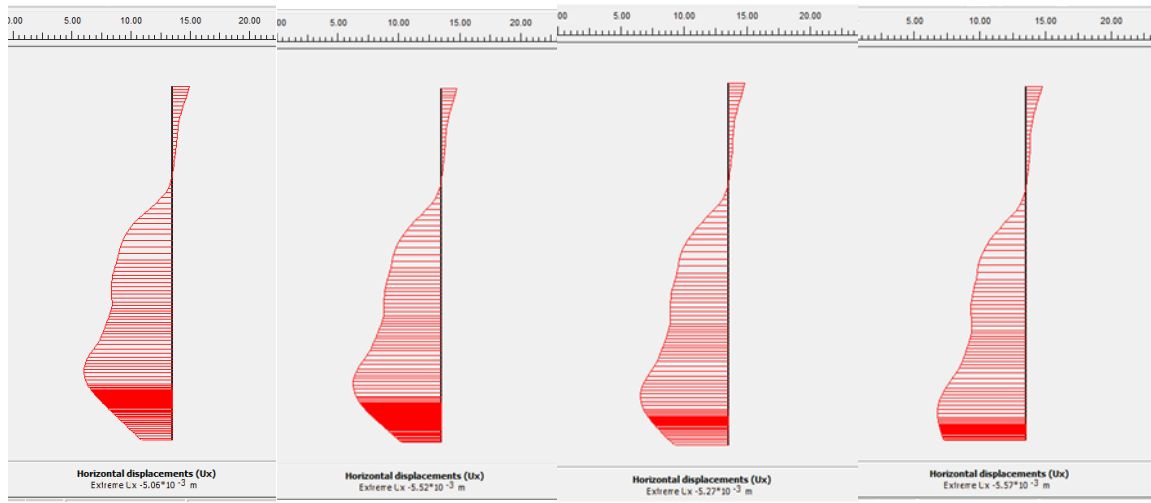
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



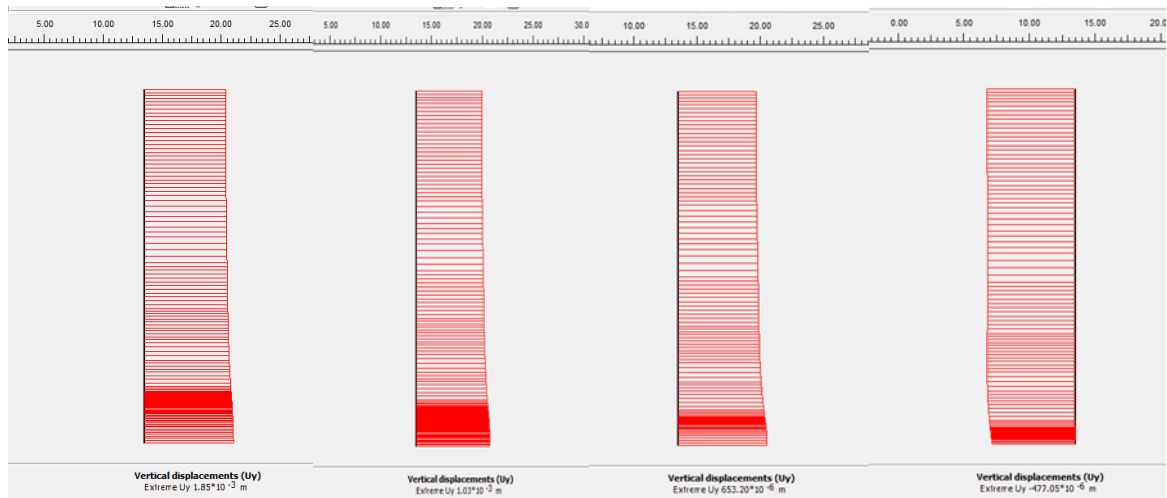
Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για μήκος έμπτυξης +4 m, +3 m, +2 m, +1 m αντίστοιχα



Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για μήκος έμπτυξης +4 m, +3 m, +2 m, +1 m αντίστοιχα

