



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης
βαθείας εκσκαφής με φρεατοπασσάλους
και προεντεταμένες αγκυρώσεις.
Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη»
του Μετρό Αθήνας.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

Επιβλέπων: ΛΟΥΠΙΑΣΑΚΗΣ Κ.

ΑΘΗΝΑ, 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με
φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή
στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

Επιβλέπων: ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ Κ.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις :

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επίκουρος καθηγητής του Ε.Μ.Π

Νομικός Παύλος, Επίκουρος καθηγητής του Ε.Μ.Π

Ροντογιάννη Θεοδώρα, Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, 2017

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	3
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	9
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	10
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	11
ABSTRACT	12
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	13
1. ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ.....	14
1.1 Η εταιρεία.....	14
1.2 Έργα σε λειτουργία	16
1.2.1 Το Βασικό Έργο	16
1.2.2 Η Γραμμή 2	18
1.3 Έργα σε εξέλιξη και η νέα γραμμή 4.....	20
1.3.1 Επέκταση γραμμής 3 προς Πειραιά.....	20
1.3.2 Η Γραμμή 4	22
1.4 Τ.Β.Μ.	23
1.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής.....	23
1.4.2 Μηχάνημα διάτρησης σηράγγων.....	24
1.5. Χρηματοδότηση έργου	26
1.6 Σταθμός Ανθούπολη.....	29
2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΟΡΥΧΕΙΑ ΛΙΓΝΙΤΗ	31
2.1 Ιστορία του Δήμου	31
2.1.1 Λατομεία – Ορυχεία Λιγνίτη.....	33
2.1.2 Ο τρόπος εκμετάλλευσης του λιγνίτη.....	36
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	37
3.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας.....	37
3.1.1. Περιοχή του σταθμού	40
3.2 Υδρογεωλογικά Στοιχεία.....	42
4. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ..	43
4.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών	44
4.2 Υδροπερατότητα Σχηματισμών	46
4.2.1 Οι δοκιμές υδροπερατότητας Lugeon, Maag και Lefranc.....	47

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

4.2.2 Δοκιμές υδροπερατότητας παλαιών γεωτρήσεων(στην περιοχή του έργου)	50
4.3 Γεωτεχνικές τομές υπολογισμού – τιμές σχεδιασμού γεωτεχνικών παραμέτρων	52
4.4 Γεωτεχνικές παράμετροι των σχηματισμών	56
5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ..	58
5.1 Γενικά	58
5.2 Ανάλυση προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού	59
5.3 Φάσεις εκσκαφής	61
5.4 Παρακολούθηση της κατασκευής	61
6. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ PLAXIS 2D ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΡΟ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ»	63
6.1 Το λογισμικό PLAXIS	63
6.2 Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων στο PLAXIS	64
6.2.1 Καταστατικοί νόμοι για την περιγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους	67
6.3 Εισαγωγή δεδομένων – Plaxis Input	69
6.3.1 Εισαγωγή “General Settings”	70
6.3.2 Βασικό παράθυρο Σχεδιασμού – Εισαγωγή γεωμετρίας	71
6.3.3 Καθορισμός ιδιοτήτων	74
6.4 Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης	89
6.5 Αρχικές συνθήκες	90
6.6 Εκτέλεση υπολογισμών – Plaxis Calculations	92
6.7 Εξαγωγή αποτελεσμάτων – Plaxis Output	96
6.8 Εξαγωγή διαγραμμάτων – Plaxis Curves	103
6.9 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	107
7. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	108
7.1. 1 ^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων	110
7.2 2 ^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων	118
7.3 3 ^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων	122
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	133
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	138
Παράρτημα Ι	141
Παράρτημα ΙΙ	147
Παράρτημα ΙΙΙ	156

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:Γραμμές Μετρό της Αθήνας	16
Εικόνα 2:Τ.Β.Μ.	25
Εικόνα 3:Σταθμός Μετρό	26
Εικόνα 4:Σταθμός Ανθούπολης.....	29
Εικόνα 5:Χάρτης σταθμού Ανθούπολης	31
Εικόνα 6:Περιοχές της Αθήνας	32
Εικόνα 7:Χάρτης ορυχείου	34
Εικόνα 8:Χάρτης εκμετάλλευσης.....	36
Εικόνα 9:Γεωλογικός χάρτης Αττικής(Ι.Γ.Μ.Ε., 1978)	39
Εικόνα 10:Γεωλογία της περιοχής Ανθούπολης(Παναγία, 2007)	41
Εικόνα 11:Δημιουργία πετρωμάτων.....	44
Εικόνα 13:Θέσεις γεωτρήσεων(Παναγία, 2007)	46
Εικόνα 14:Δοκιμή ΜΑΑG(ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ 2015)	47
Εικόνα 15:Δοκιμή LEFRANC(ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ 2015)	48
Εικόνα 16:Δοκιμή LUGEON(ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ 2015)	49
Εικόνα 17:Κάτοψη του σταθμού (ΟΤΜ ΑΤΕ , 2007).....	52
Εικόνα 18:Γεωτεχνική τομή Π1(Παναγία, 2007).....	53
Εικόνα 19:Γεωτεχνική τομή Π2(Παναγία, 2007).....	54
Εικόνα 20:Γεωτεχνική τομή Π3(Παναγία, 2007).....	55
Εικόνα 21:Γεωλογικό υπόβαθρο προσομοίωσης(Παναγία, 2007)	56
Εικόνα 27:Κάναβος PLAXIS	64
Εικόνα 28: Παράδειγμα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση (αριστερά) και διδιάστατου αξονοσυμμετρικού προσομοιώματος(δεξιά) (Plaxis, 2009).....	65
Εικόνα 29: Μοντέλο Mohr-Coulomb	67
Εικόνα 30:Μοντέλο Hardening soil	68
Εικόνα 31:Καρτέλα εισαγωγής γενικών στοιχείων (general settings)	70
Εικόνα 32:Καρτέλα εισαγωγής γενικά στοιχεία – διαστάσεις (general settings-dimensions) ..	71
Εικόνα 33:Στοιχεία γεωμετρίας.....	72
Εικόνα 34:Προσομοίωμα εκσκαφής.....	73
Εικόνα 35:Καθορισμός μηχανικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών	74
Εικόνα 36:Εισαγωγή δεδομένων γεωλογικών σχηματισμών (1).....	76
Εικόνα 37: Εισαγωγή δεδομένων γεωλογικών σχηματισμών (2).....	77
Εικόνα 38: Εισαγωγή δεδομένων γεωλογικών σχηματισμών (3).....	78
Εικόνα 39:Εισαγωγή ιδιοτήτων διαφραγματικού τοίχου	80
Εικόνα 40:Εισαγωγή ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίου (1)	82
Εικόνα 41: Εισαγωγή ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίου (2)	83
Εικόνα 42: Εισαγωγή ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίου (3)	83
Εικόνα 43:Καθορισμός των ιδιοτήτων των αγκυρίων (1)	85
Εικόνα 44: Καθορισμός των ιδιοτήτων των αγκυρίων (2)	86
Εικόνα 45: Καθορισμός των ιδιοτήτων των αγκυρίων (3)	86
Εικόνα 46:Καθορισμός των ιδιοτήτων των αντηρίδων (1)	87
Εικόνα 47: Καθορισμός των ιδιοτήτων των αντηρίδων (2)	88
Εικόνα 48:Κάναβος προσομοιώματος.....	90
Εικόνα 49:Γεωστατικές τάσεις.....	91
Εικόνα 50: κατανομή των γεωστατικών τάσεων.....	92
Εικόνα 51:Υπολογισμός προσομοιώματος.....	93
Εικόνα 52:Εισαγωγή δεδομένων για τους υπολογισμούς	95
Εικόνα 53:Εκτέλεση υπολογισμών	96
Εικόνα 54:Συνολικές μετακινήσεις (1).....	97

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Εικόνα 55: Συνολικές μετακινήσεις (2).....	97
Εικόνα 56:Οριζόντιες μετακινήσεις	98
Εικόνα 57:Κατακόρυφες μετακινήσεις	98
Εικόνα 58:Περιοριστικές τιμές παραμορφώσεων	99
Εικόνα 59:Συνολικές μετακινήσεις τοίχου.....	100
Εικόνα 60:Κατακόρυφες μετακινήσεις τοίχου	101
Εικόνα 61:Οριζόντιες μετακινήσεις τοίχου.....	101
Εικόνα 62:Διατμητικές δυνάμεις τοίχου	102
Εικόνα 63:Αξονικές δυνάμεις.....	102
Εικόνα 64:Κάμψη τοίχου	103
Εικόνα 65:Δημιουργία διαγράμματος	104
Εικόνα 66:Επιλογή σημείων υπολογισμού.....	105
Εικόνα 67:Οριζόντιες μετακινήσεις	105
Εικόνα 68:Κατακόρυφες μετακινήσεις	106
Εικόνα 69:Οριζόντιες μετακινήσεις ανάλυσης 1.1.....	111
Εικόνα 70 :Οριζόντιες μετακινήσεις ανάλυσης 1.3.....	111
Εικόνα 71:Κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 1,3.....	112
Εικόνα 72: Κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 1,3.....	112
Εικόνα 73:Σημεία ανάλυσης	113
Εικόνα 74:Σημεία επιλογής ανάλυσης	126
Εικόνα 75:Κατακόρυφη μετακίνηση σημείου G (μπλε-3,1 , κοκκινο-3,2).....	127
Εικόνα 76:Σημεία ανάλυσης	130
Εικόνα 77: Κατακόρυφη μετακίνηση σημείου G (μπλε-3,3 , κοκκινο-3,4).....	132
Εικόνα 78:Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής με δύο αντηρίδες –πέντε σειρές αγκυρίων, τρεις αντηρίδες - τεσσέρις σειρές αγκυρίων	141
Εικόνα 79: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής με επτά σειρές αγκυρίων αντίστοιχα	141
Εικόνα 80: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για προσωρινή υποστήριξη με δύο αντηρίδες –πέντε σειρές αγκυρίων.....	142
Εικόνα 81: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής με τρεις αντηρίδες – τεσσέρις σειρές αγκυρίων.....	142
Εικόνα 82: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής με επτά σειρές αγκυρίων	143
Εικόνα 83: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για προσωρινή υποστήριξη με δύο αντηρίδες –πέντε σειρές αγκυρίων.....	143
Εικόνα 84: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για προσωρινή υποστήριξη τρεις αντηρίδες - τεσσέρις σειρές αγκυρίων	144
Εικόνα 85: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για προσωρινή υποστήριξη με επτά σειρές αγκυρίων.....	144
Εικόνα 86: Μετακινήσεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με δύο αντηρίδες –πέντε σειρές αγκυρίων.....	145
Εικόνα 87: Μετακινήσεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με τρεις αντηρίδες - τεσσέρις σειρές αγκυρίων.....	145
Εικόνα 88: Μετακινήσεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με επτά σειρές αγκυρίων αντίστοιχα	145
Εικόνα 89: Αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με δύο αντηρίδες – πέντε σειρές αγκυρίων.....	146
Εικόνα 90: Αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με τρεις αντηρίδες - τεσσέρις σειρές αγκυρίων.....	146
Εικόνα 91: Αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με επτά σειρές αγκυρίων αντίστοιχα	146
Εικόνα 92: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις –4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα.....	147

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Εικόνα 93: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα.....	147
Εικόνα 94 Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα	147
Εικόνα 95: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα.....	147
Εικόνα 96: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα	148
Εικόνα 97: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα	148
Εικόνα 98: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα	149
Εικόνα 99: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα	149
Εικόνα 100: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα	150
Εικόνα 101: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα	150
Εικόνα 102: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα	151
Εικόνα 103: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα	151
Εικόνα 104: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα.....	152
Εικόνα 105: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα	152
Εικόνα 106: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα	152
Εικόνα 107: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα.....	152
Εικόνα 108: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα	153
Εικόνα 109: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα.....	153
Εικόνα 110: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα	153
Εικόνα 111: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα	153
Εικόνα 112: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα	154
Εικόνα 113: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -14 μέτρα ισχυρή μάργα	154
Εικόνα 114: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα	154
Εικόνα 115: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα	154
Εικόνα 116: Η κάμψη των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα.....	155
Εικόνα 117: Η κάμψη των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -14 μέτρα ισχυρή μάργα	155
Εικόνα 118: Η κάμψη των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα	155

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Εικόνα 119: Η κάμψη των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα.....	155
Εικόνα 120: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.....	156
Εικόνα 121: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.....	156
Εικόνα 122: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχυρή μάργα.....	156
Εικόνα 123: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχυρή μάργα.....	156
Εικόνα 124: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.....	157
Εικόνα 125: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.....	157
Εικόνα 126: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχυρή μάργα.....	158
Εικόνα 127: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχυρή μάργα.....	158
Εικόνα 128: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.....	159
Εικόνα 129: Κατανομή των κατακόρυφων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.....	159
Εικόνα 130: Κατανομή των κατακόρυφων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχυρή μάργα.....	160
Εικόνα 131: Κατανομή των κατακόρυφων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχυρή μάργα.....	160
Εικόνα 132: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.....	161
Εικόνα 133: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.....	161
Εικόνα 134:	161
Εικόνα 135:	161
Εικόνα 136: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.....	162
Εικόνα 137: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.....	162
Εικόνα 138: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχυρή μάργα.....	162
Εικόνα 139: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχυρή μάργα.....	162
Εικόνα 140: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.....	163
Εικόνα 141: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.....	163
Εικόνα 142: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχυρή μάργα.....	163
Εικόνα 143: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχυρή μάργα.....	163
Εικόνα 144: Οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.....	164
Εικόνα 145: Οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.....	164

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Εικόνα 146: Οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχύρη μάργα.	164
Εικόνα 147: Οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχύρη μάργα.	164
Εικόνα 148: Οι καμπτικές ροπές των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθνή μάργα.	165
Εικόνα 149: Οι καμπτικές ροπές των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθνή μάργα.	165
Εικόνα 150: Οι καμπτικές ροπές των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχυρή μάργα.	165
Εικόνα 151: Οι καμπτικές ροπές των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχυρή μάργα.	165

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1:Στοιχεία γραμμών 2 & 3	18
Πίνακας 2: στοιχεία γεωτρήσεων	45
Πίνακας 3:Χαρακτηρισμός σχηματισμών ανάλογα με την υδροπερατότητα	47
Πίνακας 4:Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας.....	51
Πίνακας 5:Γεωτεχνικοί παράμετροι αποθέσεων,ασθενούς μάργας και ισχυρής μάργας	57
Πίνακας 6:Επιτρεπόμενες παραμορφώσεις (ΟΤΜ ΑΤΕ , 2007).....	59
Πίνακας 7:Δεδομένα αγκυρίων	73
Πίνακας 8:Γεωτεχνικοί παράμετροι γεωλογικών σχηματισμών	78
Πίνακας 9:Υπολογισμοί εμβαδού διατομής αγκυρίων.....	81
Πίνακας 10:Υπολογισμός δυστένειας αγκυρίων	81
Πίνακας 11:Ολική δυστένεια αγκυρίων	82
Πίνακας 12: Επιφάνεια διατομής αγκυρίων	84
Πίνακας 13:Δυστένεια αγκυρίων	85
Πίνακας 14:Μετακινήσεις προεπιλεγμένων σημείων	106
Πίνακας 15:Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις σημείων της πρώτης ανάλυσης.....	114
Πίνακας 16: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις σημείων της πρώτης ανάλυσης.....	114
Πίνακας 17:Αποτελέσματα απο την πρώτη σειρά αναλύσεων.....	115
Πίνακας 18:Αποτελέσματα 2 ^{ης} σειράς ανάλυσης.....	118
Πίνακας 19:Οριζόντιες μετακινήσεις 2ης σειράς ανάλυσης	118
Πίνακας 20: Κατακόρυφες μετακινήσεις 2ης σειράς ανάλυσης	119
Πίνακας 21:Αποτελέσματα τοίχου αντιστήριξης δεύτερης σειράς αναλύσεων	121
Πίνακας 22:Αποτελέσματα ανάλυσης 3.1-3.2.....	123
Πίνακας 23: Οριζόντιες μετακινήσεις σημείων τρίτης σειράς αναλύσεων (σε mm)	126
Πίνακας 24: Κατακόρυφες μετακινήσεις τρίτης σειράς αναλύσεων (σε mm)	126
Πίνακας 25:Αποτελέσματα της 3.2 ανάλυσης.....	127
Πίνακας 26:Αποτελέσματα οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων στην τρίτη σειρά ανάλυσης (σε mm).....	131
Πίνακας 27: Αποτελέσματα κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων στην τρίτη σειρά ανάλυσης (σε mm).....	131

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1: Πηγές χρηματοδότησης (βασικού έργου).....	27
Διάγραμμα 2: Ποσά χρηματοδότησης (βασικού έργου)	27
Διάγραμμα 3 :Πηγές χρηματοδότησης επεκτάσεων.....	28
Διάγραμμα 4: Ποσά χρηματοδοτησης επεκτάσεων.....	28
Διάγραμμα 5:Συντελεστής ασφαλείας 1ης ανάλυσης	115
Διάγραμμα 6: Οριζόντιες μετακινήσεις 1ης σειράς αναλύσεων	116
Διάγραμμα 7:Κατακόρυφες μετακινήσεις 1ης σειράς αναλύσεων.....	117
Διάγραμμα 8: Αξονικές δυνάμεις 1ης σειράς αναλύσεων.....	117
Διάγραμμα 9:Συντελεστής ασφαλείας 2ης σειράς αναλύσεων	119
Διάγραμμα 10:οριζόντιες μετακινήσεις 2,1-2,2 ανάλυσης.....	120
Διάγραμμα 11:οριζόντιες μετακινήσεις ανάλυσης 2,3-2,4.....	120
Διάγραμμα 12: Κάμψη τοίχου στην 2η παραμετρική ανάλυση	121
Διάγραμμα 13:Συντελεστής ασφαλείας ανάλυσης 3,1-3,2.....	124
Διάγραμμα 14:Οριζόντιες μετακινήσεις 3,1-3,2	124
Διάγραμμα 15:Αξονικές δυνάμεις 3,1-3,2ανάλυσης.....	125
Διάγραμμα 16:Κάμψη τοίχου ανάλυσης 3,1-3,2.....	125
Διάγραμμα 17:Συντελεστής ασφαλείας 3,3-3,4 ανάλυσης.....	128
Διάγραμμα 18:Οριζόντιες μετακινήσεις των αναλύσεων 2,3-2,4	129
Διάγραμμα 19:Αξονικές δυνάμεις στις αναλύσεις 3,3-3,4.....	129
Διάγραμμα 20:Κάμψη τοίχου αναλύσεων 3,3-3,4	130

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την παρούσα διπλωματική εργασία ,θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά ορισμένους ανθρώπους για την καθοδήγηση και τη συμπαράσταση τους.

Θα ήθελα λοιπόν να εκφράσω τις ευχαριστίες και εγνωμοσύνη μου, στο κ.Λουπασάκη Κωνσταντίνο, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. για τις συμβουλές και την καθοδήγηση του ,καθώς και την συνεχή παρακολούθηση της διπλωματικής μου εργασίας.

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 εταιρεία Αττικό Μετρό Α.Ε. και πιο συγκεκριμένα τον κ. Μάρκο Νόβακ, Διευθυντή τομέα Τεχνικής Γεωλογίας και τον κ. Γεώργιο Στούμπο, Τεχνικό Γεωλόγο, για την παραχώρηση των τεχνικών δεδομένων του σταθμού Ανθούπολης.

Τέλος ,θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου ,ιδιαίτερα τον παππού μου και τους γονείς μου για την συνεχή στήριξη και αγάπη που μου εδείξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Σταθμός «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» κατασκευάστηκε κατά το μήκος της οδού Αναπαύσεως σε θέση αμέσως μετά την διασταύρωση με την Λεωφόρο Θηβών. Το συνολικό μήκος του σταθμού είναι 147 m ,αυξημένο κατά 37 m, έναντι του τυπικού μήκους 110 m, δεδομένου ότι εντός αυτού ενσωματώνονται και τα δυο Φρέατα Αερισμού. Το βάθος εκσκαφής που απαιτείται για την κατασκευή είναι περίπου 20 m για το κεντρικό τμήμα του σταθμού και 17 m για την περιοχή διεύρυνσης στην βόρεια πλευρά. Το κύριο σώμα του Σταθμού έχει κάτοψη ορθογωνικού σχήματος διαστάσεων ορύγματος 148X24μ.

Στην παρούσα διπλωματική γίνεται παρουσίαση των γεωλογικών, γεωτεχνικών και υδρογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή κατασκευής του σταθμού ,καθώς και παραμετρικές αναλύσεις με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS 2D. Οι παραμετρικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν τροποποιώντας τις παραμέτρους των δομικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται στην προσωρινή υποστήριξη της κατασκευής ,αλλά και με την τροποποίηση του γεωλογικού υποβάθρου προκειμένου να διαπιστωθεί ,πώς επηρεάζονται η χωρική κατανομή και το μέτρο των παραμορφώσεων της προσωρινής υποστήριξης.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ABSTRACT

The "ANTHOUPOLI" Station was constructed along the length of Anapause Street in a position immediately after the intersection with Thebes Avenue. The total length of the station will be 147 m, increased by 37 m, compared to the standard length of 110 m, as both the Ventilation Wells are integrated into it. The excavation depth required for the construction is about 20 m for the central part of the station and 17 m for the enlargement area on the north side. The main body of the Station has a rectangular shape of a 148x24m pitch.

The present diploma thesis presents the geological, geotechnical and hydrogeological conditions in the construction site of the station as well as parametric analyzes with the finite element program PLAXIS 2D. Parametric analyzes were performed by modifying the parameters of the structural elements used in the temporary support of the construction but also by the modification of the geological background in order to determine how the stability of the structure.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης της τροποποίησης γεωλογικών και δομικών στοιχείων της προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού Ανθούπολη στη χωρική κατανομή και το μέτρο των παραμορφώσεων της κατασκευής. Η μελέτη των παραγόντων αυτών έγινε με την βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων **PLAXIS 2D**.

- Το **1ο κεφάλαιο**, στο οποίο παρουσιάζονται στοιχεία για την εταιρεία της Αττικό Μετρό και τα κατασκευαστικά της έργα, την γραμμή 2 και τον Σταθμό «Ανθούπολη» που είναι και ο σταθμός μελέτης.
- Το **2ο κεφάλαιο**, παρουσιάζεται η ιστορία και τα παλιά ορυχεία λιγνίτη της περιοχής ,καθως και ο τρόπος εκμετάλλευσης τους.
- Το **3ο κεφάλαιο**, στο οποίο παρουσιάζονται τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του σταθμού, και
- Το **4ο κεφάλαιο**, στο οποίο παρουσιάζονται τα γεωτεχνικά στοιχεία των σχηματισμών ,καθώς και τα γεωτεχνικά προφίλ που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα
- Το **5ο κεφάλαιο**, στο οποίο παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα εκσκαφής του έργου και η προσωρινή υποστήριξη του σταθμού
- Το **6ο κεφάλαιο**, γίνεται η παρουσίαση του προγράμματος PLAXIS ,καθώς και τα στοιχεία που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα
- Το **7ο κεφάλαιο**, στο οποίο γίνεται η παρουσίαση των παραμετρικών αναλύσεων
- Το **8ο κεφάλαιο**, στο οποίο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των παραμετρικών αναλύσεων

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

1.ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ

1.1 Η εταιρεία

Το Μετρό ή Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος είναι ένα σιδηροδρομικό σύστημα μαζικής μεταφοράς των μεγαλουπόλεων. Το πρώτο Μετρό που λειτούργησε ήταν το Μετρό του Λονδίνου και το πρώτο στην ηπειρωτική Ευρώπη το Μετρό της Βουδαπέστης. Στην Ελλάδα ο Σιδηρόδρομος Αθηνών Πειραιώς μετατράπηκε επίσημα σε Μετρό το 1904, όταν έγινε η ηλεκτροδότηση της γραμμής. Η Αθήνα το 2000 απέκτησε επίσης πληρέστερο δίκτυο υπόγειου Μετρό, με την γραμμή 2 και 3 της Αττικό Μετρό. Υπό κατασκευή είναι και το πρώτο τμήμα της τέταρτης γραμμής. Υπό κατασκευή βρίσκεται τώρα το δεύτερο δίκτυο μετρό στην Ελλάδα, αυτό της Θεσσαλονίκης.

Η Αττικό Μετρό Α.Ε. είναι μια σύγχρονη εταιρεία δημοσίου συμφέρον, με προσωπικό υψηλής επιστημονικής κατάρτισης, η οποία με υπεύθυνο σχεδιασμό και συστηματική δουλειά υλοποιεί την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας.

Σήμερα, οι δύο Γραμμές του Μετρό της Αθήνας έχουν συνολικό μήκος περίπου 59,7 χλμ και 40 σύγχρονους σταθμούς και εξυπηρετούν 938.000 επιβάτες. Επίσης, η Γραμμή 1 εξυπηρετεί αντίστοιχα περισσότερους από 460.000 επιβάτες. Επομένως, μαζί με το Τραμ και τον Προαστιακό το Μετρό συμβάλλει στη σύνθεση ενός σύγχρονου συγκοινωνιακού δικτύου και στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής στο λεκανοπέδιο. Εκτός από την άνεση, την ταχύτητα και αξιοπιστία των δρομολογίων του, το Μετρό της Αθήνας φημίζεται για τα εντυπωσιακά αρχαιολογικά εκθέματα στους κεντρικούς Σταθμούς του δικτύου του, καθώς και για τα έργα τέχνης διακεκριμένων καλλιτεχνών σχεδόν σε όλους τους Σταθμούς των Γραμμών 2 και 3. Αξίζει να σημειωθεί ,ότι χάρη στην κατασκευή του Μετρό της Αθήνας, πραγματοποιήθηκε η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στην Πρωτεύουσα 79.000 τ.μ. ,η οποία έφερε στο φως περισσότερα από 50.000 αρχαιολογικά ευρήματα από την νεολιθική περίοδο έως την σύγχρονη εποχή (www.ametro.gr).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Ένα από τα πιο σημαντικά και εξίσου πολύπλοκα έργα της Αττικό Μετρό ΑΕ είναι η κατασκευή Μετρό στην Θεσσαλονίκη. Η Σύμβαση για την κατασκευή Μετρό μήκους 9,6 χλμ. με 13 σύγχρονους Σταθμούς υπογράφηκε στις 7 Απριλίου 2006 και οι κατασκευαστικές εργασίες του έργου βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο, με τους 2 μετροπόντικες να κατασκευάζουν 2 παράλληλες σήραγγες διπλής τροχιάς, αθόρυβα και χωρίς καμία όχληση, σε βάθος από 16 έως 31 μέτρα. (www.ametro.gr)

Σήμερα ,όσον αφορά το μετρό της Αθήνας συνεχίζεται η υλοποίηση των νέων επεκτάσεων του δικτύου. Το Μάρτιο του 2012 υπογράφηκε η σύμβαση με τον ανάδοχο για την περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 3 από την Αγία Μαρίνα μέχρι τον Πειραιά 7,6 χλμ., 6 σταθμοί, προκειμένου ο Δήμος Πειραιά να αποκτήσει 3 Σταθμούς Μετρό και να συνδεθεί με το Αεροδρόμιο. Επίσης, το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και η Αττικό Μετρό Α.Ε. πραγματοποιούν όλες τις απαραίτητες μελέτες για την κατασκευή μιας νέας Γραμμής Μετρό, η οποία αναμένεται να αλλάξει δραστικά τον συγκοινωνιακό χάρτη της Αθήνας, αφού υπολογίζεται να εξυπηρετεί μέχρι και 530.000 επιβάτες την ημέρα, αλλά και να αναβαθμίσει σημαντικά τη ζωή στο Λεκανοπέδιο. Πρόκειται για τη νέα Γραμμή 4, μήκους 33 χλμ. με 30 Σταθμούς προϋπολογισμού 3,3 δισ. €, η οποία θα καλύψει τη διαδρομή Περισσός – Άλσος Βεΐκου – Πανεπιστήμιο – Ευαγγελισμός – Γουδή – Κατεχάκη – Μαρούσι – Λυκόβρυση, καθώς και τις περιοχές Παγκράτι, Βύρωνας, Υμηττός και Ηλιούπολη. Στις 25 Σεπτεμβρίου 2014 ανακοινώθηκε η υλοποίηση και δημοπράτηση του πρώτου τμήματος της Γραμμής 4 Άλσος Βεΐκου – Γουδή, με 14 σταθμούς και εκτιμώμενο κόστος 1.2 δισ ευρώ, το οποίο υπολογίζεται ότι θα εξυπηρετεί καθημερινά περίπου 220.000 επιβάτες.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 1:Γραμμές Μετρό της Αθήνας

1.2 Έργα σε λειτουργία

1.2.1 Το Βασικό Έργο

Το Βασικό Έργο του Μετρό της Αθήνας (Εθνική Άμυνα – Κεραμεικος & 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.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Για το βασικό έργο, η Αττικό Μετρό Α.Ε. χρηματοδότησε αρχαιολογικές ανασκαφές έκτασης 69.000 τετραγωνικών μέτρων, οι οποίες είναι οι μεγαλύτερες που έχουν γίνει ποτέ στην 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 Δάφνη - Άγιος Δημήτριος, 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 Σεπόλια – Άγιος Αντώνιος συνολικού μήκους 1,4 χλμ. Μέσα στο 2013 παραδόθηκαν στο επιβατικό κοινό άλλοι 7 σταθμοί συνολικού μήκους 8,5χλμ (Ηλιούπολη , Αλιμος, Αργυρούπολη, Ελληνικό, Περιστερί, Ανθουπολη και Αγια Μαρίνα. Αυτή τη στιγμή το σημαντικότερο συγκοινωνιακό μέσο της Αθήνας εκτείνεται σε 39 χλμ. και 938.000 επιβάτες εξυπηρετούνται καθημερινά (www.ametro.gr).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 1:Στοιχεία γραμμών 2 & 3

ΕΡΓΑ	ΜΗΚΟΣ (χλμ.)	ΣΤΑΘΜΟΙ
Γραμμή 2 (ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ-ΕΛΛΗΝΙΚΟ)	39	36
Γραμμή 3 (ΔΟΥΚ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ-ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ)	20,7	4
Συνολικά	59,7	40

1.2.2 Η Γραμμή 2

Ως τμήμα του βασικού έργου του μετρό της Αθήνας, η Γραμμή 2 ξεκίνησε να κατασκευάζεται το Νοέμβριο του 1992. Οι πρώτοι 7 σταθμοί της Γραμμής 2 στο τμήμα Σεπόλια - Σύνταγμα δόθηκαν στο κοινό τον Ιανουάριο του 2000, ενώ 5 επιπλέον χιλιόμετρα με 5 σταθμούς στο τμήμα Σύνταγμα – Δάφνη τέθηκαν σε λειτουργία τον Νοέμβριο του 2000.

Επέκταση Σεπόλια-‘Αγιος Αντώνιος

Στις αρχές Αυγούστου 2004 άνοιξε για το επιβατικό κοινό ο Σταθμός Αγιος Αντωνιος, 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 Αγιος Αντώνιος έως το κέντρο της Πρωτεύουσας πλατεία Ομονοίας και περίπου 45 λεπτά για το Αεροδρόμιο .Ο Σταθμός Αγιος Αντώνιος είναι ο πρώτος σταθμός της νέας γενιάς του Μετρό της Αθήνας και οι βασικοί άξονες για την τελική διαμόρφωσή του ήταν οι εξής:

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

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

Επέκταση Δάφνη - Άγιος Δημήτριος

Το νέο τμήμα της Γραμμής 2 από την περιοχή της Δάφνης μέχρι τον Αγ.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 Άγιο Δημήτριο. Η επέκταση αυτή κατασκευάστηκε με τις μεθόδους NATM και Ανοικτού Ορύγματος.

Το όλο έργο κατασκευάστηκε με τις υψηλές προδιαγραφές που θέτει η Αττικό Μετρό Α.Ε. και έτσι σε αυτό είναι ενσωματωμένα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα παροχής και διανομής ισχύος, αερισμού, αντλιοστάσια, φωτισμού, πυροπροστασίας, ανελκυστήρες και κυλιόμενες κλίμακες. Επιπλέον, σύγχρονα συστήματα εγκαταστάθηκαν για τις ανάγκες λειτουργίας της Γραμμής, 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 Άγιος 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, 45.000 επιβάτες εξυπηρετούνται καθημερινά μέσω αυτής της επέκτασης. (www.ametro.gr)

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 Αττικό Μετρό Α.Ε. προκήρυξε νέο, όπου το σύνολο της Γραμμής είναι

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

πλέον υπόγειο, καθώς βάση 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, Αλίμος, Αργυρούπολη και Ελληνικό, καθώς επίσης και υπόγειο χώρο 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, 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 εν λόγω επέκτασης στο δίκτυο του Μετρό εκτιμάται ότι η ημερήσια επιβατική κίνηση του Μετρό αυξήθηκε κατά 83.000 επιβάτες. .(www.ametro.gr)

1.3 Έργα σε εξέλιξη και η νέα γραμμή 4

1.3.1 Επέκταση γραμμής 3 προς Πειραιά

Στις 21 Νοεμβρίου 2008 η Αττικό Μετρό Α.Ε. επαναδημοπράτησε τον διαγωνισμό για την επέκταση της Γραμμής 3 προς τα Δυτικά Προάστια με κατάληξη τον Πειραιά υπόγεια σήραγγα μήκους 7,6χλμ και 6 σύγχρονοι σταθμοί: Αγία Βαρβάρα, Κορυδαλλός, Νίκαια, Μανιάτικα, Πειραιάς, Δημοτικό Θέατρο. Στις 13 Φεβρουαρίου 2009, 6 τεχνικοί όμιλοι - κοινοπραξίες εκδήλωσαν το ενδιαφέρον τους για την κατασκευή του έργου. Στις 5 Οκτωβρίου 2011 η Αττικό Μετρό ΑΕ προχώρησε στο άνοιγμα των Οικονομικών Προσφορών για την επέκταση της Γραμμής 3 του Μετρό

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

προς τον Πειραιά. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα του Διαγωνισμού μειοδότης του έργου είναι η κοινοπραξία J&P – ΑΒΑΞ ΑΕ – GHELLA SPA – ALSTOM TRANSPORT SA.

Την 1η Μαρτίου 2012 υπογράφηκε η σχετική σύμβαση με την ανάδοχο κοινοπραξία J&P – ΑΒΑΞ Α.Ε., GHELLA SPA, ALSTOM TRANSPORT S.A. για την κατασκευή της επέκτασης της Γραμμής 3 του Μετρό από την Αγία Μαρίνα προς τον Πειραιά, συνολικού μήκους 7,6 χλμ με 6 σύγχρονους σταθμούς. Πρόκειται για μια επένδυση ύψους 730.000.000 ευρώ σε περιοχές του Δήμου Πειραιά και των Δήμων της ευρύτερης περιοχής Νίκαια, Κορυδαλλός, Αγ.Βαρβάρα που σήμερα έχουν έντονα προβλήματα κυκλοφορίας .

Με την κατασκευή της επέκτασης του Μετρό προς τον Πειραιά θα εξυπηρετούνται καθημερινά 132.000 επιβάτες, ενώ ο συνολικός χρόνος από το Λιμάνι έως το Αεροδρόμιο θα διανύεται με το Μετρό μόλις σε 45 λεπτά. Ιδιαίτερα, στον Σταθμό Πειραιά προβλέπεται να δημιουργηθεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό Συγκοινωνιακό Κέντρο, συνενώνοντας λειτουργικά δύο γραμμές Μετρό (Γραμμή 1 και Γραμμή 3), το Λιμάνι , τον Προαστιακό Σιδηρόδρομο και το Τραμ, το οποίο προβλέπεται επίσης να διέλθει από την περιοχή αυτή, διευκολύνοντας έτσι τις μετεπιβιβάσεις μεταξύ όλων των μέσων μεταφοράς.

Θέσεις Σταθμών

- **Αγία Βαρβάρα** Λ. Ελευθερίου Βενιζέλου (Αγ. Ελεούσα)
- **Κορυδαλλός** Πλατεία Ελευθερίας
- **Νίκαια** Πλατεία Ελ. Βενιζέλου
- **Μανιάτικα** Αιτωλικού & Μαυρομιχάλη
- **Πειραιάς** Λιμάνι (πλησίον σταθμού ΗΣΑΠ)
- **Δημοτικό Θέατρο** Ηρώων Πολυτεχνείου & Βασ. Γεωργίου

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

1.3.2 Η Γραμμή 4

Η νέα Γραμμή του Μετρό, Γραμμή 4 έχει μήκος 33 χλμ., διαθέτει 30 νέους σύγχρονους σταθμούς τελευταίας τεχνολογίας με αυτόματους συρμούς χωρίς οδηγό, με θύρες επί των αποβαθρών, ασύρματο σύστημα σηματοδότησης τύπου CTBC και εξελιγμένα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας .Ο εκτιμώμενος συνολικός προϋπολογισμός κατασκευής είναι της τάξης 3.3 δισ.€. Το έργο αυτό αναμένεται να αλλάξει τόσο το συγκοινωνιακό χάρτη της Αθήνας όσο και να αναβαθμίσει σημαντικά τη ζωή στο Λεκανοπέδιο.

Το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και η Αττικό Μετρό Α.Ε. εκπονούν όλες τις απαραίτητες μελέτες για τη νέα Γραμμή 4 του Μετρό της Αθήνας με 30 σταθμούς – 32χλμ , όπου προβλέπεται η υλοποίηση με τμηματική δημοπράτηση του έργου σε πέντε φάσεις (Α – Ε). Στις 25 Σεπτεμβρίου ανακοινώθηκε η υλοποίηση και δημοπράτηση κατά προτεραιότητα το πρώτου τμήματος, τμήματος «Α» (‘Αλσος Βεΐκου –Γουδή) με 14 σταθμούς προϋπολογισμού 1, 2 δισ. Ευρώ.

Η δημιουργία της νέας Γραμμής παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- Εξυπηρέτηση πολλών νέων πυκνοκατοικημένων περιοχών της πόλης (Γαλάτσι, Κυψέλη, Παγκράτι, Καισαριανή, Ιλίσια, Ζωγράφου, Γουδή, Βύρωνας). Εκτιμάται ότι η εν λόγω Γραμμή θα εξυπηρετεί καθημερινά περισσότερους από 530.000 επιβάτες.
- Εξυπηρέτηση πολλών σημαντικών εγκαταστάσεων, όπως Νοσοκομεία (Παίδων, Λαϊκό, Στρατιωτικό Νοσοκομείο 401, 251 – ΓΝΑ, Υγεία, Μητέρα, Ιατρικό Κέντρο), Εκπαιδευτικά Ιδρύματα (Πολυτεχνείο - κεντρικά, Πανεπιστήμιο - κεντρικά, Νομική Σχολή, Πολυτεχνειούπολη, Πανεπιστημιούπολη, Οδοντιατρική Σχολή), Δικαστήρια, περιοχές με έντονες επαγγελματικές και εμπορικές δραστηριότητες (κέντρο Αθήνας, Λεωφ. Κηφισίας), τις εγκαταστάσεις του Ολυμπιακού Σταδίου.
- Αύξηση της δικτύωσης του Μετρό με 5 Σταθμούς μετεπιβίβασης

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθείας εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

- Ανακούφιση υφιστάμενων σταθμών Μετρό από τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση του επιβατικού κοινού .

1.4 T.B.M.

1.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής

Η χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλών για την θραύση του πετρώματος έχει ως αποτέλεσμα τον επηρεασμό της περιοχής γύρω από την εκσκαφή. Επιπλέον ο κύκλος εκσκαφής με την μέθοδο αυτή είναι ασυνεχής υπό την έννοια ότι μεσολαβούν νεκρά χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαφόρων φάσεων. Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στην ανάπτυξη της μηχανικής όρυξης σηράγγων. Η μηχανική όρυξη σηράγγων πραγματοποιείται με τις Μηχανές Ολομέτωπης Κοπής (TBM- Tunnel Boring Machine).

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Οι υψηλές ταχύτητες προσχώρησης σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους εξόρυξης, το μέγεθος των οποίων εξαρτάται από την ποιότητα της βραχώμαζας και την διάμετρο της εξόρυξης. Στο Μετρό Αθηνών αναφέρονται ταχύτητες 12 μέτρα/ημέρα σε Αθηναϊκό σχιστόλιθο, 8,5 μέτρα/ημέρα σε Τεταρτογενή.
- Η μικρή διαταραχή της βραχώμαζας.
- Οι μειωμένες δονήσεις.
- Η διαμόρφωση ομοιόμορφης διατομής.
- Η σημαντική μείωση των υπερεσκαφών.
- Η τυποποίηση της υποστήριξης.
- Η αυξημένη ασφάλεια των εργαζομένων.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλό κόστος σε μικρό μήκος σήραγγας.
- Δυσκολίες που παρουσιάζονται σε δύσκολες γεωλογικές συνθήκες.
- Προβλήματα σε απρόβλεπτες εισροές υπόγειων νερών.

Για τους παραπάνω λόγους, η χρησιμοποίηση των TBM απαιτεί όσο το δυνατόν καλύτερη και πληρέστερη γνώση των γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν κατά μήκος του άξονα, ώστε να έχει σχεδιαστεί ο κατάλληλος τύπος του μηχανήματος για τη βέλτιστη αξιοποίηση του. Δεδομένου ότι ένα σύγχρονο TBM είναι πολύ ταχύτερο σε σύγκριση με τις κλασσικές μεθόδους εξόρυξης, η πληρότητα της γεωλογικής και τεχνικογεωλογικής έρευνας κατά μήκος του άξονα είναι καθοριστική, καθώς τα TBM είναι περισσότερο ευαίσθητα στις μεταβολές των λιθολογικών παραμέτρων και της ποιότητας της βραχώμαζας. Για παράδειγμα, η εκσκαφή μιας σήραγγας με TBM σχεδιασμένο για σκληρά πετρώματα θα αντιμετωπίσει σοβαρά προβλήματα αν συναντηθούν μαλακά και ασταθή πετρώματα. Μπορεί να καθηλωθεί επί μακρόν, ενώ είναι εξαιρετικά δύσκολο ή αδύνατο να αποσυρθεί από μια μεγάλου μήκους σήραγγα αν συναντήσει δυσμενείς καταστάσεις. Έχει βέβαια αποδειχθεί στη πράξη, ότι εάν οι γεωλογικές συνθήκες κατά μήκος του άξονα έχουν αποτυπωθεί με αξιοπιστία, ο σχεδιασμός του TBM μπορεί να προσαρμοστεί κατάλληλα εξ αρχής, ώστε τελικά η απόδοσή του να υπερτερεί αισθητά έναντι των κλασσικών μεθόδων εκσκαφής. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

1.4.2 Μηχάνημα διάτρησης σιράγγων

Όσον αφορά το Μηχάνημα Διάτρησης Σιράγγων – TBM (Tunnel Boring Machine) της Αττικό Μετρό Α. Ε. είναι κλειστού τύπου για σκληρά πετρώματα και σχεδιάστηκε από την MITSUBISHI Ιαπωνίας και κατασκευάστηκε από την NEYRPIE FRAMATOME MECHANIQUE (NFM) Γαλλίας. Το μήκος του TBM, συμπεριλαμβανομένων των βαγονιών υποστήριξης και του κλειδιού California είναι 150μ. και το συνολικό βάρος του είναι 1.650 τόνοι.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 2: T.B.M.

Στο Βασικό Έργο χρησιμοποιήθηκαν δύο TBM κλειστού τύπου για σκληρά πετρώματα, για τη διάνοιξη σηράγγων διπλής γραμμής μεταξύ των σταθμών, συνολικού μήκους 11 χλμ. Συγκεκριμένα, το TBM1 (με το όνομα «ΙΑΣΟΝΑΣ») χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της Γραμμής 2 από τον Στ. Λαρίσης έως τον Στ. Αγ. Ιωάννη και το TBM2 (με το όνομα «ΠΕΡΣΕΦΟΝΗ») χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της Γραμμής 3 από το Στ. Κατεχάκη έως τον Στ. Σύνταγμα. Τα δύο TBM έκαναν διάνοιξη σε βάθος έως 28 μ. κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, απόσταση που ήταν αρκετά κάτω από τα αρχαιολογικά ευρήματα και τις εγκαταστάσεις δικτύων Οργανισμών Κοινής Ωφελείας, ώστε να διασφαλίζεται η ακεραιότητά τους και να αποφευχθούν δαπανηρές και χρονοβόρες καταστάσεις.(www.ametro.gr)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

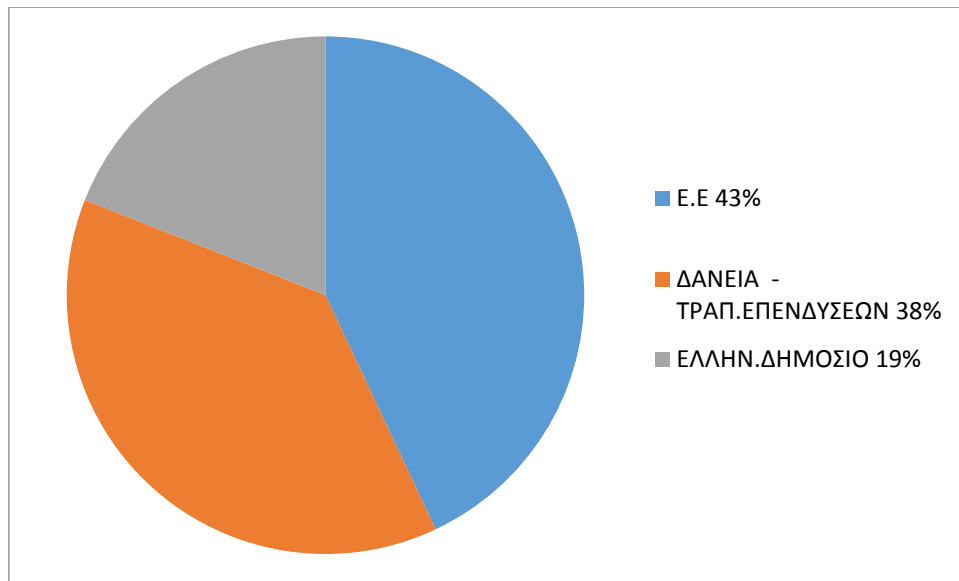


Εικόνα 3:Σταθμός Μετρό

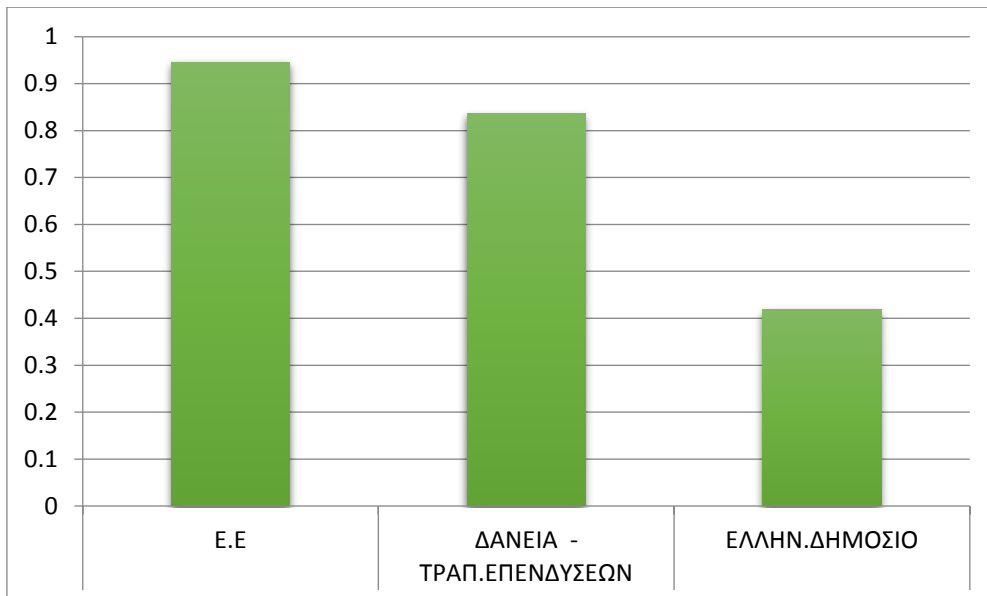
1.5. Χρηματοδότηση έργου

Όσον αφορά την χρηματοδότηση του βασικού έργου ,συμμετείχαν οι εξής φορείς: το Ελληνικό Δημόσιο κατά 11%, η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και διάφορα Δάνεια κατά 39%, η Ευρωπαϊκή Ένωση και διάφορες επιχορηγήσεις κατά 50%. Το κόστος του βασικού έργου αγγίζει τα 2,1 δις.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



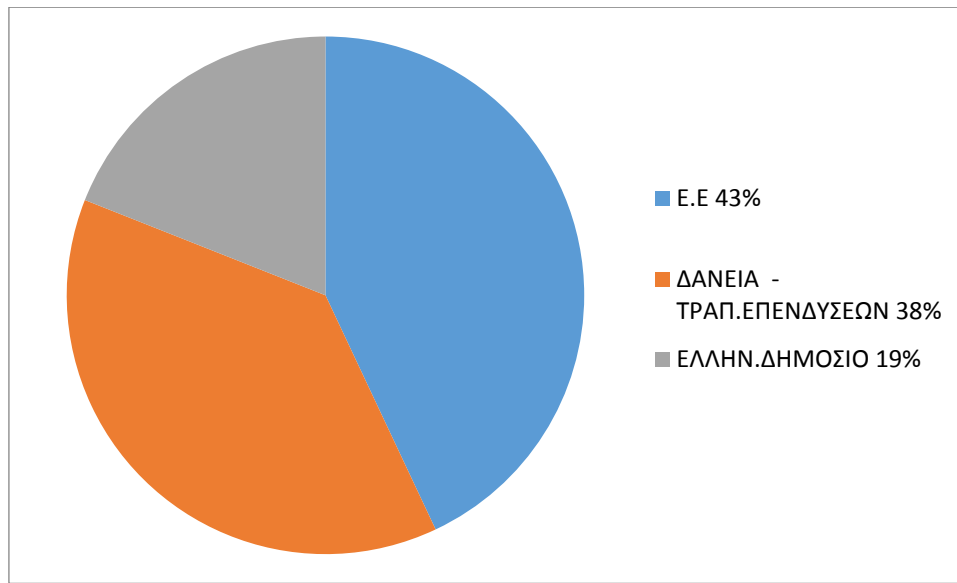
Διάγραμμα 1: Πηγές χρηματοδότησης (βασικού έργου)



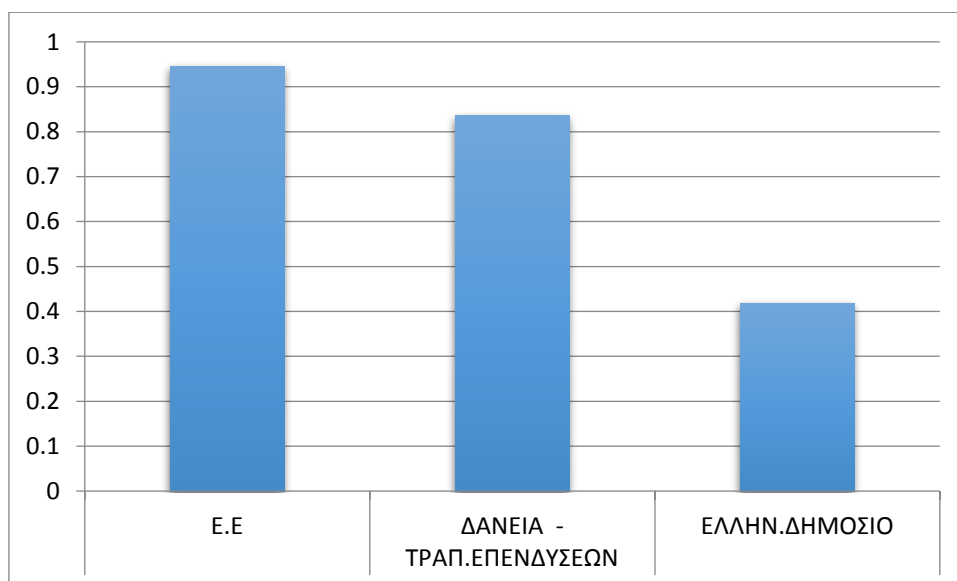
Διάγραμμα 2: Ποσά χρηματοδότησης (βασικού έργου)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Όσον αφορά τις επεκτάσεις έργου της γραμμής 2&3 το κόστος έφτασε τα 2,2δισ € και η χρηματοδότηση του έργου προήλθε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και διάφορες επιχορηγήσεις σε ποσοστό 43%, από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και διάφορες Δάνεια σε ποσοστό 38% και το Ελληνικό Δημόσιο σε ποσοστό 19%.



Διάγραμμα 3 :Πηγές χρηματοδότησης επεκτάσεων



Διάγραμμα 4: Ποσά χρηματοδότησης επεκτάσεων

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

1.6 Σταθμός Ανθούπολη

Ο Σταθμός Ανθούπολη είναι σταθμός του μετρό της Αθήνας, επί της γραμμής 2. Πήρε το όνομά του από την περιοχή της Ανθούπολης την οποία εξυπηρετεί. Ο Σταθμός Ανθούπολης ξεκίνησε τη λειτουργία του στις 6 Απριλίου 2013. Στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού υπήρχαν τα ορυχεία Περιστερίου, ο οποίος κατέληγε βιομηχανικός σιδηρόδρομος από την κατοχή το 1943 έως το 1959, ως διακλάδωση από τον σταθμό Κρηπιδώματα της γραμμής Πειραιά - Πάτρας. Πριν το 2004, ο τότε σχεδιαζόμενος σταθμός αναφερόταν ως Θεμιστοκλέους και Θηβών, από τους σχεδιασμούς της Αττικό Μετρό, για να πάρει το οριστικό όνομα του ως Ανθούπολη κατά την κατασκευή της επέκτασης Ανθούπολης.



Εικόνα 4:Σταθμός Ανθούπολης

Ο Σταθμός Ανθούπολη είναι ο δεύτερος και προς το παρόν τερματικός σταθμός της επέκτασης της Γραμμής 2 προς Περιστερί και πρόκειται να κατασκευαστεί κατά μήκος της οδού Αναπαύσεως (προέκταση της Παναγή Τσαλδάρη), σε θέση αμέσως μετά τη διασταύρωση της Λεωφόρου Θηβών. Το συνολικό μήκος της κατασκευής του Σταθμού είναι 146.40m, Ο σταθμός έχει δύο εισόδους. Η κύρια Είσοδος βρίσκεται επί της οδού Αναπαύσεως στην βόρεια πλευρά του και σε επαφή με αυτόν, σε χώρο πλευρικής αίθριας διεύρυνσης τραπεζοειδούς μορφής που καταλαμβάνει υπάρχουσα τριγωνική πλατεία. Η άλλη είσοδος χωροθετείται στο νότιο πεζοδρόμιο της οδού Αναπαύσεως πριν τη Λεωφ. Θηβών, η δε πρόσβαση προς το Σταθμό

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

εξασφαλίζεται με υπόγεια διάβαση που διέρχεται εγκάρσιως υπό την Λεωφόρο Θηβών.

