



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

Κατεύθυνση Γεωτεχνολογίας

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Το παράδειγμα του σταθμού "Ανθούπολη" στο Μετρό Αθήνας.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ANIDA HYSAJ

**Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Λουπασάκης,
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ**

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
Κατεύθυνση «Γεωτεχνολογίας»**

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας

Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Το παράδειγμα του σταθμού “Ανθούπολη” στο Μετρό Αθήνας.

ANIDA HYSAJ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Εγκρίθηκε από τριμελή επιτροπή στις 17-10-2016

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής του Ε.Μ.Π

Ροντογιάννη Θεοδώρα, Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π

Νομικός Παύλος, Επίκουρος Καθηγητής του Ε.Μ.Π

Αθήνα 2016

Αφιερωμένο στην οικογένεια μου....

*Να δημιουργείς και δημιουργώντας να δημιουργείς και να μην είσαι
τίποτα άλλο από την δημιουργία σου...*

Αριστοτέλης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΨΗ	12
ABSTRACT	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1. Η «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.»	17
1.1. Η Εταιρεία.....	17
2. ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ.....	20
2.1. Γενικά	20
2.2. Ιστορία του Δήμου Ανθούπολη.....	23
2.3. Πληθυσμιακά Στοιχεία	23
3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ	25
3.1. Γενικά.....	25
3.2. Μορφολογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης-Αττική	25
3.3. Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας	26
3.4. Γεωλογία στη στενή περιοχή του σταθμού.....	28
3.4.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί	28
3.4.2. Γεωτεχνική ταξινόμηση των σχηματισμών που συναντήθηκαν	29
3.5. Γεωλογική δομή στην στενή περιοχή του Σταθμού «Ανθούπολη»	30
3.6. Υδρογεωλογικό Καθεστώς	33
3.6.1. Υδρογεωλογικές συνθήκες	33
3.6.2. Μετρήσεις και δοκιμές στις ανορυχθείσες γεωτρήσεις	33
3.6.3. Δοκιμές υδροπερατότητας Maag.....	34
3.6.4. Δοκιμές Εισπίεσης Lugeon	34
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ 35	
4.1. Γενικά.....	35
4.2. Ανάλυση προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού.....	36
4.3. Αναλυτική παρουσίαση επί μέρους στοιχείων υποστήριξης.....	37
4.3.1. Διαφραγματικός τοίχος (Αλληλοτεμνόμενοι πάσσαλοι)	37
4.3.2. Αγκύρια.....	38
4.3.2.1. Μέρη αγκυρίων	41
4.4. Στοιχεία σχεδιασμού τοίχων αντιστήριξης	44
4.5. Μεθοδολογία κατασκευής.....	46
4.6. Παρακολούθηση της κατασκευής.....	48
5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	50
5.1. Γενικά.....	50
5.2. Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα Plaxis 8.2	51

5.2.1.	Καθορισμός παραμέτρων σχεδιασμού	53
5.2.2.	Βασικό Παράθυρο Σχεδιασμού	55
5.2.3.	Οριακές Συνθήκες.....	56
5.2.4.	Προσδιορισμός παραμέτρων εδαφικού υλικού, διαφραγματικού τοίχου, αντηρίδων, αγκυρίων, πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου και επιβαλλόμενου φορτίου. 56	
5.2.4.1.	Προσδιορισμός ιδιοτήτων εδαφικών υλικών	57
5.2.4.2.	Προσδιορισμός πασσάλων- διαφραγματικού τοίχου.....	60
5.2.4.3.	Καθορισμός πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου	63
5.2.4.4.	Καθορισμός αγκυρίων.....	65
5.2.4.5.	Καθορισμός αντηρίδων.....	67
5.2.4.6.	Καθορισμός του επιβαλλόμενου φορτίου στην επιφάνεια του εδάφους . 69	
5.2.5.	Διακριτοποίηση μοντέλου (Mesh generation).....	70
5.2.6.	Αρχικές συνθήκες (Initial Conditions)	72
5.3.	Εκτέλεση υπολογισμών (Performing Calculation)	73
5.4.	Εξαγωγή αποτελεσμάτων (Output).....	78
5.5.	Παρουσίαση διαγραμμάτων – Curves	83
6.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	86
6.1.	Γενικά.....	86
6.2.	1 ^η Παραμετρική ανάλυση.....	89
6.3.	2 ^η Παραμετρική ανάλυση.....	97
6.4.	3 ^η Παραμετρική ανάλυση.....	109
6.5.	4 ^η Παραμετρική ανάλυση.....	121
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	133
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	137
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	139

ΕΙΚΟΝΕΣ

ΕΙΚΟΝΑ 2.1 : ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ (WWW.GOOGLE.COM/MAPS)	20
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΕΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ»	21
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 : ΚΑΤΟΨΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ (Ο.Μ.Τ, 2007)	22
ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΓΕΙΤΟΝΙΑ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ 1934 (WWW.PERISTERI.GR)	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.5: Η ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΑΤΤΙΚΗΣ (WWW.PERISTERINEWS.GR)	24
ΕΙΚΟΝΑ 3.1: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ (ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ, 2014)	25
ΕΙΚΟΝΑ 3.2: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 2004)	26
ΕΙΚΟΝΑ 3.3: Α) ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ. Β-Γ) ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΣ ΧΑΡΤΕΣ ΤΟΥ ΔΥΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ, ΣΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΝΗΡΙΤΚΩΝ ΑΝΩΚΡΗΤΙΔΙΚΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΑ ΣΧΙΣΤΟΨΑΜΜΙΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΛΑΓΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΑΘΗΝΩΝ. (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 2004)	27
ΕΙΚΟΝΑ 3.4: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	29
ΕΙΚΟΝΑ 3.5: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Π1 (ΠΑΝΓΑΙΑ, 2007).....	31
ΕΙΚΟΝΑ 3.6: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Π2 (ΠΑΝΓΑΙΑ, 2007).....	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.7: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Π3 (ΠΑΝΓΑΙΑ, 2007).....	32
ΕΙΚΟΝΑ 4.1 : ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ(ΓΕΩΡΓΙΑΝΝΟΥ Β., ΚΑΒΒΑΔΑΣ Μ., 2005 ^Α -2006 ^Β)	38
ΕΙΚΟΝΑ 4.2. : ΟΡΓΑΝΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΚΡΙΣΗΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΒΑΣΗ ΣΤΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ, 2015) ...	39
ΕΙΚΟΝΑ 4.3: ΤΥΠΟΙ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΕΝΕΜΑΤΩΣΗΣ (U.S DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 1999)	40
ΕΙΚΟΝΑ 4.4: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΑΓΚΥΡΙΟΥ (ΕΚΚΑΦ Α.Τ.Ε.Ε)	41
ΕΙΚΟΝΑ 4.5 : ΟΡΓΑΝΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΚΡΙΣΗΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΒΑΣΗ ΤΟ ΧΡΟΝΟ (ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ, 2015)	42
ΕΙΚΟΝΑ 4.6 : ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΦΑΣΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ (U.S DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 1999)	43
ΕΙΚΟΝΑ 4.8 : ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ (U.S DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 1999)	46
ΕΙΚΟΝΑ 5.1 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	51
(Ο.Τ.Μ., 2007).....	51
ΕΙΚΟΝΑ 5.2: CREATE/OPEN PROJECT ΠΑΡΑΘΥΡΟ	52
ΕΙΚΟΝΑ 5.3 : ΒΑΣΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΤΟΥ PLAXIS 2D	52
ΕΙΚΟΝΑ 5.4 : ΒΑΣΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΤΟΥ PLAXIS 2D	53
ΕΙΚΟΝΑ 5.5: ΚΑΡΤΕΛΑ PROJECT ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ GENERAL SETTINGS	54
ΕΙΚΟΝΑ 5.6: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	55
ΕΙΚΟΝΑ 5.7 : ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	56
ΕΙΚΟΝΑ 5.8: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΑΓΚΥΡΙΩΝ, ΠΑΚΤΩΜΕΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ, ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ.	57
ΕΙΚΟΝΑ 5.9: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.....	58
ΕΙΚΟΝΑ 5.10: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MOHR COULOMB	58
ΕΙΚΟΝΑ 5.11: ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	59
ΕΙΚΟΝΑ 5.12 : ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 5.13: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΠΑΚΤΩΜΕΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟ	65
ΕΙΚΟΝΑ 5.14 : ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	67
ΕΙΚΟΝΑ 5.15: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΑΝΤΗΡΙΔΑΣ.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 5.16: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΤΗΡΙΔΑΣ.....	69
ΕΙΚΟΝΑ 5.17: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	70

ΕΙΚΟΝΑ 5.18: ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ	71
ΕΙΚΟΝΑ 5.19 : ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	71
ΕΙΚΟΝΑ 5.20: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ K_0	72
ΕΙΚΟΝΑ 5.21: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	73
ΕΙΚΟΝΑ 5.22: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	74
ΕΙΚΟΝΑ 5.23 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΦΑΣΕΩΝ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	77
ΕΙΚΟΝΑ 5.24 : ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 5.25: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ SHADING	79
ΕΙΚΟΝΑ 5.26 : ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΦΑΣΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΥΣ (SHADING).....	79
ΕΙΚΟΝΑ 5.27 : ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗ	80
ΕΙΚΟΝΑ 5.28: ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 5.29: ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	81
ΕΙΚΟΝΑ 5.30: ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 5.31: ΕΝΕΡΓΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗ.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 5.32: ΠΡΟΒΟΛΗ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	83
ΕΙΚΟΝΑ 5.33: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ CURVES.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 5.34: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΙΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 5.35: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 6.1 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ 1 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	87
ΕΙΚΟΝΑ 6.2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ 2 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	87
ΕΙΚΟΝΑ 6.3 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ 3 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	88
ΕΙΚΟΝΑ 6.4 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ 4 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	89
ΕΙΚΟΝΑ 6.5: ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΓΙΑ ΕΠΤΑ ΣΕΙΡΕΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΕΚΣΚΑΦΗΣ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.	90
ΕΙΚΟΝΑ 6.6: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΜΕ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΣΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΕΚΣΚΑΦΗΣ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.	91
ΕΙΚΟΝΑ 6.7 : ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	91
ΕΙΚΟΝΑ 6.8: ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	92
ΕΙΚΟΝΑ 6.9: ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΜΕΤΡΟ 0.6Μ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ 1.5Μ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ.	100
ΕΙΚΟΝΑ 6.10: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΣΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΥΣ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 6.11: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	102
ΕΙΚΟΝΑ 6.12: ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ.	103
ΕΙΚΟΝΑ 6.13: ΠΡΟΒΟΛΗ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	103
ΕΙΚΟΝΑ 6.14 : ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 3 ^Α ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	111
ΕΙΚΟΝΑ 6.15 : ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 3 ^Β ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	112
ΕΙΚΟΝΑ 6.16 : ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 3 ^Γ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	113
ΕΙΚΟΝΑ 6.17 : ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΦΑΣΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Β1Α ΜΕ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΥΣ (SHADINGS). ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	114

ΕΙΚΟΝΑ 6.18 :	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Β1Α. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ	114
ΕΙΚΟΝΑ 6.19 :	ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Β1Α. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	115
ΕΙΚΟΝΑ 6.20:	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ Μ2Α- Β1Α	123
ΕΙΚΟΝΑ 6.21:	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ Μ2Α- Β1Β	123
ΕΙΚΟΝΑ 6.22:	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ Μ2Α- Β3	124
ΕΙΚΟΝΑ 6.23:	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Μ2Α-Β3 ΜΕ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΥΣ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	125
ΕΙΚΟΝΑ 6.24:	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Μ2Α-Β3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^Γ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	125
ΕΙΚΟΝΑ 6.25:	ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Μ2Α-Β3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^Γ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	126
ΕΙΚΟΝΑ 6.26:	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Μ2Α-Β3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^Γ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	127

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ (ΠΑΝΓΑΙΑ, 2007)	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΤΙΜΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ (Ο.Τ.Μ, 2007).....	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΝΤΟΛΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (ΠΑΝΓΑΙΑ, 2007)	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟ (PLATE)	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4: ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗ	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6: ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ. 1 ^Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ. 1 ^Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΑΣΚΟΥΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ. 1 ^Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4 : ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΟΥΝΤΑΙ.....	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5 : ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΣΥΝΕΙΣΦΕΡΕΙ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ.....	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6 : ΤΕΛΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ	99
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ. 2 ^Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	104
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.8 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ. 2 ^Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	105
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.9 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΣΚΟΥΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ. 2 ^Η ΣΕΙΡΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.	105
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.10 : ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.11 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ 3 ^Α ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.12: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ 3 ^Β ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.13 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ 3 ^Γ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	112
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.14 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟ. 3 ^Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.15: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ. 3 ^Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.16 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΣΚΟΥΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ. 3 ^Η ΣΕΙΡΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.17 : ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ Μ2Α- Β1Α	121
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.18 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ. 4 ^Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	128
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.19 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ. 4 ^Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.20: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΣΚΟΥΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ. 4 ^Η ΣΕΙΡΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	130

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.1: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΤΑ ΣΕΙΡΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΣΗΜΕΙΑ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	93
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ (ΣΗΜΕΙΟ Β).....	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΠΙΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟ ΣΗΜΕΙΟ (F).	96
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.	96
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.	97
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.	97
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.7 : ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΔΙΑΜΕΤΡΟ 0.6Μ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ 1.5Μ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	104
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.	106
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΠΙΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟ ΣΗΜΕΙΟ.	107
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ.....	107
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.11: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ.....	108
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΣΣΑΛΩΝ.....	108
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.13 : ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΣΗΜΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Β1Α. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^Α ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	116
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.14 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^{ΗΣ} ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΙΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟ ΣΗΜΕΙΟ (F)	118
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.15: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΠΥΘΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ (ΣΗΜΕΙΟ Α).	119
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.16 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	119
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.17: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	120
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.18: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	120
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.19: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ Μ2Α – Β3.....	128
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.20 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^{ΗΣ} ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΟΥ ΜΟΛΙΣ ΞΕΚΙΝΑΝΕ ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ (I) ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.	130
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.21 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ (ΣΗΜΕΙΟ C)	131
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.22 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	131
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.23: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	132
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.24: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^{ΗΣ} ΣΕΙΡΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	132

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προπτυχιακού Προγράμματος της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με επιβλέποντα τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Λουπασάκη.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διενέργεια παραμετρικών αναλύσεων επί των μέτρων υποστήριξης της ανοιχτής εκσκαφής του σταθμού Ανθούπολη που αποτελεί τμήμα επέκτασης της Γραμμής 2 του Μετρό.

Η κατασκευή του Σταθμού έγινε σε τρεις βασικές φάσεις:

- I. Η Α φάση, η οποία αποτέλεσε και την κυριότερη φάση λόγω μεγέθους και δυσκολιών κατασκευής περιέλαβε την κατασκευή του κεντρικού «κουτιού» του Σταθμού.
- II. Κατά την Β φάση κατασκευάστηκε το τμήμα Βόρεια της εκσκαφής του σταθμού, εκεί που βρίσκεται η Κύρια είσοδος.
- III. Τέλος κατά την Γ φάση πραγματοποιήθηκε η κατασκευή της Εισόδου από την Λεωφ. Θηβών.

Το μέτρα αντιστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του Σταθμού ήταν πάσσαλοι οπλισμένου σκυροδέματος, οι οποίοι εδράστηκαν στο περίγραμμα του ορύγματος και υποστηρίχθηκαν από μια σειρά πυκνών σε διάταξη αντηρίδων στο ανώτατο τμήμα και προεντεταμένων αγκυρώσεων σε αντίστοιχες σειρές στο υπόλοιπο ύψος.

Τονίζεται ότι σκοπός αυτής της διπλωματικής δεν ήταν επίλυση της πραγματικής εκσκαφής του Σταθμού Ανθούπολη, αλλά αντίθετα η άντληση δεδομένων από την πραγματική εκσκαφή για το σχεδιασμό ισοδύναμων προσομοιωμάτων και την διενέργεια παραμετρικών αναλύσεων επί αυτών.

ABSTRACT

Subject of this diploma thesis is to conduct parametric analyzes by changing the parameters of components used in the temporary support structure of an open excavation, by implementing 2D finite element analysis software.

The construction was made in three main phases:

- I. The A phase which is the main phase due to size and construction difficulties, involved the construction of the central open excavation of the station.
- II. The B phase, involved the construction of the occupied lateral expansion's part in North side (Main Entrance), which was constructed in two subphases
- III. The C phase involved the construction of the Entry from the Leof. Thivon.

The retaining system of the Station was consisted of diaphragm walls supported by a dense series of struts assembly at the upper part and prestressed anchors fitted to corresponding rows in the lower part.

The parameters which are changed are the struts, which were replaced with anchors, the distance and diameter of piles and the distance of the diaphragmatic wall from the open excavation. For reasons of interest a further parametric analysis was held, where at the same time was constructed the phase A and the phase B, in order to determine how the distance of diaphragmatic walls from the phase A and the phase B may affect the stability of the excavation and the rates of displacements.

The data of the open excavation like the technical conditions of stability and construction are based on existing project of the Anthoupoli station. However, the purpose of this subject is not to simulate like there is the actual excavation. On the contrary it intends to compare among various models, carrying out parametric analyzes with Plaxis 2D finite element program. In conclusion the aim of this subject is to prove how a wide range of applied support measures that could be used during the design and construction of the project would cause problems to the construction.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην επίτευξη της παρούσας διπλωματικής κατέσται πολύτιμη η βοήθεια πολλών ανθρώπων στην ζωή μου τόσο ανθρώπων σχετικούς με το αντικείμενο όσο και δικών μου οικογενειακών και φιλικών προσώπων.

Πρωτίστως και προπάντων οφείλω να ευχαριστήσω τον άνθρωπο που χωρίς εκείνον δεν θα μπορούσα να πραγματοποιήσω την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, τον κύριο Λουπασάκη Κωνσταντίνο, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π για την από αρχή έως τέλος καθοδήγηση και άμεση ανταπόκρισή του σε οποιαδήποτε απορία μου δίνοντας έμφαση στην κατανόηση και εξήγηση των αποριών μου και όχι απλή διόρθωση, παρά το ανέκαθεν υψηλό φόρτο εργασία που αντιμετώπιζε.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κύριο Νομικό Παύλο και την Κυρία Ροντογιάννη για τον έγκρισή τους να ανήκουν και εκείνοι με την σειρά τους στην επιτροπή εξέτασης της παρούσα διπλωματική.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να επισημάνω και την συνεισφορά της εταιρίας Αττικό Μετρό και των μελών της, ιδιαίτερα του Διευθυντή Διευθύνσεως Τεχνικής Γεωλογίας Μάρκου Νόβακ και του Δρ. Γεωλόγου Γιώργου Στούμπο για την προθυμία παροχής πληροφοριών και επιστημονικών γνώσεων σχετικών με το έργο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου συμπεριλαμβανομένων των παππούδων μου και ιδιαίτερα την αδελφή μου για την τόσο χρόνων απaráμιλλη στήριξη τους σε οποιοδήποτε βήμα της ζωής μου δίνοντας μου απέραντη αγάπη και κουράγιο να συνεχίζω παρά τις όποιες δυσκολίες.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτέλεση παραμετρικών αναλύσεων επί των διατάξεων των μέτρων υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν για την αντιστήριξη της ανοιχτής εκσκαφής του σταθμού.

Στις παραμετρικές αναλύσεις που έγιναν εφαρμόστηκαν εναλλακτικά μέτρα υποστήριξης που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της μελέτης και κατασκευής του έργου και μελετήθηκαν οι τυχόν αποκλίσεις που προέκυψαν από τις περιοριστικές τιμές που θέτει η νομοθεσία.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις παραμετρικές αναλύσεις της διπλής πασσαλοστοιχίας που κατασκευάστηκαν στη Βόρεια πλευρά για τη διαμόρφωση εισόδου.

Οι επιλύσεις δεν αφορούν τις πραγματικές επιλύσεις του σταθμού Ανθούπολη. Αντιθέτως αντλώντας στοιχεία από τη μελέτη της πραγματικής εκσκαφής προσδιορίζονται τα εντατικά μεγέθη των δομικών στοιχείων που απαρτίζουν το σύστημα, για το σχεδιασμό ενός ιδεατού μοντέλου του κεντρικού τμήματος ανοιχτής εκσκαφής.

Τελική επιδίωξη είναι να δομηθούν και να επιλυθούν διάφορα προσομοιώματα, έτσι ώστε να συγκριθούν οι παραμορφώσεις που θα προκύψουν στα διάφορα αυτά μοντέλα ανάλογα με τα μέτρα υποστήριξης και να εξαχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Επισημαίνεται σε αυτή την εργασία περιλαμβάνονται οι υπολογισμοί που σχετίζονται με την κατασκευή του κεντρικού (Φάση Α) και Βορειοδυτικού τμήματος (Φάση Β) της κατασκευής.

Όλοι οι υπολογισμοί διεξάχθηκαν με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS 2D.

Συγκεκριμένα, τα θέματα των Κεφαλαίων δομούνται ως εξής :

Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση του έργου της εταιρείας Αττικό Μετρό.

Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σταθμός μελέτης Ανθούπολη και γενικά η Γραμμή 2, δεδομένα του οποίου χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική.

Στο 3^ο Κεφάλαιο περιγράφονται τα μορφολογικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης αλλά και της στενής περιοχής του σταθμού Ανθούπολη. Ουσιαστικά το θεωρητικό υπόβαθρο βάση του οποίου προσδιορίστηκαν οι παράμετροι γεωτεχνικού σχεδιασμού της στενής περιοχής κατασκευής του σταθμού, το οποίο προέκυψε από εμπειριστατωμένες παλαιότερες και νεότερες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή. Στοιχεία του οποίου χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα διπλωματική.

Στο 4^ο Κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα διάφορα συστήματα αντιστήριξης που εφαρμόστηκαν προκειμένου να εξασφαλιστεί η γενική ευστάθεια του σκάμματος και η ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων κατά την εκσκαφή σε χαμηλά όρια. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία κατασκευής που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό όλων των προσομοιωμάτων. Παράλληλα επισημαίνονται οι θέσεις που παρουσίασαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών φόρτισης ή αντιστήριξης.

Στο 5^ο Κεφάλαιο γίνεται εκτενή παρουσίαση του λογισμικού προγράμματος Plaxis που χρησιμοποιήθηκε, με αναφορά στον τρόπο λειτουργίας της κάθε εντολή, την σειρά των βημάτων που διεξάχθηκαν και στο τρόπο υπολογισμού των παραμέτρων που χρειάστηκαν να εισαχθούν στο πρόγραμμα.

Στο 6^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι παραμετρικές αναλύσεις όλων των προσομοιωμάτων με αναλυτική παρουσίαση του σχεδιασμού και των βημάτων επίλυσης. Στην συνέχεια παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων με τη μορφή πινάκων και αντίστοιχων διαγραμμάτων. Αντλώντας πληροφορίες από τους πίνακες και τα διαγράμματα των Curves γίνεται μια συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετακινήσεων και των καθιζήσεων που προκάλεσε η κατασκευή της ανοιχτής εκσκαφής στα διάφορα μοντέλα.

Από τις παραμετρικές αναλύσεις θεωρήθηκαν αποδεκτές μόνο αυτές που ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίζει το πρόγραμμα ξεπερνάει την ελάχιστη τιμή του συντελεστή ασφαλείας που έχει τεθεί.

Στόχος όλων των αναλύσεων ήταν στα μοντέλα να προκύψουν περιορισμένες παραμορφώσεις στο όρυγμα και τα επί μέρους στοιχεία του συστήματος.

Τέλος, στο 7^ο κεφάλαιο εξάγονται τα συμπεράσματα για το πώς η επιλογή του συστήματος αντιστήριξης, των χαρακτηριστικών των πασσάλων, του ανοίγματος εκσκαφής και του τρόπου κατασκευής επηρέασαν την ευστάθεια της κατασκευής και των παρακείμενων σε αυτήν κτηρίων.

1. Η «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.»

1.1. Η Εταιρεία

Η «Αττικό Μετρό Α.Ε.» (Α.Μ.Α.Ε.) είναι μια σύγχρονη εταιρεία που εδώ και χρόνια προασπίζει το δημόσιο συμφέρον, στο δυναμικό της έχει προσωπικό από διάφορα επιστημονικά πεδία με πολυετή εμπειρία και εξειδικευμένα στο να αναλαμβάνουν το σχεδιασμό, την υλοποίηση και την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας και πλέον και της Θεσσαλονίκης. Μετά την λήξη των Ολυμπιακών αγώνων ένα από τα πιο πολυσύνθετα και πιο πολυδάπανα συγκοινωνιακά έργα στο Λεκανοπέδιο της Αττικής είναι οι επεκτάσεις του Μετρό.

Με βάση τα στοιχεία της εταιρείας, οι δύο Γραμμές του Μετρό της Αθήνας έχουν συνολικό μήκος περίπου 59,7χλμ και 40 σύγχρονους σταθμούς (συμπεριλαμβανομένων των 4 Σταθμών καθώς και τα 20,7 χλμ. γραμμής του προαστιακού από τον σταθμό Δουκίσσης Πλακεντίας προς Αεροδρόμιο) που εξυπηρετούν σε καθημερινή βάση περίπου 938.000 επιβάτες. Επίσης, η Γραμμή 1 του ΗΣΑΠ εξυπηρετεί αντίστοιχα περισσότερους από 460.000 επιβάτες. (ιστοσελίδα Αττικό Μετρό: www.ametro.gr)

Αναμφισβήτητο το πρόβλημα που έλυσε το Μετρό σε συνδυασμό με το Τραμ και τον Προαστιακό είναι αυτό της κυκλοφοριακής συμφόρησης που ταλαιπωρούσε επί χρόνια του πολίτες της πρωτεύουσας, εξασφαλίζοντας έτσι μια ποιότητα ζωής στο λεκανοπέδιο.

Πέραν των άμεσων πλεονεκτημάτων το Μετρό ξεχωρίζει και ως προς την αισθητική του συγκριτικά με τα κοινά μέσα μεταφοράς. Δεν χαρακτηρίζεται άδικα το πιο καλαίσθητο μέσο μεταφοράς καθώς δεν υπόσχεται μόνο άνεση, ταχύτητα και αξιοπιστία των δρομολογίων του, αλλά αποτελεί αναμφισβήτητο πηγή πολιτισμού. Ήδη στους κεντρικούς Σταθμούς του δικτύου της εκθέτονται εντυπωσιακά αρχαιολογικά εκθέματα, καθώς έργα τέχνης διακεκριμένων καλλιτεχνών σχεδόν σε όλους τους Σταθμούς των Γραμμών 2 και 3. Αξίζει να σημειωθεί ότι χάρις στην κατασκευή του Μετρό της Αθήνας πραγματοποιήθηκε συνολικά μέχρι σήμερα 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. (ιστοσελίδα Αττικό Μετρό: www.ametro.gr)

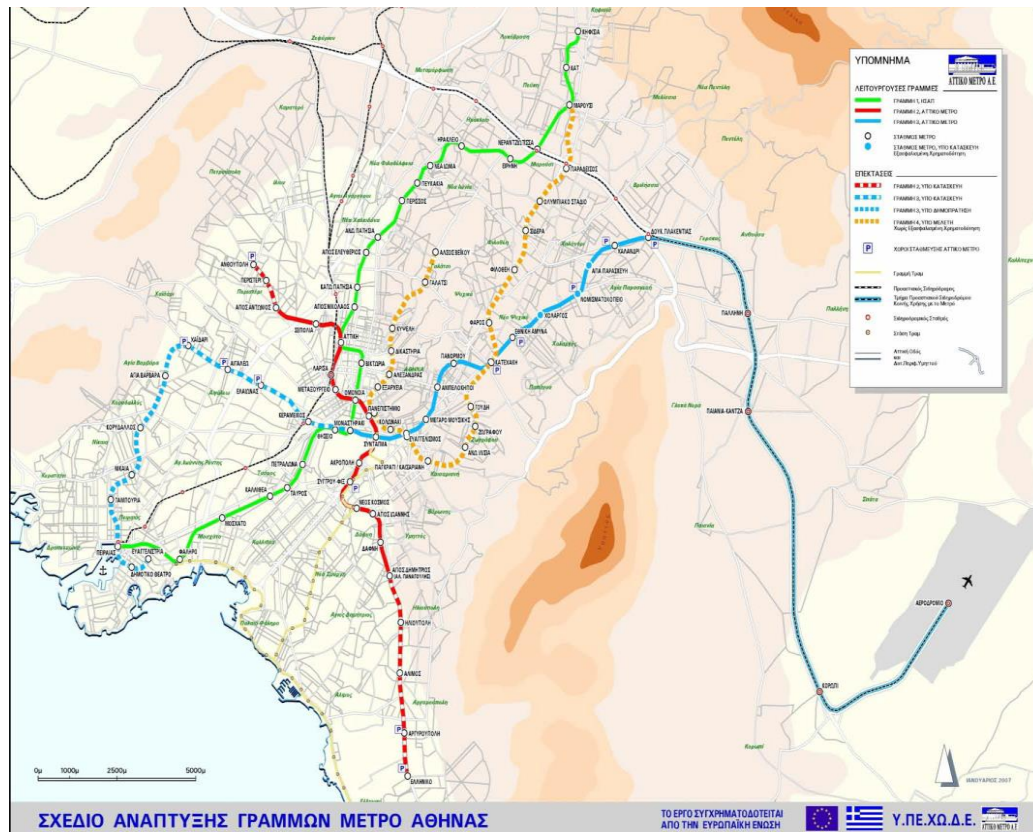
Με έναυσμα την επιτυχή ολοκλήρωση όλων των επεκτάσεων που ήταν απαραίτητες για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004, η Αττικό Μετρό ΑΕ συνεχίζει το έργο της θέτοντας τον πήχη ακόμα πιο ψηλά. Πραγματοποιεί πιο πολυσύνθετα έργα παραδίδοντας γραμμές που επεκτείνονται συνολικά κατά 13 χλμ εντάσσοντας στο δίκτυο 13 νέους Σταθμούς, ενώ ταυτόχρονα μεριμνά για την ουσιαστική βελτίωση του συστήματος εξυπηρέτησης των ευρύτερων περιοχών με προσθήκη Σταθμών Μετεπιβίβασης από τα λεωφορεία και χώρων στάθμευσης για μετεπιβίβαση από τα ιδιωτικά μέσα (Park and Ride). Επίσης, έχοντας ως στόχο την καλύτερη

εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών προγραμματίζεται η εγκατάσταση κλιματιστικών σε όλους τους συρμούς της δεύτερης γενιάς.

Το κόστος κατασκευής του βασικού έργου αγγίζει τα 2,1 εκατ. € ενώ οι επεκτάσεις των γραμμών 2&3 στα 2,2 εκατ. € με χρηματοδότηση (επιδότηση) σε ποσοστό 50% από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η Αττικό Μετρό ΑΕ ακόμα και σήμερα σε μια εποχή δύσκολων οικονομικών καταστάσεων θέλοντας να εξυπηρετήσει όσο το δυνατόν περισσότερες πυκνοκατοικημένες πόλεις προχωρεί στην υλοποίηση νέων επεκτάσεων του δικτύου. Συγκεκριμένα στην Γραμμή 3 από το Χαϊδάρι μέχρι τον Πειραιά, την Ευαγγελίστρια, προκειμένου ο Δήμος Πειραιά να αποκτήσει 4 Σταθμούς Μετρό και να συνδεθεί με το Αεροδρόμιο. Πρόκειται για μια επέκταση συνολικού μήκους 8,2 χλμ. με 7 σύγχρονους Σταθμούς (προϋπολογισμού 570 εκ €), η οποία αν και έχοντας υψηλό βαθμό δυσκολίας δεν απέτρεψε την Αττικό Μετρό από την δημιουργία μιας επέκτασης που θα εξυπηρετήσει με τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο τον Πειραιά, έναν από τους πιο πολυσύχναστους και μεγαλύτερους Δήμους της χώρας.

Επιπλέον, σε μια περίοδο δύσκολων οικονομικών συγκυριών το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) εξετάζει όλους τους πιθανούς τρόπους χρηματοδότησης για την κατασκευή μιας νέας Γραμμής, της Γραμμής 4. Η γραμμή αυτή εξ αρχής φαίνεται ότι όχι μόνο θα αλλάξει δραστικά τον συγκοινωνιακό χάρτη της Αθήνας αλλά και θα προσφέρει μια ποιότητα ζωής στο Λεκανοπέδιο. Πρόκειται για μια Γραμμή σε σχήμα U, μήκους 20,9 χλμ με 20 Σταθμούς (προϋπολογισμού 2,1 δισ. €), η οποία θα καλύψει την διαδρομή Άλσος Βεΐκου – Πανεπιστήμιο – Ευαγγελισμός – Άνω Ιλίσια – Κατεχάκη – Μαρούσι. Η νέα Γραμμή 4 στοχεύει στην εξυπηρέτηση των πλέον πυκνοκατοικημένων περιοχών του Λεκανοπεδίου, με την εκτιμώμενη επιβατική κίνηση να ανέρχεται στους 400.000 επιβάτες ημερησίως. Στον χάρτη που ακολουθεί φαίνονται οι εν λειτουργία και οι υπό κατασκευή γραμμές και προεκτάσεις του μετρό της Αθήνας (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1: Χάρτης του Αττικού Μετρό. (site Αττικό μετρό)

Σε στάδιο κατασκευής βρίσκεται ένα από τα πιο σημαντικά και εξίσου πολύπλοκα έργα της Αττικό Μετρό ΑΕ, η κατασκευή Μετρό στην Θεσσαλονίκη, στην δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδος. Το αρχικό σχέδιο αναφέρει την κατασκευή Μετρό μήκους 9,6 χλμ με 13 σύγχρονους Σταθμούς (προϋπολογισμού 1 δισ. €), το οποίο υπογράφηκε στις 7 Απριλίου 2006 με τις κατασκευαστικές εργασίες του έργου να βρίσκονται ήδη σε ανάπτυξη. (ιστοσελίδα Αττικό Μετρό: www.ametro.gr)

Το Μετρό που αναμένεται να κατασκευασθεί στην Θεσσαλονίκη αποτελεί άξιο διάδοχο αυτού της Αθήνας αγγίζοντας ή πιθανώς ξεπερνώντας τα υψηλά επίπεδα των διεθνών προδιαγραφών. Εφόσον έχει σχεδιαστεί με δύο μονές ανεξάρτητες σήραγγες, σύστημα θυρών επί των αποβάθρων κάθε Σταθμού και 18 υπεραυτόματους συρμούς (χωρίς οδηγό) τελευταίας τεχνολογίας, πλήρως κλιματιζόμενους κ.α.

Σε μια πόλη με σταθερά αυξανόμενο πληθυσμό αναμένεται ότι το Μετρό της Θεσσαλονίκης θα μεταφέρει σε καθημερινή βάση περισσότερους από 250.000 επιβάτες. Παράλληλα, η Αττικό Μετρό ΑΕ έχοντας στα χέρια της πλέον όλη τη διαθέσιμη εμπειρία να ξεπερνάει όποιο σχεδιαστικό ή κατασκευαστικό πρόβλημα είναι διατεθειμένη να προχωρήσει σε επεκτάσεις του Μετρό με σκοπό να δημιουργήσει ένα αντίστοιχο πλήρες συγκοινωνιακό δίκτυο στη Θεσσαλονίκη.

Το απόγειο της επιτυχίας του ΥΠΕΧΩΔΕ και της Αττικό Μετρό ΑΕ είναι οι περισσότερες γειτονιές της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης να συνδέονται με το Μετρό, βοηθώντας έτσι στην ανάκαμψη της τοπικής οικονομίας, αλλάζοντας τα δεδομένα των μεγαλουπόλεων και προπάντων μειώνοντας τις αποστάσεις και το χρόνο μετακίνησης.

2. ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ

2.1. Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει εκτενής παρουσίαση του Σταθμού μελέτης Ανθούπολη ως προς την θέση που κατέλαβε το έργο στην περιοχή του Δήμου Περιστερίου όπου και ανήκει. Επίσης, θα παρουσιαστεί η Ιστορία της περιοχής και τα πληθυσμιακά της στοιχεία.

Με βάση την Γεωτεχνική Μελέτη του Σταθμού Ανθούπολη αναφέρεται ότι ο Σταθμός «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» αποτελεί μέχρι και σήμερα τον τερματικό σταθμό δυτικά της Γραμμής 2 και τον δεύτερο Σταθμό της επέκτασης.

Ο σταθμός κατασκευάστηκε σε θέση αμέσως μετά την διασταύρωση με την Λεωφόρο Θηβών κατά μήκος της οδού Αναπαύσεως (προέκταση της Λεωφόρου Παναγή Τσαλδάρη).

Το συνολικό μήκος του σταθμού κατέληξε να είναι αυξημένο κατά 37 m, έναντι του τυπικού μήκους 110 m, δεδομένου ότι εντός αυτού ενσωματώθηκαν και τα δυο Φρέατα Αερισμού (Αποτόνωσης) του, με τελικό μήκος τα 147 m περίπου (από την Χ.Θ. 2 + 342.89 έως την Χ.Θ. 2 + 490.29).



Εικόνα 2.1 : Θέση Σταθμού Ανθούπολη στο δήμο (www.google.com/maps)

Στην θέση αυτή κατέληγε, ήδη σήραγγα διπλής γραμμής κατασκευασμένη από άλλον Ανάδοχο, η οποία διανοίχτηκε με μηχανήμα OFS, από το Τερματικό Φρέαρ (Φρέαρ Εκκίνησης) στην περιοχή του Αγίου Ιεροθέου (Χ.Θ. - 2 + 751) έως την Χ.Θ. 1 + 840, πλησίον του Σταθμού Περιστερί. Η υφιστάμενη σήραγγα στη περιοχή κατασκευής του σταθμού καθαίρεθηκε λαμβάνοντας όλα τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας τόσο για την εκτέλεση των εργασιών όσο και για την διατήρηση των εκατέρωθεν τμημάτων της σήραγγας που είχαν παραμείνει.

Η αρχή του σταθμού τοποθετήθηκε αμέσως μετά τη διασταύρωση με τη Λεωφόρο Θηβών (με κατεύθυνση προς Ανθούπολη). Στη βόρεια πλευρά διαμορφώθηκε πλευρική αίθρια διεύρυνση, τραπεζοειδούς μορφής. (Παναγία, 2007)

Το βάθος εκσκαφής που απαιτήθηκε για την κατασκευή ήταν περίπου 20 m για το κεντρικό τμήμα του σταθμού και 17 m για την περιοχή διεύρυνσης στην βόρεια πλευρά.

Περιμετρικά του σταθμού εντοπίζονται χαμηλά κτίρια δύο έως τριών ορόφων, με μόνη εξαίρεση ένα πενταόροφο περί τη Χ.Θ. 2+360. Από την άποψη του δομημένου περιβάλλοντος, ένδειξη σχετικά καλών συνθηκών, ήταν η ύπαρξη μεγάλων ακάλυπτων περιοχών εκατέρωθεν του άξονα της γραμμής της επέκτασης.

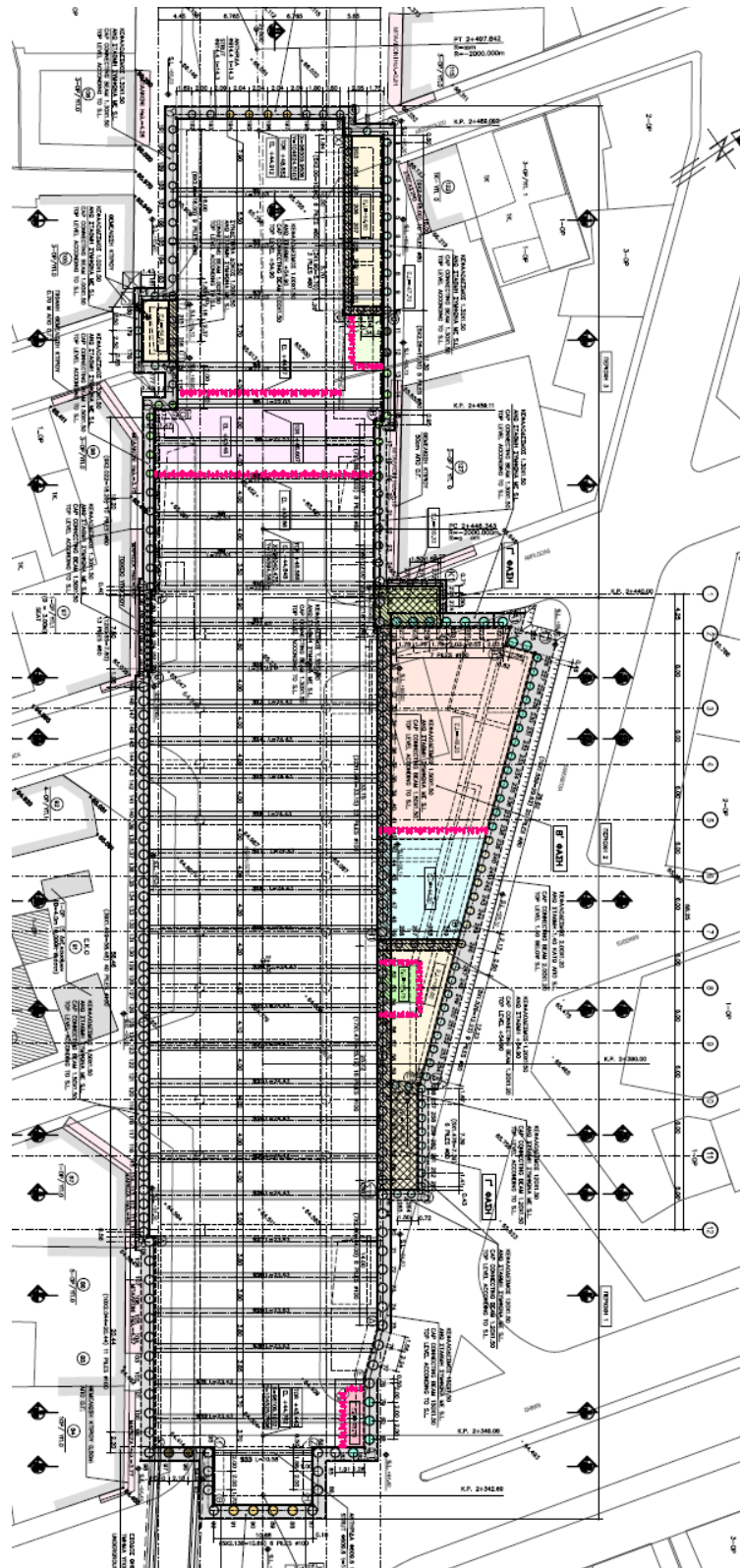
Η επέκταση του Μετρό πραγματοποιήθηκε σε μια περιοχή που καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας παρουσίαζε έντονα κυκλοφοριακά προβλήματα. Τα κτίρια που στεγάζονται επί της λεωφόρου χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ως καταστήματα, γραφεία, και κέντρα παροχής υπηρεσιών παρά ως κατοικίες.

Μεγάλη προσοχή δόθηκε μόνο στη Χ.Θ. 2+400 της γραμμής, στα αριστερά, της οποίας υπήρχε πρατήριο καυσίμων. Στην συγκεκριμένη θέση λόγω της ύπαρξης των υπογείων εγκαταστάσεων του πρατηρίου δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή κατά την κατασκευή του σταθμού, για την αποφυγή διαρροών καυσίμων.

Στην Εικόνα 2.2 παρατίθεται η οριζοντιογραφία και στην Εικόνα 2.3 η κάτοψη της περιοχής κατασκευής του τεχνικού έργου που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 2.2: Οριζοντιογραφία περιοχής κατασκευής και θέσεις γεωτρήσεων Σταθμού «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» (Παναγία, 2007)



Εικόνα 2.3 : Κάτοψη σταθμού Ανθούπολη (Ο.Μ.Τ, 2007)

2.2. Ιστορία του Δήμου Ανθούπολη

Ο Σταθμός Ανθούπολη εντάσσεται στο Δήμο του Περιστερίου. Το Περιστερί ένας από τους μεγαλύτερους σήμερα δήμους ανήκε στο Δήμο Αθηνών από τον οποίο αποσπάστηκε το 1934, λόγω του μεγάλου πληθυσμού του, ενώ το Φεβρουάριο του 1934 διεξάχθηκαν οι πρώτες δημοτικές εκλογές ως αυτόνομου δήμου.

Τα δεδομένα άλλαξαν και στο Δήμο εκείνης της εποχής προσαρτήθηκαν οι οικισμοί Περιστερί, Χρυσαλλίδα, Άνω και Κάτω Γερμανικά, Κτιστά και ο συνοικισμός Ποντίων, Αρμενίων. (Ιστοσελίδα Δήμου Περιστερίου: www.peristeri.gr)

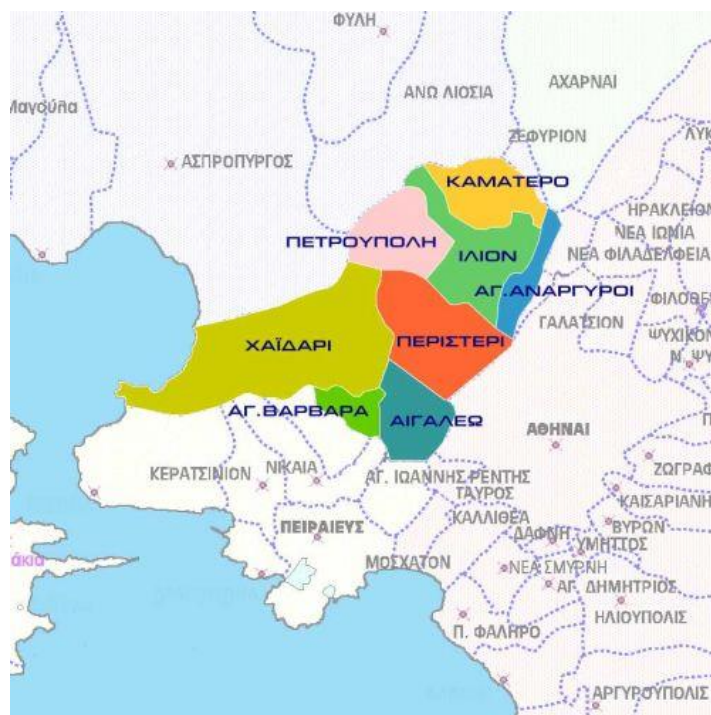


*Εικόνα 2.4: Χαρακτηριστική γειτονιά του δήμου Περιστερίου 1934
(www.peristeri.gr)*

Ωστόσο, με ευρήματα πιστοποιήθηκε η ανθρώπινη παρουσία πριν από 25 αιώνες κατατάσσοντάς το Δήμο του Περιστερίου έναν από τους πιο παλιούς Δήμους. Η διαπίστωση αυτή ενισχύθηκε και από το γεγονός της μεγάλης συγκομιδής αρχαίων ευρημάτων, σαρκοφάγων, αγγείων, μαρμάρινων επιτύμβιων, πλακών, αρχαίων νομισμάτων και κτερισμάτων. Ευρήματα που σήμερα με την βοήθεια των ανασκαφών γίνονται για λόγω της Αττικό Μετρό και μετά από πολλά χρόνια γύρισαν πίσω στη γη που ανήκαν.

2.3. Πληθυσμιακά Στοιχεία

Με βάση το site Δήμου Περιστερίου, το Περιστερί αποτελεί τον μητροπολιτικό Δήμο της Δυτικής Αθήνας και τον 4^ο Δήμο της χώρας σε πληθυσμό. Συνορεύει με τους Δήμους Ιλίου (βόρεια), Αθηναίων (ανατολικά), Αιγάλεω (νότια), Χαϊδαρίου (δυτικά) και Πετρούπολης (βορειοδυτικά).



*Εικόνα 2.5: Η θέση του Δήμου Περιστερίου στο Νομό Αττικής
(www.peristerinews.gr)*

Η επίσημη απογραφή της Στατιστικής Υπηρεσίας το 2001 εκτιμά τον πληθυσμό του σε 146.743 δημότες με σύνολο κατοικιών 60.519, ενώ τα στατιστικά δελτία καταναλωτών της ΔΕΗ εκτιμούν πληθυσμό πλέον των 250.000 κατοίκων. (Ε.Σ.Υ.Ε., 2001)

Η συνολική έκταση που διαθέτει ο Δήμος Περιστερίου είναι 11.000 στρέμματα, από τα οποία η νομοθετημένη έκταση καλύπτει τα 9.770 στρέμματα. Η περιοχή παρουσιάζει τάση συνεχώς αύξησης της δόμησης, με μόνη εξαίρεση το σημερινό Δημοτικό Άλσος (κοντά στο Εκθεσιακό Κέντρο), έκτασης 850 στρεμμάτων. (ιστοσελίδα Δήμου Περιστερίου: www.peristeri.gr)

Για την αντιμετώπιση αυτής της συνεχώς αυξανόμενη πυκνοδόμησης έγινε αναθεώρηση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου, έτσι ώστε τα όρια του Δήμου να επεκταθούν κατά 2,000 στρέμματα και να γίνει χωροθέτηση δημοτικών διαμερισμάτων, επέκταση προστασίας Ποικίλου Όρους και καθιέρωση τουριστικής και εμπορικής ζώνης.

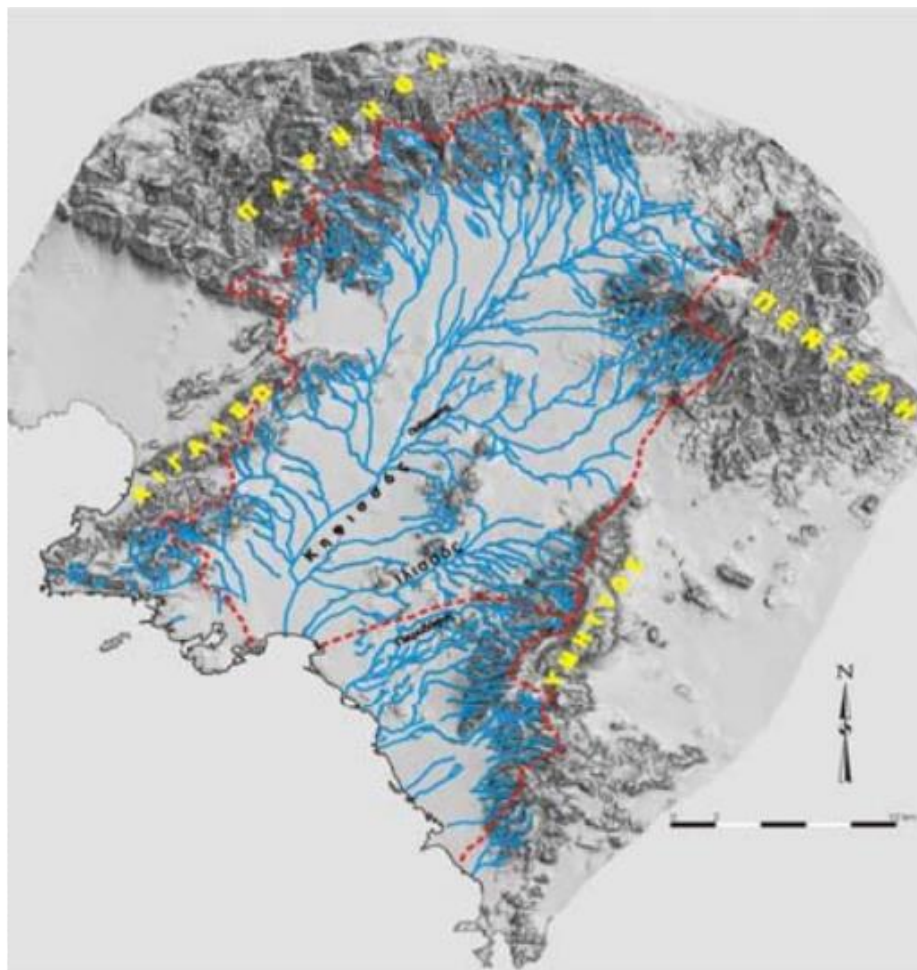
3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ

3.1. Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα μορφολογικά γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία όπως προέκυψαν από παλαιότερες αλλά και νεότερες γεωτεχνικές έρευνες του μελετητικού Γραφείου Παναγία Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε για την στενή αλλά και την ευρύτερη περιοχή μελέτης.

3.2. Μορφολογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης-Αττική

Η περιοχή του έργου εντάσσεται στην λεκάνης του Περιστερίου, το γεωλογικό υπόβαθρο του οποίου στο μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από Αθηναϊκούς Σχιστόλιθους, με μεγάλα τμήματα του συστήματος των Σχιστόλιθων να καλύπτονται από μικρού έως μεγάλου πάχους νεώτερης ηλικίας σχηματισμούς του Νεογενούς & του Τεταρτογενούς.



Εικόνα 3.1: Μορφολογία Λεκανοπεδίου Αττικής (Λουπασάκης, 2014)

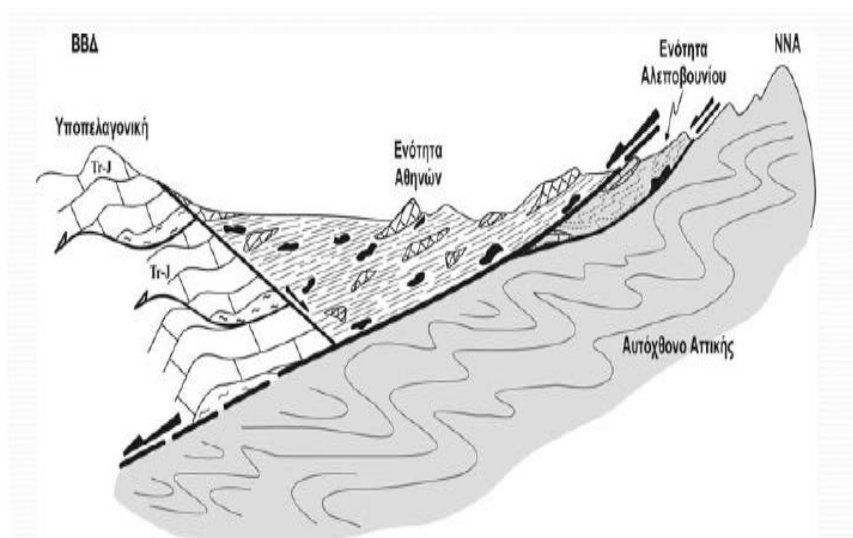
3.3. Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας

Στη γεωλογική δομή του λεκανοπεδίου της Αττικής, στους ορεινούς όγκους και στους μικρούς λόφους εντοπίζονται οι αλπικοί σχηματισμοί, ενώ οι ενδιάμεσοι και οι υποκείμενοι αλπικοί σχηματισμοί καλύπτονται ασύμφωνα από τους μεταλλικούς σχηματισμούς. (Λουπασάκης, 2013^α- 2014^β)

Το Λεκανοπέδιο των Αθηνών καταλαμβάνει ουσιαστικά το βορειοδυτικό περιθώριο του Αττικοκυκλαδικού μεταμορφικού συμπλέγματος με τη μορφή βυθίσματος. Δυτικά και βόρεια οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Αιγάλεω, του Ποικίλου και της Πάρνηθας, οι οποίοι δομούνται από τους αμεταμόρφωτους σχηματισμούς της Υποπελαγονικής Ενότητας, ενώ Ανατολικά και βορειοανατολικά οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Υμηττού και της Πεντέλης, οι οποίοι δομούνται από μεταμορφωμένα πετρώματα της σχετικά αυτόχθονης Ενότητας Αττικής και προς τα Νοτιοδυτικά ανοίγεται προς τον Σαρωνικό κόλπο.

Η Ενότητα Αθηνών παρουσιάζει δύο διευθύνσεις αξόνων πτυχών:

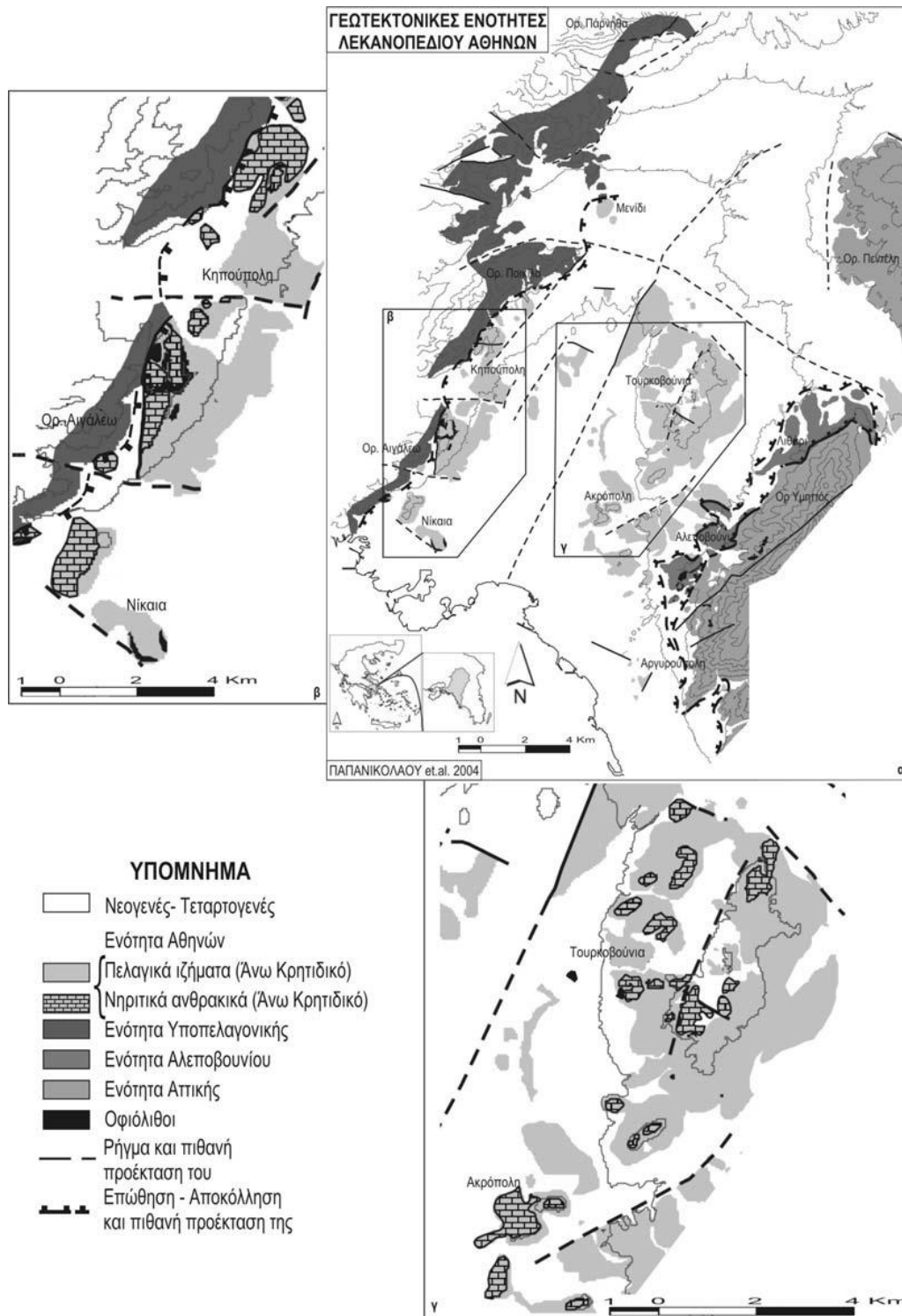
ένα σύστημα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και ανύψωση προς ΝΑ, όπου βρίσκονται τα πετρώματα της Ενότητας Αλεποβουνίου και του σχετικά αυτόχθονου μεταμορφωμένου της Αττικής και ένα δεύτερο σύστημα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ με βύθιση προς ΒΔ, όπου βρίσκονται τα αμεταμόρφωτα πετρώματα της Υποπελαγονικής και της Ενότητας Αθηνών. (Παπανικολάου, 2004)



Εικόνα 3.2: Γεωλογική δομή ευρύτερης περιοχής των Αθηνών (Παπανικολάου, 2004)

Το πρώτο σύστημα συνδέεται πιθανότατα με την αλπική παραμόρφωση του Ηωκαίνου ενώ το δεύτερο σύστημα με την μεταγενέστερη φάση ανόδου των μεταμορφωμένων στην επιφάνεια.

Αναλυτικά, τα αμεταμόρφωτα πετρώματα της Υποπελαγονικής και της Ενότητας Αθηνών εμφανίζουν μια βύθιση προς τα Βορειοδυτικά, ενώ τα πετρώματα της Ενότητας Αλεποβουνίου και του σχετικά αυτόχθονου μεταμορφωμένου της Αττικής εμφανίζουν ανύψωση προς τα Νότιοανατολικά δημιουργώντας μια ζώνη τεκτονικής αποκόλλησης εφελκυστικού χαρακτήρα.



Εικόνα 3.3: α) Γεωτεκτονικές ενότητες του Λεκανοπεδίου Αθηνών. β-γ) Λεπτομερείς χάρτες του δυτικού και του κεντρικού Λεκανοπέδιου αντίστοιχα, στους οποίους διακρίνονται οι εμφανίσεις νηριτικών Ανωκρητιδικών ανθρακικών μέσα στα σχιστοψαμμιτικά και πελαγικά ιζήματα της Ενότητας Αθηνών. (Παπανικολάου, 2004)

3.4. Γεωλογία στη στενή περιοχή του σταθμού

3.4.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί

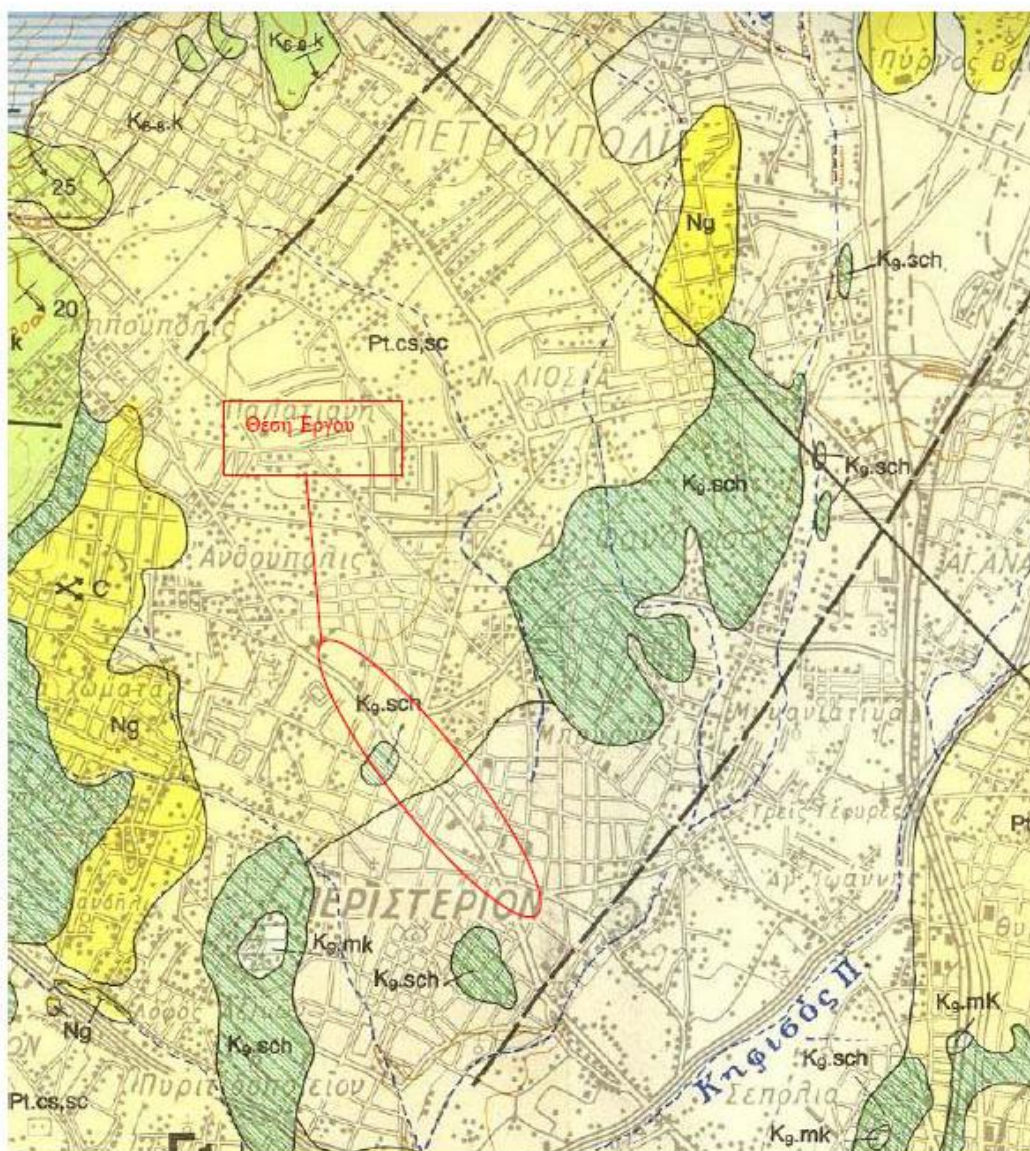
Η περιοχή του έργου εντάσσεται εντός της λεκάνης του Περιστερίου της οποίας το γεωλογικό υπόβαθρο συνιστάται από τους Αθηναϊκούς Σχιστολίθους, με μεγάλα τμήματα του συστήματος των Σχιστολίθων να καλύπτονται από μικρού έως μεγάλου πάχους νεώτερης ηλικίας σχηματισμούς του Νεογενούς & του Τεταρτογενούς.