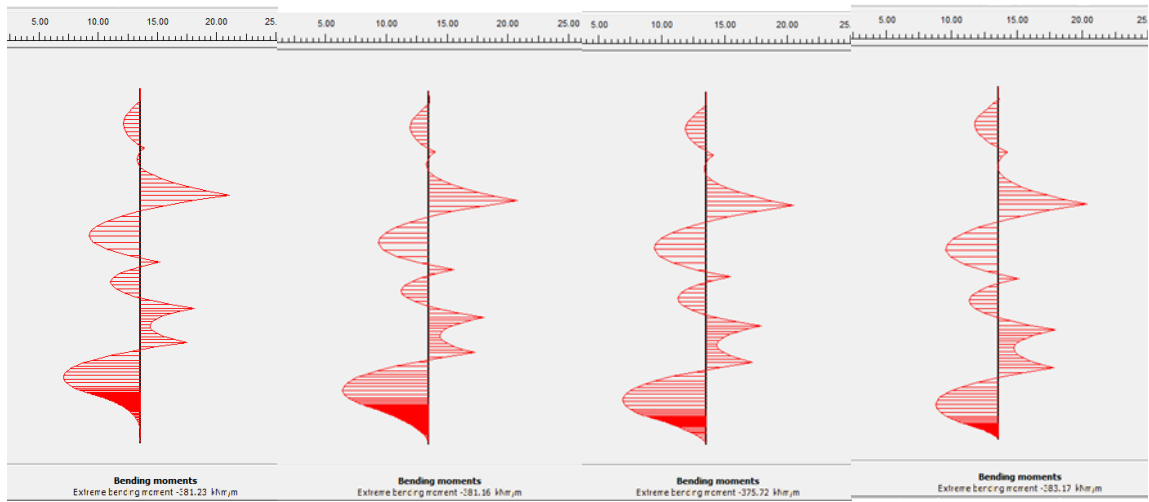


Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για μήκος έμπτυξης +4 m, +3 m, +2 m, +1 m αντίστοιχα

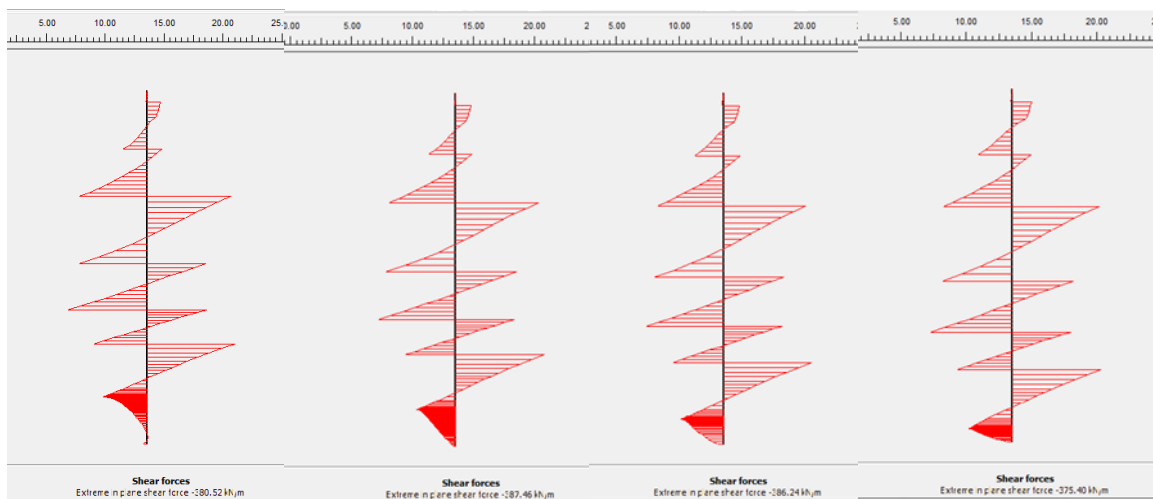


Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για μήκος έμπτυξης +4 m, +3 m, +2 m, +1 m αντίστοιχα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