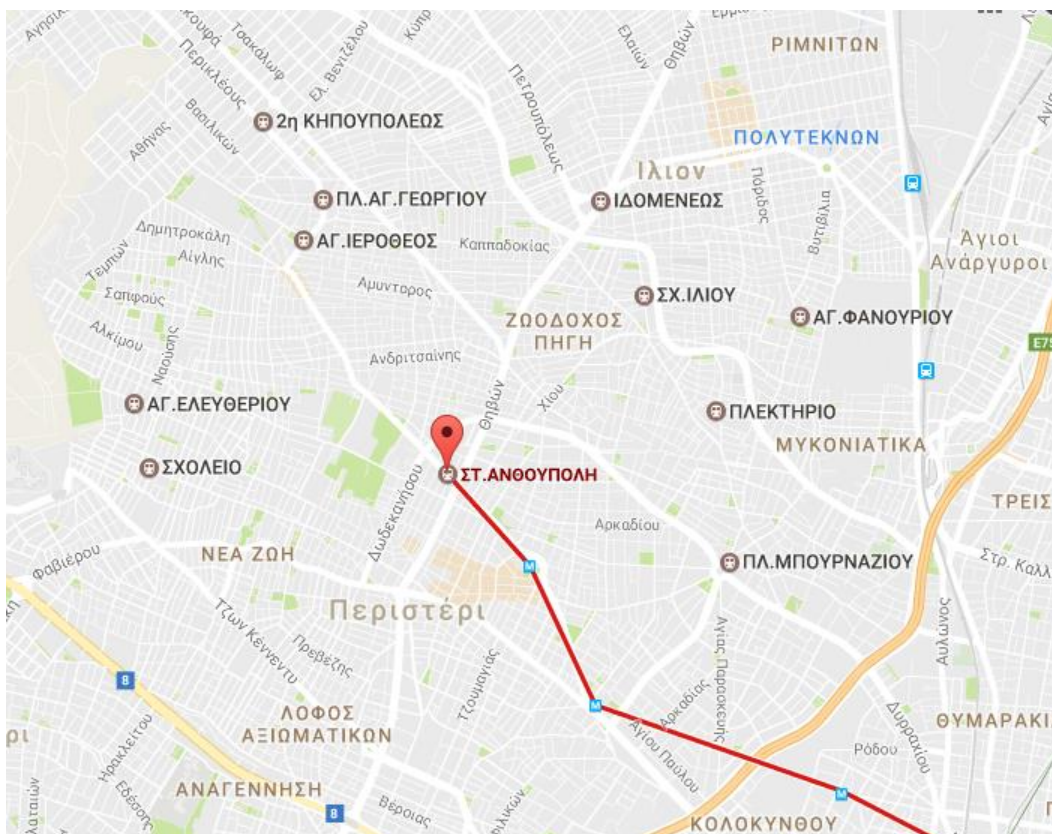
Η κατασκευή του Σταθμού θα γίνει με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut&Cover) εντός αντιστηριζόμενου ορύγματος βάθους 20μ. περίπου. Οι δύο εισόδοι του κατασκευάζονται με την ίδια μέθοδο ,ενώ εξαίρεση αποτελεί η σήραγγα πρόσβασης στο Σταθμό από την είσοδο Λεωφόρου Θηβών ,ο οποίος κατασκευάζεται με υπόγεια διάνοιξη.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΟΡΥΧΕΙΑ ΛΙΓΝΙΤΗ

2.1 Ιστορία του Δήμου

Στις 18-01-1934 το Περιστερί αποσπάστηκε από το Δήμο Αθηναίων, στον οποίο ανήκε, και αναγνωρίστηκε ως Δήμος λόγω του μεγάλου πληθυσμού του, ενώ στις 11-02-1934 διεξήχθησαν οι πρώτες δημοτικές εκλογές. Στο Δήμο εκείνης της εποχής προσαρτήθηκαν οι οικισμοί Περιστερί, Χρυσάλλίδα, Άνω και Κάτω Γερμανικά, Κτιστά και ο συνοικισμός Ποντίων, Αρμενίων. Όμως η ιστορία του Περιστερίου, ξεκινά πολύ παλιά. Ευρήματα πιστοποιούν την ανθρώπινη παρουσία πριν από 25 αιώνες. Το φανερώνει η μεγάλη συγκομιδή αρχαίων ευρημάτων, σαρκοφάγων, αγγείων, μαρμάρινων επιτύμβιων πλακών, αρχαίων νομισμάτων, κτερισμάτων.



Εικόνα 5:Χάρτης σταθμού Ανθούπολης

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Το Περιστερί είναι ο δήμος που απέχει 4Km από το κέντρο της Αθήνας στα δυτικά όρια του λεκανοπεδίου της Αθήνας και χωρίζεται από αυτήν με τον ποταμό Κηφισό. Τα όρια του εκτείνονται μέχρι το Ποικίλο όρος, καθώς επίσης συνορεύει με τους Δήμους των Αγίων Αναργύρων, των Νέων Λιοσίων, της Πετρούπολης, του Χαϊδαρίου και του Αιγάλεω.

Είναι ένας δήμος που, όπως καταλαβαίνει κανείς, εκτείνεται σε πολλά τετραγωνικά χιλ. και έχει πολλές συνοικίες. Ο πληθυσμός του είναι σήμερα πάνω από 400.000.



Εικόνα 6: Περιοχές της Αθήνας

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

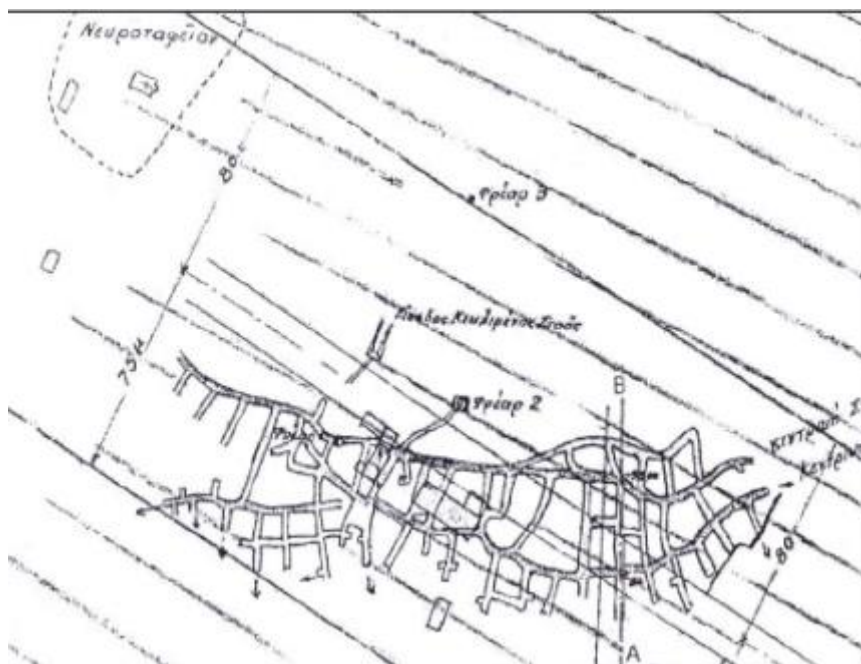
2.1.1 Λατομεία – Ορυχεία Λιγνίτη

Στις 5 Νοεμβρίου 1933 ιδρύεται η εταιρεία "Λιγνιτωρυχεία Αττικής Α.Ε.", με διευθύνοντες συμβούλους τους Γεώργιο Ρομπάκη και Πολύβιο Τσακαλώτο για την εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων που βρίσκονται στην περιοχή της Ανθούπολης. Το 1934, με βασιλικά διατάγματα, παραχωρείται η έκταση και το 1935-36 αρχίζει η εξόρυξη λιγνίτη. Στο λιγνιτωρυχείο εργάζονταν 350-400 άτομα σε βάθος 80-100 μέτρα. Καθημερινά εξάγονταν 100-150 τόνοι λιγνίτη.

Στην περίοδο της Κατοχής, το λιγνιτωρυχείο πουλήθηκε σε Ιταλούς. Αλλάζει όνομα σε "Agenta Carboni Italiani". Οι εργαζόμενοι φτάνουν τους 700 και η ημερήσια παραγωγή λιγνίτη σε 200-250 τόνους. Ήδη πολλοί εξειδικευμένοι εργάτες από τη Μήλο και τη Σέριφο απασχολούνται στο λιγνιτωρυχείο. Επίσης, δημιουργείται και η σιδηροδρομική γραμμή, που συνδέει το λιγνιτωρυχείο με τον κεντρικό σταθμό των ΣΠΑΠ (Σιδηρόδρομοι Πειραιώς-Αθηνών-Πελοποννήσου). Τον Δεκέμβριο του 1945 το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας αναλαμβάνει το ίδιο την εκμετάλλευση του λιγνιτωρυχείου. Ως το 1950 το ορυχείο λειτουργεί με πολλά προβλήματα. Η παραγωγή είναι μικρή, οι εργάτες απεργούν επανειλημμένα για ημερομίσθια που δεν τους καταβάλλονται και για βελτίωση των συνθηκών της εργασίας τους. Επίσης καταγγέλλουν ότι υπάρχει άμεσος κίνδυνος να γεμίσουν με νερά οι στοές και να χαθούν ανθρώπινες ζωές.

Μέχρι τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, οι εργασίες εκμετάλλευσης στο λιγνιτωρυχείο γίνονταν νότια και νοτιοδυτικά από τον χώρο όπου βρίσκεται σήμερα το γήπεδο του Αγίου Ιερόθεου (οδός Αναπαύσεως). Υπήρχε εξόρυξη όσων λιγνιτών βρίσκονταν κοντά στην επιφάνεια. Το 1942 εκδηλώθηκε πυρκαγιά, που προκάλεσε ζημιές στις στοές. Όμως μετά το 1951, αρχίζει επέκταση του λιγνιτωρυχείου και προς τον βορρά. Η Ανθούπολη πλέον έχει περισσότερους από 10.000 κατοίκους και τα σπίτια τους απέχουν μόλις 20-30 μέτρα από το νέο φρέαρ που ανοίχτηκε το 1952.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 7:Χάρτης ορυχείου

Τον Σεπτέμβριο του 1953 αρχίζουν να εμφανίζονται ρωγμές σε κάποια σπίτια της Ανθούπολης (λόγω του μικρού βάθους διάνοιξης των στοών). Στις 30 Οκτωβρίου 1953 καταρρέει μία στοά, με αποτέλεσμα ένας λιγνιτωρύχος να χάσει τη ζωή του και άλλοι τρεις να τραυματιστούν. Ωστόσο, η λειτουργία του λιγνιτωρυχείου συνεχίζεται κανονικά.

Στις 3 Ιουνίου 1955 το Εφετείο της Αθήνας εκδίδει μία τουλάχιστον ακατανόητη απόφαση, σύμφωνα με την οποία οποιοσδήποτε ιδιοκτήτης μεταλλείου μπορεί να προκαλέσει ζημιές σε σπίτια που βρίσκονται στην επιφάνεια, αρκεί να αποζημιώσει τους ιδιοκτήτες τους.

Στις 21 Νοεμβρίου 1955 εκδηλώνεται η πρώτη μαζική αντίδραση των κατοίκων της Ανθούπολης. Η μεγάλη διαδήλωση, με αφορμή την εμφάνιση γεωτρυπάνων στην περιοχή προκειμένου να ανοιχτούν νέες στοές, διαλύεται από τη χωροφυλακή. Οι εκκλήσεις των κατοίκων, ακόμα και προς τον πρωθυπουργό για διακοπή της λειτουργίας των μεταλλείων πέφτουν στο κενό.

Παράλληλα, οι ζημιές στα σπίτια συνεχίζονται. Κάποια παθαίνουν καθίζηση και οι ιδιοκτήτες τους αναγκάζονται να κοιμηθούν στο ύπαιθρο, ενώ σε κάποια άλλα εμφανίζονται ρωγμές. Το 1958 επιτροπή που συστήνεται συμπεραίνει, ότι δεν

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

μπορούν να συνυπάρξουν οικισμοί και ορυχεία, καθώς αποφασίζεται το οριστικό κλείσιμο των λιγνιτωρυχείων, ενώ για να αποφευχθεί καθίζηση των στοών εφαρμόζεται ένα πρόγραμμα λιθογομώσεων τους.

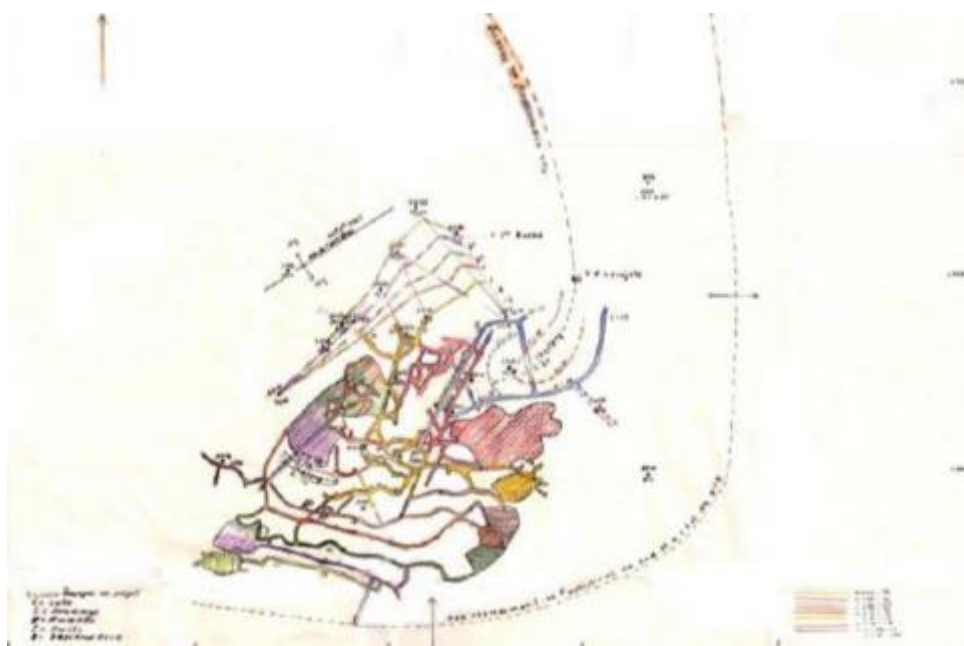
Μετά το κλείσιμο των λιγνιτωρυχείων, η Ανθούπολη επεκτάθηκε και σήμερα είναι μια από τις μεγαλύτερες συνοικίες του Δήμου Περιστερίου. Στους σεισμούς του 1981 και του 1999, όμως, οι κάτοικοί της δεινοπάθησαν. Πολλά κτίρια κρίθηκαν κατεδαφιστέα, ενώ άλλα προσωρινά μη κατοικήσιμα. Το υπέδαφος και οι στοές που βρίσκονται σ' αυτό έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην πρόκληση εκτεταμένων καταστροφών. Αρχικά υπήρχε η πρόβλεψη ο τερματικός σταθμός της Γραμμής 2 του Μετρό να βρίσκεται απέναντι από το γήπεδο του Αγίου Ιερόθεου. Ωστόσο, το υπέδαφος κρίθηκε εκεί παντελώς ακατάλληλο και η θέση αυτή δεν επέτρεπε την επέκταστη γραμμής προς Ίλιο και Πετρούπολη. Έτσι ο σταθμός φτιάχτηκε λίγες δεκάδες μέτρα ανατολικότερα, στη συμβολή των οδών Θηβών και Αναπαύσεως.

Τέλος, 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. (Πανγαία, 2007)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

2.1.2 Ο τρόπος εκμετάλλευσης του λιγνίτη

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. 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 8:Χάρτης εκμετάλλευσης

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 εκμεταλλευόμενου κοιτάσματος ήταν περίπου 20.000 ton (εκτιμώμενη συνολική ποσότητα κοιτάσματος 86.250 ton).

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας

Η γεωλογική δομή του λεκανοπεδίου της Αθήνας παρουσιάζει πολυπλοκότητα όσον αφορά στο γεωτεκτονικό της πλαίσιο. Το βορειοδυτικό του τμήμα καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους του Αιγάλεω και της Πάρνηθας, που συνίστανται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ιζηματογενείς ανθρακικούς μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στην Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη. 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 – Υποπελαγονική γεωτεκτονική ζώνη.

Το βορειοδυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου των Αθηνών παρουσιάζει την παρακάτω στρωματογραφική διάρθρωση(I.Γ.Μ.Ε., 1978):

- ✓ 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 αποθεθεί οφιολιθικά πετρώματα λόγω παλαιοαλπικών πτυχώσεων.
- ✓ Τέλος, η στρωματογραφική στήλη συνεχίζεται με τους επικλυσιογενείς ασβεστόλιθους του Μέσου – Ανώτερου Κρητιδικού, που έχουν αποθεθεί ασύμφωνα στους προηγούμενους σχηματισμούς, με πάχος που ανέρχεται σε 300 m.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Η στρωματογραφική στήλη του όρους Αιγάλεω είναι η ακόλουθη(Δούνας & Γαϊτανάκης, 1981):

- ✓ Νεοπαλαιοζωϊκό – Μ. Τριαδικό: Τεφροπράσινοι αργιλικόι σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, βασικά εκρηξιγενή και κροκαλοπαγή με ενστρώσεις και φακούς μελανότεφρων ασβεστολίθων
- ✓ • Μ. Τριαδικό – Κ. Ιουρασικό: Ανοιχτότεφροι, μεσο-παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι – δολομίτες, που αποτελούν τον κύριο όγκο του όρους.
- ✓ • Κενομάνιο – Σενώνιο: Επικλυσιγενείς, λεπτοστρωματώδεις ή μεσοπαχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, που κατά θέσεις καλύπτουν τα βωξιτικά και σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα.

Η στρωματογραφική διάρθρωση του βορειοανατολικού και νοτιοανατολικού τμήματος του λεκανοπεδίου, από τους παλαιότερους προς του νεότερους σχηματισμούς, είναι η ακόλουθη(Lepsius, 1893):

- ✓ Ασβεστομιγείς και μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι με λεπτοστρωματώδεις κρυσταλλικούς δολομιτικούς ασβεστόλιθους (Σχιστόλιθοι Βάρης), που έχουν πάχος 100 m περίπου και συναντώνται μόνο σε περιοχές της Βάρης.
- ✓ Δολομιτικοί και ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι ανοιχτότεφρου, τεφρού ή μελανού χρώματος, πάχους περίπου 200 m (βαθμίδα Πιρναρής). Συναντώνται στον Νότιο Υμηττό πάνω από τις περιοχές Ελληνικού – Αργυρούπολης.
- ✓ Κατώτερο μάρμαρο: ροδόχροα, υποκίτρινα ή λευκά άστρωτα μάρμαρα, κατά θέσεις κυψελώδη – λατυποπαγή. Εμφανίζουν πάχος περίπου 500 m και αποτελούν την κύρια μάζα του Υμηττού.
- ✓ Μαρμαρυγιακοί και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι με ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστόλιθων ή μαρμάρων (Σχιστόλιθοι Καισαριανής). Το πάχος του σχηματισμού ανέρχεται σε 250 m περίπου και συναντάται στον Βόρειο Υμηττό και στην Πεντέλη.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθείας εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 9:Γεωλογικός χάρτης Αττικής(Ι.Γ.Μ.Ε., 1978)

Επάνω σε αυτά τα στρώματα επικάθονται ασυμφώνως ο «Κατώτερος Ασβεστόλιθος» και τα «Στρώματα Καρά», Κατωκρητιδικής και Ιουρασικής ηλικίας, που εμφανίζονται στους βόρειους και δυτικούς πρόποδες του Υμηττού. Στη συνέχεια τοποθετούνται, επίσης με ασυμφωνία, οι «Σχιστόλιθοι των Αθηνών» και ο «Ανώτερος Ασβεστόλιθος του Λυκαβηττού», Κρητιδικής ηλικία.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

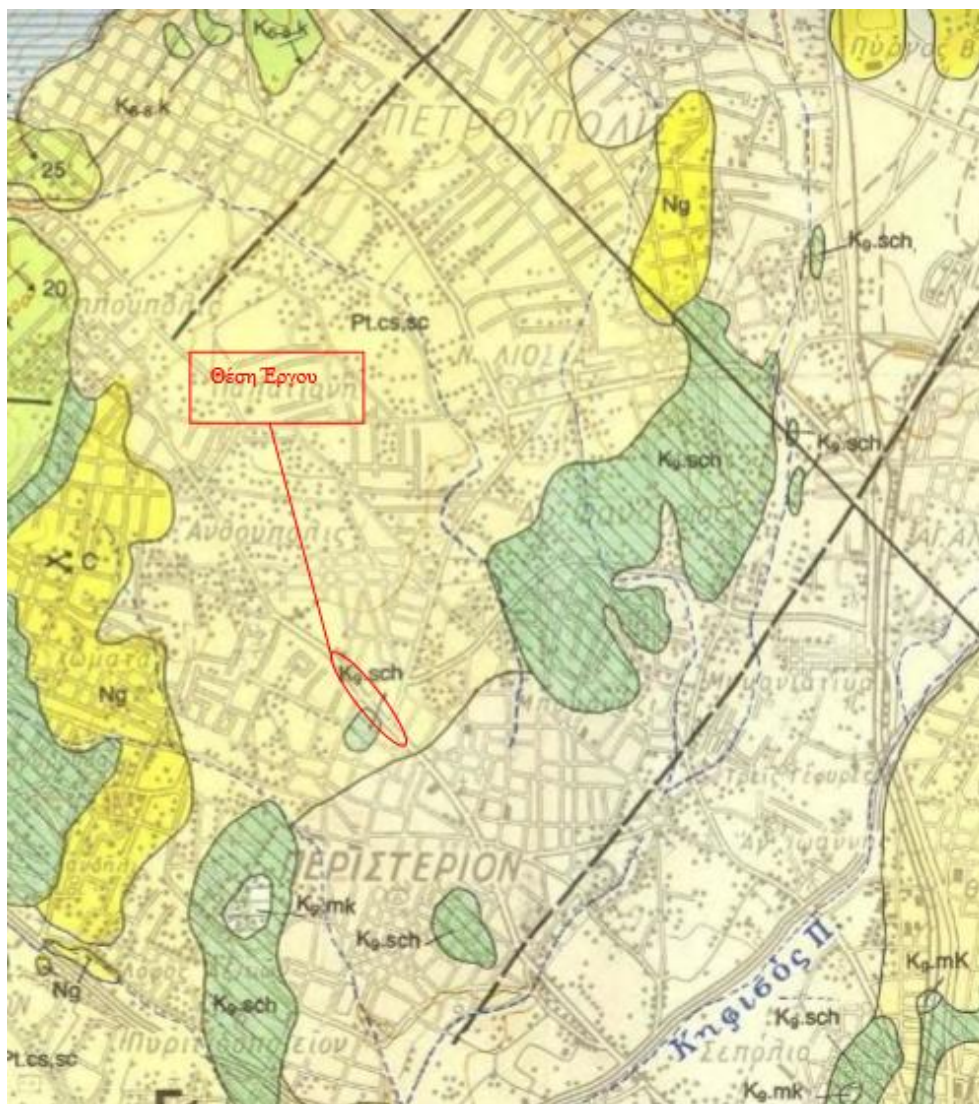
3.1.1. Περιοχή του σταθμού

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης συνιστά την λεκάνη του Περιστερίου, της οποίας το γεωλογικό υπόβαθρο συνίσταται από τους «Αθηναϊκούς Σχιστολίθους». Μεγάλα τμήματα του συστήματος των σχιστολίθων καλύπτονται από μικρού έως μεγάλου πάχους, νεότερης ηλικίας, σχηματισμούς του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

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

- **Οι «Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι» (K9.sch).** Αποτελούν το άμεσο υπόβαθρο της περιοχής του έργου. Συνίστανται από τεφρούς, κυανότεφρους ή υποπράσινους αργιλικούς και ψαμμιτικούς σχιστολίθους, ασβεστιτικούς ψαμμίτες και γραουβάκες, με ενστρώσεις ασβεστολίθων και σχιστωδών μαργών και με μικρά σώματα εκρηξιγενών πετρωμάτων, κυρίως σπιλιτών. Νοτιοδυτικά της περιοχής του έργου παρατηρείται ανάδυση των σχιστολίθων στην επιφάνεια του εδάφους.
- **Τα Νεογενή ιζήματα (Ng).** Έχουν σημαντική επιφανειακή εμφάνιση δυτικά της θέσης του έργου. Συνίστανται από εναλλασσόμενα στρώματα, λιμναίας φάσης, μαργών, αργίλων και ψαμμιτών, με παρεμβολές κροκαλοπαγών και κοιτάσματα λιγνιτών. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε χερσαίους σχηματισμούς, κυρίως από ερυθροπηλούς και κροκαλοπαγή. Επικάθονται των «Αθηναϊκών Σχιστολίθων».
- **Τεταρτογενείς αποθέσεις (Pt.cs,sc).** Ριπίδια χειμάρρων, πλευρικά κορήματα και προσχωσιγενή υλικά κοιλάδων, αποτελούμενα από ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή, ισχυρώς συγκολλημένα από ψαμμιτομαργαϊκό συνδετικό υλικό.
- **Αλλουβιακές αποθέσεις (al)** χαλαρών αργιλοαμμωδών υλικών με κροκαλολατύπες και ερυθρογή. Οι τεταρτογενείς και αλλουβιακές αποθέσεις συναντώνται επιφανειακά σε όλη την έκταση του έργου με διάφορα πάχη σχηματισμών.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 10:Γεωλογία της περιοχής Ανθούπολης(Πανγαία, 2007).

Γενικά, η περιοχή μελέτης καλύπτεται, επιφανειακά, από τις ολοκαινικές αλλουβιακές αποθέσεις (αναμειγμένες με επιχωματώσεις). Επιφανειακές εξάρσεις του «Αθηναϊκού Σχιστολίθου» συναντώνται σε διάφορες αποστάσεις γύρω από τον σταθμό .

Τον Ιανουάριο 2000 η εταιρεία μελετών «ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΕΠΕ – ΙΣΤΡΙΑ» ανέλαβε την ανόρυξη 8 δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (THP1 έως THP8) και δεκαεπτά 17 καταστροφικών – άνευ δειγματοληψίας (μέσου βάθους 100 m). Σκοπός

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

της έρευνας ήταν ο εντοπισμός λιγνιτικών οριζόντων ,καθώς και υπόγειων στοών εκμετάλλευσης.

Από τις γεωτρήσεις αυτές η ΤΗΡ18 ανορύχθηκε στο όριο του σταθμού «Ανθούπολη» μέχρι βάθους 54 μέτρων και ήταν δειγματοληπτική. Από την επιφάνεια έως το βάθος των 31m διατρήθηκε μαργαϊκός Ασβεστόλιθος σε εναλλαγές με αργιλώδη Μάργα. Στη συνέχεια, από τα 31.00 m έως τα 38.00 m, διατρήθηκε αργιλώδης Μάργα με ψαμμιτικές ενδιαστρώσεις, από τα 38.00 m έως τα 49.00 m κυανότερη αργιλώδης Μάργα με ενδιαστρώσεις λιγνίτη και τέλος, από τα 49.00 m έως τα 54.00 m Σχιστόλιθος και Μάρμαρα σε εναλλαγές. Δηλαδή, οι πρώτοι λιγνιτικοί ορίζοντες εμφανίζονται σε βάθος που ξεπερνά τα 38.00 m. Δεδομένου ότι δεν συναντήθηκε κάποια υπόγειο άνοιγμα κατά την διάτρηση της γεώτρησης στην συγκεκριμένη θέση, εκτιμάται ,ότι οι λιγνιτικοί ορίζοντες δεν ήταν εκμεταλλεύσιμοι σε αυτό το βάθος. (Πανγαία, 2007)

3.2 Υδρογεωλογικά Στοιχεία

Στο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής κυριαρχεί ο Κηφισός Ποταμός, ο οποίος αποτελεί τον κύριο και τελικό αποδέκτη όλων των υπολοίπων ρεμάτων. Στα ανάντη της περιοχής μελέτης υφίστανται δεκάδες κλάδοι μικρής τάξης, οι οποίοι αποδίδονται στην κατείσδυση του νερού στους χαλαρούς σχηματισμούς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία επιφανειακών υδροφορέων. Οι περισσότεροι από αυτούς έχουν επιχωθεί στα πλαίσια της οικιστικής ανάπτυξης της περιοχής.

Στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής διακρίνεται, επίσης, ρέμα αγνώστου ονομασίας, το οποίο πηγάζει από τις υπώρειες του όρους Αιγάλεω και διέρχεται από τα Νέα Λιόσια σε απόσταση περί τα 750 m από την θέση του σταθμού «Ανθούπολη» εντός των ολοκαινικών αλλουβιακών αποθέσεων, τροφοδοτώντας, έτσι τους επιφανειακούς υδροφόρους ορίζοντες .Τα υπόγεια ύδατα, παρουσιάζουν σχεδόν παράλληλη ροή με τη διεύθυνση του άξονα της σήραγγας στην περιοχή του έργου(Πανγαία, 2007).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

4. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

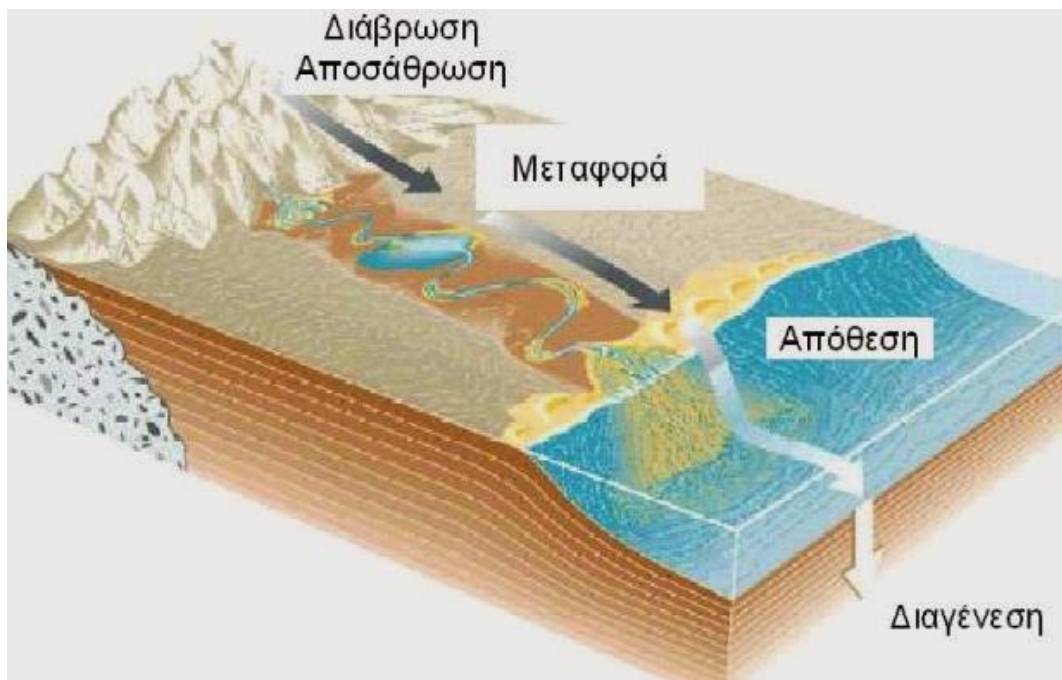
Σαν έδαφος χαρακτηρίζεται ένα σχετικά χαλαρό συσσωμάτωμα ορυκτών των οποίων τα κενά μεταξύ των κόκκων καταλαμβάνονται από αέρα ή και νερό. Βρίσκεται πάνω στο υγιές γεωλογικό υπόβαθρο και αποτελεί δευτερογενή σχηματισμό. Η δημιουργία του εδάφους οφείλεται στις φυσικές,χημικές ή και αλλές αποσάθρωτικές διεργασίες που επιτελούνται στο μητρικό πέτρωμα. Έτσι διακρίνονται τρεις τύποι εδαφών ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους:

- Αυτόχθονα προέρχονται από επι τόπου σχηματισμό,χωρίς μεταφορά
- Αλλόχθονα (από μεταφορά) π.χ. χάλικες, ιλύες,άργιλοι
- Οργανικά αποτελούνται από προϊόντα αποσάθρωσης των πετρωμάτων με εμφάνιση προσμίξεων φυτικών υλών σε αποσύνθεση.

Συμπερασματικά, οι δύο πρώτοι τύποι εδαφών αποτελούνται κυρίως από προϊόντα φυσικής και χημικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων ,ενώ ο τρίτος τύπος είναι οργανικής κυριώς προέλευσης.

Στην Τεχνική Γεωλογία το έδαφος είναι ένα φυσικό σύνολο ορυκτών κόκκων που μπορούν να διαχωριστούν με απλές μηχανικές μεθόδους ,ενώ όλα τα υπόλοιπα φυσικά υλικά μπορούν να ταξινομηθούν σαν βράχος(TERZAGHI and PECK ,1967). Στην περίπτωση του βράχου οι κόκκοι συνδέονται με ισχυρές και μόνιμες δυνάμεις ,καθώς επίσης και με την ύπαρξη συγκολλητικής ύλης.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 11: Δημιουργία πετρωμάτων

4.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών

Από τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων και των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών κατέστη δυνατή η ομαδοποίηση / ενοποίηση των σχηματισμών στην περιοχή κατασκευής του σταθμού «Ανθούπολη», με βάση τα γεωτεχνικά τους χαρακτηριστικά, σε σύνολο οκτώ γεωτεχνικών ενοτήτων (Παναγία, 2007).

- Τεχνητές Επιχώσεις και Επιφανειακές Αποθέσεις σε μορφή καστανής, μέσης συνεκτικότητας έως στιφρής, αμμώδους Αργίλου, με χάλικες κατά θέσεις.
- Τεφρός έως τεφροπράσινος, ασθενής έως μέτρια ασθενής, μέτρια έως εντελώς αποσαθρωμένος, εξαλλοιωμένος Μέταψαμμιτης. Κατά θέσεις εμφανίζεται ασβεστιτικός έως ιλυώδης.
- Τεφρός έως τεφροπράσινος, μέτρια ασθενής έως μέτρια ισχυρός, μέτρια αποσαθρωμένος, Μέταψαμμιτης. Κατά θέσεις εμφανίζεται ασβεστιτικός.
- Τεφρός, ισχυρός, μέτρια τεκτονισμένος Ασβεστιτικός Μέταψαμμιτης.
- Τεφροπράσινος, μέτρια ασθενής έως ασθενής, μέτρια έως εντελώς αποσαθρωμένος (εξαλλοιωμένος) Μεταλυόλιθος

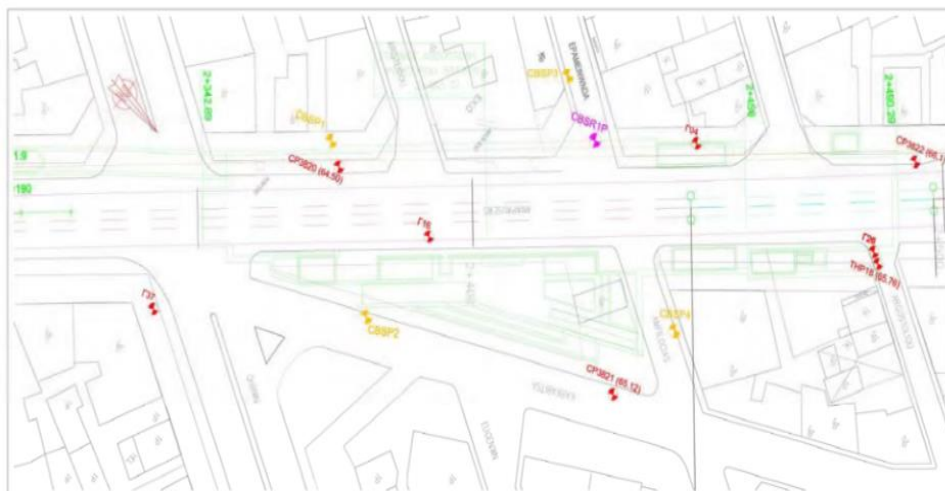
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

- Σκουρότεφος μέτρια ασθενής έως ασθενής, μέτρια έως εντελώς αποσαθρωμένος (εξαλλοιωμένος) Αργίλικος Σχιστόλιθος
- Υπόλευκη έως καστανοκίτρινη, μέτρια έως έντονα αποσαθρωμένη, ασθενής Μάργα.
- Υπόλευκη έως καστανοκίτρινη, συμπαγής, μέτρια ισχυρή, αμμώδης Μάργα.

Πίνακας 2: στοιχεία γεωτρήσεων

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Χ.Θ.	Χ	Υ	Ζ	ΒΑΘΟΣ	ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΑΠΟ
CBSP1	2+370.31	96084.89	104531.49	64.45	31.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CBSP2	2+377.20	96102.098	104558.407	64.60	31.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CBSP3	2+420.69	96041.79	104559.65	64.66	31.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CBSP4	2+442.49	96058.533	104607.160	65.48	31.00 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CBSR1P	2+426.21	96233.7217	104340.6818	65.07	31.60 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
Γ16	2+390.69	96082.6930	104558.0903	64.83	30.00 m	ΚΟΤΖΙΑΣ-ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ
Γ26	2+484.81	96019.1679	104627.9142	65.93	30.00 m	ΚΟΤΖΙΑΣ-ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ
Γ04	2+447.73	96031.4765	104587.5578	65.30	28.90 m	ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΛΛΙΟΥ
CP3820	2+731.83	96087.0720	104535.8210	64.56	30.40 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CP3821	2+429.66	96075.6270	104605.5470	65.12	29.70 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.
CP3822	2+496.44	96001.5680	104623.2550	66.13	30.20 m	ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 12:Θέσεις γεωτρήσεων(Παναγία, 2007).

4.2 Υδροπερατότητα Σχηματισμών

Διαπερατότητα είναι η ιδιότητα των υλικών να επιτρέπουν την κίνηση ενός ρευστού διαμέσου της μάζας του . Συνεπώς οποιοσδήποτε σχηματισμός επιτρέπει τη διέλευση ρευστού από τη μάζα τους καλείται διαπερατός ,ενώ ο σχηματισμός που δεν επιτρέπει την διέλευση καλείται αδιαπέρατος (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΙΑΤΑΚΑΚΗΣ 2002).

Η εσωτερική διαπερατότητα είναι στενά συνδεδεμένη με το πορώδες των διάφορων εδαφικών αλλά και βραχώδων σχηματισμών. Για τους βραχώδους σχηματισμούς περα από το πορώδες υπάρχει και το δευτερογενές πορώδες ,το οποίο σχηματίζεται από τυχόν ρωγματώσεις τους σχηματισμού ή από ασυνέχεις ,το οποίο καθορίζει και αυτό την περατότητα του σχηματισμού.

Από τον νόμο του Darcy είναι γνωστό ότι ισχύει : $v=k*i$ όπου (v) περιγράφεται η ταχύτητα , (k) συντελεστής υδροπερατότητα και (i) η υδραυλική κλίση. Μερικές τιμές του k δίνονται στον παρακάτω πίνακα και ο προσδιορισμός του γίνεται εργαστηριακά ή με επι τόπου δοκιμές κατά την εκτέλεση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων ή και ακόμα με την εκτέλεση δοκιμαστικών αντλήσεων από υδρογεωτρήσεις.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 3:Χαρακτηρίσμος σχηματισμών ανάλογα με την υδροπερατότητα

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	k (cm/sec)	ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
ΥΨΗΛΗ	$>10^{-1}$	ΚΑΘΑΡΑ ΧΑΛΙΚΙΑ,ΑΜΜΩΔΗ ΧΑΛΙΚΙΑ
ΜΕΣΗ	$10^{-1}-10^{-3}$	ΚΑΘΑΡΕΣ-ΑΜΜΟΙ, ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΑ
ΧΑΜΗΛΗ	$10^{-3}-10^{-5}$	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΕΣ ΑΜΜΟΙ,ΑΜΜΩΔΕΙΣ ΙΛΥΕΣ, ΙΛΥΕΣ
ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	$10^{-5}-10^{-7}$	ΑΡΓΙΛΟΙ,ΙΛΥΕΣ
ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟ	$<10^{-7}$	ΑΡΓΙΛΟΙ

4.2.1 Οι δοκιμές υδροπερατότητας Lugeon, Maag και Lefranc

ΔΟΚΙΜΗ ΜΑΑΓ (ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ)

Η δοκιμή αυτή είναι η απλούστερη μέθοδος για τον προσδιορισμό του συντελεστή υδροπερατότητας. Συνήθως, χρησιμοποιείται στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών (ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ 2015).



Εικόνα 13:Δοκιμή ΜΑΑΓ(ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ 2015).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Υπολογισμός Συντελεστή Υδραυλικής Αγωγιμότητας

$$K = (A/c*t)*\ln h_1/h_2$$

A = το εμβαδό της διατομής

c = συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος

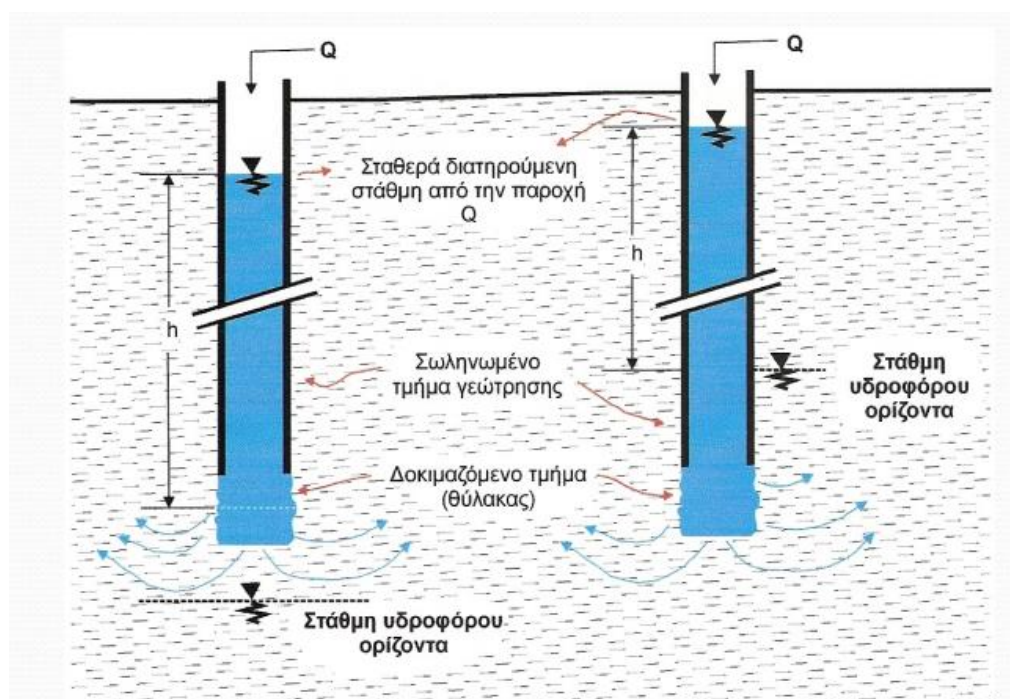
t = η χρονική διάρκεια του βήματος πτώσης της στάθμης (σε sec),

h₁ = το αρχικό ύψος της στάθμης από το επίπεδο αναφοράς (σε cm),

h₂ = το τελικό ύψος της στάθμης από το επίπεδο αναφοράς (σε cm).

ΔΟΚΙΜΗ LEFRANC(ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ)

Η δοκιμή αυτή εφαρμόζεται σε ανδρόκοκκους εδαφικούς σχηματισμούς. Σε αυτήν την δοκιμή η παροχή του νερού μετριέται ανα τακτά χρονικά διαστήματα και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Γενικά, ο υπολογισμός του συντελεστή υδροπερατότητας εξαρτάται από τη μορφή του δοκιμαζόμενου τμήματος ,αλλά και την θέση του σε σχέση με την στάθμη του υπόγειου υδροφόρου οριζοντα (ΛΟΥΠΙΑΣΑΚΗΣ 2015).



Εικόνα 14:Δοκιμή LEFRANC(ΛΟΥΠΙΑΣΑΚΗΣ 2015).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Υπολογισμός Συντελεστή Υδραυλικής Αγωγιμότητας

$$K = Q/c \cdot h$$

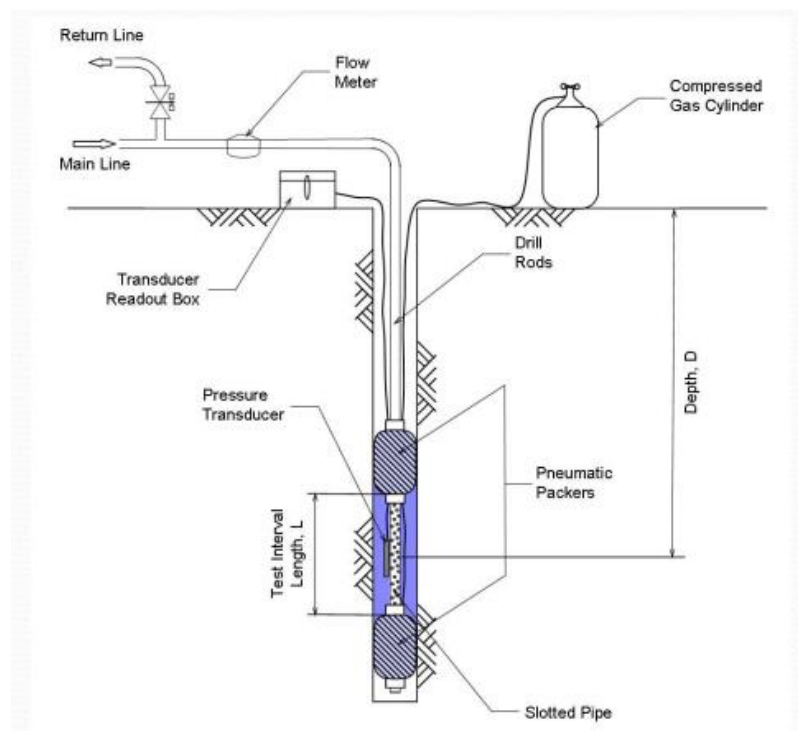
Q = η παροχή του νερού σε cm^3 / sec ,

c = συντελεστής σχετιζόμενος με τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος,

h = το ύψος της φορτίζουσας στήλης, σε cm

ΔΟΚΙΜΗ LUGEON (ΓΙΑ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ)

Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται για βραχώδεις σχηματισμούς . Στη δοκιμή αυτή το δοκιμαζόμενο τμήμα απομονώνεται από πάνω με παρέβρυσμα ,το οποίο διογκούμενο με ειδική τεχνική εφάπτεται στα τοιχώματα της γεώτρησης. Με αυτόν τον τρόπο δεν επιτρέπεται διαφυγή νερού μέσα από την στήλη της γεώτρησης και εισπίζεται νερό από την επιφάνεια με αντλία (ΛΟΥΠΙΑΣΑΚΗΣ 2015).



Εικόνα 15: Δοκιμή LUGEON (ΛΟΥΠΙΑΣΑΚΗΣ 2015).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Υπολογισμός Συντελεστή Υδραυλικής Αγωγιμότητας

$$K = Q/2\pi * L * P * \ln 2L/D$$

Q = οι απώλειες (σε cm³ /sec ή lit/min),

L = το μήκος του εισπιεζόμενου τμήματος (σε cm),

P = η πραγματική ασκούμενη πίεση της δοκιμής σε cm στήλης νερού, (10m στήλης νερού = 1atm),

D = η διάμετρος του δοκιμαζόμενου τμήματος (σε cm)

4.2.2 Δοκιμές υδροπερατότητας παλαιών γεωτρήσεων(στην περιοχή του έργου)

Σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις που ανορύχθησαν σε παλαιότερα προγράμματα γεωτεχνικών ερευνών εκτελέστηκαν δοκιμές υδροπερατότητας. Αυτές συνίσταντο σε δοκιμές κατερχόμενου (Maag) ή ανερχόμενου (Lefranc) φορτίου στα χαλαρά εδάφη και σε δοκιμές εισπίεσης ύδατος (Lugeon) σε βραχώδεις σχηματισμούς.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών ανά γεώτρηση στην περιοχή του έργου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα δοκιμών υδροπερατότητας

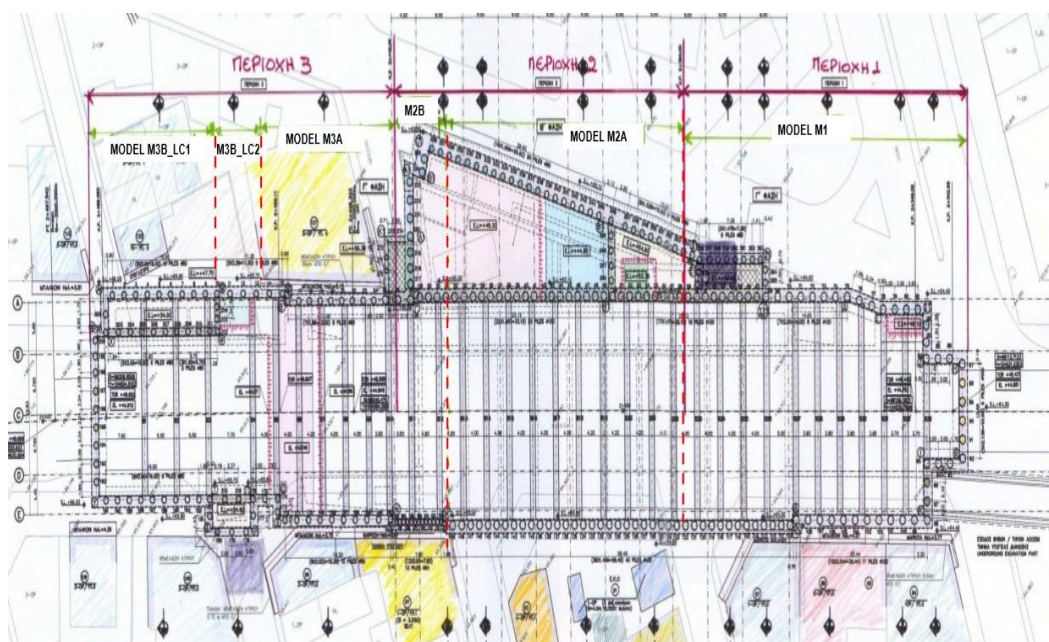
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΒΑΘΟΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
Γ16	Lugeon	10.00 – 13.00	0
		13.00 – 16.00	0
		16.00 – 19.00	$1,11 \cdot 10^{-5}$
		19.00 – 22.00	$7,32 \cdot 10^{-6}$
		22.00 – 25.00	0
Γ26	Lugeon	10.00 – 13.00	0
		13.00 – 16.00	0
		16.00 – 19.00	$4,39 \cdot 10^{-6}$
		19.00 – 22.00	$6,24 \cdot 10^{-6}$
		22.00 – 25.00	$1,18 \cdot 10^{-6}$
Γ37	Lugeon	10.00 – 13.00	0
		13.00 – 16.00	$4,53 \cdot 10^{-6}$
		16.00 – 19.00	$1,06 \cdot 10^{-5}$
		19.00 – 22.00	$1,17 \cdot 10^{-3}$
		22.00 – 25.00	$1,28 \cdot 10^{-3}$
CP3820	Maag	5.10 – 5.90	$1,81 \cdot 10^{-5}$
		10.60 – 11.50	$3,38 \cdot 10^{-5}$
		14.90 – 15.70	$2,48 \cdot 10^{-5}$
		19.90 – 20.90	$3,70 \cdot 10^{-5}$
CP3821	Lugeon	4.00 – 9.00	$3,36 \cdot 10^{-4}$
		8.30 – 10.30	$1,97 \cdot 10^{-4}$
		12.20 – 17.20	$1,25 \cdot 10^{-4}$
		17.70 – 22.70	$4,70 \cdot 10^{-5}$
CP3822	Lugeon	5.80 – 8.80	$7,90 \cdot 10^{-5}$
		11.20 – 14.20	$1,50 \cdot 10^{-4}$
		14.00 – 19.00	$1,15 \cdot 10^{-5}$
		22.20 – 27.20	$1,56 \cdot 10^{-5}$

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Η υδατοπερατότητα των σχηματισμών στην περιοχή του έργου ελέγχθηκε με επί τούπου δοκιμές Maag, Lefranc και Lugeon κατά την διάρκεια εκτέλεσης των συμπληρωματικών ερευνητικών γεωτρήσεων. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προκύπτει ότι οι διαπερατότητες είναι χαμηλές μέχρι πολύ χαμηλές και κυμαίνονται από 10^{-4} μέχρι 10^{-6} cm/sec, ενώ σε πολλές δοκιμές εισπίεσης οι απώλειες στις μάργες και τους σχιστόλιθους ήταν μηδενικές.

4.3 Γεωτεχνικές τομές υπολογισμού – τιμές σχεδιασμού γεωτεχνικών παραμέτρων

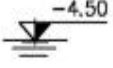
Με βάση των αποτελεσμάτων για τις γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούν βγήκε το αποτέλεσμα της δημιουργίας τριών γεωτεχνικών προσομοιωμάτων. Στην πρώτη και δεύτερη περιοχή κυριαρχούν οι σχηματισμοί του μεταψαμμίτη, με τις δυσμενέστερες συνθήκες να εμφανίζονται στην Περιοχή 2, δηλαδή στο μεσαίο κομμάτι του Σταθμού, όπου επικρατεί ζώνη έντονης διάτμησης στην επαφή του ισχυρού μεταψαμμίτη με την μάργα, με μειωμένα χαρακτηριστικά αντοχής και παραμορφωσιμότητας. Στο τρίτο τμήμα του Σταθμού προς το τέλος του Περιοχή 3, κυριαρχούν οι μάργες και επικρατούν σχετικά βελτιωμένες συνθήκες για την κατασκευή της αντιστήριξης.