Ο σχιστόλιθος Αθηνών αποτελεί έναν κυρίως κλαστικό δυναμο-μεταμορφωμένο σχηματισμό, φλυσχοειδούς χαρακτήρα. Οι βασικοί πετρολογικοί τύποι που επικρατούν είναι ιλυόλιθοι, αργιλικό σχιστόλιθοι, μεταψαμμίτες, χαλαζίτες και κροκαλοπαγή, οι οποίοι εναλλάσσονται μεταξύ τους με μεγάλη συχνότητα τόσο στρωματογραφικά όσο και πλευρικά, με επικράτηση κατά θέσεις του ενός ή του άλλου. (Παπανικολάου, 2004)

Με βάση τη γεωτεχνική αξιολόγηση του Σταθμού μελέτης, παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι σχηματισμοί που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή του έργου (Παναγία, 2007) :

- Βόρεια και βορειοδυτικά στη θέση του έργου οι συμπαγείς και ανακρυσταλλωμένοι Ασβεστόλιθοι του όρους Αιγάλεω, οι οποίοι διακρίνονται από το λευκό έως τεφρό χρώμα .
- Οι «Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι» που 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 και κυρίως σπλιτών αποτελούν το άμεσο υπόβαθρο της περιοχής του έργου. Νοτιοδυτικά της περιοχής του έργου παρατηρείται ανάδυση των σχιστολίθων στην επιφάνεια του εδάφους.
- Τα Νεογενή ιζήματα (Ng) που συνίστανται από εναλλασσόμενα στρώματα, λιμναίας φάσης, μαργών, αργίλων και ψαμμιτών, με παρεμβολές κροκαλοπαγών και κοιτάσματα λιγνιτών αποτελούν κύρια επιφανειακή εμφάνιση δυτικά της θέσης του έργου. 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.

Στην παρακάτω Εικόνα 3.4 απεικονίζεται η γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 3.4: Γεωλογικός Χάρτης Περιοχής Μελέτης (Παναγιά, 2007).

3.4.2. Γεωτεχνική ταξινόμηση των σχηματισμών που συναντήθηκαν

Η ομαδοποίηση των σχηματισμών στην περιοχή κατασκευής του σταθμού «Ανθούπολη» έλαβε υπόψη τις καταγεγραμμένες τιμές των γεωτρήσεων και των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών, με βάση τα γεωτεχνικά τους χαρακτηριστικά, ενοποιώντας σε σύνολο οκτώ (8) γεωτεχνικών ενότητων, όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο σχέδιο της γεωλογικής μηκτομής (Παναγιά, 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 Μεταψαμμίτης. Κατά θέσεις εμφανίζεται ασβεστιτικός έως ιλυώδης.
- Τεφρός έως τεφροπράσινος, μέτρια ασθενής έως μέτρια ισχυρός, μέτρια αποσαθρωμένος, Μεταψαμμίτης. Κατά θέσεις εμφανίζεται ασβεστιτικός.
- Τεφρός, ισχυρός, μέτρια τεκτονισμένος Ασβεστιτικός Μεταψαμμίτης.

- Τεφροπράσινος, μέτρια ασθενής έως ασθενής, μέτρια έως εντελώς αποσαθρωμένος (εξαλλοιωμένος) Μεταίλυόλιθος.
- Σκουρότεφρος μέτρια ασθενής έως ασθενής, μέτρια έως εντελώς αποσαθρωμένος (εξαλλοιωμένος) Αργιλικός Σχιστόλιθος.
- Υπόλευκη έως καστανοκίτρινη, μέτρια έως έντονα αποσαθρωμένη, ασθενής Μάργα.
- Υπόλευκη έως καστανοκίτρινη, συμπαγής, μέτρια ισχυρή, αμμώδης Μάργα.

Οι «Τεχνητές Επιχώσεις» και οι «Επιφανειακές Αποθέσεις», είχαν πάχος σχηματισμού που κυμαινόταν από 0.70 m (στην γεώτρηση Γ16) έως 3.5 m (στην αρχή του σταθμού στην χ.θ.2+342.89) και μοιράζονταν κοινά φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά, οπότε γεωτεχνικά περιλαμβάνονταν στην ίδια ενότητα, αν και από γεωλογική άποψη ανήκαν σε διαφορετικές ενότητες, καθώς η προέλευσή τους ήταν διαφορετική.

Ο λατυποπαγές μεταψαμμίτης συνίσταται με τη μορφή ισχυρού και αποσαθρωμένου μεταψαμμίτη και εμφάνιζε πράσινο έως τεφροπράσινο χρώμα.

Ο αργιλικός σχιστόλιθος υπόκειται του τεκτονικού λατυποπαγούς μεταψαμμίτη και είχε σκουρότεφο χρώμα.

Ο «Αθηναϊκός Σχιστόλιθος», εμφανιζόταν κυρίως, ως πτωχής ποιότητας βραχομάζα, κερματισμένος και μέτρια έως έντονα αποσαθρωμένος ενώ, κατά θέσεις, εδαφοποιημένος.

Ο «Μεταψαμμίτης» όσο και ο «Μεταίλυόλιθος» κατατάσσονται ως «αργιλώδης άμμος με χάλικες», χαμηλής πλαστικότητας έως μη πλαστική όπως προκύπτει από τις κοκκομετρικές αναλύσεις και τις δοκιμές προσδιορισμού των ορίων Atterberg . Πέρα όμως από την κοκκομετρία και την πλαστικότητα οι δύο φάσεις του σχηματισμού, διέθεταν κοινά χαρακτηριστικά σ' ότι αφορά τη δομή, καθώς και στις δύο περιπτώσεις η δομή του εδάφους διαφοροποιήθηκε, από θέση σε θέση, από την άποψη του κερματισμού, της αποσάθρωσης ή/και της εξαλλοίωσης, εντός κοινών ορίων. (Πανγαία, 2007)

3.5. Γεωλογική δομή στην στενή περιοχή του Σταθμού «Ανθούπολη»

Ο σταθμός Ανθούπολη χωρίστηκε σε τρία (3) επί μέρους τμήματα με διαφορετικά απλοποιημένα γεωτεχνικά προσομοιώματα σχεδιασμού (Πανγαία, 2007):

Α. Περιοχή Π1 : Αφορά στην περιοχή του σταθμού από την χ.θ. 2+342.89 (αρχή σταθμού) έως και την χ.θ. 2+390 περίπου. Στην Εικόνα 3.5 παρατίθεται για την Περιοχή Π1 η αντίστοιχη απλοποιημένη γεωτεχνική τομή σχεδιασμού.



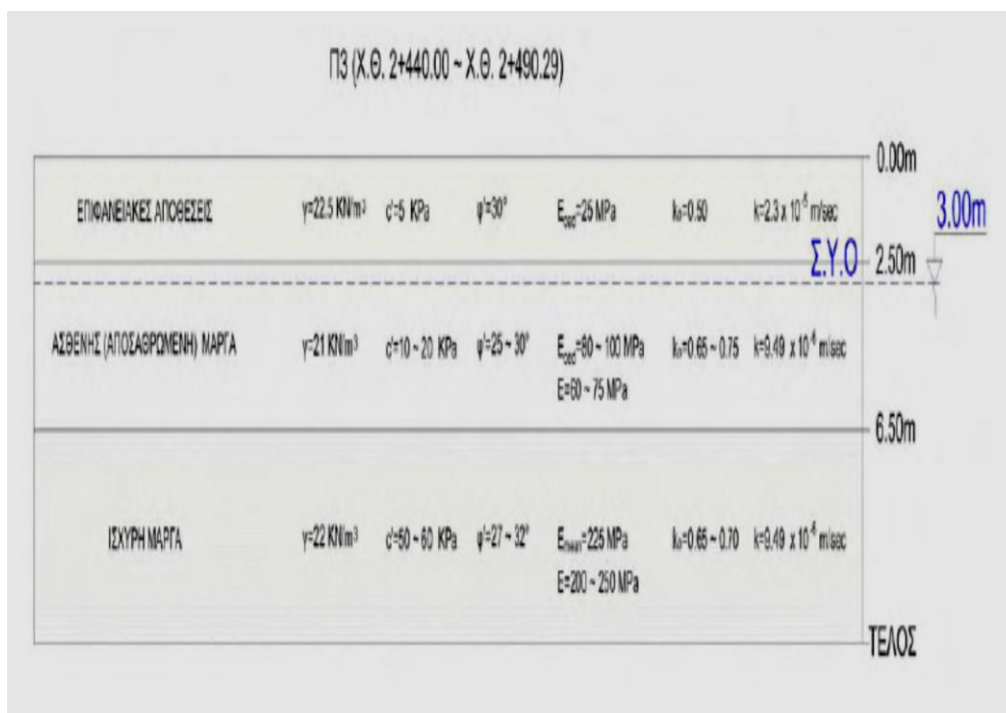
Εικόνα 3.5: Γεωτεχνικό Προσομοίωμα Π1 (Παναγιά, 2007)

Β. Περιοχή Π2 : που αφορά και την περιοχή μελέτης εκτεινόταν από την Χ.Θ. 2+390 έως και την Χ.Θ.2+440. Βάση των χαμηλών τιμών αντοχής και παραμορφωσιμότητας η Περιοχή 2 παρουσιάζει πιο έντονη ζώνη διάτμησης στην επαφή του ισχυρού μεταψαμμίτη με την ισχυρή μάργα παρά σε σχέση με την ασθενέστερη επαφή ισχυρής μάργας με ισχυρού μεταψαμμίτη. Όπως προέκυψε και από την πρεσσιομετρική δοκιμή CBSR1P, οι χαμηλές τιμές του EMenard επιβεβαίωσαν το μειωμένο μέτρο ελαστικότητας της ζώνης αυτής. Παράλληλα, με βάση τις προτεινόμενες τιμές αντοχής και παραμορφωσιμότητας των σχηματισμών του Μεταίλυολίθου και του Αργιλικού Σχιστολίθου, οι σχηματισμοί αυτοί ενοποιήθηκαν σε έναν ενιαίο σχηματισμό. Στην Εικόνα 3.6 για την Περιοχή Π2 παρατίθεται η αντίστοιχη απλοποιημένη γεωτεχνική τομή σχεδιασμού.



Εικόνα 3.6: Γεωτεχνικό Προσομοίωμα Π2 (Παναγιά, 2007)

Γ. Περιοχή Π3 : Αφορά την περιοχή του σταθμού από την χ.θ. 2+440 έως και την χ.θ. 2+490.29 (τέλος σταθμού). Στην Εικόνα 3.7 για την περιοχή Π3 παρατίθεται η αντίστοιχη απλοποιημένη γεωτεχνική τομή σχεδιασμού.



Εικόνα 3.7: Γεωτεχνικό Προσομοίωμα Π3 (Παναγιά, 2007)

3.6. Υδρογεωλογικό Καθεστώς

3.6.1. Υδρογεωλογικές συνθήκες

Στο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει ο Κηφισός Ποταμός, ο οποίος αποτελεί τον κύριο και τελικό αποδέκτη όλων των υπολοίπων ρεμάτων.

Τα υπόγεια ύδατα, σύμφωνα με τις υδροϊσοβαθείς καμπύλες, παρουσίαζαν σχεδόν παράλληλη ροή με τη διεύθυνση του άξονα της σήραγγας στην περιοχή του έργου (Παναγία, 2007).

Λαμβάνοντας υπόψη όμως τους ανωτέρους γεωλογικούς σχηματισμούς, ο Αθηναϊκός Σχιστόλιθος χαρακτηρίζεται κυρίως ως υδατοστεγανός σχηματισμός.

3.6.2. Μετρήσεις και δοκιμές στις ανορυχθείσες γεωτρήσεις

Σε καθημερινή βάση, μετρήθηκε και καταγράφηκε η στάθμη του νερού μέσα στις γεωτρήσεις πριν την έναρξη (πρωινή) και μετά το πέρας (βραδινή) των εργασιών υπαίθρου. Από αυτές μόνο η πρωινή θεωρήθηκε αντιπροσωπευτική τιμή για τη στάθμη των υπόγειων υδάτων εξαιτίας του μεγαλύτερου χρόνου ηρεμίας, καθώς οι υπόλοιπες μετρήσεις ήταν επηρεασμένες από το νερό που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάτρηση, όποτε δεν αποτέλεσαν έγκυρες τιμές.

Στον Πίνακα 3.1 δίδονται οι καθημερινές καταγραφές της στάθμης (πρωί – βράδυ) σε σχέση με την ημερήσια πρόοδο ανόρυξης, το βάθος και τον τύπο της σωλήνωσης.

Πίνακας 3.1: Οι τιμές των ημερήσιων σταθμών γεωτρήσεων (Παναγία, 2007)

ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ								
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ (m)		ΤΥΠΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ - σχετικό (m)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
			ΑΠΟ	ΕΩΣ		Πρωί	Βράδυ	
CBSP1	4.1.2007	6.20	0.00	2.50	Φ140	---	1.60	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 2.40-31.00m.
	5.1.2007	12.20	0.00	2.50	Φ140	3.00	1.20	
	8.1.2007	19.30	0.00	2.50	Φ140	3.20	1.40	
	9.1.2007	24.60	0.00	2.50	Φ140	3.40	1.50	
	10.1.2007	31.00	0.00	2.50	Φ140	3.20	1.70	
CBSP2	18.12.2006	9.50	0.00	3.00	Φ140	---	1.05	---
	19.12.2006	18.80	0.00	3.00	Φ140	4.60	3.10	
	20.12.2006	27.40	0.00	3.00	Φ140	5.10	2.90	
	21.12.2006	31.00	0.00	3.00	Φ140	5.50	2.40	
CBSP3	11.12.2006	14.20	0.00	7.90	Φ140	---	2.50	Απώλειες επιστρεφόμενων υδάτων της τάξης του 10% στο βάθος 2.00-5.40m.
	12.12.2006	19.80	0.00	7.90	Φ140	3.00	2.70	
	13.12.2006	26.90	0.00	7.90	Φ140	3.20	2.80	
	14.12.2006	31.20	0.00	7.90	Φ140	3.50	3.00	
CBSP4	18.12.2006	8.40	0.00	2.70	Φ140	---	1.30	---
	19.12.2006	20.50	0.00	2.70	Φ140	1.80	2.20	
	20.12.2006	29.50	0.00	2.70	Φ140	2.50	2.80	
	21.12.2006	31.00	0.00	2.70	Φ140	2.90	2.50	

Παρατηρείται ότι ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει μικρή αυξομείωση πρωινής και βραδινής στάθμης γεγονός που συμφωνεί με τις χαμηλές τιμές περατότητας.

Αναλυτικά από τα αποτελέσματα των δοκιμών όπως προέκυψαν οι διαπερατότητες ήταν χαμηλές μέχρι πολύ χαμηλές και κυμαίνονταν από 10^{-4} μέχρι 10^{-6} cm/sec, ενώ σε πολλές δοκιμές εισπίεσης οι απώλειες στις μάργες και τους σχιστόλιθους ήταν μηδενικές, επιβεβαιώνοντας την αρχική θεώρηση ότι λόγω του υψηλού ποσοστού λεπτόκοκκων, το νερό συγκρατιόταν μέσα στους κόκκους διαμορφώνοντας ένα κορεσμένο πορώδες και έναν αδιαπέρατο σχηματισμό (Πανγαία, 2007).

Στις γεωτρήσεις που ανορύχθησαν ακολουθώντας το 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.

3.6.3. Δοκιμές υδροπερατότητας Maag

Η δοκιμή Maag, χρησιμοποιείται σε περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών, δηλαδή υλικών με χαμηλή υδροπερατότητα.

Συγκεκριμένα η διαδικασία της δοκιμής περιλαμβάνει την παροχέτευση νερού στη γεώτρηση και τη μέτρηση του χρόνου που χρειάζεται για να κατέβει η στάθμη που δημιουργήθηκε σε μια πιο χαμηλή θέση.

Σε περίπτωση που το πρόσθετο υδραυλικό φορτίο έναντι της υδροστατικής στάθμης του υδροφόρου υπερβαίνει το ύψος των 2 μέτρα και η στάθμη πέφτει περίπου 10 εκατοστά, τότε πραγματοποιούνται κάθε φορά οι μετρήσεις του χρόνου στάθμης.

Σε άλλη περίπτωση που το φορτίο είναι σε ύψος λιγότερο από ένα μέτρο οι αναγνώσεις της πτώσης της στάθμης θα γίνονται κάθε 1, 2 ή και 5cm.

Έτσι, οι μετρήσεις συνεχίζονται μέχρι το πρόσθετο υδραυλικό φορτίο να μειωθεί κατά 20%. (Λουπασάκης, 2013^α – 2014^β)

3.6.4. Δοκιμές Εισπίεσης Lugeon

Όπως προαναφέρθηκε, κατά τη διάρκεια των διατρητικών εργασιών των γεωτρήσεων, σε βραχώδεις σχηματισμούς εκτελέστηκαν δοκιμές εισπίεσεως τύπου Lugeon για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας του βραχώδους υποβάθρου.

Στη δοκιμή Lugeon το δοκιμαζόμενο τμήμα εκτείνεται έως τον πυθμένα της γεώτρησης και έχει μήκος 1 - 5m.

Απαραίτητα εργαλεία είναι ένα μανόμετρο, ένας υδρομετρητής και μια βαλβίδα ανακούφισης, προσαρμοσμένα σε κατάλληλο αεριοφυλάκιο (πιεστικό καζανάκι), επιτρέπουν τη μέτρηση της ποσότητας νερού που απορροφήθηκε, για κάθε βαθμίδα πίεσης.

Κατάλληλο παρέμβυσμα διογκούμενο με ειδική τεχνική (packer), εφάπτεται ερμητικά με τα τοιχώματα της γεώτρησης απομονώνοντας με αυτό τον τρόπο από πάνω το δοκιμαζόμενο τμήμα. Με τη διαδικασία αυτή κατά την διάρκεια της δοκιμής περιορίζεται η διαφυγή νερού μέσα από την στήλη της γεώτρησης. Μετά την απομόνωση, εισπνέζεται νερό από την επιφάνεια του εδάφους με τη βοήθεια αντλίας.

Η δοκιμή εκτελείται με την εφαρμογή πίεσης κατά βαθμίδες.

Κάθε βαθμίδα πίεσης διαρκεί 5 έως 10min και η ποσότητα του νερού που απορροφάται από τη βραχομάζα μετριέται με τη χρήση του υδρομετρητή.

Σε κάθε τεχνικό έργο η δοκιμή γίνεται με την εφαρμογή κατάλληλα επιλεγμένων πιέσεων προσαρμοσμένων στις πιέσεις λειτουργίας του.

Μέχρι την πλήρη αποτόνωση του δοκιμαζόμενου θύλακα, προσεγγίζεται η μέγιστη πίεση με βαθμίδες σταδιακά αυξανόμενης πίεσης και μετά την επίτευξη της οι βαθμίδες επαναλαμβάνονται με ανάστροφη φορά.

Ακολουθώντας την μεθοδολογία της δοκιμή Lugeon μετρήθηκε η απορροφημένη ποσότητα νερού στο εισπιεζόμενο τμήμα με διάφορες βαθμίδες πίεσεως σε ανιόντα και κατιόντα βήματα σε συνάρτηση με το χρόνο. Έτσι η ενδεικτική τιμή του μέσου συντελεστή διαπερατότητας, αντιστοιχούσε στη μέση τιμή των συντελεστών από όλα τα βήματα και για όλα τα βάθη της δοκιμής.

Συμπεραίνεται ότι τα βήματα πίεσεως, που επελέγησαν για τις δοκιμές Lugeon ήταν ανάλογα με το βάθος δοκιμής, τη δομή του πετρώματος και τη φύση των ασυνεχειών. (Λουπασάκης 2013^α – 2014^β)

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

4.1. Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναλυτική παρουσίαση των μέτρων υποστήριξης που εφαρμόστηκαν στην ανοιχτή εκσκαφή που σχεδιάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής και των χαρακτηριστικών τους.

Η προσωρινή υποστήριξη του Σταθμού σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη τις γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που συναντήθηκαν κατά μήκος του σταθμού. Ο σχεδιασμός του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης είχε σκοπό την εξασφάλιση της γενικής ευστάθειας του σκάμματος και την ελαχιστοποίηση των μετακινήσεων του πασσαλότοιχου και τις καθιζήσεις του εδάφους ικανοποιώντας τους περιορισμούς που έχουν τεθεί βάση των προδιαγραφών του Πίνακα 4.1. Οι μέγιστες αυτές τιμές όπως παρατίθενται στο παρακάτω Πίνακα 4.1, είναι αυτές που θα μπορούσε να παραλάβει η κατασκευή χωρίς να μεταβαλλόταν η στατική της λειτουργία και να προέκυπτε γενικά κίνδυνος για την ευστάθεια της κατασκευής.

Οι περιορισμοί αυτοί όπως προέκυψαν από τα συμβατικά τεύχη και τις προδιαγραφές μελετών έργων πολιτικού μηχανικού συνοψίζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Συνοπτική παρουσίαση μέγιστων επιτρεπόμενων τιμών μετακινήσεων (Ο.Τ.Μ, 2007)

A/A	Μετακίνηση, παραμόρφωση	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

Τα όρια συναγερμού ταυτίζονται με την οριακή αντοχή, θέτοντας τον ελάχιστο συντελεστή ασφάλειας ίσο με 1.50.

Ο Σταθμός κατασκευάστηκε τμηματικά σε φάσεις.

Στην φάση Α κατασκευάστηκε το κεντρικό «κουτί» του Σταθμού, στην φάση Β κατασκευάστηκε το τμήμα που καταλαμβάνει την πλευρική διεύρυνση στην Βόρεια πλευρά του (Κύρια Είσοδος), το οποίο πραγματοποιήθηκε σε δύο υποφάσεις, ενώ στη Γ φάση κατασκευάστηκε η Εισόδου από την Λεωφ. Θηβών.

Το επικρατέστερο σύστημα αντιστήριξης του Σταθμού που εφαρμόστηκε για όλες τις φάσεις κατασκευής του περιλάμβανε πασσάλους οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάστηκαν στο περίγραμμα του ορύγματος και υποστηρίχθηκαν από μια σειρά πυκνών σε διάταξη αντηρίδων στο ανώτατο τμήμα και από προεντεταμένες αγκυρώσεις σε αντίστοιχες σειρές στο υπόλοιπο ύψος του σκάμματος.

4.2. Ανάλυση προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού

Με βάση τα στοιχεία σχεδιασμού της αντιστήριξης του σταθμού αναφέρεται ότι το σκάμμα αντιστηρίχτηκε από πασσαλοστοιχίες, διαμέτρου πασσάλων και αποστάσεων που διαφέρουν για τις τρεις περιοχές του Σταθμού (με διαφορετικά αντίστοιχα γεωτεχνικά προφίλ).

Ενδεικτικά στην Α φάση που αφορούσε το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής και εντάχθηκε στην Περιοχή 1 έγινε χρήση πασσάλων Φ1.0/2.0, για την Περιοχή 2 που είναι και η περιοχή μελέτης έγινε χρήση πασσάλων Φ1.0/1.50 και τέλος για την Περιοχή 3 χρησιμοποιήθηκαν πάσσαλοι Φ0.80/2.0 (Ο.Τ.Μ, 2007).

Οι αντηρίδες τοποθετήθηκαν πλησίον της επιφάνειας του εδάφους σε πυκνή διάταξη (σε αποστάσεις 4μ κατά κανόνα μεταξύ τους) με Φ914, στο ανώτερο τμήμα των πασσάλων εκεί όπου εδράστηκε το τμήμα του άκαμπτους διαμήκους κεφαλόδεσμου διαστάσεων 1.50X1.50m.

Σημειώνεται εδώ ότι οι αντηρίδες τοποθετήθηκαν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και έτσι εξασφαλίστηκε η απόλυτη «σφήνωση» αυτών (με μέσα μηχανικά ή εφαρμογή χαμηλού επιπέδου προέντασης).

Σε όλο το υπόλοιπο ύψος εκσκαφής οι πάσσαλοι αντιστηρίχτηκαν με 6 σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων, η φέρουσα ικανότητα και το μήκος των οποίων διαφοροποιήθηκε συνάρτηση πάντα της περιοχής εφαρμογής τους αποφεύγοντας έτσι την εμπλοκή τους με τα θεμέλια των παρακείμενων κτηρίων. Μεταξύ των πασσάλων

εφαρμόστηκε πέτασμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10–15εκ., για την εξασφάλιση από καταπτώσεις τους μεταξύ αυτών και του εδάφους.

Στην Β φάση το σύστημα αντιστήριξης που εφαρμόστηκε ήταν ένας συνδυασμός από πασσαλοστοιχία Φ1.0/1.50 και από ένα σύστημα προεντεταμένων αγκυρώσεων σε 5 ή 6 σειρές.

Τονίζεται ότι προληπτικά για να μην προκύψουν προβλήματα με τις εξόδους των κτιρίων που συνορεύουν με το σκάμμα είχε προσαρμόσει μεταβλητή στάθμη κεφαλής των πασσάλων καθώς και των κεφαλοδέσμων ακολουθώντας την διαμορφωμένη στάθμη επιφανείας.

Προσδιορίστηκαν επίσης τα εντατικά μεγεθών των δομικών στοιχείων που αποτέλεσαν το σύστημα και έγινε ο έλεγχος της επάρκειας τους, αφού αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν.

Για να μην προέκυπτε κίνδυνος για την ασφάλεια του συστήματος αλλά και των παρακείμενων στα όρια του σκάμματος κατασκευών, εκτιμήθηκαν εξ αρχής τα τελικά μεγέθη και οι παραμορφώσεις που θα μπορούσαν να προκληθούν κατά την εκσκαφή.

Στο προσομοίωμα που σχεδιάστηκε για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής διαφοροποιείται σε αρκετά στοιχεία του από την πραγματική εκσκαφή. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή της κύριας εκσκαφής χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω μέτρα υποστήριξης:

Για την Περιοχή 2-M2A που είναι το κεντρικό τμήμα του Σταθμού τοποθετήθηκαν οι πάσσαλοι της πρώτης φάσης που κατασκευάστηκαν στα όρια του κεντρικού «κουτιού»:

- Μια σειρά σωληνωτών αντηρίδων, όπου η πρώτη τοποθετήθηκε πάνω στον κεφαλόδεσμο στην στάθμη -2.00 m.
- Έξι σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, που είχαν διατομή 4Φ0.6 με κάρνα 1.50 m × 3.50 m, κατασκευασμένα από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900. Η τοποθέτηση της πρώτης σειρά των αγκυρίων έγινε στα 2.5 m χαμηλότερα από την τελευταία αντηρίδα, δηλαδή στα 4.5 m, η δεύτερη σειρά στα -7.5m, η Τρίτη σειρά στα 10m, η Τέταρτη σειρά στα 12.5 m, η Πέμπτη σειρά 15 m και η έκτη σειρά στα 17.5 m.

4.3. Αναλυτική παρουσίαση επί μέρους στοιχείων υποστήριξης

4.3.1. Διαφραγματικός τοίχος (Αλληλοτεμνόμενοι πάσσαλοι)

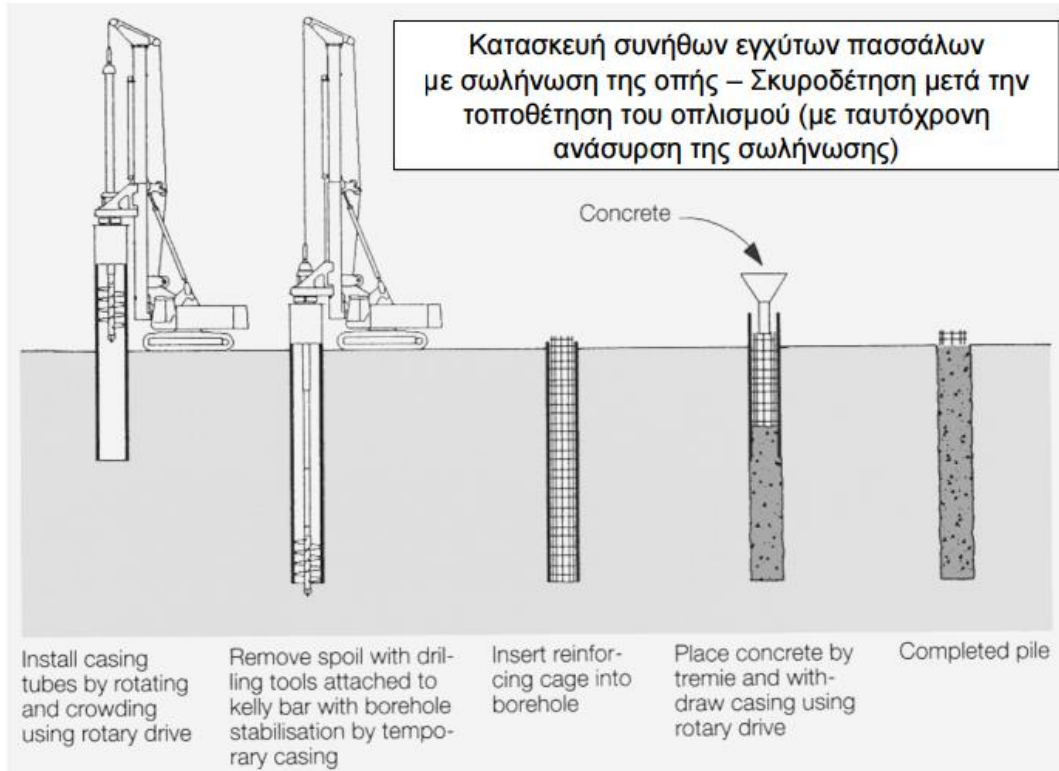
Σύμφωνα με τις γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές συνθήκες στον σταθμό μελέτης αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν πάσσαλοι με περισσότερες από μια στάθμες αγκύρωσης.

Αρχικά για το σχεδιασμό ενός πασσαλότοιχου λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος της καταπόνησης που θα δεχθεί. Έπειτα σχεδιάζονται τα αγκύρια και οι αντηρίδες με τέτοιο τρόπο που να μπορούν να αντισταθμίσουν τις ωθήσεις των γαιών, με αποτέλεσμα να έχουμε τις ελάχιστες δυνατές μετακινήσεις εδάφους.

Η ανάλυση της οριακής ευστάθειας του πασσαλότοιχου δεν προσδιορίζει το βάθος έμπηξης του πασσάλου καθώς στους υπολογισμούς θεωρείται ότι οι δυνάμεις που

λαμβάνουν τα αγκύρια ανθίστανται πλήρως στις ωθήσεις των γαιών. Εξάλλου η παθητική αντίσταση εμποδίζεται από τις πολλαπλές στάθμες αγκυρώσεων, οι οποίες και περιορίζουν την κινητικότητα της βάσης του τοίχου. Συνεπώς, από την γενική ευστάθεια του τοιχίου το βάθος έμπηξης λαμβάνεται εμπειρικά 2 – 6m.

Ωστόσο, αν παρόλα αυτά προκύψει κίνδυνος γενικής αστάθειας του τοιχίου με βάση τον εμπειρικό προσδιορισμό του βάθους έμπηξης, για την καλύτερη δυνατή αντιμετώπιση του προβλήματος γίνεται ανασχεδιασμός με μεγαλύτερο μήκος αγκυρώσεις ή προστίθενται επιπλέον αγκύρια κοντά στο τελικό βάθος εκσκαφής.



Εικόνα 4.1 : Στάδια κατασκευής πασσάλων εκσκαφής (Γεωργιαννού Β., Καββαδάς Μ., 2005^α-2006^β)

4.3.2. Αγκύρια

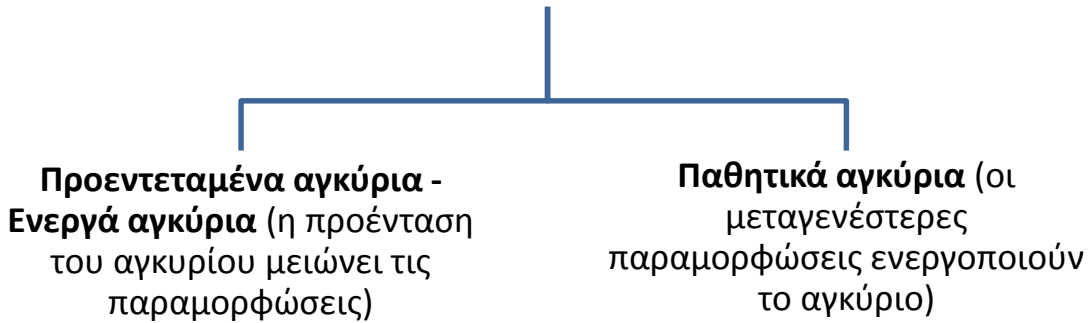
Συνήθως οι ασκούμενες πιέσεις είναι μεγάλες και η χαλάρωση του περιβάλλοντος γεωσχηματισμού (εδάφους ή βράχου) είναι αναπόφευκτη, με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις αντιστηρίξεων, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οι τοίχοι αντιστήριξης από σκυρόδεμα, οι πάσσαλοι πάσης φύσεως, δεν μπορούν να φέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα από πλευράς μεταφοράς εφελκυστικών φορτίων χωρίς την βοήθεια αγκυρίων. Για το λόγο αυτό εφαρμόζονται τα αγκύρια, τα οποία από πλευράς στατικής λειτουργίας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Ρόζος, 2007):

(α) **τα ενεργητικά ή προεντεταμένα αγκύρια (prestressed anchors)**, που είναι κατασκευασμένα από χαλύβδινη ράβδο ή χαλύβδινους τένοντες, μπορεί να εφαρμοστούν προσωρινά ή και μόνιμα στην κατασκευή προεντήνοντας τα κατά την

τελευταία φάση κατασκευής τους δεχόμενοι την ενεργητική φόρτιση της βραχομάζας (μείωση παραμορφώσεων)

(β) **τα παθητικά (passive anchors)** φορτίζονται λόγω της παραμόρφωσης της βραχομάζας, δηλαδή η λειτουργία τους βασίζεται στην αντίστασή τους στην παραμόρφωση αυτή.

Διάκριση αγκυρίων με βάση τη στατική λειτουργία τους



Εικόνα 4.2. : Οργανόγραμμα διάκρισης αγκυρίων βάση στατικότητα (Λουπασάκης, 2015)

Σε εν γένει βραχώδεις σχηματισμούς, η μεταφορά των δυνάμεων γίνεται με το δέσιμο του σώματος ενεμάτωσης και του βραχώδους σχηματισμού, αφού πρώτα τα αγκύρια με τη μορφή τένοντων έχουν εγκατασταθεί υπό τάση μέσα σε διατρήματα γεωτρήσεων (αγκύρια τύπου Α). Ακολουθεί η ενεμάτωση που πραγματοποιείται με τη βοήθεια ειδικού σωλήνα (tremie pipe) και της βαρύτητας. Στην περίπτωση που τμήμα αγκυρίου εντοπισθεί χωρίς ένεμα, συνίσταται η λήψη μέτρων αντιδιαβρωτικής προστασίας. Σε βραχώδεις σχηματισμούς τα αγκύρια έχουν ευρεία εφαρμογή, όπως (Ρόζος, 2007) :

- για την παρεμπόδιση εξωτερικών και ανυψωτικών δυνάμεων,
- για αγκύρωση τοίχων αντιστήριξης,
- για την ευστάθεια πρανών που αστοχούν ή και τεχνιτών πρανών,
- για την σταθεροποίηση κατασκευών με ανισοκατανομές φορτίων,
- ακόμη και στην αύξηση της ευστάθειας φραγμάτων.

Αντίστοιχα, ευρεία εφαρμογή έχουν σε συνεκτικούς ή και μη συνεκτικούς εδαφικούς σχηματισμούς και σε χαλαρούς βραχώδεις, καθώς μέσω χαλύβδινου τένοντα και ενός καλά καθορισμένου σώματος ενέματος τα αγκύρια με ενεμάτωση υπό πίεση (pressure grouted) πραγματοποιούν τη μεταφορά των δυνάμεων στο έδαφος, έτσι ώστε να αντιστηρίζουν :

- πασσαλότοιχους, πάσσαλους κλπ,
- αντιδρούν σε ανυψωτικές δυνάμεις από άνωση ή πλευρικά φορτία,
- μεταφέρουν εξωτερικές δυνάμεις στο έδαφος π.χ. από σεισμούς ή ισχυρούς ανέμους,

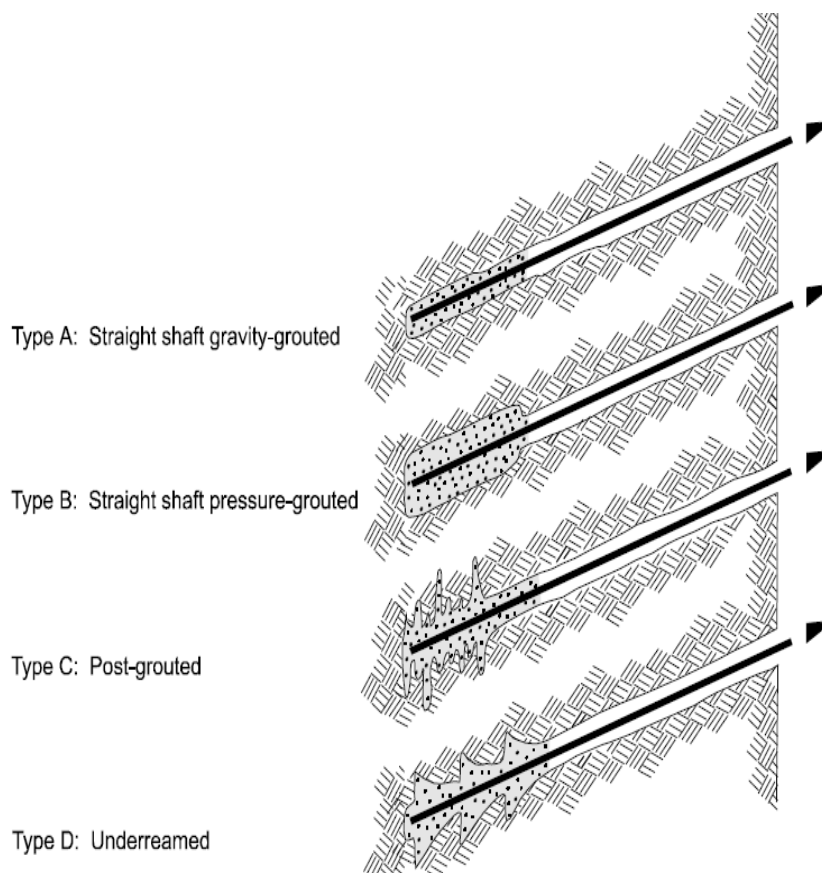
- σταθεροποιούν κατασκευές με ανισοκατανομές φορτίων και σταθεροποιούν πρηνή εκσκαφής ή και αστοχίες πρηνών.

Όπως παρουσιάζεται παρακάτω διακρίνονται τρεις τύποι τέτοιων αγκυρίων (Ρόζος, 2007):

Αγκύρια που ενεματώνονται με ελαφρά πίεση (Τύπου Β), ενδείκνυνται για αμμοχαλικώδη εδάφη, η ενεμάτωση γίνεται με πίεση μεγαλύτερη των 0,35 Μρα και ταυτόχρονη απομάκρυνση του τυχόν χρησιμοποιούμενου διατρητικού σώματος ή της σωλήνωσης. Με τη διαδικασία αυτή προκύπτει ένας βελτιωμένος εδαφικός σχηματισμός στο χώρο του βολβού ενεμάτωσης.

Αγκύρια που ενεματώνονται με ισχυρή πίεση σε μία ή δυο φάσεις (Τύπου C), ενδείκνυται σε λεπτόκοκκα εδάφη, με σταδιακή ενεμάτωση 1 με 2 ημέρες από την πρώτη ενεμάτωση μέσω ειδικού σωλήνα εφοδιασμένου με βαλβίδες αντεπιστροφής. Με τη διαδικασία αυτή προκύπτει ένας αυξανόμενο βολβός ενεμάτωσης, καθώς το νέο ένεμα διαρρηγνύει το παλαιό εισχωρώντας βαθύτερα μέσα στο έδαφος.

Αγκύρια με διαδοχικές διευρύνσεις (Τύπου D), είναι κατάλληλα για αργιλικά εδάφη με αυξημένη αντοχή (>0,90 Kgr/cm²), η διαδικασία που ακολουθείται είναι να εξοπλίζεται η στήλη με ειδική φρέζα, διαμορφώνοντας ομοαξονικά του διατρήματος στο έδαφος διαδοχικά κωνικά ανοίγματα, τα οποία με την ολοκλήρωση του διατρήματος αυξάνουν την αντοχή ελκυσμού του αγκυρίου.

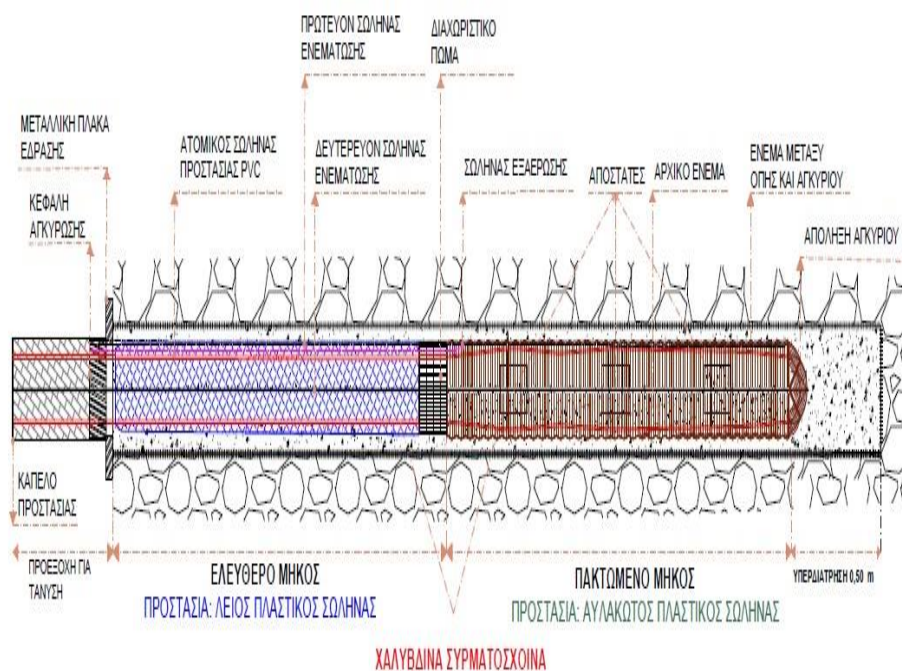


Εικόνα 4.3: Τύποι αγκυρίων ανάλογα με τον τρόπο ενεμάτωσης (U.S Department of Transportation, 1999)

4.3.2.1. Μέρη αγκυριών

Τα μέρη τα οποία αποτελείται ένα αγκύριο είναι :

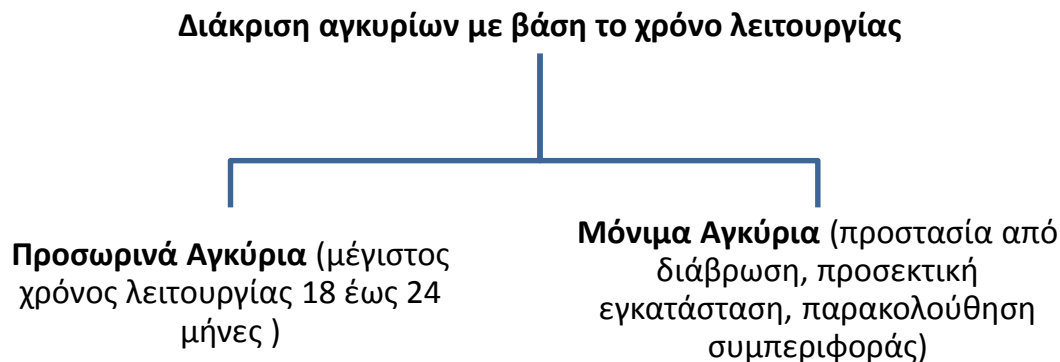
- ✓ **Ο τένοντας**, διακρίνεται στο υπό αγκύρωση (πάκτωση) τμήμα, που μεταβιβάζει τη δύναμη στο έδαφος και στο ελεύθερο τμήμα, που μπορεί να επιμηκύνεται ελεύθερα λόγω της δύναμης αγκύρωσης, μπορεί να είναι μια ράβδος (bar) ή να αποτελείται από κατάλληλο αριθμό χαλύβδινων συρματόσχοινων (strands).
- ✓ **Οι αποστάτες** κατασκευασμένοι από σκληρό πλαστικό με κατάλληλη διάταξη αποτελούν τα μέσα συγκράτησης των χαλύβδινων στοιχείων
- ✓ **Οι σωλήνες ενεμάτωσης**, βοηθούν στην καλή προώθηση του ενέματος
- ✓ **Ο πλαστικός σωλήνας προστασίας** του ελεύθερου μήκους του τένοντα
- ✓ **Το έδρανο ή η πλάκα στήριξης**
- ✓ **Οι κώνοι αγκύρωσης**
- ✓ **Το υλικό ενεμάτωσης**



Εικόνα 4.4: Σχηματική παρουσίαση τμημάτων αγκυρίου (ΕΚΚΑΦ Α.Τ.Ε.Ε)

Με βάση τον τρόπο μεταβίβασης της δύναμης των αγκυριών στο έδαφος, διαχωρίζονται σε αγκύρια συνεχούς πρόσφυσης όπου με τη χρήση ενέματος, κονιάματος ή ρητίνης ένα μεγάλο τμήμα του τένοντα πακτώνεται στο έδαφος μεταφέροντας την δύναμη στον περιβάλλοντα σχηματισμό (πρόσφυση) και σε αγκύρια πρόσφυσης άκρου (σφήνωσης) ή αλλιώς τύπου διαστελλόμενης κεφαλής, όπου μέσω ενός απλού μηχανισμού σφηνώνεται το κατάλληλα διαμορφωμένο άκρο του αγκυρίου στη βραχομάζα. Ανεξαρτήτως του τύπου τα αγκύρια φτάνουν πέρα από την ασταθή ζώνη. Έτσι, δημιουργείται ένας φέροντας δακτύλιος, που είναι ουσιαστικά ο εδαφικός δακτύλιος ο οποίος θα επιβάρυνε με το φορτίο του την επένδυση. (Ρόζος, 2007)

Ακόμη, τα αγκύρια ανάλογα με το χρόνο λειτουργίας διακρίνονται σε **προσωρινά** και **μόνιμα**.

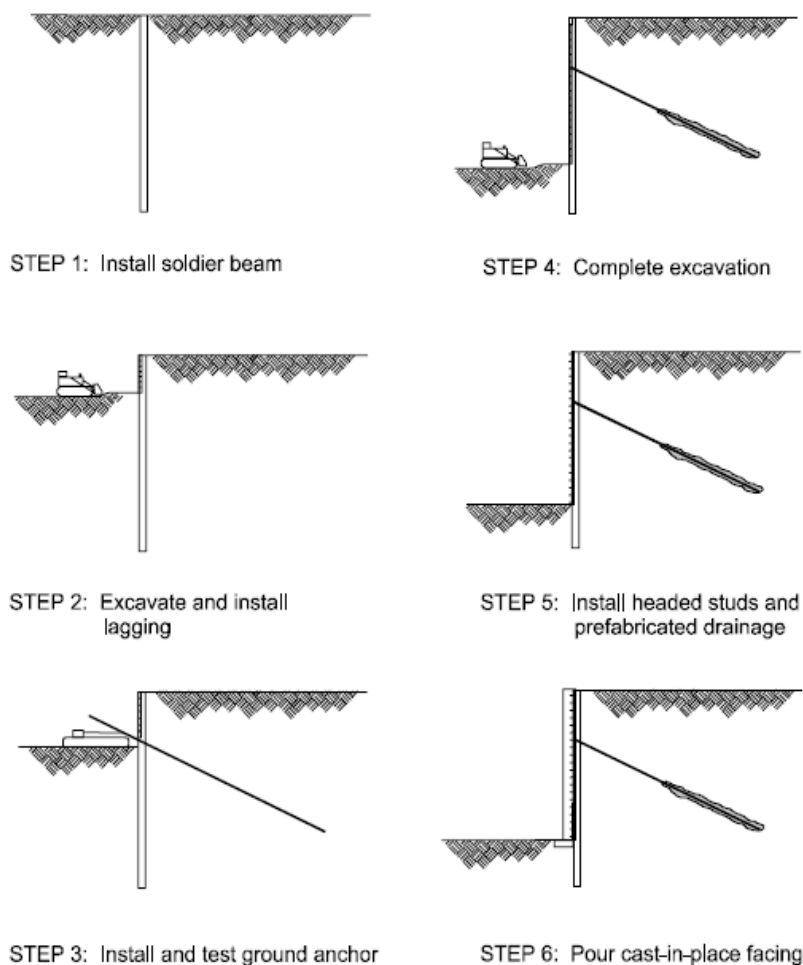


Εικόνα 4.5 : Οργανόγραμμα διάκρισης αγκυρίων βάση το χρόνο (Λουπασάκης, 2015)

Σημειώνεται ότι προσωρινά συμμετέχουν στην αντιστήριξη των εκσκαφών μέχρι το χρόνο αντικατάστασης τους από τη μόνιμη κατασκευή. Αν για κάποιο λόγο η διάρκεια ζωής τους υπερβεί την προκαθορισμένη τιμή των προδιαγραφών, συνήθως καταστρέφονται λόγω της ανάγκης διάνοιξης κατασκευής στο χώρο εγκατάστασής τους.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την εγκατάσταση των αγκυρώσεων, ξεκινάει με τη διαμόρφωση του χώρου εφαρμογής ενός αγκυρίου και συνεχίζεται με τη διάνοιξη της οπής εγκατάστασης. Η διάνοιξη της οπής γίνεται είτε με περιστροφικό είτε με κρουστικό μηχάνημα, η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από:

- Τον τύπο του αγκυρίου που θα εγκατασταθεί, καθώς η επιλογή του επηρεάζει το μήκος και τη διάμετρο της οπής που θα διανοιχτεί.
- Τον τύπο των στρωμάτων που θα διατηρηθούν, καθώς η περιστροφική εφαρμόζεται σε εδαφικούς σχηματισμούς και η κρουστική μέθοδος χρησιμοποιείται σε βραχώδεις σχηματισμούς.
- Τις ιδιαιτερότητες του χώρου από πλευράς τρόπου προσέγγισης, τοπογραφίας, διαθέσιμου τρόπου ψύξης κλπ.



Εικόνα 4.6 : Αναλυτική Παρουσίαση φάσεων εγκατάστασης αγκυρίου (U.S Department of Transportation, 1999)

Η καταλληλότητα του αγκυρίου για τον εκάστοτε σκοπό κατασκευής πρέπει να ελέγχεται πριν την έναρξη της λειτουργίας του. Για τον έλεγχο αυτό της φέρουσας ικανότητας των αγκυρίων, πραγματοποιούνται δοκιμές **εξόλκευσης, εφελκυσμού και τάνυσης** (Ρόζος, 2007).

Με τη δοκιμή εξόλκευσης διαπιστώνεται η ορθότητα του τρόπου κατασκευής, αφού ερευνάται αν η ενεμάτωση του πακτωμένου τμήματος είναι πλήρης (χωρίς ασυνέχειες), ενώ παράλληλα από τη σχέση φορτίου (δυνάμεων) - μετακινήσεων (παραμορφώσεων) εξάγονται συμπεράσματα για τη φέρουσα ικανότητα του πακτωμένου τμήματος, για το αναγκαίο ελεύθερο μήκος του τένοντα, αλλά και για την παραμένουσα παραμόρφωση του εδάφους.

Με τη δοκιμή εφελκυσμού επιβεβαιώνεται η καταλληλότητα του συγκεκριμένου τύπου αγκυρίου για τις επικρατούσες εδαφικές συνθήκες, ενώ όπως και με τη δοκιμή εξόλκευσης δίνει στοιχεία για τη φέρουσα ικανότητα του πακτωμένου τμήματος, για το αναγκαίο ελεύθερο μήκος του τένοντα, αλλά και για την παραμένουσα παραμόρφωση του εδάφους.

Με τη δοκιμή τάνυσης, ελέγχεται η φέρουσα ικανότητα και εν γένει συμπεριφορά του αγκυρίου.

4.4. Στοιχεία σχεδιασμού τοίχων αντιστήριξης

Η γνώση των ωθήσεων των γαιών που θα αναπτυχθούν και του κατάλληλου βάθους θεμελίωσης του τοίχου που σχεδιάζεται είναι αναγκαία, για την ευστάθεια ενός τοίχου με πασσάλους, αλλά και για τον υπολογισμό των αγκυρίων που θα χρησιμοποιηθούν.

Το σύστηματος αγκυρώσεων δημιουργεί μια σταθερή εσωτερική μάζα εδάφους που θα αντιστέκεται σε εξωτερικούς παράγοντες αστοχίας. Ο σχεδιασμός του συστήματος αγκυρώσεων επικεντρώνεται στην επίτευξη ενός τελικού κατασκευασμένου τοίχου που είναι ασφαλής ενάντια σε ένα φάσμα δυνητικών συνθηκών αστοχίας. Αυτές οι συνθήκες φαίνονται στην Εικόνα 4.7. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να περιορίζει τις κινήσεις του εδάφους και του τοίχου, παρέχοντας παράλληλα μια πρακτική και οικονομική βάση για την κατασκευή. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να εξετάσει την κινητή αντίσταση από τα αγκύρια και τα στοιχεία του τοίχου να συμφωνούν με τα φορτία που εφαρμόζονται στο σύστημα του τοίχου.

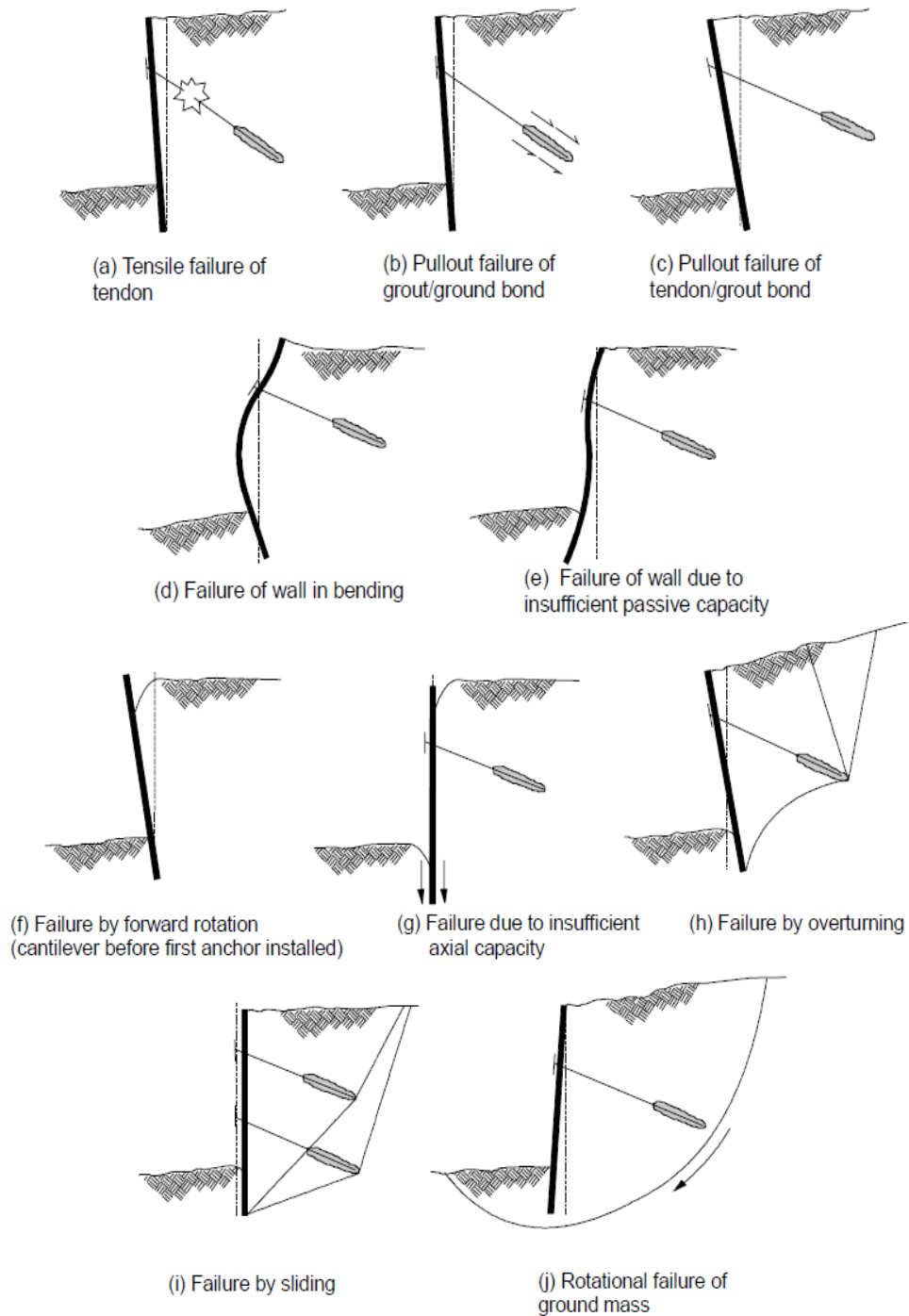
Το μέγεθος της συνολικής δύναμης του αγκυρίου που απαιτείται για να διατηρηθεί το τοίχωμα σε ισορροπία βασίζεται στις δυνάμεις που προκαλούνται από το έδαφος, το νερό και εξωτερικά φορτία. Τα αγκύρια μπορεί να παρέχουν τις απαιτούμενες σταθεροποιητικές δυνάμεις που, με τη σειρά τους, μεταδίδονται πίσω στο έδαφος σε κατάλληλη απόσταση πίσω από την ενεργή ζώνη του εδάφους φόρτωσης του τοιχώματος, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 4.8. Αυτή η απαίτηση ότι οι δυνάμεις αγκύρωσης πρέπει να μεταδίδονται πίσω από την ενεργό ζώνη γενικά καθορίζει την ελάχιστη απόσταση πίσω από τον τοίχο στον οποίο σχηματίζεται το μήκος του δεσμού αγκύρωσης.

Το μήκος του δεσμού αγκύρωσης πρέπει να εκτείνεται στο έδαφος για να τέμνει όποιες δυνητικά ζωτικής σημασίας αποτυχημένες επιφάνειες που θα μπορούσαν να περάσουν πίσω από τα αγκύρια και κάτω από τη βάση του τοίχου, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 4.7. Το απαιτούμενο βάθος στο οποίο τα αγκύρια πρέπει να είναι εγκατεστημένα στο έδαφος θα πρέπει να καθορίζεται με βάση την τοποθεσία των βαθύτερων πιθανών επιφανειών αστοχίας που έχουν ανεπαρκή συντελεστή ασφαλείας χωρίς να έχει ληφθεί υπόψη οποιαδήποτε δύναμη αγκύρωσης (U.S Department of Transportation, 1999).

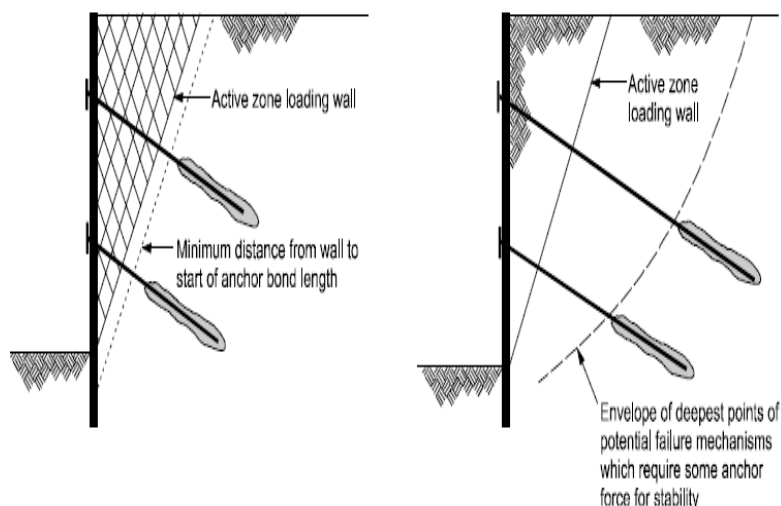
Εν ολίγοις, για να παρέχεται μια νέα γεωμετρική κλίση στην εκσκαφή που είναι υποστηριγμένη από ένα αγκυροβολημένο τοίχο, είναι απαραίτητα τα παρακάτω (U.S Department of Transportation, 1999) :

- Ο τοίχος αγκύρωσης θα πρέπει να αντιστηρίζει το έδαφος ακριβώς δίπλα από την εκσκαφή σε ισορροπία. Η υποστήριξη αυτή εναποθέτει συνήθως τις μέγιστες απαιτούμενες δυνάμεις στα αγκύρια και τις απαιτούμενες μέγιστες διαστάσεις, τη δύναμη και ροπές κάμψης στον τοίχο.
- Τα αγκύρια πρέπει να επεκταθούν επαρκώς βαθιά μέσα στο χώμα για να επηρεάσουν ευεργετικά μια σειρά από ρηχές και βαθιές δυνητικές αποτυχημένες επιφάνειες με ανεπαρκείς παράγοντες ασφάλειας. Οι δυνάμεις

αγκυρώσεων ενεργούν σε αυτές τις πιθανές επιφάνειες ολίσθησης για να εξασφαλιστεί ότι έχουν ένα αποδεκτό συντελεστή ασφάλειας.



Εικόνα 4.7: Παρουσίαση περιπτώσεων αστοχίας της αντιστήριξης της κατασκευής (U.S Department of Transportation, 1999)



Εικόνα 4.8 : Συνεισφορά των αγκυρίων στην σταθερότητα του τοίχου (U.S Department of Transportation, 1999)

Πολλοί διαφορετικοί τύποι συστημάτων αγκυρώσεων μπορούν συνήθως να καλύψουν τις ανάγκες ενός συγκεκριμένου έργου. Για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή οικονομία, ο στόχος του σχεδιαστή είναι να καθορίσει μόνο εκείνες τις παραμέτρους που είναι απαραίτητες για τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα του συστήματος αγκυρώσεων αφήνοντας την τελική επιλογή των λεπτομερειών των στοιχείων αγκυρώσεων στον ανάδοχο. Η απόδοση του συστήματος αγκύρωσης αξιολογείται ελέγχοντας κάθε εγκατεστημένο αγκύριο σε φορτία που υπερβαίνουν το φορτίο σχεδιασμού.

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων, ο σχεδιαστής πρέπει να εξετάσει διάφορους πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας.

Υπάρχουν αρκετοί πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας αγκυρίων του εδάφους. Αυτά συνήθως προκαλούνται από την υπερβολική στατική φόρτιση των αγκυρίων. Υπερβολικά φορτία μπορεί να σχετίζονται με: (1) την ένταση που τοποθετείται στα αγκύρια κατά τη διάρκεια της δοκιμής φορτίου (2) ακολουθία εκσκαφής (3) την επιπλέον φόρτιση από οικοδομικά υλικά ή εξοπλισμό (4) κατασκευή των παρακείμενων δομών ή (5) ένα συνδυασμό αυτών των αιτιών. Στους μηχανισμούς αστοχίας αγκύρωσης εδάφους ενδέχεται να συμπεριλαμβάνονται ο τένοντας του χάλυβα, η μάζα του εδάφους, η ζώνη εδάφους-ενέματος, και τα ενέματα-τένοντα ζώνης (U.S Department of Transportation, 1999).

4.5. Μεθοδολογία κατασκευής

Λόγω της στενότητας χώρου που παρατηρήθηκε στην θέση κατασκευής του έργου, της εγγύτητας των κτιρίων στη περίμετρο του σκάμματος και των σχετικά δυσμενών γεωτεχνικών συνθηκών από πλευράς εδάφους, η κατασκευή έγινε σε δύο κύριες φάσεις.

Κατά την Α Φάση κατασκευάστηκε το κεντρικό «κουτί» του Σταθμού, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα χρήσης του χώρου της διεύρυνσης στη βόρεια πλευρά για εξυπηρέτηση των απαραίτητων για την εκτέλεση του έργου εργοταξιακών

λειτουργιών. Αποθήκευση υλικών και όλες οι λοιπές χρήσεις που δεν ήταν άμεσα απαραίτητο για την εξέλιξη του έργου να βρίσκονται επί τόπου εξυπηρετήθηκαν από το κεντρικό εργοτάξιο του τερματικού φρέατος στον Αγ. Ιερόθεο. Παράλληλα με την εκσκαφή του κεντρικού «κουτιού» μόνο σε πρώτη φάση, δόθηκε η δυνατότητα, λόγω του ορθογωνικού σχήματος με πλάτος που δεν ξεπερνάει τα λογικά πλαίσια, η εγκατάσταση αντηρίδων σαν στοιχείων αντιστήριξης.

Αυτή η δυνατότητα αποτέλεσε σημαντικό στοιχείο για τον περιορισμό των παραμορφώσεων κατά την εκσκαφή, θέμα ιδιαίτερα σημαντικό λόγω των υφιστάμενων στην περίμετρο του σκάμματος κατασκευών.

Η εκσκαφή του ανοιχτού ορύγματος που μελετήθηκε σε αυτή την εργασία έγινε σε 16 φάσεις, όπου η κάθε μια επηρεάζεται από το τι προηγείται και το τι ακολουθεί και σχετίζεται με τις στάθμες εγκατάστασης των στοιχείων αντιστήριξης:

- αντηρίδων για την πρώτη σειρά
- 6 σειρών προεντεταμένων αγκυρώσεων στην συνέχεια

Βήματα κατασκευής σταθμού μελέτης (Ο.Τ.Μ., 2007):

- Η πρώτη φάση εκσκαφής έγινε σε βάθος 1.5m περίπου από την επιφάνεια (κάτω στάθμη κεφαλόδεσμου), όπου και εγκαταστάθηκαν οι αντηρίδες.
- Στη συνέχεια σε κάθε φάση εκσκαφής τα τοιχώματα της αντιστήριξης επενδύθηκαν με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οπλισμένο με πλέγμα και με την κατάλληλη βλήτρωση εξασφαλίστηκε η συνεργασία με τους πασσάλους της αντιστήριξης.
- διανοίχτηκαν αποστραγγιστικές και ανακουφιστικές οπές για την ανακούφιση των υδροστατικών πιέσεων πίσω από το πέτασμα της αντιστήριξης.
- Μετά την επένδυση των τοιχωμάτων ακολούθησε η εγκατάσταση και τάνυση των προεντεταμένων αγκυρώσεων.
- Μετά την ολοκλήρωση και της τελικής φάσης εκσκαφής διαμορφώθηκαν κατάλληλα ρύσεις για την συλλογή των υδάτων που εισρέουν στην αντιστήριξη, προς έναν συλλεκτήριο αποστραγγιστικό αγωγό ο οποίος τα οδήγησε σε ένα αντλιοστάσιο. Στην ίδια φάση τοποθετήθηκε και επανεπιχώθηκε σε κατάλληλα διαμορφωμένο ρηχό όρυγμα ο βρόχος γειώσεως του σταθμού.
- Το σύστημα αποστράγγισης συμπληρώθηκε με την διάστρωση γεωφάσματος διαχωρισμού και επί αυτού, στρώσης χαλικιού ελαχίστου πάχους 15 cm.
- Μετά την συμπύκνωση της στρώσης αυτής διαστρώθηκε φύλλο πολυαιθυλαινίου και σκυρόδεμα εξομάλυνσης και καθαριότητας ελαχίστου πάχους 7cm. Επί αυτής της επιφάνειας τοποθετήθηκε η στεγάνωση της μόνιμης κατασκευής και προστατεύθηκε στην συνέχεια από ισχνό σκυρόδεμα ελαχίστου πάχους 7cm.