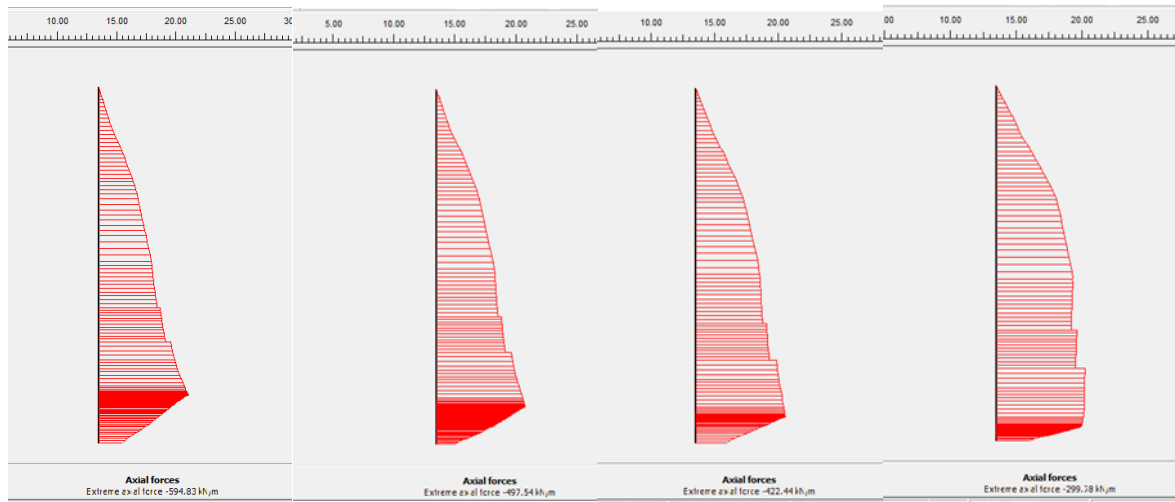


Συνολικές καμπτικές ροπές των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για μήκος έμπηξης +4 m, +3 m, +2 m, +1 m αντίστοιχα

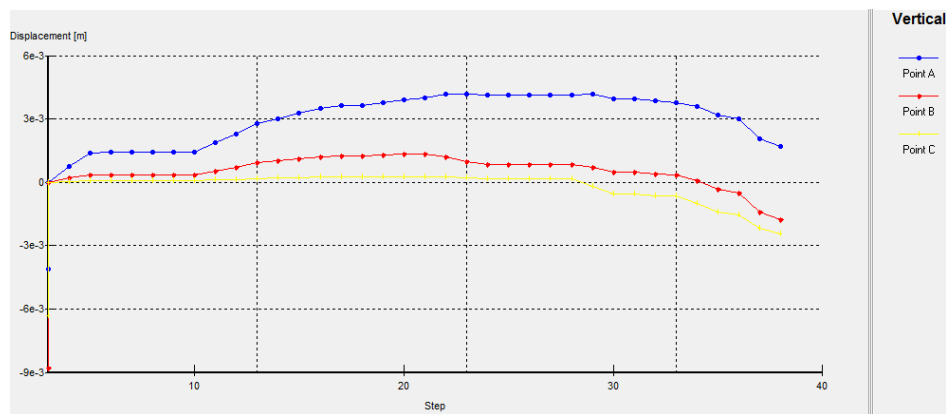


Συνολικές διατμητικές δυνάμεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για μήκος έμπηξης +4 m, +3 m, +2 m, +1 m αντίστοιχα

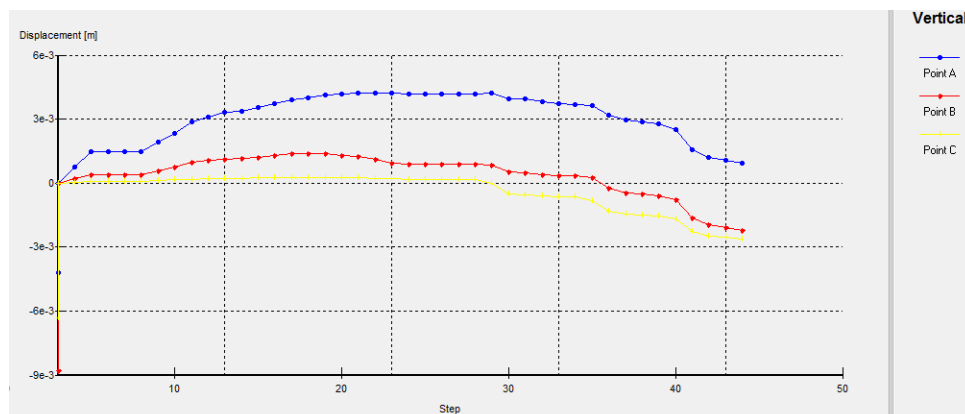
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Συνολικές αξονικές δυνάμεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για μήκος έμπηξης +4 m, +3 m, +2 m, +1 m αντίστοιχα