Εικόνα 16:Κάτοψη του σταθμού (OTM ATE , 2007).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

- Περιοχή Π1

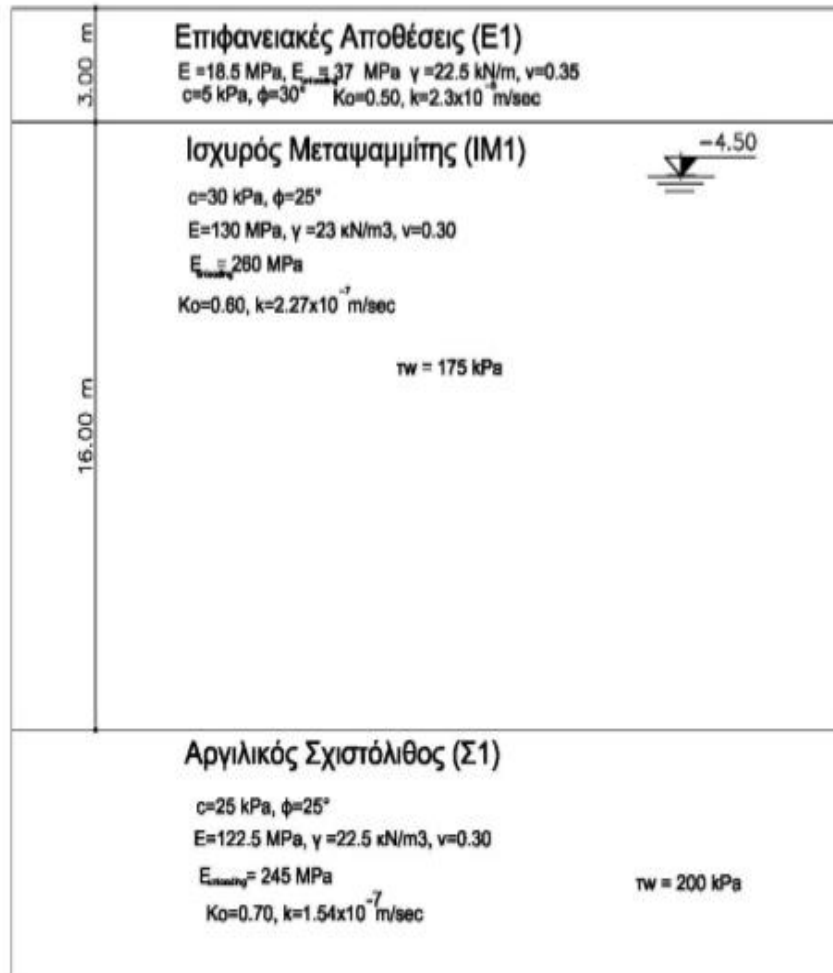
2.80 m	Επιφανειακές Αποθέσεις (E1) $c=5 \text{ kPa}$, $\phi=30^\circ$ $K_0=0.50$, $k=2.3 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ $E=18.5 \text{ MPa}$, $E_{\text{υστερ}}=37 \text{ MPa}$ $\gamma=22.5 \text{ kN/m}$, $\nu=0.35$
7.70 m	Ασθενής Μεταψαμμίτης (AM1)  $c=10 \text{ kPa}$, $\phi=25^\circ$ $E=44.5 \text{ MPa}$, $E_{\text{υστερ}}=89 \text{ MPa}$ $\gamma=23 \text{ kN/m}$, $\nu=0.35$ $K_0=0.60$, $k=2.27 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ <div style="text-align: right;">$t_w = 150 \text{ kPa}$</div>
5.50 m	Ισχυρός Μεταψαμμίτης (IM1) $c=80 \text{ kPa}$, $\phi=35^\circ$ $E=130 \text{ MPa}$, $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $\nu=0.30$ $E_{\text{υστερ}}=260 \text{ MPa}$ $t_w = 200 \text{ kPa}$ $K_0=0.50$, $k=2.27 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$
9.50 m	Ισχυρός Αβεσπιτικός Μεταψαμμίτης (AM2) $c=80 \text{ kPa}$, $\phi=35^\circ$ $E_{\text{υστερ}}=900 \text{ MPa}$ $E=450 \text{ MPa}$, $\gamma=24 \text{ kN/m}^3$, $\nu=0.30$ $t_w = 250 \text{ kPa}$ $K_0=0.50$, $k=5.84 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$

ΠΕΡΙΟΧΗ 1 - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Π1

Εικόνα 17:Γεωτεχνική τομή Π1(Πανγαία, 2007)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

▪ Περιοχή Π2

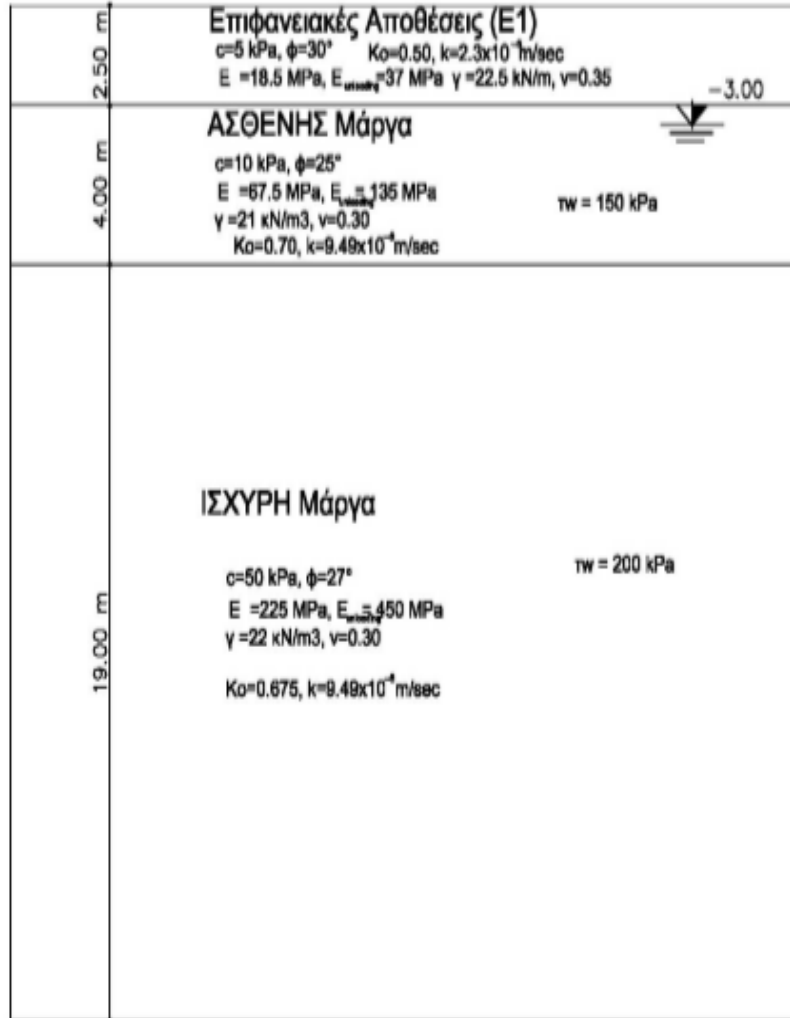


ΠΕΡΙΟΧΗ 2 - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Π2

Εικόνα 18:Γεωτεχνική τομή Π2(Πανγαία, 2007)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

▪ Περιοχή Π3



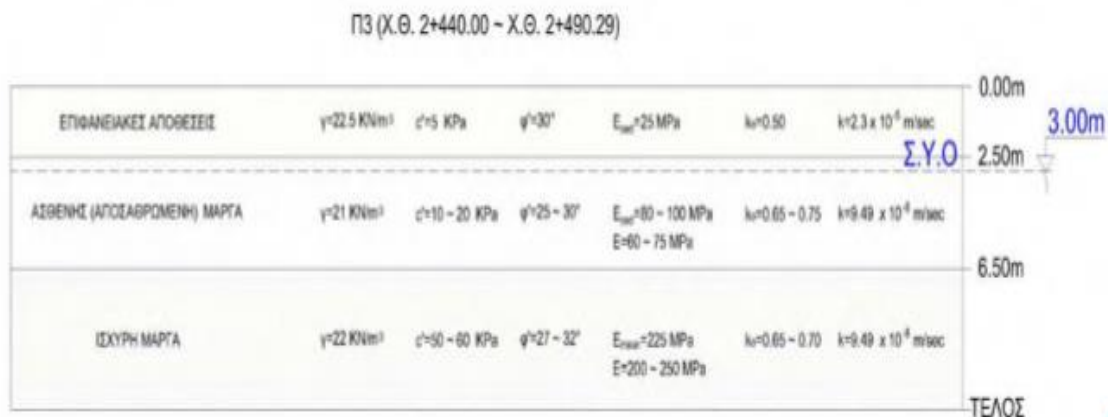
ΠΕΡΙΟΧΗ 3 - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ Π3

Εικόνα 19:Γεωτεχνική τομή Π3(Πανγαία, 2007)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

4.4 Γεωτεχνικές παράμετροι των σχηματισμών

Περιοχή Π3 : Αφορά στην περιοχή του σταθμού από την χ.θ. 2+440 έως και την χ.θ. 2+490.29 (τέλος σταθμού), παρατίθεται η εξειδανικευμένη γεωτεχνική τομή σχεδιασμού για την περιοχή Π3. (Πανγαία, 2007)



Εικόνα 20: Γεωλογικό υπόβαθρο προσομοίωσης (Πανγαία, 2007)

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας των σχηματισμών ελήφθησαν υπ' όψη τα αποτελέσματα των επί τόπου πρεσσιομετρικών και των εργαστηριακών δοκιμών, σε συνδυασμό με επί τόπου μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων, από την οποία προέκυψαν οι τιμές του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI) και την υπάρχουσα εμπειρία από έργα, σε αντίστοιχους σχηματισμούς, στην περιοχή του Λεκανοπεδίου των Αθηνών. Οι γεωτεχνικοί παράμετροι παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 5:Γεωτεχνικοί παράμετροι αποθέσεων,ασθενούς μάργας και ισχυρής μάργας

Ιδιότητες	Αποθέσεις	Ασθενής Μάργα	Ισχυρή Μάργα
Ειδικό βάρος (γ)	22.5 KN/m ³	21KN/m ³	22KN/m ³
Συνόχη (c)	5 kPa	15 kPa	55kPa
Μέτρο ελαστικότητας Eoed	25 MPa,	90 MPa,	225 MPa,
Συντελεστής ωθήσεων (ko)	0.50	0.7	0,67
Λόγος poisson (ν)	0,35	0,3	0,3
Γώνια τρίβης (ϕ)	30 μοιρες	27 μοιρες	30 μοιρες

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

5.1 Γενικά

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

Το κύριο σύστημα αντιστήριξης ,το οποίο χρησιμοποιείται στην κατασκευή του σταθμού αποτελείται από φρεατοπασσάλους, αντηρίδες και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Το σύστημα αντιστήριξης του προσομοιωματος που επιλύεται στο PLAXIS θα αποτελείται από:

- Φρεατοπάσσάλους Φ80 ανά 2.0m
- 1 σειρά αντηρίδων
- 6 προεντεταμένα αγκύρια

Επίσης , η κατασκευή γίνεται σε 16 φάσεις ,οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Ο σχεδιασμός του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης βασίσθηκε στην απαίτηση για την εξασφάλιση γενικής ευστάθειας του σκάμματος και κυριότατα στην ικανοποίηση των περιορισμών των συμβατικών τευχών που σχετίζονται με τις μετακινήσεις των πασσαλότοιχων και τις καθιζήσεις του εδάφους. Οι περιορισμοί αυτοί ,όπως προκύπτουν από τα συμβατικά τεύχη και τις προδιαγραφές μελετών έργων πολιτικού μηχανικού συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 6:Επιτρεπόμενες παραμορφώσεις (ΟΤΜ ΑΤΕ , 2007)

A/A	Μετακίνηση, παραμόρφωση	Ευαίσθητο κτήρια ή κατασκευή	Άλλα Κτήρια	Οδοί, πεζοδρόμια ή Δίκτυα Ο.Κ.Ω.
1	Συνολική καθίζηση mm	20	25	30
2	Γωνιακή παραμόρφωση	1 : 800	1:600	1:600
3	Οριζόντια παραμόρφωση,%	0.15	0.25	0.30

5.2 Ανάλυση προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού

Το κύριο σώμα του σταθμού έχει κάτοψη ορθογωνικού σχήματος διαστάσεων ορύγματος 148X24μ .Το βάθος εκσκαφής που απαιτείται για την κατασκευή είναι περίπου 20m για το κεντρικό «κουτί» του σταθμού και 17m για την περιοχή της διεύρυνσης στη βόρεια πλευρά. Λόγω της στενότητας χώρου που παρατηρείται στην θέση κατασκευής του έργου, της εγγύτητας των κτιρίων στη περίμετρο του σκάμματος και των σχετικά δυσμενών γεωτεχνικών συνθηκών από πλευράς εδάφους, η κατασκευή θα γίνει σε δύο κύριες φάσεις.

Κατά την Α Φάση θα κατασκευασθεί το κεντρικό «κουτί» του Σταθμού. Παράλληλα, με την εκσκαφή του κεντρικού «κουτιού» μόνο σε πρώτη φάση, δίδεται η δυνατότητα, λόγω του ορθογωνικού σχήματος με πλάτος που δεν ξεπερνάει τα λογικά πλαίσια, για την εγκατάσταση αντηρίδων σαν στοιχείων αντιστήριξης. Αυτή η δυνατότητα αποτελεί σημαντικό στοιχείο για τον περιορισμό των παραμορφώσεων κατά την εκσκαφή, θέμα ιδιαίτερα σημαντικό λόγω των υφιστάμενων στην περίμετρο του σκάμματος κατασκευών. Το σύστημα που προτείνεται για την αντιστήριξη του σκάμματος απαρτίζεται από πασσαλοστοιχίες, οι διαμέτροι των πασσάλων και οι αποστάσεις μεταξύ αυτών διαφέρουν για τις τρεις περιοχές του σταθμού. Πιο αναλυτικά (ΟΤΜ ΑΤΕ , 2007) :

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

- Φ100/2.0 για την Περιοχή 1 του Σταθμού,
- Φ100/1.50 για την Περιοχή 2 και
- Φ80/2.0 για την Περιοχή 3

Οι πασσαλοστοιχίες υποστηρίζονται με τη χρήση μιας σειράς αντηρίδων που τοποθετούνται πλησίον της επιφάνειας του εδάφους σε πυκνή διάταξη. Στο ανώτερο τμήμα των πασσάλων προβλέπεται η κατασκευή άκαμπτου διαμήκους κεφαλόδεσμου διαστάσεων 1.50X1.50μ. ή 1.30X1.50μ., επί του οποίου τοποθετούνται οι αντηρίδες. Σ' αυτό το σημείο αναφέρεται, η σημασία της άρτιας τοποθέτησης των αντηρίδων και της εξασφάλισης της απόλυτης σφήνωσης αυτών. Στο υπόλοιπο ύψος εκσκαφής οι πάσσαλοι θα αντιστηριχτούν με 6 σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων, η φέρουσα ικανότητα και το μήκος των οποίων διαφοροποιείται αναλόγως της περιοχής εφαρμογής τους. Μεταξύ των πασσάλων προβλέπεται η εφαρμογή πετάσματος εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 – 15εκ., για την εξασφάλιση από καταπτώσεις του μεταξύ αυτών εδάφους.

Στην Β φάση κατά την εκσκαφή συναντήθηκαν οι προεντεταμένες αγκυρώσεις υποστήριξης των πασσάλων της Α Φάσης. Η αποκοπή αυτών θα πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή. Επίσης, η καθαίρεση των υπαρχόντων από την Α Φάση πασσάλων που θα υπάρχουν στα όρια μεταξύ Α & Β Φάσης, θα γίνει σταδιακά κατά της φάσεις εκσκαφής της Β Φάσης με εφαρμογή συρματοκοπής. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί κατά την καθαίρεση του κατώτερου τμήματος ,έτσι ,ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή της αναμονής της στεγανοποιητικής μεμβράνης, που θα πρέπει να διαστρωθεί στη συνέχεια μετά από αναδίπλωση στο δάπεδο της Β Φάσης για την εξασφάλιση της στεγανότητας της κατασκευής (OTM ATE , 2007).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

5.3 Φάσεις εκσκαφής

- Εκσκαφή 2.0 m
- Εγκατάσταση Αντηρίδας Φ914.4 mm / 14.3 mm
- Εκσκαφή 2.5 m
- Εγκατάσταση 1ης σειράς προεντεταμένων αγκυρίων
- Εκσκαφή 3.0 m
- Εγκατάσταση 2ης σειράς προεντεταμένων αγκυρίων
- Εκσκαφή 3.0 m
- Εγκατάσταση 3ης σειράς προεντεταμένων αγκυρίων
- Εκσκαφή 3.0 m
- Εγκατάσταση 4ης σειράς προεντεταμένων αγκυρίων
- Εκσκαφή 2.5 m
- Εγκατάσταση 5ης σειράς προεντεταμένων αγκυρίων
- Εκσκαφή 2.5 m
- Εγκατάσταση 6ης σειράς προεντεταμένων αγκυρίων
- Εκσκαφή 2.0 m

5.4 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 μετρήσεις των οριζοντίων μετακινήσεων της αντιστήριξης μπορεί να γίνονται ,είτε με τοπογραφικές μεθόδους ,είτε με την τοποθέτηση αποκλισιομετρικών σωλήνων εντός των πασσάλων της αντιστήριξης και στην συνέχεια με την περιοδική λήψη αποκλισιομετρικών μετρήσεων. Γενικά συνιστάται η διάταξη των θέσεων μέτρησης των οριζοντίων μετακινήσεων σε θέσεις μακριά από γωνίες ή άλλες γεωμετρικές ιδιαιτερότητες της κατασκευής ,ώστε να είναι αμεσότερη η ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Η παρακολούθηση κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων σε βάθος έχει μικρή σημασία για κατασκευές αντιστηρίξεων. Τα οριζόντια εκτασιόμετρα δίδουν ενδεχομένως μια εικόνα της έκτασης της ζώνης πίσω από την

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

αντιστήριξη που μετακινείται οριζοντίως και μπορούν αυτά να διαταχθούν σε θέσεις όπου παρακολουθείται ταυτόχρονα και η δύναμη των αγκυρώσεων.

Για την παρακολούθηση των δυνάμεων των προεντεταμένων αγκυρώσεων συνιστάται να επιλεγθούν χαρακτηριστικές διατομές σε θέσεις μακριά από γωνίες ή άλλες γεωμετρικές ιδιαιτερότητες της κατασκευής ,ώστε να είναι αμεσότερη η ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Είναι σκόπιμο δε στις ίδιες θέσεις να παρακολουθούνται οι οριζόντιες μετακινήσεις του πετάσματος της αντιστήριξης. Ομοίως για την παρακολούθηση των δυνάμεων που αναλαμβάνουν οι αντηρίδες είναι σκόπιμο να επιλεγθούν χαρακτηριστικές διατομές ,οι οποίες είναι μακριά από το σύνορο της αντιστήριξης.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

6. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ PLAXIS 2D ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΡΟ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ».

Στα πλαίσια του σχεδιασμού και της μελέτης ενός τεχνικού έργου, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της ευστάθειας τως έργων ,συνεπώς και η εκτίμηση και ο προσδιορισμός των μέτρων άμεσης υποστήριξης. Συνεπώς μια ακριβής ανάλυση της συμπεριφοράς ενός τεχνικού εργου θα πρέπει να περιλαμβάνει την ακολουθία των φάσεων εκσκαφής και υποστήριξης ,καθώς και την αλληλεπίδραση των μέτρων υποστήριξης μεταξύ τους. Προς αυτην την κατεύθυνση κινούνται οι δισδιάστατες αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία. (ΚΟΥΚΗΣ-ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

Η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα είναι δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου οι καταπονήσεις και τα γεωμετρικά σχήματα είναι πάρα πολύ απλά. Όμως, υπήρχε η ανάγκη να λυθούν και πιο σύνθετα προβλήματα και γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν διάφορες αναλυτικές μέθοδοι.

Μία τέτοια μέθοδος είναι και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων.

6.1 Το λογισμικό PLAXIS

Το PLAXIS είναι ένα πρόγραμμα που εφαρμόζει τις αρχές της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων.Το πρόγραμμα αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στο πανεπιστήμιο του Delft στις Κάτω Χώρες ώστε να αξιολογηθούν πιθανές κινήσεις του φράγματος Oosterschelde. Αργότερα ξεκίνησε ως εμπορικό προϊόν και δημιουργήθηκε μια εταιρεία με το ίδιο όνομα για τη διαχείριση της ανάπτυξης και της εμπορίας.

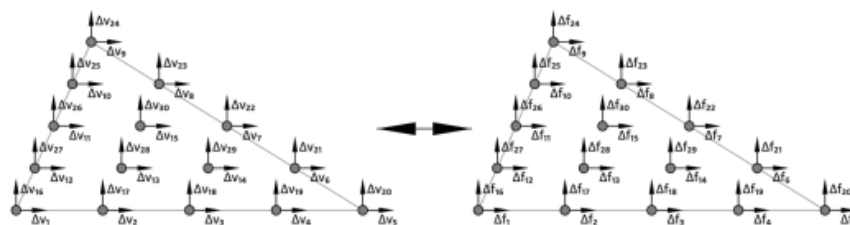
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Χωρίζεται σε 4 υποπρογράμματα τα οποία είναι:

- Εισαγωγή δεδομένων – plaxis Input
- Εκτέλεση υπολογισμών – plaxis Calculations
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων – plaxis Output
- Παραγωγή διαγραμμάτων – plaxis Curves

6.2 Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων στο PLAXIS

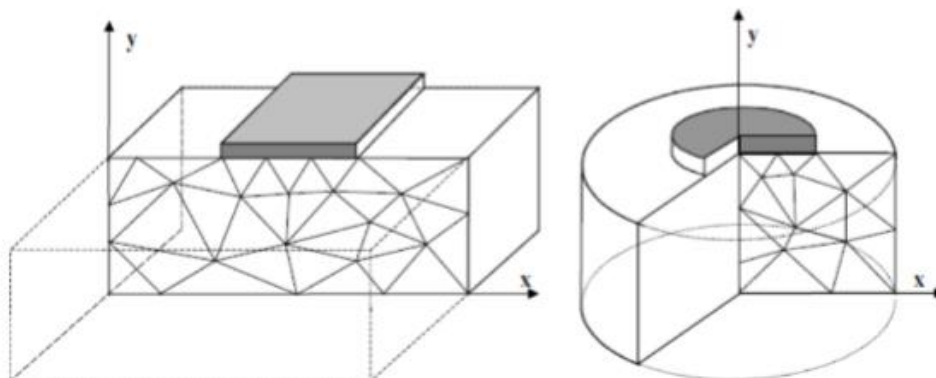
Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων λειτουργεί διαιρώντας τη γεωμετρία σε στοιχεία. Στα στοιχεία αυτά εφαρμόζονται ορισμένοι καταστατικοί νόμοι σχετικά με τη δυσκαμψία. Τα στοιχεία που παρέχονται από το PLAXIS είναι τρίγωνο 6 κόμβων και τρίγωνο 15 κόμβων, όπου στη περίπτωση αεροδυναμικής καταπόνησης κάθε κόμβος έχει δύο βαθμούς ελευθερίας. Το τρίγωνο των 15 κόμβων δίνει καλύτερα αποτελέσματα, αλλά η χρήση του σημαίνει επίλυση περισσότερων εξισώσεων και ως εκ τούτου χρησιμοποιεί περισσότερους υπολογισμούς.



Εικόνα 21:Κάναβος PLAXIS

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

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 22: .Παράδειγμα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση (αριστερά) και διδιάστατου αξονοσυμμετρικού προσομοιώματος(δεξιά) (Plaxis, 2009).

ΠΛΑΚΕΣ (plates)

Θα πρέπει να υπολογιστούν η καμπτική δυσκαμψία EI και η δυστένεια EA όπου:

- $EA_1 = [E(\text{kPa}) * \pi * d^2 / 4(\text{m}^2)] / x(\text{m})$
- $EI_1 = [E(\text{kPa}) * \pi * d^4 / 64 (\text{m}^4)] / x(\text{m})$

d: Διάμετρος πασσάλων (m)

x: Απόσταση πασσάλων (m)

E:Μέτρο Ελαστικότητας πασσάλου (kPa)

ΤΟΙΧΙΟ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

- $EA_2 = [E(\text{kPa}) * (x-d) * w (\text{m}^2)] / x(\text{m}^2)$
- $EI_2 = [E(\text{kPa}) * (x-d) \cdot w^3 / 12(\text{m}^4)] / x(\text{m}^2)$

d: Διάμετρος πασσάλων (m)

x: Απόσταση πασσάλων (m)

w: Πάχος ενδιάμεσου τοιχίου (m)

E: Μέτρο ελαστικότητας τοιχίου (kPa)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΑΓΚΥΡΙΟ

- $EA = E \cdot A_s$

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:

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

d : διάμετρος του βολβού πάκτωσης (cm)

A_s : Συνολική επιφάνεια διατομής (cm)

E: Μέτρο ελαστικότητας αγκυρίου (kPa)

E_b : Μέτρο ελαστικότητας τσιμεντοκονιάματος (kPa)

ΑΝΤΗΡΙΔΑ

- $EA = E \cdot A$

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

E: Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα (kPa)

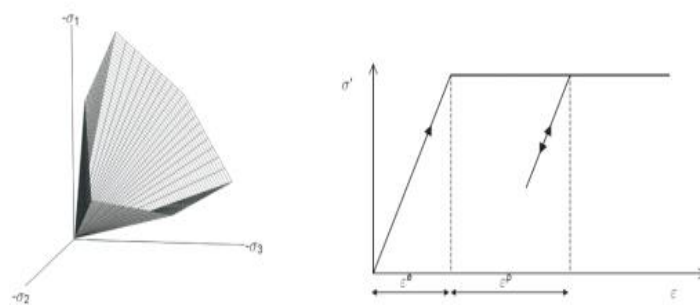
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

6.2.1 Καταστατικοί νόμοι για την περιγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους

Το πρόγραμμα PLAXIS έχει την δυνατότητα επιλογής μοντέλου που περιγράφει την συμπεριφορά του εδάφους. Τα μοντέλα αυτά είναι:

Mohr- Coulomb:

Το κριτήριο Mohr-Coulomb είναι ένα ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο, είναι το πιο συνηθισμένο κριτήριο αστοχίας που παρατηρείται στη γεωτεχνική μηχανική. Πολλές μέθοδοι και προγράμματα γεωτεχνικής ανάλυσης απαιτούν χρήση αυτού του μοντέλου αντοχής. Το κριτήριο Mohr-Coulomb περιγράφει μια γραμμική σχέση μεταξύ κανονικής και διατμητικής τάσης (ή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης) κατά την αστοχία. 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.

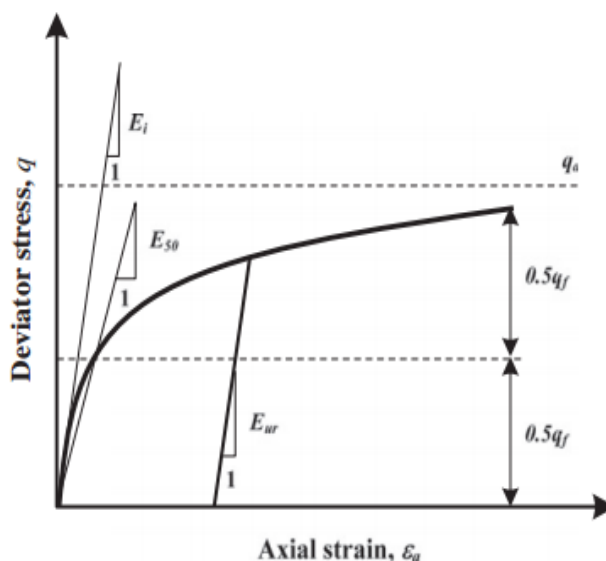


Εικόνα 23: Μοντέλο Mohr-Coulomb

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Hardering soil model:

Το κριτήριο Hardering soil model σε αντίθεση με το μοντέλο Mohr-Coulomb, απεικονίζει τη σχέση διατμητικής τάσης και αξονικής παραμόρφωσης με μια υπερβολική συνάρτηση όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους είναι διαφορετικό τόσο για φόρτωση όσο και για εκφόρτωση όσο και για επαναφόρτιση.



Εικόνα 24: Μοντέλο Hardering soil

Soft soil model:

Το 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.

Joined rock model:

Το Joined rock model είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για να αναλύσει μια βραχώμαζα, στην οποία θα συμπεριληφθούν οι ασυνεχειές της. Επίσης μπορούν να συμπεριληφθούν έως τρεις ασυνέχειες.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Soft soil creep model:

Το 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 εδάφη που η συμπεριφορά τους εξαρτάται από αυτόν. Η δυσκαμψία του υλικού προσδιορίζεται από το μέτρο ελαστικότητας του Young (E).

Linear Elastic:

Το 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). Γενικά αυτό το μοντέλο είναι μη ρεαλιστικό και πρέπει να περιορίζεται η χρήση του.

6.3 Εισαγωγή δεδομένων – Plaxis Input

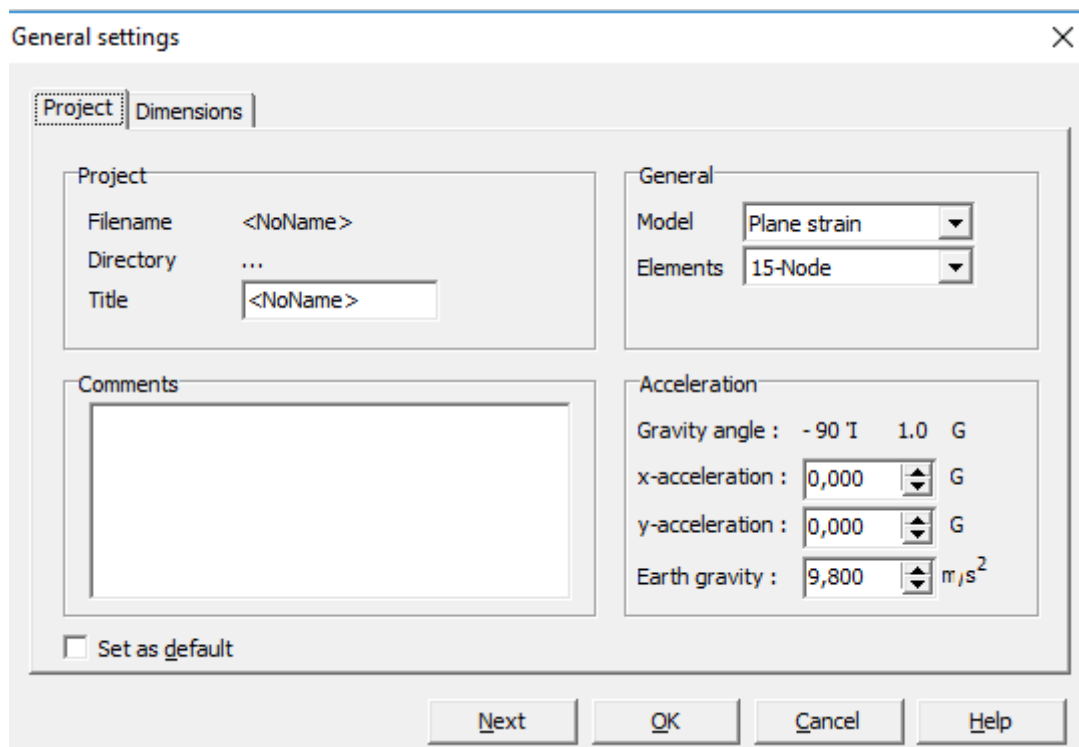
Τώρα θα γίνει μια αναλυτική διαδικασία περιγραφής των βημάτων για την σχεδίαση και την εισαγωγή όλων των απαραίτητων δεδομένων και παραμέτρων. Η διαδικασία επίλυσης έχει τα παρακάτω στάδια:

Αρχικά, κατασκευάζουμε την γεωμετρία της κατασκευής και τα εδαφικά στρώματα ,όπως παρουσιάζονται στο γεωτεχνικό μοντέλο (Π3). Στην συνέχεια, γίνεται η σχεδίαση του διαφραγματικού τοίχου, των αντηρίδων, των αγκυρίων, και του φορτίου στην επιφάνεια της εκσκαφής και διαχωρίζονται τα στάδια κατασκευής. Τέλος, τοποθετούνται οι συνοριακές συνθήκες και εισάγονται οι ιδιότητες των εδαφικών σχηματισμών, αγκυρίων, διαφραγματικού τοίχου και των αντηρίδων. Παρακάτω ακολουθεί αναλύση με όλη την διαδικασία.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

6.3.1 Εισαγωγή “General Settings”

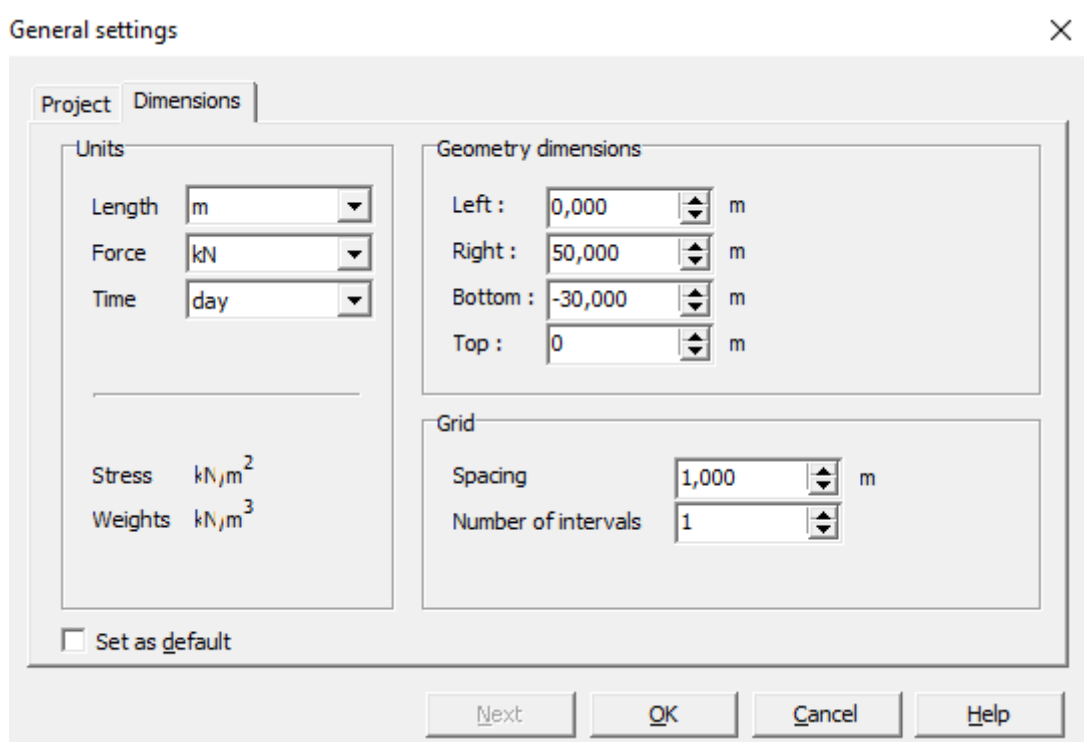
Με την εκκίνηση του προγράμματος με τη, την εντολή “New Project” εμφανίζεται το παράθυρο «General Settings» που αποτελείται από δύο φύλλα. Στο πρώτο φύλλο “Project” δίνεται ο τίτλος του αρχείου,. Στο πεδίο “General” επιλέγεται το μοντέλο επίπεδης παραμόρφωσης ή αξονομετρικού προσομοιώματος και τον αριθμό των πεπερασμένων στοιχείων του καννάβου. Σε αυτήν την περίπτωση επιλέγεται “Model”– Plain Strain και “Elements” – 15Node. Στο πεδίο “ Acceleration” δεν γίνεται προσθήκη επιπλέον δεδομένων γιατί δεν λαμβάνονται υπόψη οι δυναμικές φορτίσεις.



Εικόνα 25:Καρτέλα εισαγωγής γενικών στοιχείων (general settings)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Στο δεύτερο φύλλο που είναι το φύλλο “Dimensions” στο πεδίο “Units” τοποθετούνται οι μονάδες των μεγεθών. Στο πεδίο “Geometry dimensions” εισάγονται οι διαστάσεις της γεωμετρίας του προσομοιώματος ,στο οποίο θα γίνει ο σχεδιασμός της εκσκαφής και στο πεδίο “Grid” καθορίζονται οι παράμετροι και οι αποστάσεις της καννάβου. Τέλος, με την επικύρωση της εντολής “ok”, στην οθόνη εμφανίζεται το γεωμετρικό μοντέλο.



Εικόνα 26:Καρτελα εισαγωγής γενικά στοιχεία – διαστάσεις (general settings-dimensions)

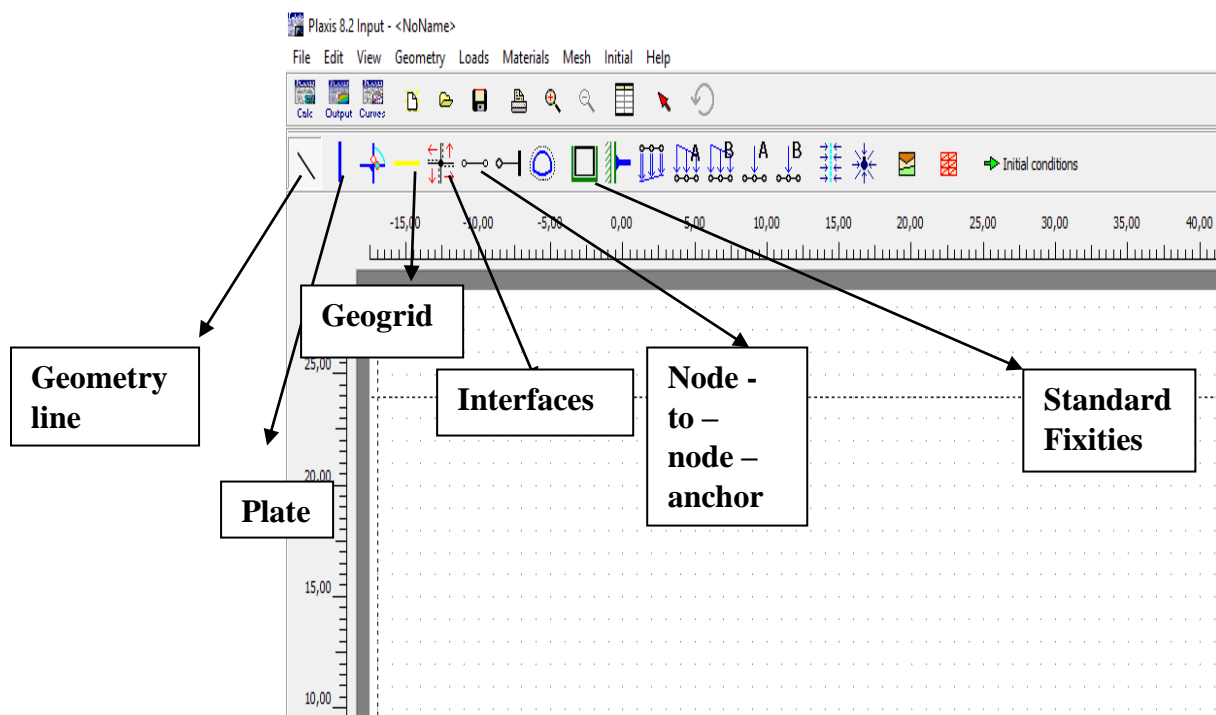
6.3.2 Βασικό παράθυρο Σχεδιασμού – Εισαγωγή γεωμετρίας

Αρχικά θα γίνει η ανάλυση των εντολών που χρησιμοποιούνται για την σχεδίαση του γεωμετρικού μοντέλου. Οι εντολές είναι οι εξής:

- “Geometry line” χρησιμοποιείται :
 - σχεδίαση του μοντέλου
 - τον διαχωρισμό των εδαφικών στρώσεων
 - διαχωρισμό των φάσεων εκσκαφής

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

- **“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
- **“Standard Fixities”** χρησιμοποιείται και την δημιουργία συνοριακών τιμών



Εικόνα 27:Στοιχεία γεωμετρίας

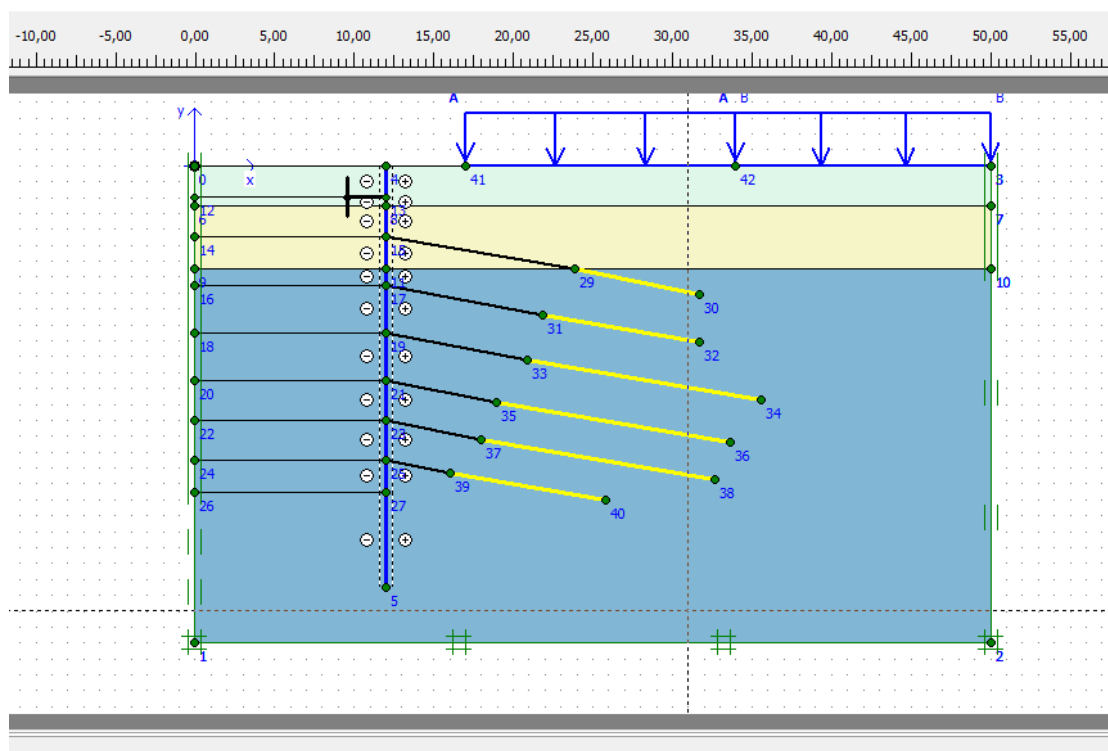
Το πλάτος της εκσκαφής του σταθμού «Ανθούπολη» είναι 24m.. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο πρόγραμμα σχεδιάζεται το μισό της διατομής (12 m) ,εφόσον θεωρείται ότι η κατασκευή είναι συμμετρική.Το βάθος της εκσκαφής είναι 20,5 m με αποτέλεσμα να γίνεται χρήση πασσάλων συνολικού ύψους 26,5 m, με μήκος έμπηξης 6 m. Τοποθετήθηκαν έξι σειρές αγκυρίων με μήκος :

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 7: Δεδομένα αγκυρίων

ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ(μετρα)	ΠΑΚΤΩΜΕΝΟ ΜΕΡΟΣ(μετρα)	ΒΑΘΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ(μετρα)
13	8	4,5
11	10	7,5
10	15	10,5
8	15	13,5
7	15	16
5	10	18,5

Η κλίση των αγκυρίων είναι 10 μοιρών. Επιπλέον τοποθετήθηκε μια σειρά αντηρίδων σε βάθος -2 m με μήκος ίσο με το πλάτος της εκσκαφής για να ελαχιστοποιηθούν οι μετακινήσεις. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ορίζεται και το φορτίο των κατασκευών το Load System A και B. Η βασική γεωμετρία παρουσιάζεται στην παρακάτω.

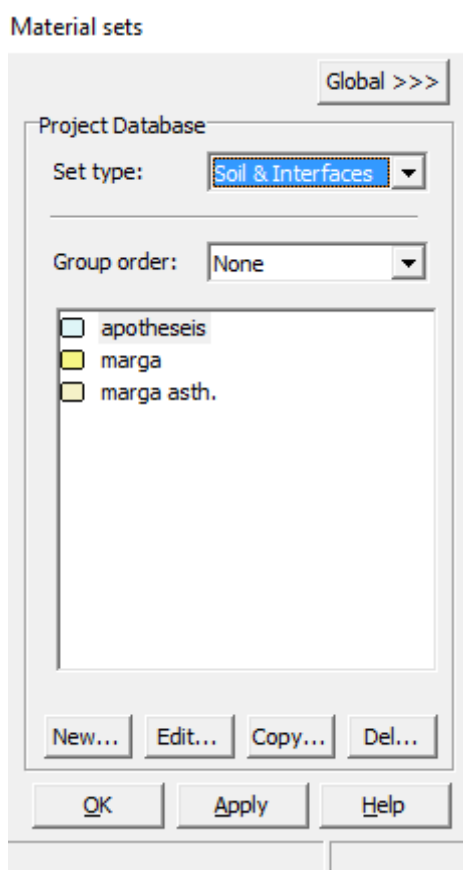


Εικόνα 28: Προσομοίωμα εκσκαφής

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

6.3.3 Καθορισμός ιδιοτήτων

Στο τέλος της κατασκευής του βασικού μοντέλου, καθορίζονται οι ιδιότητες των εδαφικών υλικών, πλακών, αγκυριών, πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου και αντηρίδων. Οι παραπάνω ενέργειες γίνονται μέσω της εντολής “Material Sets” στην γραμμή εργαλείων του προγράμματος που εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο γίνεται η εισαγωγή των ιδιοτήτων ανάλογα με το υλικό που επιλέγεται.



Εικόνα 29:Καθορισμός μηχανικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών

Για να γίνει η επιλογή του υλικού και τον καθορισμό των ιδιοτήτων, από το πεδίο “Project Database”, στην εντολή “Set type” μπορεί να επιλεγθεί :

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

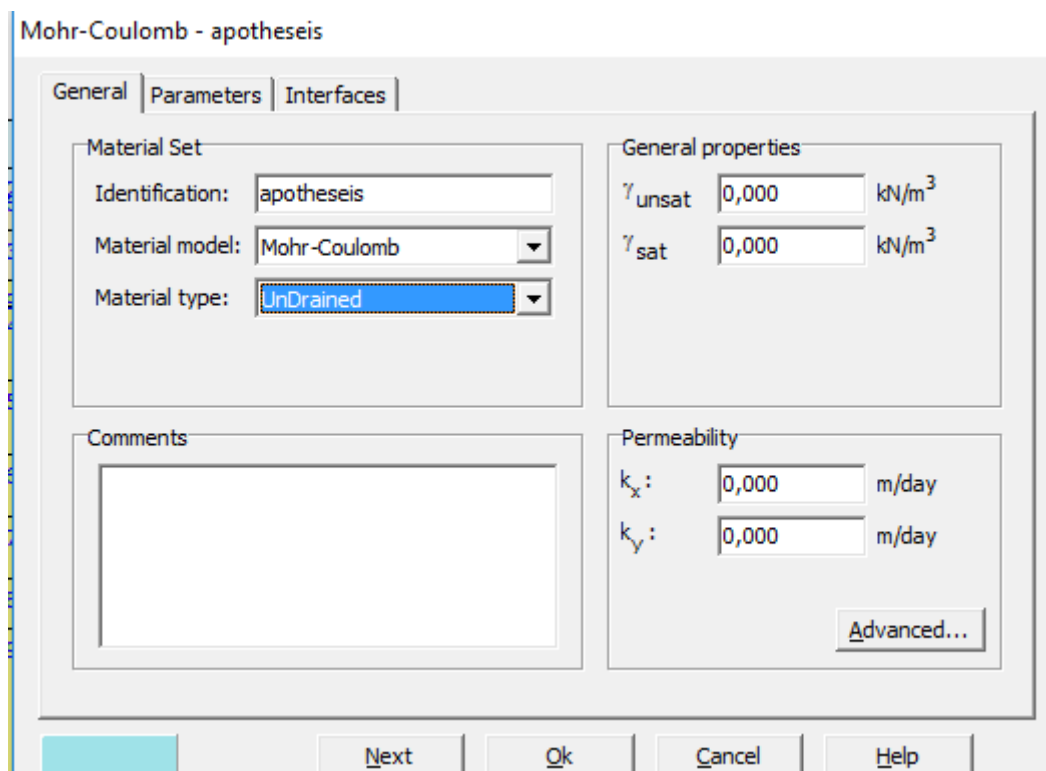
- “Soil and interfaces” για εδαφικά υλικά,
- “Plates” για διαφραγματικούς τοίχους και πλάκες,
- “Geogrid” για πακτωμένο τμήμα αγκυρίου και
- “Anchors” για αντηρίδες και αγκύρια.

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 επεξεργαστούμε τα δεδομένα ξανά.

Καθορισμός των ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού

Αφού επιλεγεί από την εντολή “Set type” η εντολή “soil and interfaces” και επιλέγοντας το “new” εμφανίζεται παράθυρο με τρία φύλλα εισαγωγής δεδομένων “General”, “Parameters” και “Interfaces”. Στο Στο φύλλο “General” ονομάζουμε το εδαφικό υλικό, στο “Material Set” στο πεδίο “identification” καθώς επιλέγουμε και το χρώμα του σχηματισμού που θα εισαχθεί στην γεωμετρία. Η προσομοίωση του εδαφικού υλικού γίνεται με το μοντέλο “Mohr- Coulomb”, το οποίο επιλέγεται από το πεδίο “Material Model”. Επιλέγεται “undrained conditions” για όλους τους εδαφικούς σχηματισμούς. Στο πεδίο “General Properties” εισάγονται οι τιμές του φαινόμενου βάρους (γ_{unsat}) και του κορεσμένου φαινόμενου βάρους (γ_{sat}), ενώ στο πεδίο “Permeability” εισάγονται οι τιμές διαπερατότητας οι οποίες προέκυψαν από τις δοκιμές διαπερατότητας που έγιναν. Λαμβάνεται $K_{\chi} = K_{\psi}$.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 30:Εισαγωγή δεδομένων γεωλογικών σχηματισμών (1)

Στο φύλλο “Parameters” εισάγονται οι παράμετροι που προσδιορίζουν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά κάθε υλικού. Στο πεδίο “Stiffness” εισάγονται οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας E_{50} , του οιδιμετρικού μέτρου ελαστικότητας E_{oed} και του E_{ur} . Στο πεδίο “Alternatives” δεν προσδιορίζεται κάποια παράμετρος και δεν πραγματοποιείται καμία ενέργεια. Στο πεδίο “Strength” εισάγονται οι τιμές της συνοχής c_{ref} , της γωνία τριβής ϕ και η διογκωσιμότητα ψ . Στο πεδίο Velocities εισάγονται οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων όπου δεν χρειάζεται να εισάγουμε κάποια τιμή σε αυτό το πεδίο, διότι δεν θα γίνουν δυναμικές επιλύσεις.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Mohr-Coulomb - apotheseis

General Parameters Interfaces

Stiffness	Strength
E_{ref} : 1,850E+04 kN/m ²	c_{ref} : 5,000 kN/m ²
ν (nu) : 0,350	ϕ (phi) : 30,000 °
	ψ (psi) : 0,000 °
Alternatives	Velocities
G_{ref} : 6851,852 kN/m ²	V_s : N/A m/s
E_{oed} : 2,969E+04 kN/m ²	V_p : N/A m/s

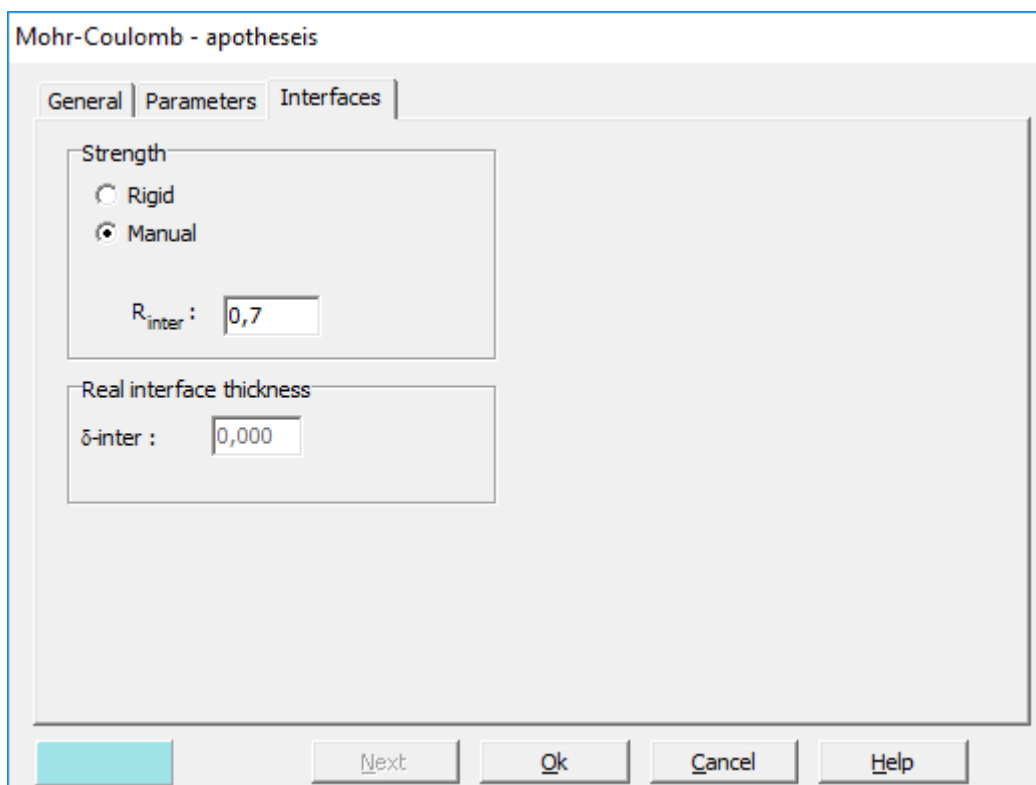
Advanced...

Next Ok Cancel Help

Εικόνα 31: Εισαγωγή δεδομένων γεωλογικών σχηματισμών (2)

Στο φύλλο “Interfaces” προσδιορίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων της διεπιφάνειας, με τις οποίες τα στοιχεία της κατασκευής μπορούν να συνδεθούν με τα στοιχεία του εδάφους. 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 μας επιλέγεται **$R_{inter}=0,7$** .

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 32: Εισαγωγή δεδομένων γεωλογικών σχηματισμών (3)

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 με το αριστερό κλικ στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί. Η εισαγωγή των δεδομένων πραγματοποιείται και για τους υπόλοιπους τρεις σχηματισμούς. Οι τιμές που εισάγονται στο πρόγραμμα για τον προσδιορισμό των για τεσσάρων εδαφικών σχηματισμών παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 8:Γεωτεχνικοί παράμετροι γεωλογικών σχηματισμών

ΕΔΑΦΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	γ_{unsat}	γ_{sat}	kx	ky	c _{ref} kPa	Φ(μοιρες)	ψ	E_{50} MPa	E_{oed} MPa
ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	22,5	25,7	0,0828	0,0828	5	30	0	-	25
ΑΣΘΕΝΗΣ ΜΑΡΓΑ	21	24,8	0,0341	0,0341	15	27	0	-	90
ΙΣΧΥΡΗ ΜΑΡΓΑ	22	25,2	0,0157	0,0157	55	30	0	225	-

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Καθορισμός διαφραγματικού τοίχου - πασσάλων

Από την επιλογή “Materials” επιλέγεται το “plates” και στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε το “new”. Στο παράθυρο που εμφανίζεται στο πεδίο “Material Set” υπάρχει η δυνατότητα ονομασίας για τη πλάκα δίπλα στο “identification. 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 από υπολογισμούς που φαίνονται παρακάτω .