Η Α Φάση κατασκευής ολοκληρώθηκε αφού είχε κατασκευασθεί και η μόνιμη επένδυση του κεντρικού «κουτιού του Σταθμού».

Ύστερα ακολούθησε η κατασκευή της Β Φάσης όπου:

- Περιελάμβανε την εκσκαφή της διεύρυνσης στη Βόρεια πλευρά του Σταθμού.

Ένα μικρό τμήμα της περιοχής αυτής στο δυτικό της άκρο διατηρήθηκε στο επίπεδο της επιφάνειας σε πρώτη φάση. Πρόκειται για το σημείο στο οποίο θα είχε τοποθετηθεί από την αρχή του έργου οικοδομικός γερανός, ο οποίος απομακρύνθηκε μετά το πέρας των εργασιών και στο τμήμα της διεύρυνσης.

4.6. Παρακολούθηση της κατασκευής

Στα θέματα που δόθηκε ειδική αναφορά και προσοχή για την Α φάση κατασκευής ήταν (Ο.Τ.Μ., 2007) :

- Κάτω από το επίπεδο της 4^{ης} φάσης εκσκαφής, βρισκόταν σε όλο το μήκος του Σταθμού κατασκευασμένη σήραγγα διπλής γραμμή όπου και καθαιρέθηκε. Κατά την διάρκεια της εκτέλεσης των εργασιών και προκειμένου να αποφευχθεί η αποκάλυψη της επένδυσης της σήραγγας στη φάση αυτή, διατηρήθηκε το κεντρικό τμήμα της εκσκαφής και για πλάτος 2m περίπου εκατέρωθεν του κεντρικού άξονα, λίγο ψηλότερα από το γενικό επίπεδο εκσκαφής της φάσης (π.χ. 1m περίπου). Αυτό έγινε με τη διατήρηση αναβαθμού πλάτους 4m. Η παρούσα παρατήρηση αφορούσε τμήμα του σταθμού όπου η ανωτέρω φάση εκσκαφής πλησίαζε πολύ κοντά στην στάθμη στέψης της σήραγγας.
- Η καθαίρεση της υπάρχουσας σήραγγας ξεκίνησε σταδιακά μετά την ολοκλήρωση της 6^{ης} φάσης εκσκαφής και την εγκατάσταση των ανάλογων σειρών αγκυρώσεων που είχαν προβλεφθεί. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην καθαίρεση των τμημάτων της σήραγγας στα άκρα του Σταθμού. Στις θέσεις αυτές προτιμήθηκε η αφαίρεση ολόκληρου του τελευταίου δακτυλίου και όχι η αποκοπή τμήματος αυτού.
- Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε επίσης κατά την κατασκευή των πασσάλων και των κεφαλοδέσμων σε συνάρτηση με τη θέση των εξωστών των κτιρίων και της θέσης και στάθμης θεμελίωσής τους αντίστοιχα. Ο σχεδιασμός της διάταξης έγινε λαμβάνοντας όλα τα σχετικά στοιχεία και εξασφαλίζοντας την δυνατότητα κατασκευής χωρίς εμπλοκή των στοιχείων της αντιστήριξης με τις παρακείμενες κατασκευές. Όλα τα στοιχεία συγκεντρώθηκαν από συσχετίσεις με τις υπάρχουσες περί τον Σταθμό οικοδομές (θέση οικοδομικών γραμμών, πλάτος και ύψος εξωστών, αριθμός ορόφων ανωδομής και υπογείων, πιθανή θέση θεμελίωσης προεξέχουσας της οικοδομικής γραμμής κλπ), βασίστηκαν ουσιαστικά σε επί τόπου αποτύπωση της υπάρχουσας κατάστασης ή για θέματα που δεν κατέστη δυνατή η αποτύπωση τους, σε πληροφορίες που ελήφθησαν από επαφές του αναδόχου με τους ιδιοκτήτες.
- Ειδικότερα σε ότι αφορά την πιθανή στάθμη θεμελίωσης και την θέση της (προεξοχή από οικοδομική Γραμμή), κατά την φάση κατασκευής δόθηκε μεγάλη προσοχή πριν τη κατασκευή των πασσάλων ιδιαίτερα σε σημεία που η εγγύτητα αυτών προς την οικοδομική γραμμή το επέβαλε. Σε περιπτώσεις που υπήρχαν προεξοχές μεγαλύτερες από τις υποτιθέμενες, που σημειώθηκαν στα σχέδια, και αυτές θα μπορούσαν να εμπλεχθούν με την κατασκευή εξετάστηκαν μεμονωμένα και ύστερα προχώρησε η κατασκευή.
- Επίσης σε κάποιες θέσεις που σημειώθηκαν στα σχέδια, λόγω των μικρών περιθωρίων που εμφανίστηκαν μεταξύ της πρώτης σειράς αγκυρώσεων και της θεμελίωσης συγκεκριμένων κτιρίων, απαιτήθηκε ακριβέστερος επί τόπου έλεγχος και περαιτέρω επιβεβαίωση του βάθους θεμελίωσης. Σε περιπτώσεις που διαπιστώθηκαν διαφορετικές στάθμες (χαμηλότερες), η πρώτη σειρά αγκυρίων που εμπλέχθηκε τοπικά είτε μετακινήθηκε χαμηλότερα είτε κατασκευάστηκε με μεγαλύτερη κλίση αναλόγως της περίπτωσης.

Κατά την διάρκεια της εκτέλεσης των εργασιών στην Β Φάση, επισημάνθηκαν και εκεί τα εξής θέματα (Ο.Τ.Μ., 2007):

- Αυτή η φάση ήταν πιο περίπλοκη, καθώς συναντήθηκαν οι προεντεταμένες αγκυρώσεις υποστήριξης των πασσάλων της Α Φάσης και αποκοπή αυτών έγινε με ιδιαίτερη προσοχή.
- Η καθαίρεση των υπαρχόντων από την Α Φάση πασσάλων που υπήρχαν στα όρια μεταξύ Α & Β Φάσης, έγινε σταδιακά κατά της φάσεις εκσκαφής της Β Φάσης με εφαρμογή συρματοκοπής.
- Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε επίσης κατά την καθαίρεση του κατώτερου τμήματος γιατί έτσι αποφεύχθηκε η καταστροφή της αναμονής της στεγανοποιητικής μεμβράνης, που διαστρώθηκε μετέπειτα από την αναδίπλωση στο δάπεδο της Β Φάσης για την εξασφάλιση της στεγανότητας της κατασκευής.

5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

5.1. Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική η ανάλυση της εκσκαφής και της εφαρμογής των μέτρων προσωρινής αντιστήριξης διεξάγεται με πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS 2D. Με τον τρόπο αυτό η προσομοίωση της εκσκαφής και η τοποθέτηση των μέτρων προσωρινής αντιστήριξης λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής.

Υπενθυμίζεται ότι σε ένα τέτοιο σύστημα αντιστήριξης με πολλαπλές στηρίξεις, η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής είναι αυτή που καθορίζει τα υπολογιζόμενα εντατικά μεγέθη συναρτήσει των εκτιμώμενων μετακινήσεων.

Για κάθε περιοχή του σκάμματος καταστρώθηκαν προσομοιώματα τα οποία αντιπροσωπεύουν :

- i. την κυρίαρχη γεωμετρία του σκάμματος στην περιοχή αυτή,
- ii. τις επικρατούσες εδαφικές συνθήκες,
- iii. τα δυσμενέστερα επιφανειακά φορτία πλησίον του σκάμματος εκσκαφής.

Τονίζεται ότι το άνοιγμα της εκσκαφής δεν αντιστοιχεί σε αυτό του σχεδίου της μελέτης, καθώς στην παρούσα εργασία δεν γίνεται επίλυση του πραγματικού σταθμού.

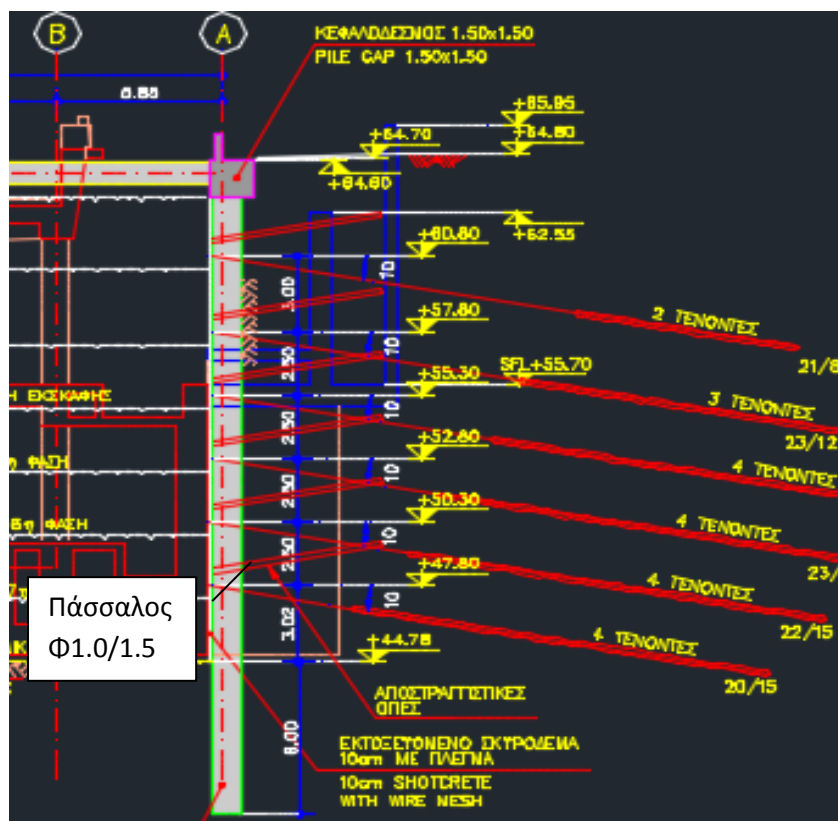
Θεωρήθηκε ότι οι διαστάσεις για την κατασκευή του κύριου σταθμού είναι 20 μέτρα βάθος και 60 μέτρα πλάτος, ενώ βορειοδυτικά χωρίζεται σε τρία τμήματα με 15 μέτρα βάθος και 20 μέτρα πλάτος (B1A), 17,7 μέτρα πλάτος και 17,5 μέτρα βάθος (B1B) και 15 μέτρα πλάτος και 10,4 μέτρα βάθος (B3). Η ανάλυση διεξάγεται στις δύο διαστάσεις και υπό συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης. Ο κάρναβος καλύπτει μια αρκετά ευρεία ζώνη με πλάτος που ισούται τουλάχιστον 3 φορές το βάθος του σκάμματος. Το έδαφος εισάγεται με τη δημιουργία πλέγματος στοιχείων και με ιδιότητες και παραμέτρους αντοχής και παραμορφωσιμότητας αυτές που αντιστοιχούν στην γεωτεχνική τομή σχεδιασμού.

Τα εδαφικά υλικά προσομοιώνονται ως ισότροπα ελαστικά-απόλυτα πλαστικά υλικά, τα οποία υπακούουν στο κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb.

Οι γεωστατικές τάσεις εισάγονται με το δείκτη ουδετέρων ωθήσεων K_0 , όπου την τιμή αυτού του εντατικού πεδίου την εισάγει αυτόματα το πρόγραμμα.

Τα βήματα της ανάλυσης ακολουθούν τα προβλεπόμενα στάδια εκσκαφής (βάση του τελικού σχεδιασμού) και την προβλεπόμενη αλληλουχία εφαρμογής των στοιχείων ακαμψίας του συστήματος:

δηλ. πασσάλων, αντηρίδας και προεντεταμένων αγκυρώσεων.

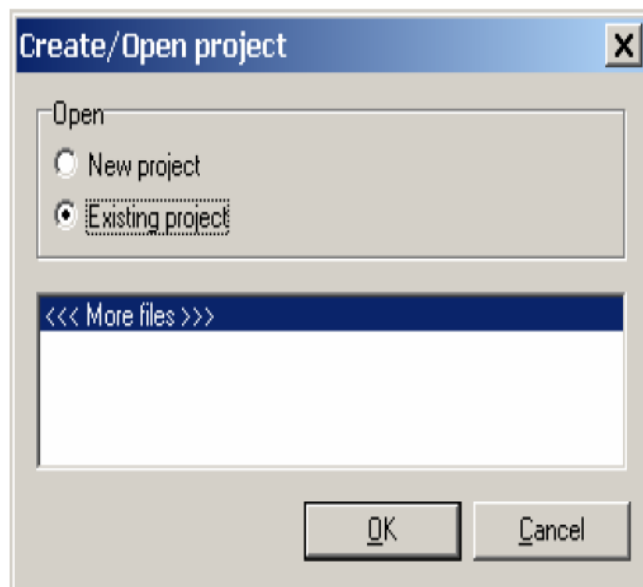


Εικόνα 5.1 : Παρουσίαση μέτρων υποστήριξης κύριας εκσκαφής (Ο.Τ.Μ., 2007)

5.2. Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα Plaxis 8.2

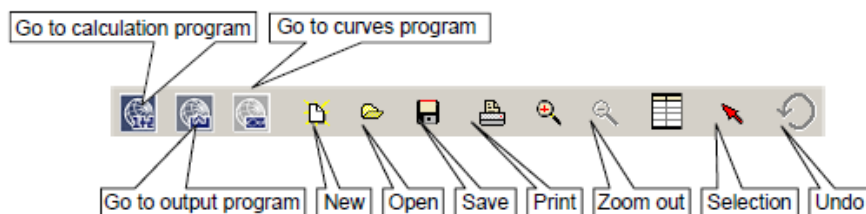
Ένα γεωμετρικό μοντέλο πρέπει να περιέχει μια αντιπροσωπευτική κατανομή του υπεδάφους σε διακριτά στρώματα του εδάφους, των διαρθρωτικών αντικειμένων, των σταδίων κατασκευής και των φορτίων. Το μοντέλο πρέπει να είναι επαρκώς μεγάλο, έτσι ώστε τα όρια να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα του προβλήματος το οποίο εξετάζεται.

Ξεκινάμε το Plaxis vs 8.2 με διπλό κλικ στο εικονίδιο της επιφάνειας εργασίας. Εμφανίζεται ένα Create/Open project, όπου παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας καινούριου μοντέλου είτε ανάκτησης ήδη αποθηκευμένου μοντέλου. Για το σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας επιλέγεται η δημιουργία ενός καινούριου μοντέλου. Αυτόματα ένα καινούριο παράθυρο General Settings εμφανίζεται αποτελούμενο από δυο καρτέλες Project και Dimensions (Βλέπε Εικόνα 5.2)



Εικόνα 5.2: Create/Open project παράθυρο

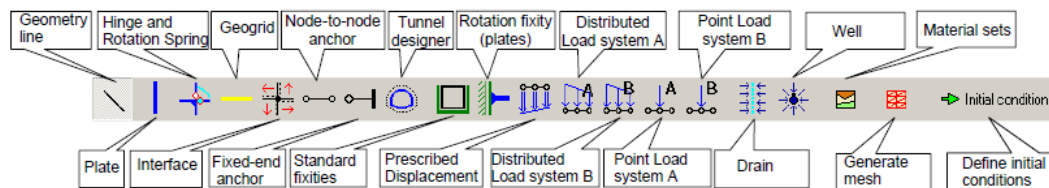
Με το άνοιγμα του προγράμματος στην πρώτη γραμμή εργαλείων εμφανίζονται οι συνήθεις επιλογές, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3 : Βασική γραμμή εργαλείων του Plaxis 2D

Στην δεύτερη γραμμή εργαλείων που ακολουθεί (Εικόνα 5.4) δίνονται οι εντολές για το σχεδιασμό της γεωμετρίας της εκσκαφής και την εισαγωγή των δεδομένων. Η εν λόγω γραμμή αποτελείται κάθε φορά από διαφορετικές επιλογές, ανάλογα με το βήμα της διαδικασίας που βρίσκεται το προσομοίωμα της εκσκαφής.

Η παρακάτω Εικόνα 5.4 αντιστοιχεί στις επιλογές της γραμμής εργαλείων όταν βρισκόμαστε στο στάδιο του σχεδιασμού. Οι εντολές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα είναι αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό των μοντέλων.



Εικόνα 5.4 : Βασική γραμμή εργαλείων του Plaxis 2D

Πίνακας 5.1 : Παρουσίαση εντολών σχεδιαστικού μέρους

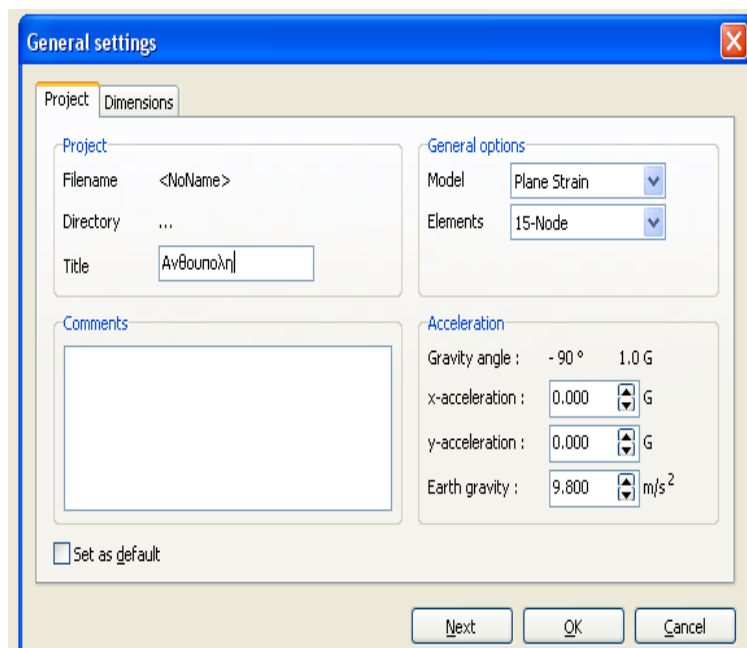
Όνομασία Εντολής	Μετάφραση- Επεξήγηση
Geometry line	Σχεδιασμός γραμμών
Plate	Σχεδιασμός διαφραγματικού τοίχου
Geogrid	Σχεδιασμός πακτωμένου τμήματος αγκυρίου
Fixed-end- anchor	Σχεδιασμός αντηρίδας
Node-to-node anchor	Σχεδιασμός αγκυρίων
Standard fixities	Εισαγωγή διεπαφών με απομειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά στις συνοριακές περιοχές του σχεδιασθέντος μοντέλου
Distributed Load System A	Εισαγωγή φορτίου
Material	Εισαγωγή ιδιοτήτων υλικών και κατασκευών
Generate mesh	Διακριτοποίηση μοντέλου
Define initial conditions	Προσδιορισμός αρχικών συνθηκών

5.2.1. Καθορισμός παραμέτρων σχεδιασμού

Στο πρώτο βήμα σε κάθε ανάλυση ορίζονται οι βασικοί παράμετροι στο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων, οι οποίες εισάγονται από το παράθυρο General Settings. Αυτές οι ρυθμίσεις περιλαμβάνουν την περιγραφή του μοντέλου, τον τύπο της ανάλυσης, το βασικό τύπο των στοιχείων, τις βασικές μονάδες και το μέγεθος της περιοχής του σχεδίου.

Για να εισαχθούν τα κατάλληλα στοιχεία για το συγκεκριμένο μας μοντέλο:

Στη καρτέλα του Project εισάγεται ως τίτλο “Σταθμός Ανθούπολη”. Στη καρτέλα General ορίζεται ο τύπος της ανάλυσης (Model) και τα βασικά στοιχεία (Elements). Από τη στιγμή που το μοντέλο είναι επίπεδης παραμόρφωσης επιλέγουμε «Plain Strain» από το «Model Combo Box» και πεπερασμένα στοιχεία δεκαπέντε κόμβων «15-Node». (Εικόνα 5.5)

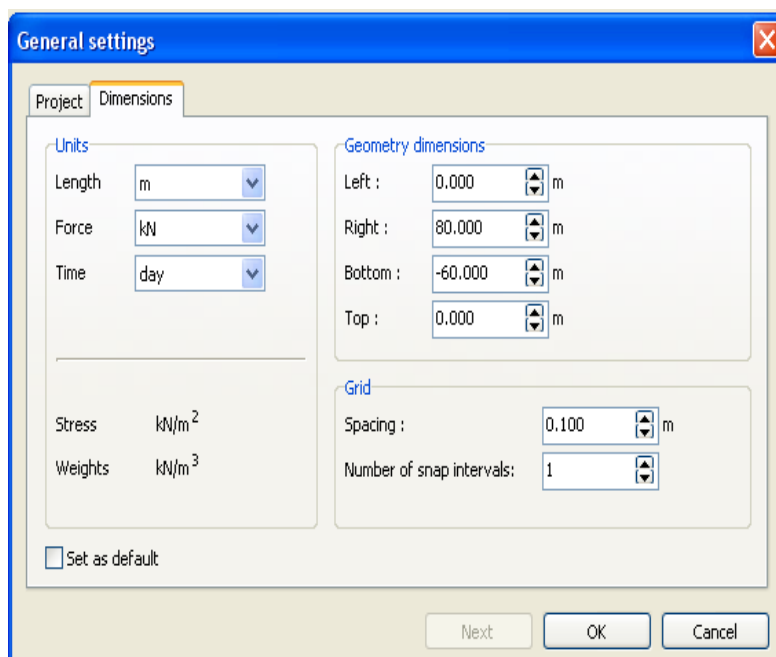


Εικόνα 5.5: Καρτέλα Project από το παράθυρο General Settings

Στο πεδίο 'Acceleration' ορίζεται η γωνία της επιτάχυνσης της βαρύτητας που είναι -90° . Ακόμη, στο πεδίο 'Dimensions' ορίζεται Length=m, Force = KN και Time=day.

Στο πεδίο 'Geometry dimensions' εισάγονται οι διαστάσεις του περιγράμματος της απαιτούμενης περιοχής σχεδίασης (Left=0, Right=80, Bottom=-60, Top=0), spacing=0,1 και intervals=1 με τον τρόπο αυτό καθορίζονται τα σημεία αναφοράς για την έναρξη της σχεδίασης. Στην πράξη, η περιοχή σχεδίασης που προκύπτει είναι μεγαλύτερη από τις τιμές που δόθηκαν και αυτό λόγω της διαφοράς στην αναλογία πλάτους/ύψους μεταξύ των καθορισμένων τιμών και της οθόνης (Εικόνα 5.6).

Με το πάτημα του κουμπιού 'OK' επιβεβαιώνονται οι τιμές που εισάχθηκαν και ανοίγει το πρόγραμμα.



Εικόνα 5.6: Εισαγωγή βασικών διαστάσεων σχεδίασης

5.2.2. Βασικό Παράθυρο Σχεδιασμού

Αφού οι γενικές ρυθμίσεις έχουν ολοκληρωθεί, εμφανίζεται η περιοχή σχεδίασης με ένδειξη της προέλευσης και την κατεύθυνση του συστήματος των αξόνων. Ο σχεδιασμός γίνεται οπουδήποτε στην περιοχή σχεδίασης.

Η εκσκαφή για την κατασκευή του κεντρικού σταθμού της ανοιχτής εκσκαφής είναι 20 μέτρα βάθος και 60 μέτρα πλάτος, αποτελούμενη από τρεις εδαφικούς σχηματισμούς θεωρητικά οριζόντιους και παράλληλους μεταξύ τους. Η ανάλυση διεξάγεται στις δύο διαστάσεις και υπό συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης.

✓ Για την Περιοχή 2 και M2A :

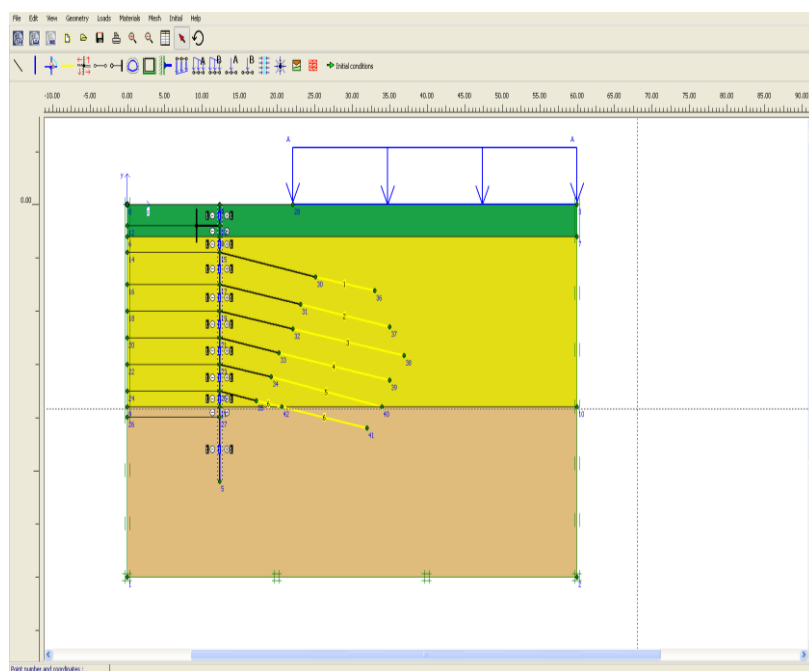
Οι πασσαλοστοιχίες υποστηρίζονται με τη χρήση μιας σειράς αντηρίδων Φ914 που τοποθετούνται πλησίον της επιφάνειας του εδάφους σε πυκνή διάταξη (σε αποστάσεις 4m κατά κανόνα μεταξύ τους). Στο ανώτερο τμήμα των πασσάλων προβλέπεται η κατασκευή άκαμπτου διαμήκους κεφαλόδεσμου διαστάσεων 1.50X1.50m., επί του οποίου τοποθετούνται οι αντηρίδες.

Σημειώνεται εδώ η σημασία της άρτιας τοποθέτησης των αντηρίδων και της εξασφάλισης της απόλυτης «σφήνωσης» αυτών (εφαρμόζεται χαμηλό επίπεδο προέντασης), πριν η εκσκαφή προχωρήσει βαθύτερα.

Στο υπόλοιπο ύψος εκσκαφής οι πάσσαλοι θα αντιστηριχτούν με 6 σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων με μήκος 13m, 11m, 10m, 8m, 7m και 5m αντίστοιχα, με μήκος πάκτωσης 8m, 12m, 15m, 15m, 15m και 15m, γωνία από τον πασσαλότοιχο $\phi = 80^\circ$ και δύναμη προέντασης $F_p = 600$ KN.

Μεταξύ των πασσάλων προβλέπεται η εφαρμογή πετάσματος εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10-15εκ., για την εξασφάλιση από καταπτώσεις του μεταξύ αυτών εδάφους.

Η βασική γεωμετρία κατασκευής φαίνεται στην εικόνα 5.7.



Εικόνα 5.7 : Γεωμετρία κατασκευής κύριας εκσκαφής

5.2.3. Οριακές Συνθήκες

Για να αποφευχθεί η κατάσταση, στην οποία μερικές μετακινήσεις της γεωμετρίας θα είναι απροσδιόριστες, μερικά σημεία της γεωμετρίας πρέπει να έχουν καθορισμένες μετακινήσεις.

Ο απλούστερος τρόπος για τον καθορισμό των μετακινήσεων είναι ο καθορισμός μηδενικών μετακινήσεων ή ο καθορισμός μη μηδενικών καθορισμένων μετακινήσεων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προσομοιώνεται με τη βοήθεια των μη μηδενικών προβλεπόμενων μετατοπίσεων στην κορυφή του στρώματος.

Έπειτα, επιλέγεται η εντολή 'Prescribed displacements' από την γραμμή εργαλείων και σχεδιάζεται το φορτίο στα δεξιά της γεωμετρίας μας με τιμή -30 KN/m .

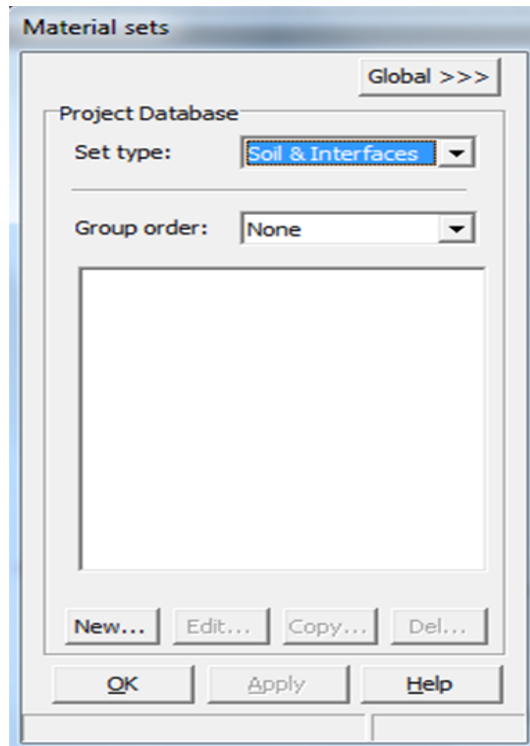
5.2.4. Προσδιορισμός παραμέτρων εδαφικού υλικού, διαφραγματικού τοίχου, αντηρίδων, αγκυρίων, πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου και επιβαλλόμενου φορτίου.

Με την εντολή Materials προσδιορίζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδαφικού σχηματισμού και των κατασκευών που εμπλέκονται στη γεωμετρία της κατασκευής.

Για να προσομοιωθεί η συμπεριφορά του εδάφους, πρέπει να οριστεί ένα κατάλληλο μοντέλο εδάφους και κατάλληλες παραμέτρους στο γεωμετρικό μοντέλο. Στο PLAXIS, οι ιδιότητες του εδάφους συλλέγονται ως σύνολα δεδομένων σε συνδυασμό με τα ήδη υπάρχοντα διάφορα σύνολα δεδομένων που είναι αποθηκευμένα σε μια βάση δεδομένων του εδαφικού μοντέλου.

Το πρόγραμμα διαφοροποιεί το σύνολο των δεδομένων για εδάφη και διεπαφές (Soil and interfaces), διαφραγματικούς τοίχους (Plates), αγκύρια και αντηρίδες (Anchors) και πακτωμένα τμήματα (Geogrids).

Κάθε φορά που επιλέγεται ένα νέο στοιχείο που εμπλέκεται στην γεωμετρία, επιλέγεται η εντολή “New”, όπου δίνει την δυνατότητα να εισαχθούν οι ιδιότητες για το κάθε υλικό ξεχωριστά και με την εντολή “Edit” να επεξεργαστούν τα ήδη εισαχθέντα δεδομένα για τα εδαφικά υλικά και τα δομικά στοιχεία υποστήριξης (Εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.8: Εισαγωγή ιδιοτήτων εδαφικών υλικών, αγκυρίων, πακτωμένου τμήματος αγκυρίου, διαφραγματικού τοίχου και αντηρίδων.

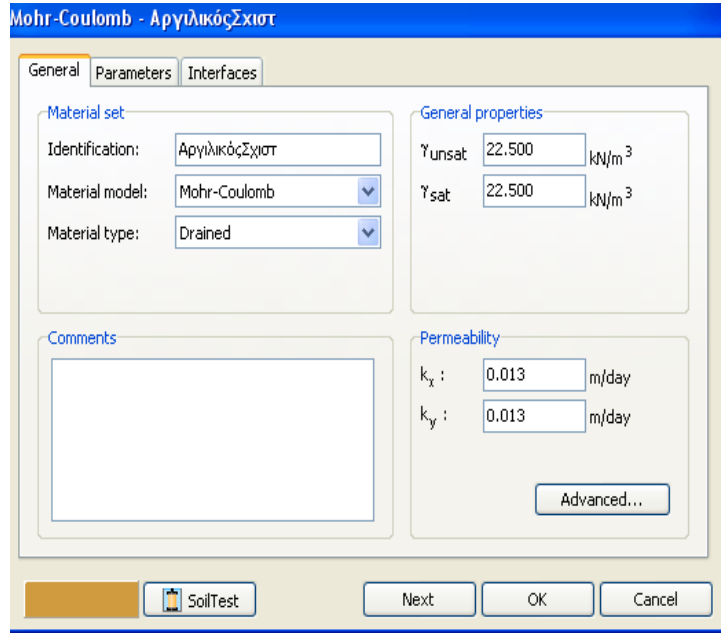
5.2.4.1. Προσδιορισμός ιδιοτήτων εδαφικών υλικών

Η δημιουργία του συνόλου δεδομένων υλικού γίνεται μετά την εισαγωγή των οριακών συνθηκών και πριν δημιουργηθούν τα πλέγματα. Οι ιδιότητες των διεπαφών συμπεριλαμβάνονται στα πακέτα δεδομένων για το έδαφος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τρία πακέτα δεδομένων πρέπει να δημιουργηθούν: ένα για τις επιφανειακές αποθέσεις, ένα για τον ισχυρό μεταψαμμίτη και ένα αργιλικό σχιστόλιθο. Επιπλέον ένα πακέτο δεδομένων για τους πάσσαλους, ένα για τα αγκύρια, ένα για την αντηρίδα και πακτωμένο τμήμα των αγκυρίων.

Επιλέγεται από την εντολή Material Sets της γραμμή εργαλείων ο τύπος ‘Soil and interfaces’ και μετά το κουμπί «New» για να εισαχθούν οι ιδιότητες του υλικού.

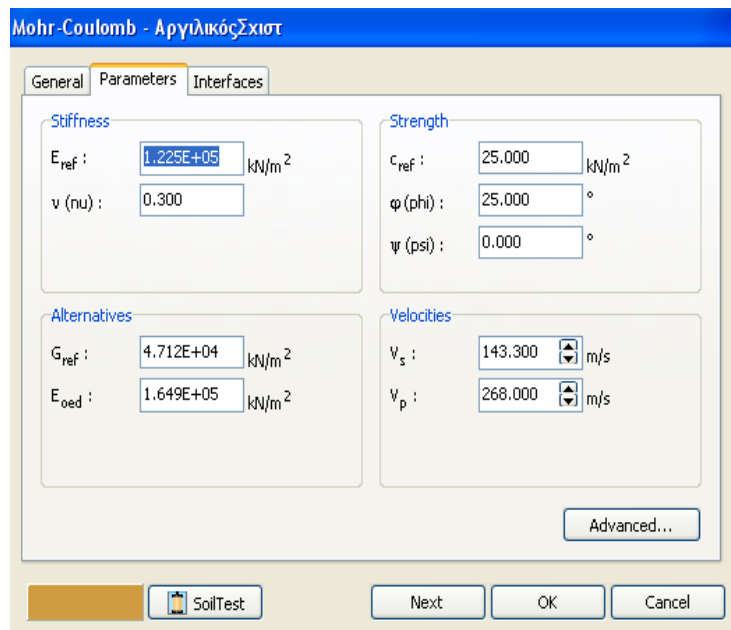
Αυτόματα εμφανίζεται το παράθυρο με τρία φύλλα εισαγωγής δεδομένων “General”, “Parameters” και “Interfaces”.

Στο φύλλο “General” μπορεί να ονομαστεί το εδαφικό υλικό στο “Material Set” στο πεδίο “identification”. Η προσομοίωση του εδαφικού υλικού γίνεται με το μοντέλο “Mohr Coulomb”, το οποίο επιλέγεται από το πεδίο “Material Model”. Για να καθοριστούν οι υδρογεωλογικές συνθήκες επιλέγεται “drained conditions” (στραγγιζόμενες συνθήκες) για όλους τους εδαφικούς σχηματισμούς, εφόσον μόνο μακροπρόθεσμες επιδράσεις από την εκσκαφή λαμβάνονται υπόψη και όχι οι αστράγγιστες συνθήκες (Εικόνα 5.9).



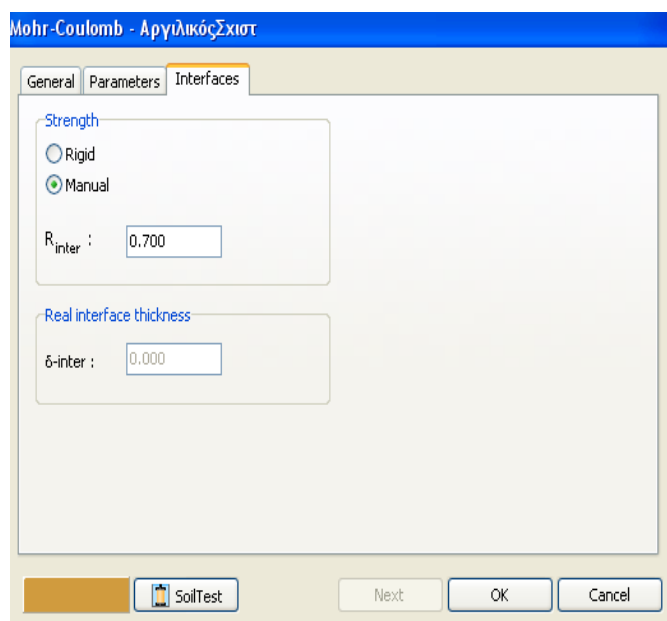
Εικόνα 5.9: Καθορισμός ιδιοτήτων εδαφικού υλικού

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



Εικόνα 5.10: Παράμετροι εδαφικού υλικού για το μοντέλο Mohr Coulomb

Τέλος, στο φύλλο “Interfaces” προσδιορίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων της διεπιφάνειας, με τις οποίες τα στοιχεία της διεπαφής μπορούν να συνδεθούν με τα στοιχεία του εδάφους. Με την εντολή αυτή δίνεται μια μειωμένη τριβή και συνοχή διεπαφής σε σχέση με τη γωνία τριβής και τη συνοχή στο παρακείμενο έδαφος. Στις διεπιφάνειες αυτές δίνονται ιδιότητες όμοιες με αυτές του εδάφους μειωμένες κατά συντελεστή Rinter ώστε να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής. Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται Rinter=0,7 (Εικόνα 5.11).



Εικόνα 5.11: Επιπλέον στοιχεία για τη διεπιφάνεια

Οι τιμές που εισάγονται στο πρόγραμμα για τον προσδιορισμό των για τεσσάρων εδαφικών σχηματισμών παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Ιδιότητες εδαφικών υλικών (Παναγιά, 2007)

Parametre	Name	Επιφανειακές Αποθέσεις	Ισχυρός Μεταγαμμίτης	Αργίλικός Σχιστόλιθος	Unit
Material Model	Model	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	-
Type of Material Behaviour	Type	Drained	Drained	Drained	-
Soil unit weight above phreatic level	γ_{unsat}	22,5	23	22,5	KN/m ³
Soil unit weigh below phreatic level	γ_{sat}	22,5	23	22,5	KN/m ³
Permeability in hor.direction	K_x	1,98	0,019	0,019	m/day
Permeability in ver.direction	K_y	1,98	0,019	0,019	m/day
Young's modulus(constant)	E_{ref}	18500	130000	122500	KN/m ²

Poisson's ratio	ν	0,35	0,30	0,30	-
Cohesion (constant)	c_{ref}	5	30	25	KN/m ²
Friction angle	φ	30 ⁰	25 ⁰	25 ⁰	ο
Dilatancy angle	ψ	0,0	0,0	0,0	ο
Strength reduction factor inter	R_{inter}	0,7	0,7	0,7	-

Με την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για όλα τα εδαφικά υλικά επιλέγεται το αντίστοιχο εδαφικό υλικό και σύρεται από το παράθυρο του Material Model (επιλέγεται και κρατιέται πατημένο με το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού, ενώ κινείται). Παρατηρείται ότι ο δρομέας αλλάζει σχήμα για να δείξει κατά πόσον ή όχι είναι δυνατόν να οριστεί εκεί το σύνολο των δεδομένων. Η σωστή αντιστοίχιση ενός συνόλου δεδομένων σε ένα εδαφικό υλικό υποδεικνύεται από μια αλλαγή στο χρώμα του εδαφικού υλικού, η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα εδαφικά υλικά.

5.2.4.2. Προσδιορισμός πασσάλων- διαφραγματικού τοίχου

Ο διαφραγματικός τοίχος προσομοιώνεται ως στοιχείο πλάκα με καθορισμένη διεπιφάνεια για την απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της διαταραγμένης ζώνης στην επαφή πασσάλων εδάφους.

Ορίζεται από τον τύπο του "Materials" το "plates" και στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται το "new". Στο πεδίο 'Identification' εισάγεται το όνομα 'ΔιαφραγμΓ' ενώ στα άλλα πεδία τα στοιχεία όπως φαίνονται από τον πίνακα, δηλαδή 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 θεωρείται 0 αφού στη παρούσα εργασία δε γίνονται αναλύσεις με σεισμικά φορτία. Τα παραπάνω στοιχεία προκύπτουν ύστερα από υπολογισμούς που φαίνονται παρακάτω.

Για τις πλάκες, θα πρέπει να υπολογιστούν η καμπτική δυσκαμψία EI και η δυστένεια EA.

Η δυστένεια (EA) και η καμπτική δυσκαμψία (EI) των πασσάλων υπολογίζεται με βάση τους τύπους:

$$EA_1 = \frac{E(KPa) * \pi * \frac{d^2}{4} (m^2)}{x(m)}$$

$$EI_1 = \frac{E(KPa) * \pi * \frac{d^4}{64} (m^4)}{x(m)}$$

όπου

d: Διάμετρος πασσάλων (m)

x: Απόσταση πασσάλων (m)

E: Μέτρο Ελαστικότητας πασσάλου (kPa)

Η δυστένεια (EA) και η καμπτική δυσκαμψία (EI) από το ενδιάμεσο τοίχιο υπολογίζεται με βάση τους τύπους:

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

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

όπου

d: Διάμετρος πασσάλων (m)

x: Απόσταση πασσάλων (m)

w: Πάχος ενδιάμεσου τοιχίου (m)

E: Μέτρο ελαστικότητας τοιχίου (kPa)

Άρα, για να υπολογιστεί η συνολική δυστένεια (EA) αλλά και καμπτική δυσκαμψία (EI) του διαφραγματικού τοίχου θα πρέπει να αθροιστούν οι παραπάνω τιμές:

$$\Sigma EA = EA_1 + EA_2$$

$$\Sigma EI = EI_1 + EI_2$$

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

$$D_{equal} = \sqrt{\frac{12EI}{EA}}$$

Στην Περιοχή 2 στο κύριο τμήμα του σταθμού ο διαφραγματικό τοίχος αποτελείται από πασσάλους διαμέτρου Φ 1.0 m και απόσταση 1.5 m μεταξύ τους. Για πρακτικούς λόγους η ίδια παραδοχή γίνεται και στο τμήμα της πλευρικής διεύρυνσης βορειοδυτικά του σταθμού. Η αξονική δυσκαμψία και η καμπτική δυσκαμψία του μεμονωμένου πασσάλου υπολογίζονται αρχικά από τους τύπους:

- Για πάσσαλο Φ 1 m και απόσταση 1.5 m

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

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

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 1.5 m οι τιμές που εισάγονται στο πρόγραμμα είναι:

- Για πάσσαλο Φ 1 m και απόσταση 1.5 m

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

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

Ανάμεσα στους πασσάλους τοποθετήθηκε και τοιχίο από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το πάχος του ενδιάμεσου τοιχίου αυτού είναι $t=10\text{cm}$ (δυσμενής θεώρηση) και συμβάλλει στην αξονική και καμπτική δυσκαμψία με αποτέλεσμα την ανάγκη του συνυπολογισμού του στα δεδομένα εισαγωγής τους προγράμματος.

- Για πάσσαλο Φ 1 m και απόσταση 1.5 m

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

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

Επομένως οι τελικές τιμές προκύπτουν από το άθροισμα:

- Για πάσσαλο Φ 1 m και απόσταση 1.5 m

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

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

Ακόμη,

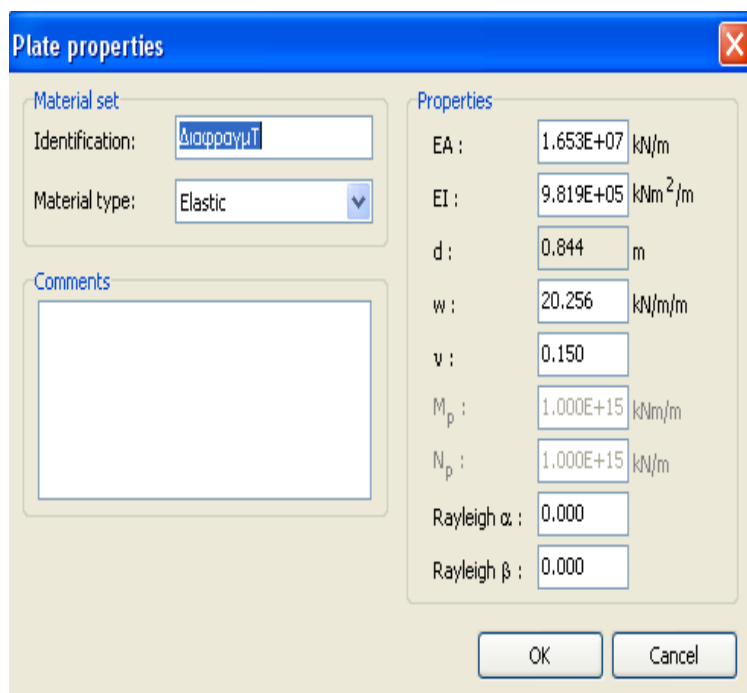
Το βάρος (w) των στοιχείων υπολογίζεται από τον τύπο $w=\gamma \cdot d$,

όπου $\gamma = 24 \text{ kNm}^3$ και d όπου έχει υπολογιστεί αυτόματα με την εισαγωγή των EA και EI .

- Για πάσσαλο Φ 1 m και απόσταση 1.5 m

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

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



Εικόνα 5.12 : Καθορισμός ιδιοτήτων διαφραγματικού τοίχου

Τέλος με την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων επιλέγεται το κουμπί <OK> και σύρεται το 'ΔιαφραγμαΤ' στο τοίχο της γεωμετρίας και αφήνεται μόλις ο κέρσορας το επιτρέψει. Παρατηρείται ότι ο δρομέας αλλάζει σχήμα για να δείξει κατά πόσον ή όχι είναι δυνατόν να οριστεί εκεί το σύνολο των δεδομένων. Η σωστή αντιστοίχιση ενός συνόλου δεδομένων υποδεικνύεται από μια αλλαγή στο χρώμα του στοιχείου.

Πίνακας 5.3: Ιδιότητες υλικών για το διαφραγματικό τοίχο (Plate)

Parameter	Name	Πάσσαλοι Φ1/1.5m	Unit
Type of behavior	Material Type	Elastic	
Normal Stiffness	EA	16,53 10 ⁶	KN/m
Flexural rigidity	EI	981944,4	KNm ² /m
Equivalent thickness	d	0,844	m
Weight	w	20,256	KN/m/m
Poisson's ratio	ν	0,15	

5.2.4.3. Καθορισμός πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου

Το λογισμικό του Plaxis προσομοιώνει το πακτωμένο τμήμα του αγκυρίου μέσω της επιλογής Geogrid. Το γεώπλεγμα αυτό ως μια λεπτή δομή, με κανονική ακαμψία

αλλά χωρίς καμπτική αντοχή, μπορεί να δεχτεί μόνο εφελκύστηκες δυνάμεις και καθόλου θλιπτικές.

Συγκεκριμένα, στην επιλογή “Materials” επιλέγεται το “Geogrids” και στο παράθυρο που εμφανίζεται με αριστερό κλικ στο “new”.

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, η οποία υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\begin{aligned} \Sigma EA &= E_b * A_b + E * A_s \\ &= E_b * \left(\frac{\pi * d^2}{4} - A_s \right) * 10^{-4} m^2 + E(kPa) * A_s * 10^{-4} m^2 \end{aligned}$$

Όπου

d : διάμετρος του βολβού πάκτωσης (cm)

A_s: Συνολική επιφάνεια διατομής (cm²)

E: Μέτρο ελαστικότητας αγκυρίου (kPa)

E_b: Μέτρο ελαστικότητας τσιμεντοκονιάματος (kPa)

Ο βολβός πάκτωσης είναι Φ 0.1 m με μήκος 11 m, 12 m, 15 m ανάλογα με τη περιοχή εφαρμογής.

Τα αγκύρια αποτελούνται από 4 τένοντες με Φ0.6, άρα η συνολική επιφάνεια διατομής είναι

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

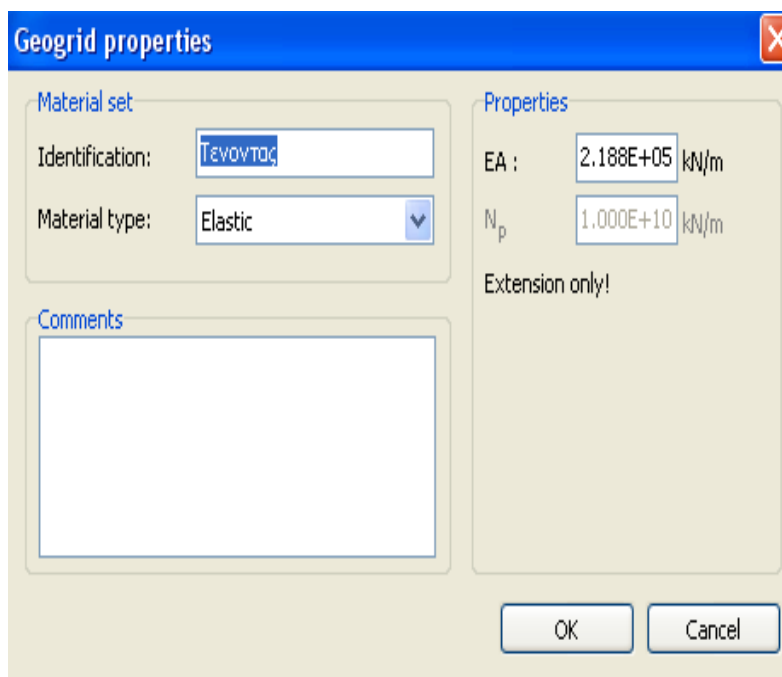
Άρα η δυστένεια του κάθε αγκυρίου είναι

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

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

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

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



Εικόνα 5.13: Καθορισμός ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίου

Με την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για το πακτωμένο τμήμα του αγκυρίου επιλέγεται και σύρεται από το παράθυρο του Material Model (επιλέγεται και κρατιέται πατημένο με το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού, ενώ κινείται). Παρατηρείται ότι ο δρομέας αλλάζει σχήμα για να δείξει κατά πόσον ή όχι είναι δυνατόν να οριστεί εκεί το σύνολο των δεδομένων. Η σωστή αντιστοίχιση ενός συνόλου δεδομένων υποδεικνύεται από μια αλλαγή στο χρώμα του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου, η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα πακτωμένα τμήματα των αγκυρίων.

5.2.4.4. Καθορισμός αγκυρίων

Ο υπολογισμός των ακριβών συντεταγμένων των αγκυρίων (ελεύθερου και πακτωμένου τμήματος) γίνεται με τη βοήθεια υπολογιστικού φύλλου Microsoft Excel, του οποίου απόσπασμα δίδεται παρακάτω (πίνακας 5.4) και η τοποθέτηση των αγκυρίων γίνεται με χειρωνακτικό τρόπο μέσω κατάλληλων εντολών καθώς το πρόγραμμα δεν χρησιμοποιεί κάποια συνάρτηση για την αυτόματη εγκατάστασή τους.

Πίνακας 5.4: Συντεταγμένες προεντεταμένων αγκυρώσεων για την κύρια εκσκαφή

		Τομή Μ2Α-6 σειρές αγκυρίων					
Σημείο Αγκύρωσης		12.3					
Σειρές αγκύρωσης		Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5	Σ6
	Βάθος αγκύρωσης	4,5	7,5	10	12,5	15	17,5
	Ελεύθερο μήκος	13	11	10	8	7	5
	Πακτωμένο μήκος	8	12	15	15	15	15
	Συνολικό μήκος	21	23	25	23	22	20
	Γωνία	80	80	80	80	80	80
Συντεταγμένες αγκυρίου	Απέναντι κάθετη(Ax)	25,1	23,1	22,1	20,2	19,2	17,2
	Προσκείμενη κάθετη(Ay)	6,8	9,4	11,7	13,9	16,2	18,4
Συντεταγμένες πακτωμένου τμήματος αγκυρίου	Απέναντι κάθετη(Bx)	33,0	35,0	36,9	35,0	34,0	32,0
	Προσκείμενη κάθετη(By)	8,1	11,5	14,3	16,5	18,8	21,0

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

Στην επιλογή “Material type” δίνεται η δυνατότητα να οριστεί ως πλαστικό η ελαστοπλαστικό το υλικό. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου επιλέγεται το ‘elastic’.

Στο πεδίο “Properties” εισάγεται η τιμή για την δυστένεια EA και το $L_{spacing}$ που είναι η οριζόντια απόσταση των αγκυρίων, σύμφωνα με τον τύπο είναι:

$$EA = E \cdot A_s$$

Όπου

E: Μέτρο ελαστικότητας αγκυρίου (kPa)

A_s : Συνολική επιφάνεια διατομής (cm)

Η συνολική επιφάνεια διατομής του αγκυρίου υπολογίστηκε πιο πάνω και είναι ίση

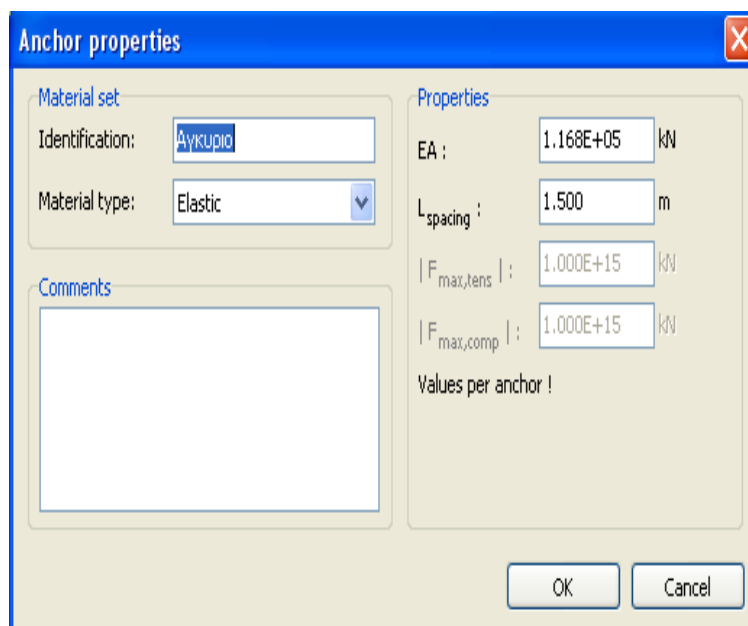
Για αγκύρια με # 4 τένοντες $A_s=5,56 \text{ cm}^2$.

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

Άρα η δυστένεια του κάθε αγκυρίου είναι

Για αγκύρια με # 4 τένοντες :

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



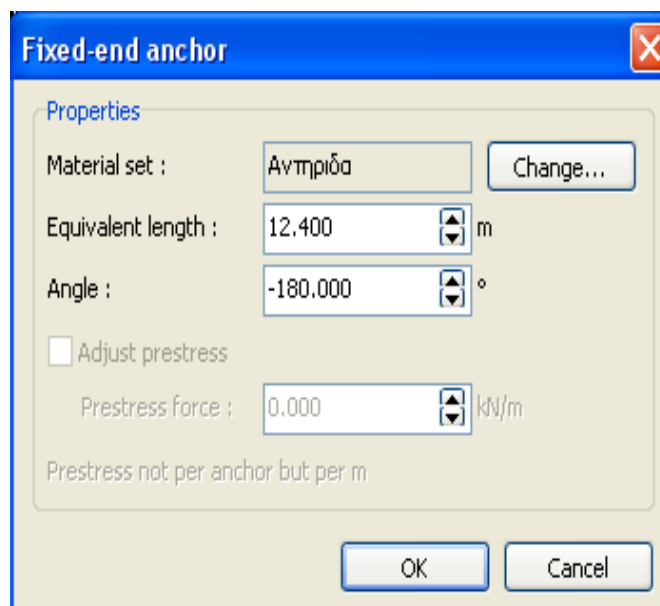
Εικόνα 5.14 : Καθορισμός ιδιοτήτων αγκυρίων

Με την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για το αγκύριο επιλέγεται και σύρεται από το παράθυρο του Material Model (επιλέγεται και κρατιέται πατημένο με το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού, ενώ κινείται). Παρατηρείται ότι ο δρομέας αλλάζει σχήμα για να δείξει κατά πόσον ή όχι είναι δυνατόν να οριστεί εκεί το σύνολο των δεδομένων.

Η σωστή αντιστοίχιση ενός συνόλου δεδομένων σε ένα αγκύριο υποδεικνύεται από μια αλλαγή στο χρώμα του αγκυρίου, η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα αγκύρια.

5.2.4.5. Καθορισμός αντηρίδων

Για τον σχεδιασμό της αντηρίδας επιλέγεται η εντολή “Fixed end Anchor” από το πάνελ σχεδίασης (Εικόνα 5.15) και σχεδιάζεται στο σημείο εφαρμογής της στην κατασκευή ενώ ταυτόχρονα εισάγονται τα πρώτα δεδομένα για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων της. Εμφανίζεται το παράθυρο “Fixed-end Anchor” όπου στο πεδίο “Properties” εισάγεται για τον “Equivalent length” το ισοδύναμο μήκος της αντηρίδας, στην περίπτωση αυτή καθώς προσομοιώνεται το μισό πλάτος της εκσκαφής το μήκος είναι 12.3 m και αφορά μόνο το κύριο τμήμα του σταθμού (M2A) και στο πεδίο “Angle” η γωνία -180° (Εικόνα 5.15).



Εικόνα 5.15: Παράθυρο σχεδίασης αντηρίδας

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

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 $L_{spacing}$ που είναι η ορίζονται απόσταση των αντηρίδων, σύμφωνα με τον τύπο είναι:

$$EA = E * A$$

Όπου

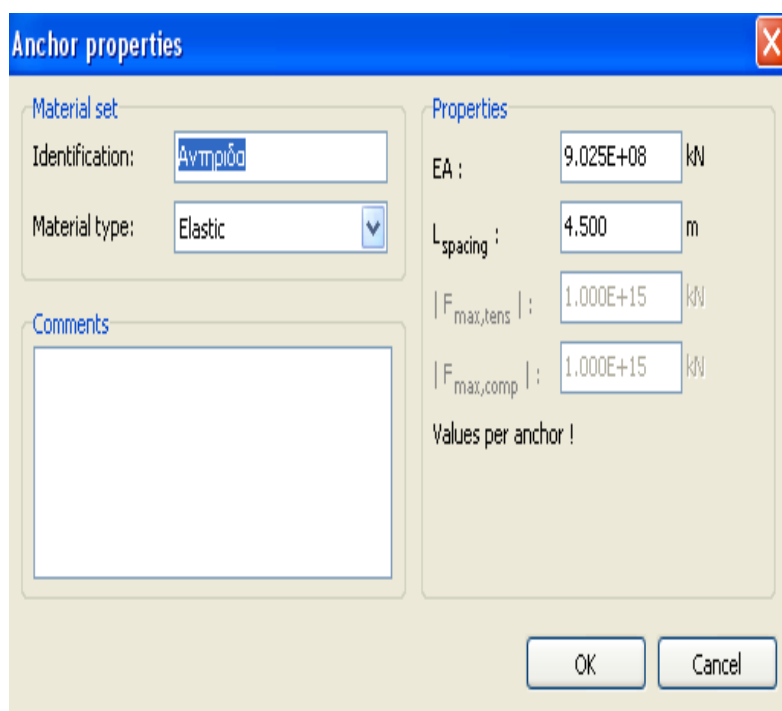
$$A = \pi * (D^2 - d^2)$$

Η επιφάνεια διατομής της αντηρίδας A είναι

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

Άρα η δυστένεια της αντηρίδας είναι,

$$E * A = 210 * 10^6 kPa * 4,298m^2 = 902,52 * 10^6 kN$$



Εικόνα 5.16: Καθορισμός ιδιοτήτων αντηρίδας

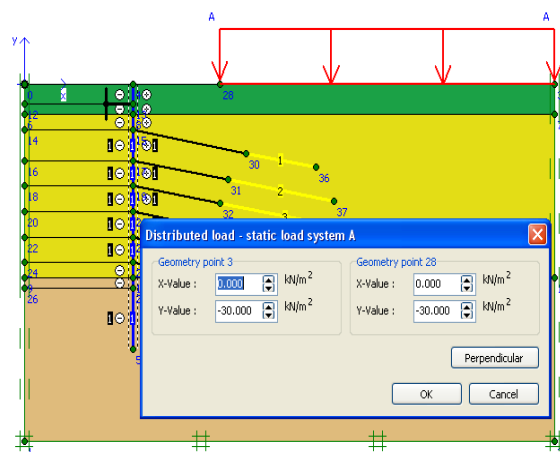
Με την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων για την αντηρίδα επιλέγεται και σύρεται από το παράθυρο του Material Model (επιλέγεται και κρατιέται πατημένο με το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού, ενώ κινείται). Παρατηρείται ότι ο δρομέας αλλάζει σχήμα για να δείξει κατά πόσον ή όχι είναι δυνατόν να οριστεί εκεί το σύνολο των δεδομένων. Η σωστή αντιστοίχιση ενός συνόλου δεδομένων σε μια αντηρίδα υποδεικνύεται από μια αλλαγή στο χρώμα της αντηρίδας.

5.2.4.6. Καθορισμός του επιβαλλόμενου φορτίου στην επιφάνεια του εδάφους

Στην παρούσα διπλωματική λαμβάνεται υπόψη το επιφανειακό φορτίο σε απόσταση περίπου 10m από την κατασκευή μέχρι το δεξί ακραίο σημείο του σχεδιασθέντος μοντέλου καθώς μεσολαβεί ανάμεσα στην κατασκευή και στα φορτία δρόμος διπλής κυκλοφορίας.

Το φορτίο ορίζεται επιλέγοντας την εντολή “Distributed load– load system A” από την περιοχή σχεδίασης και σχεδιάζεται στο γεωμετρικό μοντέλο 10m μακριά από την εκσκαφή, έπειτα με διπλό κλικ στο φορτίο εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο (Εικόνα 5.17).

Εκεί επιλέγεται το “Destributed Load (system A)” και επιβεβαιώνεται πατώντας το «OK». Τέλος, ορίζεται η κατακόρυφη συνιστώσα στο “Y-Value” ίση με -30,00 kN/m² στο καινούριο παράθυρο “Distributed load – static load system A”, στο πεδίο “Geometry point 4” που εμφανίζεται. Η ίδια τιμή ορίζεται και στο πεδίο “Geometry point 6” στο “Y-Value” ίση με -30,00 kN/m² (Εικόνα 5.17).



Εικόνα 5.17: Καθορισμός φορτίου στην επιφάνεια

5.2.5. Διακριτοποίηση μοντέλου (Mesh generation)

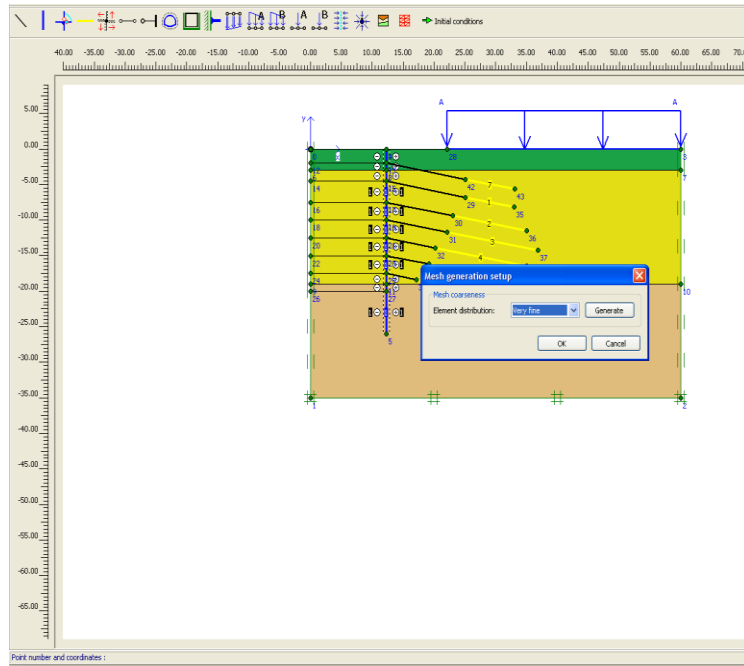
Όταν ολοκληρωθεί το γεωμετρικό μοντέλο, το μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να δημιουργηθεί. Σε περίπτωση που δεν έχει προσδιοριστεί έστω και μια ιδιότητα ενός στοιχείου της κατασκευής, το πρόγραμμα Plaxis 2D δεν μπορεί να πραγματοποιήσει την διακριτοποίηση του μοντέλου. Το Plaxis επιτρέπει μια πλήρως αυτοματοποιημένη δημιουργία πλέγματος στοιχείων, στην οποία το γεωμετρικό μοντέλο χωρίζεται σε στοιχεία, αν επιτρέπεται. Για την διακριτοποίηση του μοντέλου λαμβάνεται πλήρως υπόψη η θέση των σημείων και των γραμμών του γεωμετρικού μοντέλου, έτσι ώστε η ακριβής θέση των στρωμάτων, του φορτίου και της κατασκευής να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς.