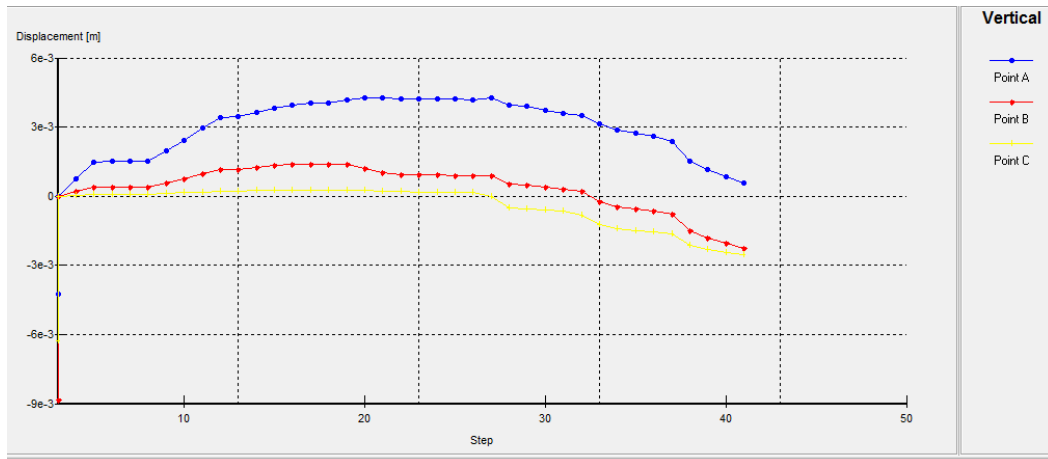


Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο (μήκος έμπηξης πασσάλων +4m)

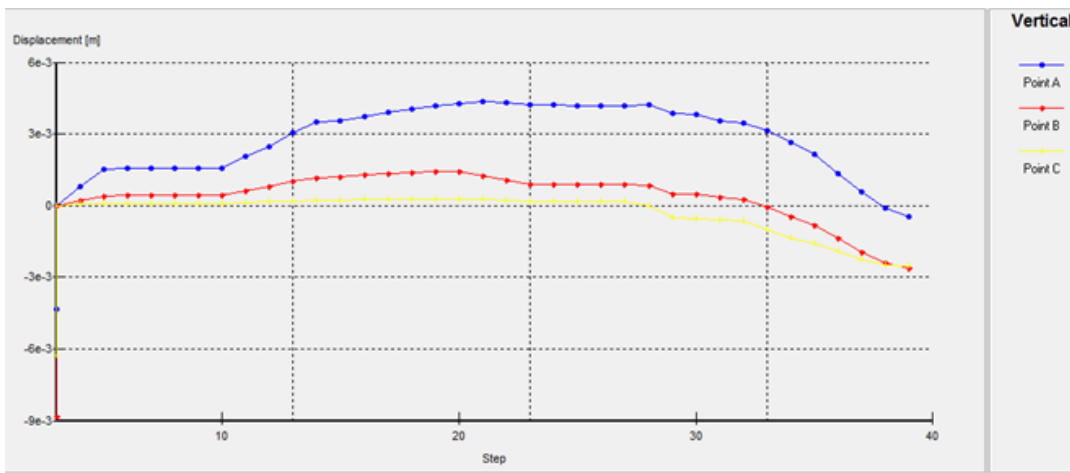


Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο (μήκος έμπηξης πασσάλων +3 m)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο (μήκος έμπιξης πασσάλων +2m)