Ο διαφραγματικό στοίχος αποτελείται από πασσάλους με διάμετρο Φ 0,8 m και απόσταση 2m μεταξύ τους. Η αξονική δυσκαμψία και η καμπτική δυσκαμψία του μεμονωμένου πασσάλου υπολογίζονται αρχικά από τους τύπους:

- $EA = 30 * 10^6 * \pi * \frac{0,8^2}{4} = 15,072 * 10^6 KN$
- $EI = 30 * 10^6 * \pi * \frac{0,8^2}{64} = 0,942 * 10^6 KN * m^2$

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 2 m οι τιμές θα γίνουν:

- $EA = \frac{15,072 * 10^6}{2} = 7,536 * 10^6 KN/m$
- $EI = \frac{0,942 * 10^6}{2} = 0,471 * 10^6 KN * m = 471000 KN * m$

Ανάμεσα στους πασσάλους τοποθετήθηκε και τοιχίο από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το πάχος του ενδιάμεσου τοιχίου αυτού είναι t=15 cm και συμβάλλει στην αξονική και καμπτική δυσκαμψία με αποτέλεσμα την ανάγκη του συνυπολογισμού του στα δεδομένα εισαγωγής τους προγράμματος.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

- $EA2 = \frac{25 \cdot 10^6 (2-0,8) \cdot 0,15}{2} = 2,25 \cdot 10^6 \text{ KN/m}$
- $EI2 = \frac{25 \cdot 10^6 (2-0,8) \cdot \frac{0,15^3}{12}}{2} = 4218,75 \text{ KN} \cdot \text{m}$

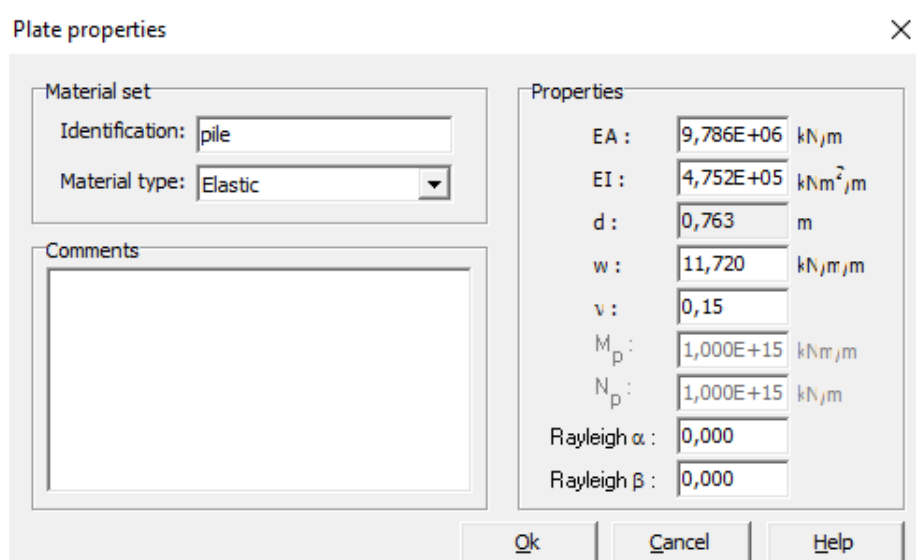
Οι τελικές τιμές είναι:

- $\Sigma EA = EA + EA2 = 7,536 \cdot 10^6 + 2,25 \cdot 10^6 = 9,786 \cdot 10^6 = 9786000 \text{ KN/m}$
- $\Sigma EI = EI + EI2 = 471000 + 4218,75 = 475218,75 \text{ KN} \cdot \text{m}$

Το πάχος του φορέα d υπολογίζεται αυτόματα. Το βάρος (w) των στοιχείων υπολογίζεται από τον τύπο $w = \gamma \cdot d$, όπου $\gamma = 24 \text{ kN m}^3$ και $d = 0,763 \text{ m}$,

- $w = \gamma \cdot d = 24 \cdot 0,763 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 11,72$

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



Εικόνα 33:Εισαγωγή ιδιοτήτων διαφραγματικού τοίχου

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” επιλέγοντας το “Plates chain” και επιλέγοντας το “Change” προσδιορίζεται το είδος του διαφραγματικού τοίχου που αντιστοιχεί στο μοντέλο που σχεδιάζεται.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Καθορισμός πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου

Από την επιλογή “Materials” επιλέγεται το “Geogrids” και στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε το “new”. Στο παράθυρο που εμφανίζεται 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. Τα αγκύρια αποτελούνται από τένοντες με $\Phi 0.6''$, άρα η συνολική επιφάνεια είναι:

Πίνακας 9:Υπολογισμοί εμβαδού διατομής αγκυρίων

	επιφάνεια διατομής
1 ^η σειρά αγκυρίων	$2*1,39=2,78 \text{ cm}^2$
2 ^η σειρά αγκυρίων	$3*1,39=4,17 \text{ cm}^2$
3 ^η σειρά αγκυρίων	$4*1,39=5,56 \text{ cm}^2$
4 ^η σειρά αγκυρίων	$4*1,39=5,56 \text{ cm}^2$
5 ^η σειρά αγκυρίων	$4*1,39=5,56 \text{ cm}^2$
6 ^η σειρά αγκυρίων	$3*1,39=4,17 \text{ cm}^2$

Πίνακας 10:Υπολογισμός δυστένειας αγκυρίων

	Δυστένεια
1 ^η σειρά αγκυρίων	$210*10^6 *2,78*10^{-4}=58380\text{KN}$
2 ^η σειρά αγκυρίων	$210*10^6 *4,17*10^{-4}=87570\text{KN}$
3 ^η σειρά αγκυρίων	$210*10^6 *5,56*10^{-4}=116760\text{KN}$
4 ^η σειρά αγκυρίων	$210*10^6 *5,56*10^{-4}=116760\text{KN}$
5 ^η σειρά αγκυρίων	$210*10^6 *5,56*10^{-4}=116760\text{KN}$
6 ^η σειρά αγκυρίων	$210*10^6 *4,17*10^{-4}=87570\text{KN}$

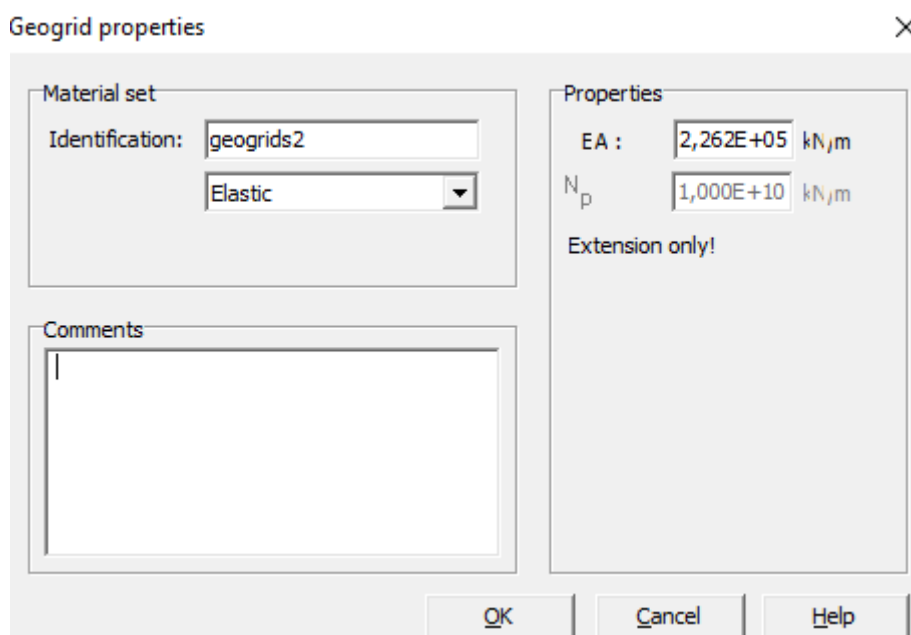
Η συνολική δυστένεια του βολβού πακτώσεως του αγκυρίου είναι το άθροισμα της δυστένειας των τενόντων του χάλυβα και του τσιμεντοκονιάματος όπως φαίνεται παρακάτω: $\Sigma EA = Eb *Ab +E*As$

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 11:Ολική δυστένεια αγκυρίων

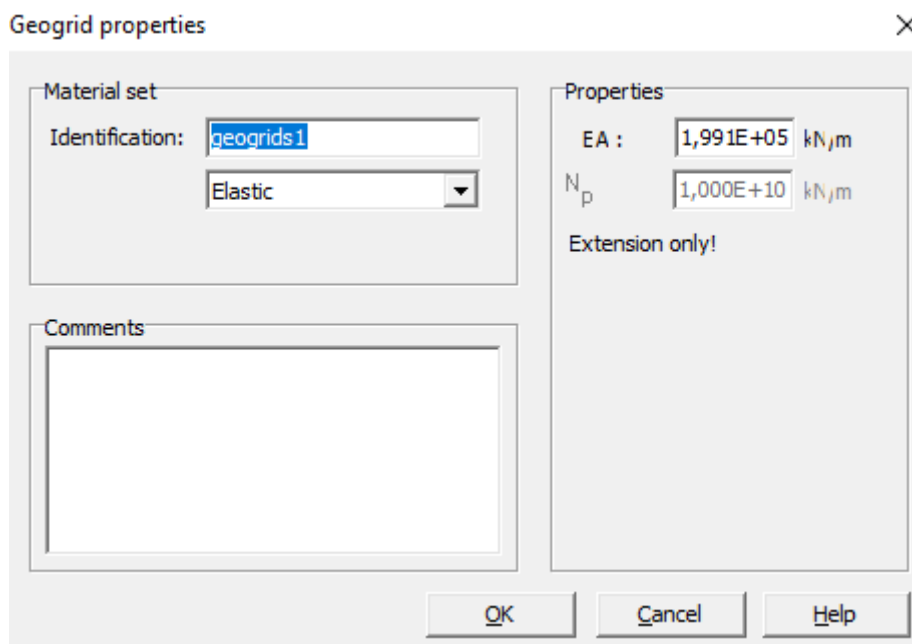
	Ολική δυστένεια
1 ^η σειρά αγκυρίων	$\Sigma EA = 172020 \text{ κN}$
2 ^η σειρά αγκυρίων	$\Sigma EA = 199125 \text{ κN}$
3 ^η σειρά αγκυρίων	$\Sigma EA = 226230 \text{ κN}$
4 ^η σειρά αγκυρίων	$\Sigma EA = 226230 \text{ κN}$
5 ^η σειρά αγκυρίων	$\Sigma EA = 226230 \text{ κN}$
6 ^η σειρά αγκυρίων	$\Sigma EA = 199125 \text{ κN}$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν διαιρείται το συνολικό άθροισμα της δυστένειας του πακτωμένου τμήματος των αγκυρίων δια την απόσταση των αγκυρίων, αφού το πρόγραμμα το κάνει αυτόματα .

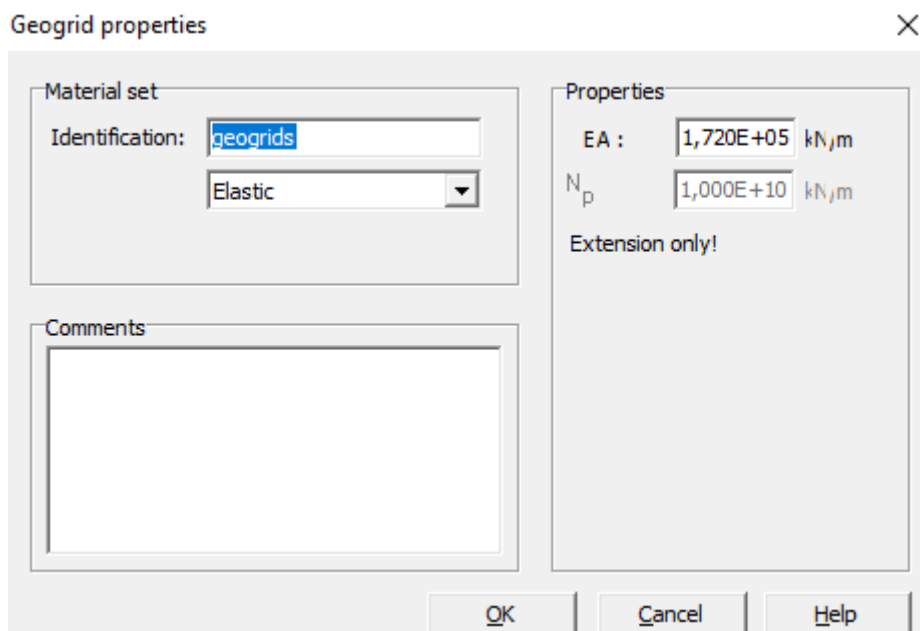


Εικόνα 34:Εισαγωγή ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίου (1)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 35: Εισαγωγή ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίου (2)



Εικόνα 36: Εισαγωγή ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίου (3)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

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.

Καθορισμός αγκυρίων

Από την επιλογή “Materials” επιλέγεται το “Anchors” και στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε το “new”. Στο παράθυρο που εμφανίζεται 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 Lspacing που είναι η ορίζονται απόσταση των αγκυρίων.

Η συνολική επιφάνεια διατομής των αγκυρίων είναι:

Πίνακας 12: Επιφάνεια διατομής αγκυρίων

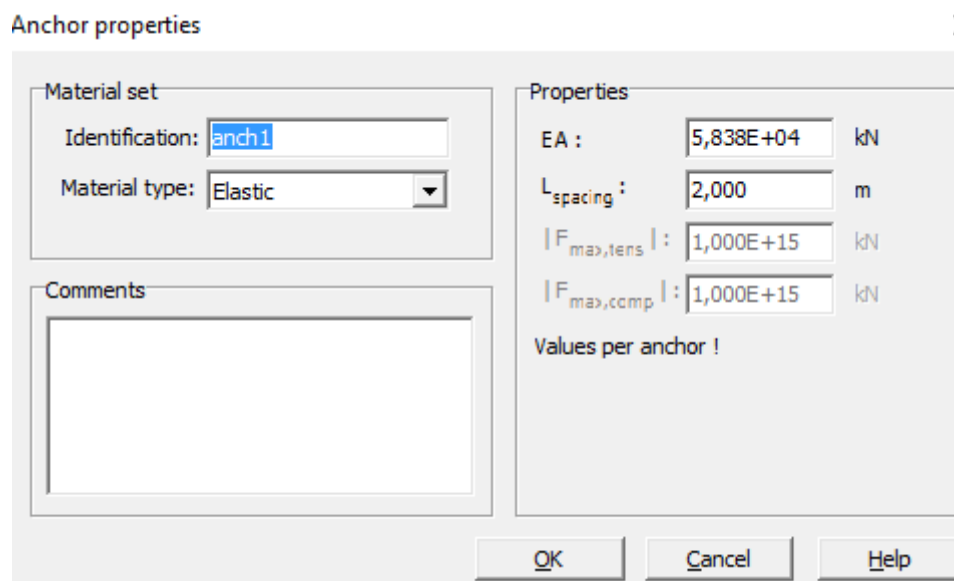
	επιφάνεια διατομής
1 ^η σειρά αγκυρίων	2*1,39=2,78 cm ²
2 ^η σειρά αγκυρίων	3*1,39=4,17 cm ²
3 ^η σειρά αγκυρίων	4*1,39=5,56 cm ²
4 ^η σειρά αγκυρίων	4*1,39=5,56 cm ²
5 ^η σειρά αγκυρίων	4*1,39=5,56 cm ²
6 ^η σειρά αγκυρίων	3*1,39=4,17 cm ²

Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα είναι $E = 210 \cdot 10^6$ kPa

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

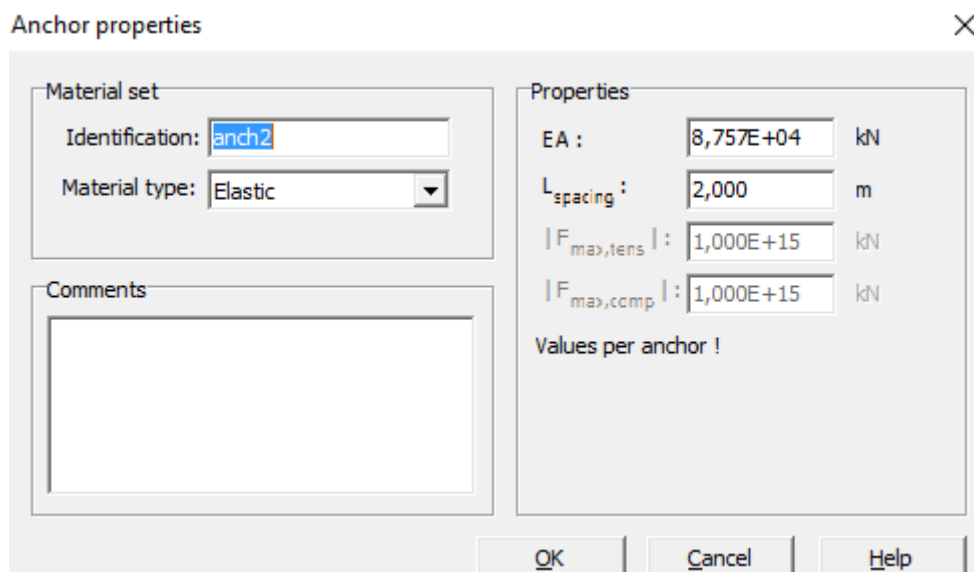
Πίνακας 13: Δυστένεια αγκυρίων

	Δυστένεια
1 ^η σειρά αγκυρίων	$210 \cdot 10^6 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} = 58380 \text{KN}$
2 ^η σειρά αγκυρίων	$210 \cdot 10^6 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} = 87570 \text{KN}$
3 ^η σειρά αγκυρίων	$210 \cdot 10^6 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} = 116760 \text{KN}$
4 ^η σειρά αγκυρίων	$210 \cdot 10^6 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} = 116760 \text{KN}$
5 ^η σειρά αγκυρίων	$210 \cdot 10^6 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} = 116760 \text{KN}$
6 ^η σειρά αγκυρίων	$210 \cdot 10^6 \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} = 87570 \text{KN}$

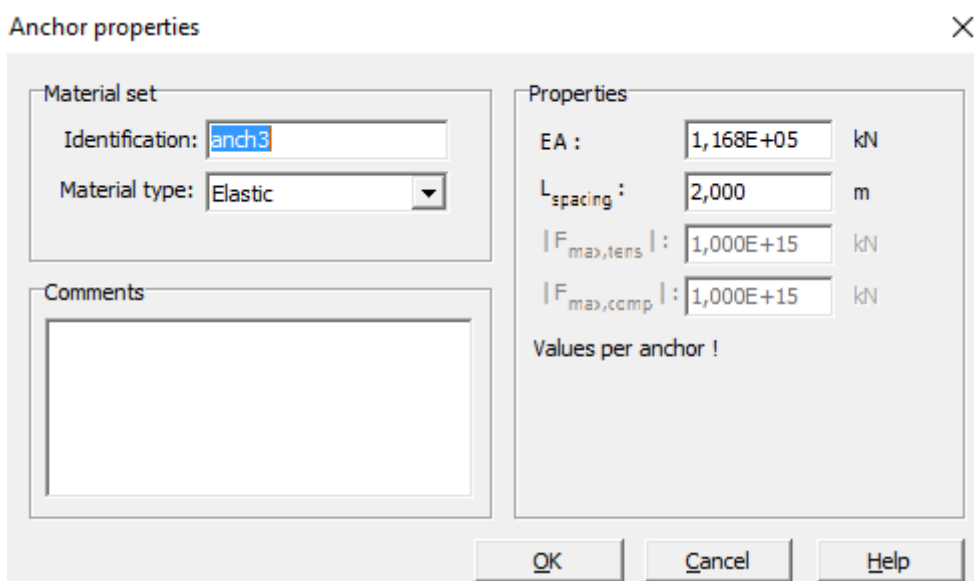


Εικόνα 37: Καθορισμός των ιδιοτήτων των αγκυρίων (1)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 38: Καθορισμός των ιδιοτήτων των αγκυρίων (2)



Εικόνα 39: Καθορισμός των ιδιοτήτων των αγκυρίων (3)

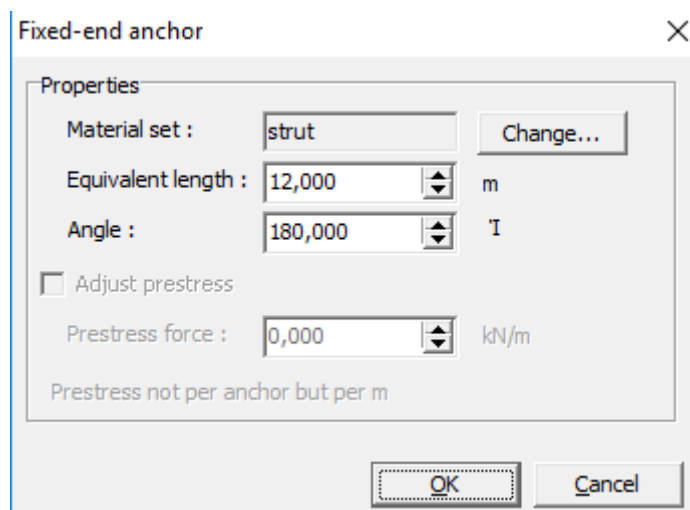
Η ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για τον προσδιορισμό του αγκυρίου γίνεται επιλέγοντας το “ok”. Η αντιστοιχία του στο μοντέλο του προγράμματος γίνεται σέρνοντας το συγκριμένο υλικό από το “Material Set” με το αριστερό κλικ στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί το αγκύριο ή κάνοντας δεξί κλικ στον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

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

συνέχεια το “Change”, προσδιορίζεται το είδος του αγκυρίου που αντιστοιχεί στο μοντέλο που σχεδιάζεται.

Καθορισμός αντηρίδων

Κατά τον σχεδιασμό της αντηρίδας επιλέγεται το “Fixed end Anchor” 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 12 m και για το πεδίο “Angle” την γωνία -180°.



Εικόνα 40:Καθορισμός των ιδιοτήτων των αντηρίδων (1)

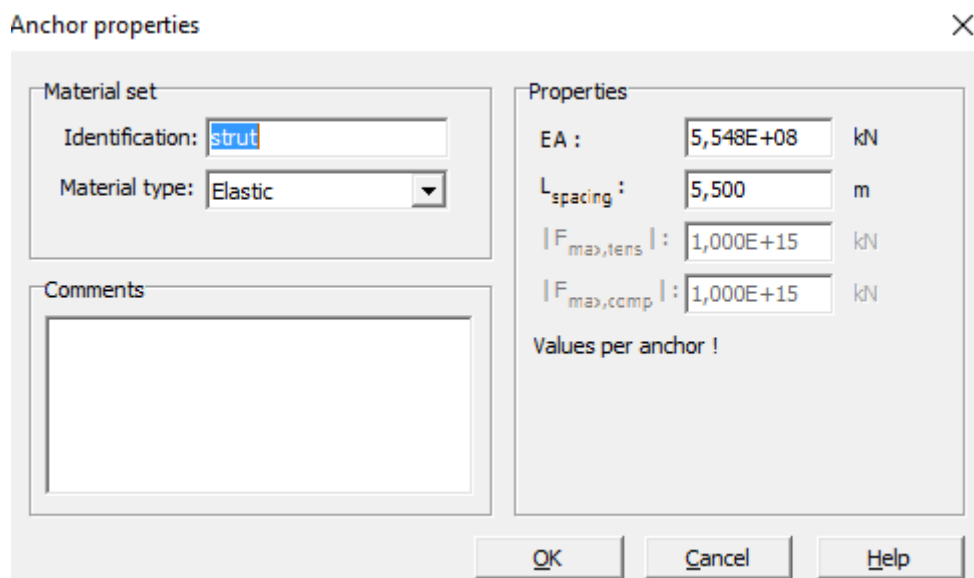
Στην συνέχεια από την επιλογή “Materials” επιλέγεται το “Anchors” και στο παράθυρο όπου εμφανίζεται επιλέγουμε το “new”. Στο πεδίο “Material Set” υπάρχει η δυνατότητα ονομασίας δίπλα στο “identification” και προσθήκης σχολίων στο “comments”. Στην επιλογή “Material type” δίνεται η δυνατότητα να οριστεί ως πλαστικό ή ελαστοπλαστικό το υλικό. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου επιλέγεται το ‘elastic’. Στο πεδίο “Properties” εισάγεται η τιμή για την δυστένεια EA και το Lspacing=5,5 μετρα που είναι η απόσταση των αντηρίδων στην περιοχή 3 του έργου.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

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

$$A = \pi * (D^2 - d^2) = \pi * (0,9144^2 - 0,0143^2) = \pi * (0,836 - 0,000204) = 2,624 \text{ m}^2$$

$$\text{Άρα η δυστένεια θα είναι: } EA = E * A = 210 * 10^6 * 2,642 = 554,82 * 10^6 \text{ kN}$$



Εικόνα 41: Καθορισμός των ιδιοτήτων των αντηρίδων (2)

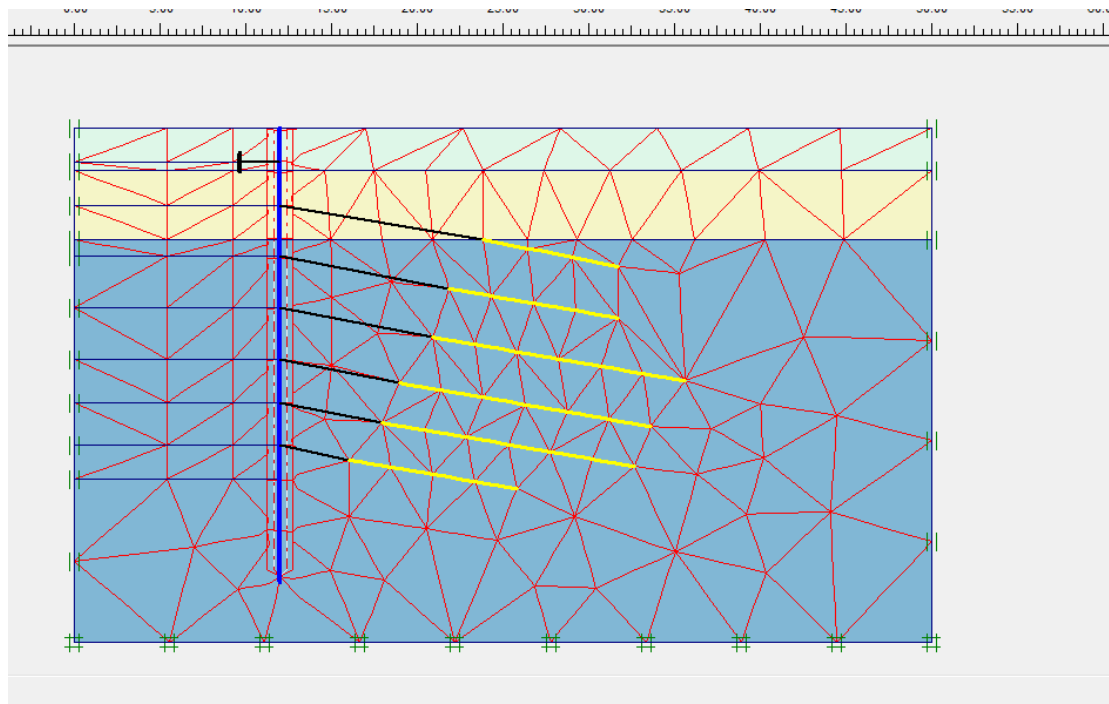
Η ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για τον προσδιορισμό της αντηρίδας γίνεται επιλέγοντας το “ok”. Η αντιστοιχία του στο μοντέλο του προγράμματος γίνεται σέρνοντας το συγκριμένο υλικό από το “Material Set” με το αριστερό κλικ στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί η αντηρίδα.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

6.4 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 επιλεγεί 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. Στο τέλος της κάθε ενέργειας επιλέγεται το “Update” για γίνει η καταχώρηση των εντολών που εισάγονται στον υπολογισμό του μοντέλου.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 42:Κάναβος προσομοιώματος

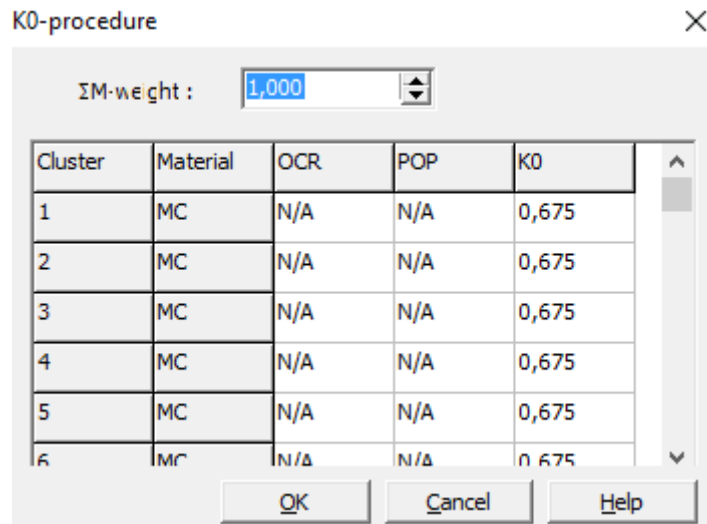
6.5 Αρχικές συνθήκες

Μετά από την διακριτοποίηση του μοντέλου, υπολογίζονται οι αρχικές εντατικές συνθήκες. Επιλέγεται το “Initial Conditions” με αποτέλεσμα το γεωμετρικό μοντέλο να μεταφέρεται σε καινούριο παράθυρο με καινούρια γραμμή εργαλείων. Για να οριστούν οι αρχικές εντατικές συνθήκες θα πρέπει να οριστούν οι γεωστατικές τάσεις. Σε αυτήν την εργασία δεν θα οριστούν υδροστατικές τάσεις παρά μόνο γεώστατικές, διότι δεν λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη του υδροφόρου ορίζοντα στις ανάλυσεις που θα γίνουν.

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 ΣMweight για να καθοριστεί ο συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων (K_0) για κάθε γεωλογικό στρώμα το οποίο επιλέγεται να είναι ίσο με 1,000. τα στοιχεία εισάγονται πατώντας το “ok” και ανοίγει καινούριο παράθυρο με το

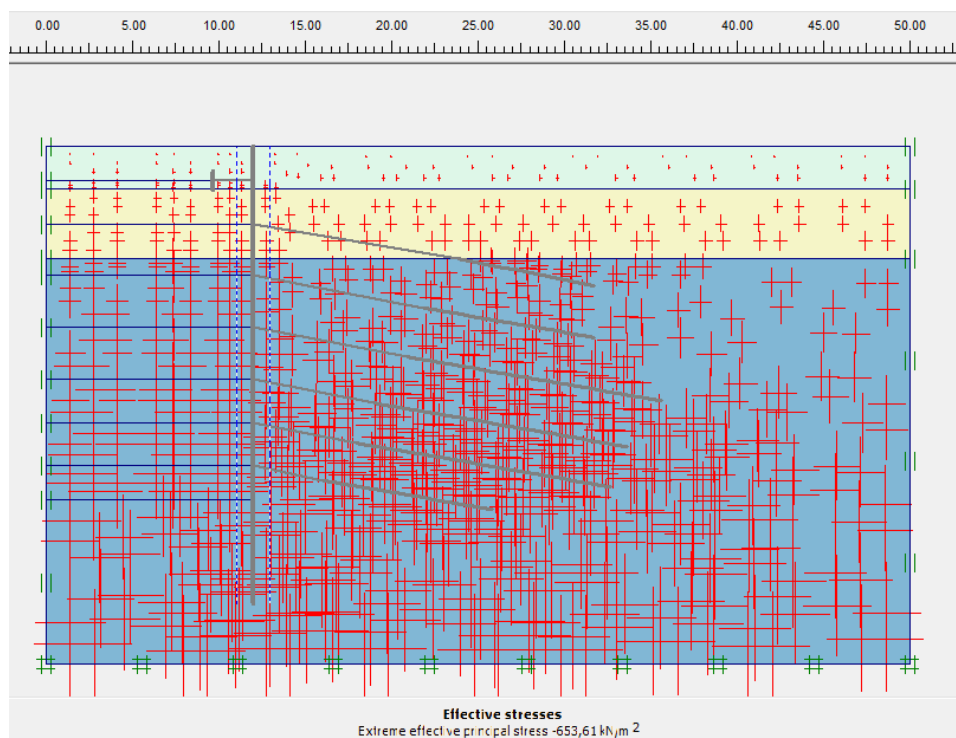
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

σχεδιαστικό μοντέλο που δείχνει την κατανομή των ενεργών τάσεων. Για να εισαχθούν οι καινούριες εντολές επικυρώνεται η εντολή “update” και γίνεται επιστροφή στο αρχικό μοντέλο. Είναι σημαντικό να ανάφερουμε σε αυτό το σημείο 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 43:Γεωστατικές τάσεις

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 44: κατανομή των γεωστατικών τάσεων

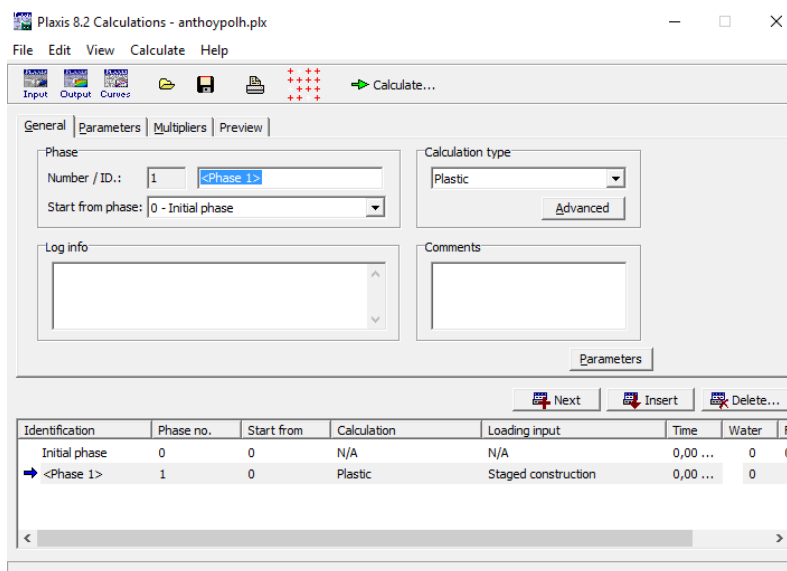
6.6 Εκτέλεση υπολογισμών – Plaxis Calculations

Αφού γίνει η εισαγωγή των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών θα γίνει ο υπολογισμός σε φάσεις, το οποίο επιτυγχάνεται 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” στο πεδίο “Phase” εισάγεται προαιρετικά το όνομα του σταδίου 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”)
- δυναμική ανάλυση (“Dynamic analysis”).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Στην συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η πλαστική ανάλυση για κάθε φάση της εκσκαφής. Η αρχική φάση με τον αριθμό 0 αντιστοιχεί στο αρχικό εντατικό πεδίο του μοντέλου πριν από την έναρξη των υπολογισμών όπως έχει οριστεί .



Εικόνα 45:Υπολογισμός προσομοιώματος

Στην δεύτερη καρτέλα “parameters” στο πεδίο “Control parameters” επιλέγεται ο μέγιστος αριθμός βημάτων (Additional Steps”) και δίνεται η δυνατότητα επιλογής μηδενισμού των μετακινήσεων του προηγούμενου σταδίου. 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”
- και η σταδιακή κατασκευή με τις επιλογές “ Incremental multipliers” και
- “Staged construction”.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε αυτή την ανάλυση 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 επιλέχθηκε το “staged construction”. Για να ξεκινήσει ο προσδιορισμός των φάσεων κατασκευής που ακολουθούν αυτής των αρχικών συνθηκών που ορίστηκε πρίν χρησιμοποιείται η εντολή “Next”. Έχοντας πατήσει την επόμενη φάση κατασκευής με την εντολή “Define” το πρόγραμμα

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

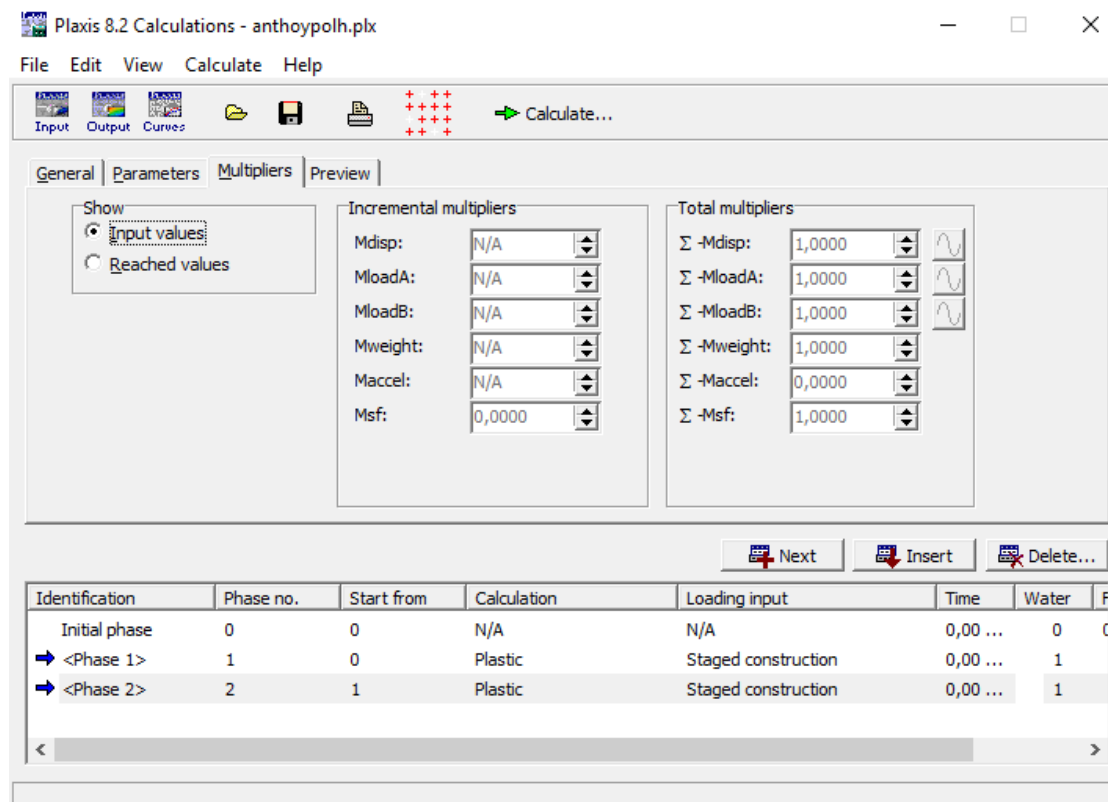
μεταφέρεται σε παράθυρο που υπάρχει το γεωτεχνικό προσωμοίωμα και γίνεται η εκσκαφή των εδαφικών σχηματισμών και η επιλογή στοιχείων που κατασκευάζονται στο συγκεκριμένο στάδιο, που ήταν αρχικά απενεργοποιημένα με χρώμα γκρι και μετά την επιλογή τους χρωματίζονται. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα στάδια της κατασκευής αλλάζουν ανάλογα με την παραμετρική ανάλυση και τα κατασκευαστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται, όμως η κύρια αρχική κατασκευαστική διαδικασία αποτελείται από 16 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 αντηρίδα
- Στο τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η δεύτερη εκσκαφή
- Στο πέμπτο στάδιο ενεργοποιείται η πρώτη σειρά αγκυρίων.
- Στο έκτο στάδιο πραγματοποιείται η τρίτη εκσκαφή
- Στο έβδομο στάδιο ενεργοποιείται η δεύτερη σειρά αγκυρίων
- Στο όγδοο στάδιο πραγματοποιείται η τέταρτη εκσκαφή
- Στο ένατο στάδιο ενεργοποιείται η τρίτη σειρά αγκυρίων
- Στο δέκατο στάδιο πραγματοποιείται η πέμπτη εκσκαφή
- Στο ενδέκατο στάδιο ενεργοποιείται η τέταρτη σειρά αγκυρίων
- Στο δωδέκατο στάδιο πραγματοποιείται η έκτη εκσκαφή
- Στο δεκατοτρίτο στάδιο ενεργοποιείται η πέμπτη σειρά αγκυρίων
- Στο δεκατοτέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η έβδομη εκσκαφή
- Στο δεκατοπέμπτο στάδιο ενεργοποιείται η έκτη σειρά αγκυρίων
- Στο δεκατοέκτο στάδιο πραγματοποιείται η τελευταία εκσκαφή

Επιπλέον, γίνεται ακόμη μια ανάλυση για να προσδιοριστεί ο συντελεστής ασφαλείας

Στην τρίτη καρτέλα “Multipliers” γίνεται ο ορισμός των πολλαπλασιαστών του σταδίου με σκοπό την παραγωγή των φορτίσεων και χρησιμοποιείται μόνο για αναλύσεις “Total Multipliers”.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

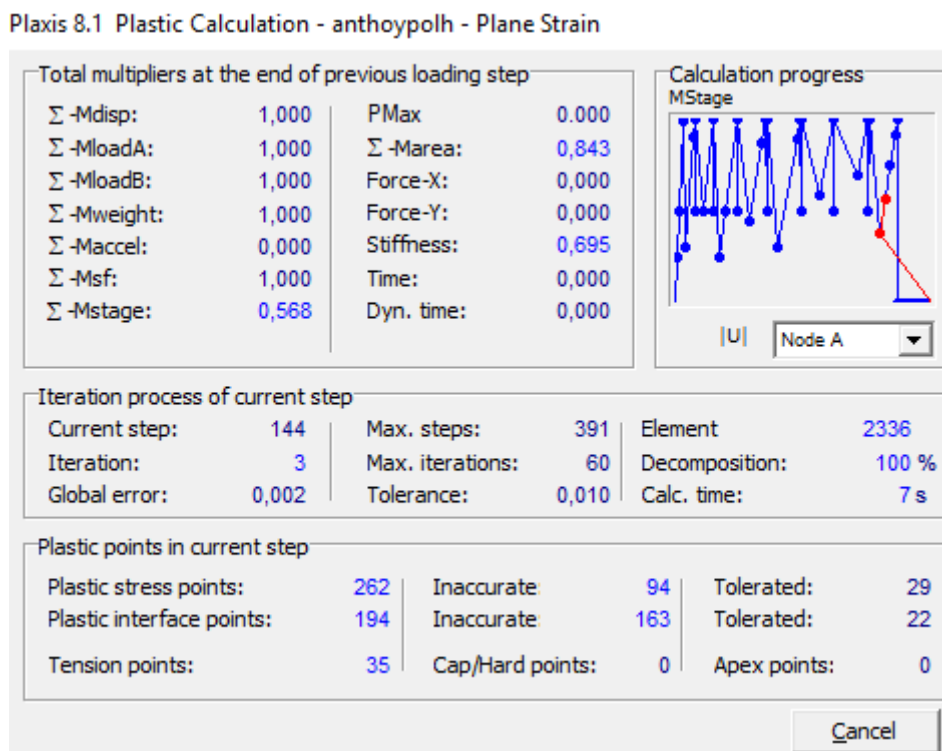


Εικόνα 46:Εισαγωγή δεδομένων για τους υπολογισμούς

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 σε αυτά τα σημεία θα έχουμε την δυνατότητα παραγωγής διαγραμμάτων. Από αυτά τα σημεία μπορούμε να παράγουμε διαγράμματα παραμόρφωσης – υπολογιστικών βημάτων για το κάθε σημείο. Η επιλογή των σημείων μπορεί να γίνει μέσω της εντολής – κουμπιού στη γραμμή των εντολών . Θα πρέπει να σημειωθεί 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 .

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 47:Εκτέλεση υπολογισμών

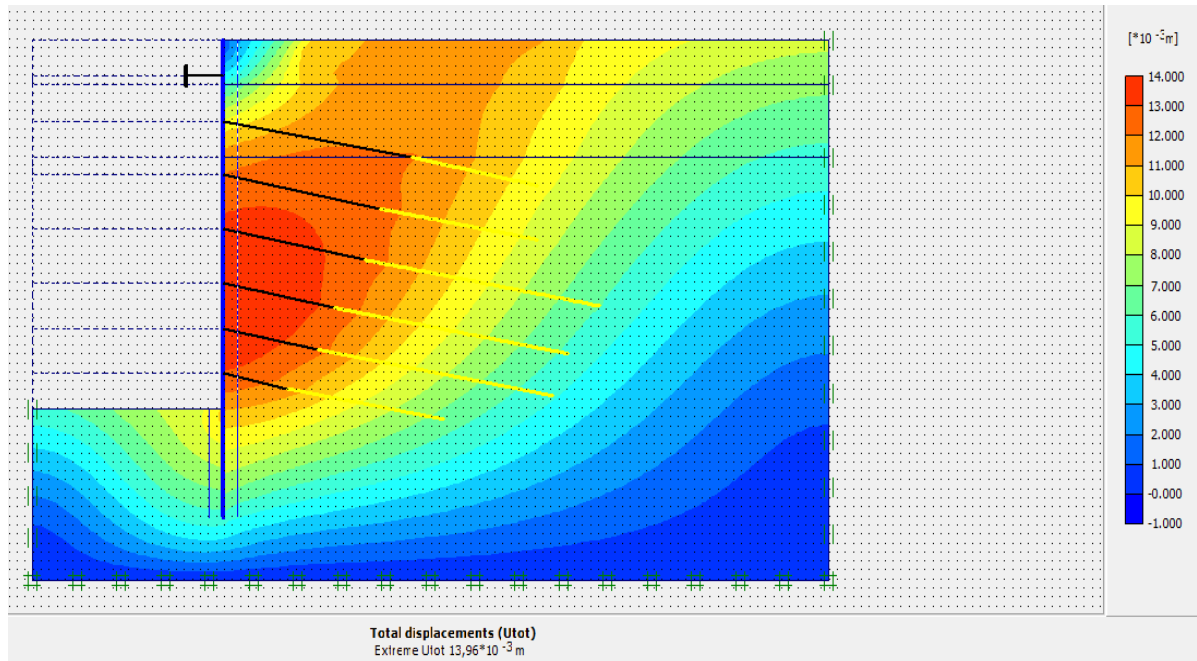
Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων από την γραμμή των εργαλείων επιλέγεται η εντολή “Output”. Όπου θα αναλύσουμε παρακάτω την διαδικασία ,καθώς και τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης ανάλυσης.

6.7Εξαγωγή αποτελεσμάτων – Plaxis Output

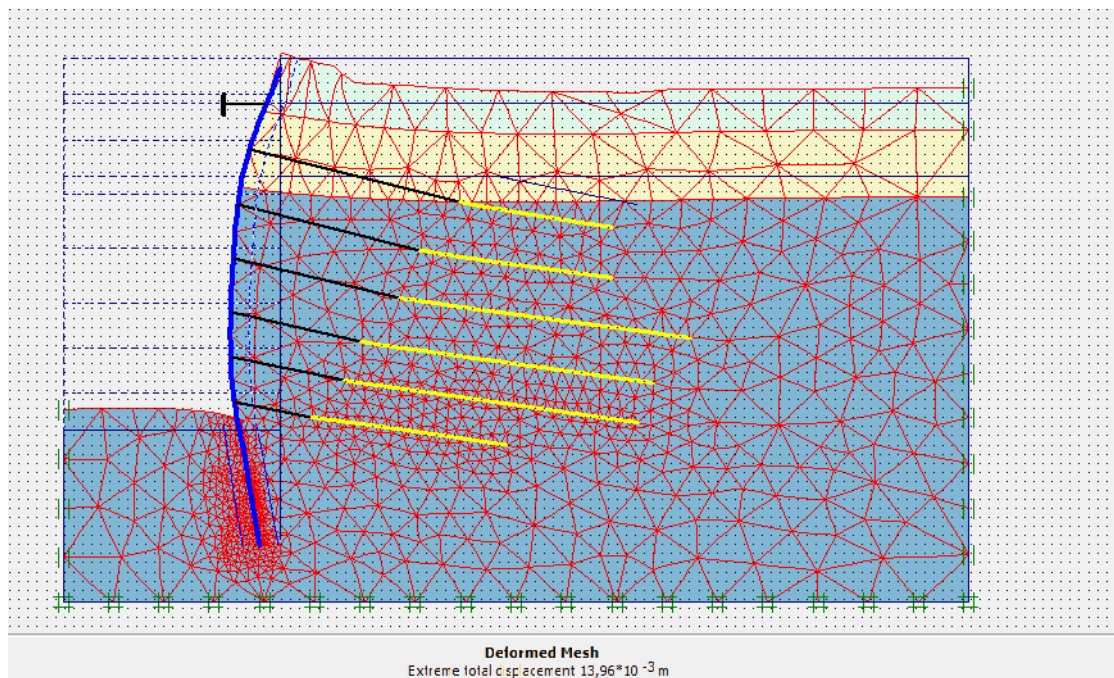
Πατώντας την εντολή “Output”, γίνεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της επίλυσης του μοντέλου. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται γραφικά και αριθμητικά οριζόντιες κατακόρυφες και συνολικές μετακινήσεις, ολικές και ενεργές τάσεις. Επιπλέον, μέσω της εντολής “Output” το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα της παρουσίασης των τελικών αποτελεσμάτων της επίλυσης του προσομοιώματος. Για την μελέτη του σημείου στο οποίο παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις η εκσκαφή μπορεί να αναπαρασταθεί με “Shadings”. Ωστόσο, μπορεί να παρατηρηθεί σε ποιο σημείο εμφανίζονται οι μέγιστες κατακόρυφες και στο οποίο οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις στις εικόνες που φαίνονται παρακάτω.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνολικές μετακινήσεις του βασικού προσομοιώματος του σταθμού, οι οποίες είναι της τάξης των 15,51 mm.



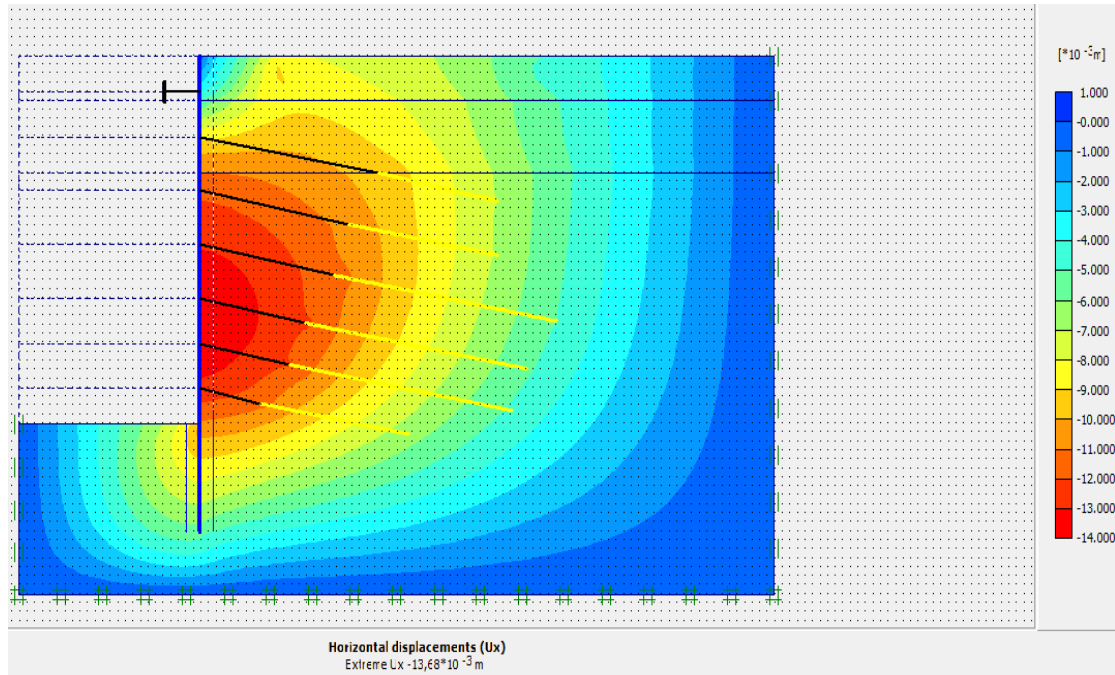
Εικόνα 48: Συνολικές μετακινήσεις (1)



Εικόνα 49: Συνολικές μετακινήσεις (2)

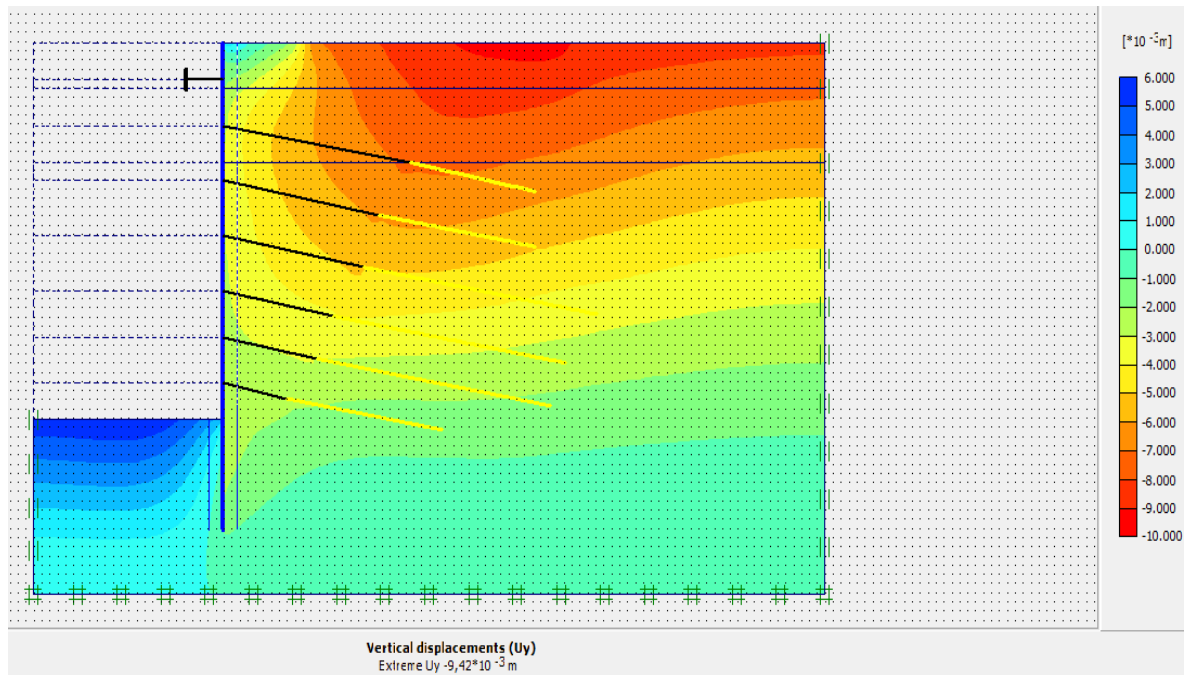
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

- Οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις είναι 13,69 mm



Εικόνα 50:Οριζόντιες μετακινήσεις

- Οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις είναι 9,42mm



Εικόνα 51:Κατακόρυφες μετακινήσεις

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Συμφώνα με τα παραπάνω αποτελέσματα η κατασκευή είναι αποδέκτη ,διότι είναι εντός των περιοριστικών τιμών των παραμορφώσεων που φαινονται παρακάτω:

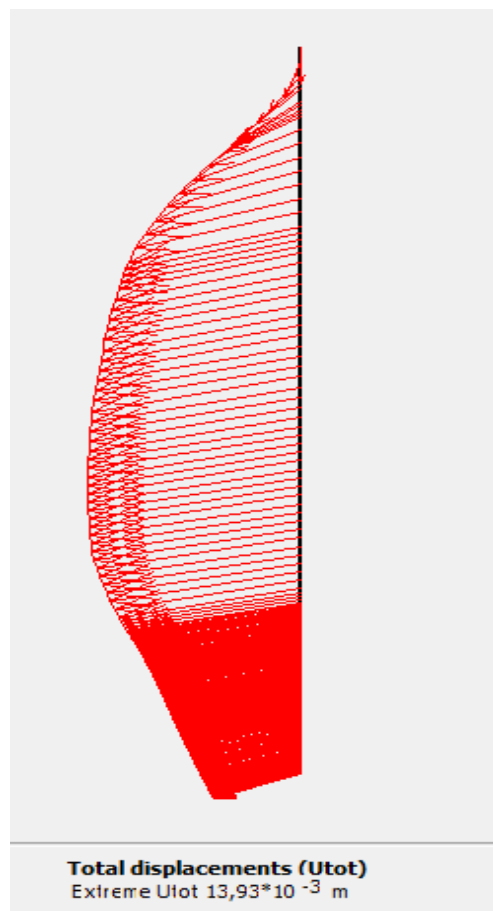
A/A	Μετακίνηση, παραμόρφωση	Ευαίσθητο κτήρια ή κατασκευή	Άλλα Κτήρια	Οδοί, πεζοδρόμια ή Δίκτυα Ο.Κ.Ω.
1	Συνολική καθίζηση, mm	20	25	30
2	Γωνιακή παραμόρφωση	1 : 800	1:600	1:600
3	Οριζόντια παραμόρφωση,%	0.15	0.25	0.30

Εικόνα 52:Περιοριστικές τιμές παραμορφώσεων

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις είναι στην περιοχή μεταξύ του 3^{ου} και 5^{ου} αγκυρίου πιο συγκεκριμένα στο μεσο του τοίχου. Οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις εμφανίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής περίπου 6mm που παρουσιάζεται φούσκωμα του εδάφους της εκσκαφής και στην περιοχή στην οποία επιβάλλονται τα εξώτερικά φορτία περίπου 9,5mm.

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 τοίχου της εκσκαφής.