Για την δημιουργία του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Επιλέγεται το κουμπί 'Generate mesh' από την γραμμή εργαλείων και αυτόματα εμφανίζεται ένα καινούργιο παράθυρο στο οποίο εμφανίζεται το πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων.
- Επιλέγεται η εντολή 'Update' και έτσι επιστρέφει στο γεωμετρικό μοντέλο με πλέον καταχωρημένα τα δεδομένα.

Από την στήλη της γραμμής εργαλείων του «Mesh» μενού επιλέγεται η εντολή «Global Coarseness». Το πεδίο 'Element distribution' έχει την προκαθορισμένη τιμή 'Coarse'. Για καθοριστεί η ποιότητα του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείου, δηλαδή το πόσο λεπτομερές θα είναι το πλέγμα των στοιχείων επιλέγεται κάποια άλλη τιμή από το πεδίο ανάλογα με το πόσο ακριβή αριθμητικά αποτελέσματα επιθυμούνται.

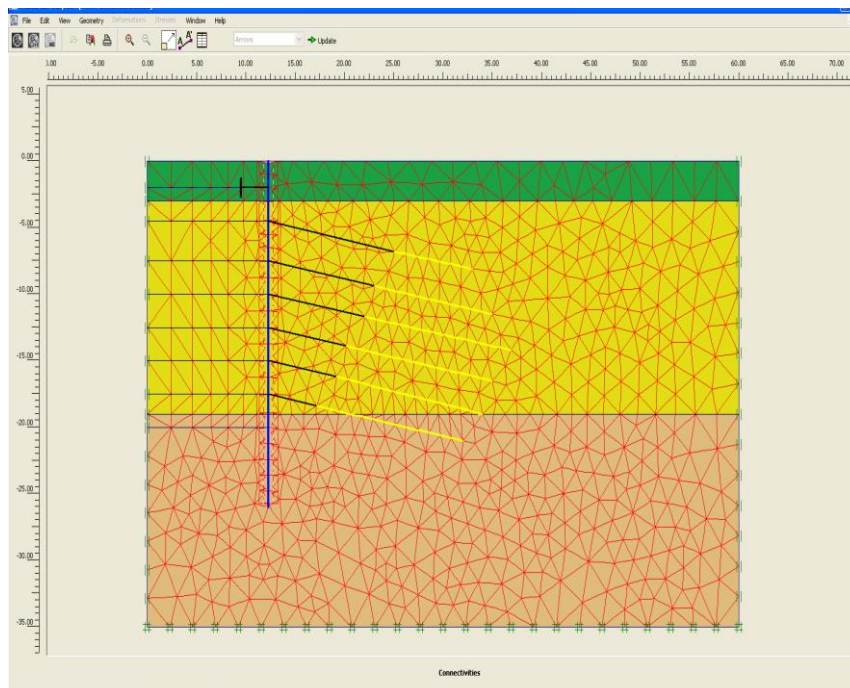
Για τις αναλύσεις αυτής της διπλωματικής επιλέγει σαν ποιότητα πλέγματος πολύ πυκνό/ λεπτομερές.



Εικόνα 5.18: Επιλογή πυκνότητα πλέγματος

Επιπλέον, γωνιακά σημεία της κατασκευής μπορεί να δημιουργήσουν μεγάλες μετακινήσεις βαθμίδων. Γι' αυτό είναι σκόπιμο να γίνουν αυτές οι περιοχές των σημείων πιο λεπτότερες από άλλα σημεία της γεωμετρίας.

Για να επιτευχθεί αυτό επιλέγει η μέση του χαμηλότερου σημείου του τοίχου (μονό κλικ και η γεωμετρική γραμμή έγινε κόκκινη). Από το μενού μέσω της εντολής «Mesh» επιλέγεται «Refine Line». Ως αποτέλεσμα, είναι ορατή μια τοπική βελτίωση στην επιλεγμένη γραμμή του δημιουργούμενου πλέγματος, οπότε και επιλέγεται «Update».



Εικόνα 5.19 : Διακριτοποίηση στοιχείων κύριας εκσκαφή

5.2.6. Αρχικές συνθήκες (Initial Conditions)

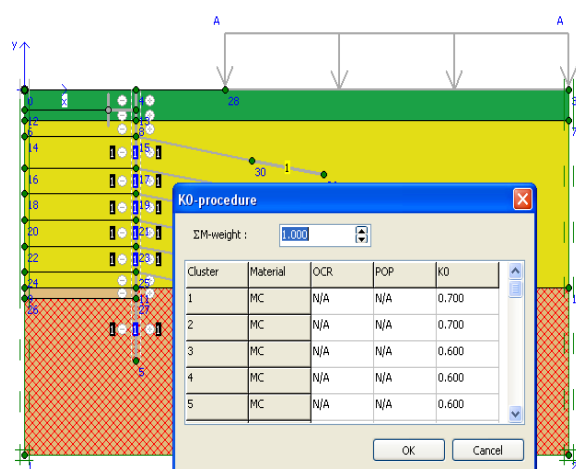
Με τη δημιουργία του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων, το τελικό μοντέλο έχει ολοκληρωθεί. Ωστόσο, πριν ξεκινήσουν οι υπολογισμοί πρέπει να οριστούν οι αρχικές συνθήκες. Γενικά, οι αρχικές συνθήκες περιλαμβάνουν τις αρχικές υδρογεωλογικές συνθήκες, την αρχική γεωμετρική διαμόρφωση και το αρχικό πραγματικό επίπεδο πιέσεων.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα εδάφη δεν διαβρέχονται από το νερό, οπότε γίνεται η παραδοχή ότι τα εδάφη είναι ξερά, οπότε δεν είναι ανάγκη να εισαχθούν οι υδρογεωλογικές συνθήκες.

Ωστόσο πρέπει να εισαχθεί το πραγματικό επίπεδο των ενεργών τάσεων μέσω των τιμών του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων K_0 , ο οποίος για κάθε γεωλογικό στρώμα αντίστοιχα είναι:

- Για επιφανειακές αποθέσεις $K_0 = 0.50$
- Για ισχυρούς Μεταψαμμίτες $K_0 = 0.60$
- Για Αργιλικούς Σχιστόλιθους $K_0 = 0.70$

Επισημαίνεται ότι το K_0 χρησιμοποιείται για οριζόντιες πολυεπίπεδες γεωμετρίες με οριζόντια επιφάνεια εδάφους και αν είναι δυνατόν με τον υδροφόρο ορίζοντα να βρίσκεται σε οριζόντιο επίπεδο.



Εικόνα 5.20: Προσδιορισμός συντελεστή K_0

Για την εισαγωγή των αρχικών συνθηκών ακολουθούνται τα εξής βήματα:

Επιλέγεται η εντολή 'Initial Conditions' από την γραμμή εργαλείων

Αυτόματα εμφανίζεται ένα παράθυρο που δείχνει την προεπιλεγμένη τιμή του ειδικού βάρους του νερού (10 Kn/m^3). Αποδεχόμενοι την προεπιλεγμένη τιμή, επιλέγεται «OK».

Σημειώνεται ότι με την εντολή αυτή η γραμμή εργαλείων και το φόντο της γεωμετρίας έχει αλλάξει σε σχέση με την αρχική γεωμετρία.

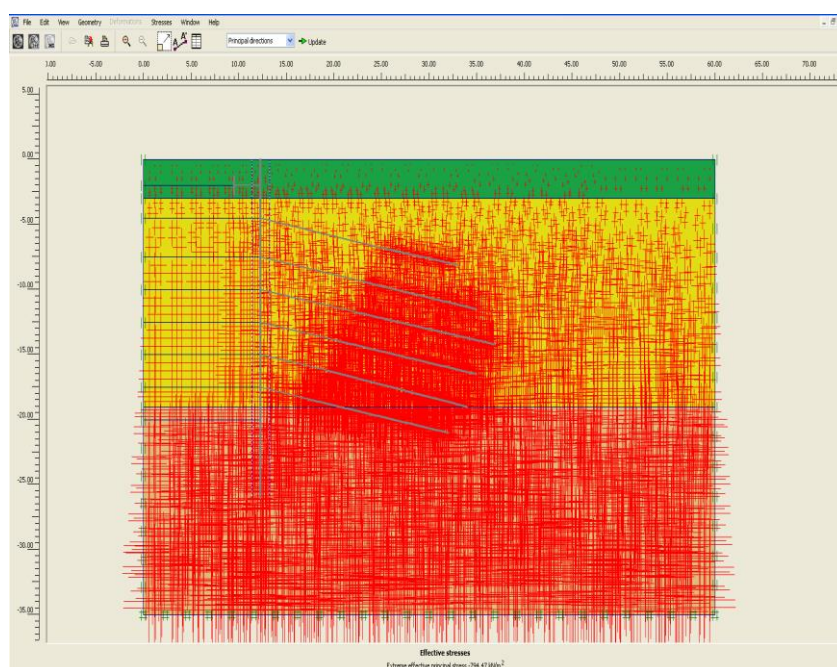
Η εντολή 'Initial Conditions' περιλαμβάνει δυο διαφορετικές λειτουργίες:

- Η λειτουργία πίεσης νερού
- Η λειτουργία διαμόρφωσης της γεωμετρίας

Στην παρούσα διπλωματική για το συγκεκριμένο σταθμό δεν λήφθηκαν υπόψη οι υδροστατικές πιέσεις, έτσι στρέφεται δεξιά το κουμπί προς την εντολή 'διαμόρφωσης της γεωμετρίας' (Initial Stress and geometry configuration). Με αποτέλεσμα ο υδροφόρος ορίζοντας να τοποθετείται στο πάτο της γεωμετρίας.

Μετά την δημιουργία των αρχικών τάσεων εμφανίζεται ένα παράθυρο, στο οποίο οι τάσεις αλληλεπίδρασης εμφανίζονται ως κύριες τάσεις. Το μήκος των γραμμών δηλώνουν το σχετικό μέγεθος των κύριων τάσεων ενώ ο προσανατολισμός των γραμμών δηλώνει την κύρια κατεύθυνση.

Μέσω της εντολής 'Update' γίνεται επιστροφή στο αρχικό γεωμετρικό μοντέλο.



Εικόνα 5.21: Παρουσίαση ενεργών τάσεων κύριας εκσκαφής

5.3. Εκτέλεση υπολογισμών (Performing Calculation)

Το παράθυρο υπολογισμού αποτελείται από το μενού, την γραμμή εργαλείων, ένα σύνολο καρτελών και μια σειρά από υπολογιστικές φάσεις.

Οι καρτέλες (General, Parameters και Multipliers) χρησιμοποιούνται για να οριστούν οι υπολογιστικές φάσεις. Σε κάθε υπολογιστική φάση μπορεί να οριστούν τα φορτία, η κατασκευή ή οι φάσεις εκσκαφής ή ο συντελεστής ασφαλείας, τα οποία αποτελούν δεδομένα της επόμενης φάσης. Για κάθε έργο μπορεί να οριστούν πολλαπλές φάσεις υπολογισμού, όπως οι εκσκαφές, η ενεργοποίηση των μέτρων υποστήριξης ή και ο συνδυασμός των δυο. Ακόμη, μετά τον υπολογισμό της επιλεγμένης φάσης είναι δυνατή η προεπισκόπηση της συγκεκριμένης φάσης μέσω της καρτέλας "Preview".

Στην πράξη η κατασκευή ενός έργου είναι μια διαδικασία που μπορεί να αποτελείται από πολλές φάσεις. Αρχικά, οι πάσσαλοι - διαφραγματικός τοίχος έχουν τοποθετηθεί στο επιθυμητό βάθος, έπειτα πραγματοποιούνται μερικές εκσκαφές για να γίνει η τοποθέτηση της αντηρίδας και σταδιακά το εδαφικό υλικό αφαιρείται για να φτάσει η εκσκαφή μας στο επιθυμητό βάθος εκσκαφής. Λαμβάνονται ειδικά μέτρα για να παραμείνει το νερό εκτός της κατασκευής.

Στο Plaxis αυτή η διαδικασία μπορεί να προσομοιωθεί με την εντολή 'Staged Construction' από το 'Calculation' παράθυρο. Η εντολή 'Staged Construction' κάνει εφικτό την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση του βάρους, της ακαμψίας και της αντοχής των επιλεγμένων κατασκευαστικών στοιχείων του μοντέλου πεπερασμένου στοιχείων.

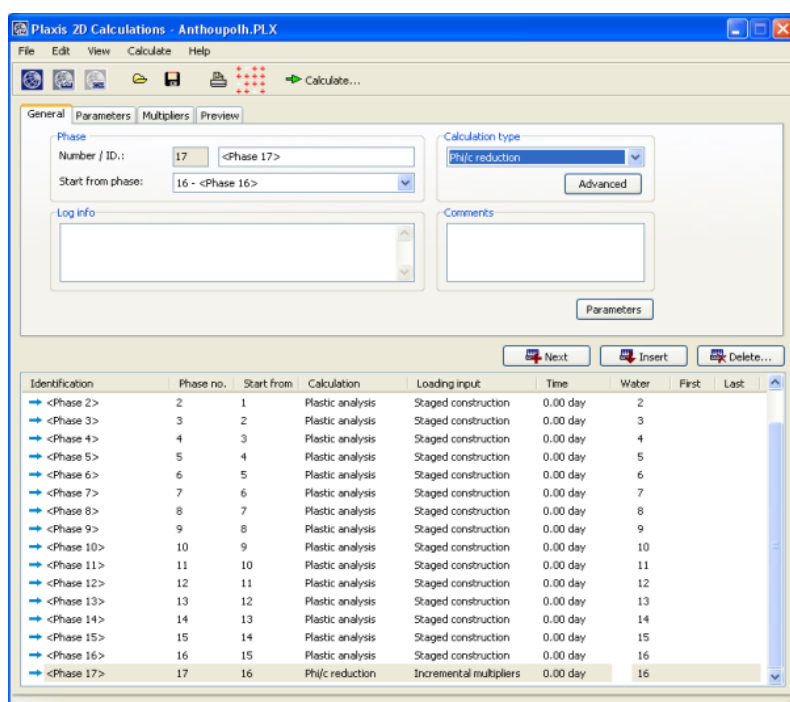
Σε όλα τα προσομοιώματα στο τέλος κάθε υπολογιστικής φάσης υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας μέσω της εντολής phi/c reduction, με τον τρόπο αυτό το πρόγραμμα εκτελεί διαδοχικές επιλύσεις και στο τέλος ελέγχει την συνολική ευστάθεια της εκάστοτε κατασκευής.

Ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα ως ο λόγος αρχικής / τελικής διατμητικής αντοχής.

Σε περίπτωση που σταματήσουν οι επιλύσεις, αυτό συμβαίνει είτε λόγω μεγάλων παραμορφώσεων είτε εκτεταμένης αστοχίας.

Με τη δημιουργία των αρχικών τάσεων μπορούν να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί.

Το υπολογιστικό παράθυρο αποτελείται από το μενού, την γραμμή εργαλείων, ένα σύνολο καρτελών και μια λίστα από φάσεις υπολογισμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.22.



Εικόνα 5.22: Υπολογιστικό Παράθυρο κύριας εκσκαφής

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η κύρια εκσκαφή εκτελείται σε διάφορα τμήματα και συνδυασμό τμημάτων. Ο διαχωρισμός των φάσεων εκσκαφής λήφθηκε υπόψη κατά τη διάρκεια σχεδιασμού του γεωμετρικού μοντέλου.

- ✓ Σε πρώτος στάδιο μελετήθηκε η κατασκευή του κεντρικού κουτιού του σταθμού Μ2Α εκτελώντας τα παρακάτω υπολογιστικά βήματα (Πίνακας 5.5)

Πίνακας 5.5: Αναλυτική περιγραφή μεθοδολογίας κατασκευής κύριας εκσκαφής

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΒΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ 2 : Μ2Α ΠΑΣΣΑΛΟΙ Φ1.0/1.5 m ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΗΜΑΤΟΣ
1.	Εκσκαφή 2m
2.	Εγκατάσταση Αντηρίδας Φ 914.4mm/14.3mm
3.	Εκσκαφή 2.5m
4.	Εγκατάσταση 1 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/$ πάσσαλο
5.	Εκσκαφή 3 m
6.	Εγκατάσταση 2 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/$ πάσσαλο
7.	Εκσκαφή 2.5m
8.	Εγκατάσταση 3 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/$ πάσσαλο
9.	Εκσκαφή 2.5m
10.	Εγκατάσταση 4 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/$ πάσσαλο
11.	Εκσκαφή 2.5m
12.	Εγκατάσταση 5 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/$ πάσσαλο
13.	Εκσκαφή 2.5m
14.	Εγκατάσταση 6 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/$ πάσσαλο
15.	Εκσκαφή 2.5m

Για να οριστούν οι δεκαπέντε υπολογιστικές φάσεις ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

- Στο πεδίο 'Phase ID' εισάγεται ένα κατάλληλο όνομα για κάθε φάση υπολογισμού και επιλέγεται η φάση από την οποία θα ξεκινά.
- Στην καρτέλα 'General' επιλέγεται από το πεδίο 'Calculation Type' το 'Plastic' σε όλες τις φάσεις πλην της τελευταίας όπου επιλέγεται 'Phi/c reduction' για να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφαλείας.
- Οι 'Parameters' περιλαμβάνει τις παραμέτρους ελέγχου του υπολογισμού. Συγκεκριμένα διατηρείται η προκαθορισμένη τιμή του 'maximum number of Additional Steps' στο (250), από το 'Iterative procedure' επιλέγεται 'Standard

setting' και από το πεδίο 'Loading input' το 'Staged Construction' . Μετά επιλέγεται το κουμπί <Define>.

Phase 1: Εξωτερικά φορτία

- Σε όλους τους υπολογισμούς η πρώτη υπολογιστική φάση δημιουργείται αυτόματα. Από την καρτέλα <General> γίνεται αποδοχή όλων των προεπιλεγμένων τιμών.
- Στην καρτέλα <Parametres> διατηρούνται οι προκαθορισμένες τιμές του 'Control Parameters' και 'Iterative procedure'. Επιλέγεται 'Staged Contruction' από το 'Loading' πεδίο.
- Επιλέγεται το <Define>. Εμφανίζεται το 'Staged construction' παράθυρο, που προβάλλει τα ενεργά μέρη της γεωμετρίας, δηλαδή όλη την γεωμετρία εκτός του τοίχου, των αγκυρίων και του φορτίου. Ενεργοποιείται ο τοίχος (γίνεται μπλε). Επιπλέον, για να ενεργοποιηθεί το φορτίο επιλέγεται.
- Για να ολοκληρωθεί ο προσδιορισμός της πρώτης φάσης επιλέγεται το <Update> και ως αποτέλεσμα το πρόγραμμα επιστρέφει στο παράθυρο <Calculation>.

Phase 2: Δεύτερη φάση εκσκαφής

- Η μετάβαση στην επόμενη φάση γίνεται από την εντολή 'Next' του παράθυρο <Calculation>.
- Στο πρόγραμμα η τωρινή φάση έχει ως σημείο αναφοράς την προηγούμενη, οπότε το φορτίο και ο τοίχος είναι ήδη ενεργοποιημένοι και με μπλε χρώμα. Στην καρτέλα <Parameters> διατηρούνται οι προκαθορισμένες τιμές και επιλέγεται το 'Staged Contruction' και το 'Reset Displacements to zero' (μόνο για την φάση αυτή). Με αυτόν τον τρόπο όταν ξεκινήσει η πρώτη φάση εκσκαφής δε λαμβάνονται υπόψη οι μετακινήσεις που δημιουργήθηκαν από την έμπηξη των πασσάλων ή την ενεργοποίηση του φορτίου, το οποίο υπήρχε πριν της εκσκαφής .
- Για να ολοκληρωθεί ο προσδιορισμός της δεύτερης φάσης επιλέγεται το <Update> και ως αποτέλεσμα το πρόγραμμα να επιστρέψει στο παράθυρο <Calculation>.

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο προσδιορίζονται και οι επόμενες φάσεις εκσκαφής ακολουθώντας τα βήματα όπως παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα και προβάλλοντας κάθε φορά στο παράθυρο του 'Staged Construction' την ενεργή διαμορφωμένη γεωμετρία. Με το τέλος του προσδιορισμού κάθε φάσης επιλέγεται <OK> και μετά το κουμπί <Update> για να επιστρέψει το πρόγραμμα στην καρτέλα <Parameters> του παραθύρου υπολογισμού.

Πριν ξεκινήσουν οι υπολογισμοί επιλέγονται κόμβοι ή σημεία τάσεων για την μετέπειτα δημιουργία καμπυλών μετατοπίσεων ή τάσεων και εντάσεων.

Τα σημεία που επιλέχθηκαν για το τμήμα της κύριας εκσκαφής συνοψίζονται αναλυτικά στον παρακάτω Πίνακα 5.6.

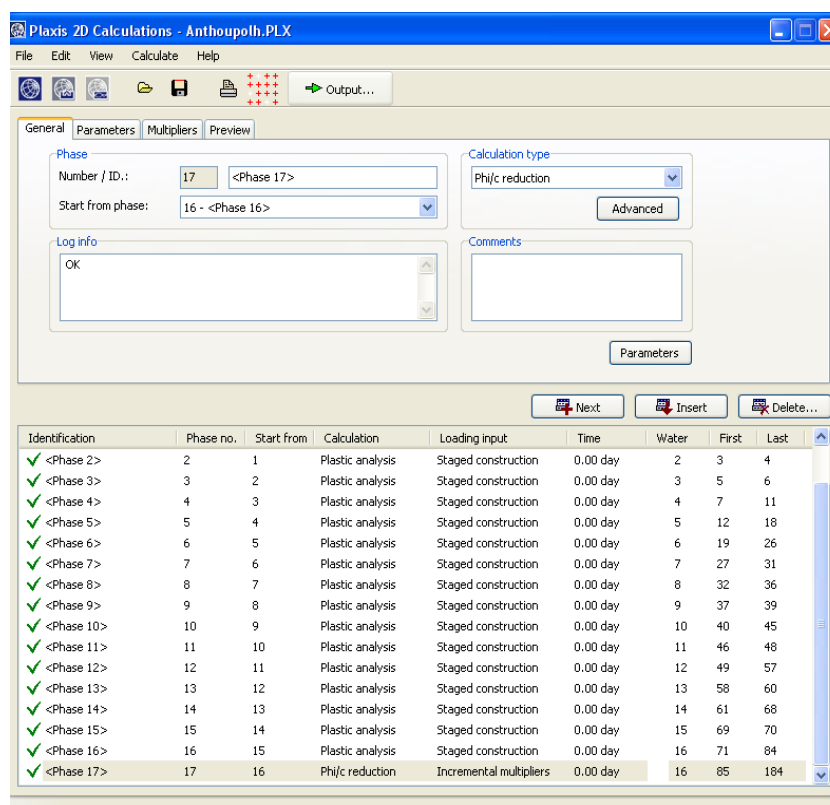
Πίνακας 5.6: Επιλεγμένα σημεία στην κύρια εκσκαφή για μελέτη

A/A	Όνομα	M2A	Περιγραφή
1.	A	12.3/20	Τοποθετείται επί του πασσαλότοιχου στο τελικό βάθος εκσκαφής της κατασκευής
2.	B	12.3/12.4	Τοποθετείται στη μέση του διαφραγματικού τοίχου κοντά στο στάθμη αγκύρωσης
3.	C	12.3/0	Τοποθετείται στην επιφάνεια του εδάφους πάνω από το διαφραγματικό τοίχο
4.	D	12.8/0	Τοποθετείται στην επιφάνεια του εδάφους λίγα εκατοστά δίπλα από το πασσαλότοιχο
5.	E	22.3/0	Τοποθετείται στην επιφάνεια του εδάφους 10m απόσταση από την κατασκευή
6.	F	32.3/0	Τοποθετείται στην επιφάνεια του εδάφους 20m απόσταση από την κατασκευή

Για την καθορισμό των σημείων :

- Επιλέγεται η εντολή 'Select points for curves' από την γραμμή εργαλείων. Ως αποτέλεσμα, εμφανίζεται ένα παράθυρο που δείχνει όλους τους κόμβους του μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων.
- Επιλέγονται μερικοί κόμβοι και έπειτα μέσω της εντολής 'Update' το πρόγραμμα επιστρέφει στο αρχικό παράθυρο υπολογισμού.

Με το πάτημα της εντολής 'Calculate' το παράθυρο εισαγωγής δεδομένων κλείνει και ξεκινάει το υπολογιστικό μέρος. Το υπολογιστικό πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ορίσει και να εκτελέσει τις υπολογιστικές φάσεις.



Εικόνα 5.23 : Παρουσίαση επιτυχής ολοκλήρωσης φάσεων κύριας εκσκαφής

5.4. Εξαγωγή αποτελεσμάτων (Output)

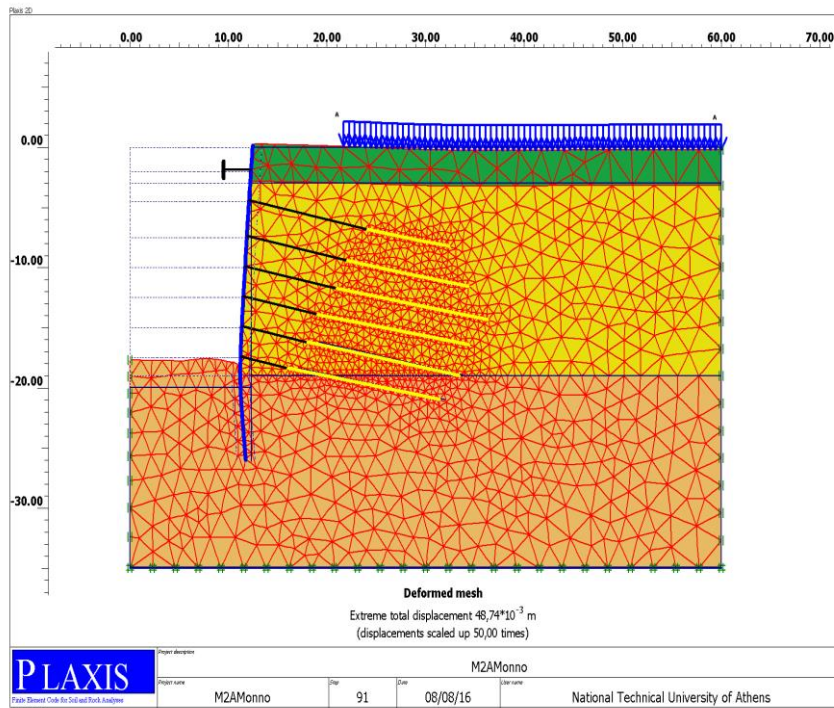
Αφού η υπολογιστική διαδικασία έχει ολοκληρωθεί, τα αποτελέσματα μπορούν να αξιολογηθούν από το Output πρόγραμμα. Στο Output παράθυρο φαίνονται τόσο οι μετακινήσεις και οι τάσεις σε ολόκληρη την γεωμετρία του μοντέλου όσο και στις διατομές και στα δομικά στοιχεία. Τα υπολογισθέντα στοιχεία είναι επίσης διαθέσιμα και σε μορφή πινάκων.

Η προβολή των αποτελεσμάτων γίνεται επιλέγοντας την τελευταία φάση υπολογισμού από το υπολογιστικό παράθυρο και το κουμπί «Output» από την γραμμή εργαλείων. Ως αποτέλεσμα, το πρόγραμμα «Output» δείχνει το παραμορφωμένο πλέγμα στο τέλος της συγκεκριμένης φάσης, με μια ένδειξη της μέγιστης μετακινήσεις, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 5.24.

Επιπλέον, με διάφορους τρόπους γίνεται και πιο λεπτομερής παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα το πεδίο «Shadings» δίνει τη δυνατότητα να παρουσιαστούν οι περιοχές και τα στοιχεία αντιστήριξης που εμφάνισαν τις μέγιστες και τις ελάχιστες συνολικές μετακινήσεις, το πεδίο «Contours» δείχνει με χρωματιστές γραμμές την κατεύθυνση των συνολικών μετακινήσεων και τέλος η εντολή «Effective Stresses» από το «Stress» μενού, δείχνει τις επιβαλλόμενες τάσεις ως αρχικές τάσεις, με μια ένδειξη της κατεύθυνσης τους και του σχετικού τους μεγέθους.

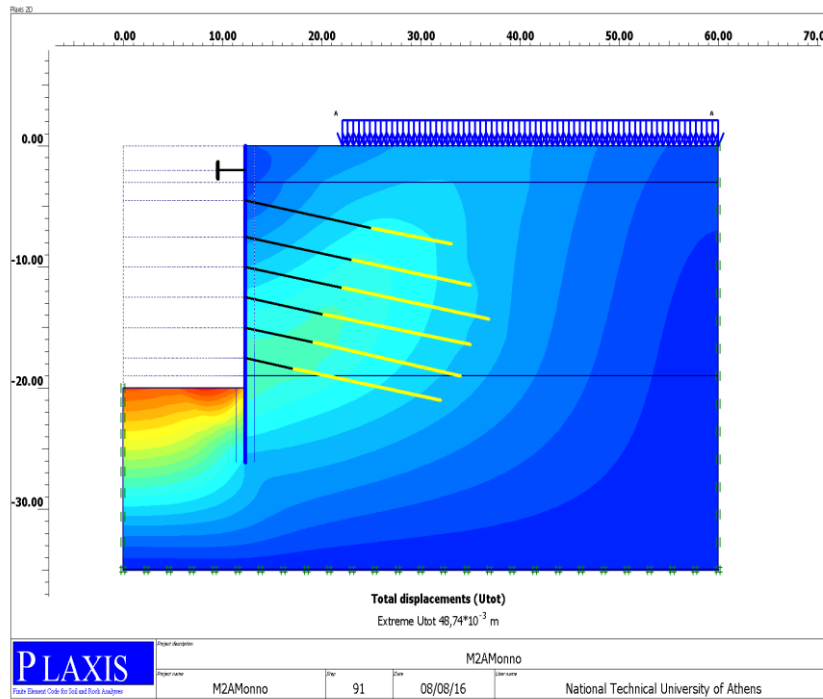
Όλα τα αποτελέσματα είναι με μια εστίαση 50 φορές πάνω από τις πραγματικές τιμές.

Για το κύριο τμήμα του σταθμού M2A προκύπτουν συνολικές μέγιστες μετακινήσεις της τάξης των 4.8 cm.

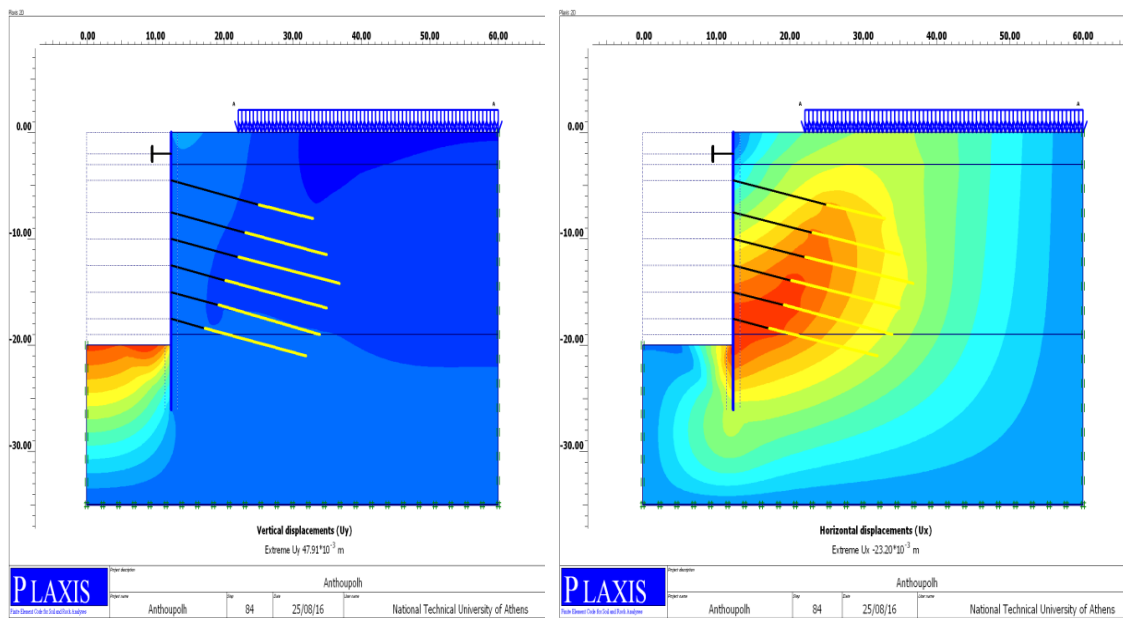


Εικόνα 5.24 : Συνολικές μετακινήσεις του προσομοιώματος της κύριας εκσκαφής

Ακόμη, με κατάλληλες εντολές όπως το “Shading” και αντίστοιχες επιλογές φαίνονται συγκεκριμένα οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες μετακινήσεις και οι περιοχές συγκέντρωσης των περισσότερων τάσεων με χρήση χρωματισμών και δυνατότητα πλήρους διακριτοποίησης των σημείων αυτών.



Εικόνα 5.25: Συνολικές μετακινήσεις κύριας εκσκαφής με Shading

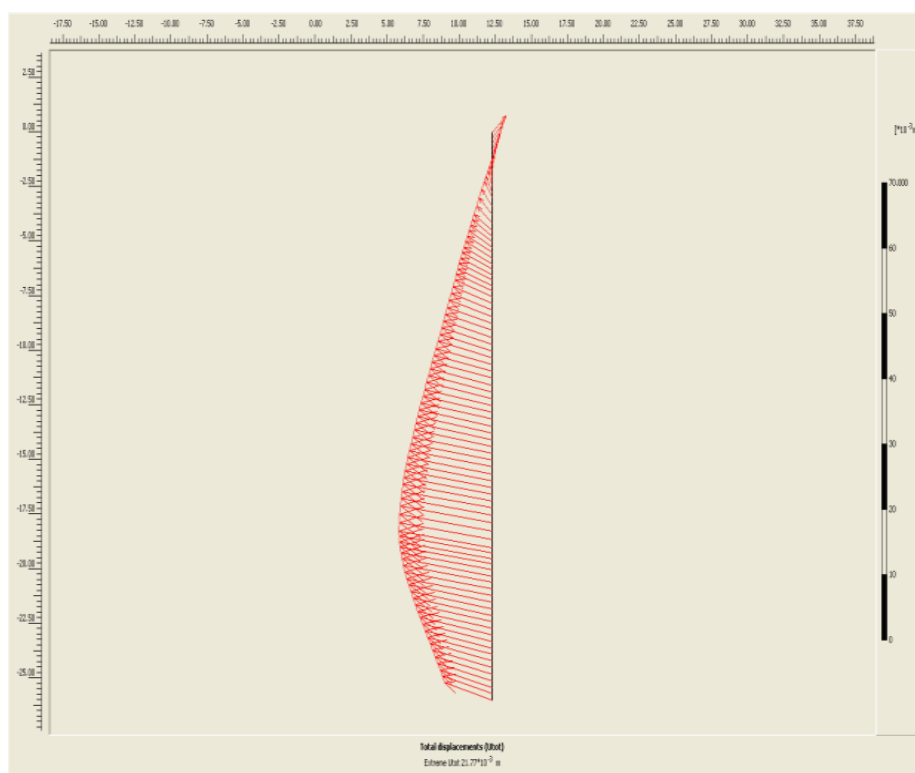


Εικόνα 5.26 : Κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις τελικής φάσης εκσκαφής με χρωματισμούς (Shading)

Από τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνεται ότι οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις παρουσιάζονται επί του πασσαλότοιχου και στην περιοχή όπου έχει εφαρμοστεί ως μέτρο υποστήριξης τα αγκύρια με μέγιστη μετακίνηση 23mm, γεγονός που δεν επιδρά στον εδαφικό σχηματισμό και στις παρακείμενες κατασκευές, καθώς εκεί παρουσιάζονται μετακινήσεις της τάξης των 7 mm.

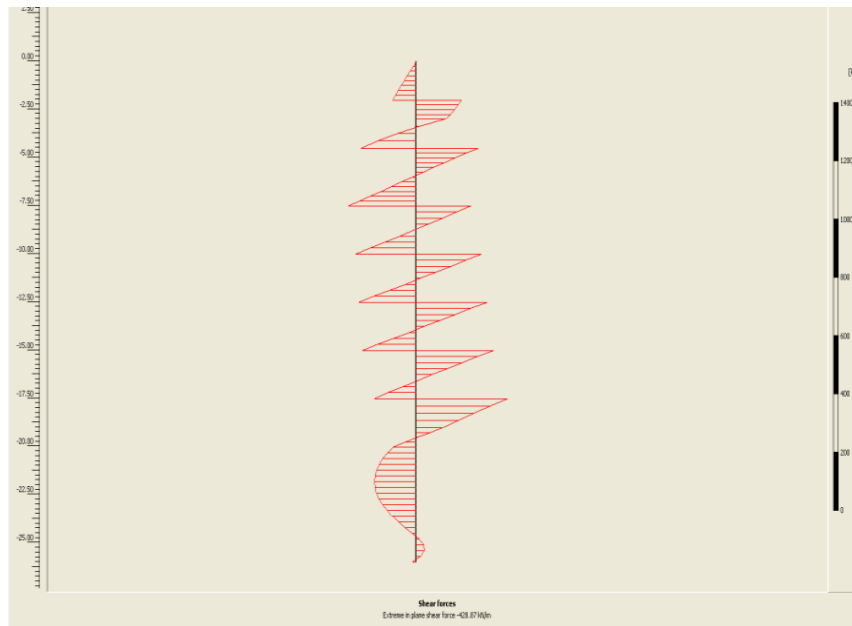
Όσο αφορά τις κατακόρυφες μετακινήσεις αυτές ταυτίζονται με τις συνολικές μετακινήσεις και αφορούν κατά πλείστον την τελική στάθμη εκσκαφής της κατασκευής. Αντίθετα στην επιφάνεια της εκσκαφής οι κατακόρυφες μετακινήσεις είναι σχεδόν μηδαμινές, με μέγιστη καθίζηση 4 mm.

Στην Εικόνα 5.27 παρουσιάζονται διαγραμματικά και οι μέγιστες συνολικές μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου που αποτελείται από πάσσαλους Φ1 m και απόσταση μεταξύ τους 1.5 m, που είναι της τάξης των 21 mm.

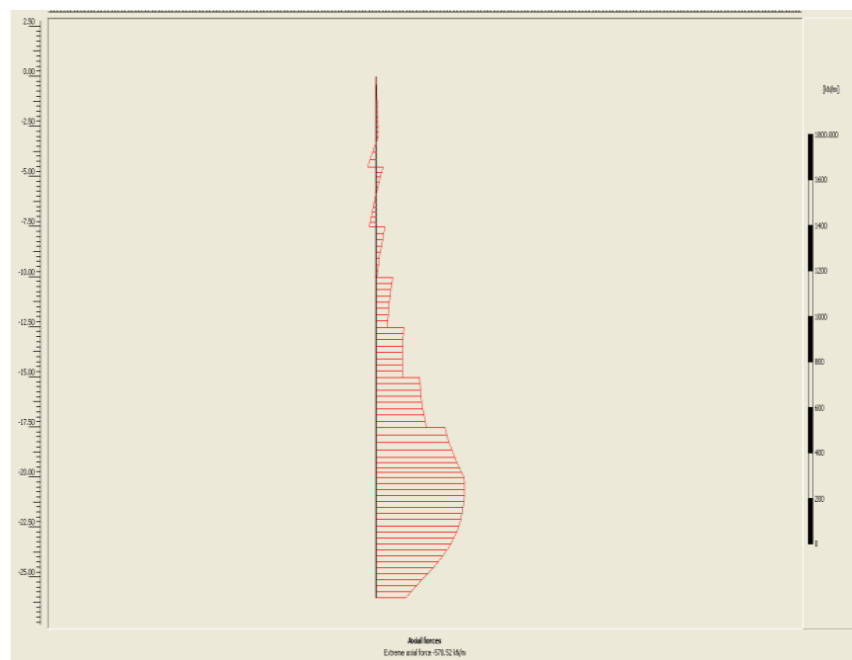


Εικόνα 5.27 : Μέγιστες μετακινήσεις διαφραγματικού τοίχου για την κύρια εκσκαφή

Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού των μέγιστων αξονικών και διατμητικών δυνάμεων καθώς και των καμπτικών ροπών. Όπως προκύπτουν από τα διαγράμματα οι μέγιστες διατμητικές δυνάμεις είναι 429,87 kN/m, ενώ οι μέγιστες αξονικές δυνάμεις είναι 552,98 kN/m.

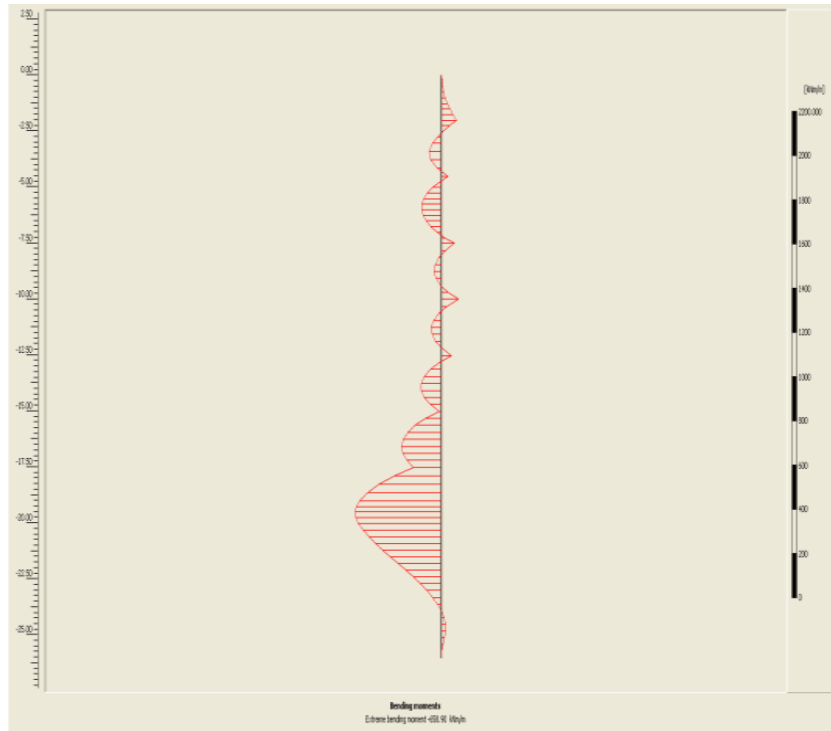


Εικόνα 5.28: Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις διαγραμματικού τοίχου κύριας εκσκαφής



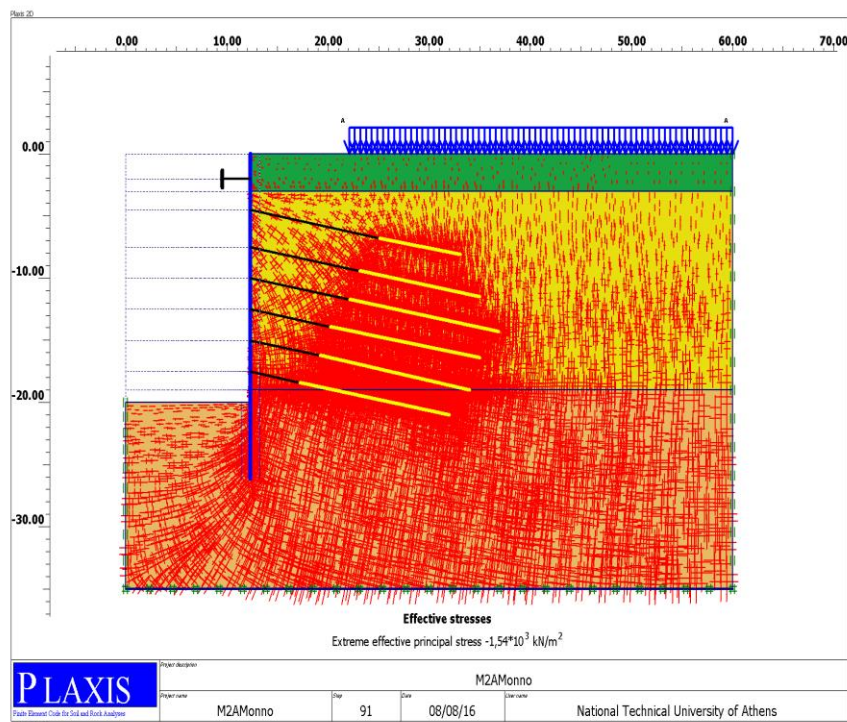
Εικόνα 5.29: Μέγιστες αξονικές δυνάμεις διαφραγματικού τοίχου κύριας εκσκαφής

Οι καμπτικές ροπές προκύπτουν 660,21 kN/m, ωστόσο η απόλυτη τιμή των καμπτικών ροπών του διαφραγματικού τοίχου είναι συνάρτηση της απόστασης των πασσάλων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι πάσσαλοι απέχουν 1.5 m, οπότε ο διαφραγματικός τοίχος έχεις καμπτική ροπή 990,315 kN/m.



Εικόνα 5.30: Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις διαγραγματικού τοίχου κύριας εκσκαφής

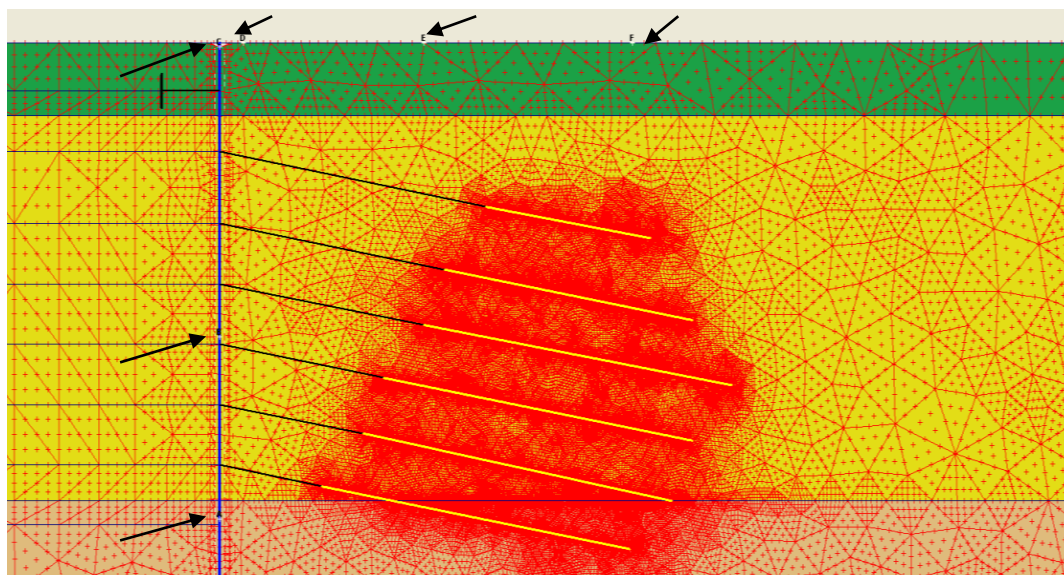
Τέλος, το πρόγραμμα υπολογίζει τις ενεργές τάσεις, οι οποίες είναι πιο έντονες στην περιοχή των αγκυρώσεων και του πακτωμένου τμήματος των πασσάλων εξάγοντας τιμή ίση με $1,54 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$.



Εικόνα 5.31: Ενεργές τάσεις στο τελικό στάδιο εκσκαφής για την κύρια εκσκαφή

5.5. Παρουσίαση διαγραμμάτων - Curves

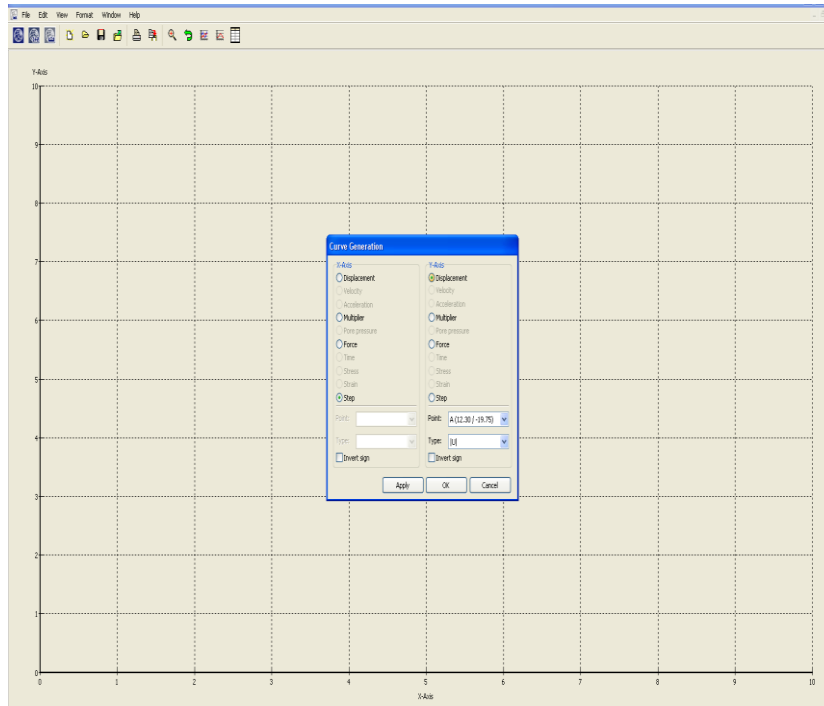
Οι προαναφερόμενες τιμές των Total Displacement μπορεί να μην έχουν συμπεριληφθεί στα σημεία παρατήρησης. Για το λόγο αυτό, στην κύρια εκσκαφή επιλέχθηκαν ορισμένα σημεία πάνω στον διαφραγματικό τοίχο και άλλα κοντά στην επιφάνεια της εκσκαφής με σκοπό να μελετηθούν οι κατακόρυφες και οι οριζόντιες μετακινήσεις αντίστοιχα σε συγκεκριμένες περιοχές του μοντέλου. Συγκεκριμένα οι περιοχές που διερευνώνται, είναι ο πυθμένας της εκσκαφής στο όριο του εκάστοτε μοντέλου 12.3/20 (σημείο A), στη μέση του διαφραγματικού τοίχου 12.3/12.4 (σημείο B) και το σημείο τοποθέτησης του κεφαλοδέσμου επί του πασσαλοτοίχου 12.3/0 (σημείο C). Αντίθετα, στην επιφάνεια επιλέχθηκαν τα σημεία D(12.8/0), E(22.3/0) και F(32.3/0), δηλαδή δίπλα στην εκσκαφή, μόλις ξεκινάνε τα φορτία και μακριά από την εκσκαφή αντίστοιχα.



Εικόνα 5.32: Προβολή επιλεγμένων σημείων

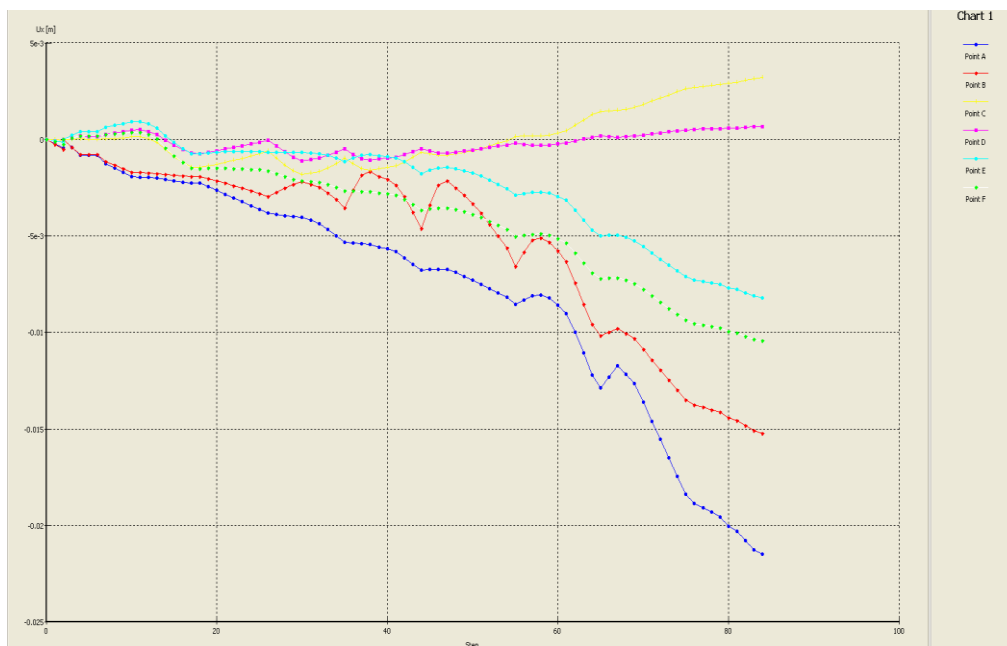
Για την κατασκευή των διαγραμμάτων Curves επιλέγεται η εντολή 'Go to Curves program' από την γραμμή εργαλείων και μέσω της επιλογής 'New' ξεκινάει η δημιουργία ενός νέου διαγράμματος με παραπομπή τα άνω επιλεγμένα σημεία.

Στον άξονα του x επιλέγεται το βήμα επίλυσης του μοντέλου (step) ενώ στον άξονα y επιλέγεται να αναπαρίσταται κάθε φορά το σημείο ή ο συνδυασμός σημείων που επιθυμείται για να παρουσιαστούν οι συνολικές ή οριζόντιες ή κατακόρυφες μετακινήσεις (Εικόνα 5.33).



Εικόνα 5.33: Δημιουργία διαγραμμάτων Curves

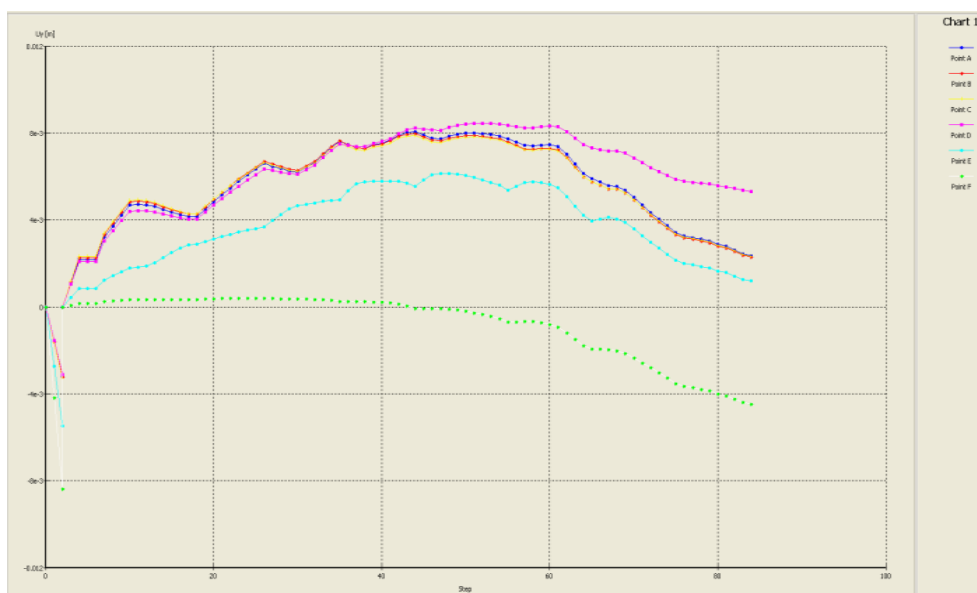
Εξάγοντας τα διαγράμματα Curves, διευκρινίζεται ότι ενδιαφέρουν παρουσιάζουν τα σημεία πάνω στο διαφραγματικό τοίχο A, B και C ως προς τις οριζόντιες μετακινήσεις, ενώ τα σημεία στην επιφάνεια του εδάφους D, E και F ως προς τις κατακόρυφες μετακινήσεις κοντά στην επιφάνεια της εκσκαφής. Παρατηρείται ότι στο τελικό στάδιο εκσκαφής του κεντρικού σταθμού η μέγιστη ανύψωση λόγω κάμψης του τοίχου εμφανίζει στο σημείο D που αντιστοιχεί στο σημείο δίπλα από το διαφραγματικό τοίχου με τιμή 5,3mm. Ενώ η μέγιστη καθίζηση παρατηρείται στο σημείο F στο πιο απομακρυσμένο σημείο της εκσκαφής με τιμή 4,4mm.



Εικόνα 5.34: Διάγραμμα με τις οριζόντιες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου κύριας εκσκαφής

Όπως προαναφέρθηκε οι οριζόντιες μετακινήσεις παρουσιάζουν ενδιαφέρον για το διαφραγματικό τοίχο (σημεία από τον πυθμένα στην στέψη A,B,C) εμφανίζουν σταδιακή αύξηση των τιμών. Θετικές μετακινήσεις με φορά αντίθετη από την εκσκαφή (προς τα δεξιά) παρατηρήθηκαν στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου στην περιοχή που έχει εφαρμοσθεί ως μέτρο αντιστήριξης η αντηρίδα, ενώ αρνητικές με φορά προς την εκσκαφή (προς τα αριστερά) έντονες στο τελικό βάθος της εκσκαφής επί του διαφραγματικού τοίχου.

Με την ίδια λογική οι κατακόρυφες μετακινήσεις παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τις επιφανειακές και παρακείμενες κατασκευές (σημεία D, E, F). Οι αρνητικές κατακόρυφες μετακινήσεις, δηλαδή καθιζήσεις παρατηρήθηκαν στο πιο απομακρυσμένο σημείο από την επιφάνεια εκσκαφής (σημείο F), ενώ οι θετικές (ανυψώσεις) σε κοντινές αποστάσεις από την επιφάνεια της εκσκαφής λόγω κάμψης του τοίχου.



Εικόνα 5.35: Διάγραμμα με τις κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια της κύριας εκσκαφής

Όλες οι τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στα επιλεγμένα σημεία της κύριας εκσκαφής είναι εντός των επιτρεπόμενων μετακινήσεων (οριζόντιων και κατακόρυφων) 25mm που έχουν τεθεί και μάλιστα πολύ χαμηλές.

Μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής και σε τελική φάση ελέγχεται η ευστάθεια της συνολικής κατασκευής με τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας, ο οποίος για το τμήμα της κύριας εκσκαφής έδωσε τιμή $FS=1.72$, η οποία είναι ικανοποιητική έναντι της ελάχιστης τιμής που ήταν $FS=1.50$.

6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

6.1. Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνονται παραμετρικές αναλύσεις προκειμένου να μελετηθούν οι μετακινήσεις και να γίνει μια συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών διατάξεων μέτρων υποστήριξης.

Αναλυτικά, αρχικά εξετάστηκε η αντικατάσταση της αντηρίδας με αγκύριο στο τμήμα της κύριας εκσκαφής. Έπειτα η εφαρμογή πασσάλων με διαφορετική διάμετρο κατά επέκταση και ιδιοτήτων. Σε επόμενο στάδιο η απόσταση του διαφραγματικού τοίχου από την εκσκαφή και τέλος η απόσταση μεταξύ των διαφραγματικών τοίχων κύριας και παράπλευρης βορειοδυτικής εκσκαφής θεωρώντας ταυτόχρονη την κατασκευή της κύριας εκσκαφής και του Βορειοδυτικού τμήματος.

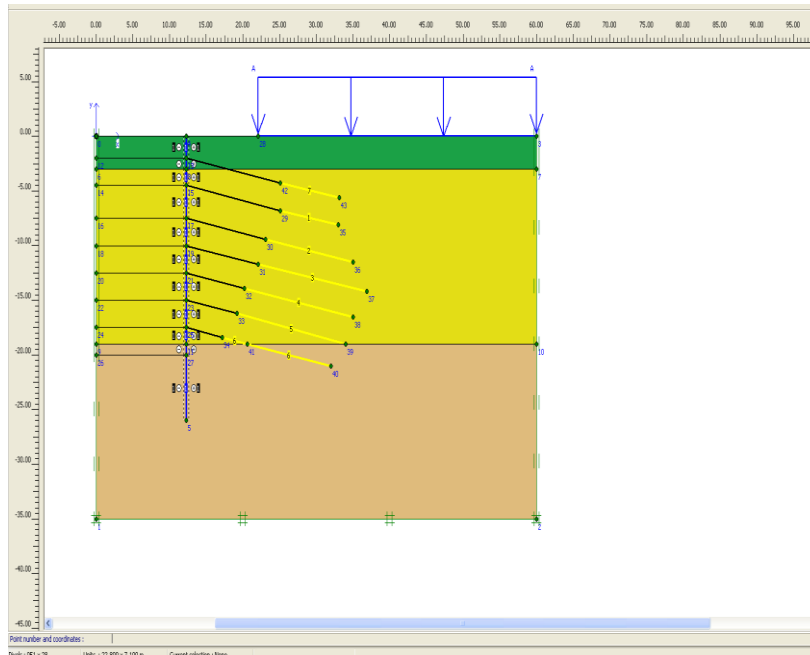
Κατά την διάρκεια εκτέλεσης των παραμετρικών αναλύσεων οι κύριες παράμετροι σχεδιασμού όπως οι ιδιότητες των εδαφικών υλικών, τα φορτία, το μήκος και οι ιδιότητες των αγκυρίων και του πακτωμένου τμήματος διατηρήθηκαν σταθερές. Έτσι τελικά έγιναν συνολικά τέσσερις σειρές παραμετρικών αναλύσεων.

Πιο συγκεκριμένα γίνεται παράθεση των εικόνων που περιγράφουν τον τρόπο που παραμορφώνεται η γεωμετρία και πως αναπτύσσονται οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις μετά το πέρας του τελευταίου σταδίου επίλυσης και την ολοκλήρωση της εκσκαφής.

Για την 3^η και 4^η παραμετρική ανάλυση, όλα τα σημεία είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά που είχαν επιλεγεί στην κύρια εκσκαφή, με εξαίρεση τις συντεταγμένες τους που είναι ανάλογα με το που βρίσκεται στο όριο του διαφραγματικού τοίχου, το οποίο αλλάζει.

Στην πρώτη παραμετρική ανάλυση αντικαταστάθηκε η αντηρίδα της κύριας εκσκαφής από τετράκλωνο αγκύριο μήκους 13m και πακτωμένο τμήμα μήκους 8m.

Με σκοπό να εξεταστούν οι συνολικές, κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις, αξονικές και διατμητικές δυνάμεις και οι καμπτικές ροπές που προκύπτουν στο διαφραγματικό τοίχο.

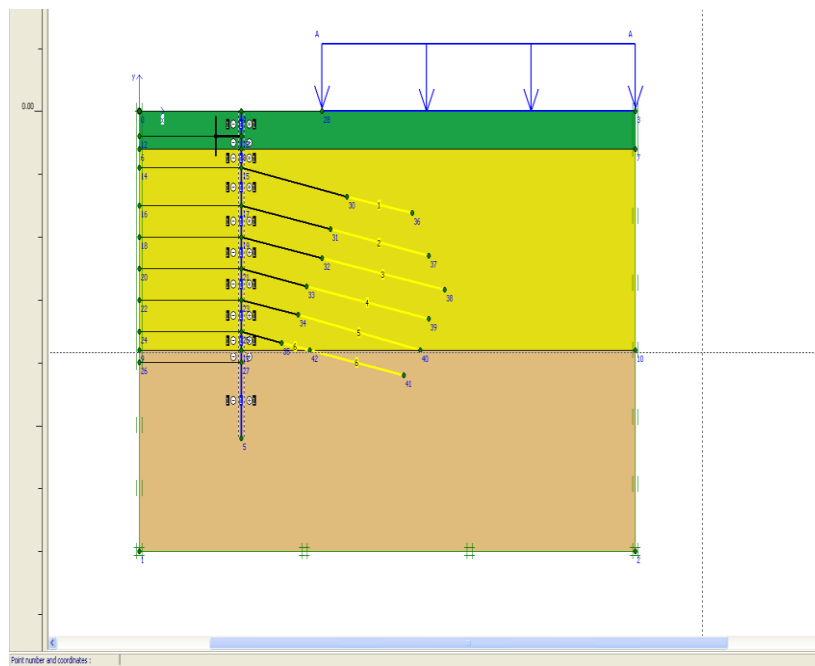


Εικόνα 6.1 : Παρουσίαση γεωμετρίας 1^{ης} παραμετρικής ανάλυσης

Στη δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων εφαρμόστηκαν στο τμήμα της κύριας εκσκαφής πάσσαλοι με διαφορετική διάμετρο και απόσταση με σκοπό να γίνει συγκριτική αξιολόγηση των μετακινήσεων που προκύπτουν ανάλογα με τον εκάστοτε διαφραγματικό τοίχο.

Τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των πασσάλων παρουσιάζονται παρακάτω:

- Πάσσαλοι Φ 0.6 m και απόσταση 1.5 m
- Πάσσαλοι Φ 0.8 m και απόσταση 1.5 m
- Πάσσαλοι Φ 1 m και απόσταση 2 m

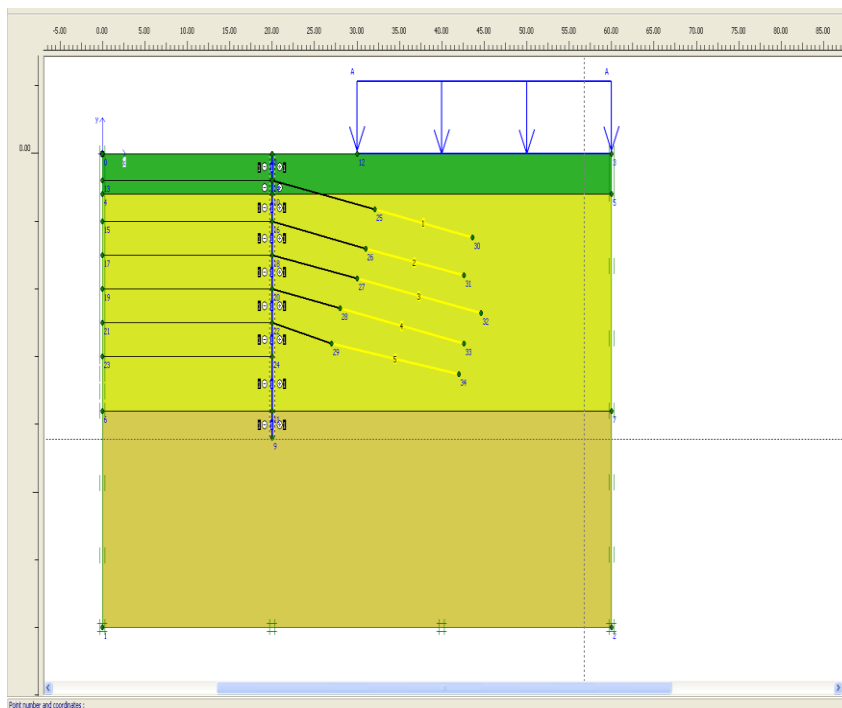


Εικόνα 6.2 : Παρουσίαση γεωμετρίας 2^{ης} παραμετρικής ανάλυσης

Στην Τρίτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων μεταβάλλεται η απόσταση του διαφραγματικού τοίχου σε σχέση με την περιοχή κατασκευής του σταθμού. Γίνεται η παραδοχή ότι σε όλες τις παραμετρικές αναλύσεις οι πάσσαλοι είναι διαμέτρου 1m και η μεταξύ τους απόσταση είναι 1.5m.

Πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές αναλύσεων όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

- Ονομαστικά η περιοχή B1A με πλάτος εκσκαφής 20m και διαφραγματικό τοίχο συνολικού μήκους 21m (συμπεριλαμβανομένου 6m μήκος έμπηξης)
- Ονομαστικά η περιοχή B1B με πλάτος εκσκαφής 17,7m και διαφραγματικό τοίχο συνολικού μήκους 23,5m (συμπεριλαμβανομένου 6m μήκος έμπηξης)
- Ονομαστικά η περιοχή B3 με πλάτος εκσκαφής 15m και διαφραγματικό τοίχο συνολικού μήκους 14,4m (συμπεριλαμβανομένου 4m μήκος έμπηξης)



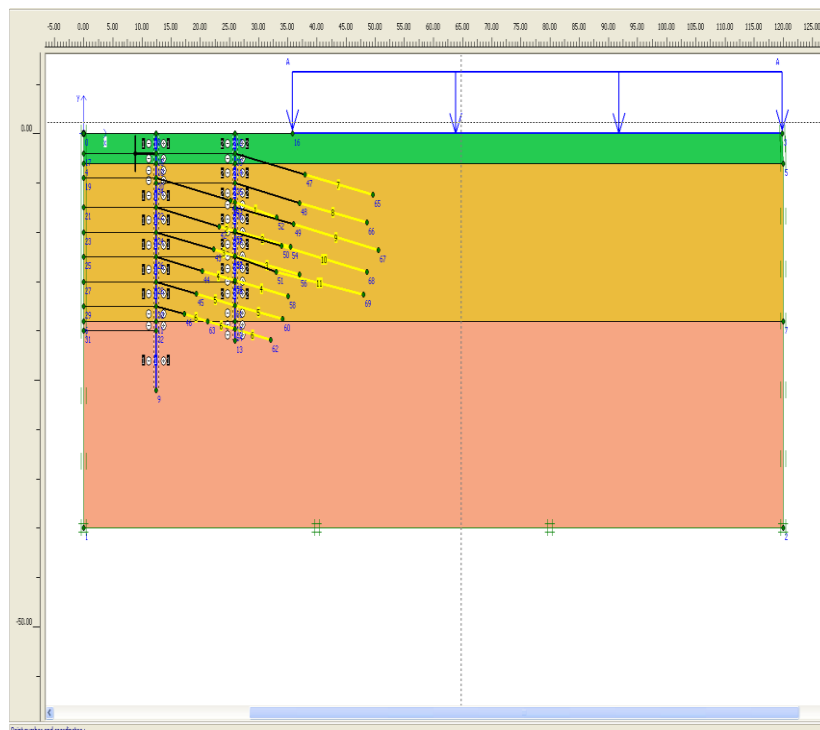
Εικόνα 6.3 : Παρουσίαση γεωμετρίας 3ης παραμετρικής ανάλυσης

Επιπλέον, αν και αποτελεί δυσμενή θεώρηση παρόλα αυτά για λόγους ενδιαφέροντος γίνεται και η παρουσίαση συνδυασμού των φάσεων εκσκαφής δηλαδή, ο σχεδιασμός και εκτέλεση των υπολογιστικών φάσεων της κύριας εκσκαφής και του βορειοδυτικού τμήματος του σταθμού.

Αυτό πραγματοποιήθηκε στην τέταρτη παραμετρική ανάλυση, όπου ελέγχθηκε η ταυτόχρονη εκσκαφή της κύριας εκσκαφής και της πλευρικής διεύρυνσης του βόρειου τμήματος (χωρίς την εισαγωγή της μόνιμης επένδυσης του σταθμού). Το πλάτος εκσκαφής του κύριου σταθμού και στις τρεις αναλύσεις θεωρείται σταθερό ίσο με 12.3m υποστηριζόμενο με πάσσαλους διαμέτρου 1m και απόσταση μεταξύ τους 1.5m.

- 1^η Ανάλυση για απόσταση ανάμεσα στους δυο διαφραγματικούς τοίχους 13,6m (M2A-B1A)

- 2^η Ανάλυση για απόσταση ανάμεσα στους δυο διαφραγματικούς τοίχους 8,8m (M2A-B1B)
- 3^η Ανάλυση για απόσταση ανάμεσα στους δυο διαφραγματικούς τοίχους 5,5m (M2A-B3)



Εικόνα 6.4 : Παρουσίαση γεωμετρίας 4^{ης} παραμετρικής ανάλυσης

Για το κάθε τμήμα του σκάμματος ή των συνδυασμό τμημάτων εκσκαφών παρακάτω παρουσιάζονται οι παραμορφώσεις και οι μετακινήσεις του εδαφικού μοντέλου και των στοιχείων αντιστήριξης της κατασκευής του σταθμού, οι οποίες μεταβάλλονται ανάλογα με τις παραδοχές που έγιναν για το εκάστοτε τμήμα μελέτης που εξετάστηκε.

6.2. 1^η Παραμετρική ανάλυση

Η πρώτη παραμετρική ανάλυση αφορά την κύρια εκσκαφή, όπου αντικαθίσταται η αντηρίδα με αγκύρια. Σε αυτή την παραμετρική ανάλυση προκύπτει η κατασκευή να αντιστηρίζεται μόνο από επτά σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων και πάσσαλους που είναι διαμέτρου 1m και απόστασης μεταξύ τους 1.5m.

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αγκυρίων δεν μεταβάλλονται, δηλαδή τα αγκύρια είναι τετράκλινα και με ίδια δύναμη προέντασης $F_p = 600\text{kN/m}$.

Η αντικατάσταση της αντηρίδας από αγκύρια έγινε αρχικά στη φάση σχεδιασμού της βασικής γεωμετρίας του μοντέλου με συντεταγμένες στο προσομοίωμα:

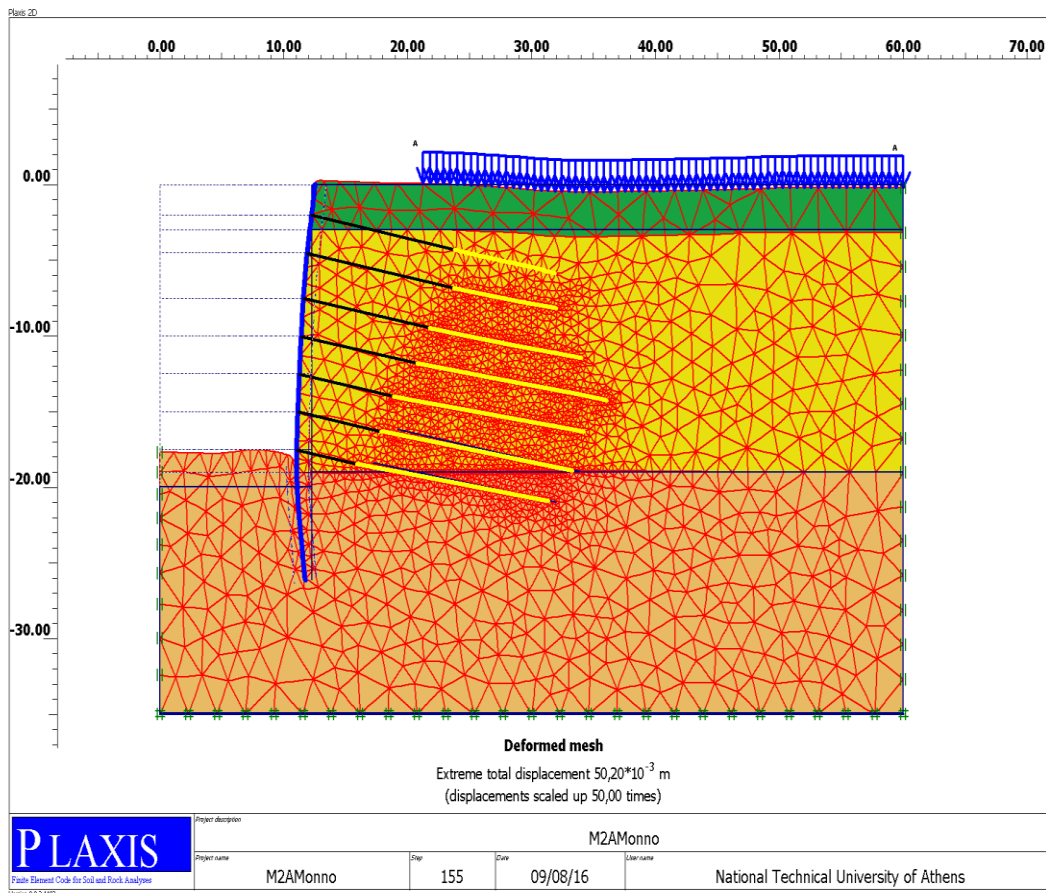
Anchors (25.1/4.3)

Geogrid (33/5.6)

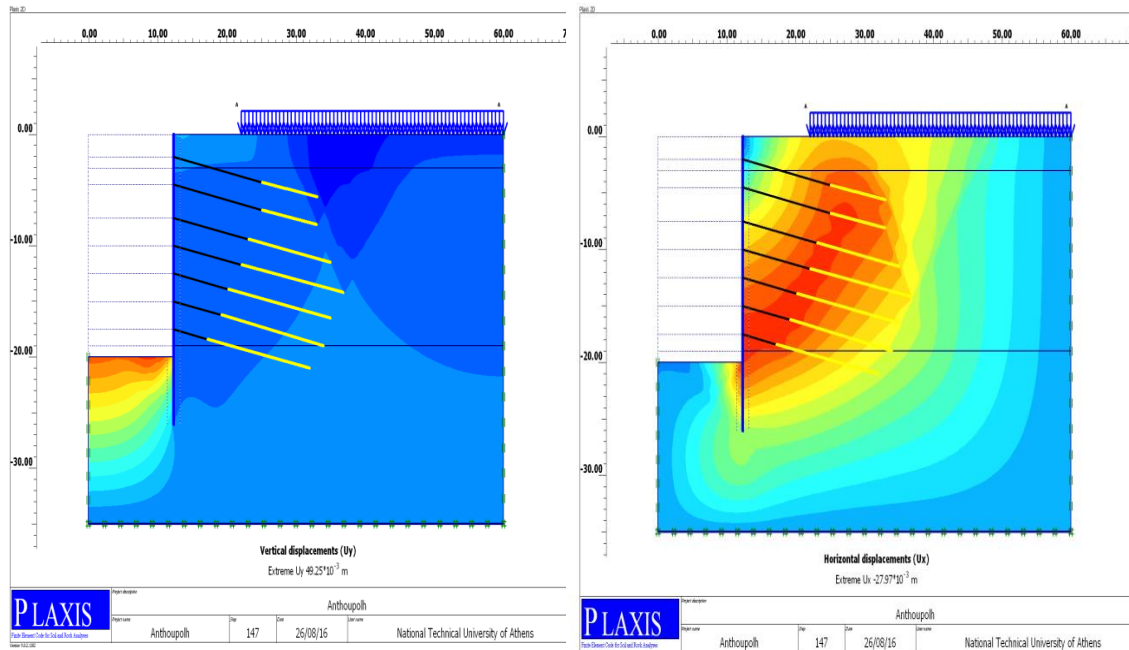
Έπειτα, επιλύοντας το μοντέλο με τα νέα δεδομένα το πρόγραμμα πραγματοποιεί τους υπολογισμούς και μέσω του output και των αντίστοιχων διαγραμμάτων από το Curves εξάγει τα αποτελέσματα των συνολικών, οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων καθώς και των αξονικών και διατμητικών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών.

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης η εφαρμογή μόνο επτά αγκυρίων μπορεί να θεωρηθεί ως η χειρότερη περίπτωση διαστασιολόγησης της υποστήριξης.

Το παραμορφωμένο προσομοίωμα της τελικής φάσης εκσκαφής παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.5.

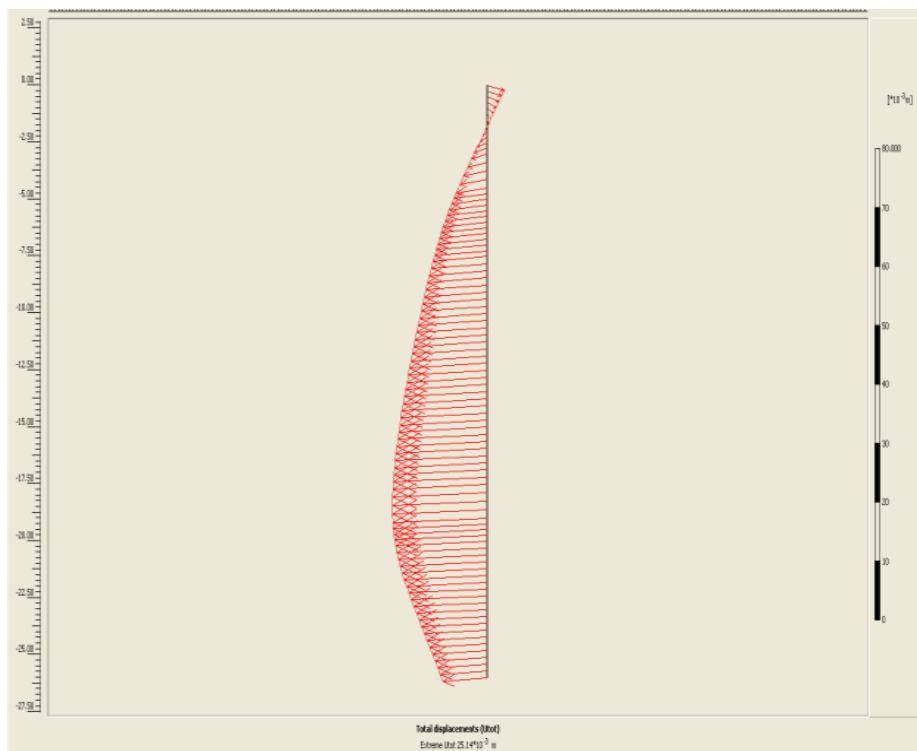


Εικόνα 6.5: Παραμορφωμένο προσομοίωμα για επτά σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων στο τελικό στάδιο εκσκαφής. Αποτελέσματα 1^{ης} παραμετρικής ανάλυσης.



Εικόνα 6.6: Συνολικές κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις με χρωματισμούς στο τελικό στάδιο εκσκαφής. Αποτελέσματα 1ης Παραμετρικής ανάλυσης.

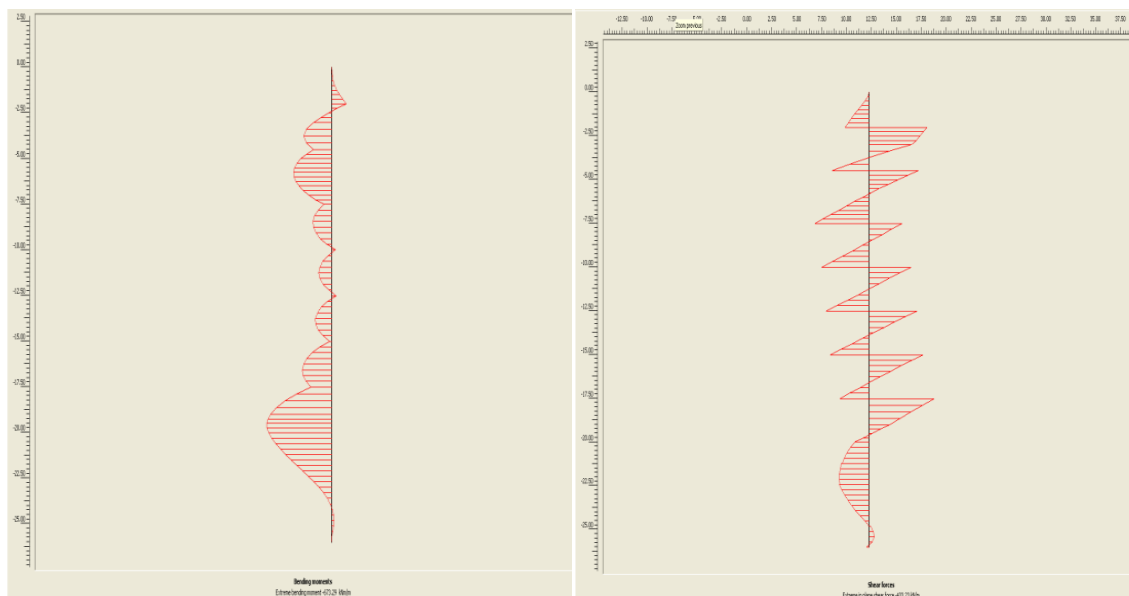
Ακόμη, οι πάσσαλοι παρουσιάζουν μέγιστες μετακινήσεις της τάξης των 2,4cm, οι οποίες συμπίπτουν με τις συνολικές μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις.



Εικόνα 6.7 : Συνολικές μετακινήσεις διαφραγματικού τοίχου. Αποτελέσματα 1ης παραμετρικής ανάλυσης.

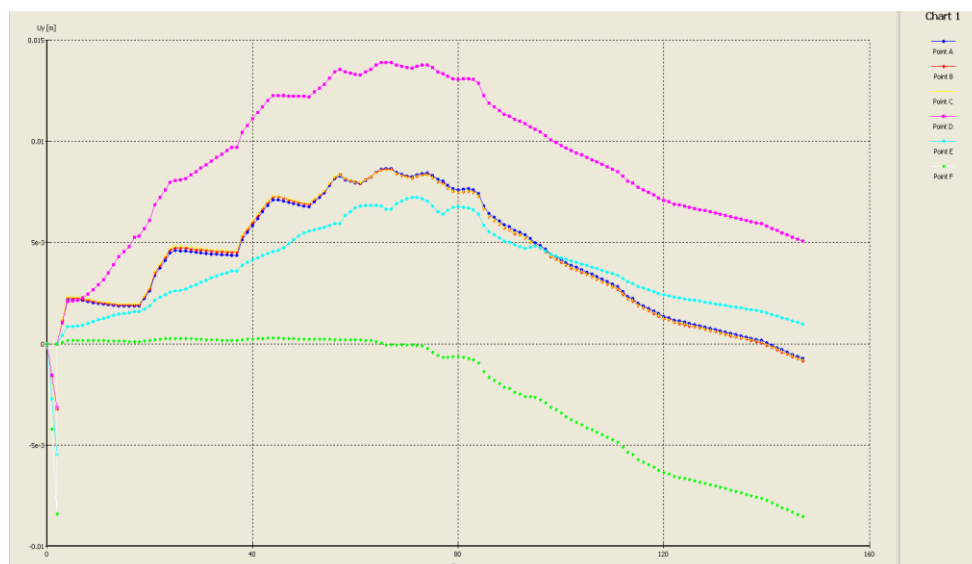
Οι μέγιστες καμπτικές ροπές προέκυψαν $663,33 \text{ kNm/m}$ ανά μονάδα μήκους, οπότε για να υπολογιστεί η τελική τιμή πολλαπλασιάζεται επί την απόσταση των πασσάλων, όπου και προκύπτει $994,995 \text{ kN}$.

Οι μέγιστες διατμητικές δυνάμεις έχουν αντίθετη φορά όπως υποδηλώνει το πρόσημο της τιμής $431,16 \text{ kN/m}$ που αναπτύσσεται στους πασσάλους. Η τιμή όμως αυτή πολλαπλασιάζεται επί την απόσταση των πασσάλων και προκύπτει η τελική απόλυτη τιμή $646,74 \text{ kN}$.



Εικόνα 6.8: Καμπτικές ροπές και μέγιστες διατμητικές δυνάμεις για τον διαφραγματικό τοίχο. Αποτελέσματα 1^{ης} παραμετρικής ανάλυσης.

Τα σημεία που επιλέχθηκαν στο Curves είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά που είχαν επιλεγεί στο μοντέλο όταν είχε εφαρμοσθεί ως μέτρο αντιστήριξης η αντηρίδα για να γίνει καλύτερη συγκριτική αξιολόγηση. Για να μελετηθούν οι οριζόντιες μετακινήσεις επιλέχθηκαν σημεία στον πυθμένα της εκσκαφής στα 20 μέτρα βάθος, στο μέσο στα $12,4 \text{ m}$ και στην κορυφή στα 0 m του διαφραγματικού τοίχου και σε διάφορα σημεία κοντά στην επιφάνεια της εκσκαφής (στα $12,8 / 22,3 / 32,3 \text{ m}$) για να μελετηθούν οι κατακόρυφες μετακινήσεις (καθιζήσεις) στην επιφάνεια της εκσκαφής.



Διάγραμμα 6.1: Κατακόρυφες μετακινήσεις συνάρτηση των επτά σειρών αγκυρίων στα επιλεγμένα σημεία. Αποτελέσματα 1^{ης} παραμετρικής ανάλυσης.

Συγκεκριμένα ο διαφραγματικός τοίχος στο πυθμένα της εκσκαφής και στο μέσο του (σημεία A και B) παρουσιάζει οριζόντιες μετακινήσεις της τάξης των 25 και 21mm με πρόσημο αρνητικό, δηλαδή φορά προς (τα αριστερά) τη μεριά της εκσκαφής. Ενώ στην κορυφή του διαφραγματικού τοίχου οι μετακινήσεις είναι με φορά (προς τα δεξιά) αντίθετη αυτή της εκσκαφής της τάξης 3,7mm. Αντίθετα στην επιφάνεια του εδάφους με βάση τις κατακόρυφες μετακινήσεις, παρατηρούνται σχεδόν μηδενικές μετακινήσεις με τη μορφή ανυψώσεων στα σημεία δίπλα από την εκσκαφή και σε μικρή απόσταση της τάξης 5mm και 1mm αντίστοιχα, λόγω κάμψης του τοίχου. Η μέγιστη καθίζηση παρατηρείται στο σημείο F, που είναι το πιο απομακρυσμένο σημείο της επιφάνειας με τιμή 8,5mm.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτήν την ανάλυση για το προσομοίωμα της κύριας εκσκαφής εξάγονται τα συμπεράσματα για το πώς η αλλαγή των μέτρων υποστήριξης της κύριας εκσκαφής επηρεάζει τις μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου και κατά συνέπεια της συνολικής εκσκαφής στο τελικό στάδιο εκσκαφής.

Διευκρινίζεται ότι τα βήματα υπολογισμού και στις δύο περιπτώσεις είναι ίδια, βοηθώντας στην καλύτερη συγκριτική αξιολόγηση των δυο αναλύσεων.

Παρακάτω παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα τα αποτελέσματα των μετακινήσεων για την πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1 : Αποτελέσματα Οριζόντιων μετακινήσεων του διαφραγματικού τοίχου.

1^η παραμετρική ανάλυση.

Σημεία	U _x [m] για αντηρίδα-αγκύρια	U _x [m] για 7 σειρές αγκυρίων
A (πυθμένα εκσκαφής)	-0.021	-0.025
B (μέσο διαφραγματικού τοίχου)	-0.015	-0.021
C(κορυφή διαφραγματικού τοίχου)	0.0031	0.0037

- a) ο τοίχος φάνηκε να κινείται ελάχιστα στην στέψη (σημείο C) όταν είχε ως μέτρο αντιστήριξης την αντηρίδα σε σχέση με όταν εφαρμόσθηκε αντί αυτής αγκύριο. Η αύξηση αυτή ήταν περίπου 19%.
- b) Ο τοίχος στο μέσο του (σημείο B) μετακινήθηκε πολύ περισσότερο στην περίπτωση που εφαρμόσθηκαν μόνο αγκύρια. Η αύξηση αυτή ήταν περίπου 40%.
- c) Ο τοίχος στον πυθμένα της εκσκαφής (σημείο A) στην περίπτωση εφαρμογής αντηρίδας και αγκυρίων έχει μετακίνηση 21mm ενώ στην περίπτωση μόνο αγκυρίων 25mm. Το ποσοστό αύξησης είναι 19%.

Πίνακας 6.2 : Αποτελέσματα Κατακόρυφων μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους. 1^η παραμετρική ανάλυση.

Σημεία	U _y [m] για αντηρίδα - αγκύρια	U _y [m] για 7 σειρές αγκυρίων
D (8cm από την επιφάνεια της εκσκαφής)	0.0053	0.005
E (10m από την επιφάνεια της εκσκαφής)	0.0011	0.0009
F(20m από την επιφάνεια της εκσκαφής)	-0.0044	-0.0085

- a) Στην επιφάνεια του εδάφους στο σημείο κοντά στον διαφραγματικό τοίχο και στην περιοχή που μόλις ξεκινάνε τα φορτία (E), λόγω κάμψης του τοίχου παρατηρείται ανύψωση του εδάφους με τις τιμές μάλιστα αυτών των ανυψώσεων και στις δύο περιπτώσεις ανεξάρτητα των μέτρων υποστήριξης που εφαρμόσθηκαν να είναι παρόμοιες.
- b) Στο σημείο F, που είναι το πιο απομακρυσμένο σημείο από την επιφάνεια της εκσκαφής παρουσιάζεται πολύ μεγαλύτερη καθίζηση στην περίπτωση εφαρμογής μόνο αγκυρίων. Η αύξηση αυτή είναι 93%.

Πίνακας 6.3 : Αποτελέσματα μέγιστων ασκούμενων δυνάμεων. 1^η παραμετρική ανάλυση.

Bending moments (kNm)	990,315	994,99
Shear force (kN)	644,8	646,74
Axial force (kN)	829,47	970,305
SF(Συντελεστής Ασφαλείας)	1,72	1,5

Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα και τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων Curves παρατηρείται ότι οι κατακόρυφες μετακινήσεις δεν αυξάνονται σημαντικά. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η κατασκευή αντιστηρίζεται από ένα μεγάλο πλήθος αγκυρίων που εξασφαλίζουν περιορισμένες μετακινήσεις. Η αντικατάσταση της αντηρίδας με αγκύριο κυρίως έχει επιδράσει στις μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου και κατά συνέπεια τις οριζόντιες μετακινήσεις, δηλαδή στην περίπτωση εφαρμογής των επτά σειρών αγκυρίων εμφανίζεται μια αύξηση της οριζόντιας απόστασης στο μέσο του διαφραγματικού τοίχου της τάξης των 6 mm.



Διάγραμμα 6.2 : Αποτελέσματα 1^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων για το μέσο του διαφραγματικού τοίχου (σημείο B)

Ωστόσο, οι κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια της εκσκαφής αυξάνονται στο πιο απομακρυσμένο σημείο με την αντικατάσταση της αντηρίδας από αγκύριο. Συγκεκριμένα, με την εφαρμογή αντηρίδας και αγκυρίων οι καθιζήσεις στο σημείο που βρίσκεται 20m μακριά από την κατασκευή κατά απόλυτη τιμή είναι 4,4mm, ενώ για επτά σειρές αγκυρίων είναι 8,5mm. Η αύξηση της κατακόρυφης μετακίνησης είναι περίπου στο 48 %.



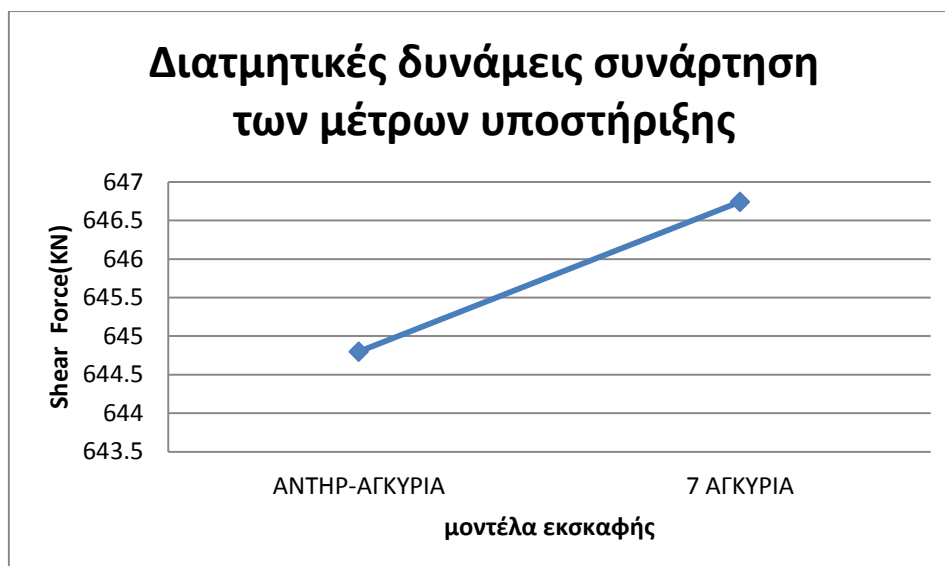
Διάγραμμα 6.3: Αποτελέσματα 1^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων για το πιο απομακρυσμένο σημείο (F).

Ακόμη, παρατηρώντας τις απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών, οι ροπές αυξάνονται ελάχιστα με την αντικατάσταση της αντηρίδας από αγκύριο. Η αύξηση αυτή σε ποσοστό είναι σχεδόν μηδενική.

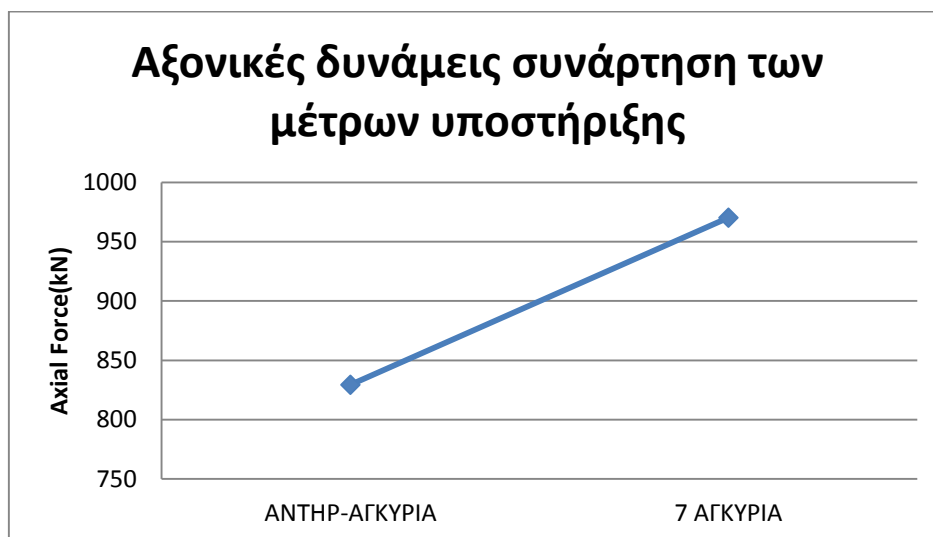


Διάγραμμα 6.4: Αποτελέσματα 1^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων συνάρτηση των μέτρων υποστήριξης.

Το ίδιο και οι διατμητικές δυνάμεις αυξάνονται ελάχιστα με την αντικατάσταση αντηρίδας με αγκύρια ενώ οι αξονικές δυνάμεις αυξάνονται σημαντικά. Η αύξηση της διατμητικής δύναμης σε μορφή ποσοστού είναι 0,3%, ενώ της αξονικής δύναμης 17%.



Διάγραμμα 6.5: Αποτελέσματα 1^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων συνάρτηση των μέτρων υποστήριξης.



Διάγραμμα 6.6: Αποτελέσματα 1^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων συνάρτηση των μέτρων υποστήριξης.

Τέλος, ο συντελεστής ασφαλείας που προέκυψε είναι $F.S=1,5$ που είναι η οριακά ελάχιστη τιμή του συντελεστή ασφαλείας που έχει τεθεί και οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία είναι εντός των ορίων επιφυλακής (25 mm για κτήρια). Λαμβάνοντας υπόψη τους δυο αυτούς περιορισμούς προκύπτει ότι η κατασκευή δεν παρουσιάζει κίνδυνο οριακής αστοχίας.

6.3. 2^η Παραμετρική ανάλυση

Η δεύτερη παραμετρική ανάλυση αφορά την κύρια εκσκαφή, όπου μεταβάλλεται η διάμετρος και η απόσταση των πασσάλων της εκσκαφής, με αποτέλεσμα η αντοχή των πασσάλων να διαφέρει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, καθώς οι ιδιότητες του διαφραγματικού τοίχου μεταβάλλονται.

Συγκεκριμένα ακολουθώντας τις εξισώσεις υπολογισμού της δυστένειας και της καμπτικής δυσκαμψίας του διαφραγματικού τοίχου που παρουσιάστηκαν αναλυτικά παραπάνω προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες με τα εκάστοτε χαρακτηριστικά των πασσάλων και τις αντίστοιχες τιμές της αξονικής (EA) και καμπτικής (EI) δυσκαμψίας, το ισοδύναμο πάχος (d) και το βάρος (w) της κατασκευής.

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των αγκυρίων δεν μεταβάλλονται, δηλαδή τα αγκύρια είναι τετράκλινα, με ίδιες συντεταγμένες και δύναμη προέντασης.

Πίνακας 6.4 : Χαρακτηριστικά των πασσάλων που μελετούνται

A/A	Μέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή	Τιμή	Τιμή	Μονάδες
1	Διάμετρος/Απόσταση	D/x	0,6/1,5	0,8/1,5	1/2	m/m
2	Μέτρο ελαστικότητας πασσάλου	E _p	30*10 ⁶	30*10 ⁶	30*10 ⁶	KN/m ²
3	Αξονική δυσκαμψία πασσάλων	EA1	5,7*10 ⁶	10,05*10 ⁶	11,78*10 ⁶	KN/m
4	Καμπτική δυσκαμψία πασσάλων	EI1	0,127234*10 ⁶	0,402123*10 ⁶	0,7363*10 ⁶	KNm

Πίνακας 6.5 : Χαρακτηριστικά του σκυροδέματος που συνεισφέρει στην αντιστήριξη

A/A	Μέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή	Τιμή	Τιμή	Μονάδες
1	Διάμετρος/Απόσταση	D/x	0,6/1,5	0,8/1,5	1/2	m/m
2	Μέτρο ελαστικότητας τοιχίου	E _t	25*10 ⁶	25*10 ⁶	25*10 ⁶	KN/m ²
3	Πάχος ενδιάμεσου τοιχίου	w	0,1	0,1	0,1	m
4	Αξονική δυσκαμψία ενδιάμεσου τοιχίου	EA2	1,5*10 ⁶	1,16*10 ⁶	1,25*10 ⁶	KN/m
5	Καμπτική δυσκαμψία ενδιάμεσου τοιχίου	EI2	0,00125*10 ⁶	972,2	1041	KNm

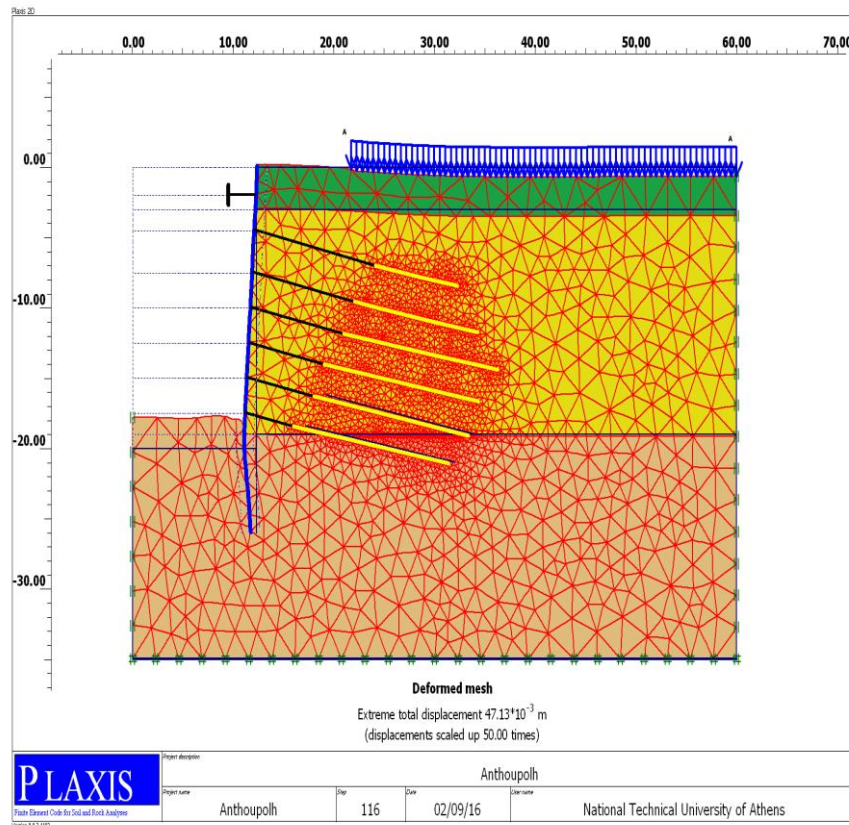
Πίνακας 6.6 : Τελικές τιμές των παραμέτρων του διαφραγματικού τοίχου

A/A	Μέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή	Τιμή	Τιμή	Μονάδες
1	Διάμετρος/Απόσταση	D/x	0,6/1,5	0,8/1,5	1/2	m/m
2	Φαινόμενο βάρος	γ	24	24	24	KN/m ³
3	Τελική τιμή αξονικής δυσκαμψίας	ΣΕΑ	7,2*10 ⁶	11,21*10 ⁶	13,03*10 ⁶	KN/m
4	Τελική τιμή καμπτικής δυσκαμψίας	ΣΕΙ	128484	403095,2	737351	KNm
5	Ισοδύναμο πάχος πλάκας	dequ al	0,463	0,657	0,824	m
6	Λόγος του Poisson	ν	0,15	0,15	0,15	-
7	Βάρος	W	11,112	15,768	19,776	KN/m

Έπειτα, επιλύοντας το μοντέλο με τα νέα δεδομένα (Πίνακας 6.6) το πρόγραμμα πραγματοποιεί τους υπολογισμούς και για τις τέσσερις περιπτώσεις. Μέσω του output και των αντίστοιχων διαγραμμάτων από το Curves εξάγει τα αποτελέσματα των συνολικών, οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων καθώς και των αξονικών και διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους και των καμπτικών ροπών που αναπτύσσονται στους πασσάλους κατά τελευταίο στάδιο εκσκαφής.

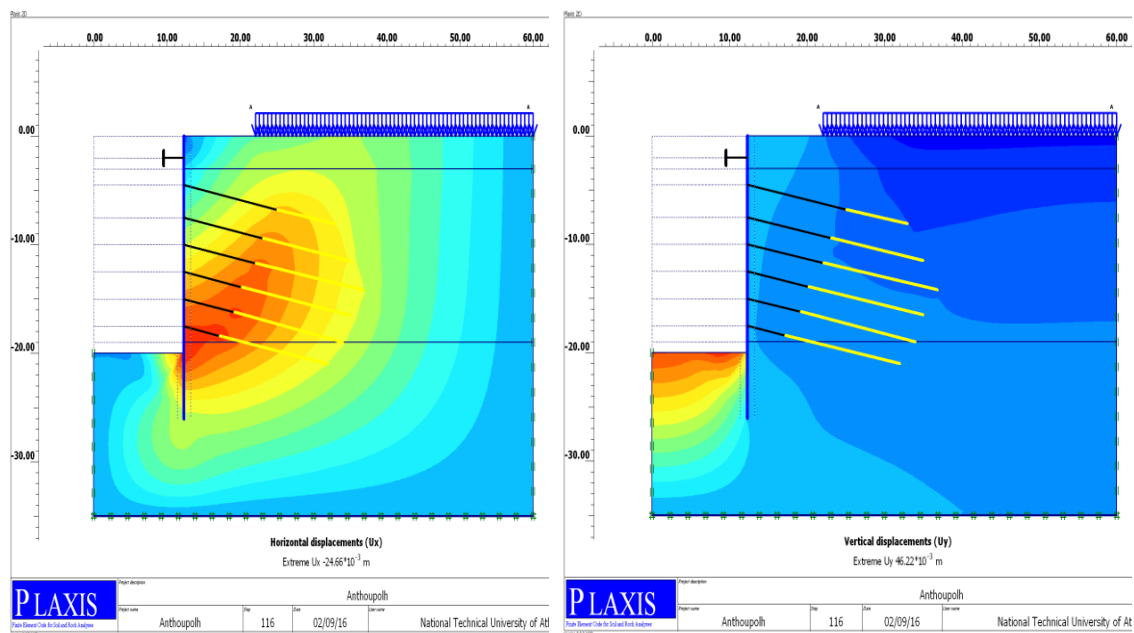
Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει εκτενή ανάλυση των αποτελεσμάτων της 2^Α ανάλυσης, δηλαδή για την περίπτωση που ο διαφραγματικός τοίχος της κύριας εκσκαφής αποτελείται από πασσάλους διαμέτρου Φ0.6 και απόσταση μεταξύ τους 1.5m. Για τις υπόλοιπες αναλύσεις τα αποτελέσματα παρατίθενται στα αντίστοιχα παραρτήματα.

Το παραμορφωμένο προσομοίωμα μετά την τελική φάση εκσκαφής παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.9.



Εικόνα 6.9: Παραμορφωμένο προσομοίωμα του τελικού σταδίου εκσκαφής για διάμετρο 0.6m και απόσταση πασσάλων 1.5m. Αποτελέσματα 2^Α ανάλυσης.

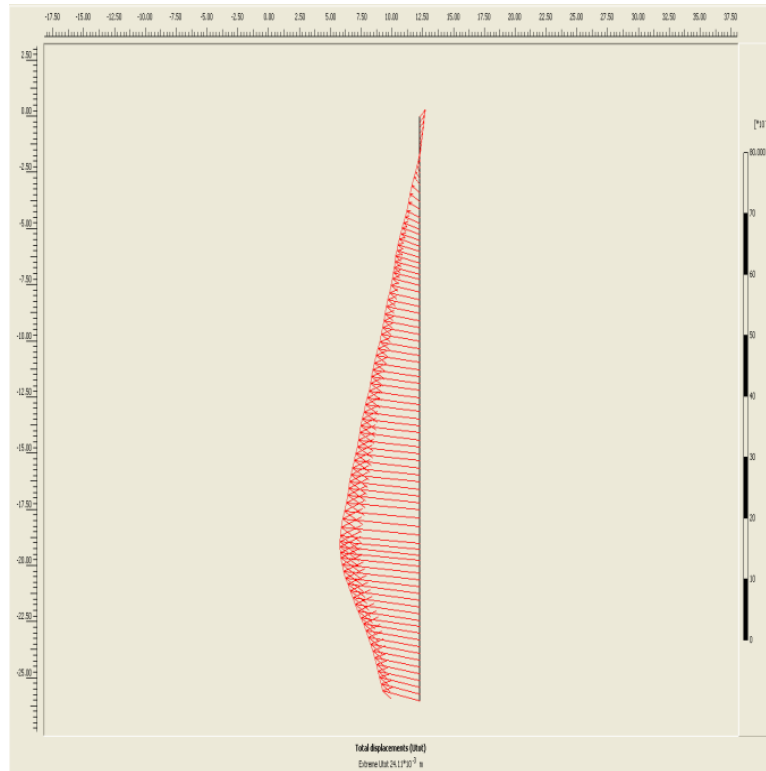
Όπως προκύπτει από το πρόγραμμα δεν λαμβάνει χώρα αστοχία, γεγονός που σημαίνει ότι οι μετακινήσεις (οριζόντιες ή κατακόρυφες) θα είναι περιορισμένες. Ο τοίχος ξεκινάει να παραμορφώνεται μετά την εγκατάσταση του πρώτου αγκυρίου. Για να γίνουν πιο κατανοητές οι μετακινήσεις επιλέγεται η προβολή των μετακινήσεων μέσω χρωματισμών (Shading).



Εικόνα 6.10: Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις στο τελικό στάδιο εκσκαφής για πάσσλους $\Phi 0.60/1.5m$ με χρωματισμούς. Αποτελέσματα 2^{ης} παραμετρικής ανάλυσης.

Σημαντική αύξηση των οριζόντιων μετατοπίσεων με την μεταβολή της διαμέτρου και της απόστασης των πασσάλων παρατηρείται στην κορυφή του διαφραγματικού τοίχου, με τιμές μη ρεαλιστικές καθώς ο τοίχος αφαιρείται. Οι δε αύξηση των κατακόρυφων μετακινήσεων παρατηρείται στον πυθμένα την εκσκαφής με μορφή ανύψωσης λόγω αποφορτίσεως του πυθμένα. Οι αυξήσεις αυτές των τιμών όμως δεν είναι ανησυχητικές καθώς είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων (25mm για κτήρια).

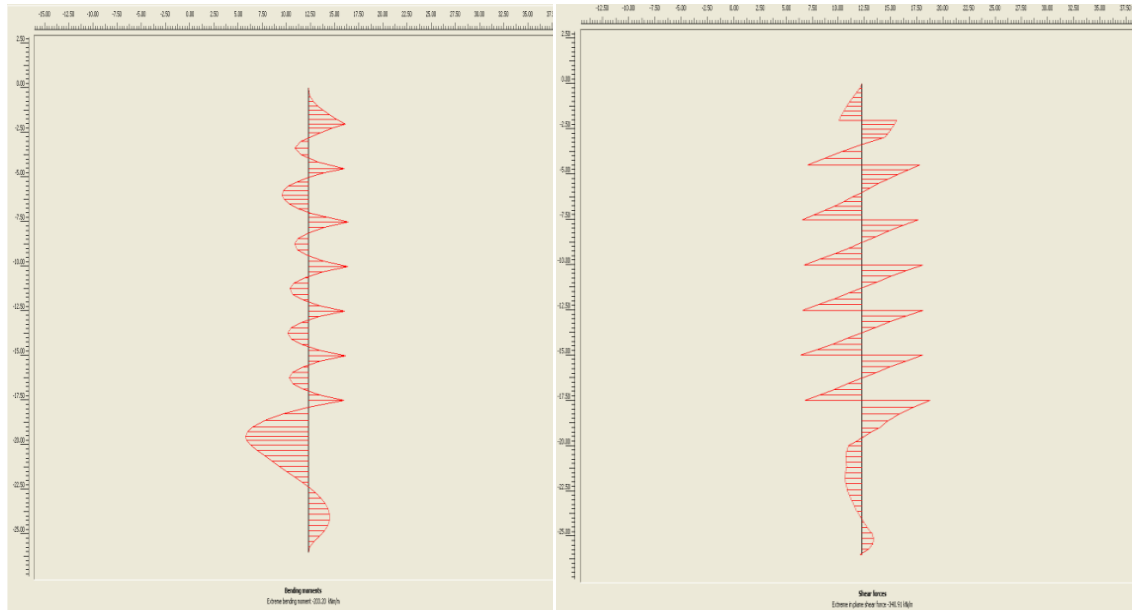
Ακόμη, παρέχεται άλλη μια πληροφορία σχετικά με τις μέγιστες συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων που είναι της τάξης των 2,4cm και οι οποίες συμπίπτουν με τις μέγιστες συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις. (Εικόνα 6.11)



Εικόνα 6.11: Συνολικές μέγιστες μετακινήσεις διαφραγματικού τοίχου για πάσσαλους $\Phi 0.60/1.5m$. Αποτελέσματα 2^A ανάλυσης

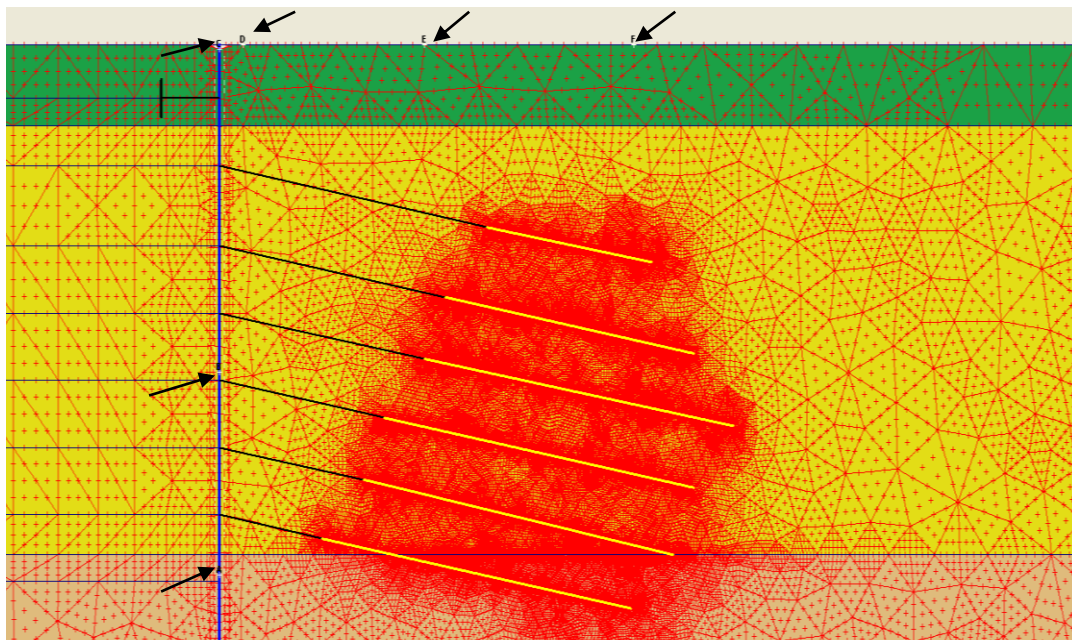
Οι καμπτικές ροπές προέκυψαν 203,2 kNm/m ανά μονάδα μήκους, οπότε για να υπολογιστεί η τελική τιμή πολλαπλασιάζεται επί την απόσταση των πασσάλων, όπου και προκύπτει 304,8 kN.

Οι μέγιστες διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στους πασσάλους είναι 340,91 kN/m, η τιμή όμως αυτή πολλαπλασιάζεται επί την απόσταση των πασσάλων και προκύπτει η τελική απόλυτη τιμή 511,365 kN.

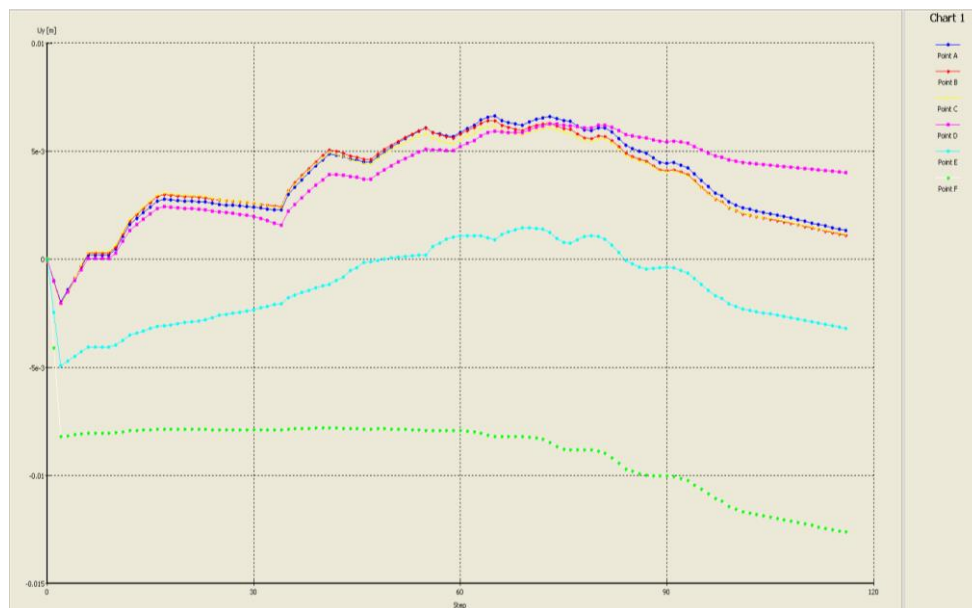


Εικόνα 6.12: Καμπτικές ροπές και μέγιστες διατμητικές δυνάμεις για τον διαφραγματικό τοίχο με πασσάλους $\Phi 0.60/1.5m$. Αποτελέσματα 2^Α ανάλυσης.

Τα σημεία που επιλέχθηκαν στο Curves είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά που είχαν επιλεγεί στο μοντέλο της κύριας εκσκαφής όταν οι πάσσαλοι ήταν διαμέτρου $\Phi 1m$ και απόστασης $1.5m$ για να γίνει καλύτερη συγκριτική αξιολόγηση. Τα σημεία αυτά είναι στον πυθμένα της εκσκαφής επί του διαφραγματικού τοίχου στα 20 μέτρα βάθος, στο μέσο του διαφραγματικού τοίχου στα 12,4m και στην κορυφή του στα 0m, όπως και σε διάφορα σημεία κοντά στην επιφάνεια της εκσκαφής (στα 12,8/ 22,3 / 32,3 Εικόνα 6.13).



Εικόνα 6.13: Προβολή επιλεγμένων σημείων



Διάγραμμα 6.7 : Κατακόρυφες μετακινήσεις με εφαρμογή πασσάλων διάμετρο 0.6m και απόσταση 1.5m. Αποτελέσματα 2^Α ανάλυσης.

Συγκεκριμένα στο σημείο D που αντιστοιχεί στο σημείο δίπλα στο διαφραγματικό τοίχο και δίπλα στην επιφάνεια της εκσκαφής, παρατηρείται μια ανύψωση του εδάφους της τάξης του 4 mm, ενώ η μέγιστη καθίζηση παρατηρείται στο σημείο F, που είναι το πιο απομακρυσμένο σημείο της επιφάνειας με τιμή 13 mm.

Λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση του προσομοιώματος της κύριας εκσκαφής εξάγονται τα συμπεράσματα για το πώς η διάμετρος και η απόσταση των πασσάλων στην κύρια εκσκαφή επηρεάζει τις μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου και κατά συνέπεια της συνολικής εκσκαφής.

Παρακάτω παρουσιάζονται με πινάκες τα αποτελέσματα των μετακινήσεων σε σημεία ενδιαφέροντος για την δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων.

Πίνακας 6.7 : Αποτελέσματα Οριζόντιων μετακινήσεων του διαφραγματικού τοίχου. 2^{ης} παραμετρικής ανάλυσης

Σημεία επί του διαφραγματικού τοίχου	Ux[m] για πάσσαλου 0.6/1.5m	Ux[m] για πάσσαλου 0.8/1.5m	Ux[m] για πάσσαλου 1.0/2.0m
A (πυθμένα του διαφραγματικού τοίχου)	-0,024	-0,023	-0,022
B (μέσο του διαφραγματικού τοίχου)	-0,015	-0,015	-0,015
C(κορυφή διαφραγματικού τοίχου)	0,0015	0,0028	0,0031

- a) Στο σημείο C, που αντιστοιχεί στην κορυφή του πασσάλου, στον τοίχο φάνηκε να αυξάνονται σημαντικά οι μετακινήσεις με την εφαρμογή

πασσάλων με μεγαλύτερη διάμετρο. Η αύξηση αυτή ήταν περίπου 106% ανάμεσα στους πασσάλους με Φ0.6 και Φ1.0.

- b) Στο μέσο του διαφραγματικού τοίχου (σημείο B), ανεξαρτήτως διαμέτρου πασσάλων παρουσιάζονται οι ίδιες οριζόντιες θετικές μετακινήσεις. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της ασκούμενης δύναμης που δέχεται ο διαφραγματικός τοίχος από την τάνυση των αγκυριών.
- c) Στον πυθμένα της εκσκαφής επί του διαφραγματικού τοίχου (σημείο A) στην περίπτωση διαφορετικών διαμέτρων πασσάλων παρουσιάζεται ελάχιστη μείωση των μετακινήσεων από την τιμή 24mm. Η μείωση αυτή είναι σχεδόν μηδενική.

Πίνακας 6.8 : Αποτελέσματα Κατακόρυφων μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους. 2^η παραμετρική ανάλυση.

Σημεία	Uy[m] για πάσσαλου 0.6/1.5m	Uy[m] για πάσσαλου 0.8/1.5m	Uy[m] για πάσσαλου 1.0/2.0m
D (8cm από την επιφάνεια εκσκαφής)	0,004	0,0055	0,0054
E (10m απόσταση από την επιφάνεια εκσκαφής)	-0,0031	0,0014	0,0012
F(20m απόσταση από την επιφάνεια εκσκαφής)	-0,013	-0,0045	-0,0046

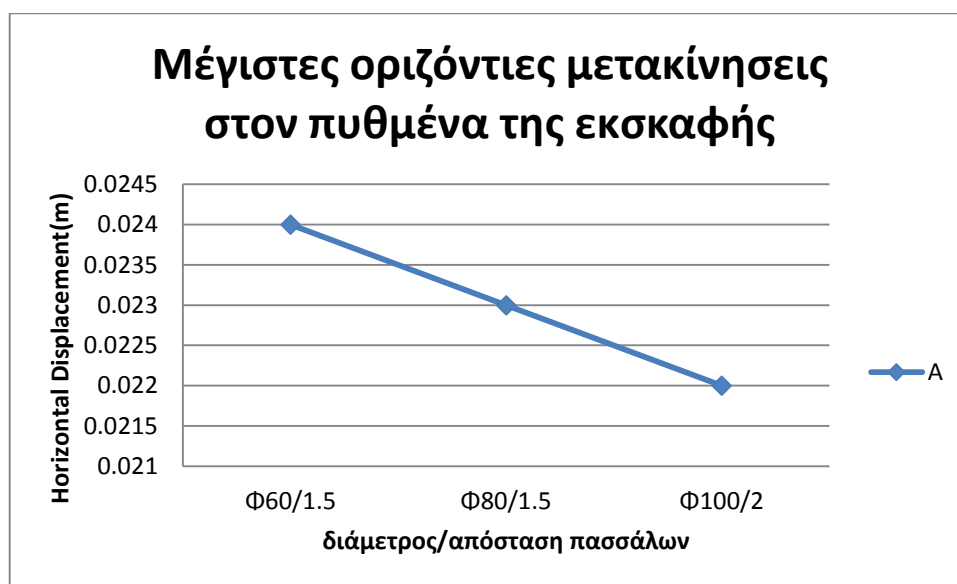
- a) Στα σημεία κοντά στον διαφραγματικό τοίχο και στην περιοχή που μόλις ξεκινάνε τα φορτία (E), λόγω κάμψης του τοίχου παρατηρείται ανύψωση του εδάφους. Οι τιμές μάλιστα αυτών των ανυψώσεων και στις τρεις περιπτώσεις ανεξάρτητος των διαστάσεων των πασσάλων υποστήριξης που εφαρμόστηκαν είναι παρόμοιες. Εξάιρεση αποτελεί μόνο ο τοίχος με διάμετρο 0.6m και απόσταση 1.5m, ο οποίος από το μέσο και μετέπειτα παρουσιάζει καθίζηση.
- b) Στο σημείο F, που αντιστοιχεί στο πιο απομακρυσμένο σημείο από την επιφάνεια της εκσκαφής παρουσιάζεται πολύ μεγαλύτερη καθίζηση στην περίπτωση εφαρμογής πάσσαλου Φ0.6/1.5 σε σχέση με το προσομοίωμα που εφαρμόζονται πάσσαλοι Φ1.0/2.0. Η αύξηση αυτή είναι 183%.

Πίνακας 6.9 : Αποτελέσματα ασκούμενων δυνάμεων. 2^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων.

Ανάλυση	Πάσσαλοι Φ0.6/1.5 m	Πάσσαλοι Φ0.8/1.5 m	Πάσσαλοι Φ1/2 m
Bending moments (kNm)	-304,8	-595,38	-1125,84
Shear force (kN)	-511,365	-584,565	-836,48
Axial force (kN)	-667,2	-749,235	-1086,84
SF(Συντελεστής Ασφαλείας)	1,63	1,64	1,67

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τις αναλύσεις και τα σημεία που επιλέχθηκαν, κατασκευάζονται πληθώρα διαγραμμάτων που εξετάζουν τις συνολικές, κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις, τις καμπτικές ροπές, τις διατμητικές και αξονικές δυνάμεις συνάρτηση αυτών των σημείων και των μοντέλων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά πασσάλων.

Από τις τιμές του παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι οι οριζόντιες μετακινήσεις δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις για τις τρεις περιπτώσεις διαφραγματικού τοίχου στον πυθμένα της εκσκαφής και στο μέσο του διαφραγματικού τοίχου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πακτωμένοι οι πάσσαλοι, κατά συνέπεια η απόσταση των πασσάλων και η διάμετρος να μην έχει κάποια επίδραση.



Διάγραμμα 6.8: Αποτελέσματα 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων συνάρτηση της διαμέτρου και της απόστασης των πασσάλων για τον πυθμένα της εκσκαφής.

Με την ίδια λογική και οι κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια του εδάφους μειώνονται με την αύξηση της διαμέτρου ή της απόστασης των πασσάλων. Συγκεκριμένα για το σημείο που είναι το πιο απομακρυσμένο από την κατασκευή (σημείο F) για διάμετρο Φ0.6 και απόσταση 1.5 m οι μέγιστες μετακινήσεις κατά απόλυτη τιμή είναι 13 mm ενώ για διάμετρο 1 m και για απόσταση 2 m οι μετακινήσεις μειώνονται στα 4.6 mm. Η μείωση της μετακινήσεις των καθιζήσεων είναι περίπου στο 183%.



Διάγραμμα 6.9: Αποτελέσματα 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων συνάρτηση της διαμέτρου και της απόστασης των πασσάλων για το πιο απομακρυσμένο σημείο.

Ακόμη, παρατηρώντας τις απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών, οι ροπές αυξάνονται με την αύξηση της διαμέτρου και της απόστασης των πασσάλων.



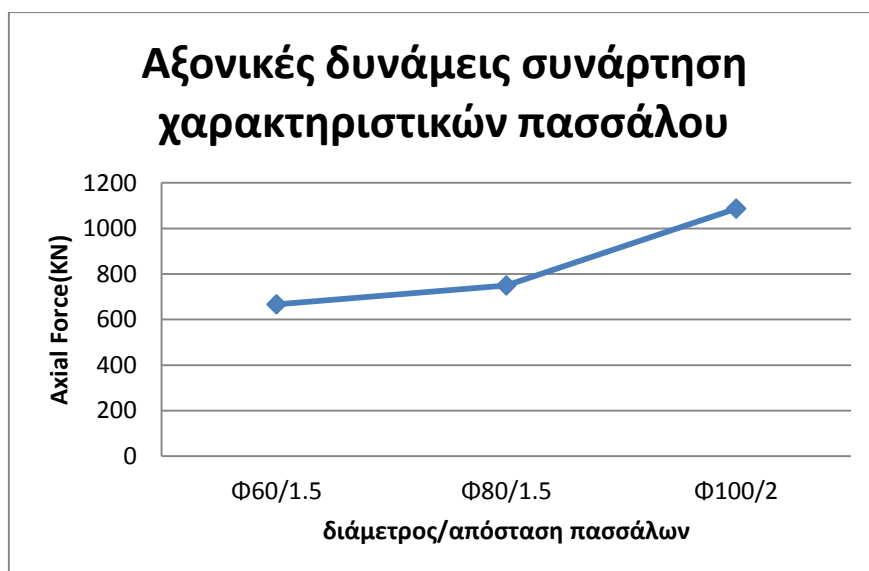
Διάγραμμα 6.10: Αποτελέσματα 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων συνάρτηση της διαμέτρου και της απόστασης των πασσάλων.

Η ίδια λογική ισχύει και για τις αξονικές και διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται στους πασσάλους, αυξάνονται όσο αυξάνεται η διάμετρος και η απόσταση των πασσάλων. Η αύξηση για τις διατμητικές δυνάμεις είναι της τάξης του 56% και τις αξονικές δυνάμεις της τάξης του 59 %.

Τονίζεται ότι οι καμπτικές ροπές, οι αξονικές και διατμητικές δυνάμεις είναι σημαντικοί παράμετροι για την διαστασιολόγηση και τον σχεδιασμό των πασσάλων.



Διάγραμμα 6.11: Αποτελέσματα 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων συνάρτηση της διαμέτρου και της απόστασης των πασσάλων.



Διάγραμμα 6.12: Αποτελέσματα 2^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων συνάρτηση της διαμέτρου και της απόστασης των πασσάλων.

Τέλος, με βάση τον συντελεστή ασφαλείας που προέκυψε $F.S=1,63$, παρατηρείται ότι για οποιαδήποτε τιμή της διαμέτρου και της απόστασης των πασσάλων της κύριας εκσκαφής, δεν παρουσιάζεται κίνδυνος κατάπτωσης ή εμφάνισης αστοχίας. Αφού οι τιμές ξεπερνούν την τιμή του ελάχιστους συντελεστή ασφαλείας που είχε τεθεί $F.S=1,5$ και οι μετακινήσεις που προέκυψαν στα σημεία ενδιαφέροντος είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων (25mm για κτήρια) και μάλιστα πολύ μικρές.

6.4. 3^η Παραμετρική ανάλυση

Στην Τρίτη παραμετρική ανάλυση μελετήθηκε η κατασκευή της πλευρικής διεύρυνσης βόρεια του σταθμού θεωρώντας ότι δεν υπάρχει το κύριο τμήμα της εκσκαφής.

Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν συνολικά τρεις αναλύσεις με διαφορετικό αριθμό αγκυρίων, άνοιγμα και βάθος εκσκαφής, κατά συνέπεια και διαφορετικό μήκος διαφραγματικού τοίχου.

✓ Για την Περιοχή 2 B1A:

Σε αυτήν την περίπτωση εκσκαφής οι πάσσαλοι θα αντιστηριχτούν με 5 σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων με μήκος 12m, 11m, 10m, 8m και 7m αντίστοιχα, μήκος πάκτωσης 12m, 12m, 15m, 15m και 15m, γωνία από τον πασσαλότοιχο $\varphi=80^\circ$ και δύναμη προέντασης $F_p=600$ KN.

✓ Για την Περιοχή 2 B1B:

Σε όλο το ύψος εκσκαφής οι πάσσαλοι θα αντιστηριχτούν με 6 σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων με μήκος 12m, 11m, 10m, 8m, 7m και 5m αντίστοιχα, μήκος πάκτωσης 12m, 12m, 15m, 15m, 15m και 15m, γωνία από τον πασσαλότοιχο $\varphi=80^\circ$ και δύναμη προέντασης $F_p=600$ KN.

✓ Για την Περιοχή 2 B3:

Σε όλο το ύψος εκσκαφής οι πάσσαλοι θα αντιστηριχτούν με 2 σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων με μήκος 9m και 7m αντίστοιχα, μήκος πάκτωσης 12m και 15m, γωνία από τον πασσαλότοιχο $\varphi=80^\circ$ και δύναμη προέντασης $F_p=600$ KN.

Επισημαίνεται ότι και στα τρία προσομοιώματα (B1A, B1B, B3) εφαρμόζεται μεταξύ των πασσάλων πέτασμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10-15εκ., για την εξασφάλιση από καταπτώσεις μεταξύ αυτών και του εδάφους.

Στο πλαίσιο αυτών των παραμετρικών αναλύσεων στο επιμέρους στάδιο του σχεδιασμού τα αγκύρια έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά (B1A, B1B, B3).

✓ Για την Περιοχή 2- B1A:

Πέντε σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, που έχουν διατομή 4 Φ 0.6 με κάρναβο 1.50m×3.50m, κατασκευασμένα από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900. Η τοποθέτηση της πρώτης σειρά των αγκυρίων θα γίνει -2m, η δεύτερη σειρά στα -5m, η Τρίτη σειρά στα -7.5m, η Τέταρτη σειρά στα -10m και η Πέμπτη σειρά -12.5m.

✓ Για την Περιοχή 2- B1B:

Έξι σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, που έχουν διατομή 4Φ0.6 με κάρναβο 1.50m×3.50m, κατασκευασμένα από ειδικό χάλυβα προέντασης ποιότητας 1700/1900. Η τοποθέτηση της πρώτης σειρά των αγκυρίων θα γίνει -2m, η δεύτερη σειρά στα -5m, η Τρίτη σειρά στα -7.5m, η Τέταρτη σειρά στα -10m, η Πέμπτη σειρά -12.5m και η έκτη σειρά στα -15m .

✓ Για την Περιοχή 2- B3:

Δυο σειρές προεντεταμένων αγκυρίων, που έχουν διατομή 4Φ0.6 με κάρναβο 1.50m×3.50m, κατασκευασμένα από ειδικό χάλυβα προέντασης, ποιότητας 1700/1900. Η τοποθέτηση της πρώτης σειρά των αγκυρίων θα γίνει -5.30m και της δεύτερης σειράς στα -8.30m.

Στον παρακάτω Πίνακα 6.10 φαίνονται συγκεντρωτικά οι περιοχές εκσκαφής που εξετάστηκαν με τα εκάστοτε μέτρα υποστήριξης.

Πίνακα 6.10 : Συνοπτική παρουσίαση μέτρων αντιστήριξης παραμετρικών αναλύσεων

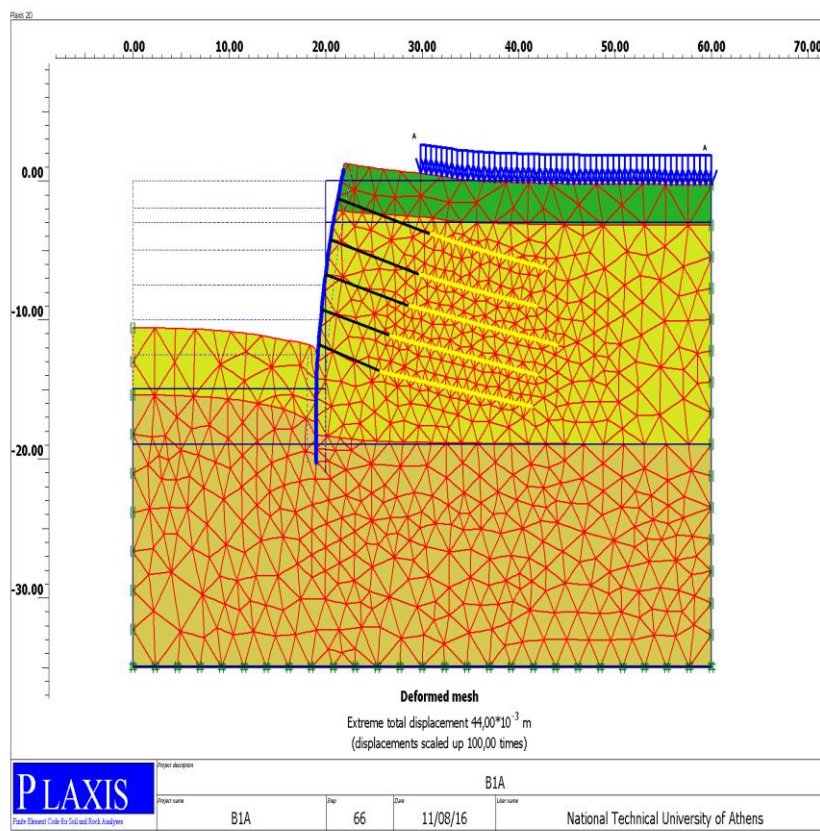
A/A	Ονομασία	Μέτρα Υποστήριξης	Άνοιγμα εκσκαφής(m)
1.	B1A	Διαφραγματικός τοίχος, 5 σειρές αγκυρίων	20
2.	B1B	Διαφραγματικός τοίχος, 6 σειρές αγκυρίων	17,7
3.	B3	Διαφραγματικός τοίχος, 2 σειρές αγκυρίων	15

Αναλυτικά, η πρώτη ανάλυση αντιπροσωπεύει το αριστερό τμήμα Βόρεια της εκσκαφής, όπου πριν την εκτέλεση των υπολογισμών εκτελούνται τα παρακάτω υπολογιστικά βήματα (Πίνακας 6.11)

Πίνακας 6.11 : Υπολογιστικά Βήματα 3^A παραμετρικής ανάλυσης

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΒΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ 2 : Β1Α ΠΑΣΣΑΛΟΙ Φ1.0/1.5 m ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΗΜΑΤΟΣ
1.	Εκσκαφή 2m
2.	Εγκατάσταση 1 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/\text{πάσσαλο}$
3.	Εκσκαφή 3 m
4.	Εγκατάσταση 2 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/\text{πάσσαλο}$
5.	Εκσκαφή 2.5m
6.	Εγκατάσταση 3 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/\text{πάσσαλο}$
7.	Εκσκαφή 2.5m
8.	Εγκατάσταση 4 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/\text{πάσσαλο}$
9.	Εκσκαφή 2.5m
10.	Εγκατάσταση 5 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{πρ}=600\text{KN}/\text{πάσσαλο}$
11.	Εκσκαφή 2.5m
12.	Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας σκάμματος

Το παραμορφωμένο προσομοίωμα της τελικής φάσης εκσκαφής αυτού του τμήματος μετά την εκτέλεση των υπολογισμών παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.14.



Εικόνα 6.14 : Παραμορφωμένο προσομοίωμα 3^Α παραμετρικής ανάλυσης

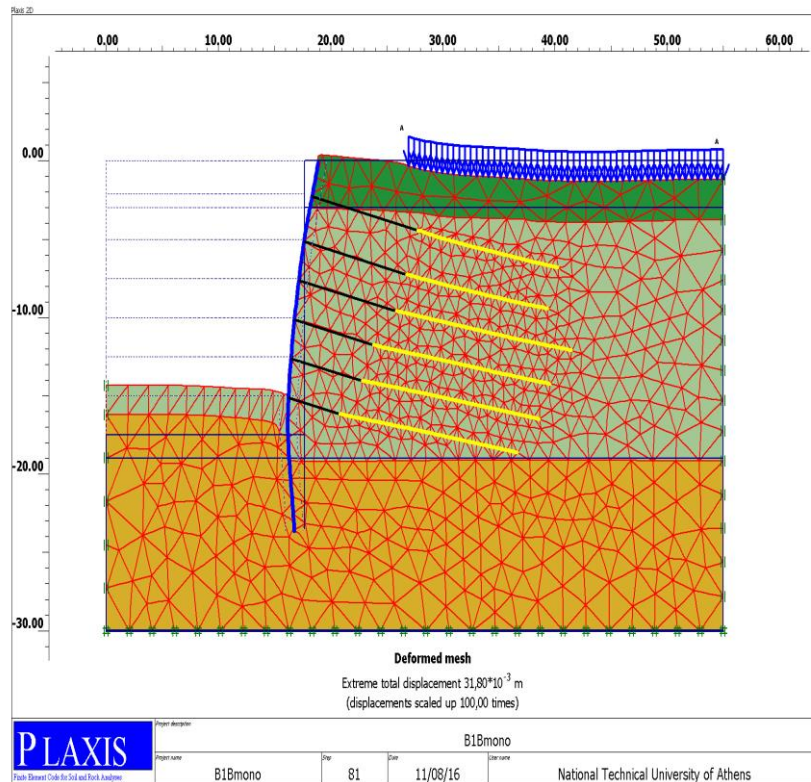
Στην δεύτερη ανάλυση που αντιστοιχεί στο μεσαίο τμήμα βόρεια της θεωρητικά κύριας εκσκαφής πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχα τα παρακάτω υπολογιστικά βήματα (Πίνακας 6.12).

Πίνακας 6.12: Υπολογιστικά Βήματα 3^Β παραμετρικής ανάλυσης

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΒΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ 2 : Β1Β ΠΑΣΣΑΛΟΙ Φ1.0/1.5 m ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΗΜΑΤΟΣ
1.	Εκσκαφή 2m
2.	Εγκατάσταση 1 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυριών, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/ πάσσαλο}$
3.	Εκσκαφή 3 m
4.	Εγκατάσταση 2 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυριών, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/ πάσσαλο}$
5.	Εκσκαφή 2.5m
6.	Εγκατάσταση 3 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυριών, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/ πάσσαλο}$
7.	Εκσκαφή 2.5m
8.	Εγκατάσταση 4 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυριών, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/ πάσσαλο}$
9.	Εκσκαφή 2.5m

10.	Εγκατάσταση 5 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN}/\text{πάσσαλο}$
11.	Εκσκαφή 2.5m
12.	Εγκατάσταση 6 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN}/\text{πάσσαλο}$
13.	Εκσκαφή 2.5m
14.	Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας σκάμματος

Το παραμορφωμένο προσομοίωμα της τελικής φάσης εκσκαφής αυτού του τμήματος μετά την εκτέλεση των υπολογισμών παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.15.



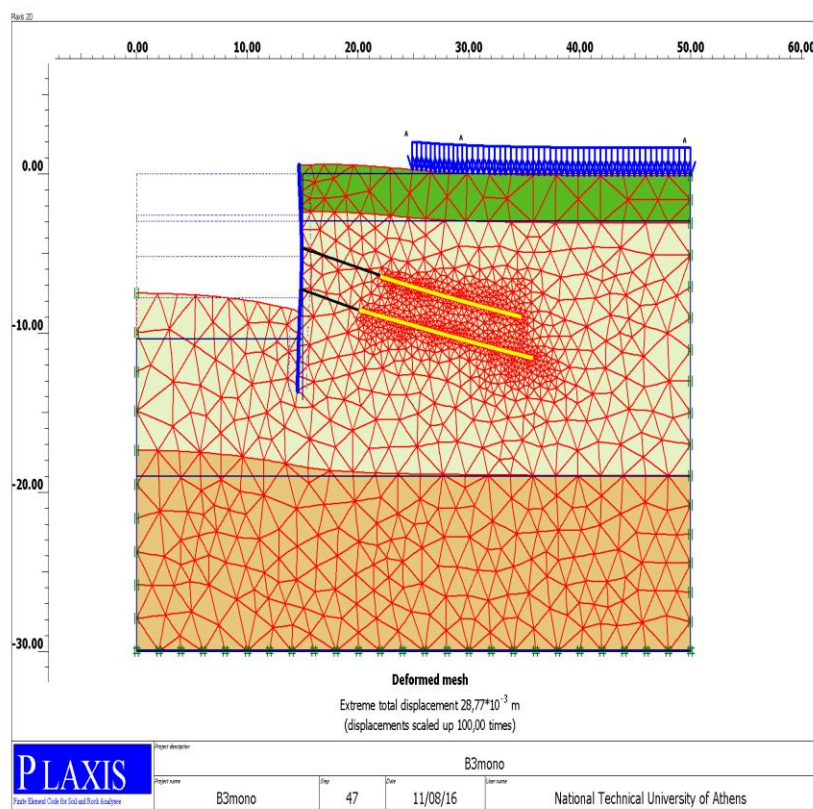
Εικόνα 6.15 : Παραμορφωμένο προσομοίωμα 3^Β παραμετρικής ανάλυσης

Στην τρίτη ανάλυση που αντιστοιχεί στο δεξιό τμήμα βόρεια της θεωρητικά κύριας εκσκαφής πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχα τα παρακάτω υπολογιστικά βήματα (Πίνακας 6.13).

Πίνακας 6.13 : Υπολογιστικά Βήματα 3^Γ παραμετρικής ανάλυσης

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΒΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ		ΠΕΡΙΟΧΗ 2 : Β1Β ΠΑΣΣΑΛΟΙ Φ1.0/1.5 m
		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΗΜΑΤΟΣ
1.	Εκσκαφή 5.3 m	
2.	Εγκατάσταση 1 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN}/\text{πάσσαλο}$	
3.	Εκσκαφή 2.6 m	
4.	Εγκατάσταση 2 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN}/\text{πάσσαλο}$	
5.	Εκσκαφή 2.60 m	
6.	Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας σκάμματος	

Το παραμορφωμένο προσομοίωμα της τελικής φάσης εκσκαφής αυτού του τμήματος μετά την εκτέλεση των υπολογισμών παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.16.

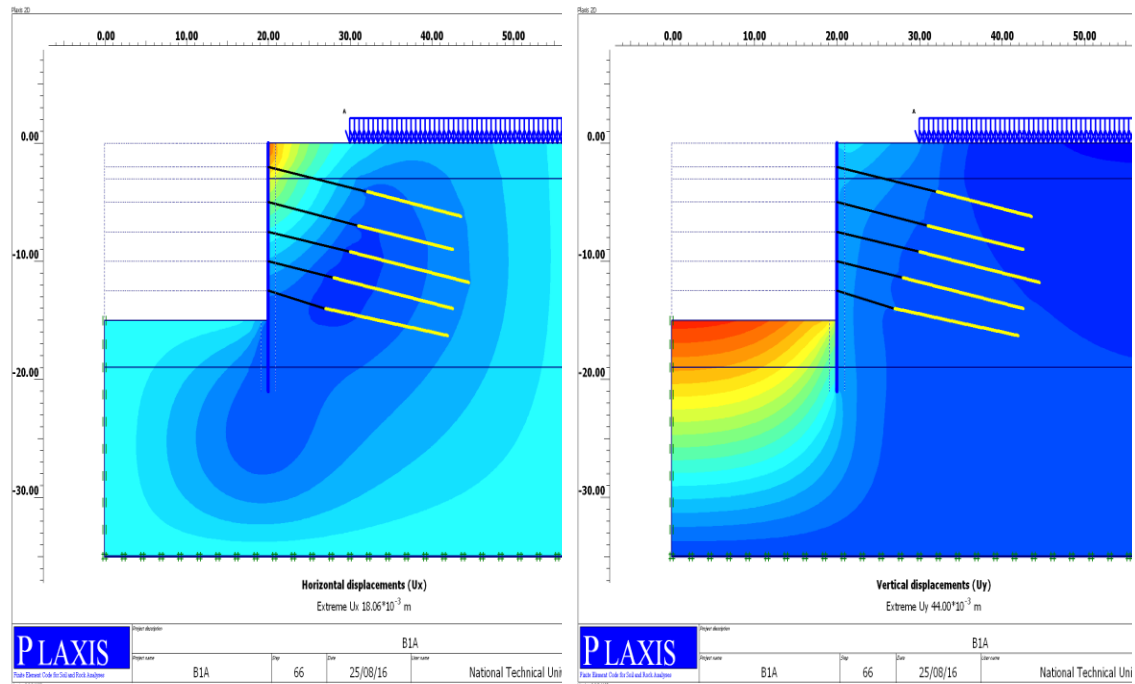


Εικόνα 6.16 : Παραμορφωμένο προσομοίωμα 3^Γ παραμετρικής ανάλυσης

Τα βήματα υπολογισμού και στις τρεις περιπτώσεις είναι διαφορετικά ανάλογα του με το άνοιγμα της εκσκαφής. Στο προσομοίωμα B1A επιλύθηκαν 12 φάσεις, στο προσομοίωμα B1B 9 φάσεις ενώ στο προσομοίωμα B3 6 φάσεις. Συγκεκριμένα χρειάστηκαν 50% περισσότερα βήματα από το μοντέλο B3 στο B1A.

Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει εκτενή ανάλυση των αποτελεσμάτων της 3^Α ανάλυσης, δηλαδή του προσομοιώματος B1A, το οποίο αποτελείται από διαφραγματικό τοίχο μήκους 21m και 5 σειρές αγκυριών. Για τις υπόλοιπες αναλύσεις τα αποτελέσματα παρατίθενται στα αντίστοιχα παραρτήματα.

Οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις με χρωματισμούς για την 3^Α ανάλυση παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.17.



Εικόνα 6.17 : Συνολικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις της τελικής φάσης εκσκαφής για το προσομοίωμα B1A με χρωματισμούς (Shadings). Αποτελέσματα 3^Α ανάλυσης.

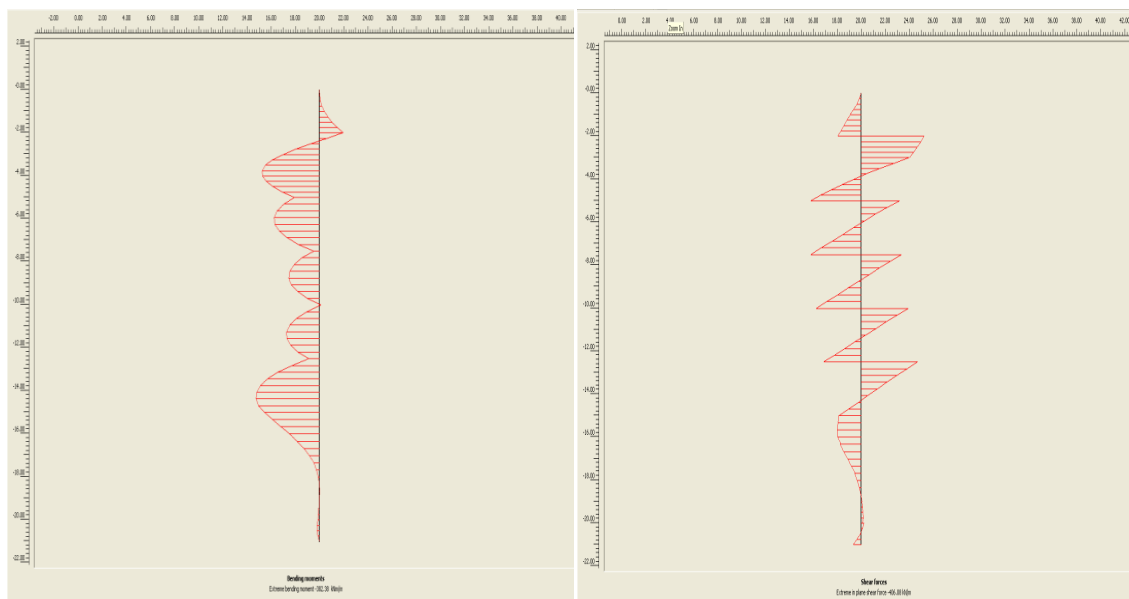
Όσο αφορά τους πασσάλους οι συνολικές μέγιστες μετακινήσεις είναι 19 mm (Εικόνα 6.18).



Εικόνα 6.18 : Συνολικές μέγιστες μετακινήσεις διαφραγματικού τοίχου για το προσομοίωμα B1A. Αποτελέσματα 3^Α Ανάλυσης

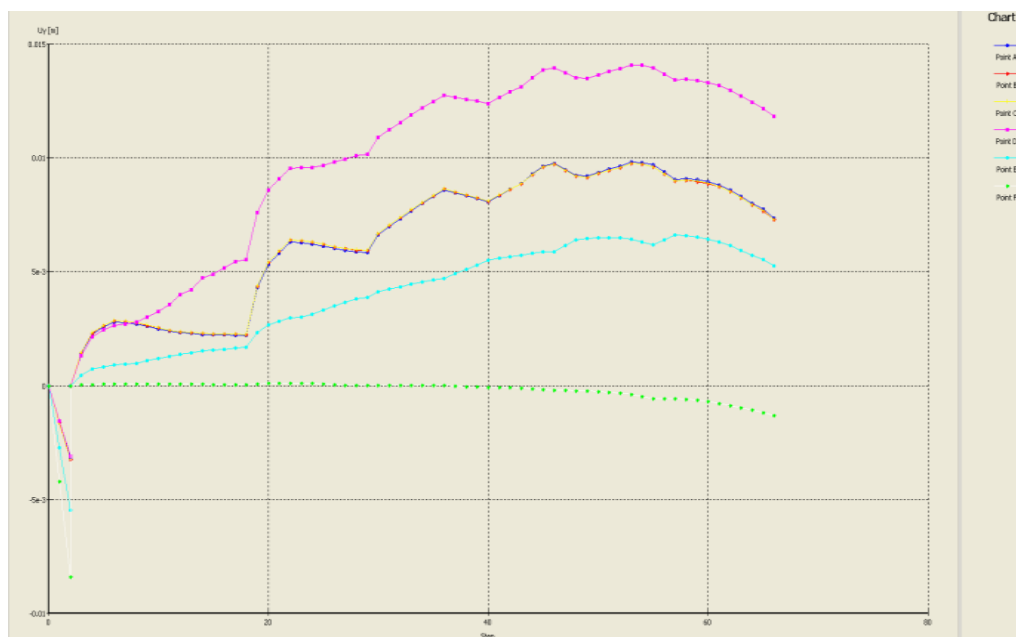
Ακόμη, οι καμπτικές ροπές έλαβαν τιμή 382,38 kNm/m. Τονίζεται ξανά ότι η τιμή αυτή δίνεται ανά μονάδα μήκους και πολλαπλασιάζεται επί την απόσταση των πασσάλων για να προκύψει η τελική απόλυτη τιμή ίση με 573,57 kN.

Οι διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στον διαφραγματικό τοίχο είναι ίσες με 406,08 kN/m (Εικόνα 6.19), με αντίθετη φορά. Με το πολλαπλασιασμό και πάλι με την απόσταση των πασσάλων, υπολογίζεται η τελική απόλυτη τιμή των διατμητικών δυνάμεων είναι 609,12 kN.



Εικόνα 6.19 : Καμπτικές ροπές και μέγιστες διατμητικές δυνάμεις διαφραγματικού τοίχου για το προσομοίωμα B1A. Αποτελέσματα 3^Α ανάλυσης.

Τα σημεία που επιλέχθηκαν στο προσομοίωμα B1A με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στα διαγράμματα των Curves, είναι το σημείο A στο τελικό βάθος εκσκαφής επί του διαφραγματικού τοίχου, το σημείο B στη μέση και το σημείο C στην κορυφή του διαφραγματικού τοίχου. Επιπλέον, επιλέγονται σημεία στην επιφάνεια της εκσκαφής και πιο μακριά της (20.6/30/40m από την επιφάνεια εκσκαφής). Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα σημεία που επιλέχθηκαν με τις αντίστοιχες μετακινήσεις για το καθένα.



Διάγραμμα 6.13 : Κατακόρυφες μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία για το προσομοίωμα B1A. Αποτελέσματα 3^η ανάλυσης.

Στο μοντέλο B1A παρατηρούνται μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις με αρνητικό πρόσημο (φορά προς την εκσκαφή) της τάξης των 9,4mm στον πυθμένα της εκσκαφής. Αντίθετα μέγιστη οριζόντια μετακίνηση (προς τα δεξιά) αντίθετα από την εκσκαφή εμφανίζεται στην στέγη του πασσάλου της τάξης των 18 mm. Όσο αφορά την επιφάνεια του εδάφους καθίζηση εμφανίζει το σημείο F με τιμή 1,3mm, που αντιστοιχεί στο πιο απομακρυσμένο σημείο της επιφάνειας από την εκσκαφή. Αντίθετα, μέγιστη θετική μετακίνηση παρουσιάζει το σημείο D της τάξης των 12 mm στην περιοχή που βρίσκεται 10m από την επιφάνεια της κατασκευής, λόγω κάμψης του τοίχου.

Πίνακας 6.14 : Αποτελέσματα Οριζόντιων μετακινήσεων για το διαφραγματικό τοίχο. 3^η παραμετρική ανάλυση.

Σημεία επί του διαφραγματικού τοίχου	U _x [m] για B1A	U _x [m] για B1B	U _x [m] για B3
A (τελικό βάθος εκσκαφής επί του διαφραγματικού τοίχου)	-0,0094	-0,015	-0,0033
B (μέσο του διαφραγματικού τοίχου)	-0,0002	-0,0091	-0,0011
C(κορυφή του διαφραγματικού τοίχου)	0,018	0,012	-0,0035

- a) Η κορυφή του διαφραγματικού τοίχου (σημείο C) κινήθηκε περισσότερο όταν είχε άνοιγμα εκσκαφής 20m (B1A) με τιμή 18mm και λιγότερο όταν είχε άνοιγμα εκσκαφής 15m (B3) με τιμή 3,5 mm. Η μείωση της τιμής αυτής είναι περίπου 80%.

- b) Το μέσο του διαφραγματικού τοίχου (σημείο B) και στις τρεις περιπτώσεις παρουσιάζει ελάχιστες μετακινήσεις με φορά αντίθετη αυτή της εκσκαφής (προς τα δεξιά).
- c) Στον πυθμένα της εκσκαφής επί του τοίχου (σημείο A) μέγιστη μετακίνηση παρουσιάζεται για άνοιγμα εκσκαφής 17,7m ίση με 15mm ενώ για άνοιγμα εκσκαφής 15m παρουσιάζεται ελάχιστη μετακίνηση 3,3 mm. Το ποσοστό μείωσης είναι 78%.

Πίνακας 6.15: Αποτελέσματα Κατακόρυφων μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους. 3^η παραμετρική ανάλυση.

Σημεία	Uy[m] για B1A	Uy[m] για B1B	Uy[m] για B3
D (8cm από την επιφάνεια εκσκαφής)	0,012	0,003	0,0055
E (10m από την επιφάνεια εκσκαφής)	0,0052	-0,0031	0,0024
F(20m απόσταση από την επιφάνεια εκσκαφής)	-0,0013	-0,011	-0,0007

- a) Στην επιφάνεια του εδάφους σε σημείο κοντά στον διαφραγματικό τοίχο και στην περιοχή που μόλις ξεκινάνε τα φορτία (E), λόγω κάμψης του διαφραγματικού τοίχου παρατηρείται ανύψωση του πυθμένα. Οι τιμές όμως αυτές είναι διαφορετικές για τις τρεις περιπτώσεις ανάλογες του πλάτους εκσκαφής και κατά συνέπεια του μήκους του διαφραγματικού τοίχου και των αριθμό των αγκυρίων. Συγκεκριμένα για το μεγαλύτερο άνοιγμα εκσκαφής 20m (προσομοίωμα B1A) παρουσιάζονται οι μέγιστες ανυψώσεις 12 και 5,2mm (σημεία D και E). Αντίθετα, για το ελάχιστο άνοιγμα εκσκαφής οι ανυψώσεις στα αντίστοιχα σημεία αυτά είναι 5,5 και 2,4mm. Η μείωση αυτή για τα αντίστοιχα σημεία D και E είναι 54% και 53%. Μόνο το μοντέλο με άνοιγμα εκσκαφής 17,7m και 6 σειρές αγκυρίων εμφανίζεται καθίζηση από το μέσο του διαφραγματικού τοίχου και μετέπειτα.
- b) Στο σημείο F, που είναι το πιο απομακρυσμένο σημείο από την επιφάνεια της εκσκαφής παρουσιάζεται πολύ μεγαλύτερη καθίζηση με τιμή 11mm στην περίπτωση που το άνοιγμα εκσκαφής είναι 17,7m και έχουν εφαρμοστεί έξι σειρές αγκυρίων με δύναμη προέντασης 600KN. Αυτό οφείλεται πιθανόν στο γεγονός ότι λόγω των πολλών σειρών αγκυρίων με μεγάλη δύναμη προέντασης και μεγάλο μήκος έχουν δημιουργηθεί πλαστικές ζώνες που κατά πάσα πιθανότητα έχουν αυξήσει τις μετακινήσεις σε μεγάλη απόσταση από τον σταθμό.

Πίνακας 6.16 : Αποτελέσματα ασκούμενων δυνάμεων. 3^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων.

Ανάλυση	B1A	B1B	B3
Bending moments (kNm)	573,57	723,9	627,15
Shear force (kN)	609,12	614,445	606,225
Axial force (kN)	709,25	769,695	542,385
SF (Συντελεστής Ασφαλείας)	1,9	1,6	2,2

Διαγράμματα Curves πραγματοποιήθηκαν για όλες τις αναλύσεις που αφορούν την 3^η παραμετρική ανάλυση. Η παρουσίαση τους γίνεται σχολαστικά στο αντίστοιχο παράρτημα της παρούσας εργασίας. Αναλυτικά, εξετάστηκε το πιο μακρινό σημείο από την επιφάνεια της εκσκαφής (F: σημείο 20m μακριά από την κατασκευή).



Διάγραμμα 6.14 : Αποτελέσματα 3^{ης} ανάλυσης για το πιο απομακρυσμένο σημείο (F).

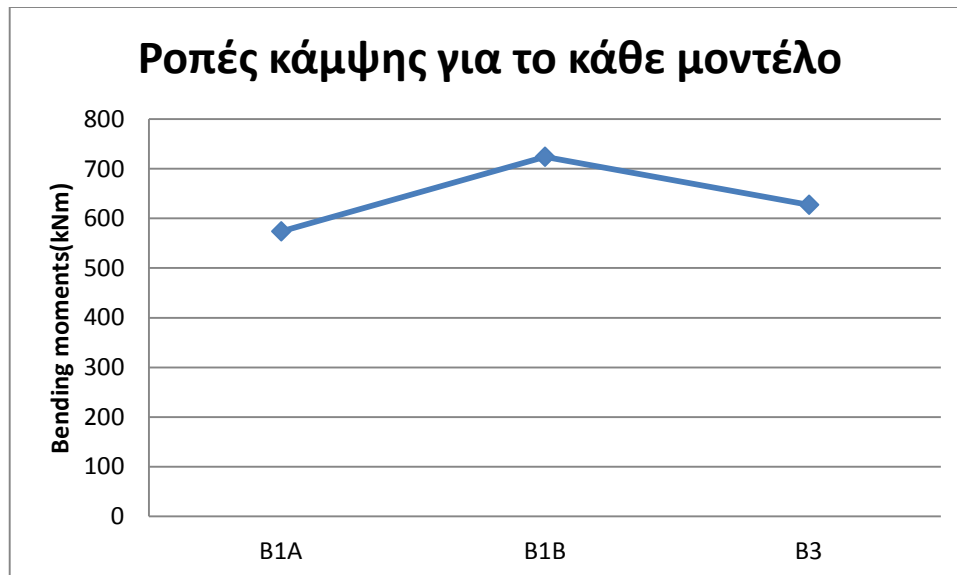
Οι μέγιστες καθιζήσεις παρουσιάζονται στο σημείο F με τιμή 11mm (μοντέλο B1B), που είναι το πιο απομακρυσμένο σημείο της εκσκαφής (20m απόσταση από την εκσκαφή), αντίθετα μέγιστες θετικές μετακινήσεις στο σημεία D με τιμή 12mm (μοντέλο B1A) που αντιστοιχεί στο σημείο δίπλα στην επιφάνεια εκσκαφής.

Ωστόσο, με βάση τα αποτελέσματα των οριζόντιων μετακινήσεων όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο διαφραγματικός στον πυθμένα της εκσκαφής και στο μέσο του παρουσιάζει μια σταδιακή μετακίνηση προς (τα αριστερά) την πλευρά της εκσκαφής με τις μέγιστες τιμές 15mm στο μοντέλο B1B μειωμένες της τάξης 9,4mm στο μοντέλο B1A και 3,3mm στο B3. Ενώ στη στέγη και στα τρία προσομοιώματα παρατηρείται σταδιακή μετακίνηση προς τα δεξιά, αντίθετα με τη πλευρά της εκσκαφής της τάξης των 18mm, 12mm και 3,5mm για τα μοντέλα B1A, B1B και B3 αντίστοιχα.



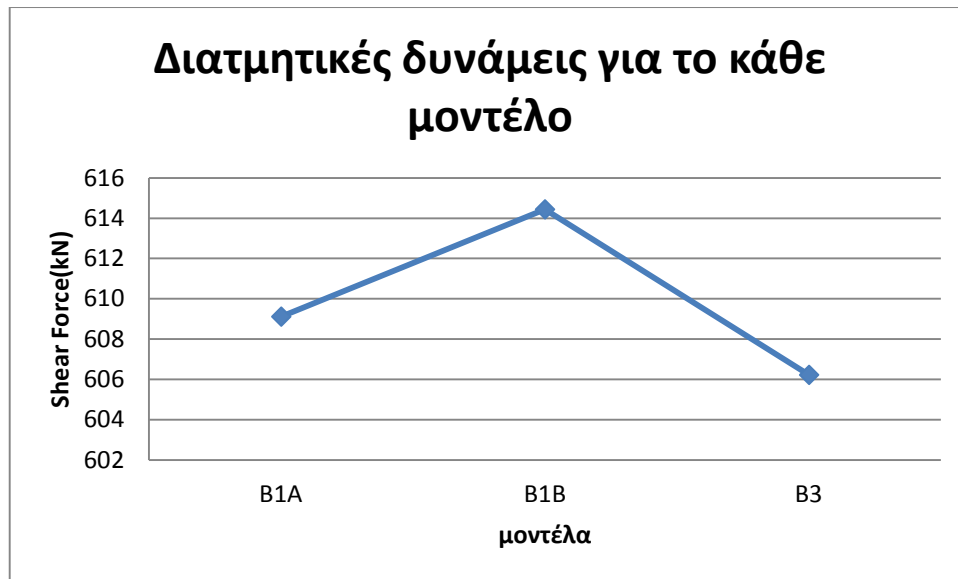
Διάγραμμα 6.15: Αποτελέσματα 3^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων για το πυθμένα της εκσκαφής επί του διαφραγματικού τοίχου (σημείο A).

Οι απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών παρουσιάζουν απότομη αύξηση με την μείωση του πλάτους εκσκαφής. Σε επόμενο στάδιο όμως η αύξηση αυτή είναι πιο περιορισμένη με την περαιτέρω μείωση το βάθους εκσκαφής. Σε σχέση με το αρχικό μοντέλο η απότομη αύξηση είναι 26% και η περιορισμένη 9.3%.

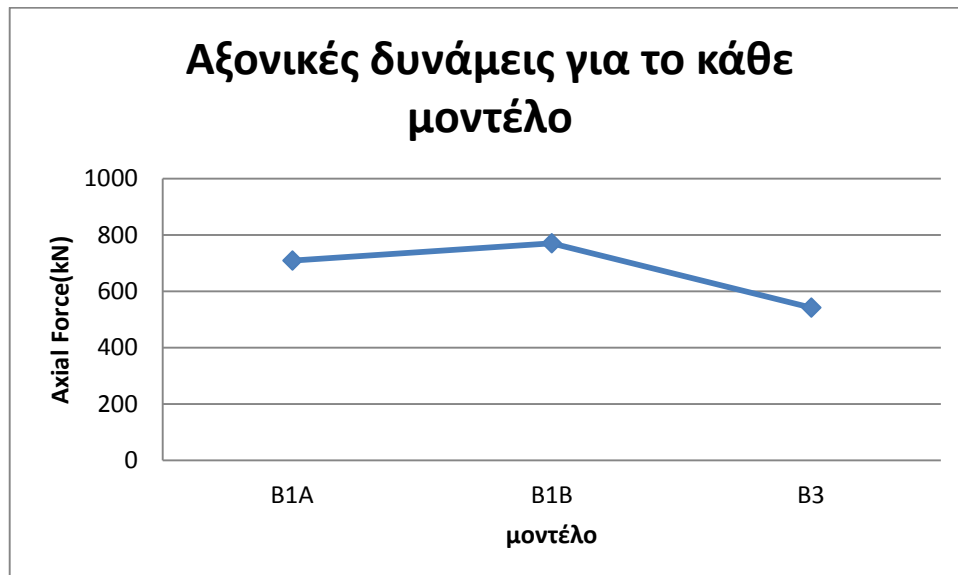


Διάγραμμα 6.16 : Αποτελέσματα 3^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Με τον ίδιο τρόπο οι αξονικές και οι διατμητικές δυνάμεις παρουσιάζουν μια αρχική αύξηση και ύστερα μια απότομη μείωση μεταβαίνοντας από το προσομοίωμα B1A στο B1B και στο B3. Τονίζεται ότι η μείωση των καμπτικών ροπών, των διατμητικών και αξονικών δυνάμεων στο τελευταίο προσομοίωμα είναι αναμενόμενες καθώς η εκσκαφή πραγματοποιείται για το ελάχιστο βάθος εκσκαφής.



Διάγραμμα 6.17: Αποτελέσματα 3^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.



Διάγραμμα 6.18: Αποτελέσματα 3^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Όπως ήταν αναμενόμενο βάση και των μετακινήσεων στα επιλεγμένα σημεία, το προσομοίωμα που παρουσιάζει το μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας είναι το B3 με τιμή $FS=2.2$. Ωστόσο και τα άλλα δυο προσομοιώματα δεν παρουσιάζουν κίνδυνο κατάπτωσης ή εμφάνισης αστοχίας καθώς ξεπερνούν την τιμή του ελάχιστους συντελεστή ασφαλείας που είχε τεθεί $FS=1.5$. Ακόμη, βάση αποτελεσμάτων στα επιλεγμένα σημεία ενδιαφέροντος προκύπτει ότι οι μετακινήσεις είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων (25mm για κτήρια) και μάλιστα αρκετά χαμηλές.

6.5. 4^η Παραμετρική ανάλυση

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες ίσως παραμετρικές αναλύσεις που μελετήθηκε είναι η τέταρτη παραμετρική ανάλυση, η οποία αποτελεί ένα συνδυασμό του μοντέλου της κύριας εκσκαφής που μελετήθηκε αρχικά και της τρίτης παραμετρικής ανάλυσης. Με αποτέλεσμα να προκύπτει ένας συνδυασμός του κεντρικού κουτιού με το αντίστοιχα κάθε φορά τμήμα της Βόρεια παράπλευρης εκσκαφής. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις, στις οποίες η κύρια εκσκαφή διατήρησε τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του κύριου μοντέλου της εκσκαφής ενώ στις πλευρικές διευρύνσεις συνδυάστηκαν τα σχεδιάστηκα και υπολογιστικά χαρακτηριστικά της τρίτης παραμετρικής ανάλυσης.

Επισημαίνεται ότι η διάταξη των πασσάλων είχε σχεδιασθεί με τέτοιο τρόπο που να μην ταυτιζόντουσαν οι προβολές των κέντρων τους με αυτά των αντίστοιχων πασσάλων της Α Φάσης.

Ωστόσο, η λύση αντιμετώπισης οποιασδήποτε εμπλοκής αγκυρώσεων Α φάσης με τους πασσάλους της Β φάσης, ήταν να ολοκληρωθεί κανονικά η εγκατάσταση με διάτρηση των πασσάλων. Αυτό αν συνέβαινε θα δημιουργούσε κάποια κατασκευαστική δυσκολία, αλλά δεν θα αποτελούσε πρόβλημα ούτε για το ίδιο το κατασκευασμένο αγκύριο ούτε για τον διατηρηθέντα πάσσαλο.

Όλες οι αναλύσεις αφορούν την Περιοχή 2 με χαρακτηριστικά όπως περιγράφηκαν στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Τα υπολογιστικά βήματα που ακολουθήθηκαν για το μοντέλο M2A-B1A είναι ένας συνδυασμός πάρα πολλών φάσεων. Όπως προαναφέρθηκε είναι μια συμπίεση του πίνακα με τα υπολογιστικά βήματα της κύριας εκσκαφής και του μοντέλου B1A (Πίνακας 6.17)

Πίνακας 6.17 : Συνοπτική παρουσίαση υπολογιστικών βημάτων προσομοιώματος M2A- B1A

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΒΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ 2 : M2A- B1A ΠΑΣΣΑΛΟΙ Φ1.0/1.5 m ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΗΜΑΤΟΣ
0.	Ενεργοποίηση πρώτου διαφραγματικού τοίχου και του φορτίου της κατασκευής
1.	Εκσκαφή 2m
2.	Εγκατάσταση Αντηρίδας Φ 914.4mm/14.3mm
3.	Εκσκαφή 2.5m
4.	Εγκατάσταση 1 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{pr}=600KN/$ πάσσαλο
5.	Εκσκαφή 3 m
6.	Εγκατάσταση 2 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{pr}=600KN/$ πάσσαλο
7.	Εκσκαφή 2.5m
8.	Εγκατάσταση 3 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{pr}=600KN/$ πάσσαλο
9.	Εκσκαφή 2.5m
10.	Εγκατάσταση 4 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων,

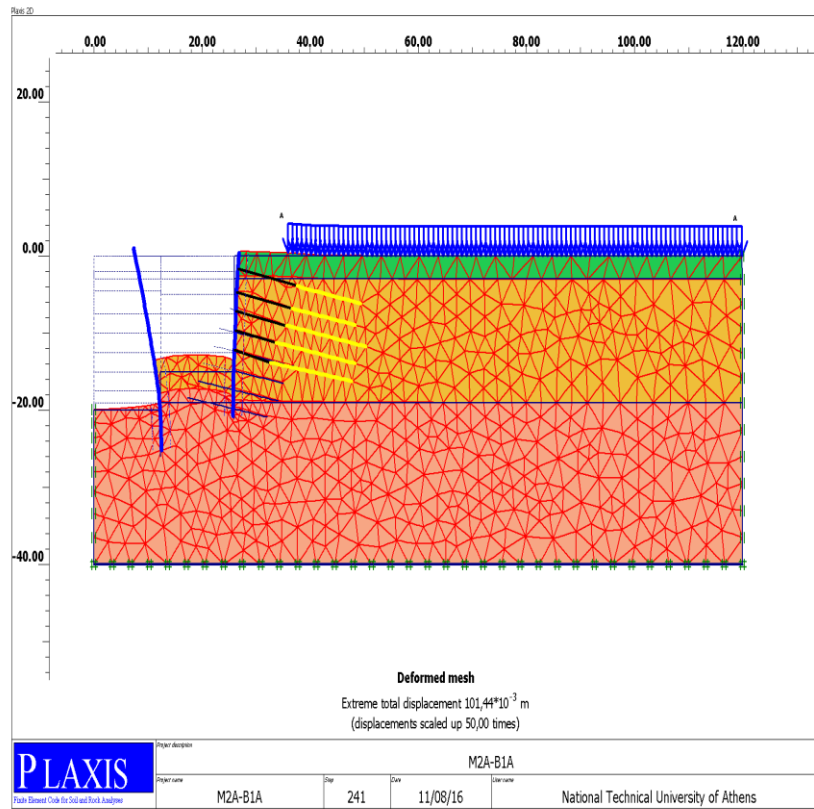
	$F_{\pi\rho}=600\text{KN/}$ πάσσαλο
11.	Εκσκαφή 2.5m
12.	Εγκατάσταση 5 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/}$ πάσσαλο
13.	Εκσκαφή 2.5m
14.	Εγκατάσταση 6 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/}$ πάσσαλο
15.	Εκσκαφή 2.5m
16.	Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας κατασκευής
17.	Ενεργοποίηση δεύτερου διαφραγματικού τοίχου
18.	Εκσκαφή 2m
19.	Εκσκαφή 2.5m
20.	Εγκατάσταση 1 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/}$ πάσσαλο
21.	Εκσκαφή 3 m
22.	Εγκατάσταση 2 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/}$ πάσσαλο
23.	Εκσκαφή 2.5m
24.	Εγκατάσταση 3 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/}$ πάσσαλο
25.	Εκσκαφή 2.5m
26.	Εγκατάσταση 4 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/}$ πάσσαλο
27.	Εκσκαφή 2.5m
28.	Εγκατάσταση 5 ^{ης} σειράς προεντεταμένων αγκυρίων, $F_{\pi\rho}=600\text{KN/}$ πάσσαλο
29.	Εκσκαφή 2.5m
30.	Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας κατασκευής

Παρόμοιοι πίνακες κατασκευάστηκαν και εφαρμόστηκαν και στις δυο επόμενες αναλύσεις M2A-B1B και M2A- B3.

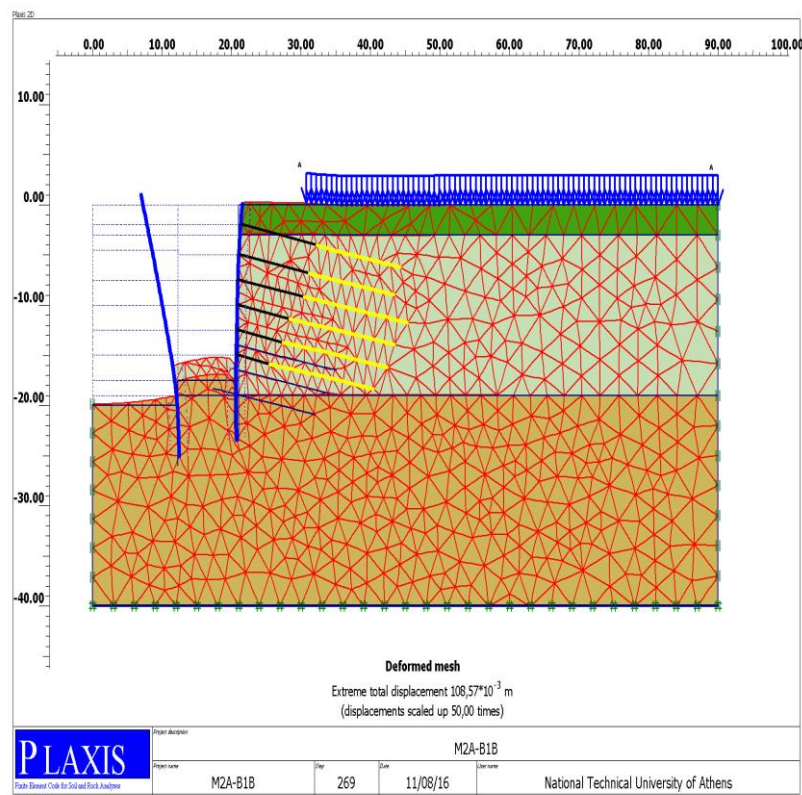
Τα βήματα υπολογισμού και στις τρεις περιπτώσεις είναι διαφορετικά ανάλογα με την απόσταση των δυο διαφραγματικών τοίχων. Στο προσομοίωμα M2A-B1A επιλύθηκαν 30 φάσεις, στο προσομοίωμα M2A-B1B 32 φάσεις ενώ στο προσομοίωμα M2A-B3 24 φάσεις. Συγκεκριμένα χρειάστηκαν 34% περισσότερα βήματα από το μοντέλο M2A-B3 στο M2A-B1B.

Τα αντίστοιχα παραμορφωμένα προσομοιώματα της τελικής φάσης εκσκαφής για την κάθε ανάλυση παρουσιάζονται παρακάτω.

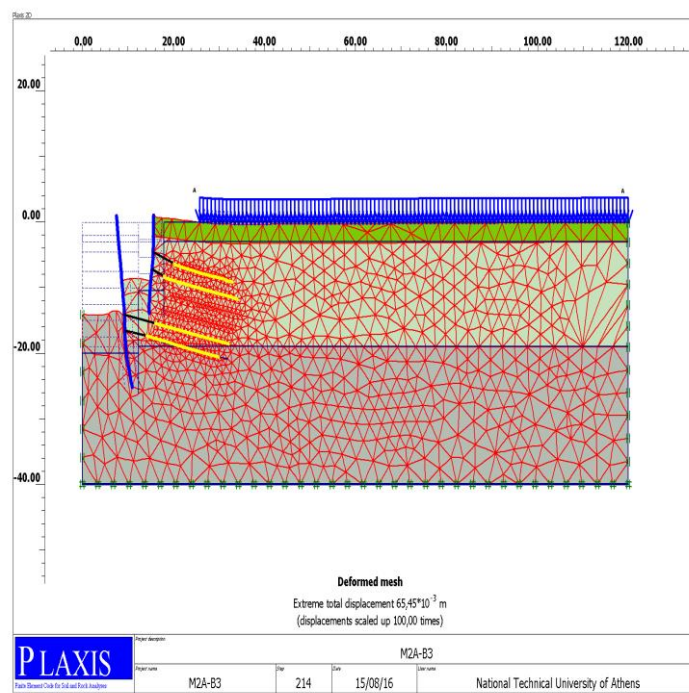
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Εικόνα 6.20: Παραμορφωμένο προσομοίωμα τελικής εκσκαφής M2A- B1A



Εικόνα 6.21: Παραμορφωμένο προσομοίωμα τελικής εκσκαφής M2A- B1B

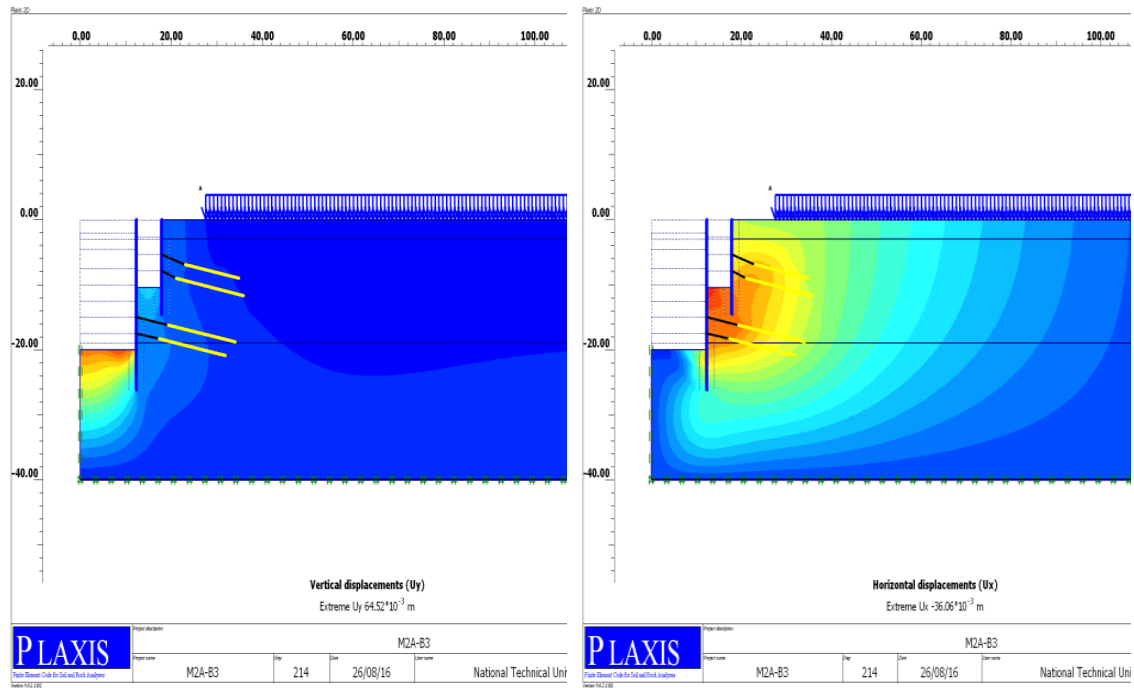


Εικόνα 6.22: Παραμορφωμένο προσομοίωμα τελικής εκσκαφής M2A- B3

Επισημαίνεται ότι τόσο τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά, οι μηχανικές ιδιότητες των αγκυριών και του διαφραγματικού τοίχου όσο και τα φορτία και δυνάμεις προέντασης των αγκυριών παραμένουν αμετάβλητα σε όλες τις αναλύσεις.

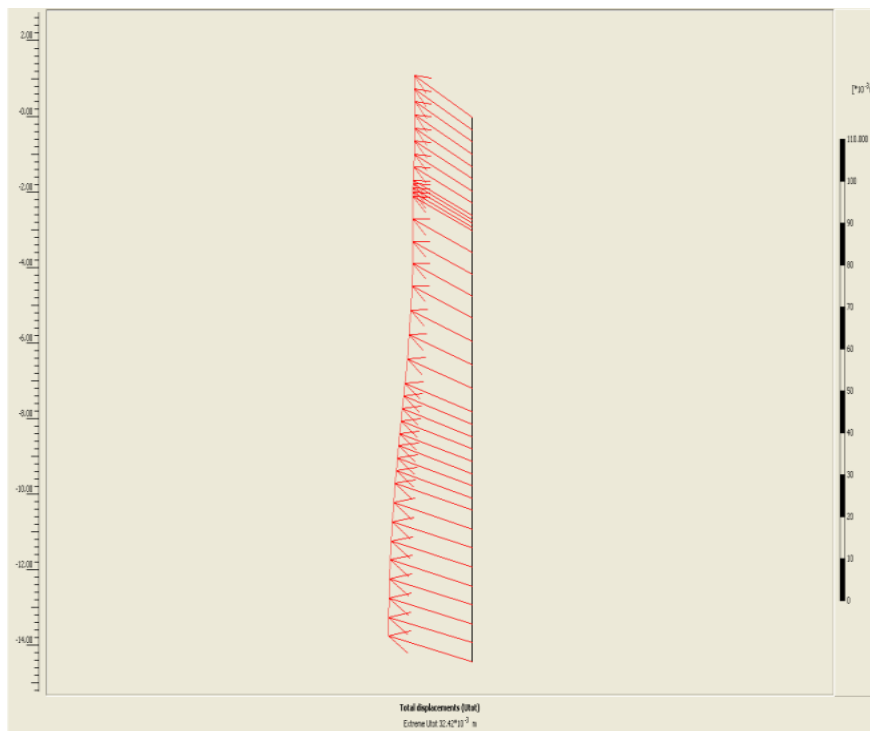
Από όλες τις αναλύσεις επιλέχθηκε να γίνει εκτενή ανάλυση των αποτελεσμάτων της 4^Γ ανάλυσης, δηλαδή για το προσομοίωμα M2A- B3, το οποίο αποτελείται από 2 διαφραγματικούς τοίχους που απέχουν μεταξύ τους 5,6m. Βάση αποτελεσμάτων είναι η χειρότερη περίπτωση. Για τις υπόλοιπες αναλύσεις τα αποτελέσματα παρατίθενται στα αντίστοιχα παραρτήματα.

Οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες μετακινήσεις της τελικής φάσης εκσκαφής για την 4^Γ ανάλυση παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.23.



Εικόνα 6.23: Συνολικές κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις της τελικής εκσκαφής για προσομοίωμα M2A-B3 με χρωματισμούς. Αποτελέσματα 4ης παραμετρικής ανάλυσης

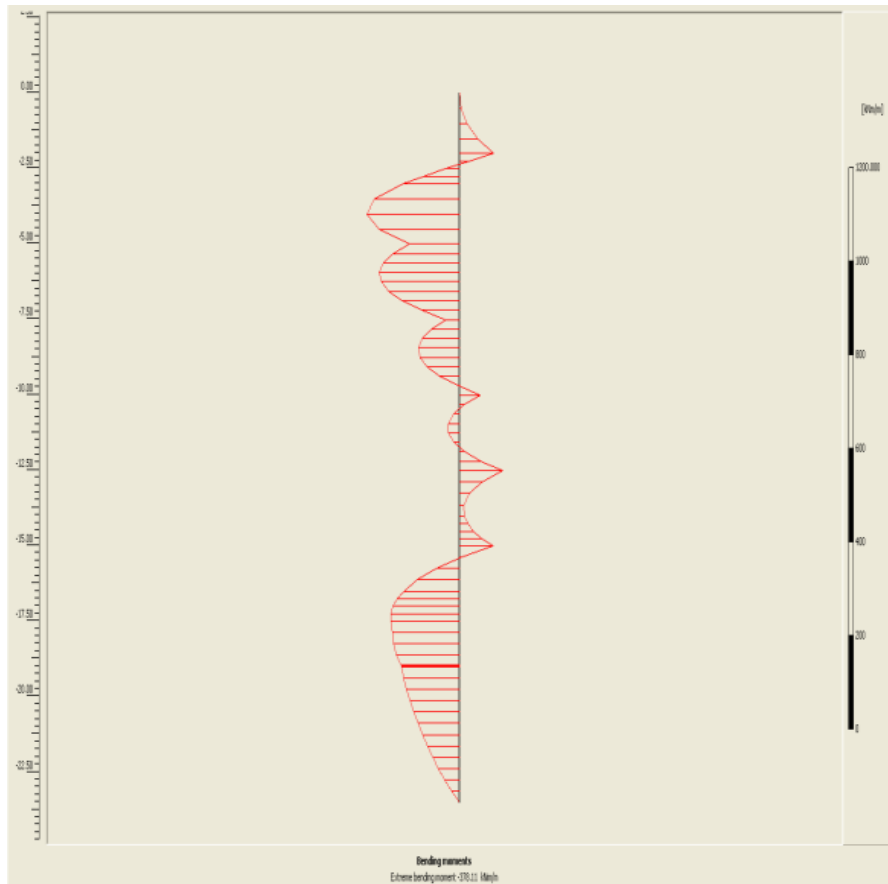
Όσο αφορά τους πασσάλους οι συνολικές μέγιστες μετακινήσεις είναι 32mm (Εικόνα 6.24).



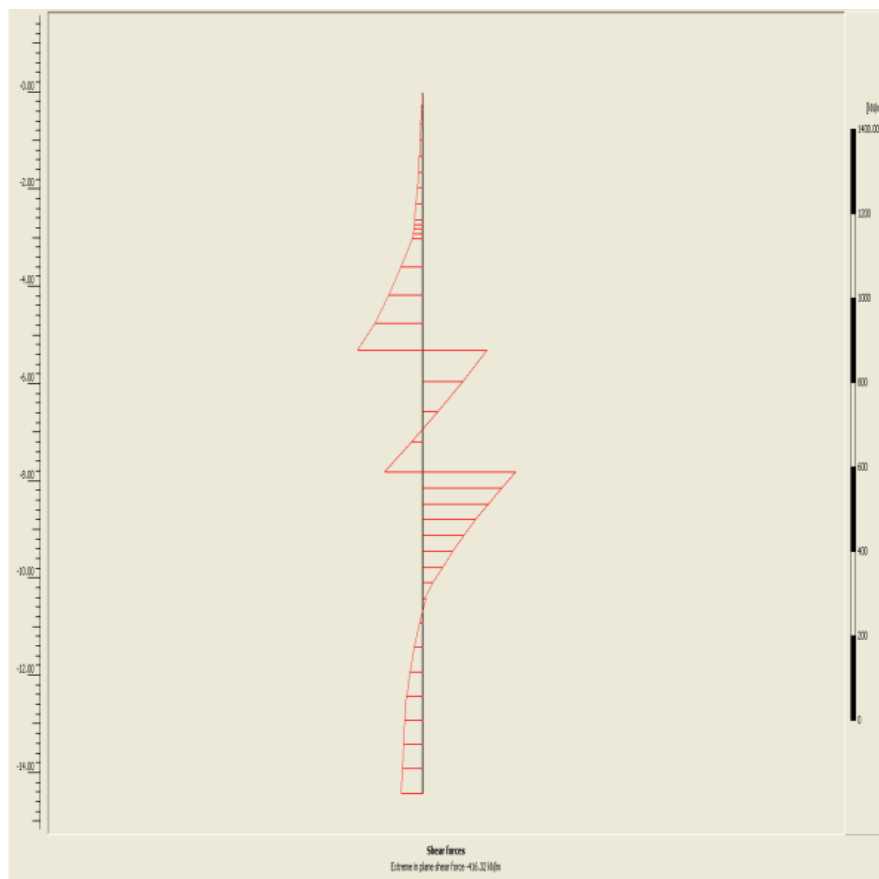
Εικόνα 6.24: Συνολικές μετακινήσεις διαφραγματικού τοίχου για το προσομοίωμα M2A-B3. Αποτελέσματα 4ης ανάλυσης.

Ακόμη, οι καμπτικές ροπές έλαβαν τιμή 423,06 kNm/m. Τονίζεται ξανά ότι η τιμή αυτή δίνεται ανά μονάδα μήκους και πολλαπλασιάζεται επί την απόσταση των πασσάλων για να προκύψει η τελική απόλυτη τιμή ίση με 634,591kN.

Οι διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στον διαφραγματικό τοίχο είναι ίσες με 416,32 kN/m (Εικόνα 6.25), με αντίθετη φορά. Με το πολλαπλασιασμό και πάλι με την απόσταση των πασσάλων, υπολογίζεται η τελική απόλυτη τιμή των διατμητικών δυνάμεων να είναι 624,48 kN.

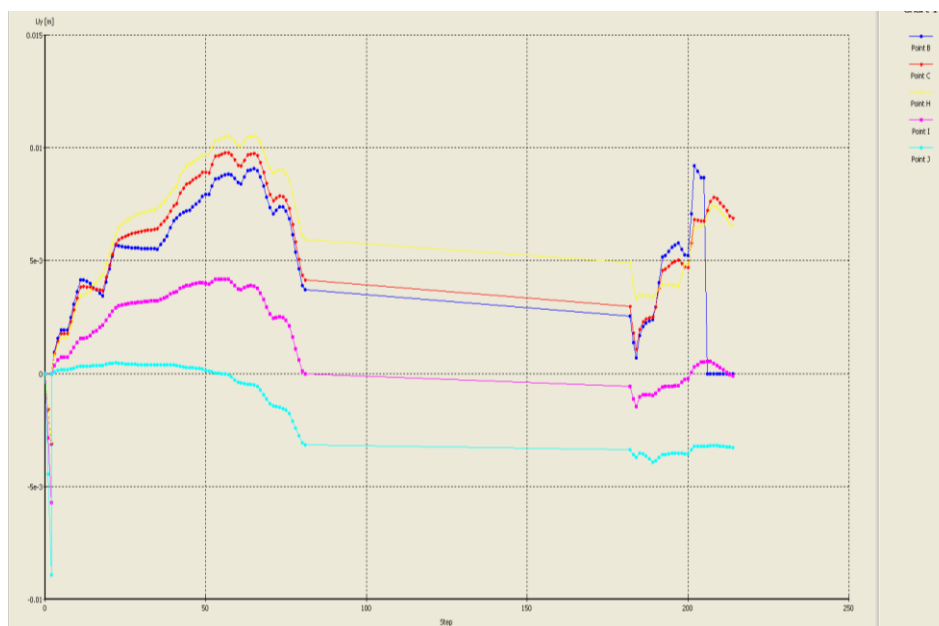


Εικόνα 6.25: Καμπτικές ροπές διαφραγματικού τοίχου για το προσομοίωμα M2A-B3. Αποτελέσματα 4^η ανάλυσης.



Εικόνα 6.26: Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις του διαφραγματικού τοίχου για το προσομοίωμα M2A-B3. Αποτελέσματα 4^η ανάλυσης.

Στα διαγράμματα των Curves για το προσομοίωμα M2A-B3 χρησιμοποιήθηκε το σημείο A που αντιστοιχεί στην τελική φάση εκσκαφής επί του δεύτερου διαφραγματικού τοίχου, το σημείο B στη μέση και το σημείο C στην κορυφή του δεύτερου διαφραγματικού τοίχου. Τονίζεται ότι τα σημεία αυτά αφορούν το δεύτερο διαφραγματικό τοίχο και χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη των οριζόντιων μετακινήσεων. Επιπλέον, επιλέγονται σημεία στην επιφάνεια της εκσκαφής και πιο μακριά της (20.6/30/40 m) για την μελέτη των κατακόρυφων μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα σημεία που επιλέχθηκαν με τις αντίστοιχες μετακινήσεις για το κάθε μοντέλο.



Διάγραμμα 6.19: Κατακόρυφες μετακινήσεις για το προσομοίωμα M2A – B3

Στο μοντέλο M2A-B3 παρατηρούνται μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις με αρνητικό πρόσημο (φορά προς την εκσκαφή) της τάξης των 24mm στην στέψη του διαφραγματικού τοίχου. Ωστόσο, οι τιμές αυτές δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα καθώς ο τοίχος αφαιρείται. Αντίθετα στη μέση και στον πυθμένα του διαφραγματικού τοίχου οι μετακινήσεις είναι μηδενικές. Όσο αφορά την επιφάνεια του εδάφους καθίζηση εμφανίζει το σημείο J με τιμή 3.2mm, το πιο απομακρυσμένο σημείο της επιφάνειας από την εκσκαφή. Αντίθετα, μέγιστη θετική μετακίνηση παρουσιάζει το σημείο H της τάξης των 6.4 mm στην περιοχή που βρίσκεται δίπλα από την κατασκευή, λόγω κάμψης του τοίχου.