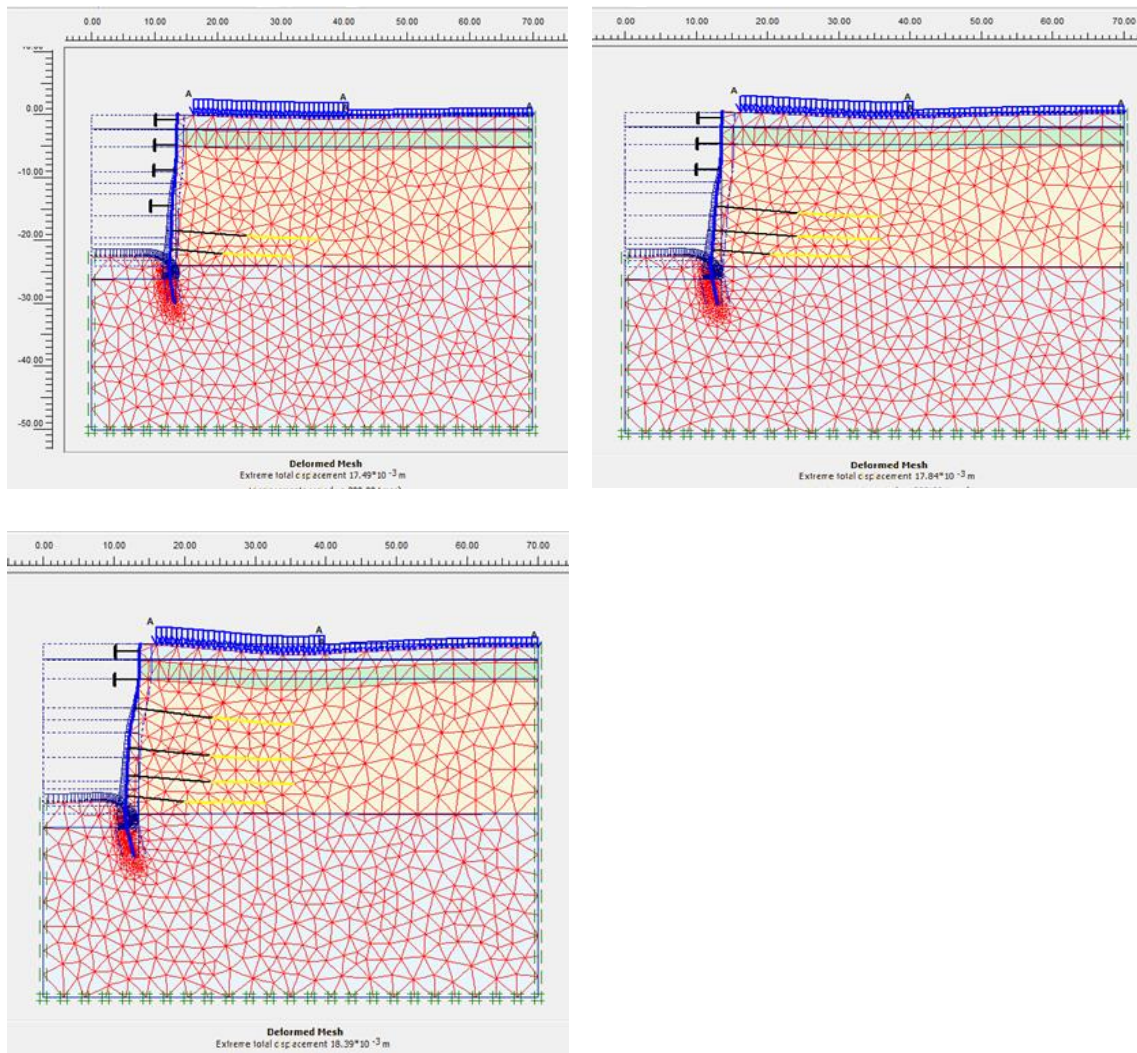


Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο (μήκος έμπιξης πασσάλων +1m)