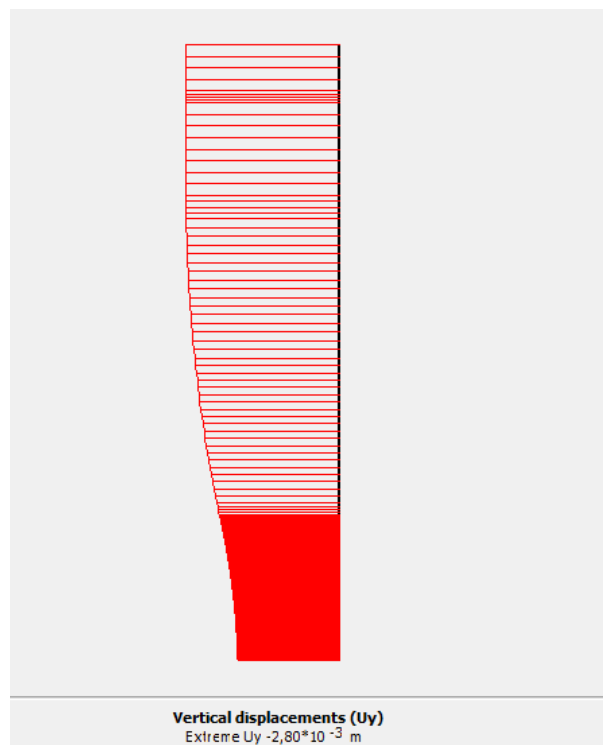
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



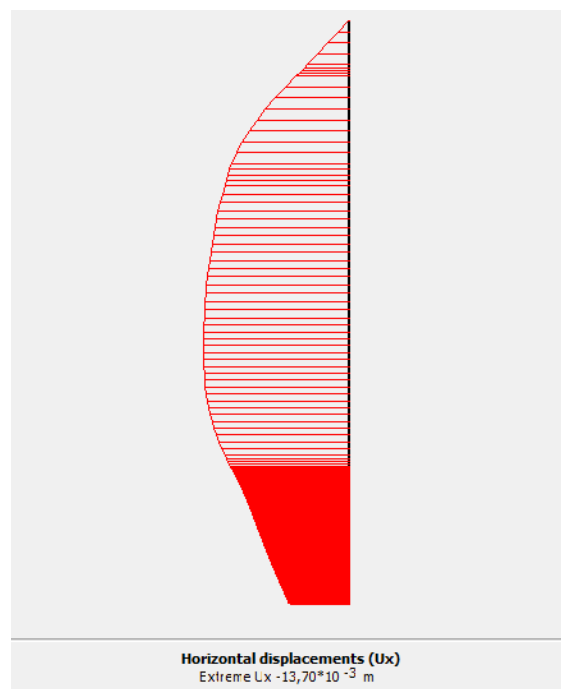
Εικόνα 53:Συνολικές μετακινήσεις τοίχου

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι οι συνολικές μετακινήσεις του τοίχου είναι 13,93 mm. Οι μέγιστες κατακόρυφες και μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις είναι 2,8 mm και 13,69 mm αντίστοιχα.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



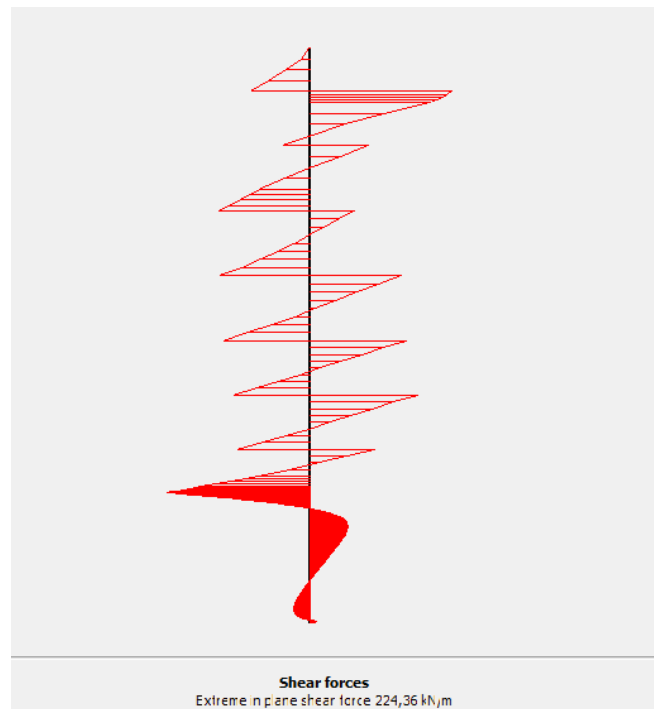
Εικόνα 54: Κατακόρυφες μετακινήσεις τοίχου



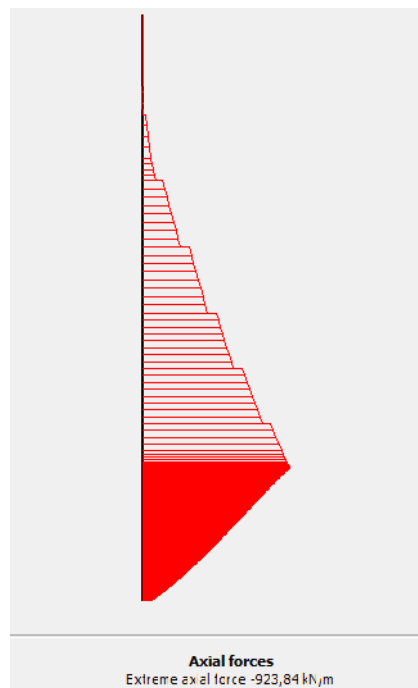
Εικόνα 55: Οριζόντιες μετακινήσεις τοίχου

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Οι μέγιστες τιμές των διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους του διαφραγματικού τοίχου σύμφωνα με το output είναι 224,36 kN/m , ενώ οι αξονικές δυνάμεις είναι ίσες με 923 kN/m



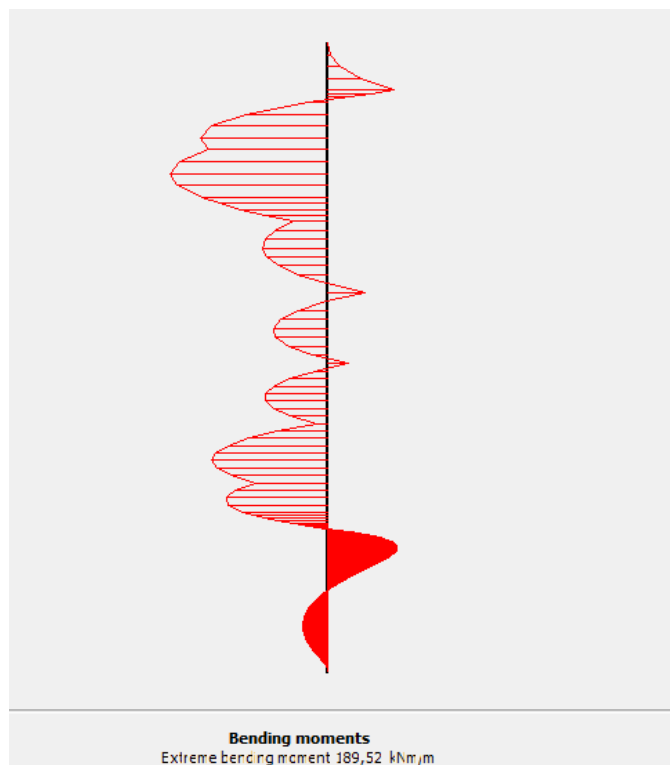
Εικόνα 56: Διατμητικές δυνάμεις τοίχου



Εικόνα 57: Αξονικές δυνάμεις

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Οι καμπτικές ροπές του διαφραγματικού τοίχου είναι 189,52 kN/m. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι ροπές που υπολογίζει το πρόγραμμα είναι συναρτήσει του μήκους της απόστασης των πασσάλων, επομένως για να υπολογιστεί η απόλυτη τιμή των ροπών θα πρέπει το αποτέλεσμα να πολλαπλασιαστεί επί 2 m. Άρα η απόλυτη τιμή των καμπτικών ροπών του διαφραγματικού τοίχου είναι 379,04kN.



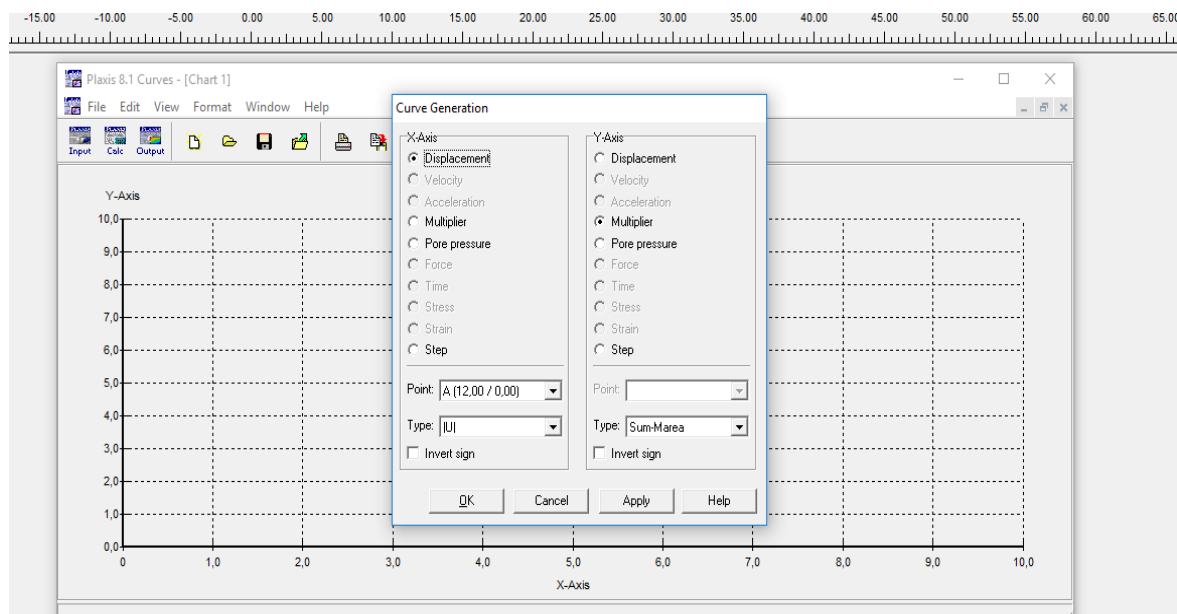
Εικόνα 58:Κάμψη τοίχου

6.8Εξαγωγή διαγραμμάτων – Plaxis Curves

Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα να παραχθούν διαγράμματα για κάθε σημείο από αυτά που επιλέχθηκαν πριν ξεκινήσουν οι υπολογισμοί και να παρατηρηθούν οι μετακινήσεις για κάθε σημείο και για κάθε βήμα της κατασκευής. Τα διαγράμματα μπορούν 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

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

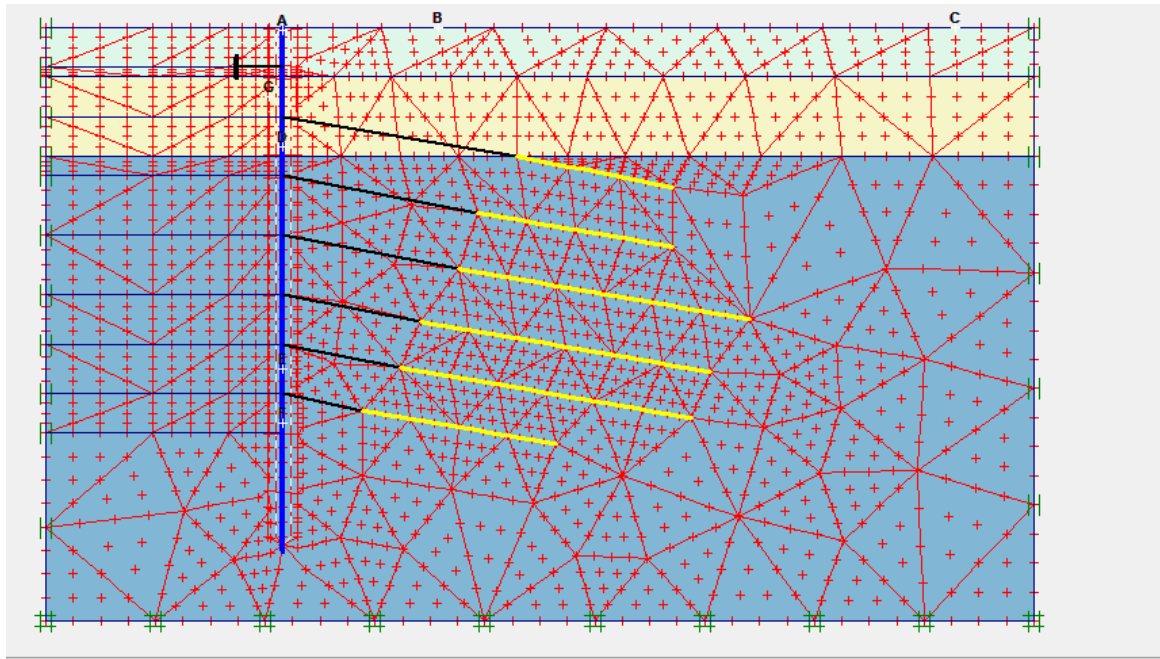
παραχθούν τα διαγράμματα. Στο παράθυρο “Curve Generation” ορίζονται οι άξονες, για τον άξονα X, το “Step” και για τον άξονα Y, το “Displacement” . Στο πεδίο “Point” παρουσιάζονται τα σημεία ,τα οποία επιλέχθηκαν πριν ξεκινήσουν οι υπολογισμοί και επιλέγεται το σημείο για το οποίο θα γίνει το διάγραμμα, ενώ στο πεδίο “Type” ορίζεται το “Uy” για την κατακόρυφη μετακίνηση, το “Ux” για την οριζόντια μετακίνηση και το [U] για την συνολική μετακίνηση.



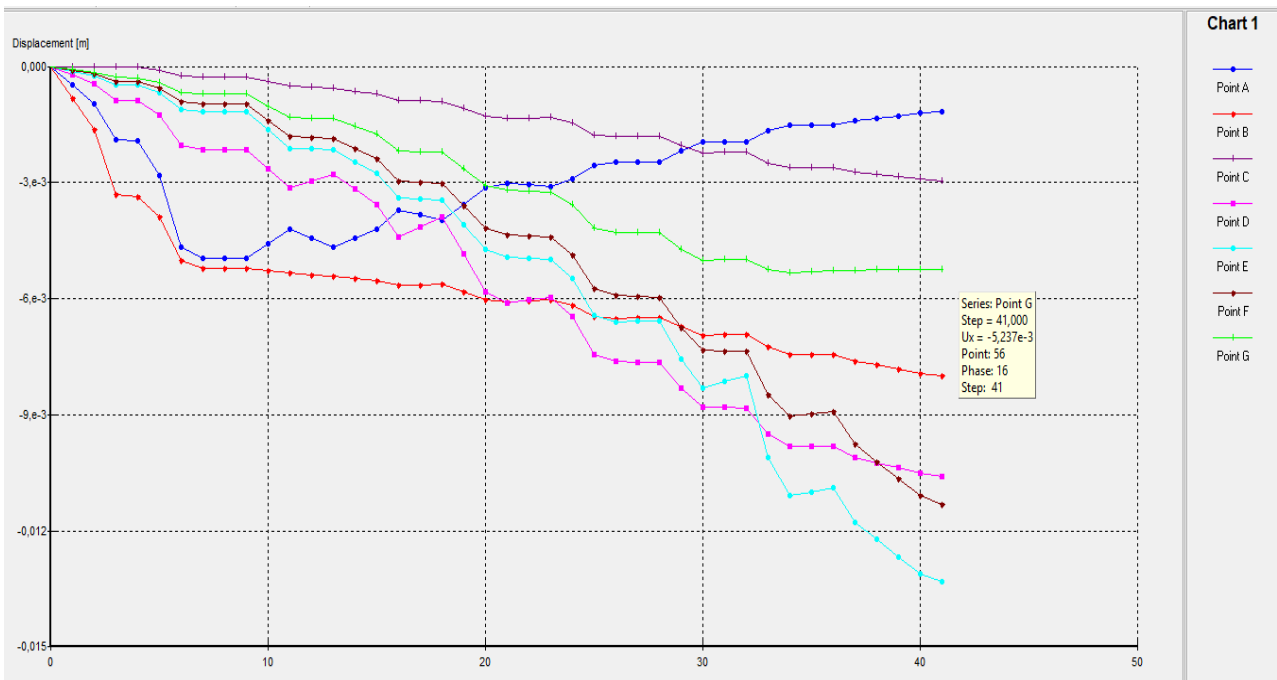
Εικόνα 59: Δημιουργία διαγράμματος

Τα σημεία στα οποία μελετήσαμε τις οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

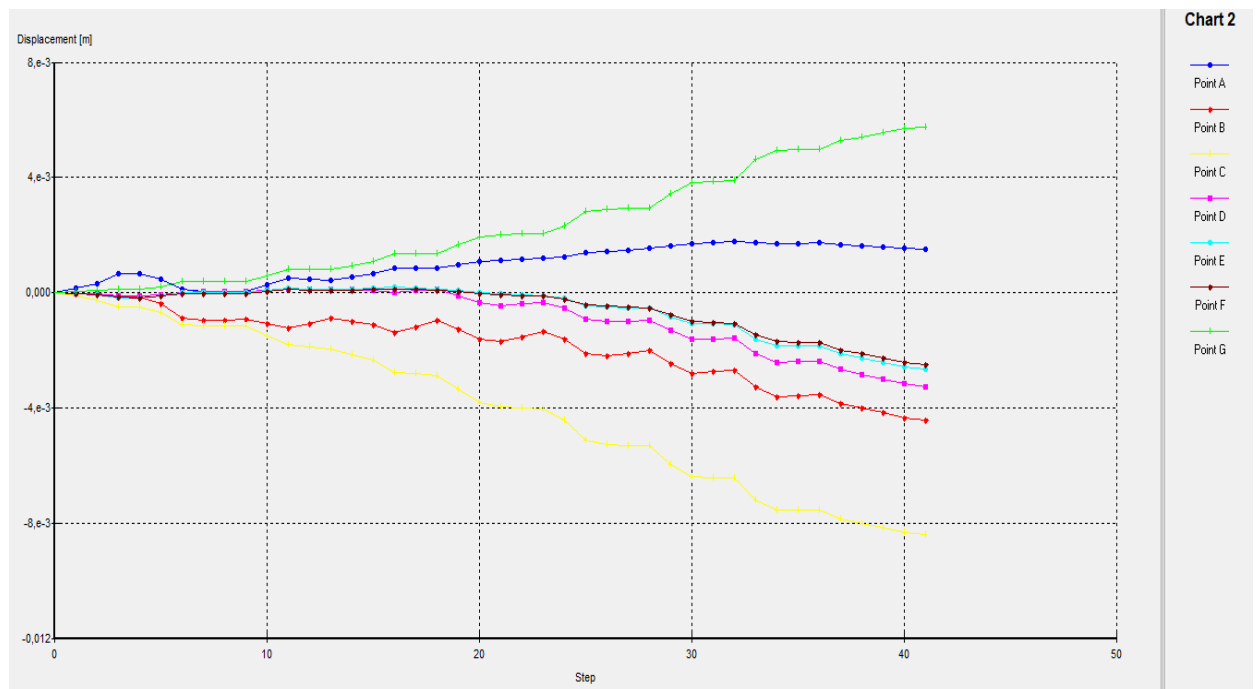


Εικόνα 60:Επιλογή σημείων υπολογισμού



Εικόνα 61:Οριζόντιες μετακινήσεις

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 62:Κατακόρυφες μετακινήσεις

Πίνακας 14:Μετακινήσεις προεπιλεγμένων σημείων

Σημεία (βήμα 16)	Κατακόρυφες μετακινήσεις mm	Οριζόντιες μετακινήσεις mm
A	+1,51	1,18
B	4,43	7,98
C	8,41	2,95
D	3,26	11
E	2,67	13
F	2,5	11
G	+5,75(φούσκωμα)	5,23

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι οι κατακόρυφες μετακινήσεις είναι πολύ πιο μικρές στα σημεία A,D,E,F τα οποία βρίσκονται επάνω στο διαφραγματικό τοίχο, ενώ τα σημεία B και C έχουν εμφανή μεγαλύτερες μετακινήσεις λόγω του επιφανειακού φορτίου. Όσον αφορά τις οριζόντιες μετακινήσεις, οι οποίες οφείλονται στις ωθήσεις γαιών παρατηρούμε ότι τα σημεία D,E,F έχουν πολύ μεγαλύτερες μετακινήσεις σε σχέση με τα άλλα σημεία διότι τα σημεία αυτά είναι πάνω στον τοίχο ο οποίος σε εκείνα τα σημεία έχει τις μέγιστες μετακινήσεις. Το σημείο A που βρίσκεται στην στέψη του τοίχου έχει μικρές μετακινήσεις διότι έχει τοποθετηθεί η αντηρίδα. Τα σημεία B,C στα οποία επιβάλλονται εξωτερικές φορτίσεις έχουν μεγάλη μετακίνηση λόγω της επιβολής φορτίου.

6.9 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

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 (1 σειρά αντηρίδων, 6 σειρές αγκυρίων, απόσταση πασσάλων 2m, διάμετρος πασσάλων 0,8m, βάθος έμπηξης πασσάλων + 6m, προκύπτει $FS=1,7$

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

7. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση των παραμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για την εκσκαφή της διατομής του σταθμού. Προκειμένου να διερευνηθεί ο τρόπος και ο βαθμός επιρροής των διάφορων μέτρων υποστήριξης στην ευστάθεια της εκσκαφής, εξετάστηκαν διάφοροι παράγοντες όπως είναι:

- Η εναλλαγή των μέτρων υποστήριξης
- Η αλλαγή του γεωλογικού υπόβαθρου της εκσκαφής
- το βάθος έμπηξης των πασσάλων

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

- διάμετρος των πασσάλων,
- τα γεωτεχνικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών υλικών,
- το βάθος της εκσκαφής
- το μήκος των αγκυρίων.

Όπως ήδη αναφέρθηκε πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές παραμετρικών αναλύσεων. Στην πρώτη σειρά αναλύσεων εξετάστηκε η επίδραση που έχουν τα μέτρα υποστήριξης ως προς τις οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις, καθώς και πώς επηρέασαν συγκεκριμένα προεπιλεγμένα σημεία του προσομοιώματος.

Στην δεύτερη παραμετρική ανάλυση εξετάστηκε πώς η αλλαγή του πάχους των γεωλογικών σχηματισμών επηρεάζει την εκσκαφή και τον διαφραγματικό μας τοίχο, καθώς και πώς επηρέασαν τα συγκεκριμένα προεπιλεγμένα σημεία του προσομοιώματος.

Στην τρίτη παραμετρική ανάλυση μεταβλήθηκε το μήκος έμπηξης των πασσάλων και εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο επιδρά αυτό στις συνολικές μετακινήσεις.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Συνοπτικά οι τρεις αναλύσεις είναι ως εξής:

1^η σειρά παραμέτρικων αναλύσεων

1.1 → 7 αγκύρια

1.2 → 2αντηρίδες και 5 αγκύρια

1.3 → 3αντηρίδες και 4 αγκύρια

2^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων

2.1→ 4 μέτρα αποθέσεις, 4 μέτρα ασθενής μάργα, 12,5 μέτρα ισχυρή μάργα

2.2→6,5μέτρα ασθενής μάργα, 16 ισχυρή μάργα

2.3→2,5 μέτρα αποθέσεις, 18 μέτρα ασθενής μάργα

2.4→2,5 μέτρα αποθέσεις, 18 μέτρα ισχυρή μάργα

3^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Βάθος έμπηξης πασσάλων σε ισχυρή μάργα

3,1→3 μέτρα

3,2→6 μέτρα

Βάθος έμπηξης πασσάλων σε ασθενή μάργα

3,3→3 μέτρα

3,4→6 μέτρα

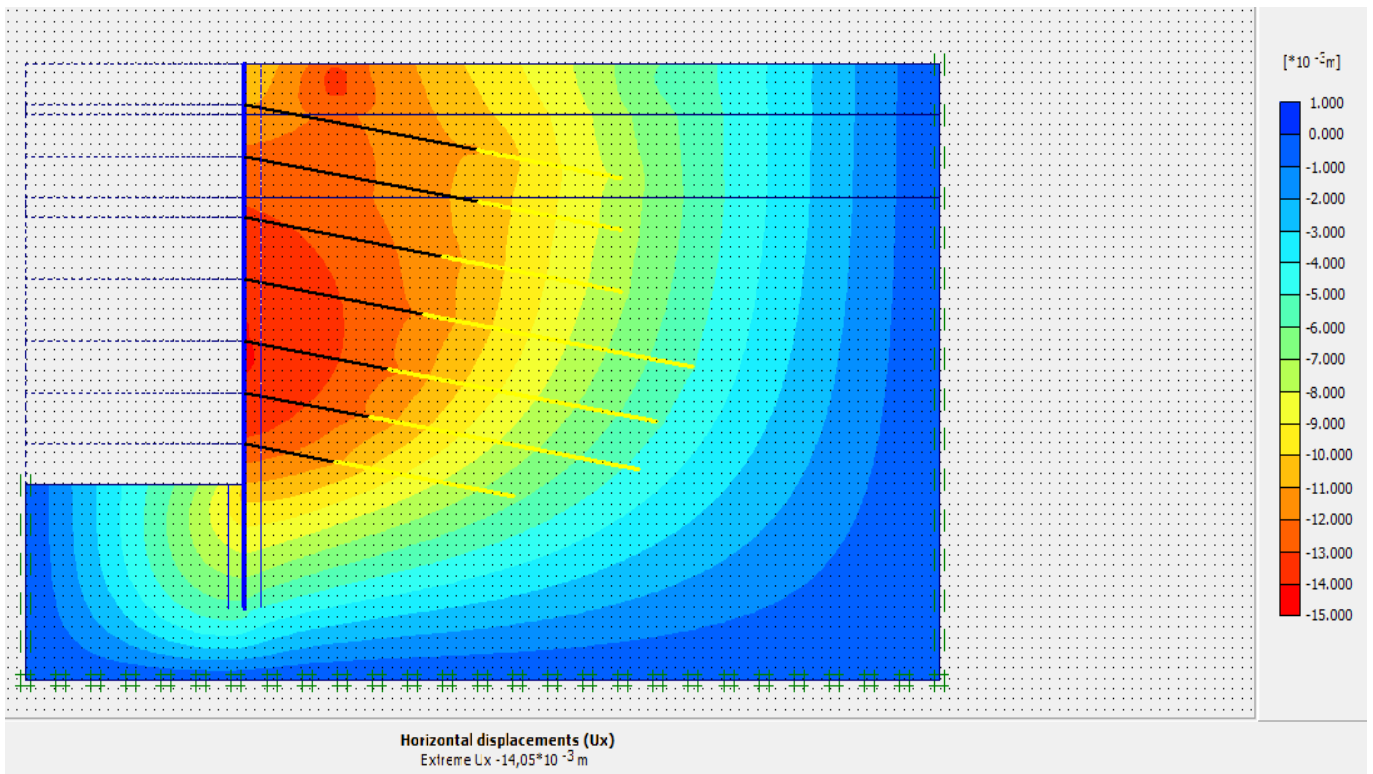
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

7.1. 1^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων

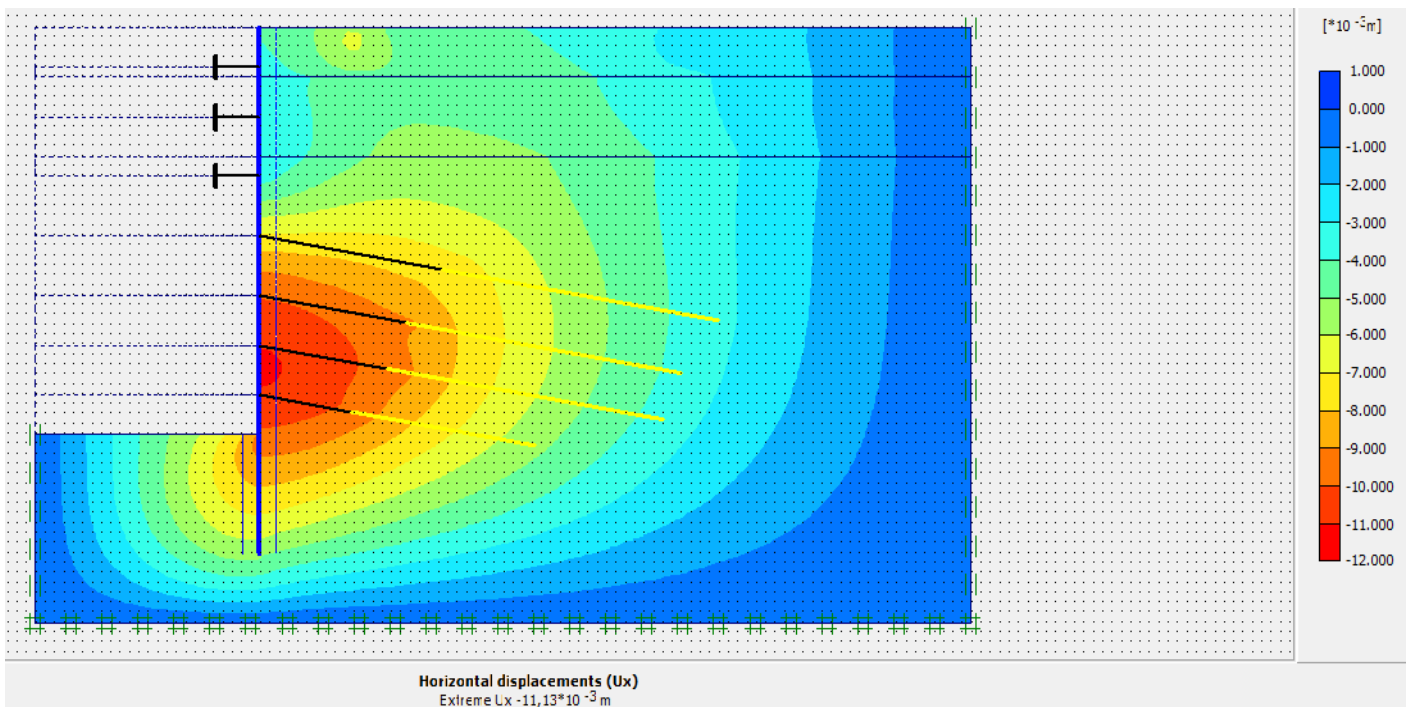
Σε αυτήν την παραμετρική ανάλυση έγινε αντικατάσταση των αντηρίδων με αγκύρια. Συγκεκριμένα πραγματοποιούνται τρεις αναλύσεις με γεωτεχνικό προσομοίωμα η προσωρινή υποστήριξη του οποίου, στην πρώτη ανάλυση αποτελείται από 7 σειρές αγκυρίων, στην δεύτερη ανάλυση αποτελείται από 2 σειρές αντηρίδων και 5 σειρές αγκυρίων και στην τρίτη ανάλυση αποτελείται 3 σειρές αντηρίδων και 4 σειρές αγκυρίων. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αντηρίδων και των αγκυρίων δεν μεταβάλλονται σε σχέση με τα αρχικά. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης, δηλαδή για την ανάλυση που εκτός από τον διαφραγματικό τοίχο έχει ως μέτρα υποστήριξης 2 αντηρίδες και 5 σειρές αγκυρίων, η οποία θεωρείται ως καλή κατάσταση με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις. Στο Παράρτημα παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων. Παρακάτω, αναφέρονται οι ορίζοντες και οι κατακόρυφες μετακινήσεις με μέτρα υποστήριξης 2 αντήριδες και 5 σείρες αγκυρίων που θεωρείται μια καλή κατάσταση διότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης δεν είχαν μεγάλη διαφορά με τα αποτελέσματα ανάλυσης με μέτρα υποστήριξης 3 σείρων αντηρίδων και 4 σείρων αγκυρίων. Επίσης,θα συγκρίνουμε την ανάλυση 1,1 με την ανάλυση 1,3 διότι η 1,1 ,η οποία έχει ως μέτρα αντιστήριξης μόνο αγκύρια έχει διαφορά στα αποτελέσματα ως προς τον συντελεστή ασφαλείας και τις μετακινήσεις με τις αναλύσεις 1,2 , 1,3 .

- 1,1 ανάλυση →7 σειρές αγκυρίων
- 1,2 ανάλυση →2 σειρές αντηρίδων και 5 σειρές αγκυρίων
- 1,3 ανάλυση →3 σειρές αντηρίδων και 4 σειρές αγκυρίων

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

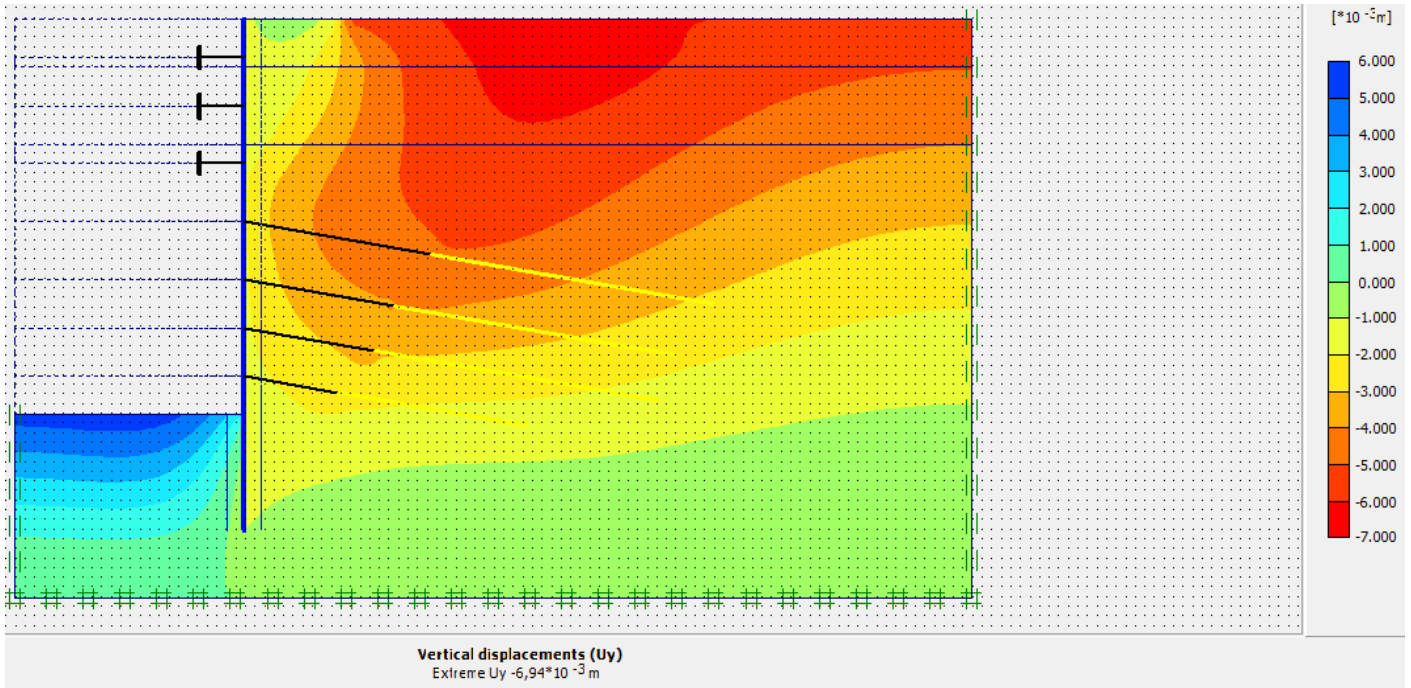


Εικόνα 63:Οριζόντιες μετακινήσεις ανάλυσης 1.1

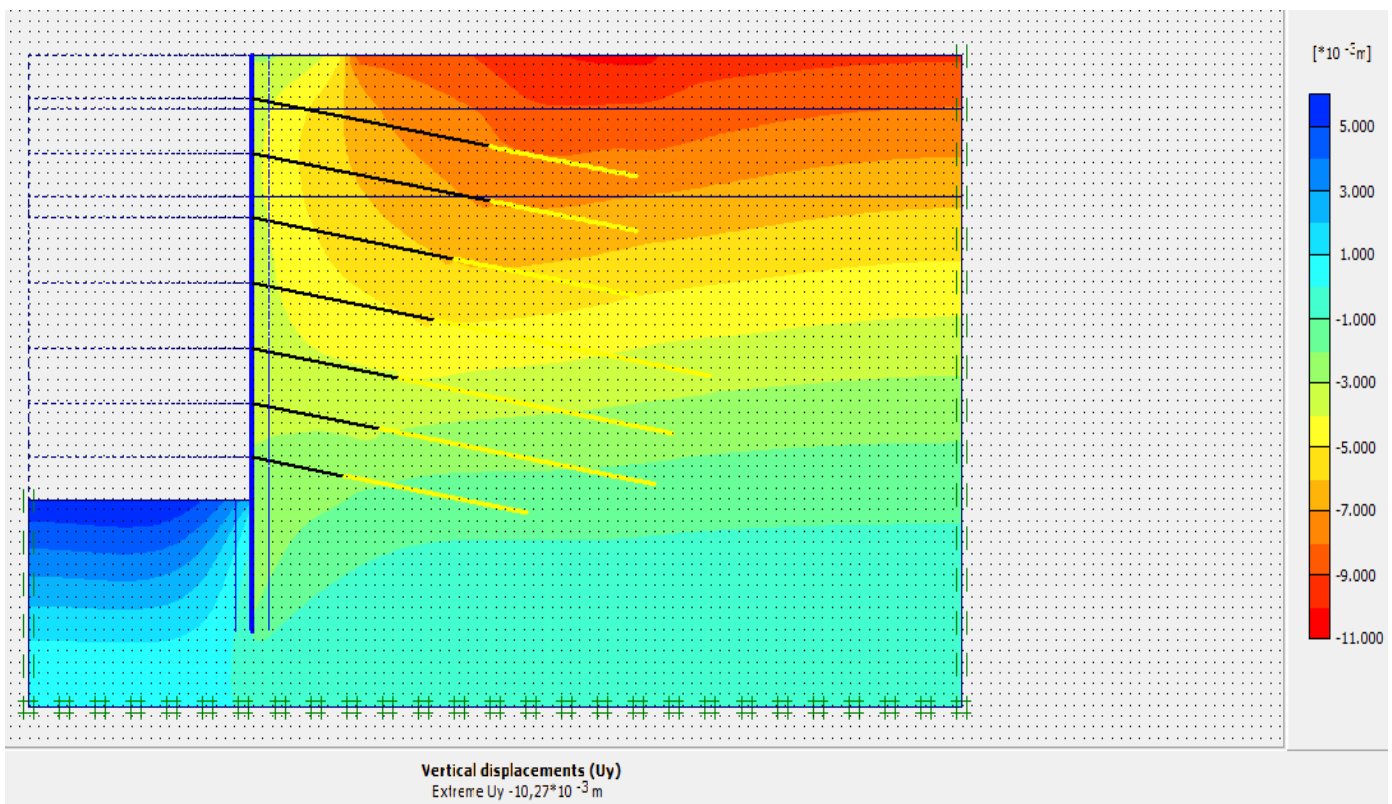


Εικόνα 64 :Οριζόντιες μετακινήσεις ανάλυσης 1.3

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 65: Κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 1,3

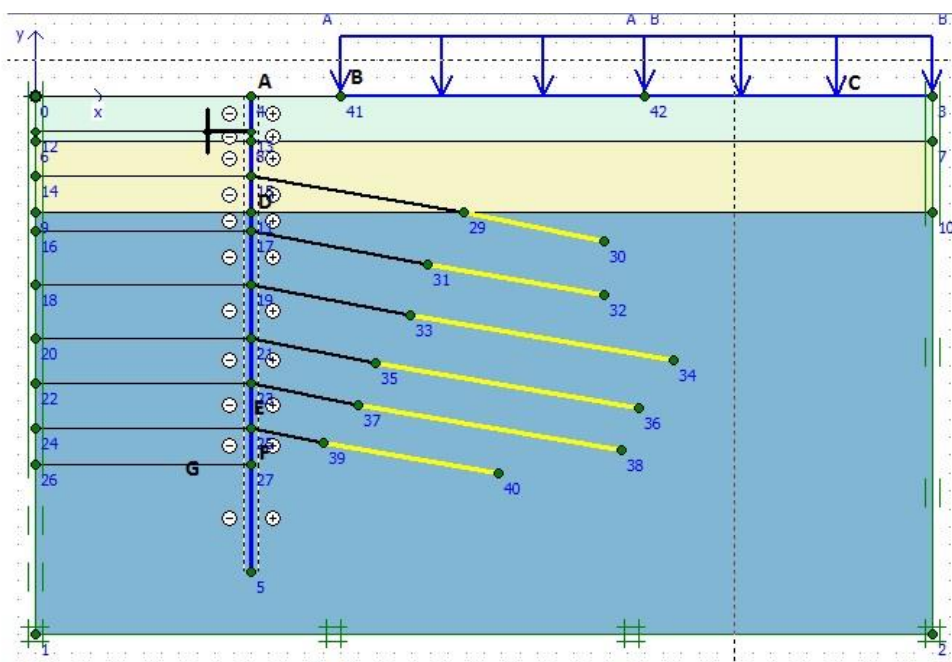


Εικόνα 66: Κατακόρυφες μετακινήσεις ανάλυσης 1,3

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Από τις παραπάνω εικόνες μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση είναι στον πυθμένα της εκσκαφής και στην επιφάνεια που ασκείται το φορτίο. Παρατηρώντας τις εικόνες των οριζόντιων μετατοπίσεων είναι φανερό ότι αυξάνονται όσο αυξάνονται τα αγκύρια. Αυτό είναι αναμενόμενο, εφόσον οι αντηρίδες που εφαρμόζονται στον διαφραγματικό τοίχο ασκούν πίεση στην εκσκαφή και σχεδόν μηδενίζουν την οριζόντια μετακίνηση του τοίχου. Όσο αυξάνονται τα αγκύρια αυξάνονται οι οριζόντιες μετατοπίσεις με αποτέλεσμα να προκαλούν μεγαλύτερες μετατοπίσεις στην επιφάνεια του εδάφους.

Επιπλέον, σε πίνακες παρουσιάζονται πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα των αναλυσεων με βάση συγκεκριμένων σημείων που υπολογίστικαν από το πρόγραμμα. Στην εικόνα 73 παρουσιάζεται η κατανομή των σημείων που επιλέχθηκαν για την παρακολούθηση των μετακινήσεων.



Εικόνα 67: Σημεία ανάλυσης

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 15:Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις σημείων της πρώτης ανάλυσης

ΣΗΜΕΙΑ	1,1 ΑΝΑΛΥΣΗ	1,2 ΑΝΑΛΥΣΗ	1,3 ΑΝΑΛΥΣΗ
A	10mm	5,28 mm	4,42mm
B	13 mm	7,06 mm	5,55 mm
C	3,45 mm	2,01 mm	1,44mm
D	13mm	5,77mm	3,32mm
E	13mm	11mm	11 mm
F	8,738mm	9,91mm	10 mm
G	5,15mm	5,52 mm	4,8mm

Πίνακας 16: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις σημείων της πρώτης ανάλυσης

ΣΗΜΕΙΑ	1,1 ΑΝΑΛΥΣΗ	1,2 ΑΝΑΛΥΣΗ	1,3 ΑΝΑΛΥΣΗ
A	2,85mm	3,37 mm	8,1mm
B	6mm	4,41mm	2,9mm
C	9,29mm	6mm	6 mm
D	3,8mm	6,035mm	1,64 mm
E	3,1mm	5,24mm	1,85 mm
F	2,27mm	4,78mm	1,7 mm
G	5,85(φουσκωμα)mm	5,7(φουσκωμα)mm	5,54(φουσκωμα)mm

Παρατηρώντας τις μετακινήσεις των σημείων είναι εμφανές ότι οι μέγιστες κατακόρυφες παρατηρούνται στην επιφάνεια του εδάφους δηλαδή στα σημεία (B,C) και στο πάτωμα της εκσκαφής στο οποίο παρατηρείτε ανύψωση του εδάφους (G). Επιπλέον, οι μέγιστες οριζόντιες παρατηρούνται στο τοίχο αντιστήριξης στο σημείο στο οποίο εδράζονται τα αγκύρια(E). Επίσης, στην ανάλυση 1,3 οι κατακόρυφες μετακινήσεις είναι μικρότερες στα σημεία A,B,C ,διότι λόγω των αντηρίδων η καθίζηση της επιφάνειας είναι μικρότερη. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα ίδια σημεία στην ανάλυση 1,1 έχουν κατακόρυφες μετακινήσεις μικρότερες με την 1,2 αυτό βεβαία οφείλεται στην κλίση που παίρνει η στέψη του τοίχου αντιστήριξης αυτό φαίνεται καλύτερα στο παράρτημα στις εικόνες των κατακόρυφων αναλύσεων .

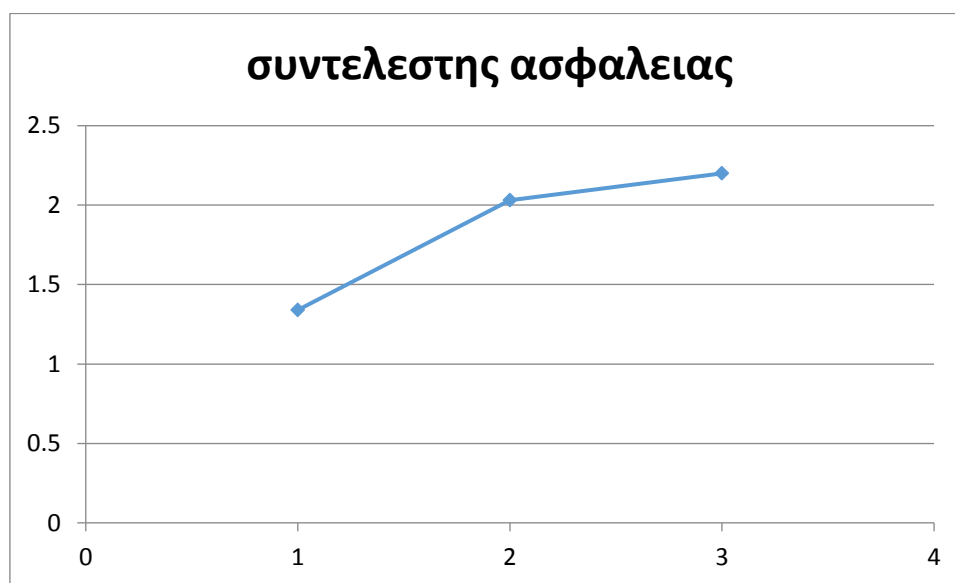
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 17: Αποτελέσματα απο την πρώτη σειρά αναλύσεων

ΑΝΑΛΥΣΗ	1,1 ΑΝΑΛΥΣΗ	1,2 ΑΝΑΛΥΣΗ	1,3 ΑΝΑΛΥΣΗ
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	10,27mm	7,24mm	6,94mm
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	14,06mm	10,76mm	11,14mm
ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ	15,06mm	12,05mm	11,26mm
ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	1002kN/m	868,33kN/m	760kN/m
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	1,34	2,03	2,2

Επίσης, από τα στοιχεία του πίνακα 17 παρατηρούμε ότι όσο περισσότερες αντηρίδες έχουμε τόσο μικρότερες είναι οι κατακόρυφες μετακινήσεις. Επίσης, παρατηρούμε έντονα ότι όσο λιγότερες αντηρίδες έχουμε τόσο αυξάνονται οι αξονικές δυνάμεις. Επιπλέον, με την αύξηση των αντηρίδων έχουμε και αύξηση του συντελεστή ασφαλείας. Στα διαγράμματα 5,6,7,8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

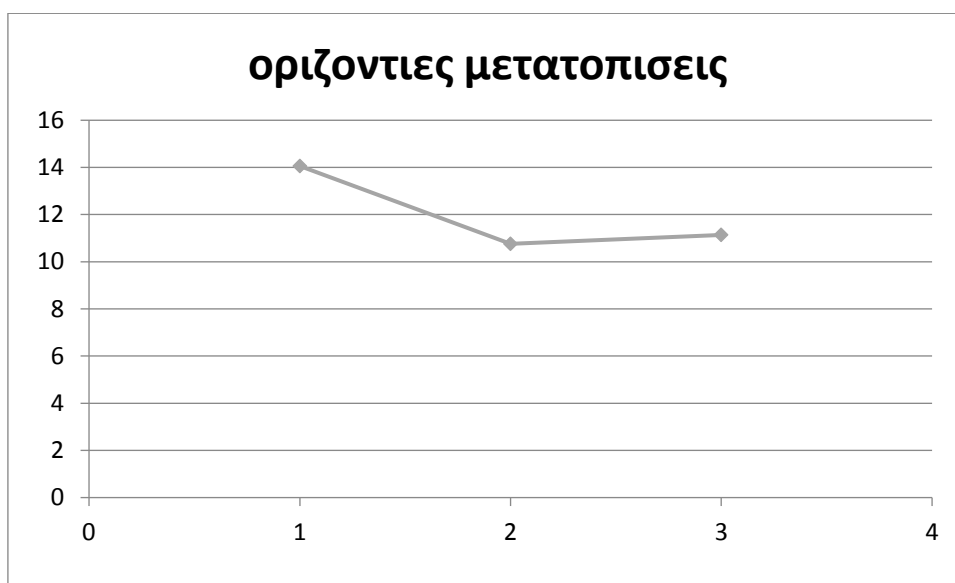
Αν παρατηρήσουμε τιμές του συντελεστή ασφαλείας θα δούμε σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα ότι αυξάνεται όσο αυξάνονται οι αντηρίδες. Η αύξηση είναι της τάξης του 39,1% μεταξύ της 1,1 με 1,3 ανάλυσης.



Διάγραμμα 5: Συντελεστής ασφαλείας 1ης ανάλυσης

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Σύμφωνα με τις τιμές των οριζόντιων μετακινήσεων ,όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα, δηλαδή μειώνονται όσο αύξανονται οι αντηρίδες κατά 23,5% . Βέβαια παρατηρούμαι ότι από την 1,2 και 1,3 ανάλυση καθώς αυξάνονται οι αντηρίδες (από 2 σε 3 αντιστοίχα) έχουμε αύξηση των οριζόντιων μετακινήσεων κατά 3,4% αυτό φαίνεται και από την εικόνα 72 στην οποία φαίνονται οι μέγιστες μετακινήσεις στην περιοχή των αγκυρίων.



Διάγραμμα 6: Οριζόντιες μετακινήσεις 1ης σειράς αναλύσεων

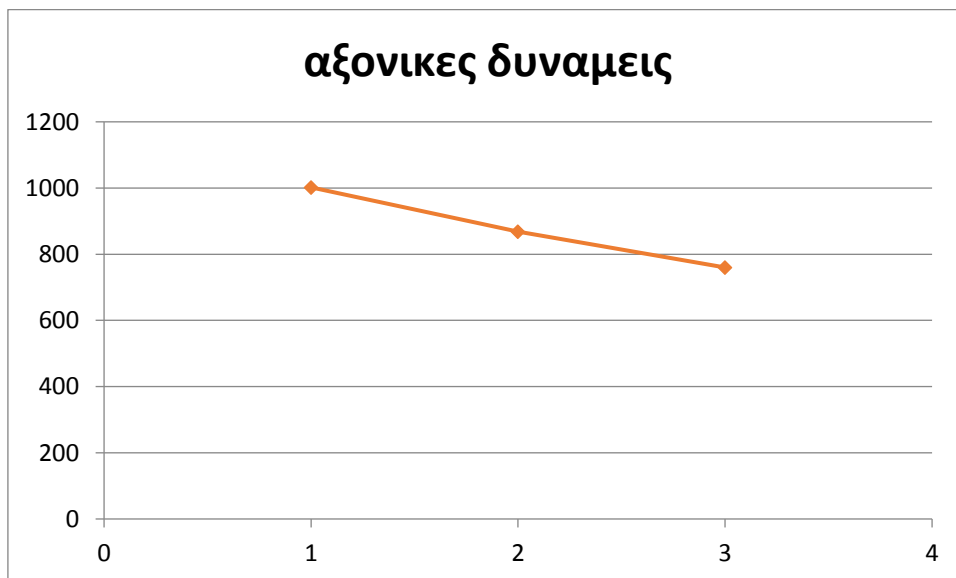
Σύμφωνα με τις τιμές των κατακόρυφων μετακινήσεων που παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7, παρατηρούμε ότι οι μετακινήσεις μειώνονται όσο αύξανονται οι αντηρίδες. Η μείωση μεταξύ της 1,1 με 1,3 ανάλυσης είναι της τάξης του 32,42% .

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Διάγραμμα 7:Κατακόρυφες μετακινήσεις 1ης σειράς αναλύσεων

Αν παρατηρήσουμε τις απόλυτες τιμές των αξονικών δυνάμεων, αυτές αυξάνονται όσο μειώνονται οι αντηρίδες .Η μείωση των αξονικών δυνάμεων μεταξύ της 1,1 και 1,3 ανάλυσης είναι της τάξης του 24,15%.



Διάγραμμα 8: Αξονικές δυνάμεις 1ης σειράς αναλύσεων

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

7.2 2^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Σε αυτήν την παραμετρική ανάλυση εξετάζεται πως η αλλαγή της γεωλογίας επηρεάζει την εντατική κατάσταση των μέτρων αντιστήριξης και τις παραμορφώσεις. Συγκεκριμένα πραγματοποιούνται 4 αναλύσεις σε γεωτεχνικό προσομοίωμα όπου τα προσωρίνα μέτρα υποστήριξης αποτελούνται από 1 σειρά αντηρίδων και 6 σειρές αγκυρίων. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αντηρίδων και των αγκυρίων δεν μεταβάλλονται σε σχέση με τα αρχικά. Τέλος, οι αναλύσεις που πραγματοποιούνται είναι:

- 2.1→ 4μέτρα αποθέσεις, 4μέτρα ασθενής μάργα, 12,5 μέτρα ισχυρή μάργα
- 2.2→6,5μέτρα ασθενής μάργα, 14 μέτρα ισχυρή μάργα
- 2.3→2,5 μέτρα αποθέσεις, 18 μέτρα ασθενής μάργα
- 2.4→2,5 μέτρα αποθέσεις, 18 μέτρα ισχυρή μάργα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων σε πίνακες. Επιπλέον, στο Παράρτημα παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων σε εικόνες.