Πίνακας 6.18 : Αποτελέσματα Οριζόντιων μετακινήσεων του διαφραγματικού τοίχου. 4^η παραμετρική ανάλυση

Σημεία επί του διαφραγματικού τοίχου	Ux[m] για M2A-B1A	Ux[m] για M2A-B1B	Ux[m] για M2A-B3
A (πυθμένα της εκσκαφής επί του δεύτερου διαφραγματικού τοίχου)	-0,002	-0,007	0
B (μέσο δεύτερου διαφραγματικού τοίχου)	0,006	-0,0027	0
C(κορυφή δεύτερου διαφραγματικού τοίχου)	0,017	0,011	-0,024

- a) Ο δεύτερος τοίχος φάνηκε να κινείται περισσότερο στην κορυφή του διαφραγματικού τοίχου (σημείο C) όταν η απόσταση ανάμεσα στους τοίχους ήταν 5,6m (M2A-B3) με τιμή 24mm προς την εκσκαφή. Αντίθετα, λιγότερο όταν η απόσταση μεταξύ τους ήταν 8,7m (M2A-B1B) με τιμή 11 mm αντίθετη αυτή της εκσκαφής. Η μείωση αυτή κατά απόλυτη τιμή είναι περίπου 54%.

- b) Το μέσο του δεύτερου διαφραγματικού τοίχου (σημείο B) και στις τρεις περιπτώσεις παρουσιάζει ελάχιστες μετακινήσεις με φορά αντίθετη της εκσκαφής (προς τα δεξιά). Μόνο το μοντέλο M2A-B1B παρουσιάζει στο μέσο του μετακίνηση προς την εκσκαφή, εξαιτίας των πολλών σειρών αγκυρίων που εδράζονται και στους δύο διαφραγματικούς τοίχους.
- c) Ο τοίχος στον πυθμένα της εκσκαφής (σημείο A) μέγιστη μετακίνηση παρουσιάζει για απόσταση διαφραγματικών τοίχων 8,7m ίση με 7mm ενώ για απόστασης 13,7m παρουσιάζει ελάχιστη μετακίνηση 2mm. Το ποσοστό μείωσης είναι 71%.

Πίνακας 6.19 : Αποτελέσματα Κατακόρυφων μετακινήσεων για την επιφάνεια του εδάφους. 4^η παραμετρική ανάλυση.

Σημεία	Uy[m] για M2A-B1A	Uy[m] για M2A-B1B	Uy[m] για M2A-B3
G(8cm από την επιφάνεια της εκσκαφής)	0,011	0,0055	0,0064
H (10m από την επιφάνεια της εκσκαφής)	0,008	0,0032	0
I(20m απόσταση από την επιφάνεια εκσκαφής)	0,001	-0,0016	-0,0032

- a) Στην επιφάνεια του εδάφους στα σημεία κοντά στον δεύτερο διαφραγματικό τοίχο και στην περιοχή που μόλις ξεκινάνε τα φορτία (H), λόγω κάμψης του τοίχου παρατηρείται ανύψωση του εδάφους. Οι τιμές όμως αυτές είναι διαφορετικές για τις τρεις περιπτώσεις. Κάθε φορά ανάλογες με την απόσταση των δύο διαφραγματικών τοίχων και κατά συνέπεια του μήκους του διαφραγματικού τοίχου και των αριθμό των αγκυρίων που εφαρμόζονται σε αυτόν. Συγκεκριμένα για τη μικρότερη απόσταση ανάμεσα στους διαφραγματικούς τοίχους 5,6m (προσομοίωμα M2A-B3) παρουσιάζονται οι ανυψώσεις 6,4 και 3,6mm (σημεία G και H). Για τη μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στους διαφραγματικούς τοίχους οι ανυψώσεις στα αντίστοιχα σημεία είναι 11 και 8mm. Η αύξηση αυτή για τα αντίστοιχα σημεία G και H είναι 71% και 122%.
- b) Στο πιο απομακρυσμένο σημείο από την επιφάνεια της εκσκαφής παρουσιάζεται μεγαλύτερη καθίζηση με τιμή 3,2mm στην περίπτωση που η απόσταση των διαφραγματικών τοίχων είναι 5,6m και έχουν εφαρμοστεί στο δεύτερο διαφραγματικό τοίχο δυο σειρές αγκυρίων με δύναμη προέντασης 600KN. Αυτό οφείλεται πιθανόν στο γεγονός ότι λόγω του μεγάλου μήκους του πρώτου διαφραγματικού τοίχου έναντι του μικρού μήκους του δεύτερου έχουν αυξηθεί οι μετακινήσεις που δέχεται ο δεύτερος διαφραγματικός τοίχος και κατά συνέπεια η επιφάνεια σε μεγάλη απόσταση από τον σταθμό.

Πίνακας 6.20: Αποτελέσματα ασκούμενων δυνάμεων. 4^η σειρά παραμετρικών αναλύσεων

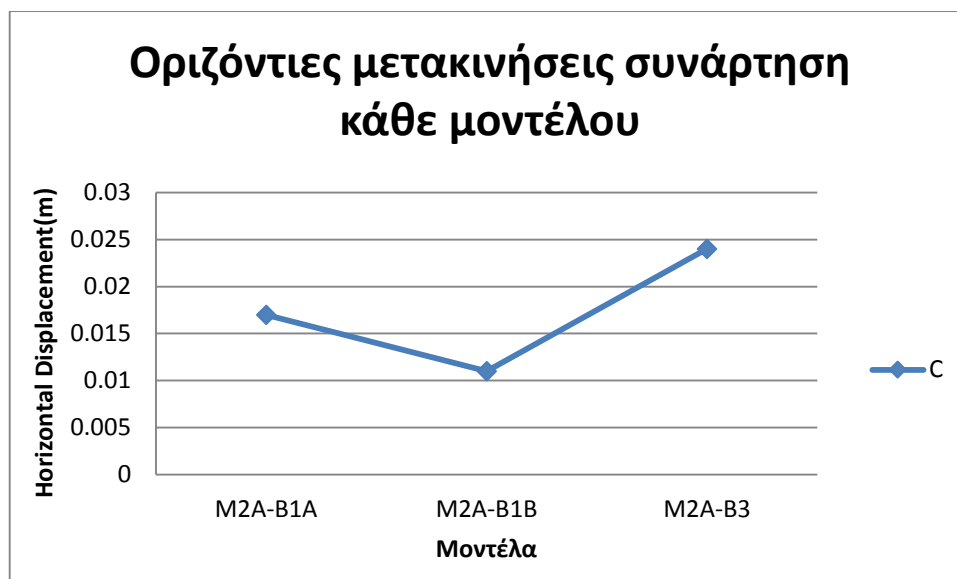
Ανάλυση	M2A-B1A	M2A-B1B	M2A-B3
Bending moments (kNm)	498,825	567,165	634,591
Shear force (kN)	584,085	622,815	624,48
Axial force (kN)	557,16	667,245	682,965
SF (Συντελεστής Ασφαλείας)	1,63	1,53	1,52

Διαγράμματα Curves πραγματοποιήθηκαν για όλες τις αναλύσεις που αφορούν την 4^η παραμετρική ανάλυση. Αυτά παρουσιάζονται σχολαστικά στο αντίστοιχο παράρτημα της παρούσας εργασίας, με σκοπό να γίνει κατανοητό πως η αλλαγή την γεωμετρίας της εκσκαφής και των αριθμών των αγκυρίων επηρεάζει την ευστάθεια των παρακείμενων κατασκευών.



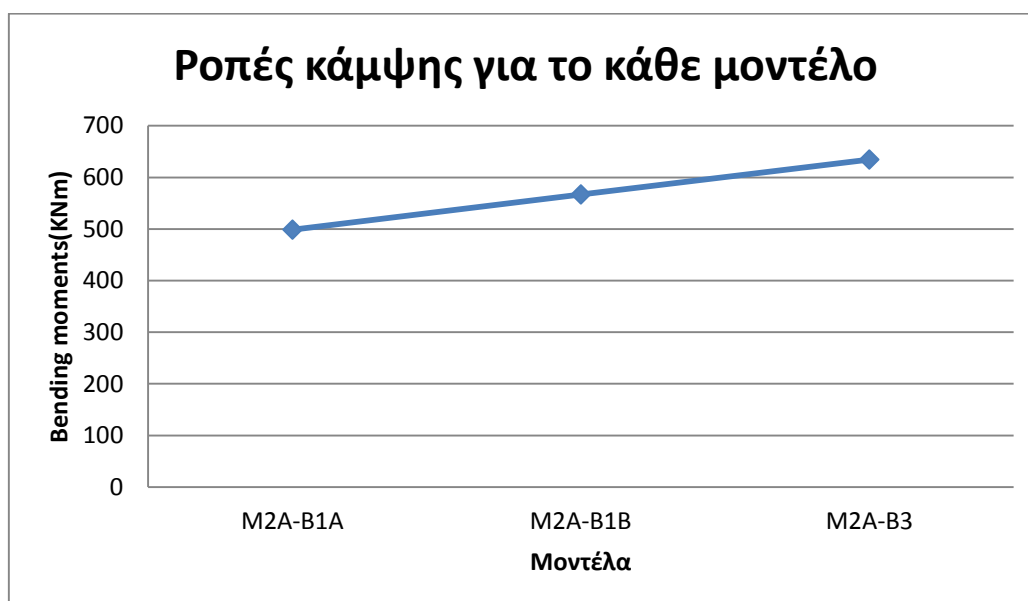
Διάγραμμα 6.20 : Αποτελέσματα 4^{ης} παραμετρικής ανάλυσης για το σημείο που μόλις ξεκινάει τα φορτία (I) του κάθε μοντέλου.

Ωστόσο, με βάση τα αποτελέσματα των οριζόντιων μετακινήσεων όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο διαφραγματικός στην στέψη του παρουσιάζει μια σταδιακή μετακίνηση προς (τα αριστερά) την πλευρά της εκσκαφής με μέγιστη τιμή 24mm στο μοντέλο M2A-B3. Μειωμένες στη τιμή των 17mm στο μοντέλο M2A-B1A και 11mm στο μοντέλο M2A-B1B και φορά αντίθετη της εκσκαφής. Ενώ στη μέση του διαφραγματικού τοίχου και για τα τρία προσομοιώματα παρατηρείται σταδιακή μετακίνηση (προς τα δεξιά) αντίθετη από την πλευρά της εκσκαφής της τάξης των 6mm και 0mm για τα μοντέλα M2A-B1A και M2A-B3 αντίστοιχα.



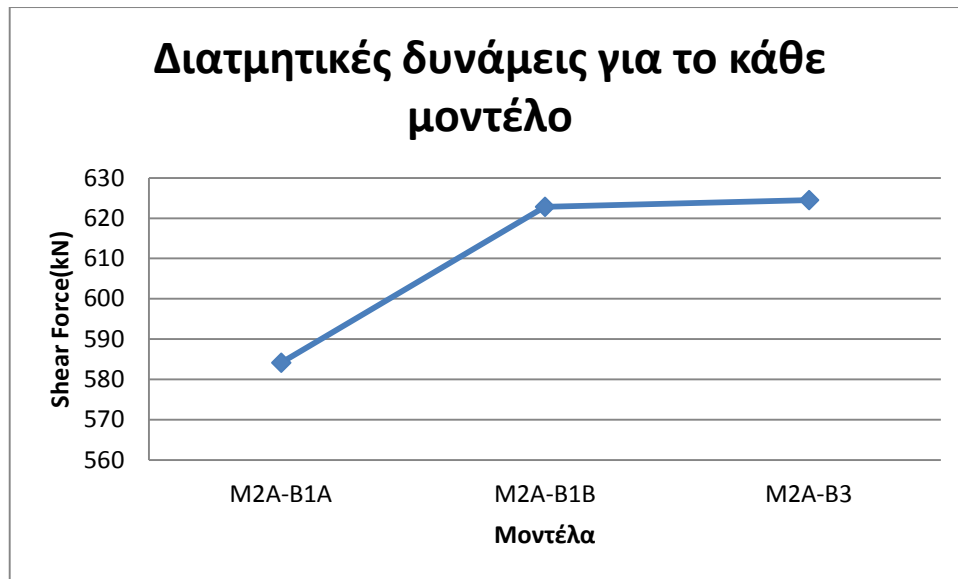
Διάγραμμα 6.21 : Αποτελέσματα 4^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων για την στέψη του δεύτερου διαφραγματικού τοίχου (σημείο C)

Οι απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών παρουσιάζουν σταδιακή αύξηση, δηλαδή σε σχέση με το αρχικό μοντέλο η αύξηση αυτή είναι 27%.

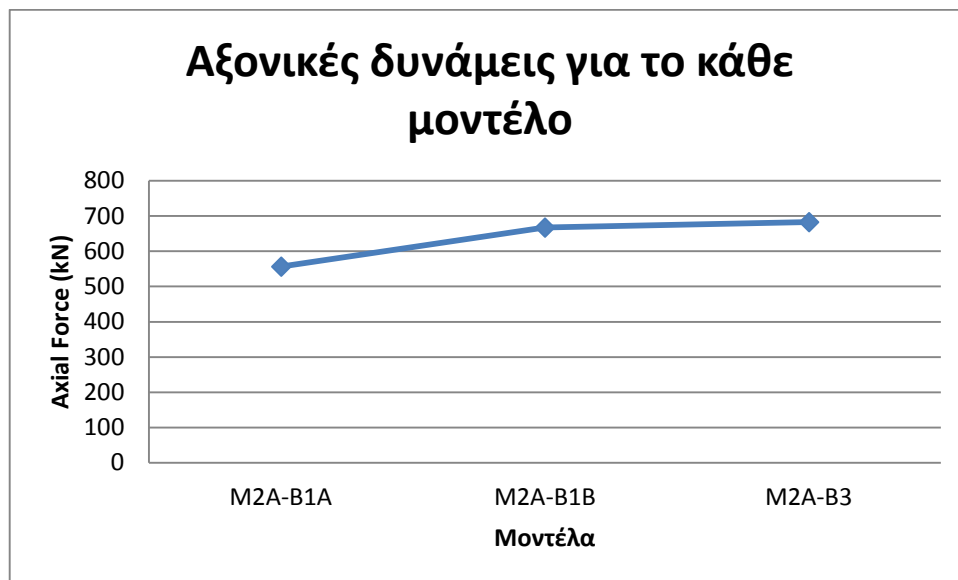


Διάγραμμα 6.22 : Αποτελέσματα 4^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Με τον ίδιο τρόπο οι αξονικές και οι διατμητικές δυνάμεις παρουσιάζουν μια σταδιακή αύξηση μεταβαίνοντας από το προσομοίωμα M2A-B1A στο M2A-B1B και στο M2A-B3.



Διάγραμμα 6.23: Αποτελέσματα 4^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.



Διάγραμμα 6.24: Αποτελέσματα 4^{ης} σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Το προσομοίωμα που παρουσιάζει το μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας είναι το M2A-B1A με τιμή FS=1.63 και μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία είτε του δεύτερου διαφραγματικού τοίχου είτε της επιφάνεια εντός των επιτρεπόμενων ορίων 25mm που έχουν τεθεί. Ωστόσο και τα άλλα δυο προσομοιώματα δεν παρουσιάζουν κίνδυνο κατάπτωσης ή εμφάνισης αστοχίας καθώς ξεπερνούν την τιμή του ελάχιστους συντελεστή ασφαλείας που είχε τεθεί FS=1.5. Ακόμη, οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία προκύπτει ότι είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων (25mm για κτήρια) και μάλιστα αρκετά πιο χαμηλές και για εκείνα τα μοντέλα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Σταθμός Ανθούπολη εκτείνεται από την Χ.Θ. 2+342,89 έως την Χ.Θ. 2+490,29, με συνολικό μήκος σταθμού 147 m περίπου αυξημένο κατά 37 m, έναντι του τυπικού μήκους 110m, δεδομένου ότι εντός αυτού ενσωματώθηκαν και τα δυο Φρέατα Αερισμού του.

Η περιοχή του έργου βρίσκεται εντός της λεκάνης του Περιστερίου της οποίας το γεωλογικό υπόβαθρο συνιστάται από τους Αθηναϊκούς Σχιστόλιθους. Ειδικότερα η στενή περιοχή μελέτης συνάντησε οριζόντιες και παράλληλες μεταξύ τους στρώσεις από πάνω προς τα κάτω επιφανειακών αποθέσεων, ισχυρού μεταψαμίτη και αργιλικού σχιστόλιθου.

Το βάθος εκσκαφής που απαιτήθηκε για την κατασκευή ήταν περίπου 20m για το κεντρικό τμήμα του σταθμού και 17m για την περιοχή διεύρυνσης στην βόρεια πλευρά.

Η κατασκευή του Σταθμού έγινε με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut&Cover) εντός αντιστηριζόμενου ορύγματος βάθους 20m περίπου. Οι δύο είσοδοί του κατασκευάστηκαν με την ίδια μέθοδο ενώ εξαίρεση αποτέλεσε η σήραγγα πρόσβασης στο Σταθμό από την είσοδο Λεωφόρου Θηβών που κατασκευάστηκε με υπόγεια διάνοιξη.

Η κατασκευή του Σταθμού έγινε σε τρεις βασικές φάσεις. Η Α φάση που αποτέλεσε και την κυριότερη φάση λόγω μεγέθους και δυσκολιών κατασκευής, περιλάμβανε την κατασκευή του κεντρικού «κουτιού» του Σταθμού. Κατά την Β φάση προβλέφθηκε η κατασκευή του τμήματός του που κατέλαβε την πλευρική διεύρυνση στην Βόρεια πλευρά του (Κύρια Είσοδος) και έγινε σε δύο υποφάσεις, ενώ η Γ φάση αφορούσε την κατασκευή της Εισόδου από την Λεωφ. Θηβών.

Το σύστημα αντιστήριξης του Σταθμού που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε πασσάλους από οπλισμένο σκυροδέματος που κατασκευάστηκαν στο περίγραμμα του ορύγματος. Στο ανώτερο τμήμα των πασσάλων κατασκευάστηκε άκαμπτος κεφαλόδεσμος διαστάσεων 1.50X1.50m, επί του οποίου τοποθετήθηκαν οι αντηρίδες.

Οι πασσαλοστοιχίες υποστηρίχθηκαν με τη χρήση μιας σειράς αντηρίδων Φ914 που τοποθετήθηκαν πλησίον της επιφάνειας του εδάφους σε πυκνή διάταξη (σε αποστάσεις 4m μεταξύ τους). Στο υπόλοιπο ύψος της εκσκαφής οι πάσσαλοι αντιστηρίχθηκαν με 6 σειρές προεντεταμένων αγκυρώσεων, η φέρουσα ικανότητα και το μήκος των οποίων διαφοροποιήθηκε αναλόγως της περιοχής εφαρμογής τους. Μεταξύ των πασσάλων εφαρμόστηκε πέτασμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 –15εκ., για την εξασφάλιση από καταπτώσεις.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σειρές παραμετρικών αναλύσεων. Στην 1^η παραμετρική ανάλυση έγινε αντικατάσταση της αντηρίδας από αγκύριο. Στην 2^η παραμετρική ανάλυση άλλαξαν τα χαρακτηριστικά του διαφραγματικού τοίχου, δηλαδή, η διάμετρος και η απόσταση των πασσάλων. Στην 3^η παραμετρική ανάλυσης άλλαξε η απόσταση του διαφραγματικού τοίχου από την εκσκαφή καθώς και το μήκος του διαφραγματικού τοίχου και ο αριθμός των αγκυρίων. Τέλος, στην 4^η παραμετρική ανάλυση έγινε ταυτόχρονη εκσκαφή της κύριας εκσκαφής και του Βορειοδυτικού τμήματος. Όλες οι παραμετρικές αναλύσεις εξέτασαν την επιρροή αυτών των μεταβολών στις συνολικές, κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις, τις

μετακινήσεις των πασσάλων ιδιαίτερα στα επιλεγμένα σημεία και τις καμπτικές, αξονικές και διατμηματικές δυνάμεις.

Τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν από όλες τις παραμετρικές αναλύσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

- ✓ Για την 1^η παραμετρική ανάλυση εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

Η σημαντική αύξηση των οριζόντιων μετατοπίσεων με την αφαίρεση της αντηρίδας και την αντικατάστασή της με αγκύριο ήταν αναμενόμενη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο χαρακτηριστικό που έχει η αντηρίδα, η οποία με το που εγκαθίσταται στον διαφραγματικό τοίχο ασκεί πίεση στην εκσκαφή εμποδίζοντας έτσι τις οριζόντιες μετατοπίσεις, ιδιότητα που δεν έχουν τα αγκύρια. Στην περίπτωση αυτή που στην περιοχή υπάρχουν μόνο αγκύρια είναι λογικό να αυξάνονται σημαντικά οι οριζόντιες μετακινήσεις, επηρεάζοντας την επιφάνεια του εδάφους και τις δυνάμεις που δέχεται ο διαφραγματικός τοίχος.

Ουσιαστικά στην περιοχή εφαρμογή της η αντηρίδα υπερνικώντας τις ωθήσεις των γαιών δεν επιτρέπει στον τοίχο να μετακινηθεί, με την ασκούμενη δύναμη να τείνει να τον μετατοπίσει προς τη μεριά αντίθετα με την εκσκαφή (δεξιά). Ωστόσο, η κατάσταση αυτή σε όλες τις αναλύσεις ανατρέπεται με την προχώρηση σε μεγαλύτερα βάθη εκσκαφής. Εκεί η τελική μετακίνηση του τοίχου παίρνει την μορφή καθίζησης.

Τέλος, στην δεύτερη ανάλυση ο διαφραγματικός τοίχος δέχτηκε ελάχιστα μεγαλύτερη διατμητική τάση, γεγονός που οφείλεται πιθανά στο μεγάλο αριθμό αγκυρίων.

- ✓ Για την 2^η παραμετρική ανάλυση εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

Αρχικά, στα μικρά βάθη σε όλες τις αναλύσεις, λόγω και της παρουσίας αντηρίδας και προεντεταμένων αγκυρίων, ο τοίχος κινείται ελάχιστα. Με την προχώρηση όμως των εκσκαφών και λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά χαρακτηριστικά πασσαλοτοίχου, τα αγκύρια αρχίζουν να παραμορφώνονται και το σύστημα υποστήριξης, μη έχοντας την αντίστοιχη δυσκαμψία με εκείνο που περιλαμβάνει αντηρίδες, αρχίζει και υποχωρεί.

Ο τοίχος στο μέσο των αγκυρώσεων (σημείο Β), ανεξαρτήτως διαμέτρου πασσάλων παρουσιάζει τις ίδιες οριζόντιες θετικές μετακινήσεις, αυτό συμβαίνει εξαιτίας της ασκούμενης δύναμης που δέχεται ο διαφραγματικός τοίχος από την τάνυση των αγκυρίων. Ωστόσο, σε σημείο που αντιστοιχεί στην κορυφή του πασσάλου (σημείο C) ο τοίχος φάνηκε να αυξάνει σημαντικά τις μετακινήσεις του με την εφαρμογή πασσάλων με μεγαλύτερη διάμετρο. Παρόλα αυτά όμως οι μετακινήσεις στην στέψη των πασσάλων δεν είναι πραγματικές καθώς οι πάσσαλοι αφαιρούνται.

Όσο αφορά τις κατακόρυφες μετακινήσεις και στις τρεις αναλύσεις παρατηρήθηκαν, λόγω κάμψης του τοίχου στα σημεία δίπλα από την εκσκαφή ανύψωση. Μάλιστα με τις τιμές αυτών των ανυψώσεων και στις τρεις περιπτώσεις ανεξάρτητα των διαστάσεων των πασσάλων υποστήριξης που εφαρμόστηκαν να είναι παρόμοιες. Στο

πιο απομακρυσμένο σημείο (F) από την επιφάνεια της εκσκαφής παρουσιάζεται πολύ μεγαλύτερη καθίζηση στην περίπτωση εφαρμογής πασσάλων με μικρή διάμετρο. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός η διάμετρος 0.60m είναι ένα ασθενές μέτρο υποστήριξης. Οπότε λαμβάνοντας για όλα τα μοντέλα τον ίδιο αριθμό αγκυρίων είναι αναμενόμενο να προκαλούνται μεγάλες καθιζήσεις στην περιοχή εφαρμογής πασσάλων Φ0.6/1.5 σε σχέση με μεγαλύτερες διαμέτρους.

- Σχετικά με τις ασκούμενες δυνάμεις στον διαφραγματικό τοίχο παρατηρείται:

Όσο αυξάνεται η διάμετρος των πασσάλων τόσο αυξάνονται οι απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών, μέγιστων αξονικών και διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους.

- ✓ Για την 3^η παραμετρική ανάλυση εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

Συμπεραίνεται ότι οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες μετακινήσεις, όπως και σε όλες τις αναλύσεις είναι συνάρτηση του βάθους εκσκαφής και των αριθμών των αγκυρίων. Παρατηρείται ότι με την μείωση του βάθους και του πλάτους εκσκαφής και παρόλη την μείωση των αριθμών των αγκυρίων, υπάρχει μια σημαντική μείωση στις οριζόντιες μετακινήσεις του διαφραγματικού τοίχου και στις κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στην Τρίτη ανάλυση που αντιστοιχεί στο μικρότερο βάθος εκσκαφής 10,2m , άνοιγμα εκσκαφής 15 m και αριθμό αγκυρίων δύο. Αντίθετα, η αύξηση του πλάτους εκσκαφής συνεπάγεται αύξηση των οριζοντίων μετακινήσεων.

Σε αυτήν την παραμετρική ανάλυση και στις τρεις αναλύσεις δεν εφαρμόστηκε ως μέτρο αντιστήριξης η αντηρίδα, γεγονός που συντέλεσε στην αύξηση των ωθήσεων των γαιών προς τον τοίχο τείνοντας να τον μετατοπίσει προς τα δεξιά.

Όσο αφορά τις κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια της εκσκαφής και στις τρεις αναλύσεις παρατηρήθηκαν έντονες. Τα ανωτέρω επιβεβαιώνονται λόγω του αυξημένου αριθμού αγκυρίων που δημιουργούν μια πλαστική ζώνη επηρεάζοντας την επιφάνεια της εκσκαφής. Συνεπώς, όσο πιο έντονες είναι οι προεντεταμένες αγκυρώσεις στη μάζα του εδάφους, τόσο πιο έντονες καθιζήσεις παρατηρούνται στην περιοχή δίπλα από την εκσκαφή.

- Σχετικά με τις ασκούμενες δυνάμεις στον διαφραγματικό τοίχο παρατηρείται:

Στην δεύτερη ανάλυση (B1B) ο διαφραγματικός τοίχος δέχτηκε τις μεγαλύτερες τιμές διατμητική και αξονικής δύναμης και καμπτικής ροπής, γεγονός που οφείλεται πιθανά στο μεγάλο αριθμό αγκυρίων.

- ✓ Για την 4^η παραμετρική ανάλυση εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

Επισημαίνεται ότι όλα τα συμπεράσματα αφορούν τον δεύτερο διαφραγματικό τοίχο, καθώς ο πρώτος διαφραγματικός τοίχος έχει ουσιαστικά αφαιρεθεί και έχει κατασκευαστεί ο σταθμός. Παρόλο που η παραδοχή αυτή δεν γίνεται να καταχωρηθεί

στο πρόγραμμα, οι προκύπτουσες μετακινήσεις είναι εντός των περιορισμένων ορίων που έχουν τεθεί και δεν δημιουργούν κάποια ανησυχία.

Συμπεραίνεται ότι οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες μετακινήσεις, όπως και σε όλες τις αναλύσεις είναι συνάρτηση του βάθους εκσκαφής και των αριθμό των αγκυρίων. Σε αυτήν την περίπτωση όμως με την μείωση του βάθους εκσκαφής και την μείωση των αριθμό των αγκυρίων, υπάρχει μια αύξηση στις οριζόντιες μετακινήσεις του δεύτερου διαφραγματικού τοίχου και στις κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτή η σημαντική αύξηση στις οριζόντιες μετακινήσεις γίνεται αισθητή στην Τρίτη ανάλυση που αντιστοιχεί στο μικρότερο βάθος εκσκαφής 10.2m, μικρότερη απόσταση ανάμεσα στους διαφραγματικούς τοίχους 5.1m και αριθμό αγκυρίων δύο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ο πρώτος διαφραγματικός τοίχος που έχει μεγάλο μήκος και περισσότερα αγκύρια ασκεί πίεση στον δεύτερο που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από αυτόν. Επιδρώντας με αυτό τον τρόπο αθροιστικά στις οριζόντιες μετακινήσεις του δεύτερου διαφραγματικού τοίχου.

Το ίδιο ισχύει και για τις κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια της εκσκαφής. Αναφορικά με τις κατακόρυφες μετακινήσεις παρατηρήθηκαν έντονες σε όλες τις αναλύσεις. Αυτό συνέβη εξαιτίας του αυξημένου αριθμού των αγκυρίων που δημιούργησαν μια πλαστική ζώνη επηρεάζοντας την επιφάνεια της εκσκαφής κοντά στον δεύτερο διαφραγματικό τοίχο.

Σχετικά με τις ασκούμενες δυνάμεις στον διαφραγματικό τοίχο παρατηρείται:

Στην τρίτη ανάλυση (M2A-B3) ο διαφραγματικός τοίχος δέχτηκε τις μεγαλύτερες τιμές διατμητική και αξονικής δύναμης και καμπτικής ροπής, η αύξηση αυτή στην περίπτωση των καμπτικών ροπών είναι 27%, των διατμητικών δυνάμεων 7% και των αξονικών δυνάμεων 23%.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

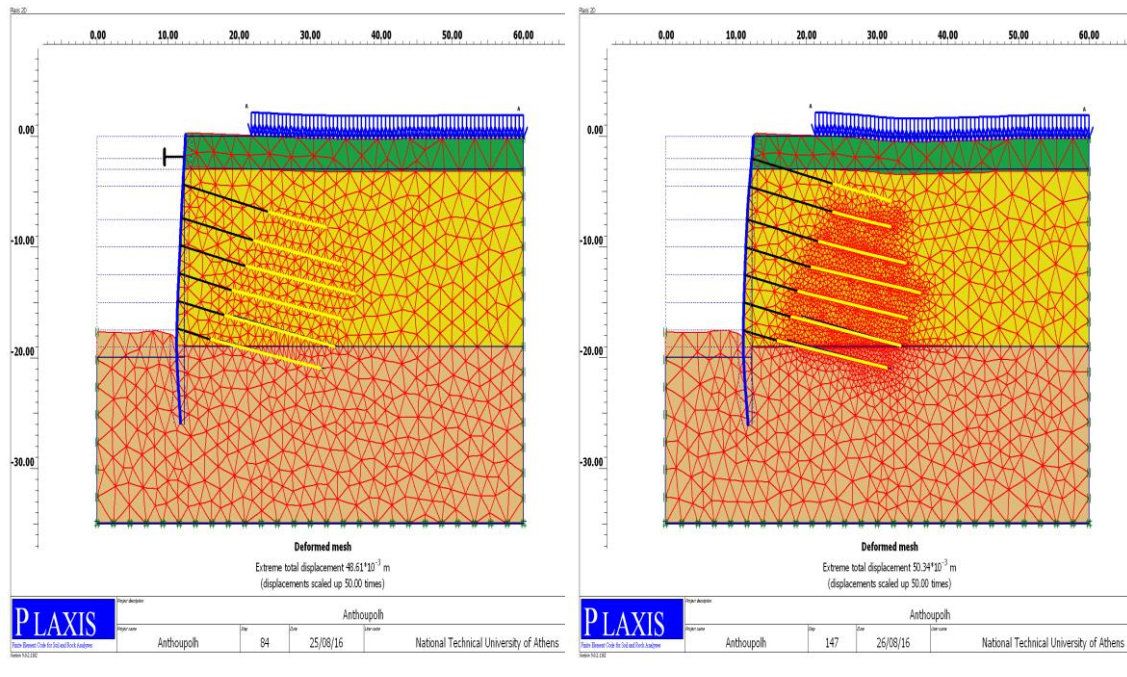
- ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ Α.Τ.Ε, 2007: «Επέκταση της Γραμμής 2 “Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη”, “Σταθμός Ανθούπολη” – Προσωρινή Αντιστήριξη Β&Γ Φάση Εργασιών – Υπολογισμοί » Α δημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα
- ΟΜΙΛΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ Α.Τ.Ε, 2007: «Επέκταση της Γραμμής 2 “Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη”, “Σταθμός Ανθούπολη” – Προσωρινή Αντιστήριξη Κύριας Εκσκαφής– Υπολογισμοί» Α δημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα
- ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε, 2007: «Επέκταση της Γραμμής 2 “Άγιος Αντώνιος – Ανθούπολη”, “Σταθμός Ανθούπολη” – Τμήμα ανοιχτής εκσκαφής, Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης» Α δημοσίευτη τεχνική έκθεση, Αθήνα
- Λουπασάκης Κ., 2013: «Τεχνική Γεωλογία ΙΙ» Διαφάνειες Μαθήματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Λουπασάκης Κ., 2015: «Βελτίωση Γεωτεχνικής Συμπεριφοράς Γεωλογικών Σχηματισμών» Σημειώσεις Μαθήματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Λουπασάκης Κ., 2013: «Τεχνική Γεωλογία Ι» Διαφάνειες Μαθήματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Ρόζος Δ., 2007: «Βελτίωση Γεωτεχνικής Συμπεριφοράς Γεωλογικών Σχηματισμών» Σημειώσεις Μαθήματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Παπανικολάου Δ. Και συνεργάτες, 2004 : « Γεωλογική Δομή του Αλλόχθονου Συστήματος των Σχιστόλιθων Αθηνών» Εφαρμοσμένο Ερευνητικό πρόγραμμα, Αθήνα
- Δακανάλη Ι., 2013 : « Αριθμητική προσομοίωση συστήματος αντιστήριξης σε βαθιά εκσκαφή», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Παπαδοπούλου Κ., 2011 : «Παραμετρική ανάλυση αντιστηρίξεων με προεντεταμένες αγκυρώσεις», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Strutynska Z., 2015: «Παραμετρική ανάλυση αντιστηρίξεις βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους, προεντεταμένες αγκυρώσεις και αντηρίδες. Το παράδειγμα του σταθμού «Περιστέρι» στο Μετρό Αθήνας», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Τσαντάκης Ε., 2016: «Συγκριτικές 2D και 3D αναλύσεις τεμνόμενων διαφραγματικών τοίχων με πεπερασμένα στοιχεία. Επιλύσεις με δεδομένα από το σταθμό Περιστέρι του Μετρό Αθήνας», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

- Anastasopoulos I., Gazetas G., 2009: «Analysis of cut-and-cover tunnels against large tectonic deformation», Bull Earthquake Eng (in press), DOI 10.1007/s10518-009-9135-4
- 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
- Sabatini P.J., Pass D.G., Bachus R.C., 1999: « Ground Anchors and Anchored Systems», U.S Department of Transportation (FHWA-IF-99-015), OFFICE OF BRIDGE TECHNOLOGY, 400 SEVENTH STREET, SW WASHINGTON
- Ιστότοπος της Εταιρείας ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2016:
<http://www.ametro.gr>
- Ιστότοπος Δήμου Περιστερίου, 2016 :
<http://www.peristeri.gr/index.php/leftmenu-81/leftmenu-83>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

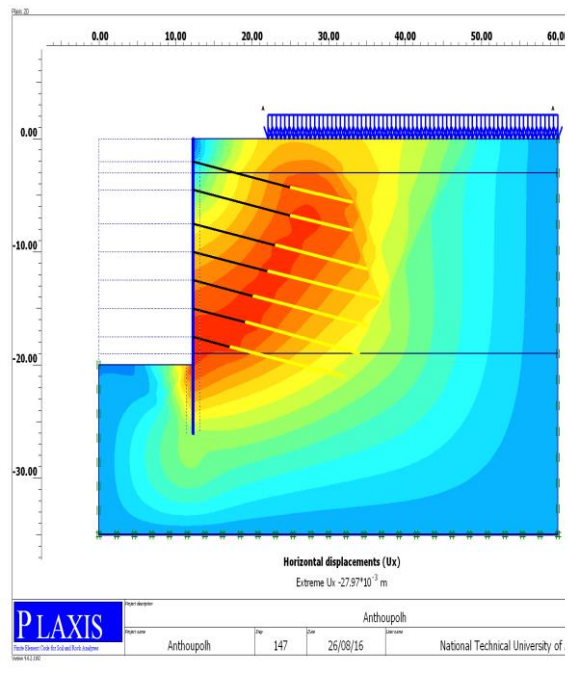
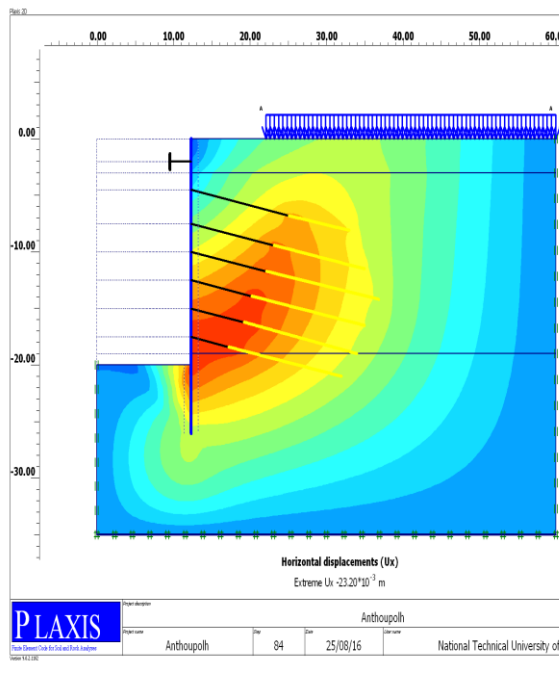
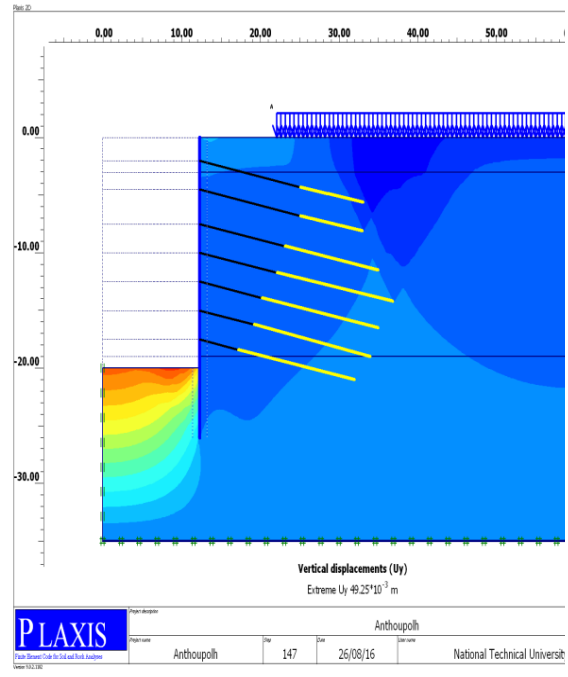
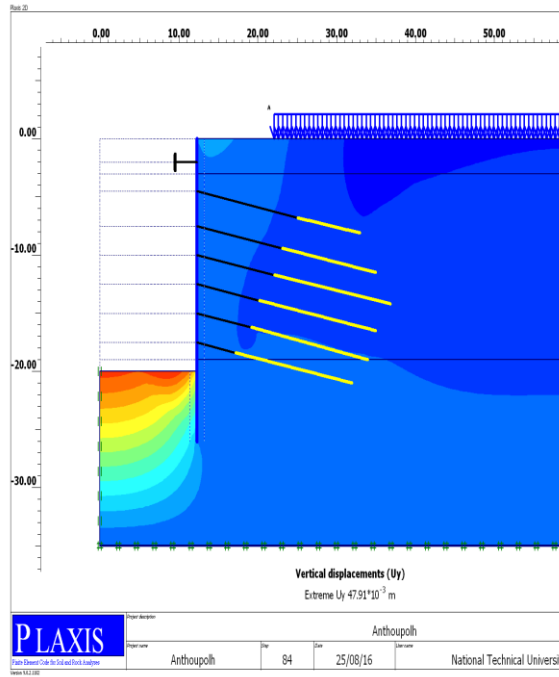
Παράρτημα 1

1^η Παραμετρική Ανάλυση



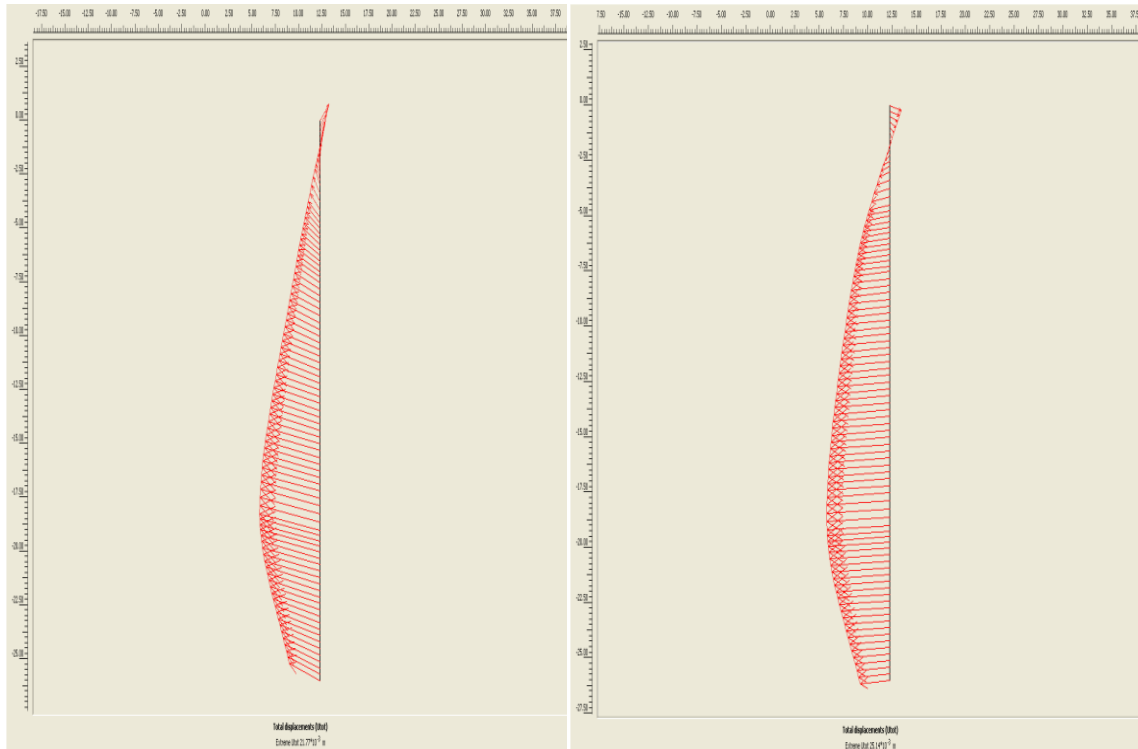
Παραμορφωμένο προσομοίωμα της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για αντιστήριξη με αντηρίδες-αγκύρια και μόνο αγκύρια

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

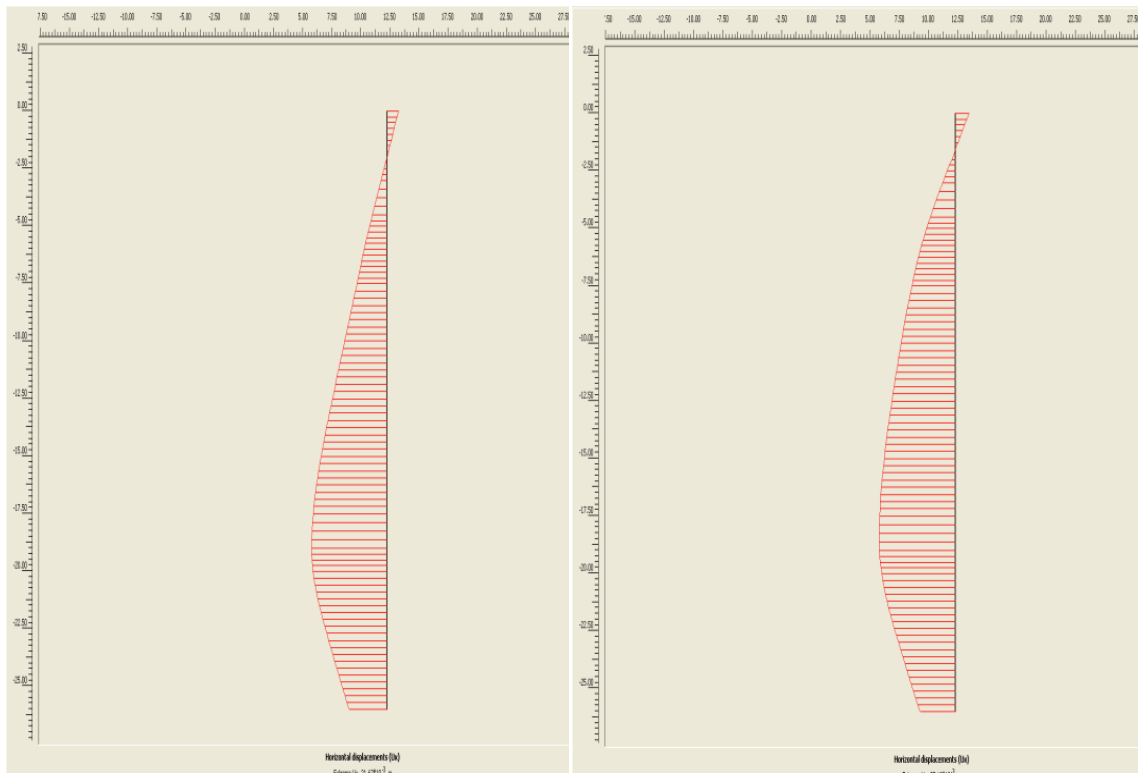


Μέγιστες κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για αντιστήριξη με αντηρίδες-αγκύρια και μόνο αγκύρια

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



Μέγιστες μετακινήσεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για αντιστήριξη με αντηρίδες και αγκύρια και μόνο αγκύρια

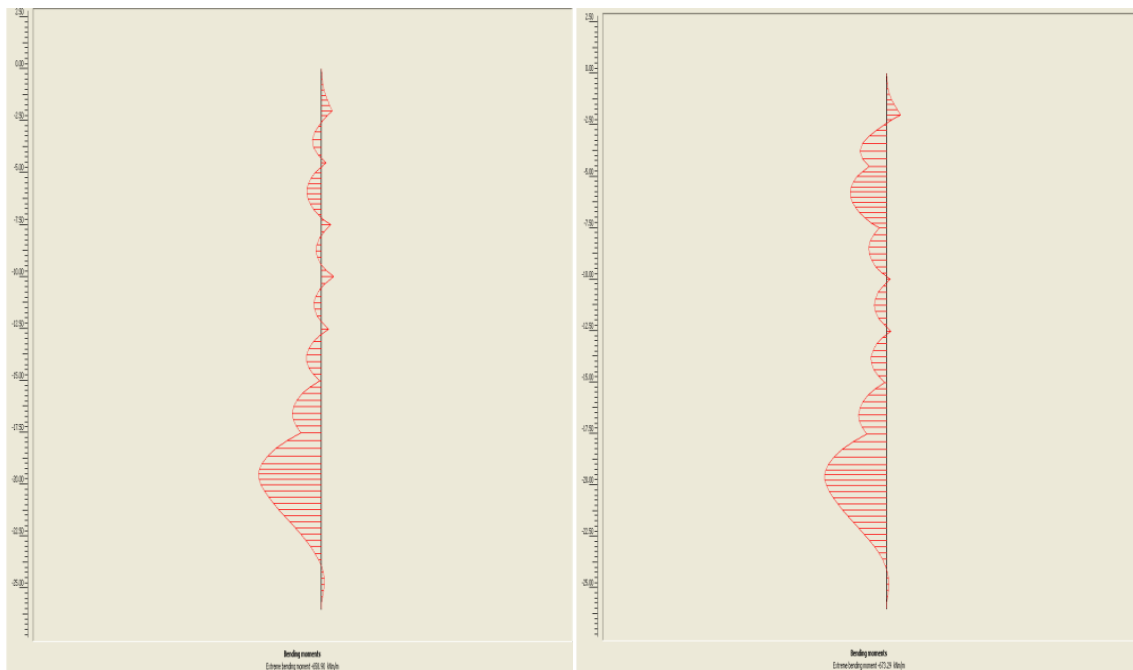


Μέγιστες Οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για αντιστήριξη με αντηρίδες και αγκύρια και μόνο αγκύρια

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

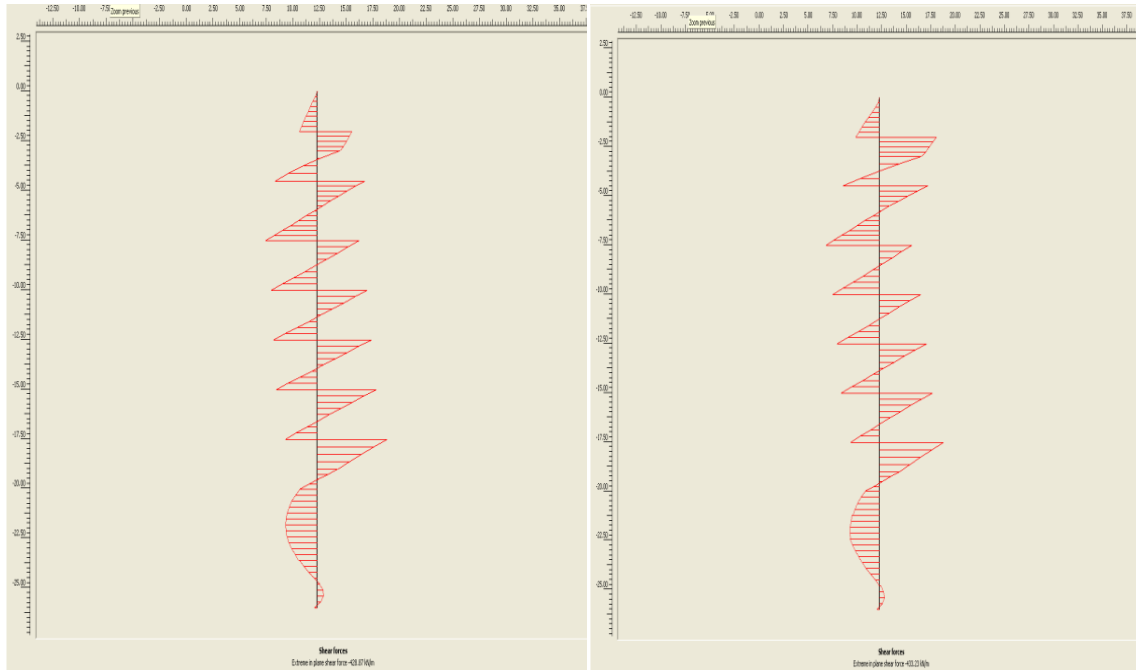


Μέγιστες Κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για αντιστήριξη με αντηρίδες και αγκύρια και μόνο αγκύρια



Μέγιστες Καμπτικές ροπές των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για αντιστήριξη με αντηρίδες και αγκύρια και μόνο αγκύρια

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

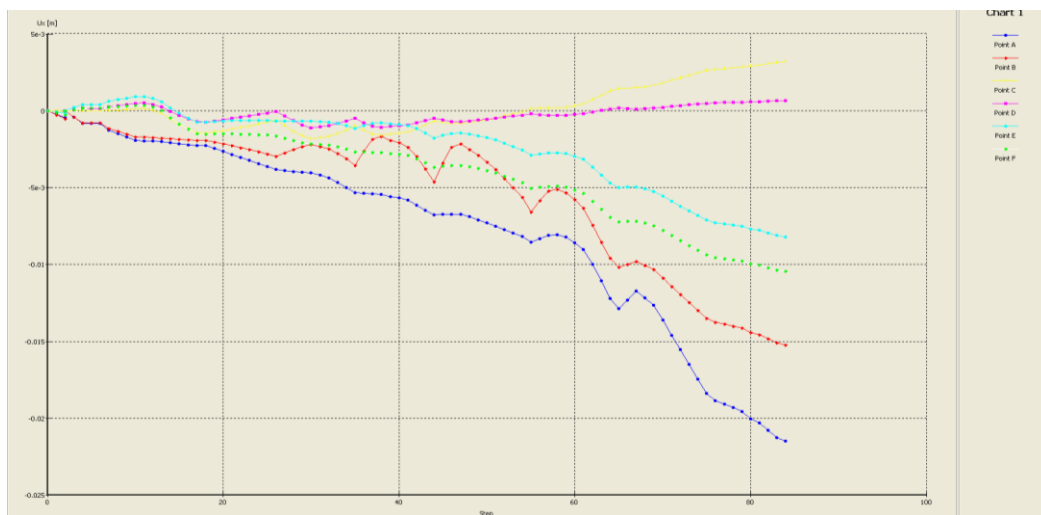
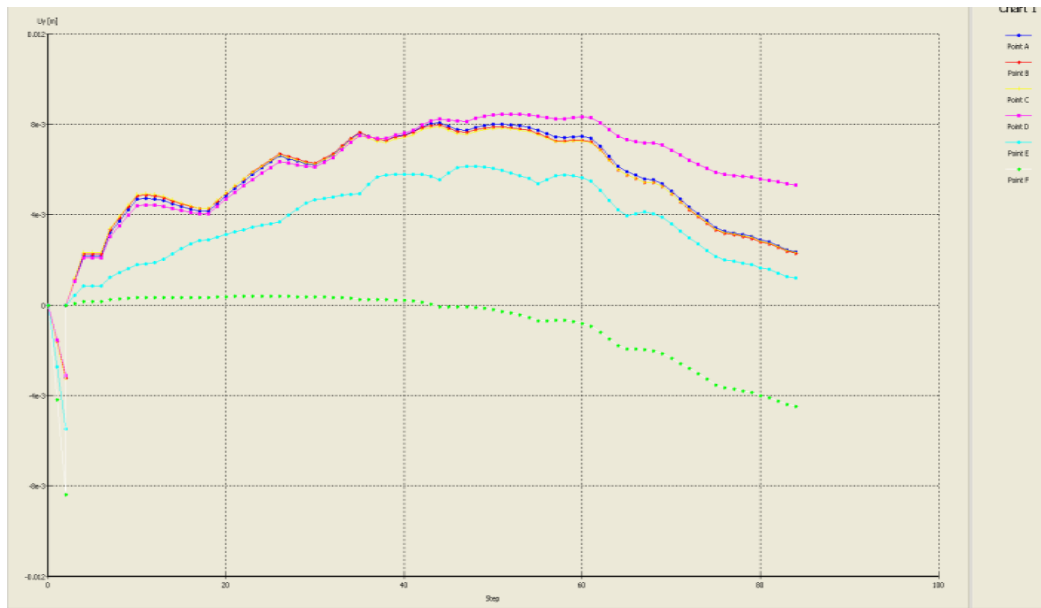


Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για αντιστήριξη με αντηρίδες και αγκύρια και μόνο αγκύρια



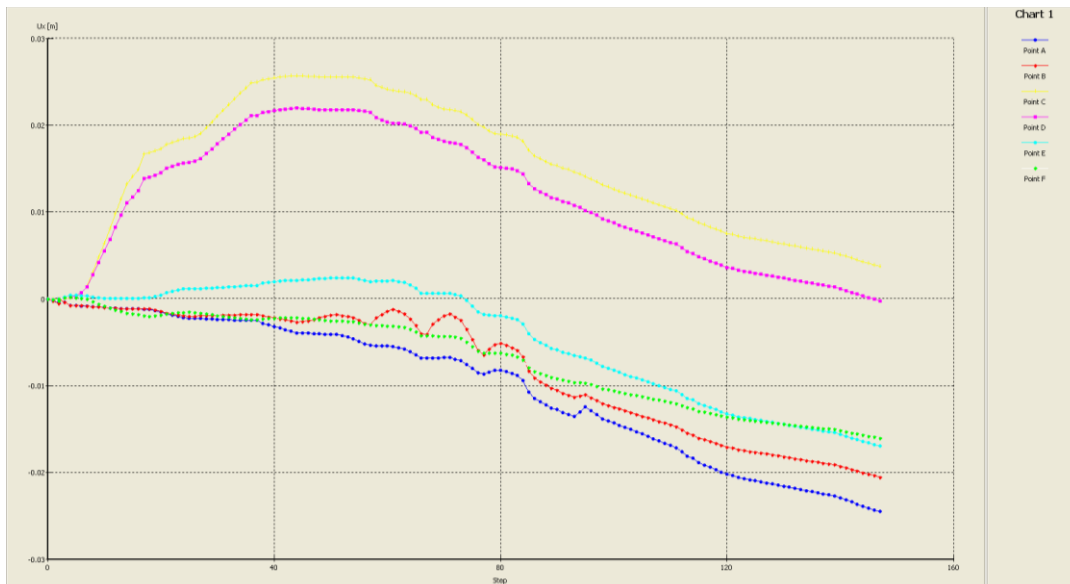
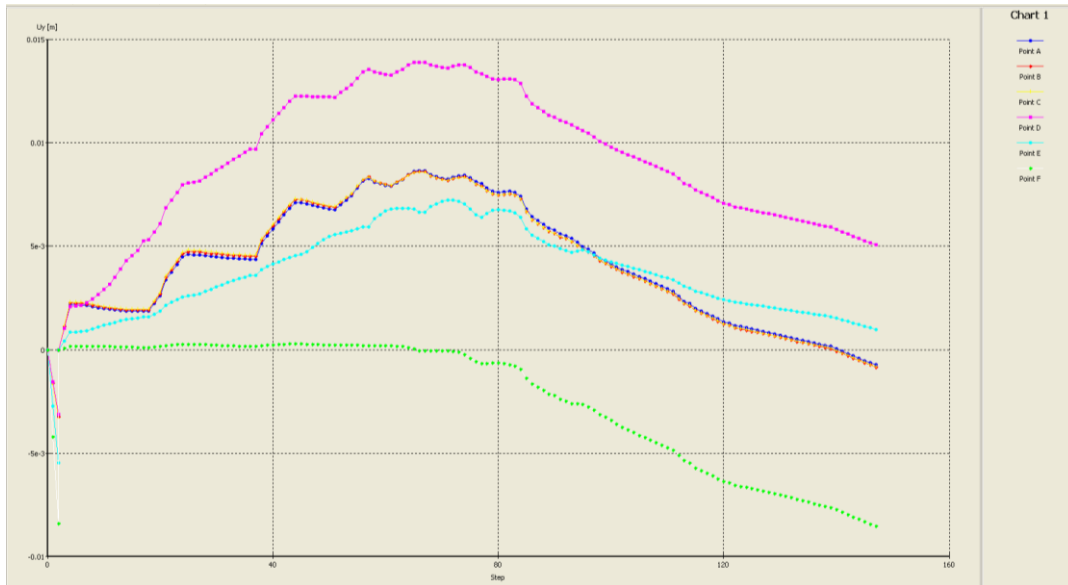
Μέγιστες αξονικές δυνάμεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για αντιστήριξη με αντηρίδες και αγκύρια και μόνο αγκύρια

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



Κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις της κύριας εκσκαφής για αντιστήριξη με αντηρίδες και αγκύρια

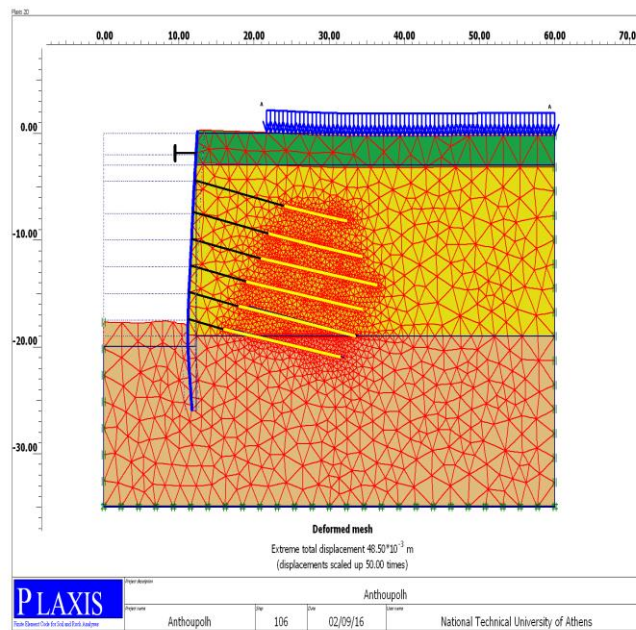
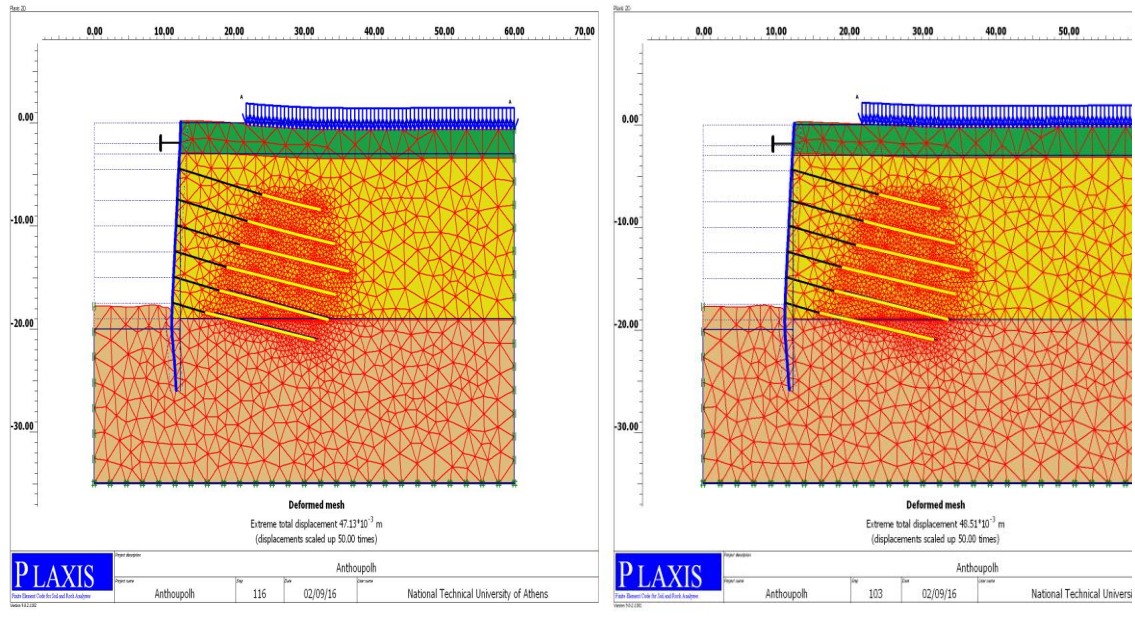
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις της κύριας εκσκαφής για αντιστήριξη με επτά σειρές αγκυρών

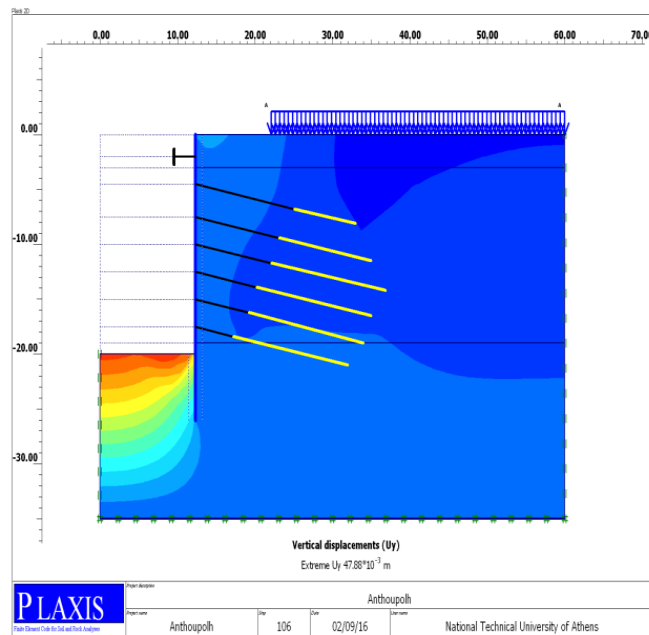
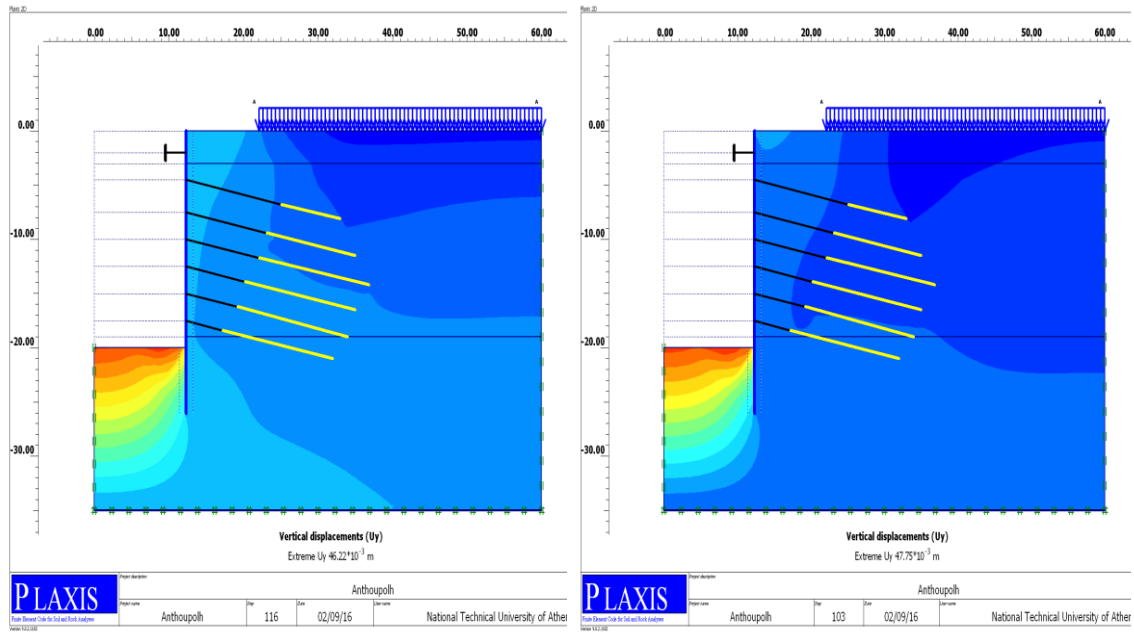
Παράρτημα 2