Παράρτημα 4

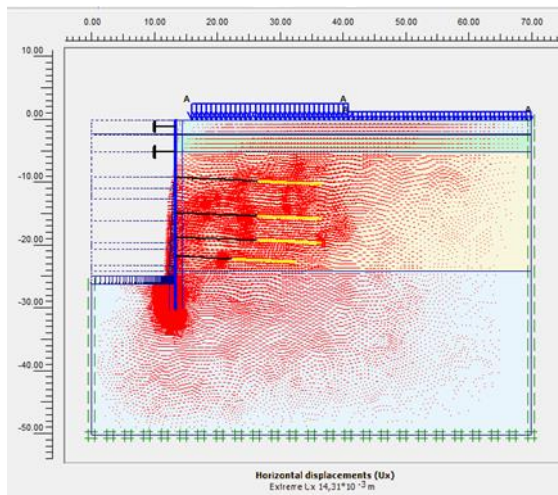
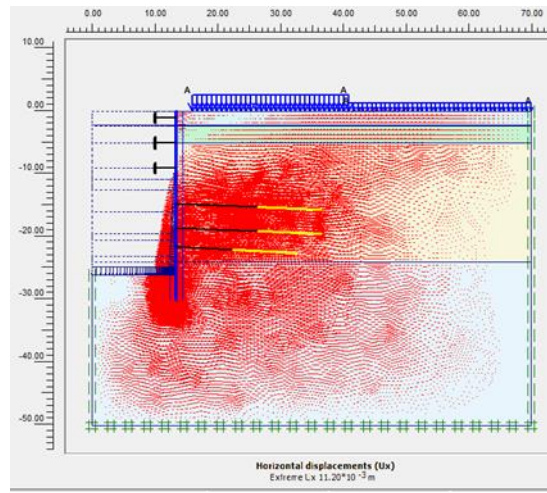
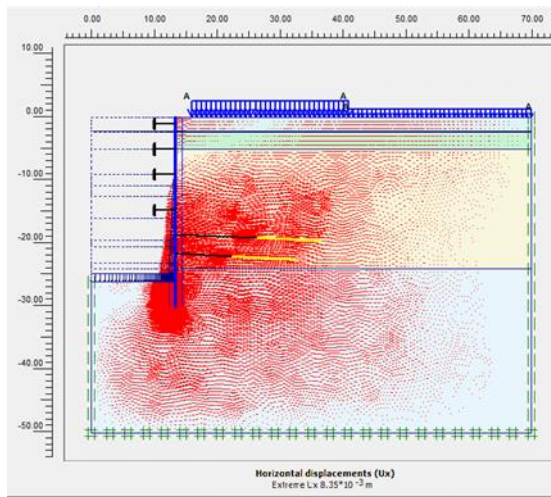
4^η Παραμετρική Ανάλυση

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



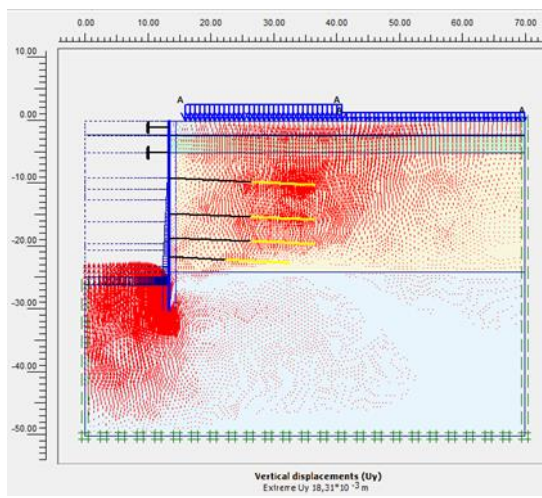
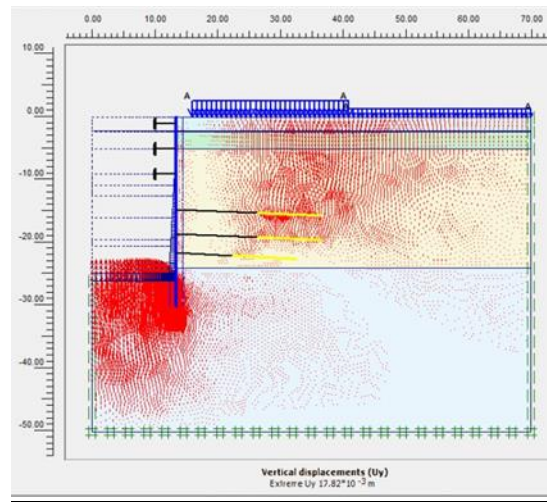
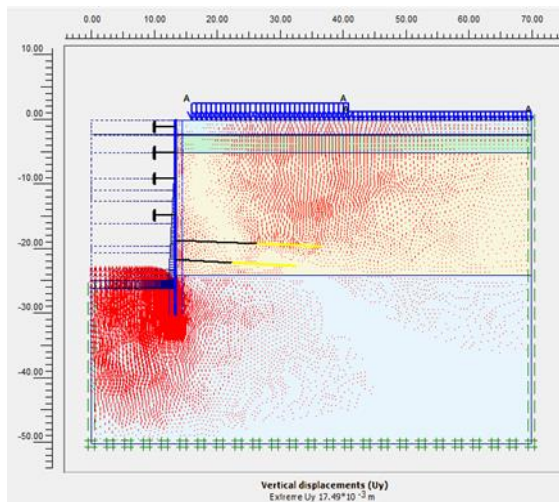
Συνολικές μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για προσωρινή υποστήριξη με τέσσερις αντηρίδες – δύο σειρές αγκυρίων, τρεις αντηρίδες-τρεις σειρές αγκυρίων, δύο αντηρίδες- τέσσερις σειρές αγκυρίων αντίστοιχα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