Πίνακας 18:Αποτελέσματα 2^{ης} σειράς ανάλυσης

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	2,1	2,2	2,3	2,4
ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	15,08mm	13,02 mm	40,81 mm	12,81 mm
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	15,09 mm	8,46 mm	25,72 mm	8,4 mm
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	1,53	2,54	1,52	1,94

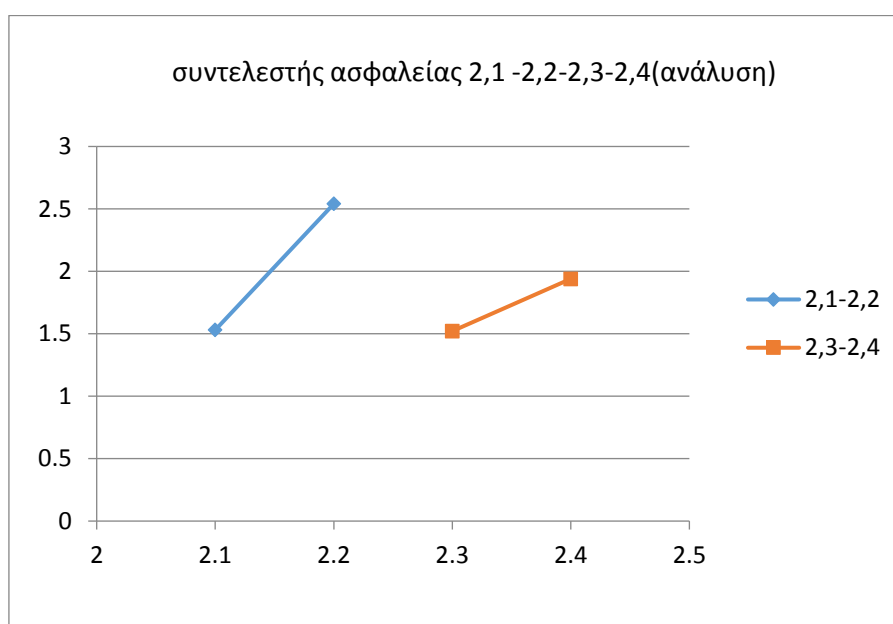
Πίνακας 19:Οριζόντιες μετακινήσεις 2ης σειράς ανάλυσης

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	2,1	2,2	2,3	2,4
ΣΤΕΨΗ	4,5mm	1 mm	6 mm	1 mm
ΠΥΘΜΕΝΑΣ	3mm	4 mm	12,5 mm	4 mm

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 20: Κατακόρυφες μετακινήσεις 2ης σειράς ανάλυσης

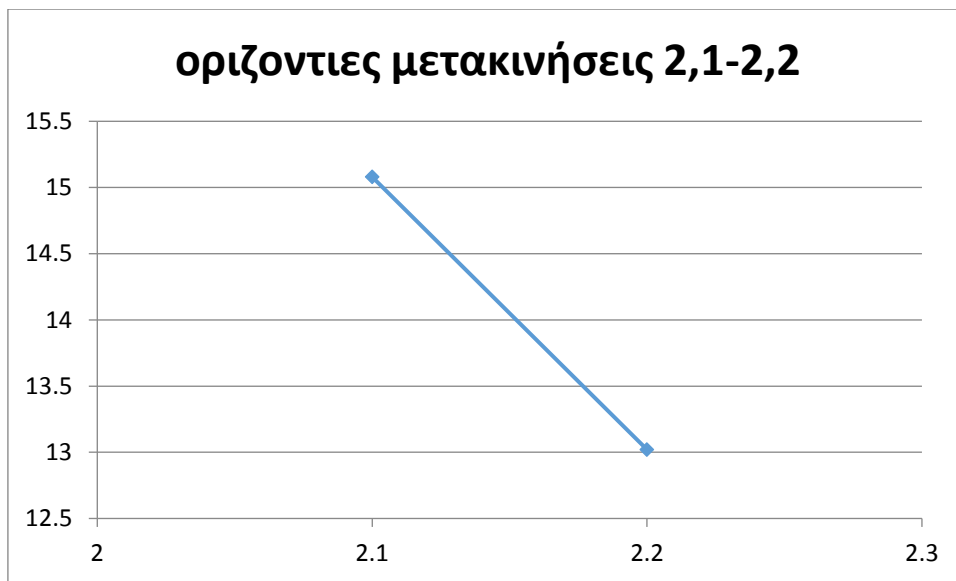
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	2,1	2,2	2,3	2,4
ΣΤΕΨΗ	6mm	1 mm	7,5 mm	1 mm
ΠΥΘΜΕΝΑΣ	15mm	6 mm	17,5 mm	6 mm



Διάγραμμα 9: Συντελεστής ασφαλείας 2ης σειράς αναλύσεων

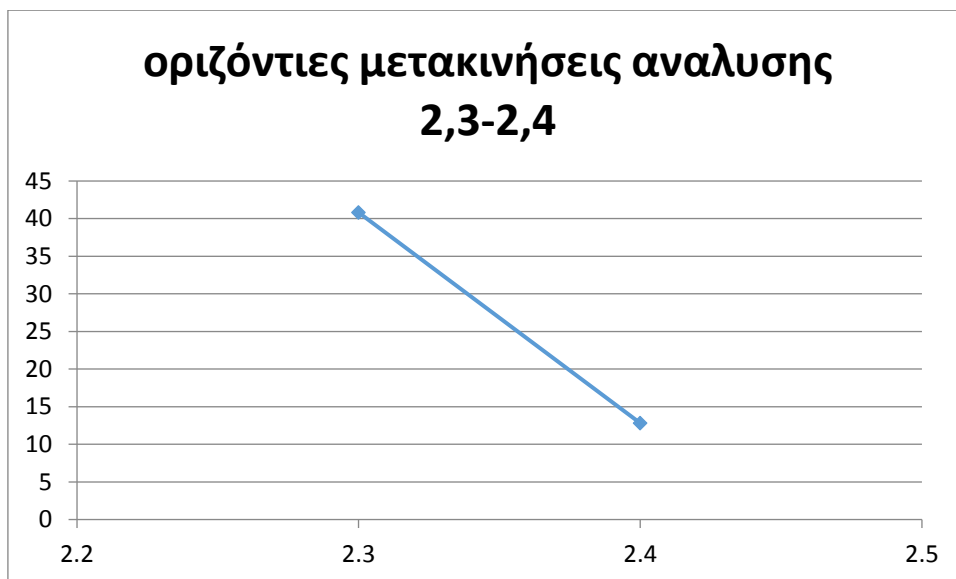
Από το διάγραμμα 9 παρατηρήθηκε ότι στην ανάλυση 2,1 με 2,2 είχαμε αύξηση του συντελεστή ασφαλείας κατά 39,76% ενώ στην ανάλυση 2,3 με 2,4 είχαμε αύξηση 21,6%.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Διάγραμμα 10:οριζόντιες μετακινήσεις 2,1-2,2 ανάλυσης

Παρατηρούμε ότι η μείωση των οριζόντιων μετακινήσεων είναι της τάξης του 13,6%



Διάγραμμα 11:οριζόντιες μετακινήσεις ανάλυσης 2,3-2,4

Παρατηρούμε ότι η μείωση των οριζόντιων μετακινήσεων είναι της τάξης του 68,61%.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 21: Αποτελέσματα τοίχου αντιστήριξης δεύτερης σειράς αναλύσεων

ΣΤΟΧΕΙΑ ΤΟΙΧΟΥ	2,1 ΑΝΑΛΥΣΗ	2,2 ΑΝΑΛΥΣΗ	2,3 ΑΝΑΛΥΣΗ	2,4 ΑΝΑΛΥΣΗ
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	2,11mm	2,4mm	6,83mm	2,08 mm
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	15,08mm	13,02mm	41,35mm	12,81 mm
ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	825,7 kN/m	839kN/m	758kN/m	803N/m
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	223,51kN/m	234kN/m	378 kN/m	340 kN/m
ΚΑΜΨΗ ΤΟΙΧΟΥ	210,11kN*m/m	164kN*m/m	413 kN*m/m	231 kN*m/m



Διάγραμμα 12: Κάμψη τοίχου στην 2η παραμετρική ανάλυση

Από το διάγραμμα 12 παρατηρούμε πως τα εδάφη με χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν σημαντικά την κάμψη του τοίχου αντιστήριξης βλέπουμε ότι η ανάλυση 2,1 που περιέχει αποθέσεις και ασθενή μάργα η κάμψη είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την 2,2 η οποία δεν έχει αποθέσεις και η μείωση της κάμψης είναι 21,9% μεταξύ της 2,1 με 2,2.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Εάν συγκρίνουμε τις αναλύσεις 2,3 και 2,4 θα δούμε ότι η ανάλυση 2,3 η οποία έχει στο γεωλογικό υπόβαθρο τις αποθέσεις και την ασθενή μάργα ο τοίχος έχει υψηλότερη κάμψη από την ανάλυση 2,4 η οποία έχει γεωλογικό υπόβαθρο τις αποθέσεις και την ισχυρή μάργα . Η μείωση της κάμψης μεταξύ των αναλύσεων 2,3 και 2,4 είναι της τάξης του 44,1%.

Από τις αναλύσεις (2,3 , 2,4) παρατηρούμε ποσό σημαντικό ρόλο παίζει στην εκσκαφή μας η ισχυρή μάργα ,η οποία έχει καλά μηχανικά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να μειώνει σημαντικά τις μετακινήσεις. Επίσης, οι μεγαλύτερες μετακινήσεις συμβαίνουν στις αποθέσεις και στην ασθενή μάργα ,διότι έχουν πολύ μικρότερη συνοχή σε σχέση με την ισχυρή μάργα η οποία είναι ($c= 55\text{MPa}$). Επίσης, από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η ανάλυση 2,2 και 2,4 που έχουν μεγαλύτερο πάχος ισχυρής μάργας εμφανίζουν και μικρότερες μετακινήσεις και αυτό οφείλεται στα πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά που έχει ο σχηματισμός.

7.3 3^η Σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Σ' αυτήν την 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. Επίσης, έγιναν δυο αναλύσεις σε ασθενή μάργα και αλλές δύο αναλύσεις σε ισχυρή μάργα. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω .

Βάθος έμπηξης πασσάλων σε ασθενή μάργα

- **3,1**→3 μέτρα
- **3,2**→6 μέτρα

Βάθος έμπηξης πασσάλων σε ισχυρή μάργα

- **3,3**→3 μέτρα
- **3,4**→6 μέτρα

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Μετά την εισαγωγή των 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. Σε κάθε ανάλυση μελετήθηκαν τα αποτελέσματα των μετακινήσεων επιλεγμένων σημείων της εκσκαφής και οι παραμορφώσεις των πασσάλων. Στο παράρτημα φαίνονται αναλυτικά όλα τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

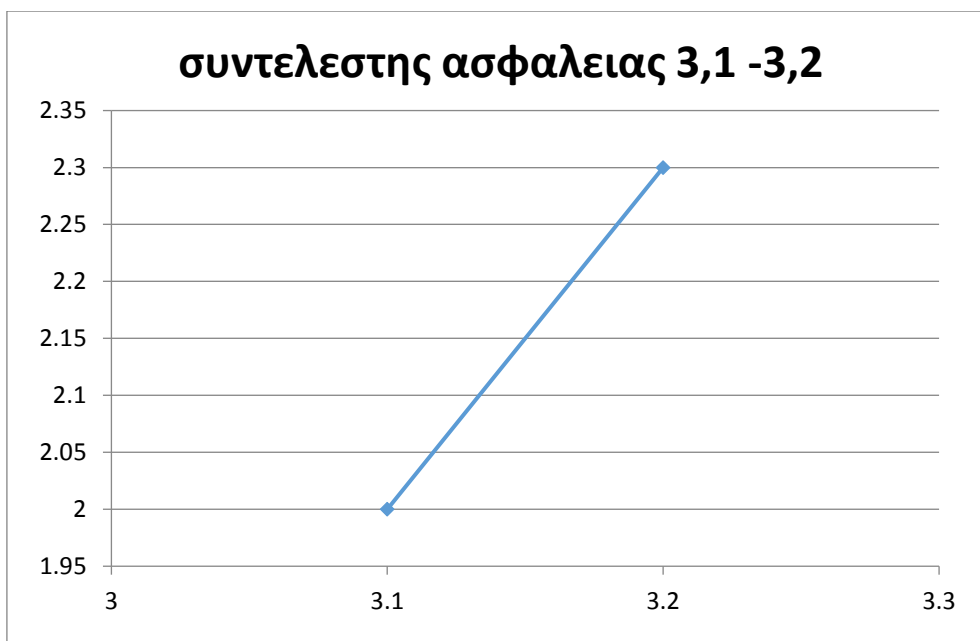
Σε ασθνή μάργα έχουμε:

Πίνακας 22: Αποτελέσματα ανάλυσης 3.1-3.2

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	3 ΜΕΤΡΑ	6 ΜΕΤΡΑ
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	39,75 mm	34,18mm
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	23,9mm	21,94mm
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ	9,16 mm	3,27mm
ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ	39,75 mm	34,18 mm
ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	530 kN/m	629,2 kN/m
ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	397 kN/m	351 kN/m
ΚΑΜΨΗ ΤΟΙΧΟΥ	384,27 kNm/m	298,10 kNm/m
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	2	2,3

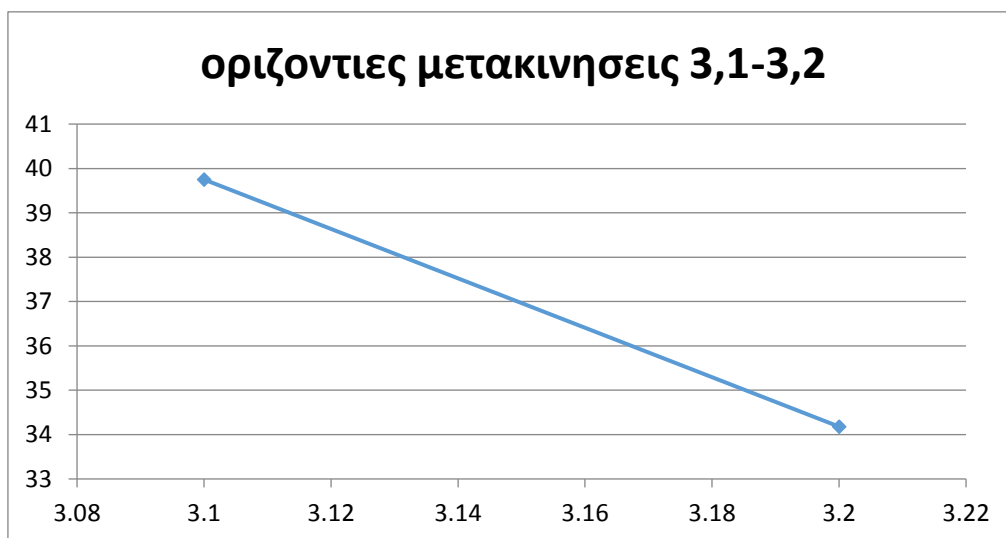
Από αυτόν τον πίνακα παρατήρουμε ότι στα 6 μέτρα βάθους έμπηξης ο τοίχος έχει λιγότερες μετακινήσεις από ότι στα 3 μέτρα βάθους έμπηξης. Επίσης, οι μετακινήσεις αναφέρονται αναλυτικότερα σε σημεία της εκσκαφής στους πίνακες 23,24.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Διάγραμμα 13: Συντελεστής ασφαλείας ανάλυσης 3,1-3,2

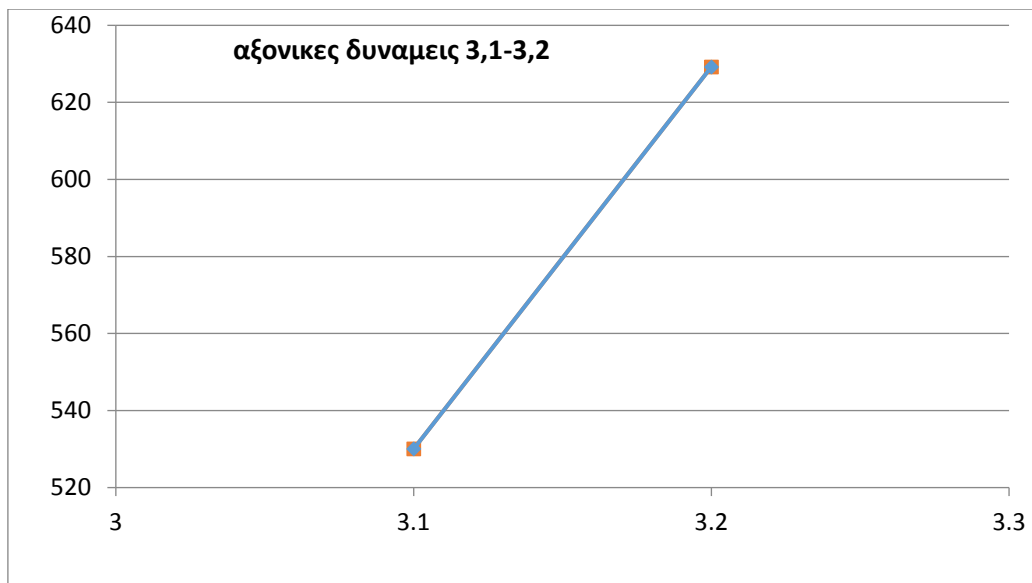
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται κατά 13,04 % όταν ο τοίχος κατασκευάζεται σε βάθος 6 μέτρων.



Διάγραμμα 14: Οριζόντιες μετακινήσεις 3,1-3,2

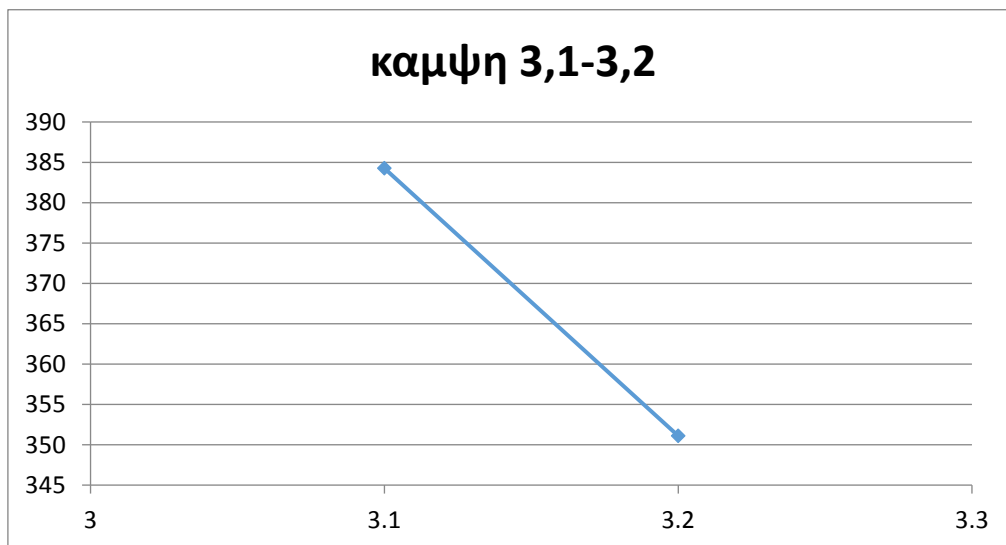
Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι οι οριζόντιες μετακινήσεις μειώνονται κατά 14% όταν ο τοίχος κατασκευάζεται σε βάθος 6 μέτρων με γεωλογία ασθενούς μάργας.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Διάγραμμα 15: Αξονικές δυνάμεις 3,1-3,2 ανάλυσης

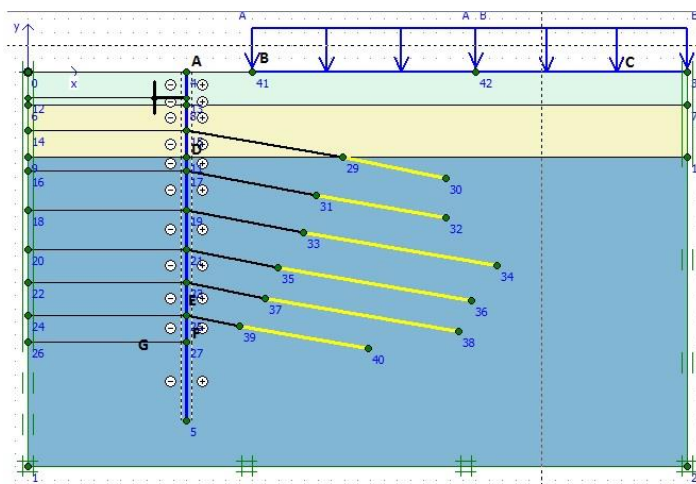
Οι αξονικές δυνάμεις αυξάνονται όσο αυξάνεται το βάθος έμπηξης συγκεκριμένα η αύξηση των αξονικών δυνάμεων είναι κατά 15,76%



Διάγραμμα 16: Κάμψη τοιχου ανάλυσης 3,1-3,2

Η κάμψη μειώνεται όσο αυξάνεται το βάθος έμπηξης συγκεκριμένα η μείωση της κάμψης είναι κατά 8,63%.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 68: Σημεία επιλογής ανάλυσης

Πίνακας 23: Οριζόντιες μετακινήσεις σημείων τρίτης σειράς αναλύσεων (σε mm)

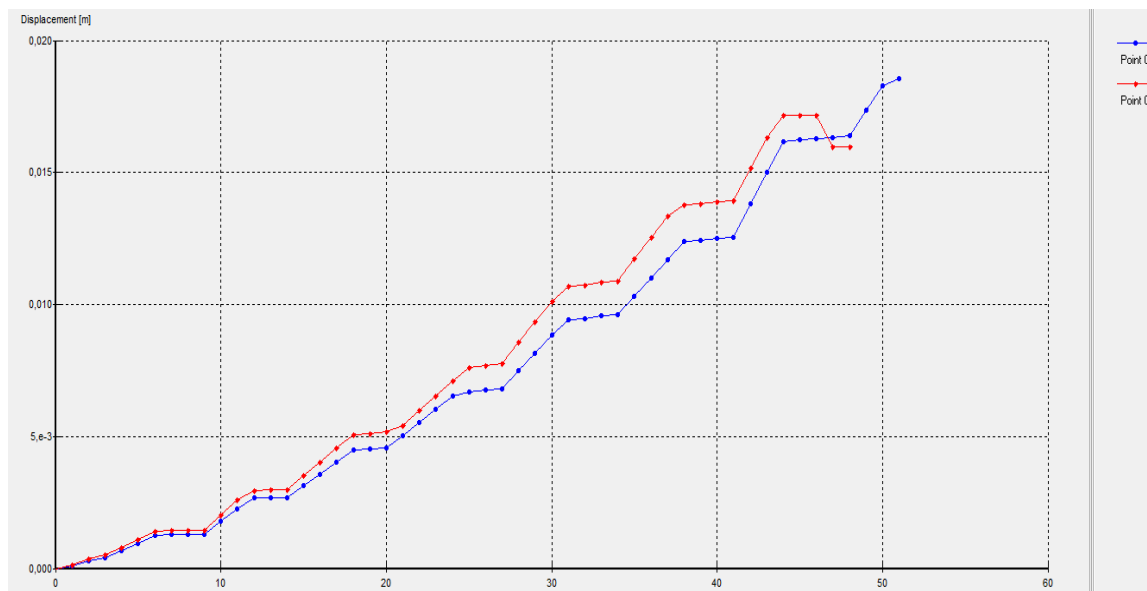
ΣΗΜΕΙΑ	3,1 ΑΝΑΛΥΣΗ(3μετρα)	3,2 ΑΝΑΛΥΣΗ(6μετρα)
A	0,9	+2,25
B	14	10
C	8,22	7
D	25	23
E	39	32
F	35	28
G	17	16

Πίνακας 24: Κατακόρυφες μετακινήσεις τρίτης σειράς αναλύσεων (σε mm)

ΣΗΜΕΙΑ	3,1 ΑΝΑΛΥΣΗ(3μετρα)	3,2 ΑΝΑΛΥΣΗ(6μετρα)
A	+1,64	+5,24
B	15	10
C	24	21
D	10	4,26
E	9,25	3,67
F	8,8	3,78
G	+19(ΦΟΥΣΚΩΜΑ)	+16(ΦΟΥΣΚΩΜΑ)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι το σημείο G έχει μεγαλύτερες κατακόρυφες μετακινήσεις, όταν ο τοίχος βρίσκεται σε βάθος 3 μέτρων, ενώ μειώνονται όταν ο τοίχος βρίσκεται σε βάθος 6 μέτρα. Αυτό φαίνεται και καλύτερα στο παρακάτω διάγραμμα που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα curves.



Εικόνα 69:Κατακόρυφη μετακίνηση σημείου G (μπλε-3,1 , κοκκινο-3,2)

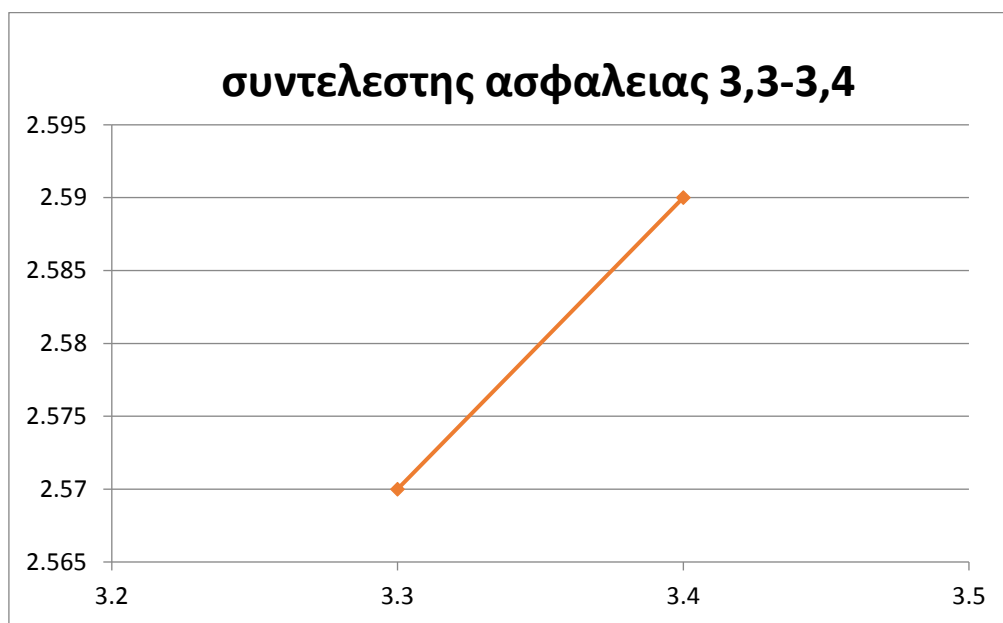
Σε ισχυρή μάργα έχουμε:

Πίνακας 25:Αποτελέσματα της 3.2 ανάλυσης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	3 ΜΕΤΡΑ	6 ΜΕΤΡΑ
ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	12,16mm	12,14mm
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ	7,29mm	7,34mm
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ	2,01mm	1,54mm
ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΙΧΟΥ	12,16mm	12,14mm
ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	563kN/m	684,9kN/m
ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	391,8kN/m	378,8kN/m
ΚΑΜΨΗ ΤΟΙΧΟΥ	341kNm/m	327,26kNm/m
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	2,57	2,59

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

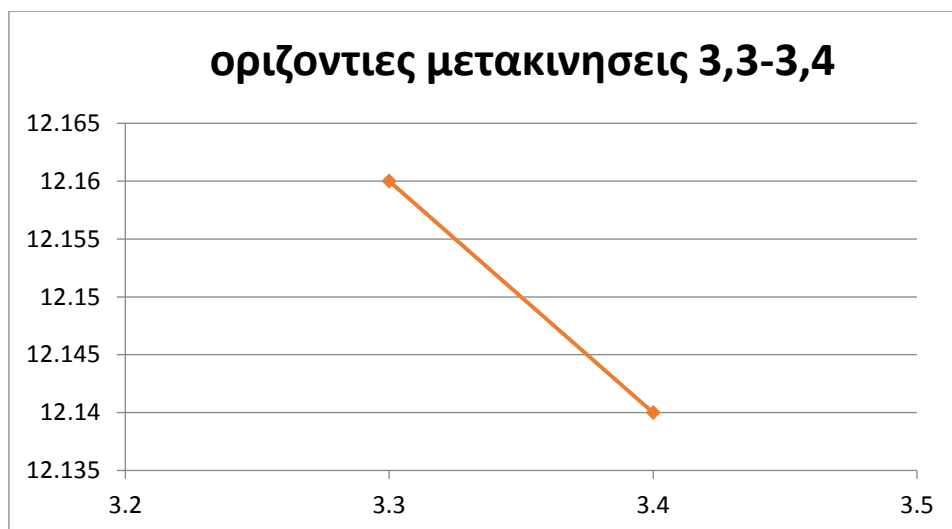
Από τον πίνακα 25 παρατήρουμε πως όταν ο τοίχος είναι κατασκευασμένος σε 6 μέτρα βάθους έμπηξης και 3 μέτρα οι διαφορές στις μετακινήσεις δεν είναι μεγάλες. Επίσης, όπως και στην ανάλυση 3,1-3,2 παρατήρηθηκε πως όταν ο τοίχος βρίσκεται στα 6 μέτρα βάθους έμπηξης τότε αυξάνεται η αξονική δύναμη. Έπειτα άμα συγκρίνουμε την 3,1-3,2 ανάλυση με την 3,3-3,4 ανάλυση συνολικά παρατήρουμε πόσο διαφορετικά συμπεριφέρεται η ισχυρή μάργα σε σχέση με την ασθενή μάργα αυτό φαίνεται και στα αποτελέσματα που έδωσε και η 2^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων. Από αυτή την ανάλυση το ενδιαφέρον βρέθηκε στο σημείο G το οποίο και εδώ φαίνεται να μην επηρεάζεται όταν ο τοίχος είναι κατασκευάζεται με μήκος έμπηξης 3 μέτρα.



Διάγραμμα 17: Συντελεστής ασφαλείας 3,3-3,4 ανάλυσης

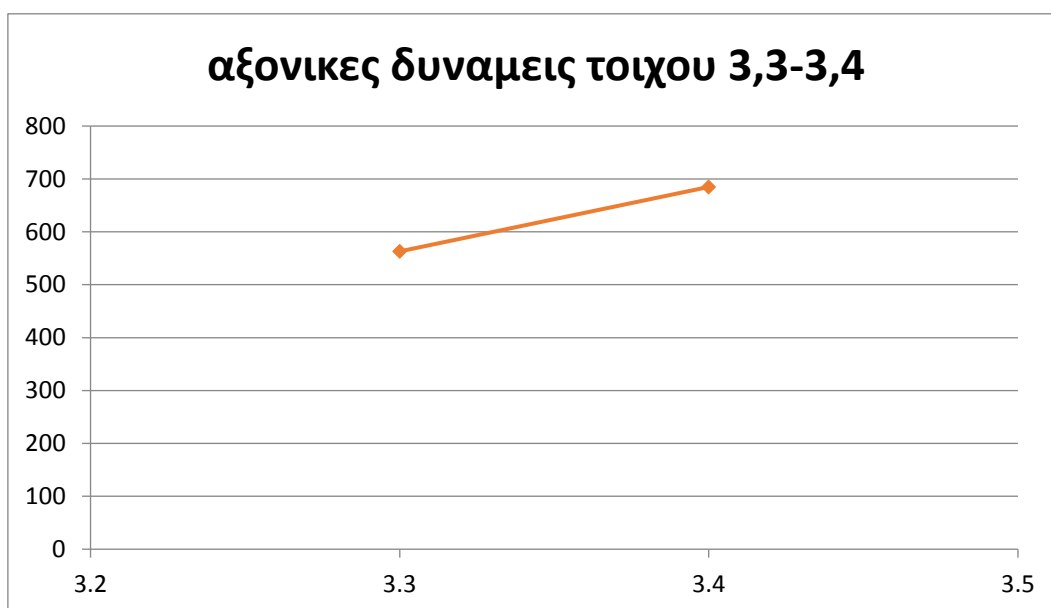
Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι με την αύξηση του βάθους έμπηξης του πασσάλου σε ισχυρή μάργα ο συντελεστής ασφαλείας δεν αυξάνεται παρα πολύ παρα μόνο κατά 0,77%.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Διάγραμμα 18: Οριζόντιες μετακινήσεις των αναλύσεων 2,3-2,4

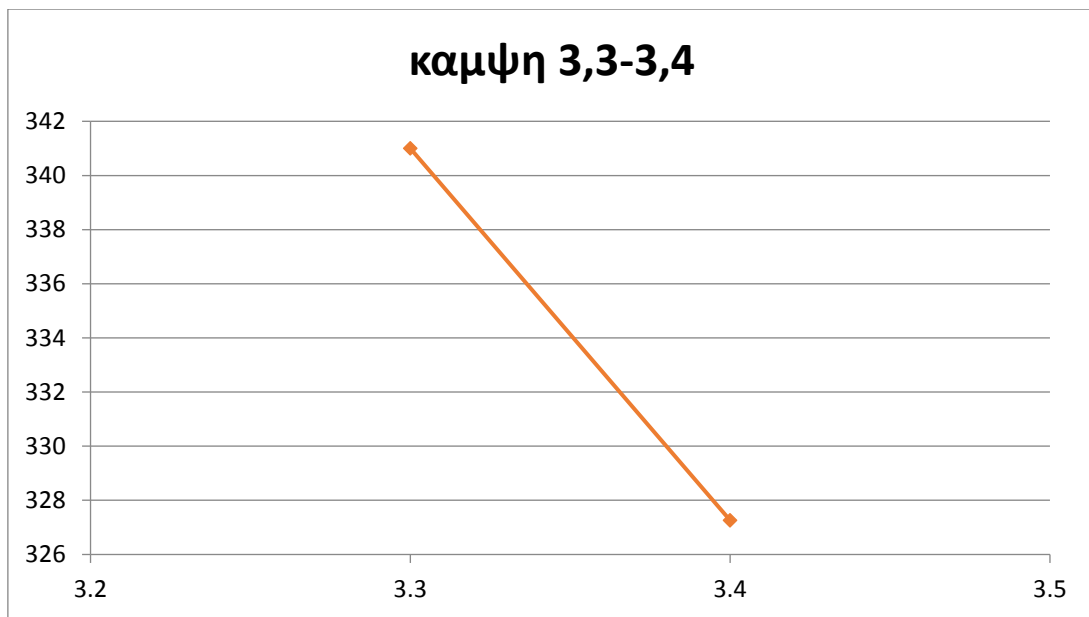
Επίσης, παρατηρούμε ότι οι οριζόντιες μετακινήσεις δεν αλλάζουν και πολύ αλλά μειώνονται κατά 0,92%.



Διάγραμμα 19: Αξονικές δυνάμεις στις αναλύσεις 3,3-3,4

Όσον αφορά τις αξονικές δυνάμεις αυτές αυξάνονται, καθώς αυξάνεται το βάθος έμπηξης του πασσάλου στα 6 μέτρα από τα 3 μέτρα και η αύξηση είναι της τάξης του 17,7%.

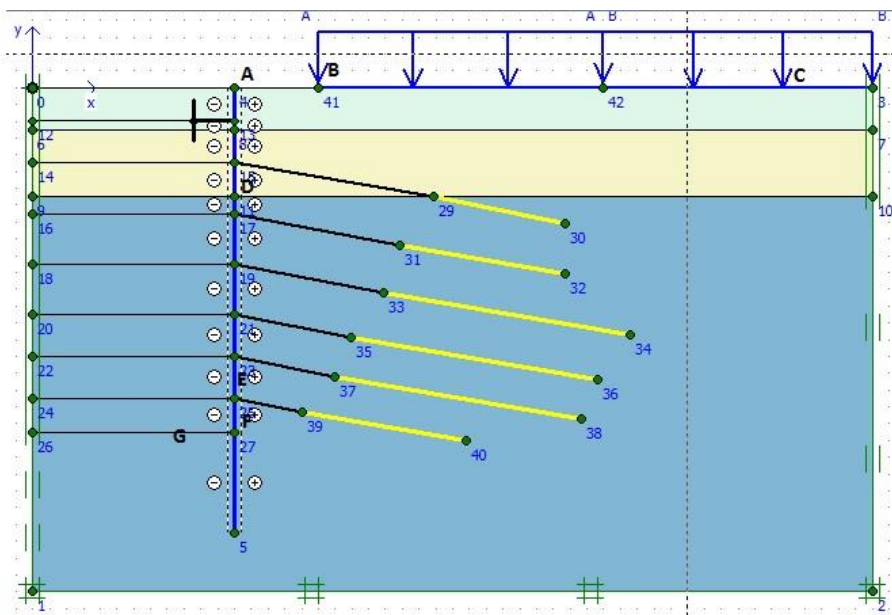
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Διάγραμμα 20:Καμψη τοίχου αναλύσεων 3,3-3,4

Οι κάμπτικές ροπές του τοίχου μειώνονται όσο αυξάνεται το βάθος έμπηξης του τοίχου και μειώνονται κατά 4%

Στην εικόνα 76 φαίνονται τα προεπιλεγμένα σημεία ανάλυσης.



Εικόνα 70:Σημεία ανάλυσης

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Πίνακας 26: Αποτελέσματα οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων στην τρίτη σειρά ανάλυσης (σε mm)

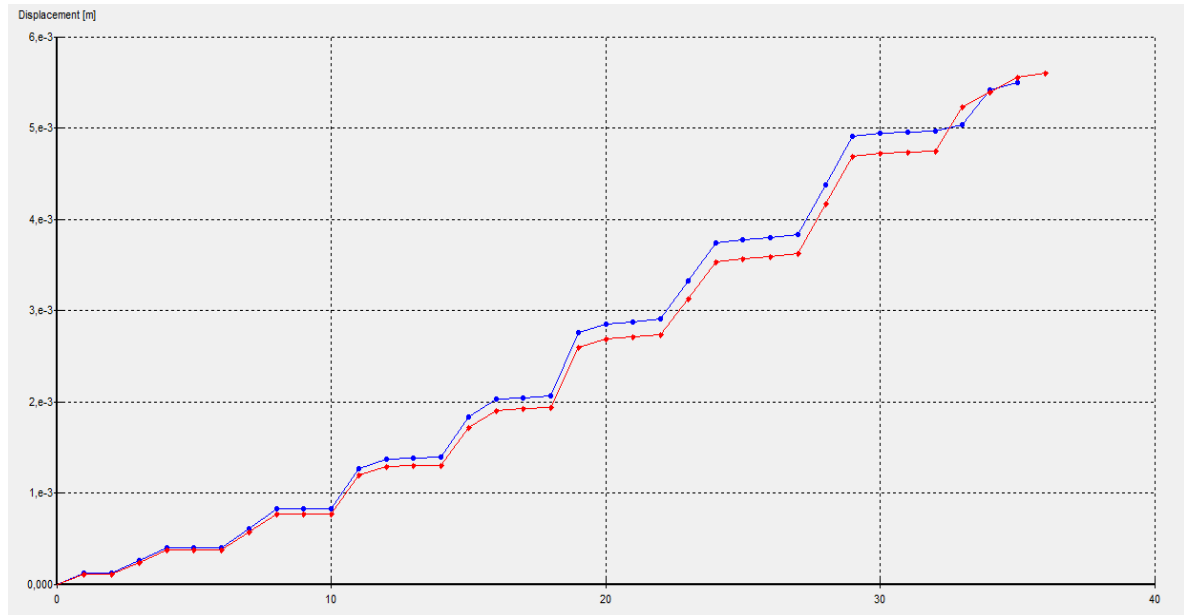
ΣΗΜΕΙΑ	3,3 ΑΝΑΛΥΣΗ(3μετρα)	3,4 ΑΝΑΛΥΣΗ(6μέτρα)
A	0,18	0,05
B	2	1,9
C	9,88	7,3
D	7,1	6,22
E	12	12
F	11	8,49
G	5,51	5,12

Πίνακας 27: Αποτελέσματα κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων στην τρίτη σειρά ανάλυσης (σε mm)

ΣΗΜΕΙΑ	3,3 ΑΝΑΛΥΣΗ(3μετρα)	3,4 ΑΝΑΛΥΣΗ(6μετρα)
A	1,34	0,92
B	4,34	3,72
C	6,42	6,1
D	2,34	1,8
E	2,1	1,63
F	1,89	0,2
G	+5,5(φούσκωμα)	+5,54(φούσκωμα)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Παρατηρούμε ότι το σημείο G δεν επηρεάζεται ως προς τις μετακινήσεις όταν αλλάζει το βάθος έμπηξης . Παρακάτω θα δούμε το διάγραμμα ως προς τις κατακόρυφες μετακινήσεις του σημείου G στις αναλύσεις 3,3-3,4.



Εικόνα 71: Κατακόρυφη μετακίνηση σημείου G (μπλε-3,3 , κοκκινο-3,4)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Σταθμός Ανθούπολη είναι ο δεύτερος και προς το παρόν τερματικός σταθμός της επέκτασης της γραμμής 2 προς Περιστέρι και πρόκειται να κατασκευαστεί κατά μήκος της οδού Αναπαύσεως προέκταση της Παναγή Τσαλδάρη, σε θέση αμέσως μετά τη διασταύρωση της Λεωφόρου Θηβών. Το συνολικό μήκος της κατασκευής του Σταθμού είναι 146.40m. Επισημαίνεται ότι στη θέση αυτή υπάρχει ήδη κατασκευασμένη η σήραγγα διπλής γραμμής που διανοίχθηκε από το Φρέαρ Εκκίνησης στην περιοχή του Αγ Ιεροθέου. Στο μήκος κατασκευής του Σταθμού η υφιστάμενη σήραγγα θα καθαιρεθεί. Η κατασκευή του Σταθμού θα γίνει με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut&Cover) εντός αντιστηριζόμενου ορύγματος βάθους 20μ. περίπου. Οι δύο είσοδοί του κατασκευάζονται με την ίδια μέθοδο ενώ εξαίρεση αποτελεί η σήραγγα πρόσβασης στο Σταθμό από την είσοδο Λεωφόρου Θηβών που κατασκευάζεται με υπόγεια διάνοιξη. Η κατασκευή του Σταθμού έγινε σε τρεις βασικές φάσεις. Η Α φάση που αποτελεί και την κυριότερη φάση λόγω μεγέθους και δυσκολιών κατασκευής, περιλαμβάνει την κατασκευή του κεντρικού «κουτιού» του Σταθμού. Κατά την Β φάση προβλέπεται η κατασκευή του τμήματός του που καταλαμβάνει η πλευρική διεύρυνση στην Βόρεια πλευρά του (Κύρια Είσοδος) και θα γίνει σε δύο υποφάσεις, ενώ η Γ φάση αφορά την κατασκευή της Εισόδου από την Λεωφ. Θηβών. Το σύστημα αντιστήριξης του Σταθμού αποτελείται από πασσάλους οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάζονται στο περίγραμμα του ορύγματος και υποστηρίζονται από μια σειρά πυκνών σε διάταξη αντηρίδων στο ανώτατο τμήμα και από προεντεταμένες αγκυρώσεις που τοποθετούνται σε αντίστοιχες σειρές στο υπόλοιπο ύψος του. Για την περιοχή 3 η σταθεροποίηση των πρανών της εκσκαφής, έγινε η κατασκευή συστήματος προσωρινής αντιστήριξης, που αποτελείται από φρεατοπασσάλους με διάμετρο 0,8 μετρων, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε αξονικές αποστάσεις 2 m, κεφαλόδεσμο από οπλισμένο σκυρόδεμα με διαστάσεις που κυμαίνονται από 1.30m x 1.50 m η 1.50m x 1.50m και χαλύβδινες σωληνωτές αντηρίδες. Οι αντηρίδες τοποθετήθηκαν με αξονική απόσταση μεταξύ τους 5,5 μέτρα.

Τέλος, πραγματοποιήθηκαν 3 σειρές αναλύσεων. Η 1η σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η αλλαγή των μέτρων αντιστήριξης

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

επηρεάζει τις συνολικές μετακινήσεις, τις μετακινήσεις των πασσάλων, τις καμπτικές ροπές και τις διατμητικές και αξονικές δυνάμεις. Η 2η σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η αλλαγή της γεώλογιας ή του γεωτεχνικού μοντέλου επηρεάζει τις συνολικές μετακινήσεις, τις μετακινήσεις των πασσάλων, τις καμπτικές ροπές και τις διατμητικές και αξονικές δυνάμεις. Η 3η σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η αλλαγή του βάθους έμπηξης των πασσάλων σε ασθνή και ισχυρή μάργα επηρεάζει τις συνολικές μετακινήσεις, τις μετακινήσεις των πασσάλων, τις καμπτικές ροπές και τις διατμητικές και αξονικές δυνάμεις. Από τις αναλύσεις αυτές προέκυψαν κάποια γενικά συμπεράσματα.

Από την 1η σειρά παραμετρικών αναλύσεων, προκύπτει ότι:

- Η αντικατάσταση των αντηρίδων από αγκύρια προκαλεί αύξηση των συνολικών μετακινήσεων, κατακόρυφων και οριζόντιων. Οι αντηρίδες που εδράζουν στον διαφραγματικό τοίχο ασκούν πίεση στην αντιστήριξη και εμποδίζουν την οριζόντια μετακίνηση του. Όσο αυξάνονται τα αγκύρια, τα οποία αντικαθιστούν τις αντηρίδες, αυξάνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις του τοίχου αντιστήριξης. Επίσης, εμφανίζονται μεγαλύτερες κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Οι κατακόρυφες μετακινήσεις δεν είναι επιθυμητές λόγω των πολυκατοίκιων που υπάρχουν.
- Η αντικατάσταση των αντηρίδων από αγκύρια προκαλεί αύξηση των συνολικών μετακινήσεων των πασσάλων. Συγκεκριμένα για την πρώτη επίλυση (7 σειρών αγκυρίων) είναι 14,4 mm, ενώ στην τελευταία επίλυση (3 σειρές αντηρίδων- 4 σειρές αγκυρίων) μειώνονται στα 11,26 mm, μια μείωση της τάξης του 21,8%.
- Επίσης, παρατηρούμε ότι η ύπαρξη αντηρίδων μειώνει τις αξονικές δυνάμεις κατά 24,15% .
- Ο συντελεστής ασφαλείας μειώνεται όσο οι αντηρίδες αντικαθίστανται από τα αγκύρια. Για την πρώτη επίλυση (7 σειρών αγκυρίων) $FS= 1,34$ ενώ για την τελευταία (3 σειρές αντηρίδων- 4 σειρές αγκυρίων) $FS = 2,2$.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Από την 2η σειρά παραμετρικών αναλύσεων, προκύπτει ότι:

- Παρατηρήσαμε ότι η εμφάνιση της ισχυρής μάργας η οποία έχει καλά μηχανικά χαρακτηριστικά μειώνει σημαντικά τις μετακινήσεις. Πιο αναλυτικά έχουμε μείωση οριζοντιων μετακινήσεων κατά 13,6% μεταξύ των αναλύσεων 2,1 και 2,2(αποθέσεις-ασθενής μάργα-ισχυρή μάργα , ασθενής μάργα-ισχυρή μάργα αντίστοιχα) και μείωση κατά 68,61% μεταξύ των αναλύσεων 2,3 και 2,4(αποθέσεις-ασθενή μάργα ,αποθέσεις-ισχυρή μάργα αντίστοιχα).
- Επίσης, οι μεγαλύτερες μετακινήσεις συμβαίνουν στις αποθέσεις και στην ασθενή μάργα διότι έχουν πολύ μικρότερη συνοχή σε σχέση με την ισχυρή μάργα.
- Όταν υπάρχει λιγότερη εμφάνιση αποθέσεων και ασθενούς μάργας στο γεωλογικό υπόβαθρο της εκσκαφής τότε η κάμψη του τοίχου είναι πολύ μικρότερη. Η κάμψη του τοίχου μειώνεται 21,9% μεταξύ των αναλύσεων 2,1 και 2,2(αποθέσεις-ασθενής μάργα-ισχυρή μάργα , ασθενής μάργα-ισχυρή μάργα αντίστοιχα) και μείωση 44,1% μεταξύ των αναλύσεων .
- Ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται όσο καλύτερο γεωλογικό σχηματισμό έχουμε πιο συγκεκριμένα για την 2,1 (αποθέσεις-ασθενής μάργα-ισχυρή μάργα) έχουμε FS= 1,53 για την 2,2 (ασθενής μάργα-ισχυρή μάργα) έχουμε FS= 2,54 ανάλυση 2,3 (αποθέσεις-ασθενή μάργα) έχουμε FS= 1,52 και για την 2,4(αποθέσεις-ισχυρή μάργα) έχουμε FS= 1,94 επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οποία ανάλυση περιέχει αποθέσεις επηρεάζεται σημαντικά ο συντελεστής ασφαλείας για παράδειγμα η 2,2(ασθενής μάργα-ισχυρή μάργα) που δεν έχει αποθέσεις έχει πολύ μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας από την 2,4(αποθέσεις-ισχυρή μάργα).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Από την 3η σειρά παραμετρικών αναλύσεων, προκύπτει 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 συνολικές μετακινήσεις αναλογικά.
- 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.
- Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όσο μειώνεται το μήκος των πασσάλων αυξάνονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις πίσω από τους πασσάλους.

Σύμφωνα και με τις 3 σειρές των παραμετρικών αναλύσεων τα συμπεράσματα που εξάγονται, όσο αφορά την διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι τα εξής:

- Η λύση των δύο σειρών αντηρίδων και πέντε σειρών αγκυρίων παρουσιάζει πολύ καλά αποτελέσματα ως προς τις μετακινήσεις και δεν αλλάζουν πολύ οι τιμές των μετακινήσεων με την χρήση τριών σειρών αντηρίδων.
- Η αντικατάσταση των αντηρίδων από 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.
- Οι αντηρίδες περιορίζουν τις μετακινήσεις κατά την εκσκαφή μέχρι να τοποθετηθεί η μόνιμη υποστήριξη του σταθμού.
- Η ισχυρή μάργα εμφανίζει πολύ καλά χαρακτηριστικά κατά την κατασκευή με αποτέλεσμα να είναι υλικό το οποίο είναι ικανοποιητικό για τέτοια έργα ενώ οι αποθέσεις έχουν τις μεγαλύτερες μετακινήσεις και δημιουργούν αρκετά προβλήματα στην κατασκευή.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθείας εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

- Οι μικρότερες επιδράσεις σε ότι αφορά τις συνολικές μετακινήσεις και τις συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων επιφέρει η αλλαγή και του βάθους έμπηξης. Όσο μεγάλωνει το βάθος έμπηξης δεν παρατηρείται μεγάλη αλλαγή όχι μόνο στις μετακινήσεις αλλά και στον συντελεστή ασφαλείας.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΟΤΜ ΑΤΕ ,2007: «Επέκταση της Γραμμής 2 “Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη”, “Σταθμός Ανθούπολη ” – Μελέτη Προσωρινής Αντιστήριξης» Δημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα.

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

ΟΤΜ ΑΤΕ , 2007: «Προσωρινή Αντιστήριξη Β & Γ φάση εργασιών. – Υπολογισμοί» Δημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα .

Κούκης – Σαμπάτακάκης , 2002 «Τέχνη Γεωλόγια» Εκδόσεις «Παπασωτηρίου».

Κούκης – Σαμπάτακάκης , 2002 «Γεωλόγια Τεχνικών Εργών» Εκδόσεις «Παπασωτηρίου».

Λουπασάκης Κωνσταντίνος , 2013: «Τεχνική Γεωλόγια ΙΙ »Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Λουπασάκης Κωνσταντίνος 2013: «Εδαφόμηχανική» Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Τζαμπόγλου Πλούταρχος, 2013:«Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους, προεντεταμένες αγκυρώσεις. Το παράδειγμα του σταθμού « ΑΓ.Παρασκευής » στο Μετρό Αθήνας Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Zoryana V. Strutysnka, 2015 ‘Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους, προεντεταμένες αγκυρώσεις και αντηρίδες.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Το παράδειγμα του σταθμού «Περιστέρι» στο Μετρό Αθήνας’’ 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

Sigurður Már Valsson, 2011 Earth pressures against- and stability of retaining structures, Faculty of Civil and Environmental Engineering School of Engineering and Natural Sciences University of Iceland.

Tutorial Plaxis 2D-VERSION 8.0.

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

Ιστότοπος της Εταιρείας ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2015 <http://www.ametro.gr>.

Ιστότοπος της πρώτο Θέμα 2016 ‘‘ Ανθούπολη-Περιστέρι: Το κάρβουνο και η άγνωστη λαϊκή εξέγερση του 1956’’ <http://www.protothema.gr>.

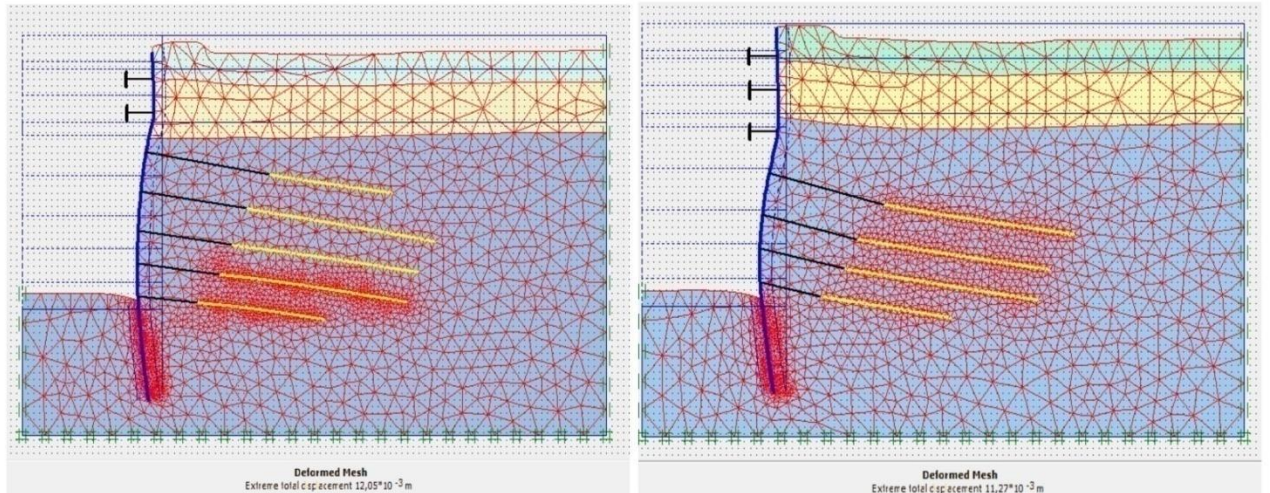
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθειάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
(ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ)

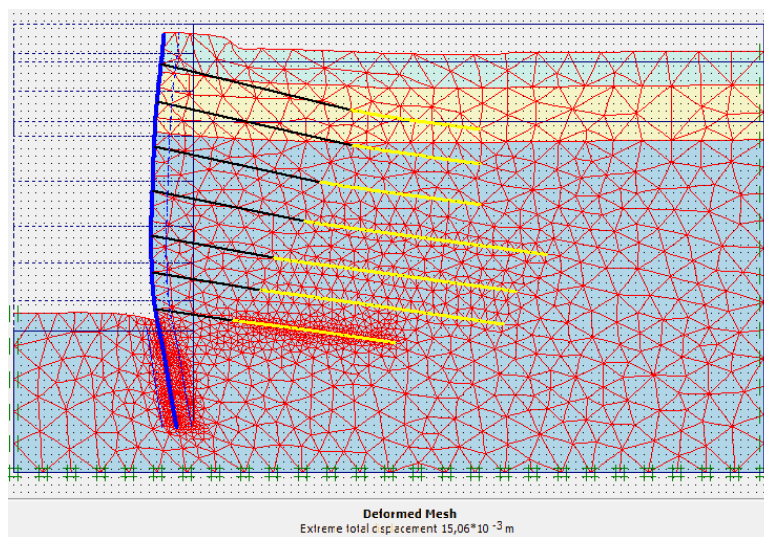
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Παράρτημα Ι

Παραμετρική Ανάλυση 1^η

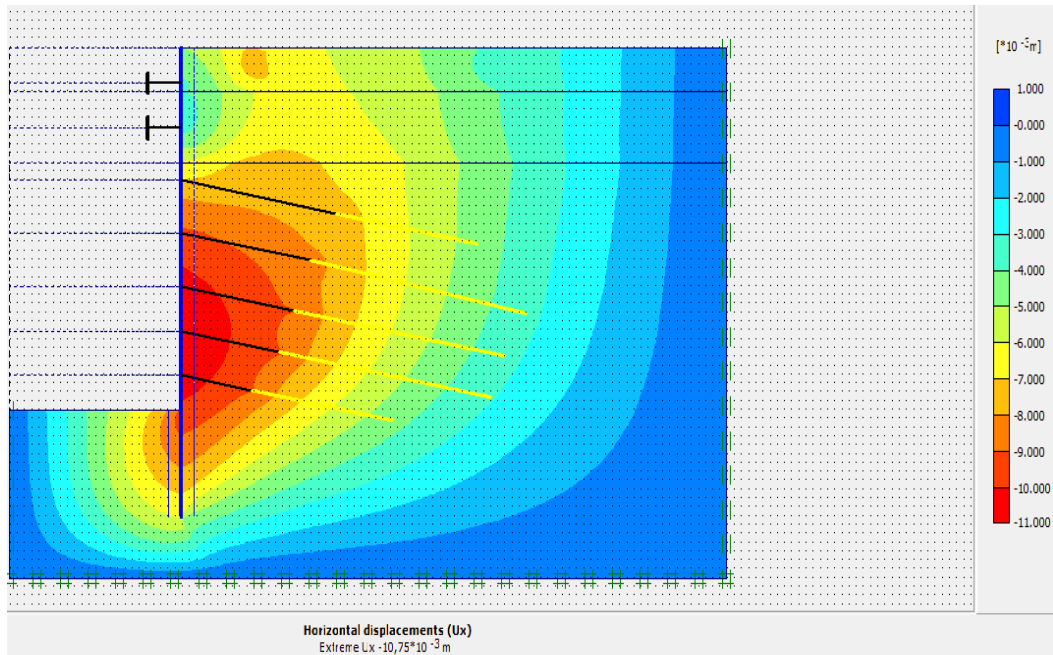


Εικόνα 72: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής με δύο αντηρίδες –πέντε σειρές αγκυρίων, τρεις αντηρίδες - τεσσέρις σειρές αγκυρίων

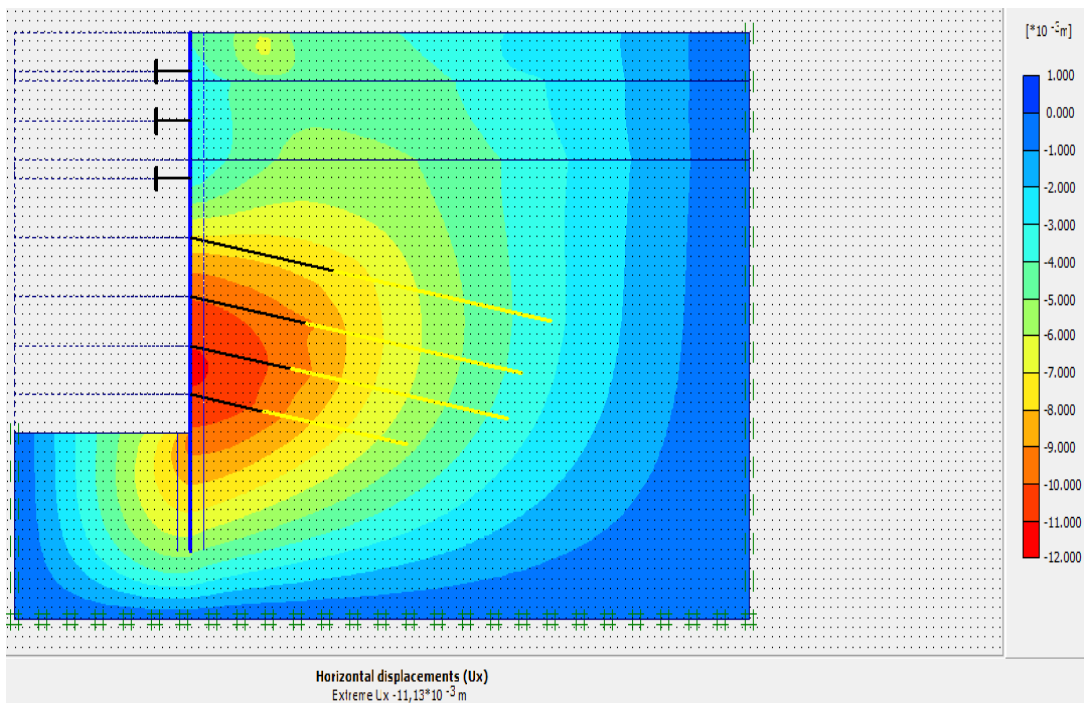


Εικόνα 73: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής με επτά σειρές αγκυρίων αντίστοιχα

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

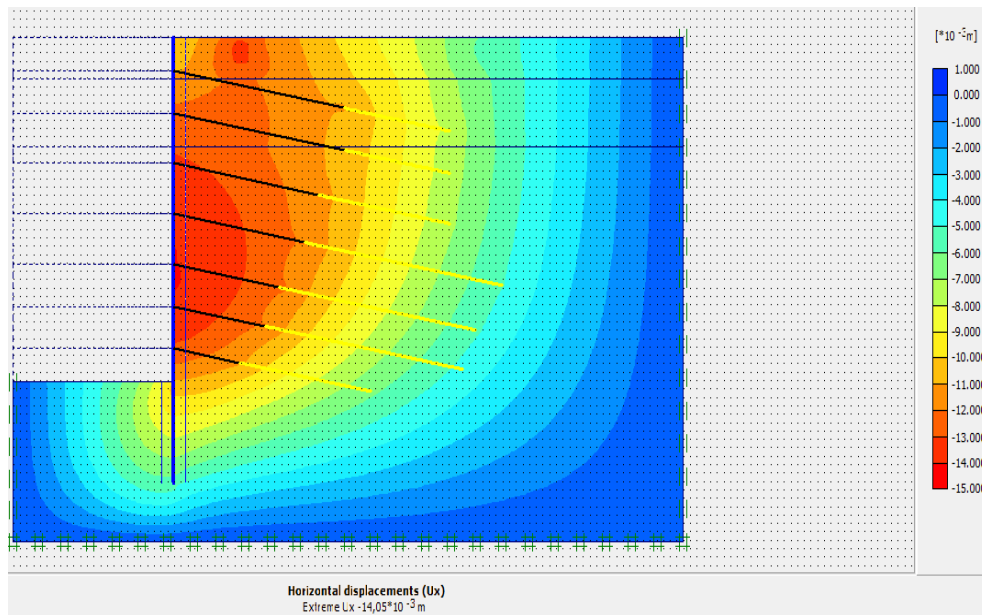


Εικόνα 74: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για προσωρινή υποστήριξη με δύο αντηρίδες –πέντε σειρές αγκυρίων

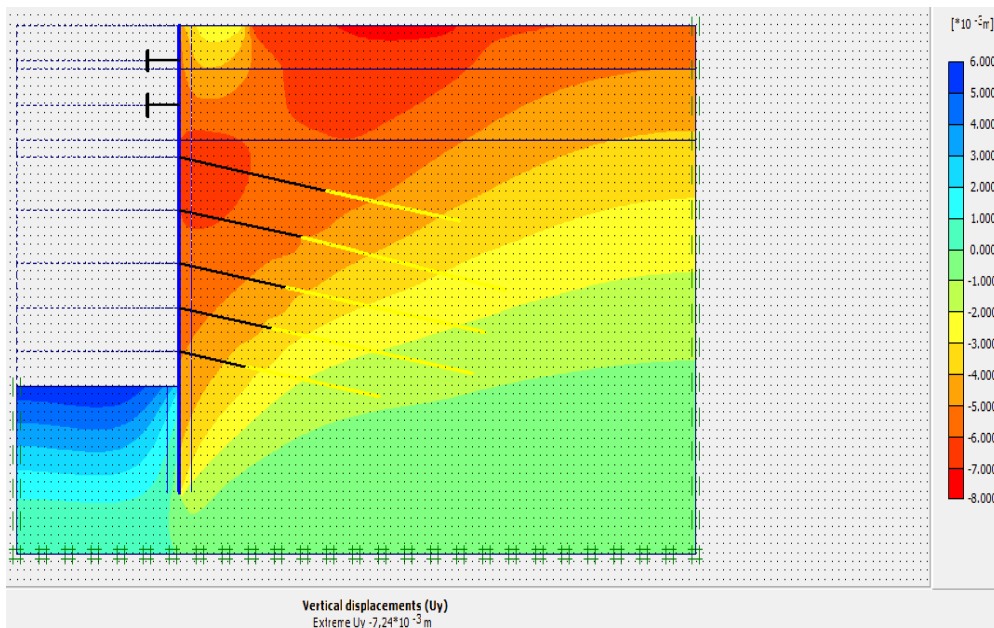


Εικόνα 75: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής με τρεις αντηρίδες – τεσσέρις σειρές αγκυρίων

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

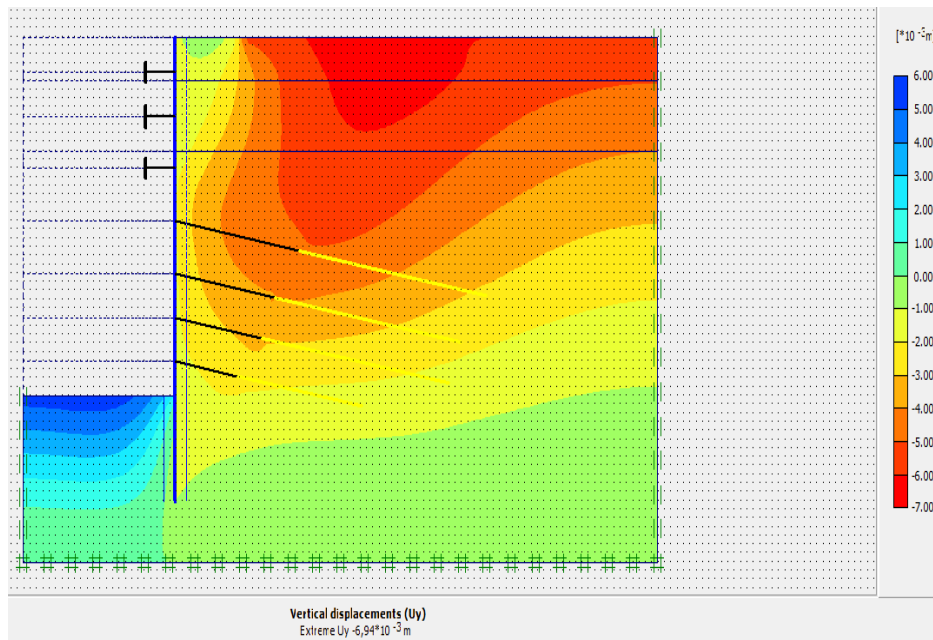


Εικόνα 76: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής με επτά σειρές αγκυριών

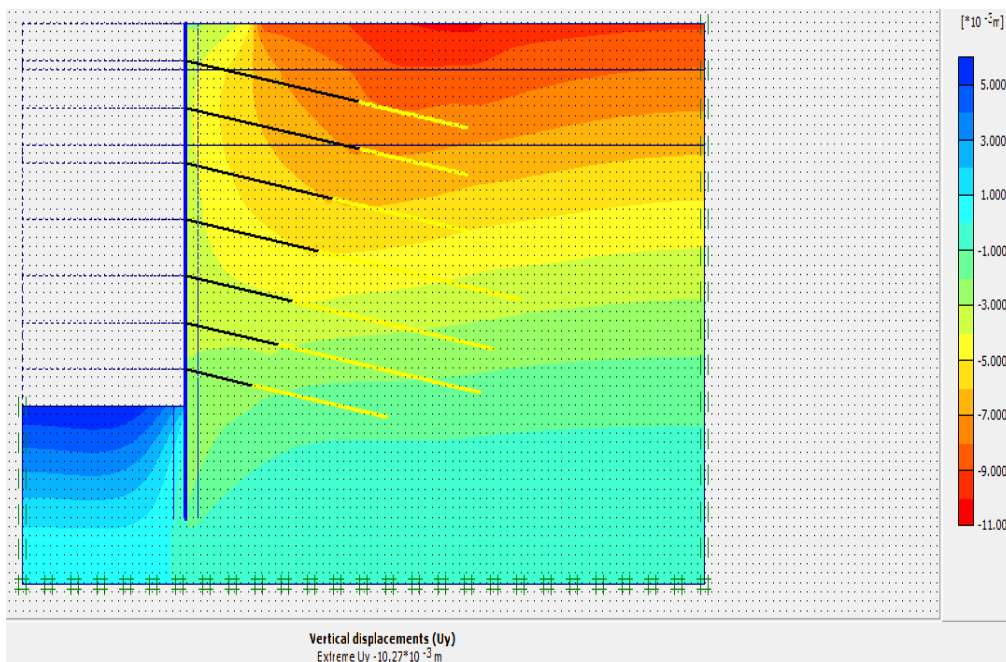


Εικόνα 77: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για προσωρινή υποστήριξη με δύο αντηρίδες –πέντε σειρές αγκυριών

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

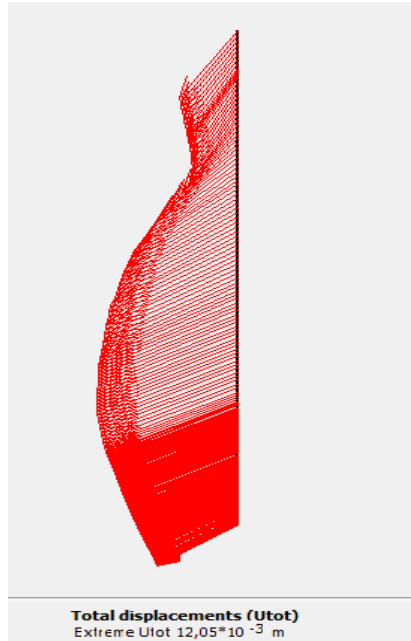


Εικόνα 78: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για προσωρινή υποστήριξη τρεις αντηρίδες - τεσσέρις σειρές αγκυρίων

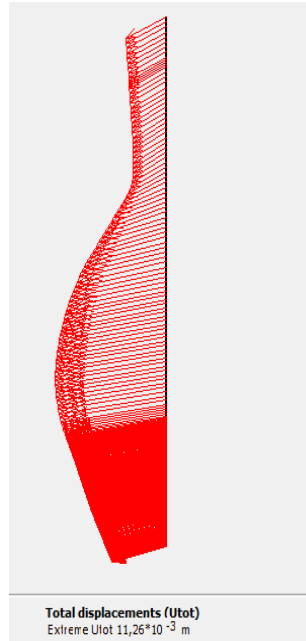


Εικόνα 79: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για προσωρινή υποστήριξη με επτά σειρές αγκυρίων

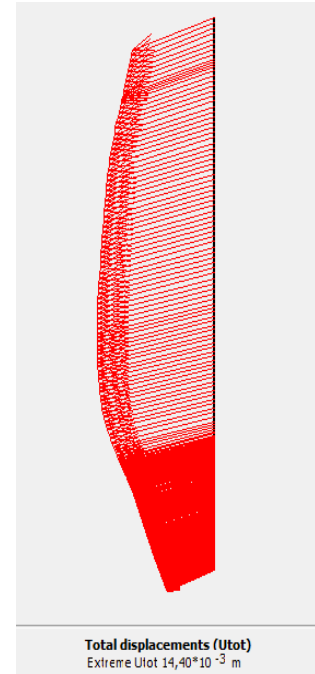
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 80: Μετακινήσεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με δύο αντηρίδες – πέντε σειρές αγκυρίων

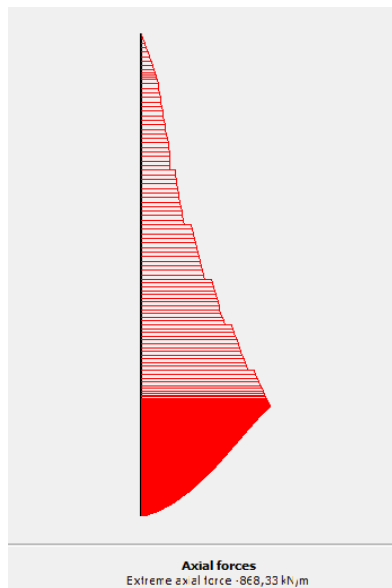


Εικόνα 81: Μετακινήσεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με τρεις αντηρίδες - τεσσέρις σειρές αγκυρίων

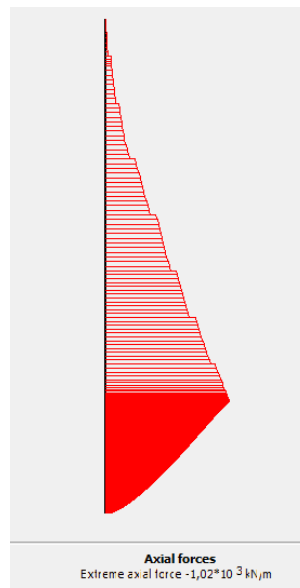


Εικόνα 82: Μετακινήσεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με επτά σειρές αγκυρίων αντίστοιχα

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Εικόνα 83: Αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με δύο αντηρίδες – πέντε σειρές αγκυρίων



Εικόνα 84: Αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με τρεις αντηρίδες - τεσσέρις σειρές αγκυρίων

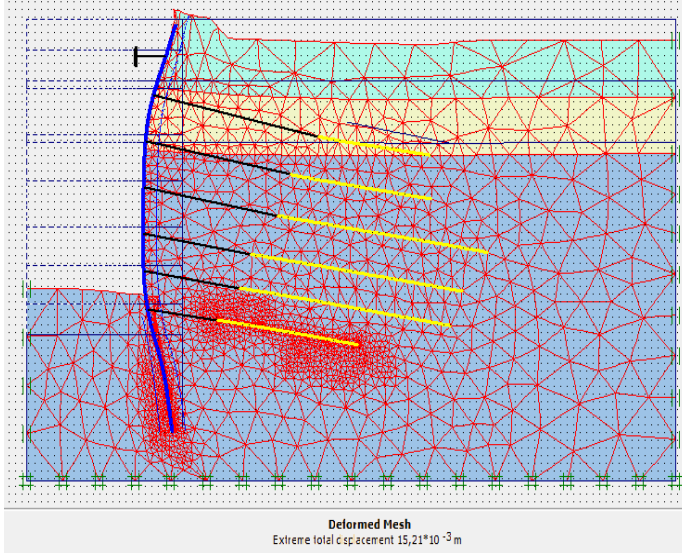


Εικόνα 85: Αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για προσωρινή υποστήριξη με επτά σειρές αγκυρίων αντίστοιχα

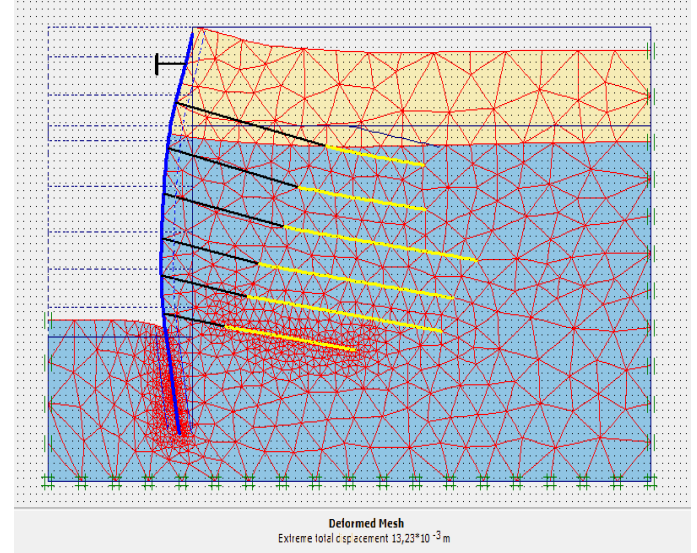
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Παράρτημα II

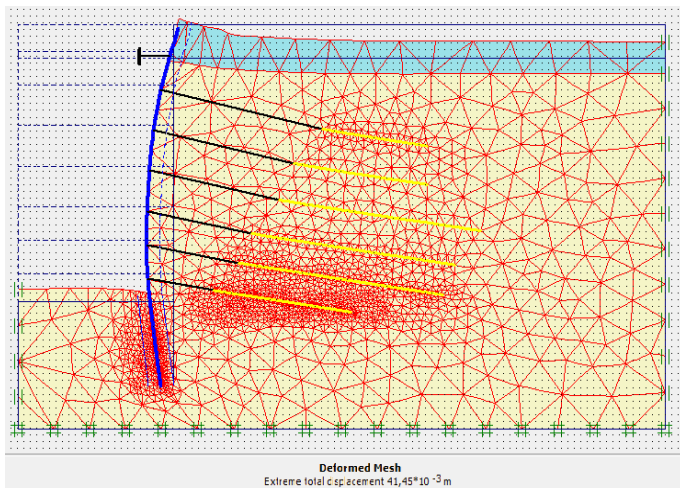
Παραμετρική Ανάλυση 2^η



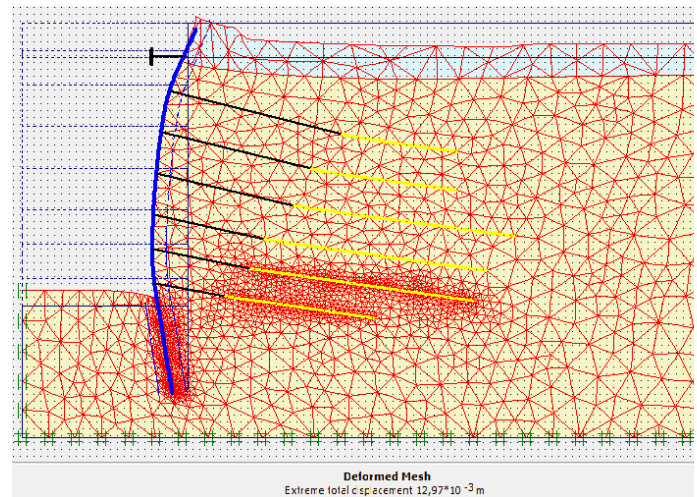
Εικόνα 86: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα



Εικόνα 87: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα

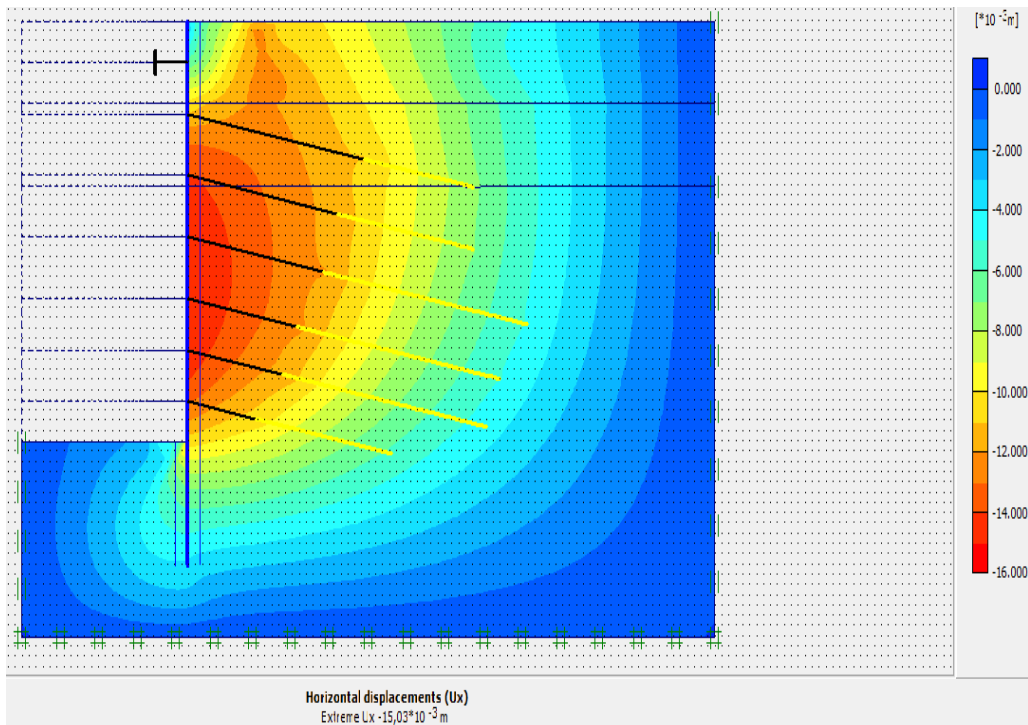


Εικόνα 88 Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα

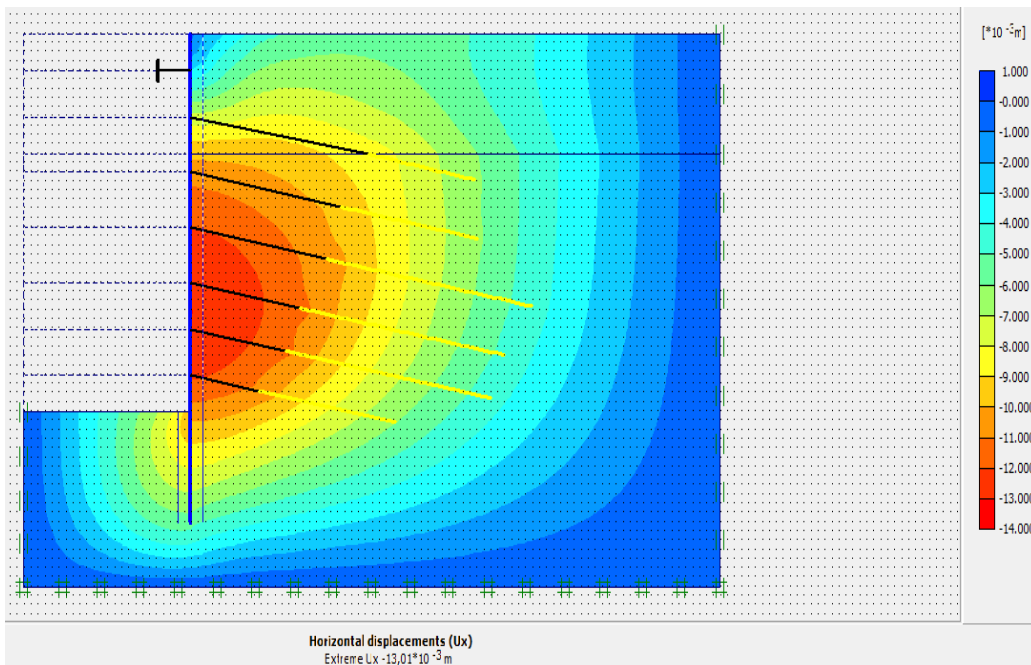


Εικόνα 89: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

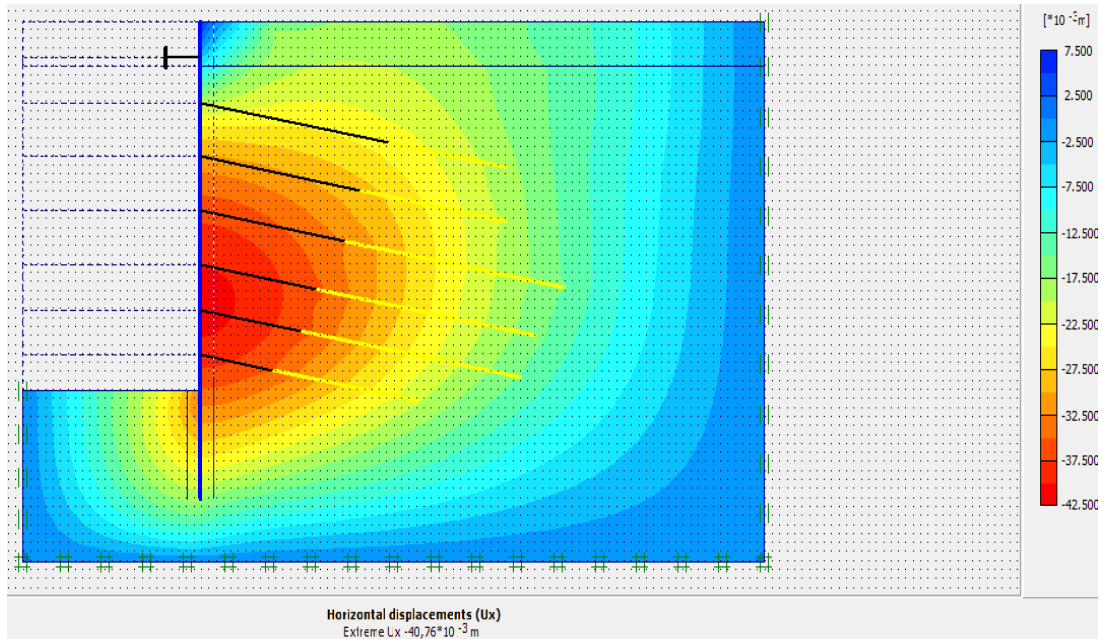


Εικόνα 90: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεώλογο υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα

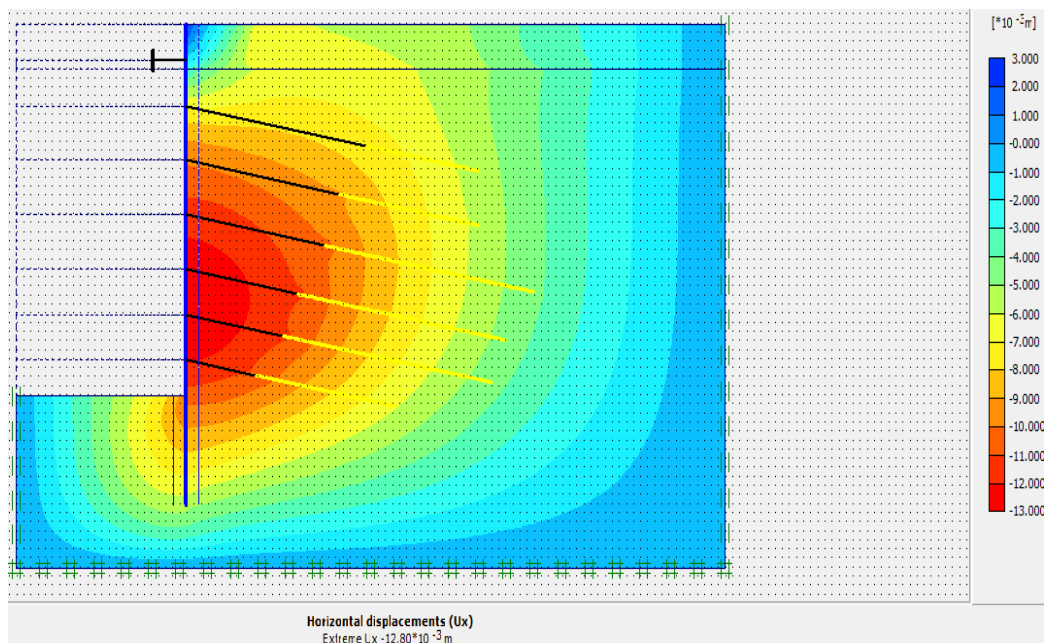


Εικόνα 91: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεώλογο υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

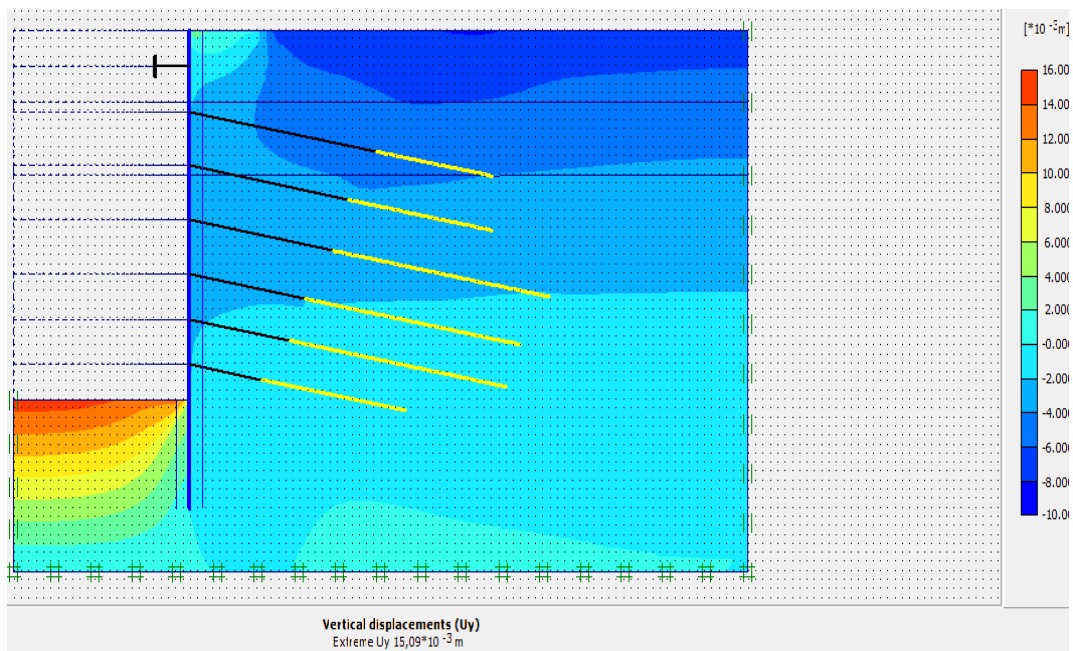


Εικόνα 92: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθνή μάργα

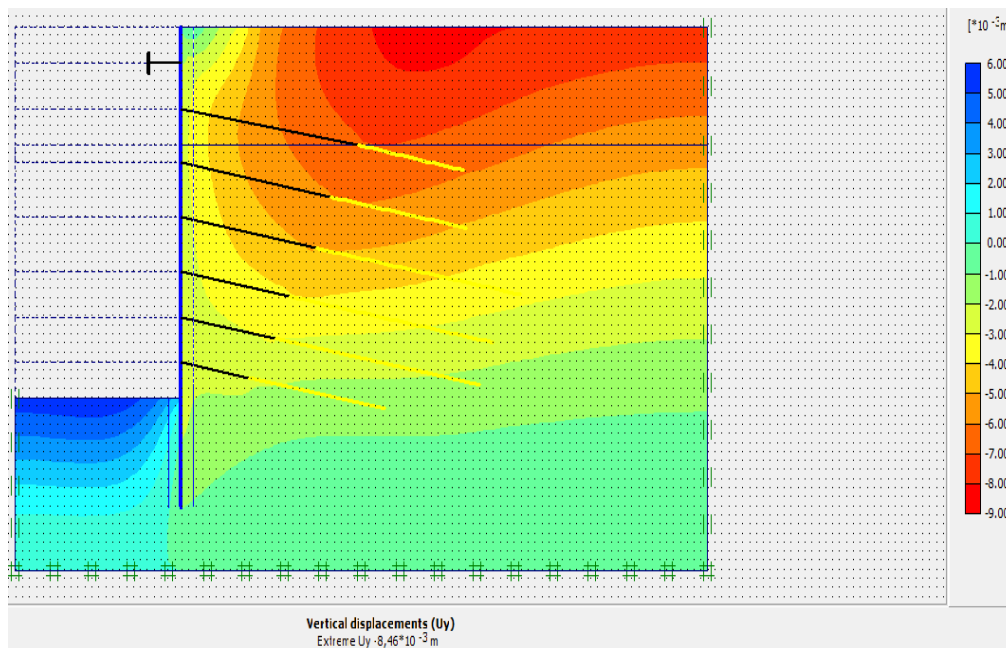


Εικόνα 93: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

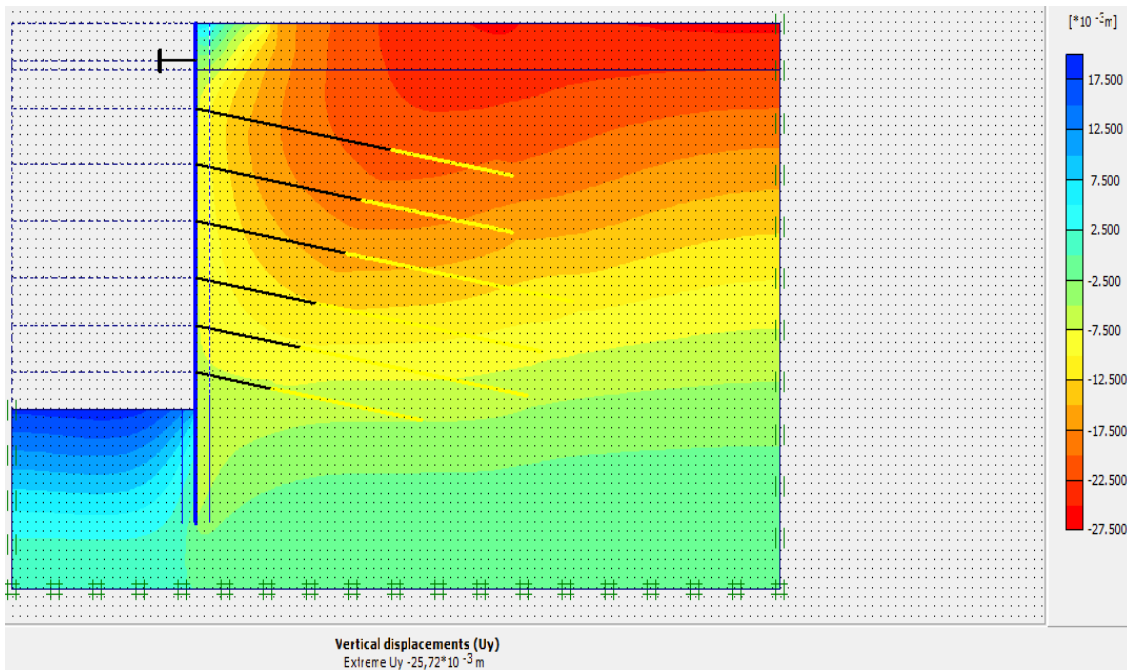


Εικόνα 94: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα

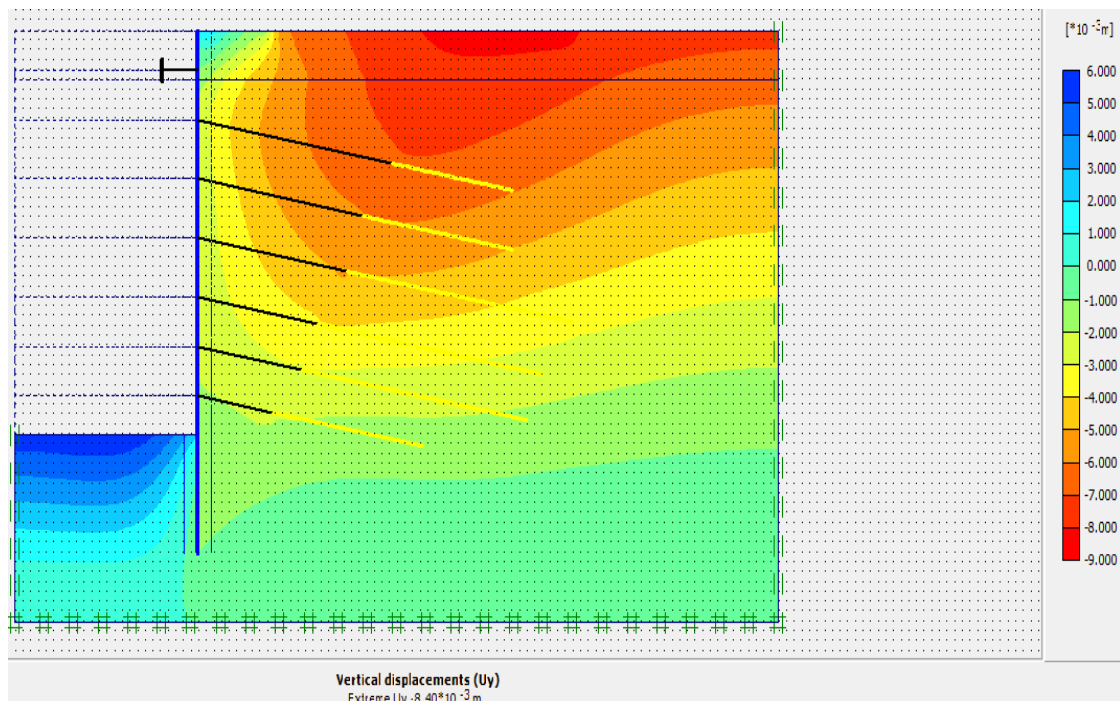


Εικόνα 95: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

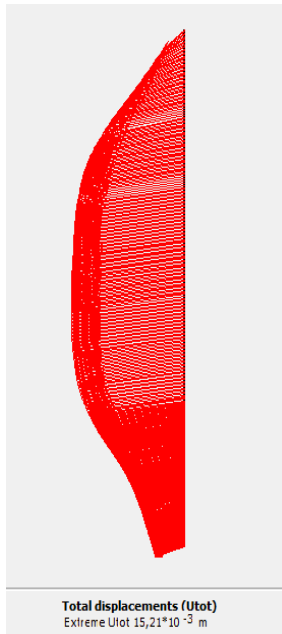


Εικόνα 96: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 απόθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα

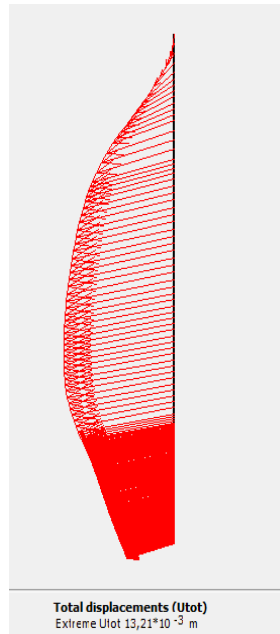


Εικόνα 97: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για γεωλογικό υπόβαθρο με ,5 απόθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα

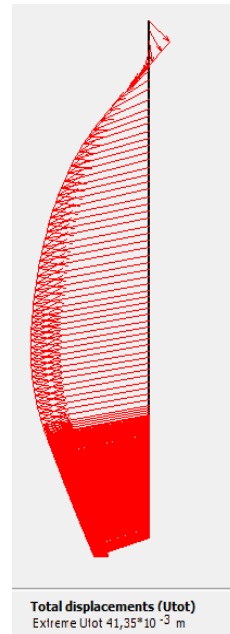
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



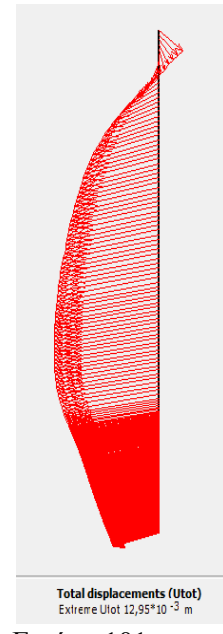
Εικόνα 98: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις – 4 μέτρα ασθενή μάργα - 12,5 μέτρα ισχυρή μάργα



Εικόνα 99: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα

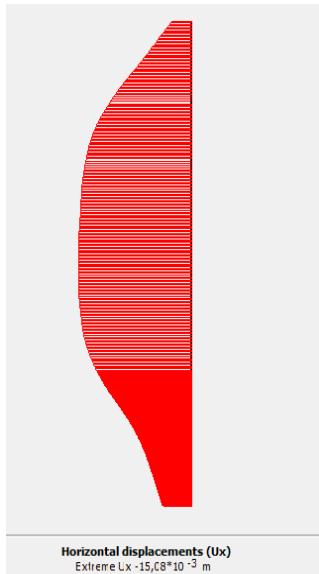


Εικόνα 100: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 2,5 αποθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα

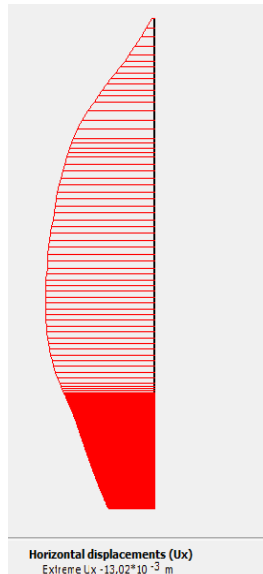


Εικόνα 101: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 2,5 αποθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα

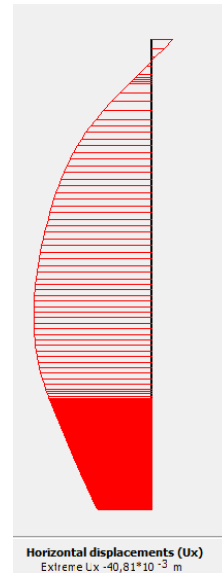
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



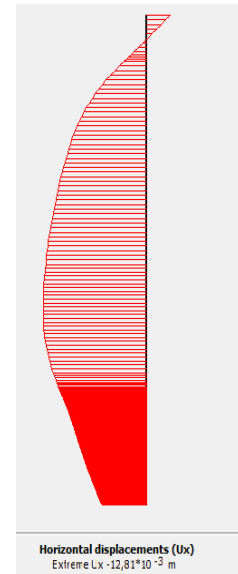
Εικόνα 102: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα



Εικόνα 103: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -16 μέτρα ισχυρή μάργα

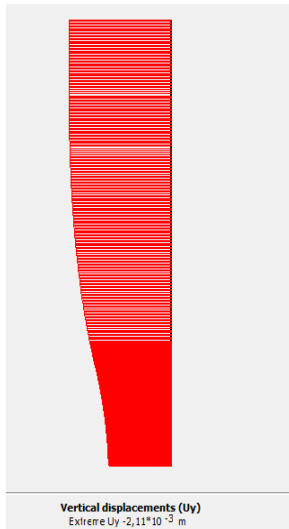


Εικόνα 104: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 2,5 αποθέσεις-18μέτρα ασθενή μάργα

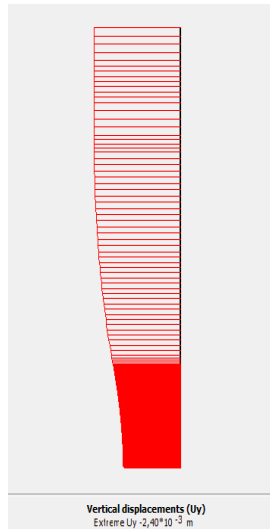


Εικόνα 105: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 2,5 αποθέσεις-18μέτρα ισχυρή μάργα

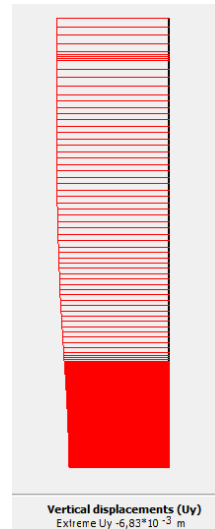
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



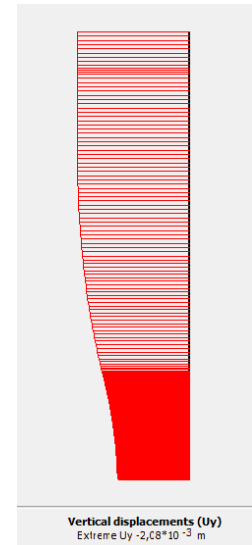
Εικόνα 106: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα - 12,5 μέτρα ισχυρή μάργα



Εικόνα 107: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -14 μέτρα ισχυρή μάργα

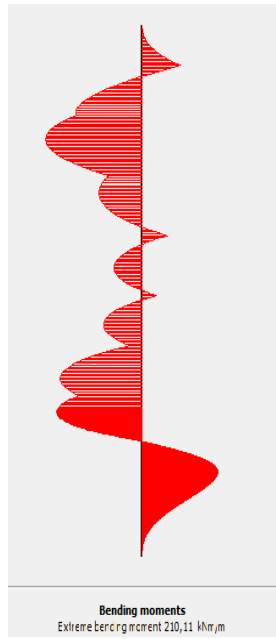


Εικόνα 108: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 2,5 αποθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα

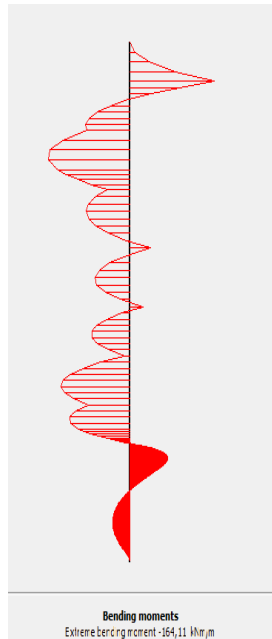


Εικόνα 109: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για γεώλογικο υπόβαθρο με 2,5 αποθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα.

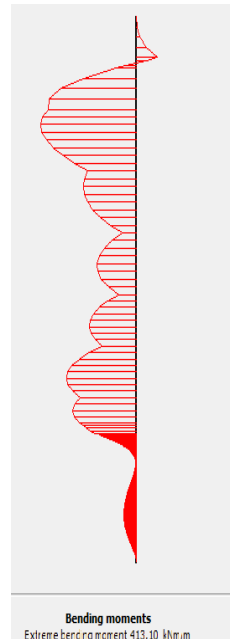
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



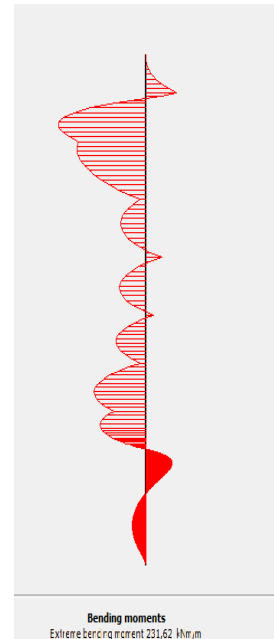
Εικόνα 110: Η κάμψη των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 4 μέτρα αποθέσεις -4 μέτρα ασθενή μάργα -12,5 μέτρα ισχυρή μάργα



Εικόνα 111: Η κάμψη των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 6,5 μέτρα ασθενή μάργα -14 μέτρα ισχυρή μάργα



Εικόνα 112: Η κάμψη των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 αποθέσεις -18 μέτρα ασθενή μάργα

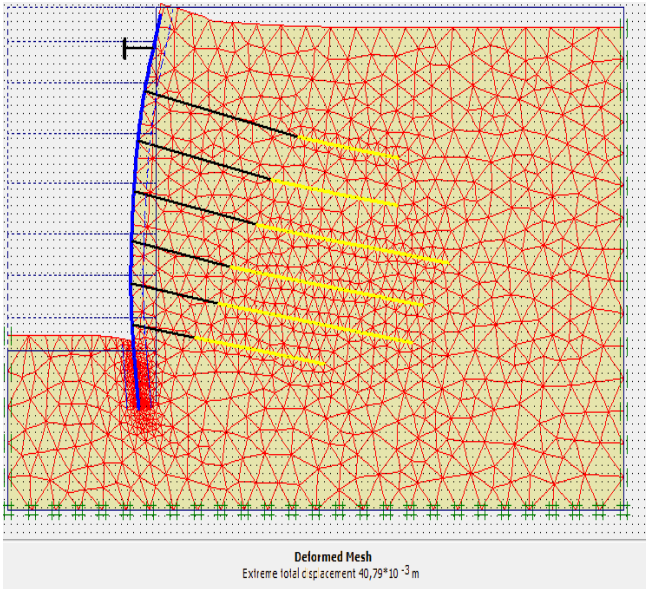


Εικόνα 113: Η κάμψη των πασσάλων για γεωλογικό υπόβαθρο με 2,5 αποθέσεις -18 μέτρα ισχυρή μάργα.

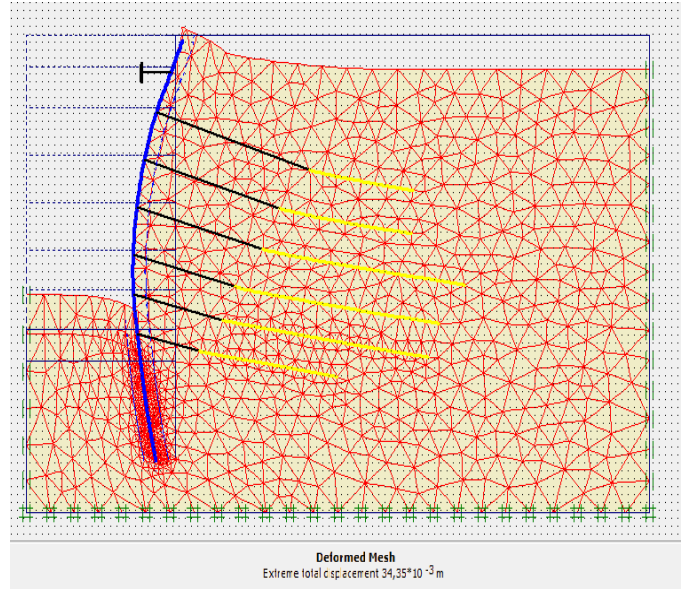
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

Παράρτημα III

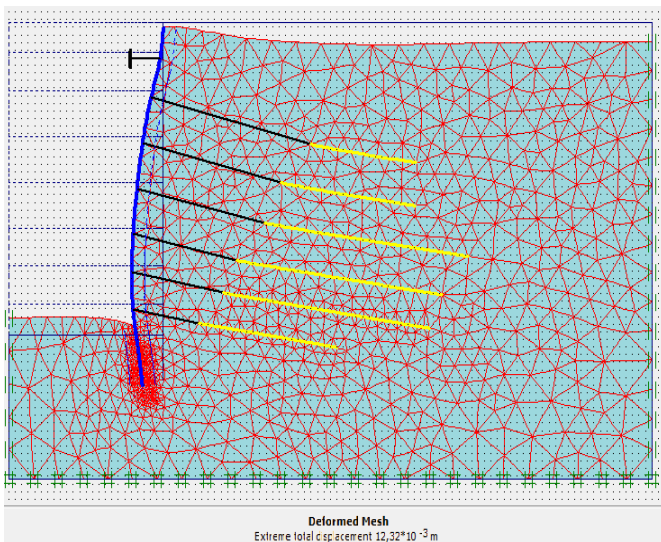
Παραμετρική Ανάλυση 3^η



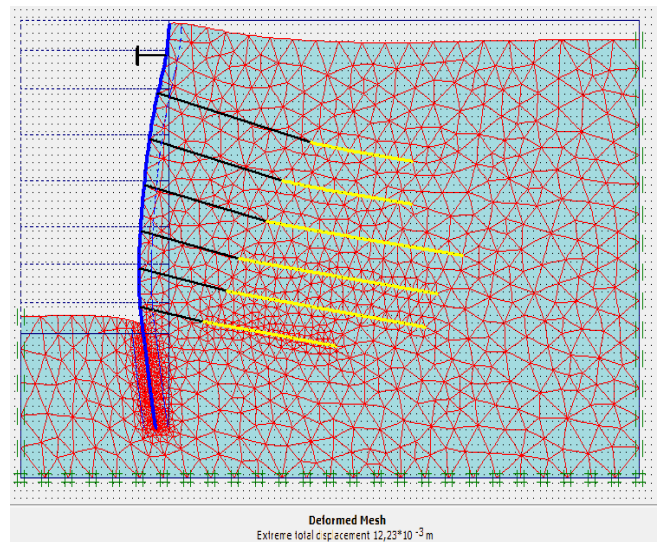
Εικόνα 114: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.



Εικόνα 115: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.