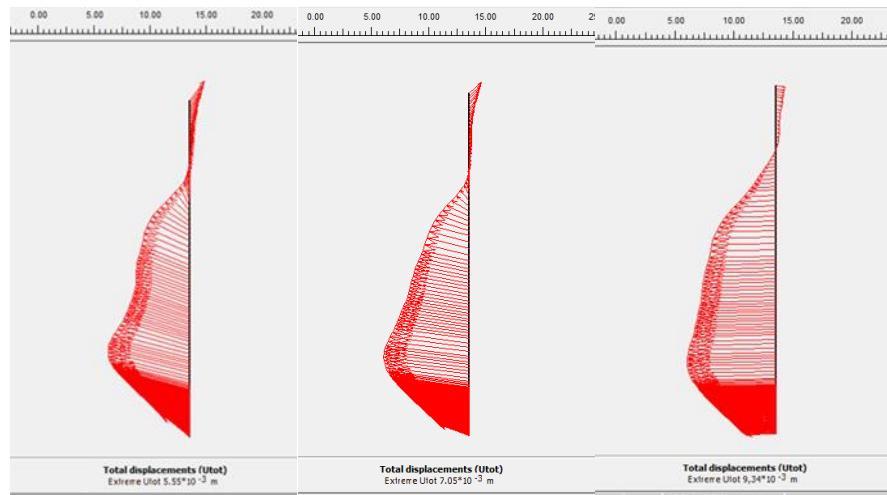
Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για προσωρινή υποστήριξη με τέσσερις αντηρίδες – δύο σειρές αγκυρίων, τρεις αντηρίδες-τρεις σειρές αγκυρίων, δύο αντηρίδες- τέσσερις σειρές αγκυρίων αντίστοιχα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ

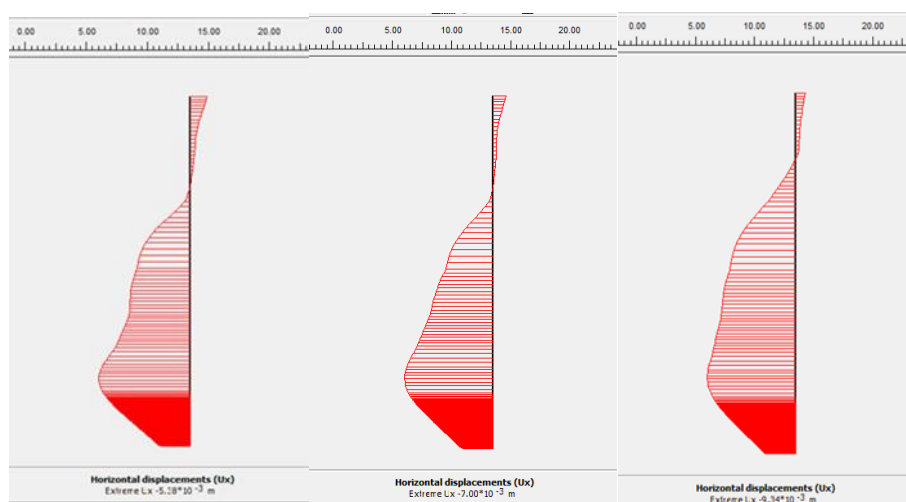


Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για προσωρινή υποστήριξη με τέσσερις αντηρίδες – δύο σειρές αγκυρίων, τρεις αντηρίδες - τρεις σειρές αγκυρίων, δύο αντηρίδες - τέσσερις σειρές αγκυρίων αντίστοιχα