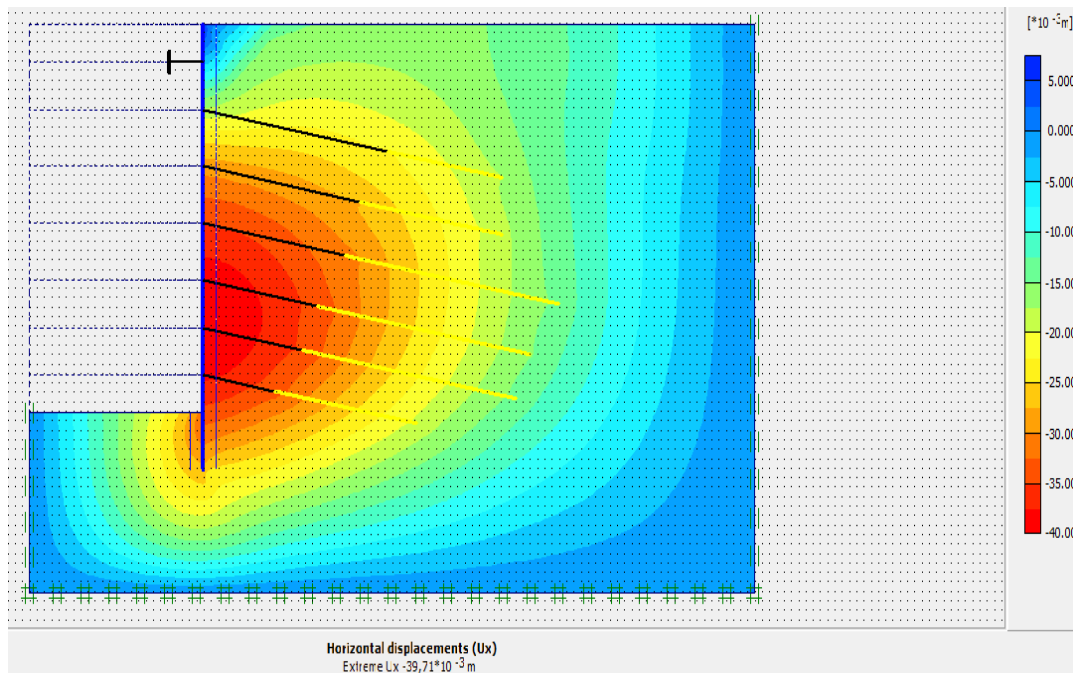


Εικόνα 116: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχύρη μάργα.

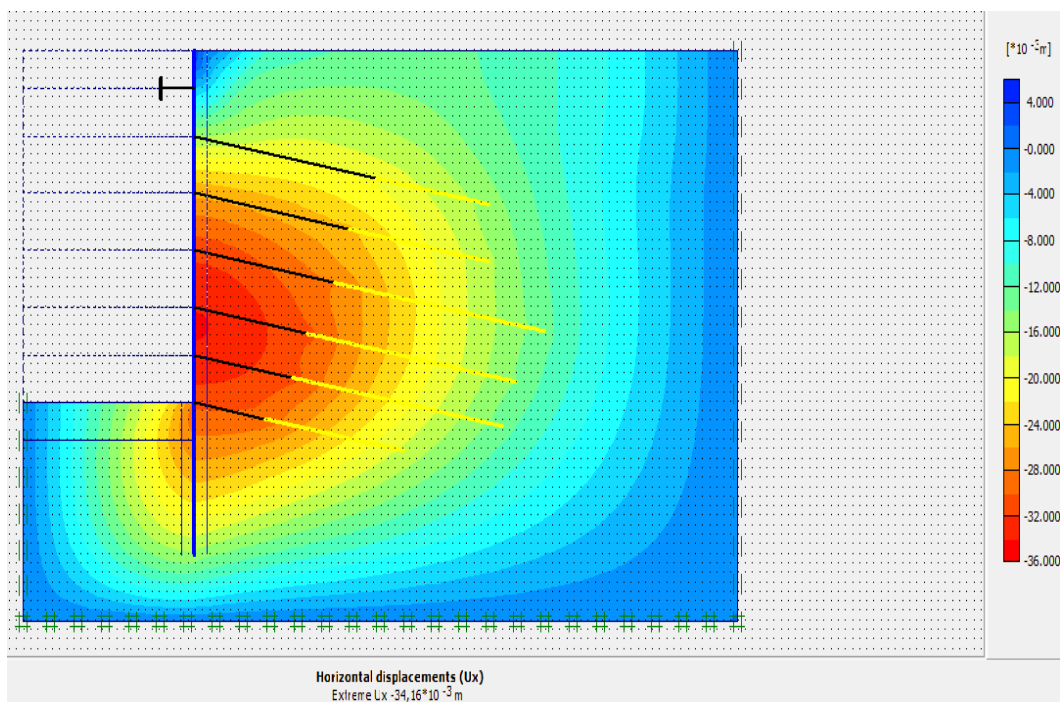


Εικόνα 117: Κατανομή των μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχύρη μάργα.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

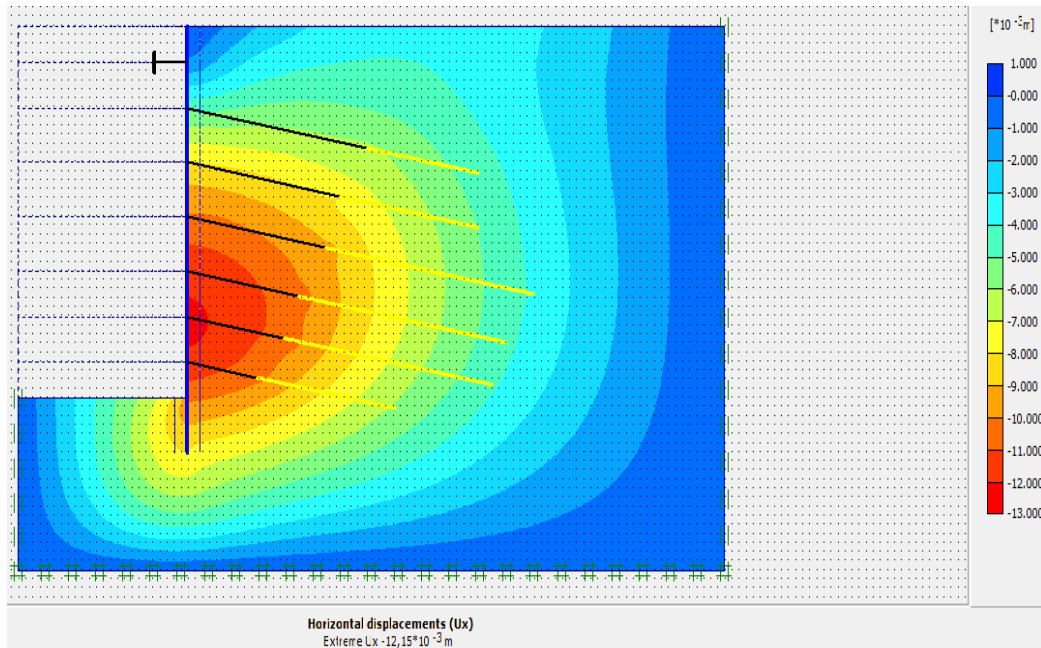


Εικόνα 118: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.

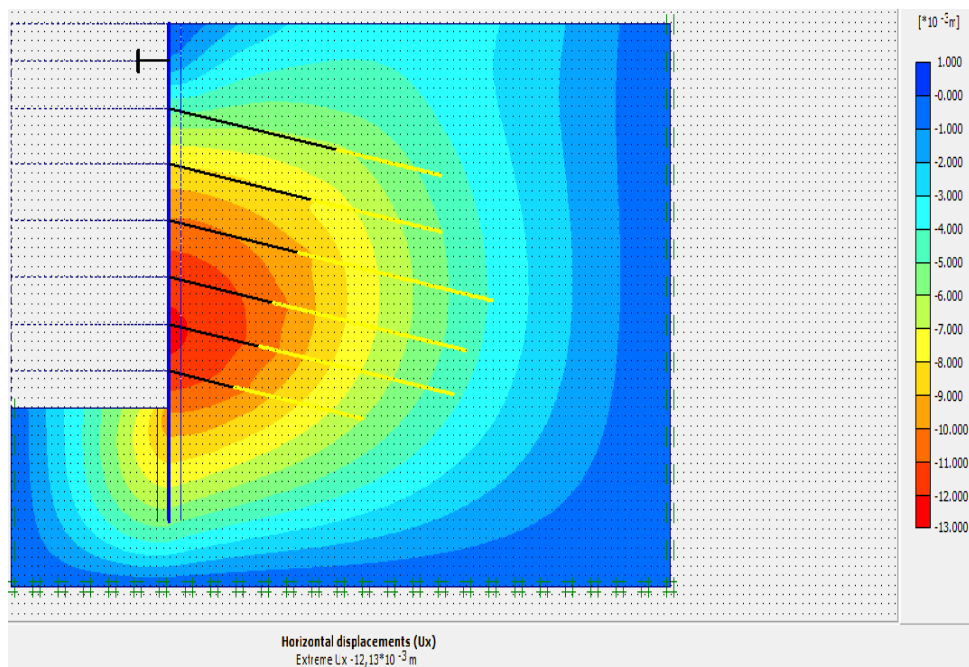


Εικόνα 119: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

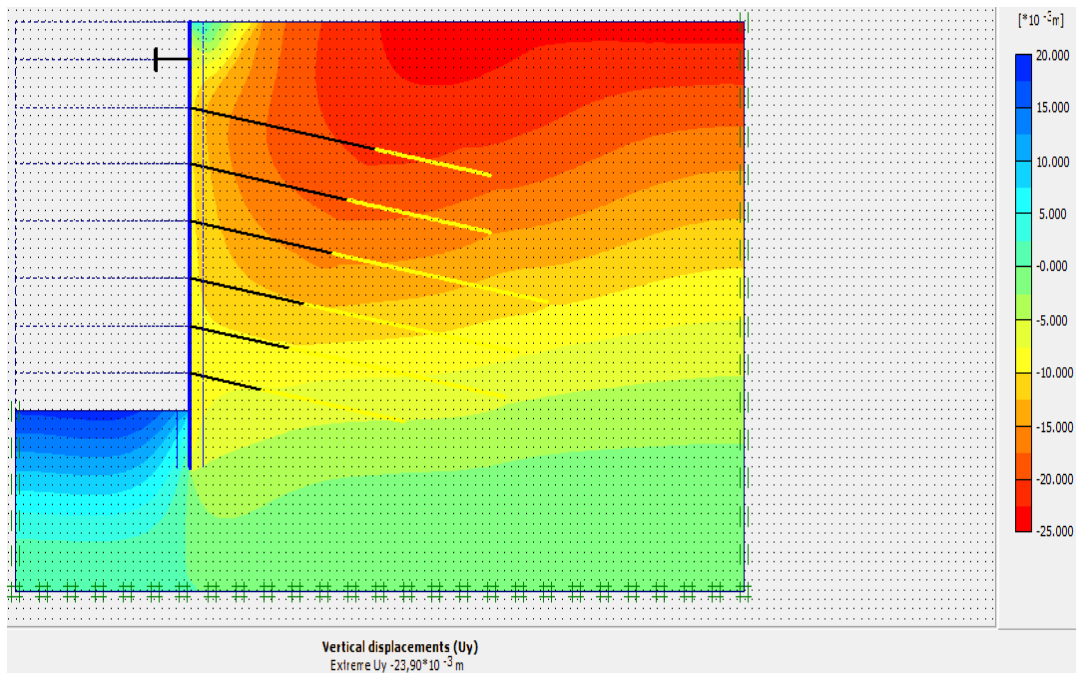


Εικόνα 120: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχυρή μάργα.

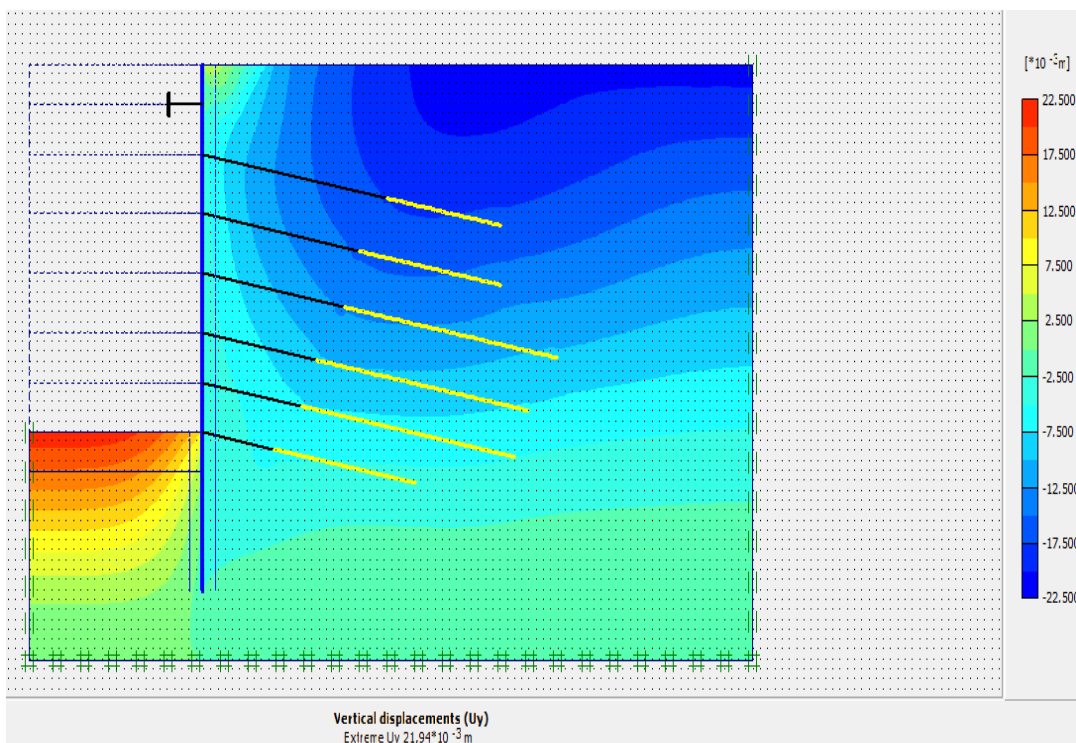


Εικόνα 121: Κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχυρή μάργα.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

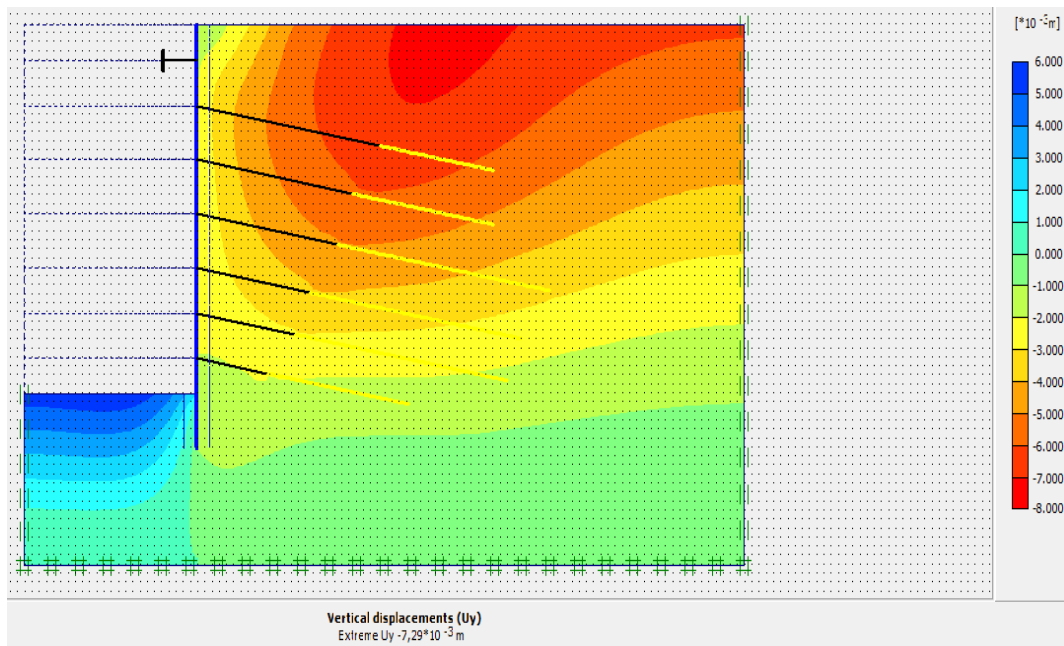


Εικόνα 122: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθενή μάργα.

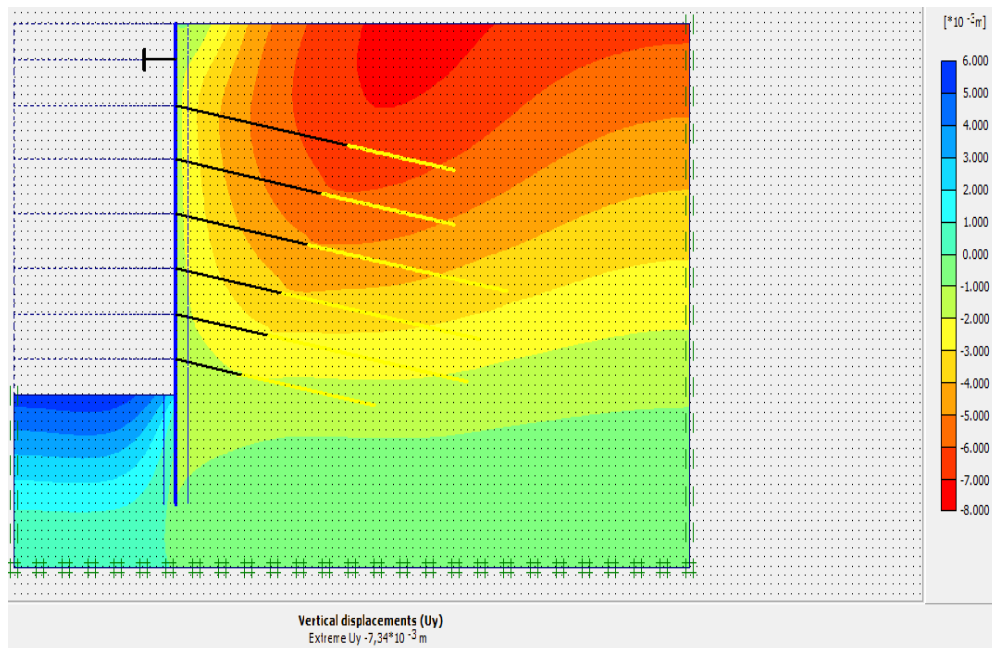


Εικόνα 123: Κατανομή των κατακόρυφων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθενή μάργα.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

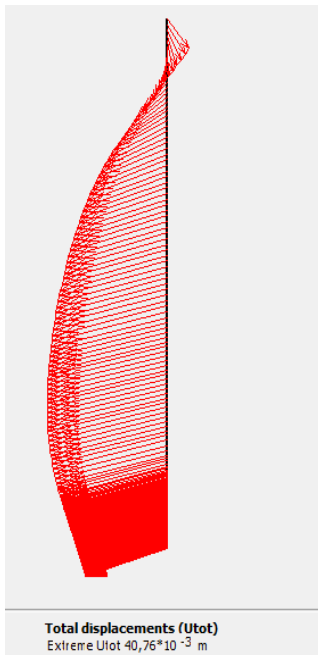


Εικόνα 124: Κατανομή των κατακόρυφων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχύρη μάργα.

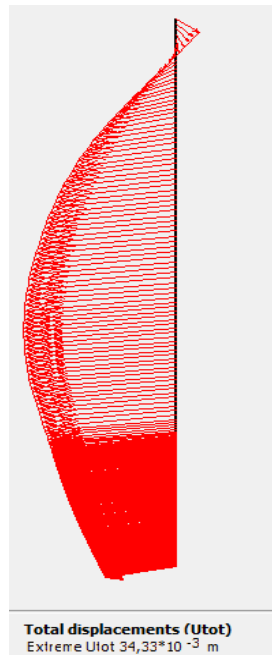


Εικόνα 125: Κατανομή των κατακόρυφων της εκσκαφής για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχύρη μάργα.

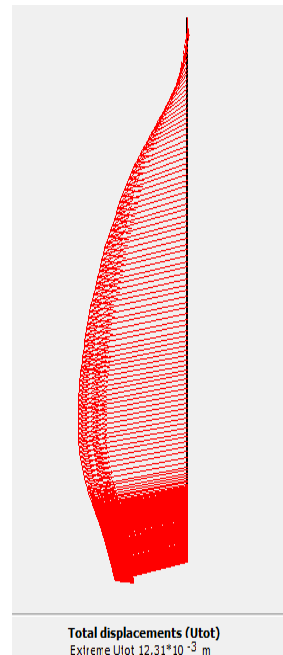
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



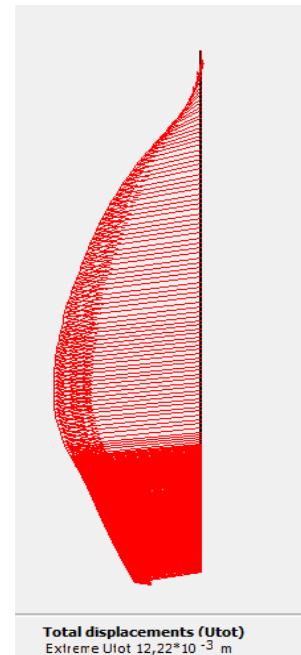
Εικόνα 126: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθνή μάργα.



Εικόνα 127: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθνή μάργα.

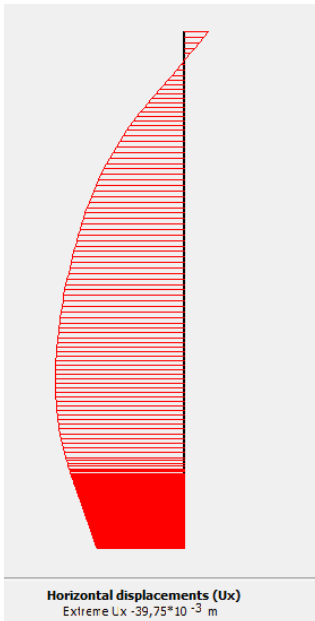


Εικόνα 128: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχύρη μάργα.

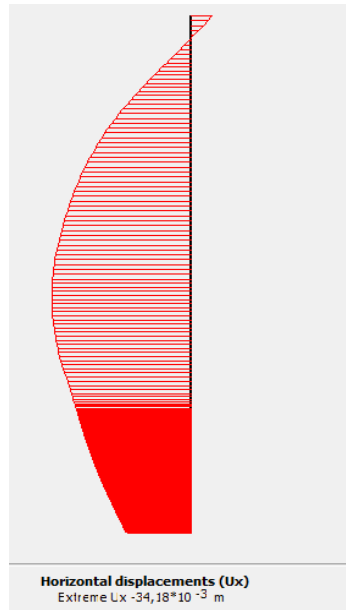


Εικόνα 129: Συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχύρη μάργα.

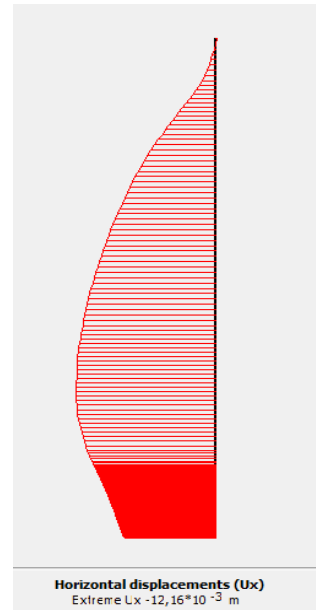
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



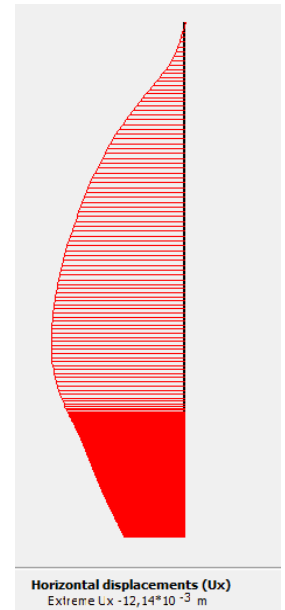
Εικόνα 130: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθνήνη μάργα



Εικόνα 131: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθνήνη μάργα

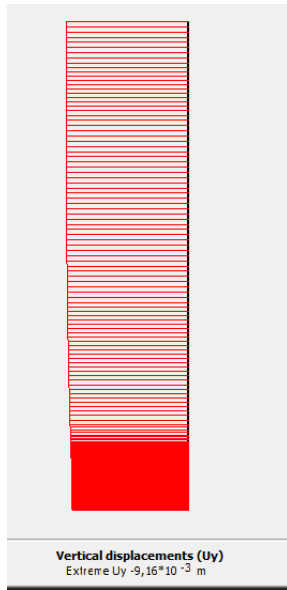


Εικόνα 132: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχύρη μάργα.

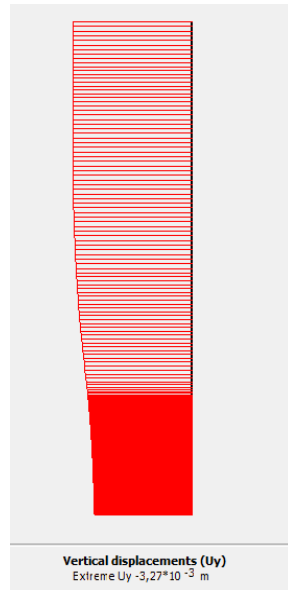


Εικόνα 133: Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχύρη μάργα.

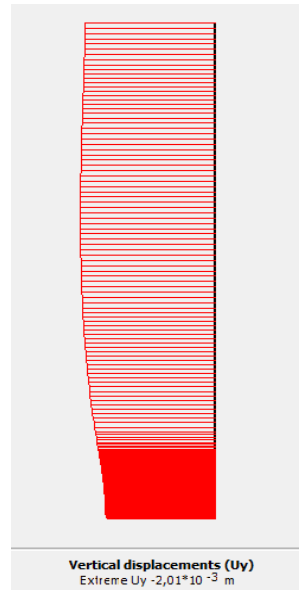
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



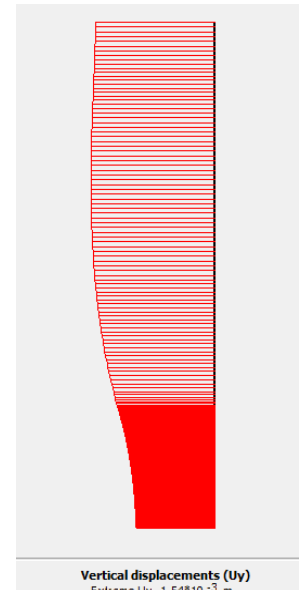
Εικόνα 134: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθνή μάργα.



Εικόνα 135: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθνή μάργα.

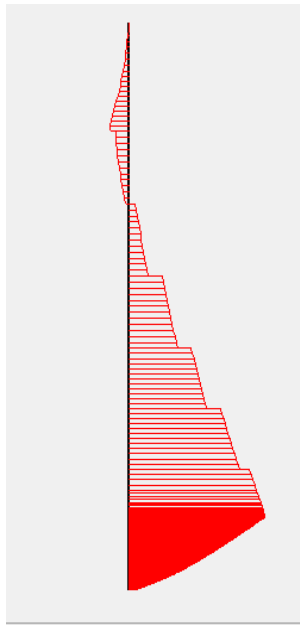


Εικόνα 136: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχύρη μάργα



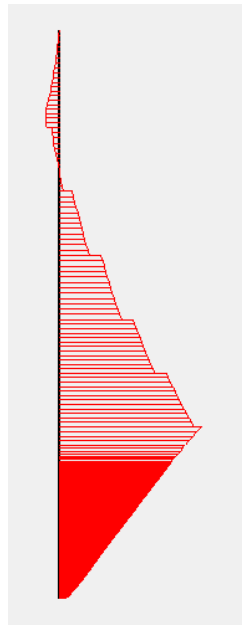
Εικόνα 137: Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχύρη μάργα

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



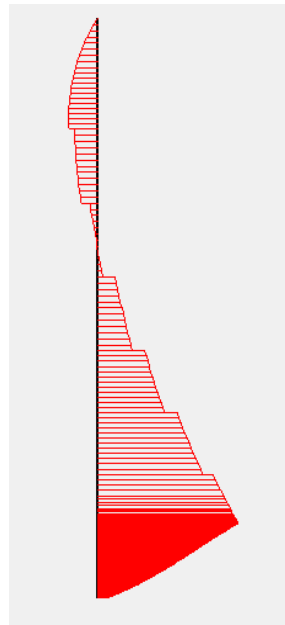
Axial forces
Extreme axial force -530,18 kN/m

Εικόνα 138: Οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ασθνή μάργα.



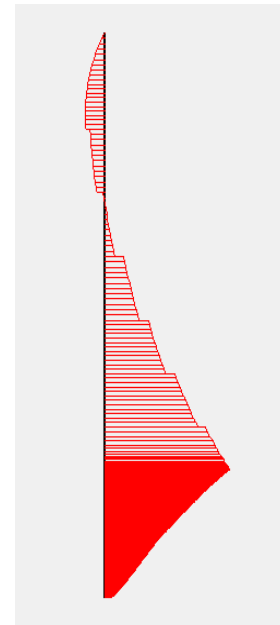
Axial forces
Extreme axial force -629,21 kN/m

Εικόνα 139: Οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ασθνή μάργα.



Axial forces
Extreme axial force -563,08 kN/m

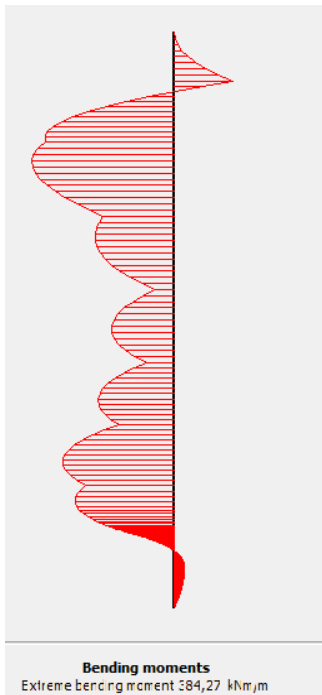
Εικόνα 140: Οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +3 m σε ισχύρη μάργα.



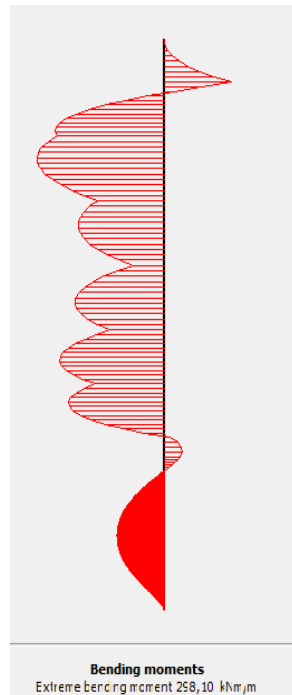
Axial forces
Extreme axial force -684,97 kN/m

Εικόνα 141: Οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων για μήκος έμπηξης +6 m σε ισχύρη μάργα.

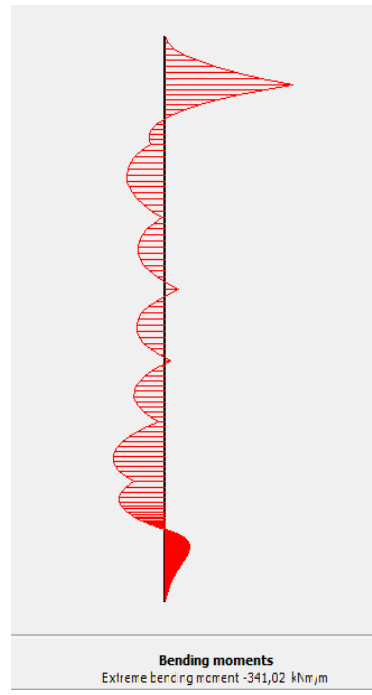
Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



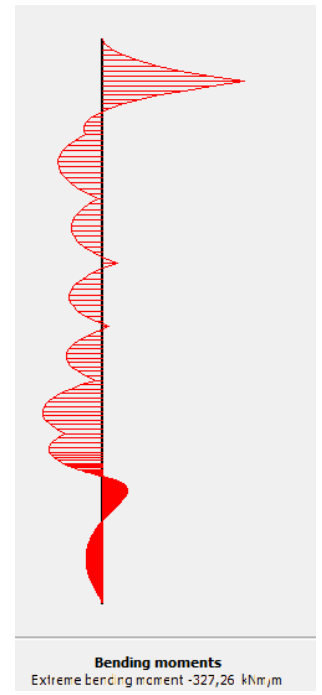
Εικόνα 142: Οι καμπτικές ροπές των πασσάλων για μήκος έμπτυξης +3 m σε ασθνή μάργα.



Εικόνα 143: Οι καμπτικές ροπές των πασσάλων για μήκος έμπτυξης +6 m σε ασθνή μάργα.

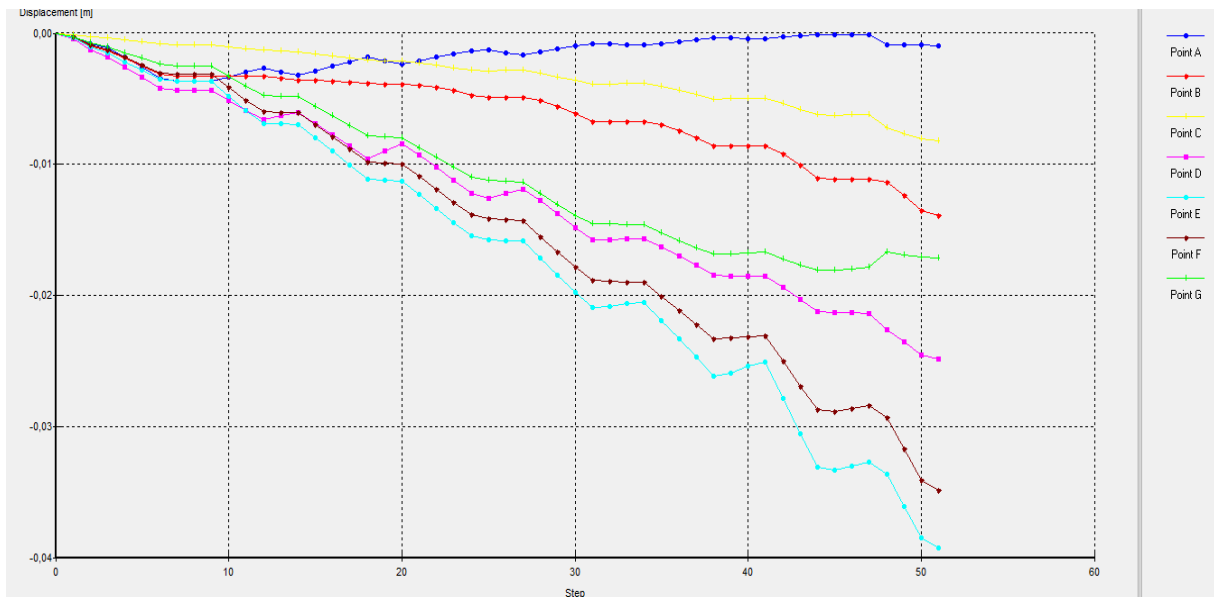


Εικόνα 144: Οι καμπτικές ροπές των πασσάλων για μήκος έμπτυξης +3 m σε ισχυρή μάργα.

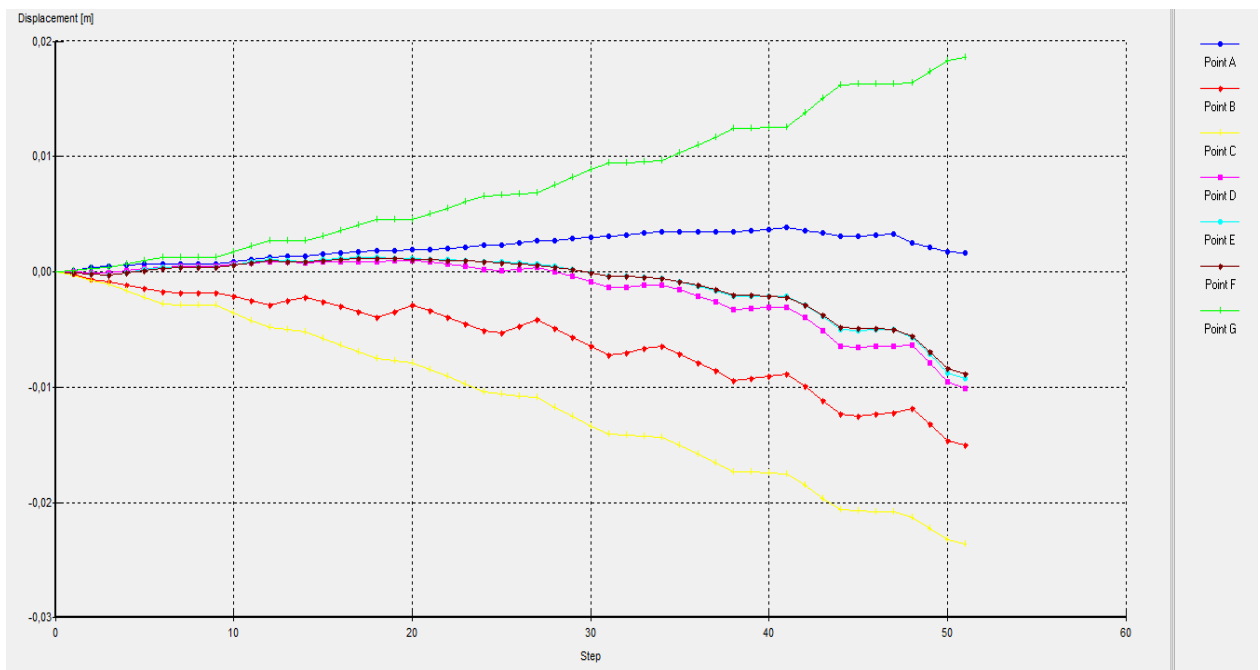


Εικόνα 145: Οι καμπτικές ροπές των πασσάλων για μήκος έμπτυξης +6 m σε ισχυρή μάργα.

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

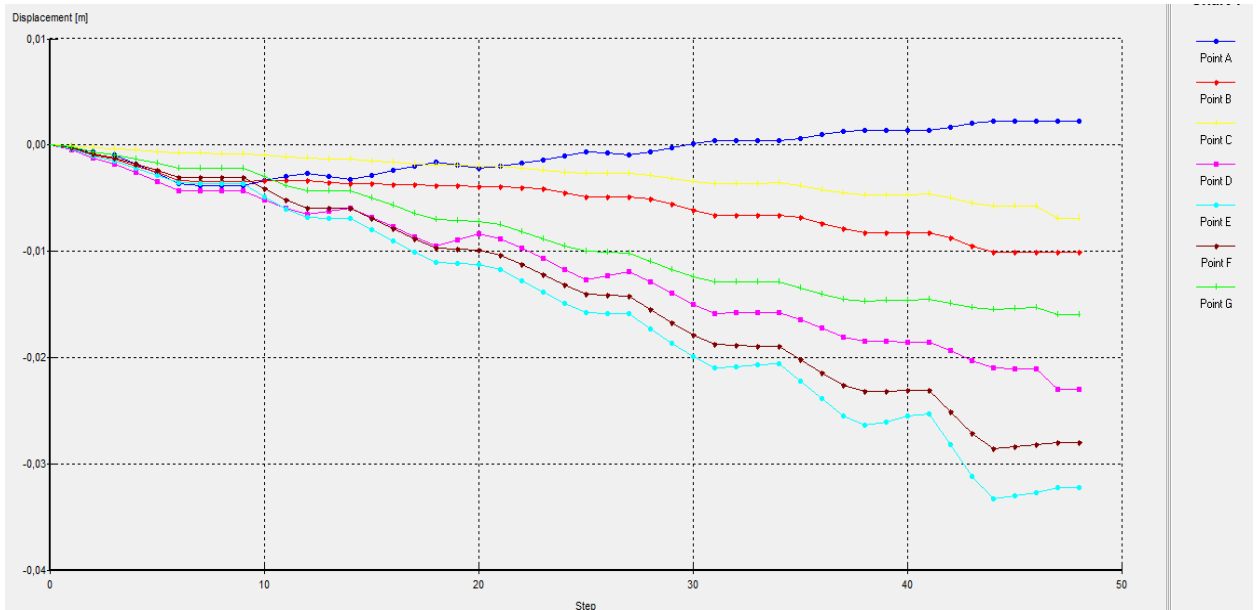


Οριζοντίες μετακινήσεις των σημείων A,B,C,D,E,F,G όπου το A βρίσκεται στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου, B&C βρίσκονται στην επιφάνεια είναι τα σημεία στα οποία επιβάλλονται τα δύο φορτία που έχουμε και το G που βρίσκεται στον πυθμένα της κατασκευής. (3,1 ανάλυση για έμπιξη 3 μέτρα σε ασθενή μάργα).

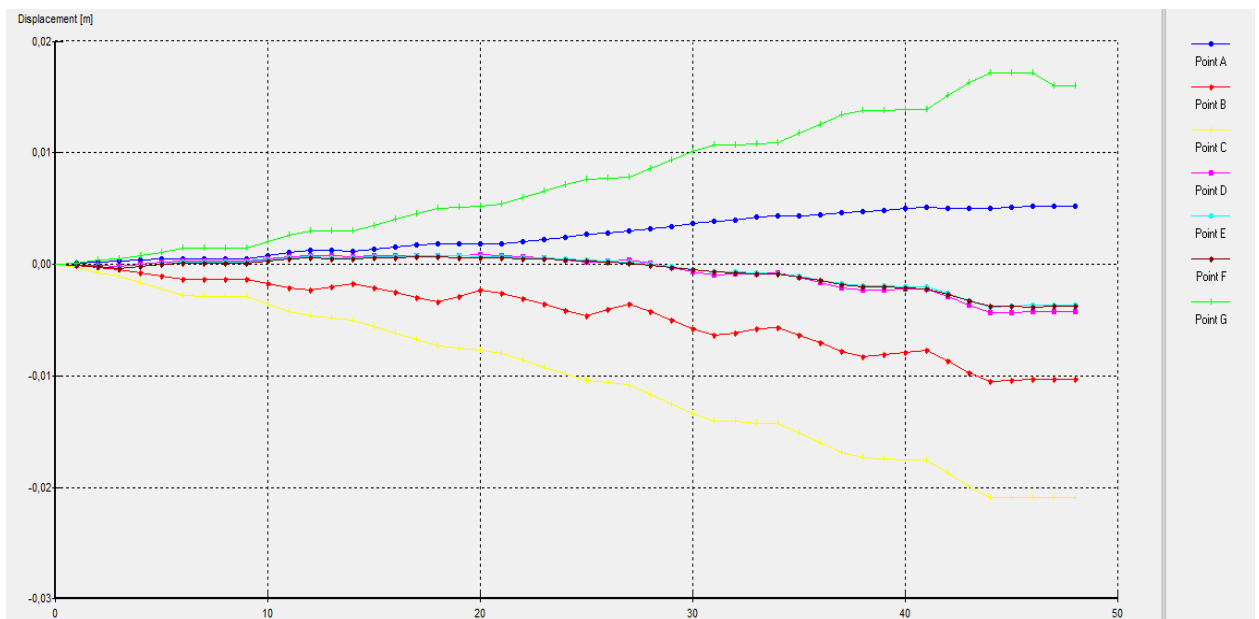


Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C,D,E,F,G όπου το A βρίσκεται στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου, B&C βρίσκονται στην επιφάνεια είναι τα σημεία στα οποία επιβάλλονται τα δύο φορτία που έχουμε και το G που βρίσκεται στον πυθμένα της κατασκευής.(3,1 ανάλυση για έμπιξη 3 μέτρα σε ασθενή μάργα).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

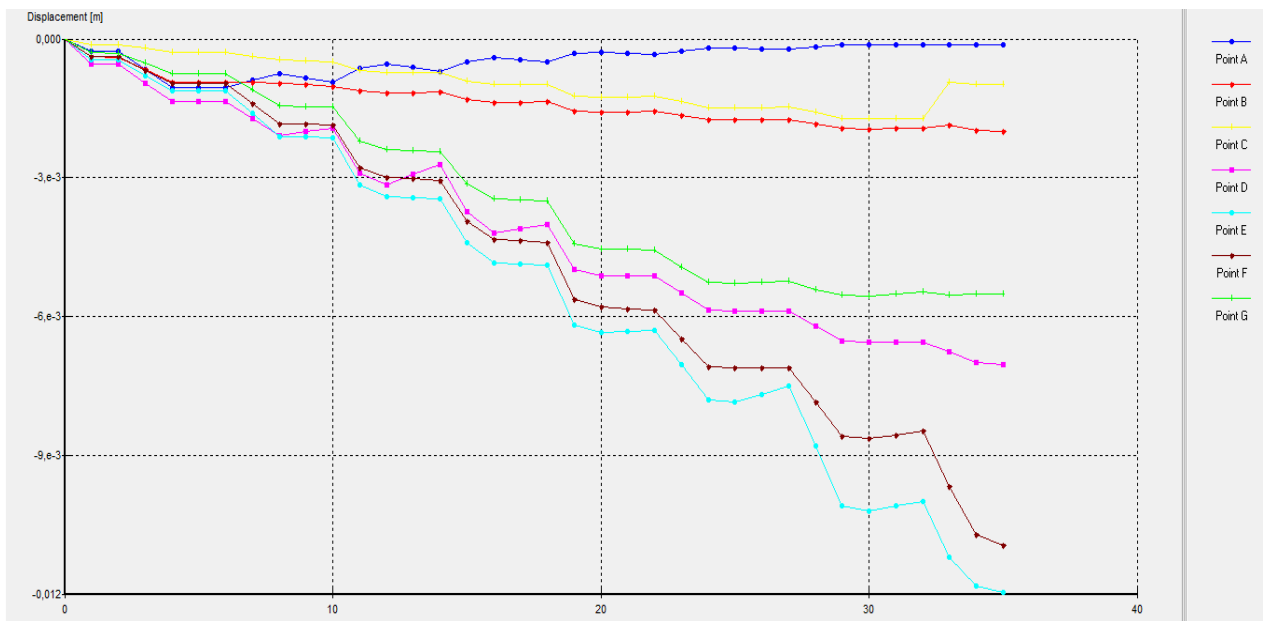


Οριζοντίες μετακινήσεις των σημείων A,B,C,D όπου το A βρίσκεται στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου, B&C βρίσκονται στην επιφάνεια είναι τα σημεία στα οποία επιβάλλονται τα δύο φορτία που έχουμε και το D που βρίσκεται στον πυθμένα της κατασκευής. (3,2 ανάλυση για έμπιξη 6 μέτρα σε ασθενή μάργα).

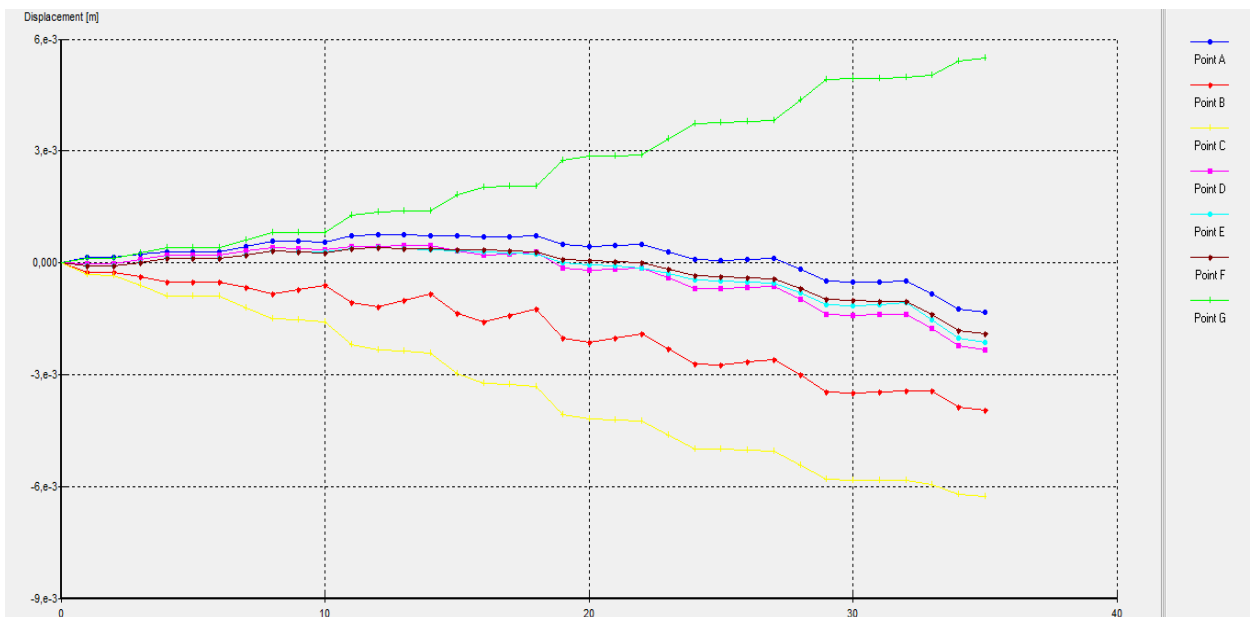


Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C,D,E,F,G όπου το A βρίσκεται στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου, B&C βρίσκονται στην επιφάνεια είναι τα σημεία στα οποία επιβάλλονται τα δύο φορτία που έχουμε και το G που βρίσκεται στον πυθμένα της κατασκευής. (3,2 ανάλυση για έμπιξη 6 μέτρα σε ασθενή μάργα).

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.

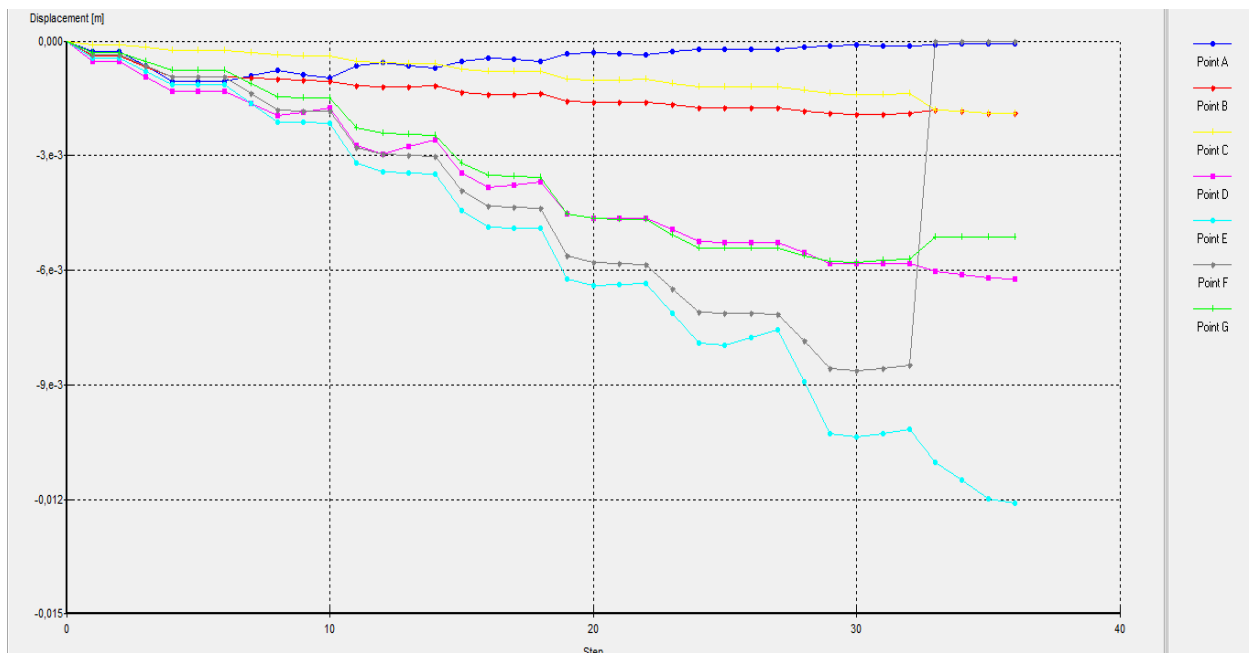


Οριζοντίες μετακινήσεις των σημείων A,B,C,D,E,F,G όπου το A βρίσκεται στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου, B&C βρίσκονται στην επιφάνεια είναι τα σημεία στα οποία επιβάλλονται τα δύο φορτία που έχουμε και το G που βρίσκεται στον πυθμένα της κατασκευής. (3,3 ανάλυση για έμπιξη 3 μέτρα σε ισχύρη μάργα).

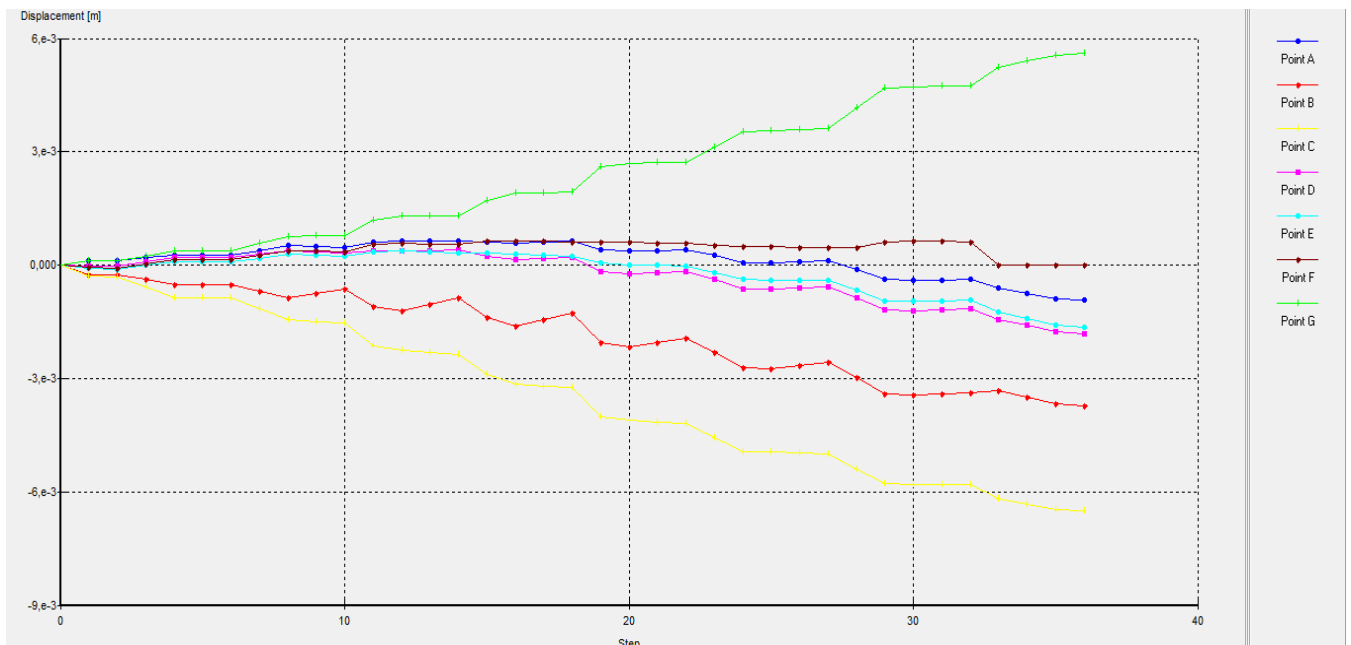


Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C,D,E,F,G όπου το A βρίσκεται στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου, B&C βρίσκονται στην επιφάνεια είναι τα σημεία στα οποία επιβάλλονται τα δύο φορτία που έχουμε και το G που βρίσκεται στον πυθμένα της κατασκευής. (3,3 ανάλυση για έμπιξη 3μέτρα σε ισχύρη μάργα)

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Εφαρμογή στον σταθμό «Ανθούπολη» του Μετρό Αθήνας.



Οριζοντίες μετακινήσεις των σημείων A,B,C,D,E,F,G όπου το A βρίσκεται στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου, B&C βρίσκονται στην επιφάνεια είναι τα σημεία στα οποία επιβάλλονται τα δύο φορτία που έχουμε και το G που βρίσκεται στον πυθμένα της κατασκευής. (3,4 ανάλυση για έμπιξη 6 μέτρα σε ισχύρη μάργα).



Κατακόρυφες μετακινήσεις των σημείων A,B,C,D,E,F,G όπου το A βρίσκεται στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου, B&C βρίσκονται στην επιφάνεια είναι τα σημεία στα οποία επιβάλλονται τα δύο φορτία που έχουμε και το G που βρίσκεται στον πυθμένα της κατασκευής. (3,4 ανάλυση για έμπιξη 6 μέτρα σε ισχύρη μάργα).