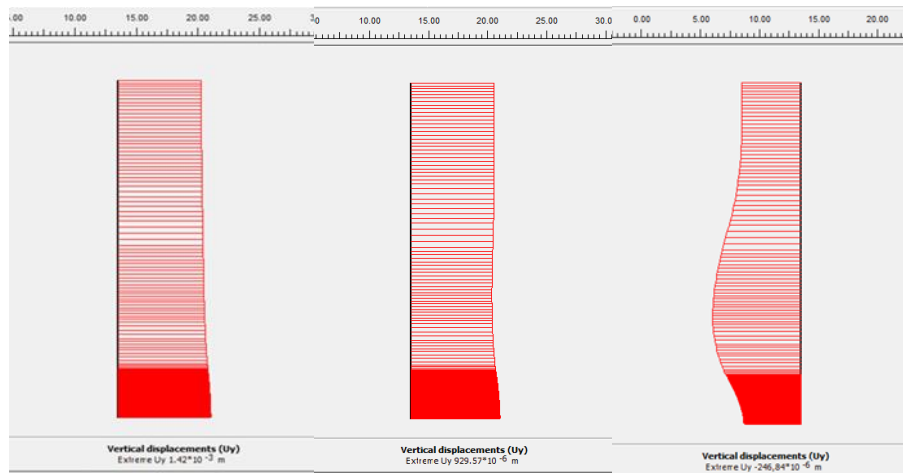
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



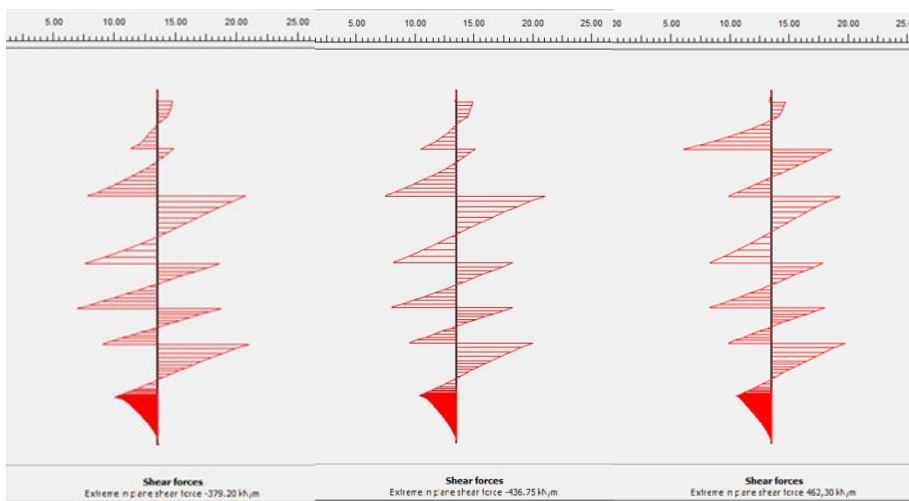
Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για προσωρινή υποστήριξη με τέσσερις αντηρίδες – δύο σειρές αγκυρίων, τρεις αντηρίδες - τρεις σειρές αγκυρίων, δύο αντηρίδες - τέσσερις σειρές αγκυρίων αντίστοιχα



Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για προσωρινή υποστήριξη με τέσσερις αντηρίδες – δύο σειρές αγκυρίων, τρεις αντηρίδες - τρεις σειρές αγκυρίων, δύο αντηρίδες - τέσσερις σειρές αγκυρίων αντίστοιχα



Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για προσωρινή υποστήριξη με τέσσερις αντηρίδες – δύο σειρές αγκυριών, τρεις αντηρίδες - τρεις σειρές αγκυριών, δύο αντηρίδες - τέσσερις σειρές αγκυριών αντίστοιχα



Συνολικές διατμητικές δυνάμεις των πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) για προσωρινή υποστήριξη με τέσσερις αντηρίδες – δύο σειρές αγκυριών, τρεις αντηρίδες - τρεις σειρές αγκυριών, δύο αντηρίδες - τέσσερις σειρές αγκυριών αντίστοιχα