2^η Παραμετρική Ανάλυση



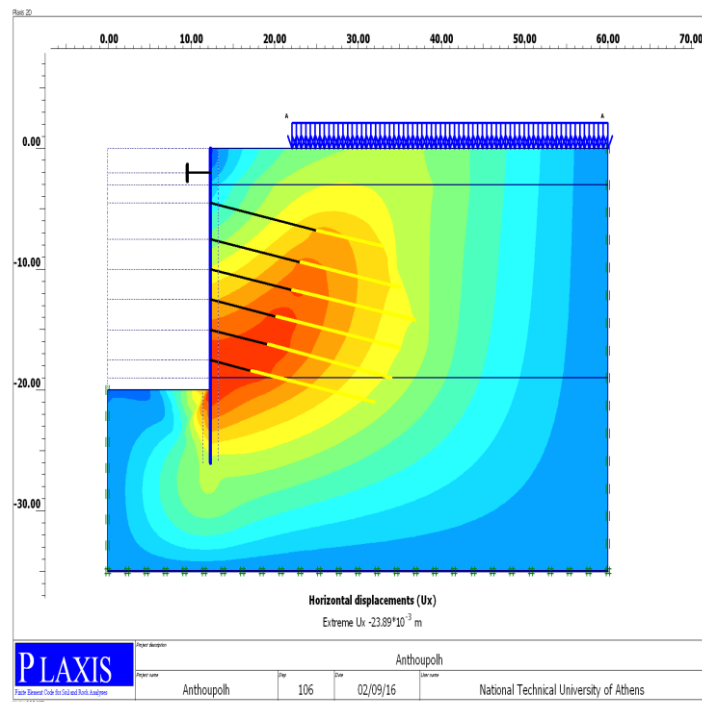
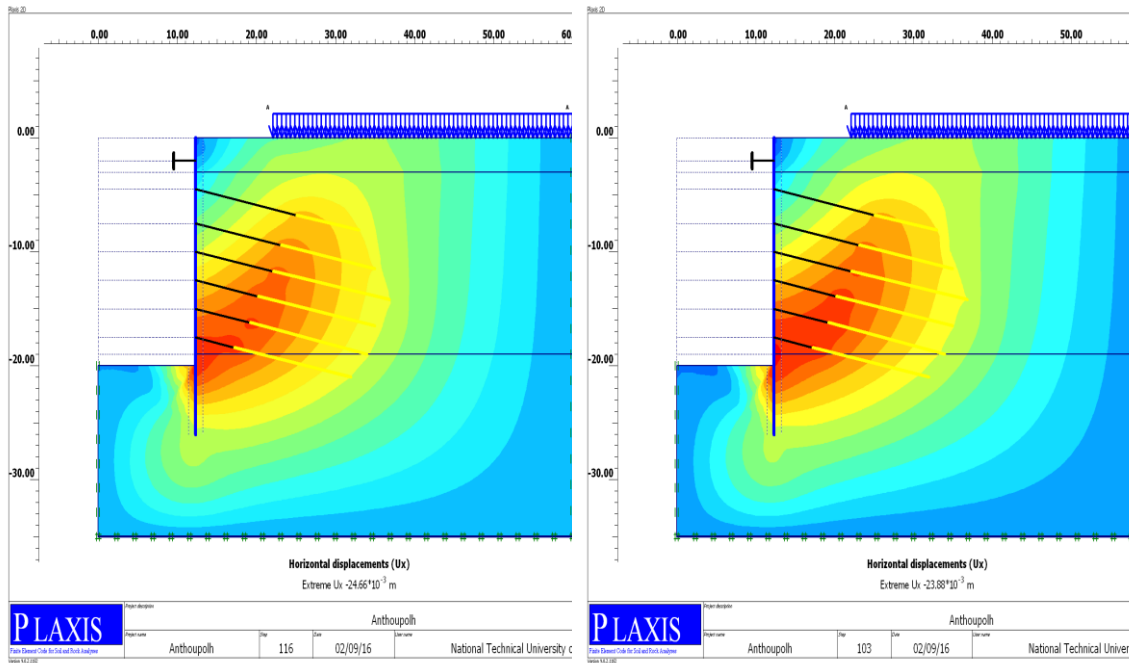
Παραμορφωμένο προσομοίωμα της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για πασσάλους με $\Phi 0.6/1.5$ m, $\Phi 0.80/.5$ m και $\Phi 1.0/2.0$ m, αντίστοιχα

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



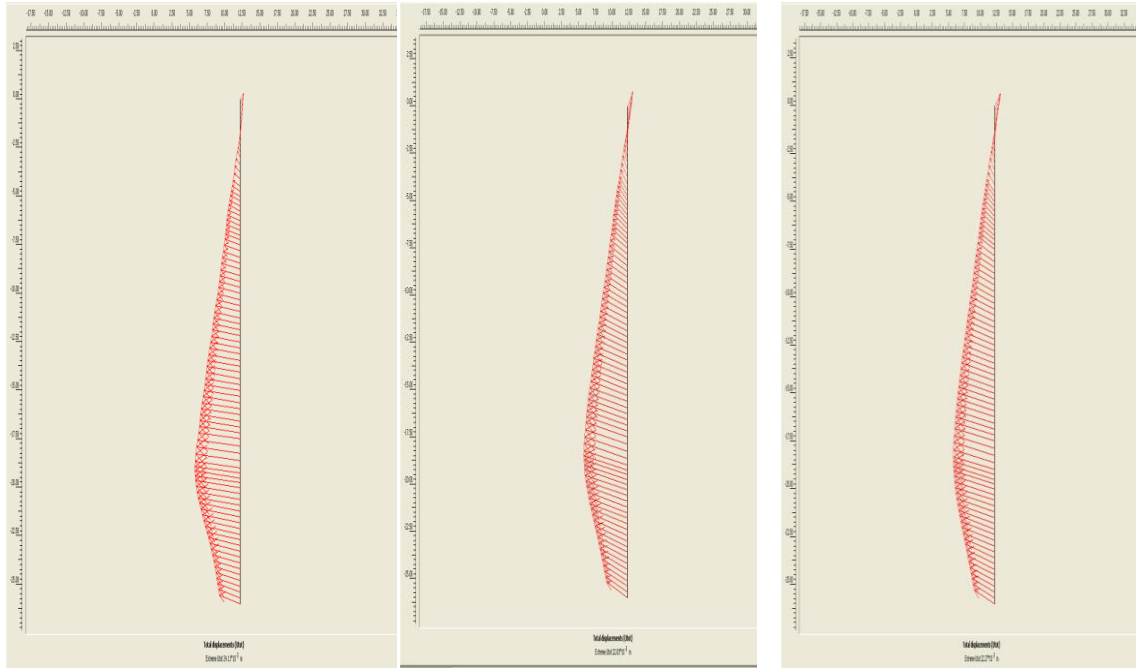
Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για πασσάλους με Φ0.6/1.5 m, Φ0.80/5m και Φ1.0/2.0m αντίστοιχα

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

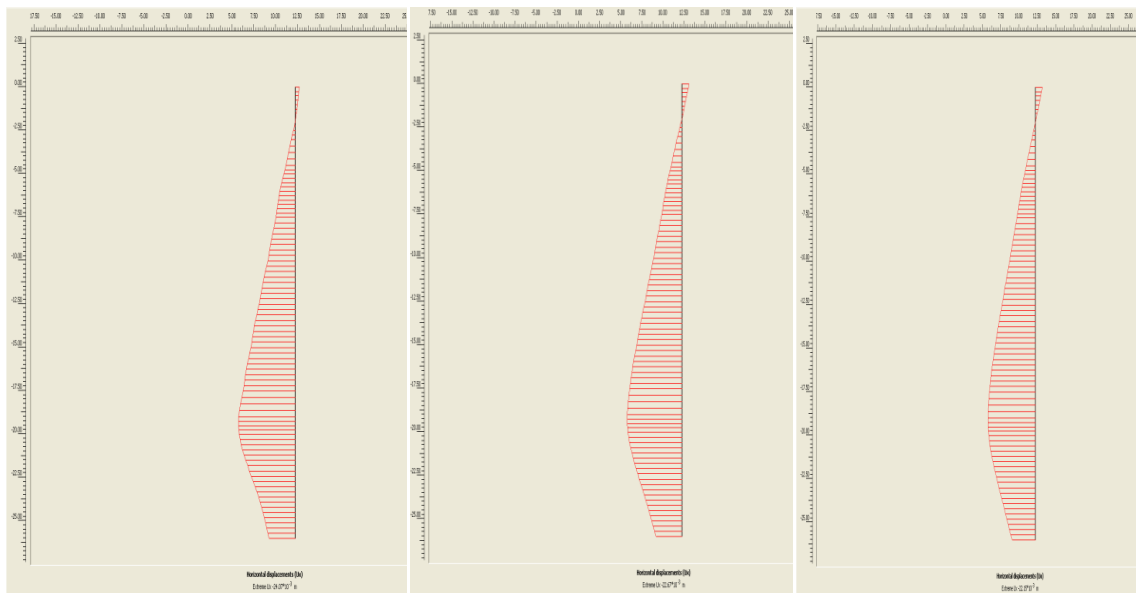


Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για πασσάλους με Φ0.6/1.5 m, Φ0.80/1.5m και Φ1.0/2.0m αντίστοιχα

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

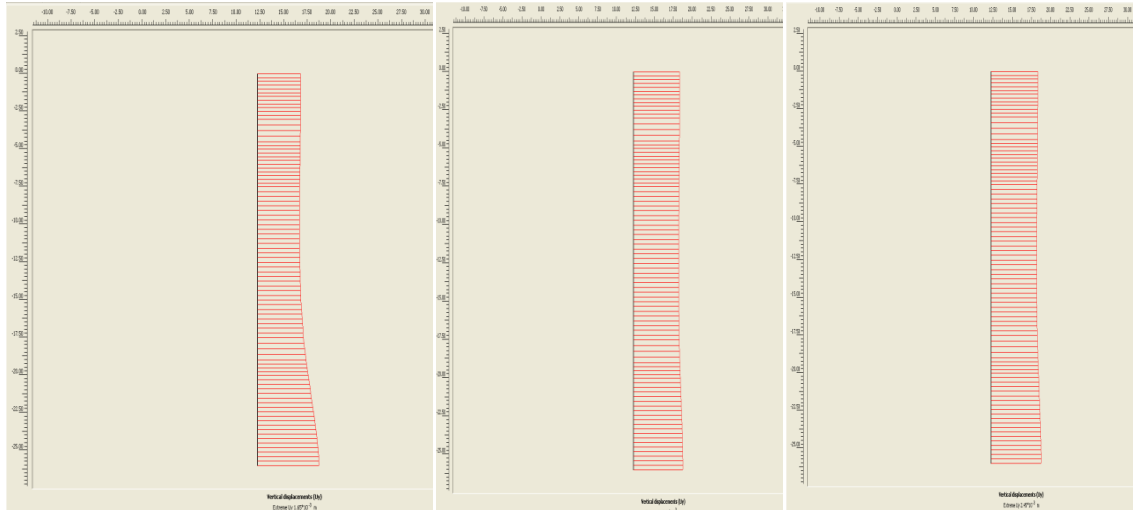


Μέγιστες μετακινήσεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για πασσάλους με Φ0.6/1.5 m, Φ0.80/1.5m και Φ1.0/2.0m αντίστοιχα

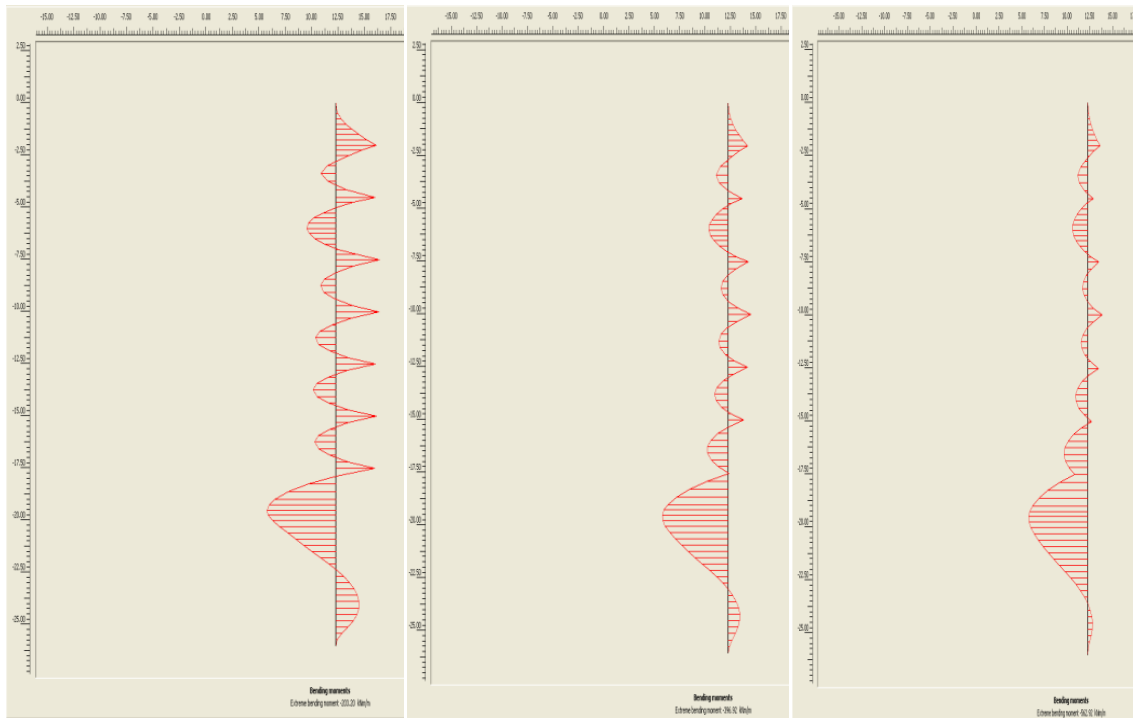


Μέγιστες Οριζόντιες μετακινήσεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για πασσάλους με Φ0.6/1.5 m, Φ0.80/1.5m και Φ1.0/2.0m αντίστοιχα

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

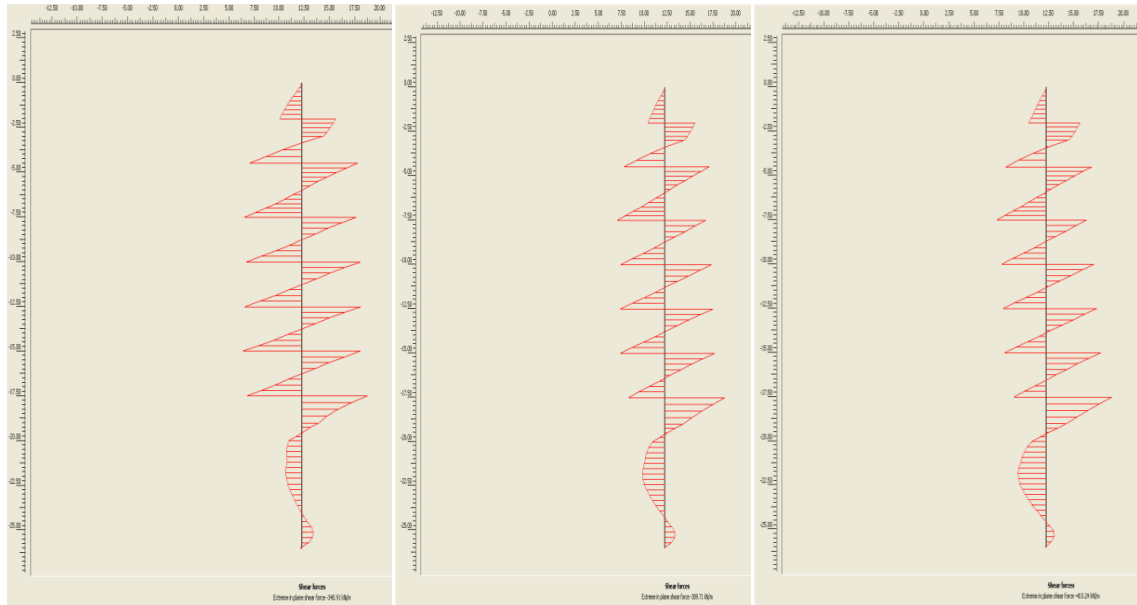


Μέγιστες Κατακόρυφες μετακινήσεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για πασσάλους με $\Phi 0.6/1.5$ m, $\Phi 0.80/1.5$ m και $\Phi 1.0/2.0$ m αντίστοιχα

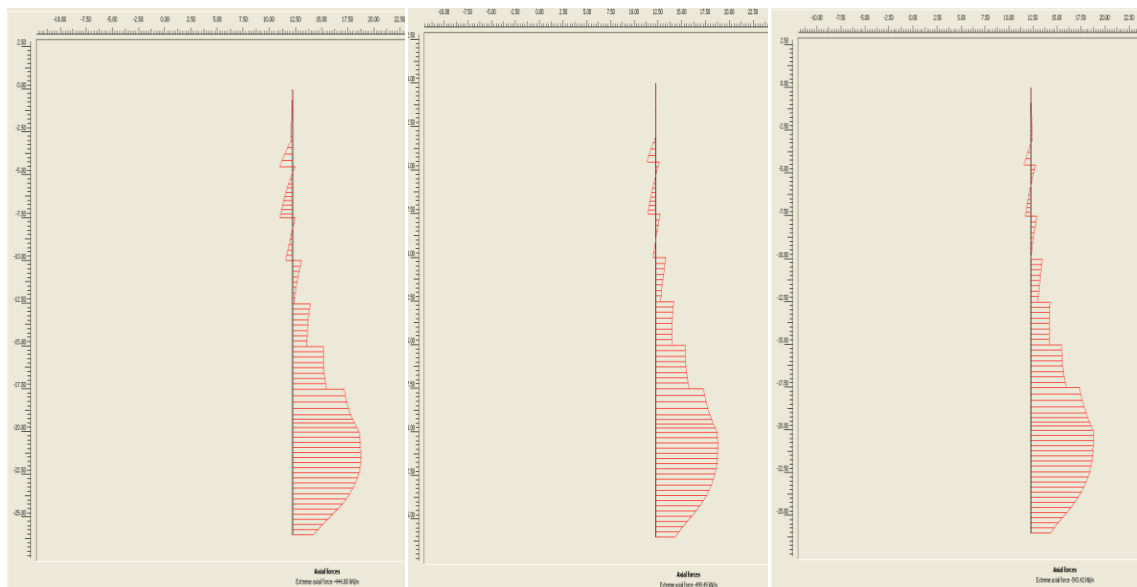


Μέγιστες Καμπτικές ροπές των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για πασσάλους με $\Phi 0.6/1.5$ m, $\Phi 0.80/1.5$ m και $\Phi 1.0/2.0$ m αντίστοιχα

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

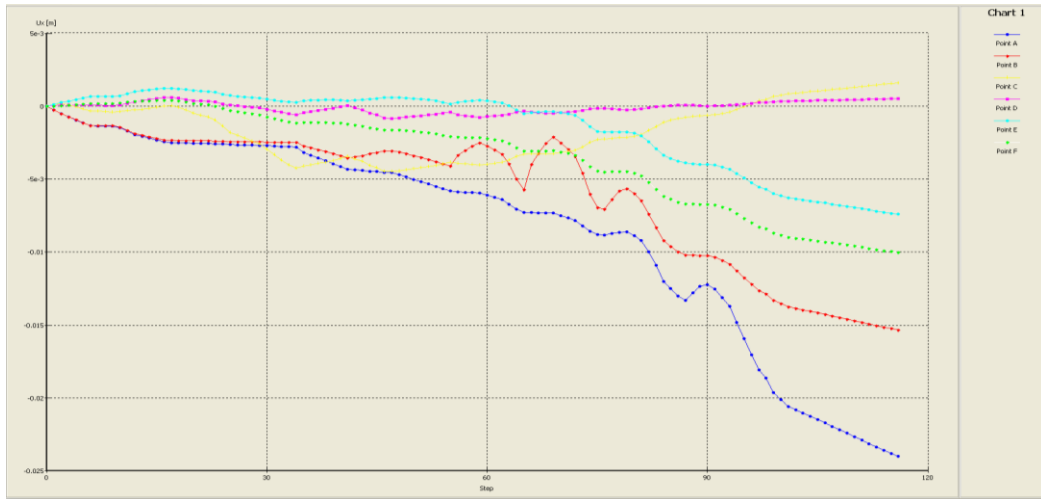


Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για πασσάλους με $\Phi 0.6/1.5$ m, $\Phi 0.80/1.5$ m και $\Phi 1.0/2.0$ m αντίστοιχα

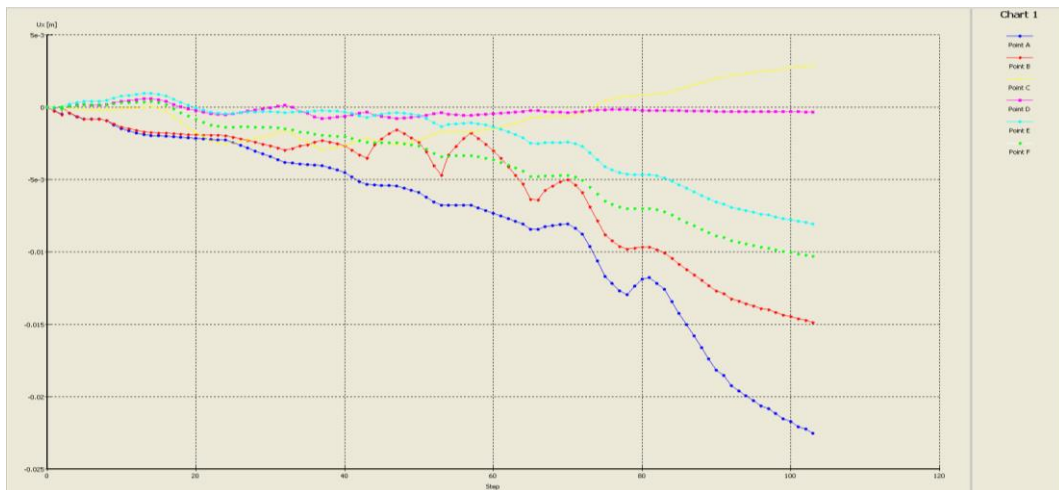


Μέγιστες αξονικές δυνάμεις των πασσάλων της κύριας εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για πασσάλους με $\Phi 0.6/1.5$ m, $\Phi 0.80/1.5$ m και $\Phi 1.0/2.0$ m αντίστοιχα

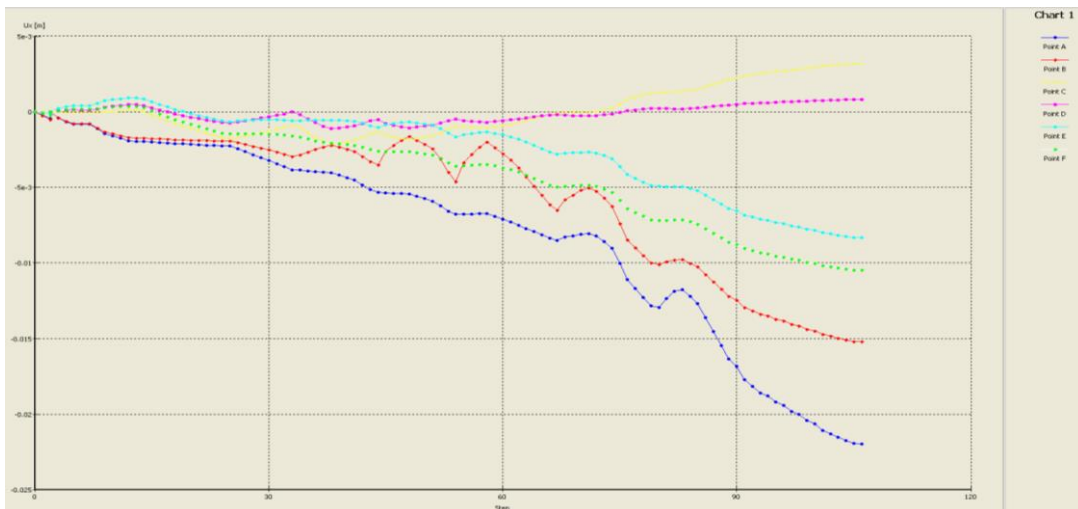
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Οριζόντιες μετακινήσεις για τα προσομιώματα με πασσάλους 0.6/1.5

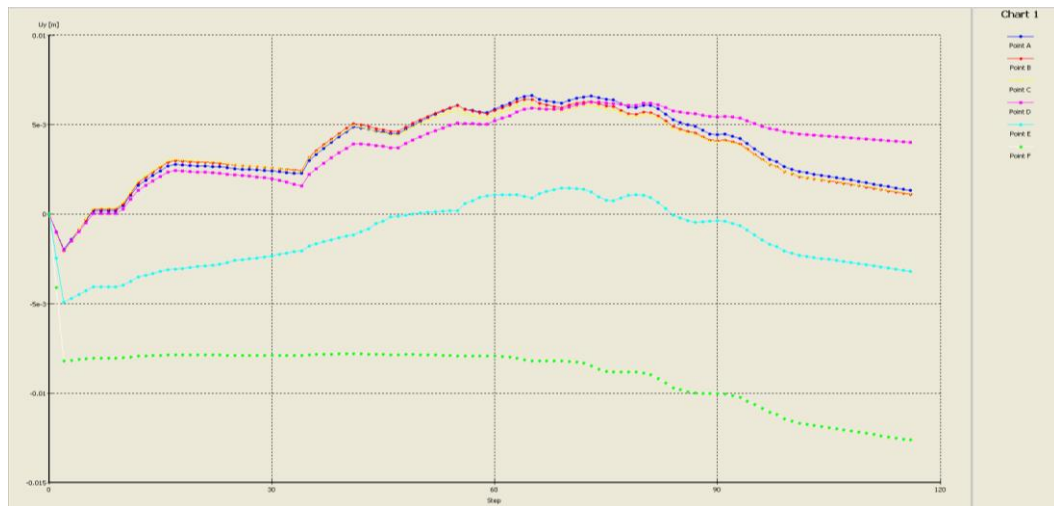


Οριζόντιες μετακινήσεις για τα προσομιώματα με πασσάλους 0.8/1.5

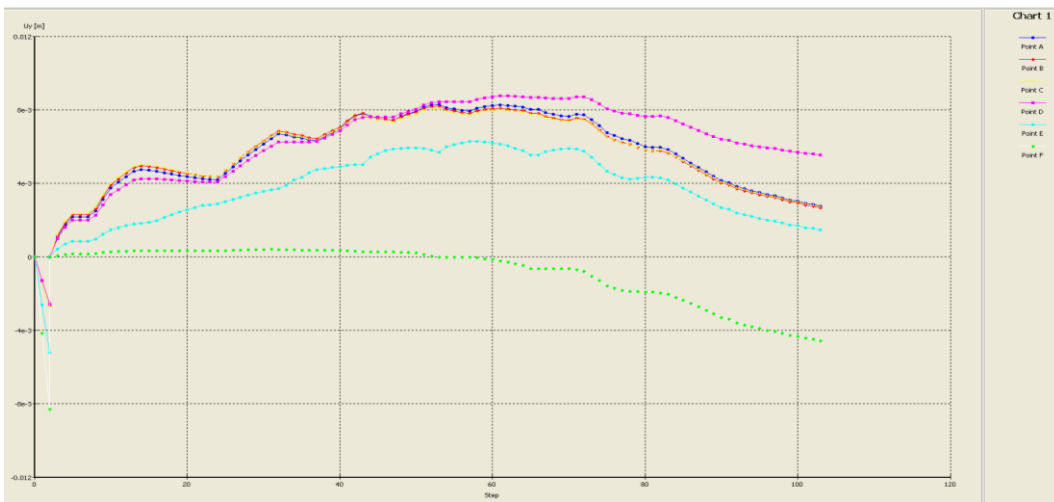


Οριζόντιες μετακινήσεις για τα προσομιώματα με πασσάλους 1.0/2.0

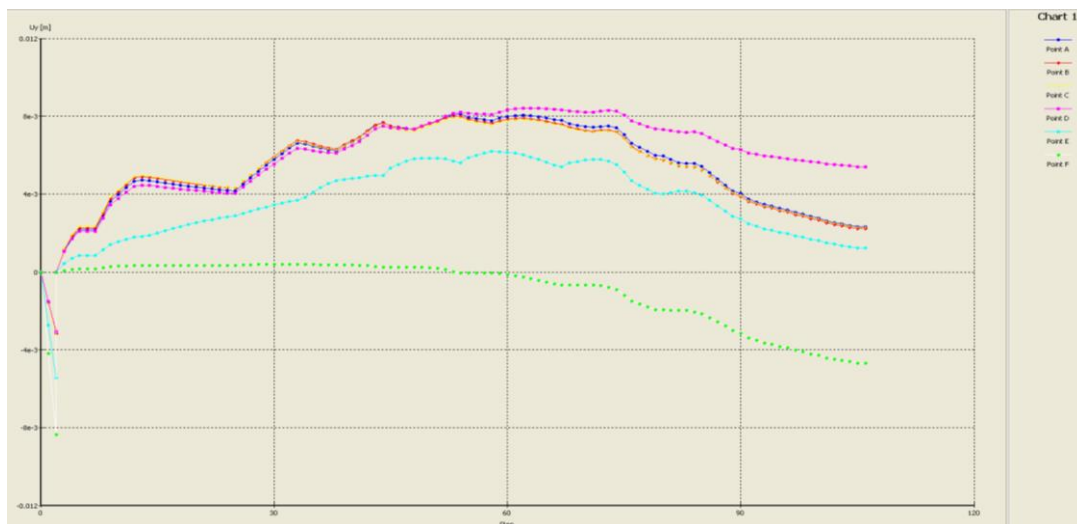
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΗΘΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Κατακόρυφες μετακινήσεις για τα προσομιώματα με πασσάλους 0.6/1.5



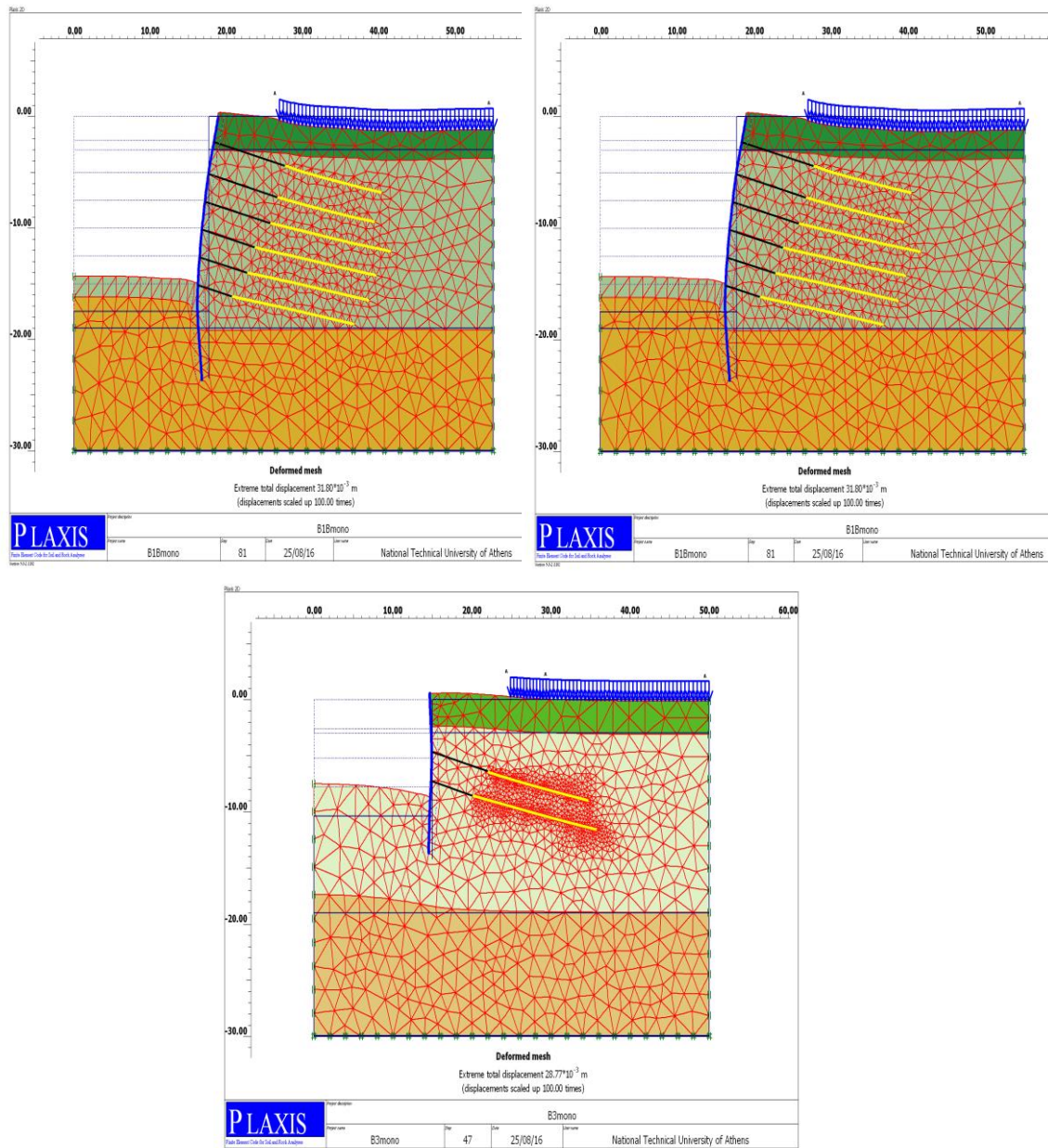
Κατακόρυφες μετακινήσεις για τα προσομιώματα με πασσάλους 0.8/1.5



Κατακόρυφες μετακινήσεις για τα προσομιώματα με πασσάλους 1.0/2.0

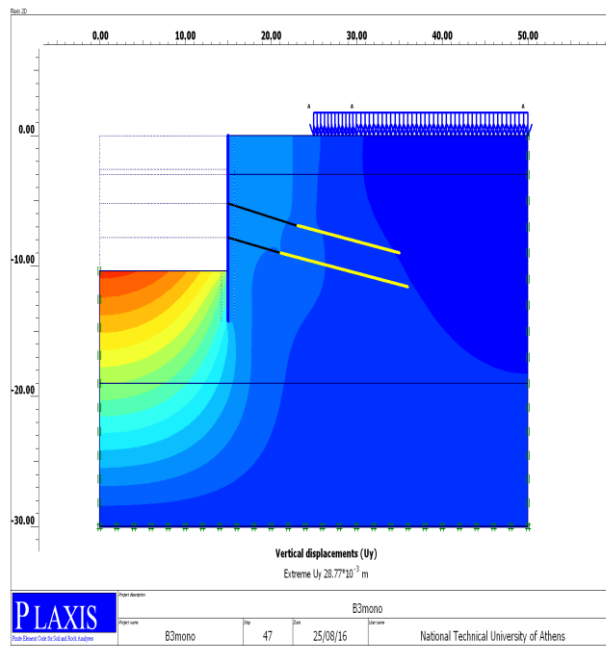
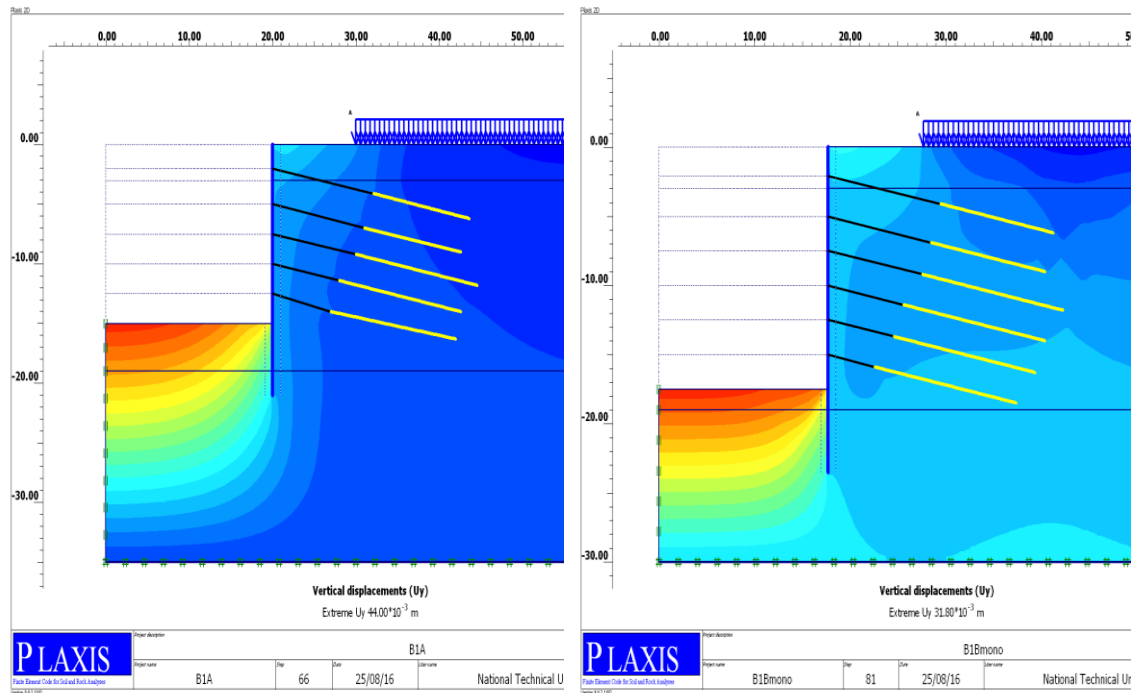
Παράρτημα 3

3^η Παραμετρική Ανάλυση



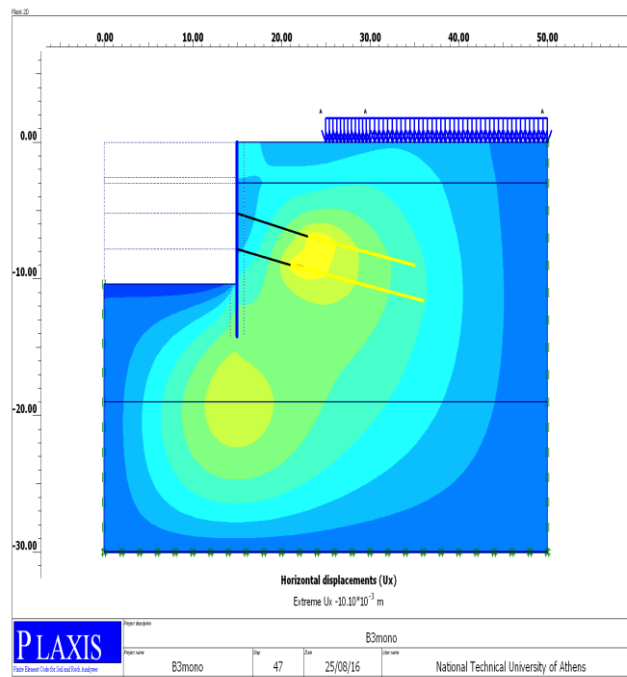
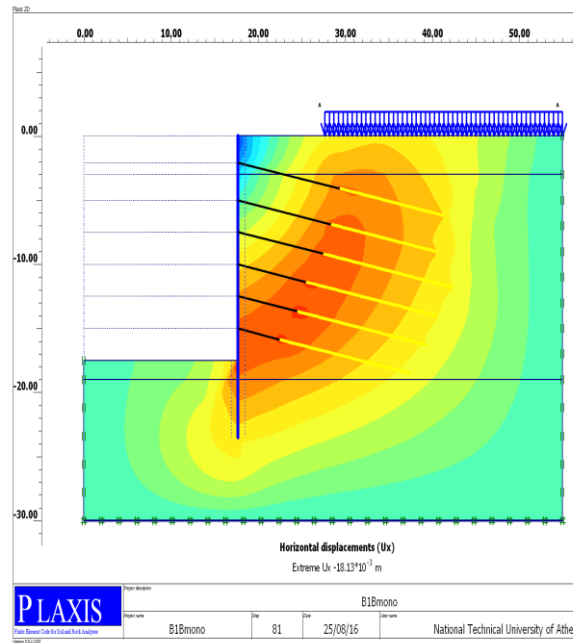
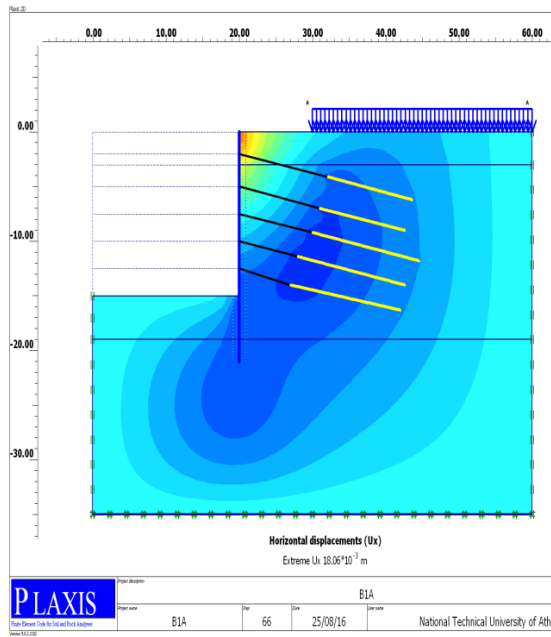
Παραμορφωμένο προσομοίωμα εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα μοντέλα B1A, B1B και B3

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



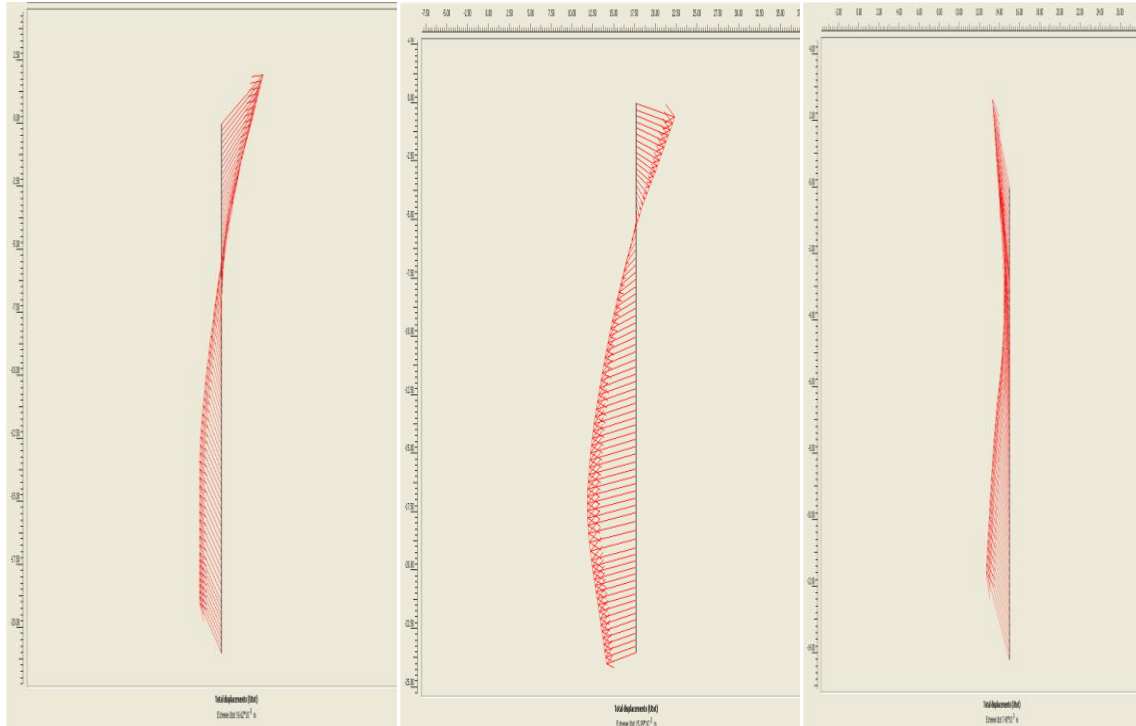
Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα B1A, B1B και B3

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

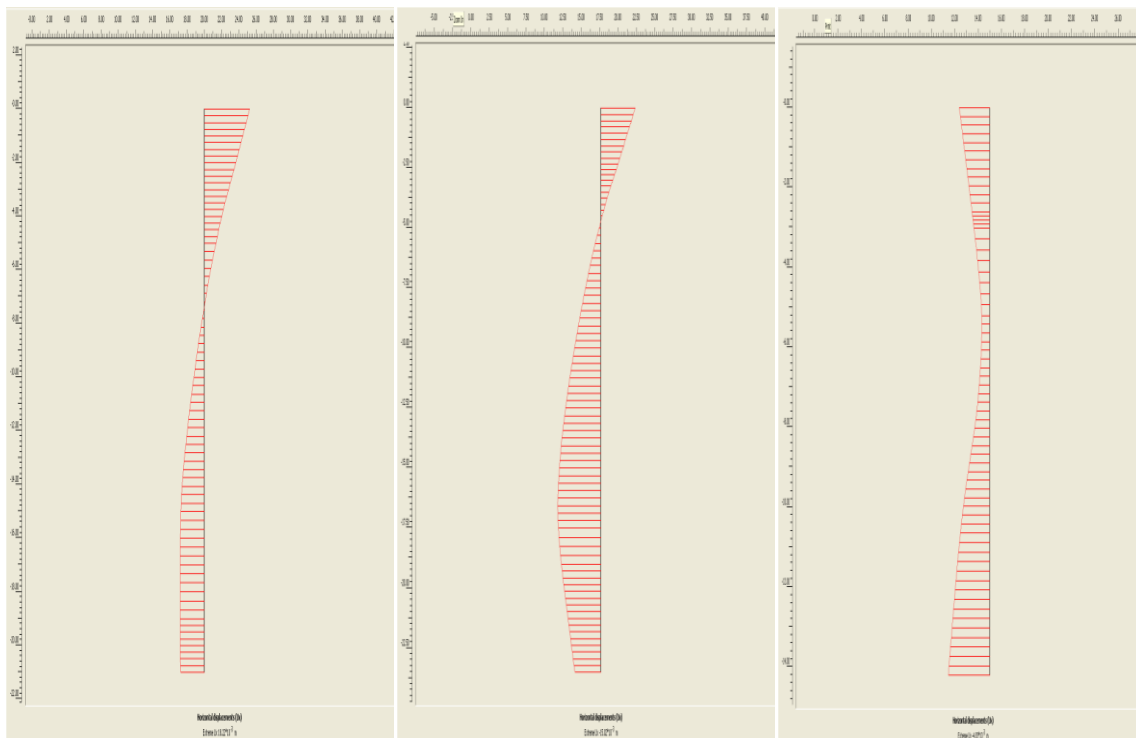


Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα B1A, B1B και B3

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

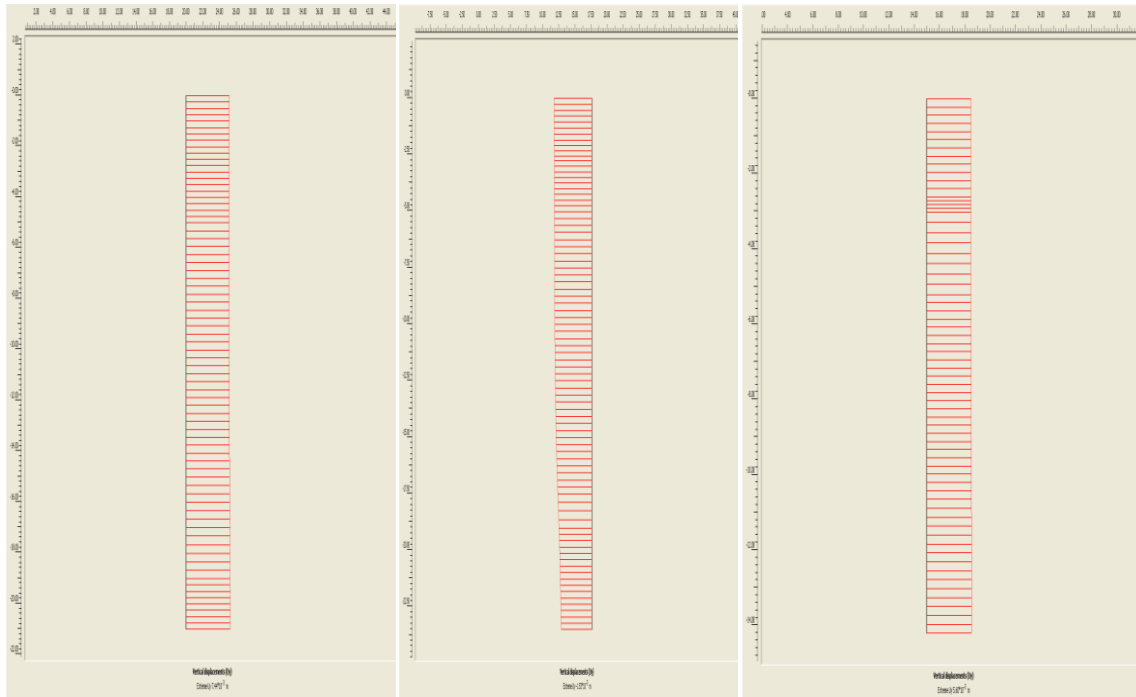


Συνολικές μετακινήσεις πασσάλων εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα B1A, B1B και B3

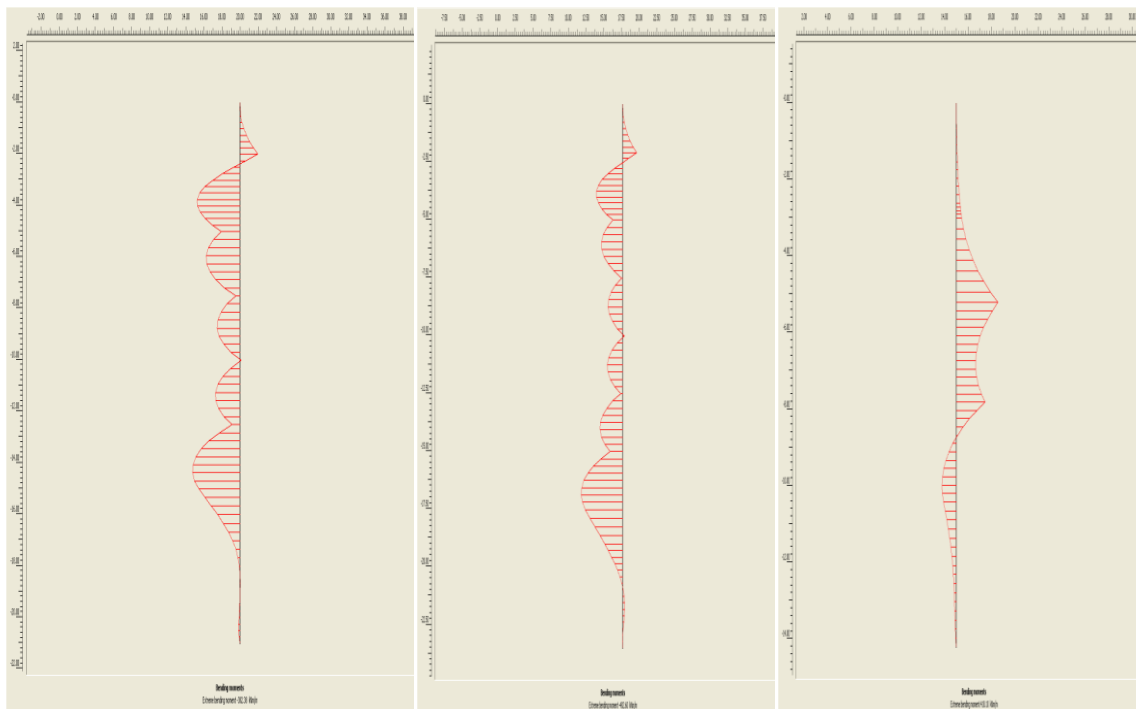


Συνολικές Οριζόντιες μετακινήσεις πασσάλων εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα B1A, B1B και B3

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

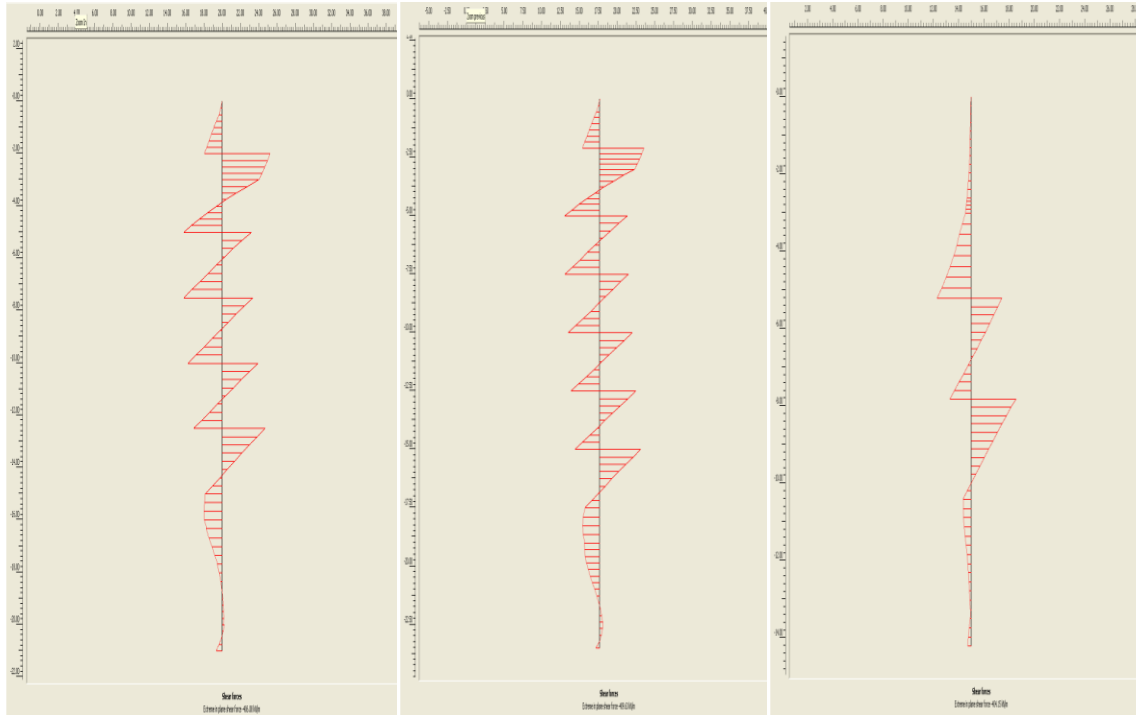


Συνολικές Κατακόρυφες μετακινήσεις πασσάλων εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομιώματα B1A, B1B και B3

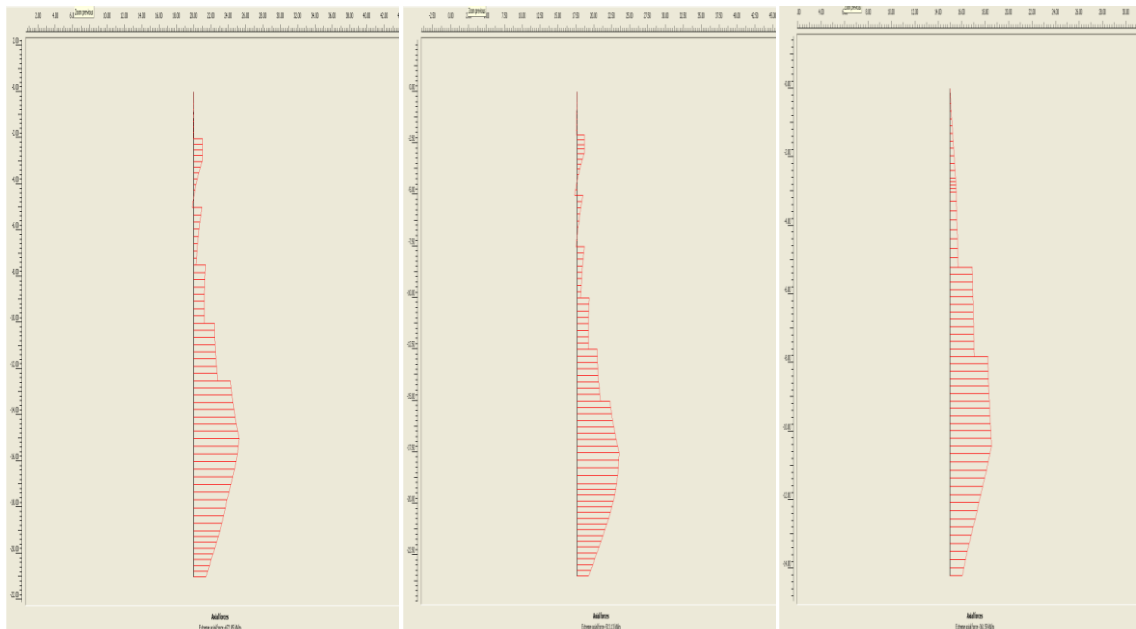


Συνολικές Καμπτικές ροπές των πασσάλων εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομιώματα B1A, B1B και B3

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

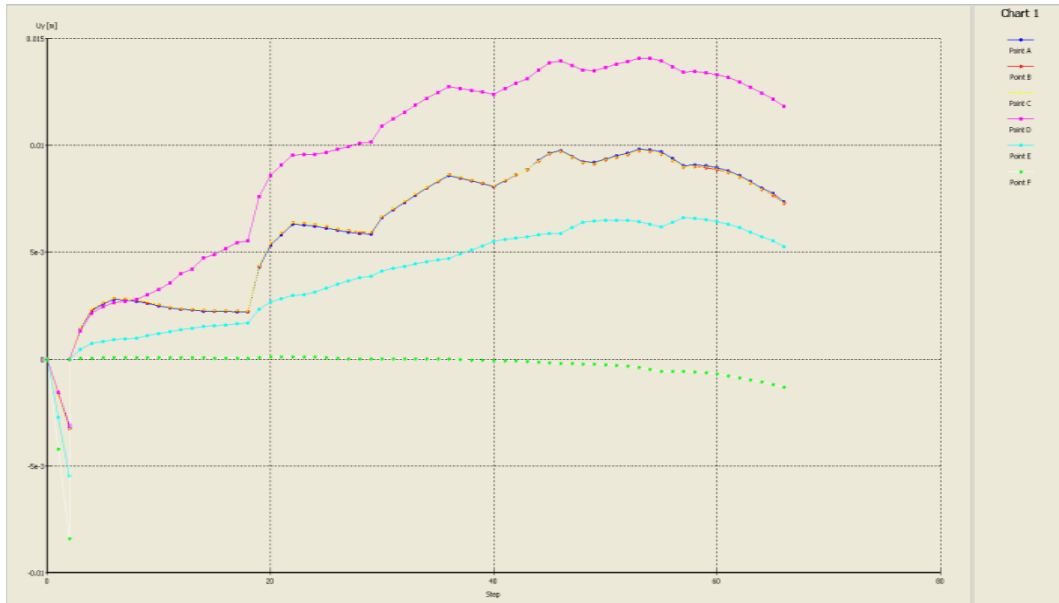


Συνολικές διατμητικές δυνάμεις των πασσάλων εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομιώματα B1A, B1B και B3

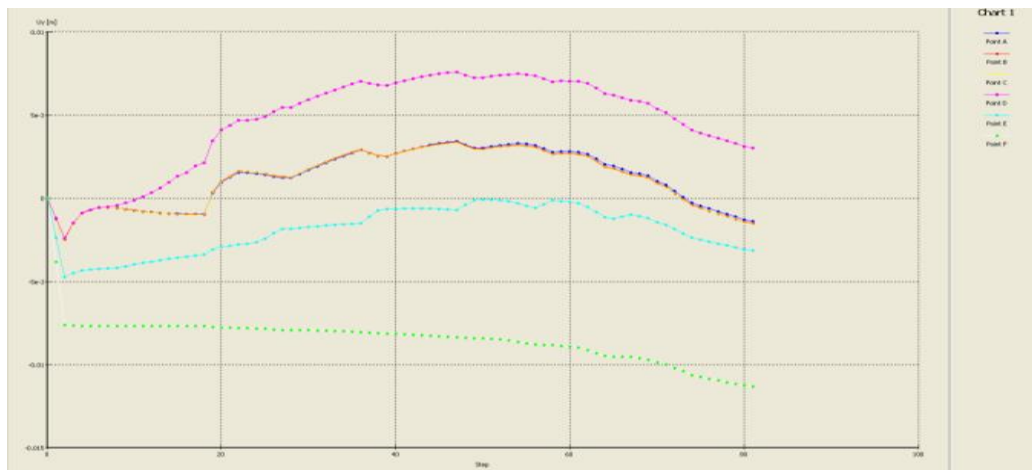


Συνολικές αξονικές δυνάμεις των πασσάλων εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομιώματα B1A, B1B και B3

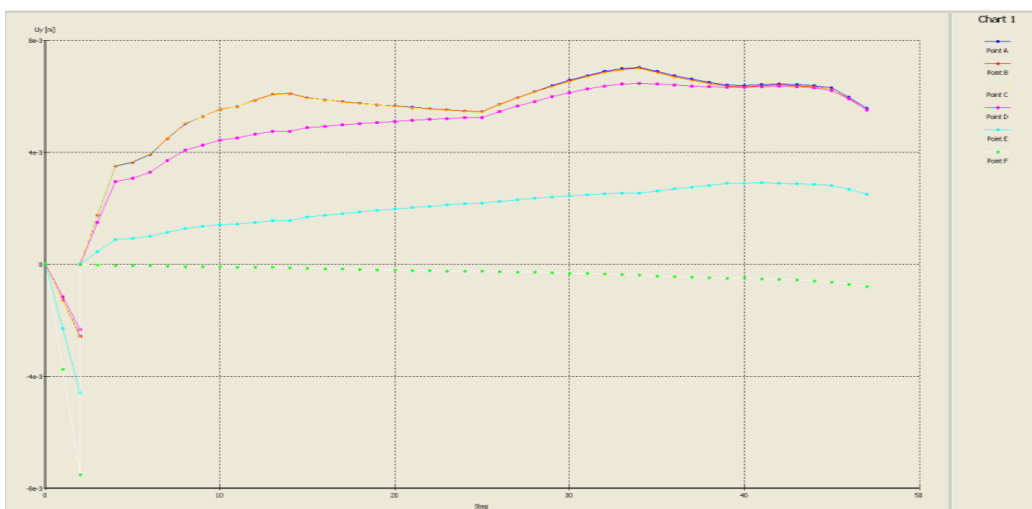
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Κατακόρυφες μετακινήσεις για το προσομοίωμα B1A

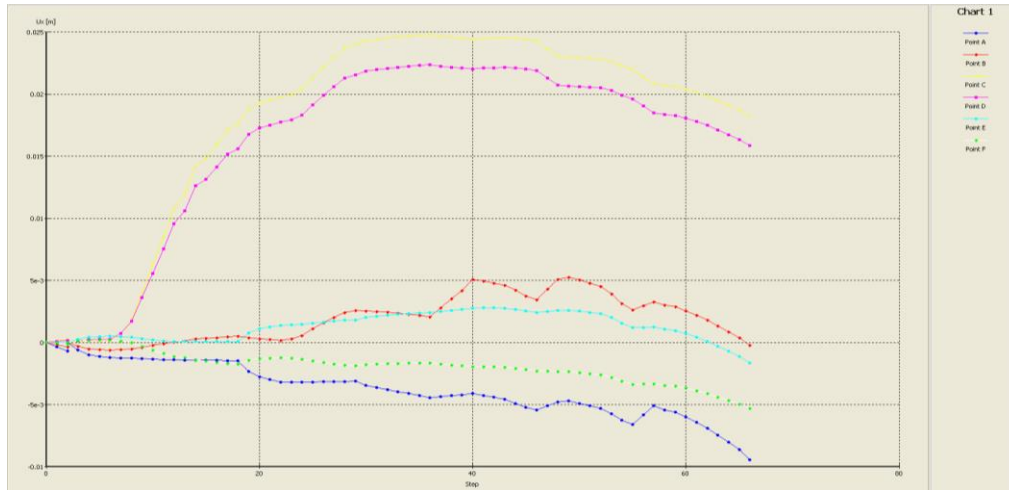


Κατακόρυφες μετακινήσεις για το προσομοίωμα B1B

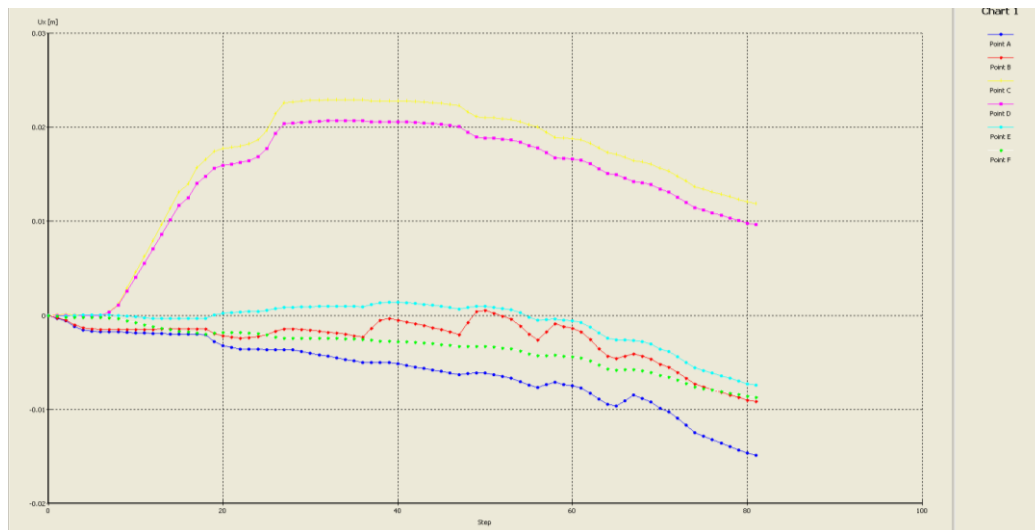


Κατακόρυφες μετακινήσεις για το προσομοίωμα B3

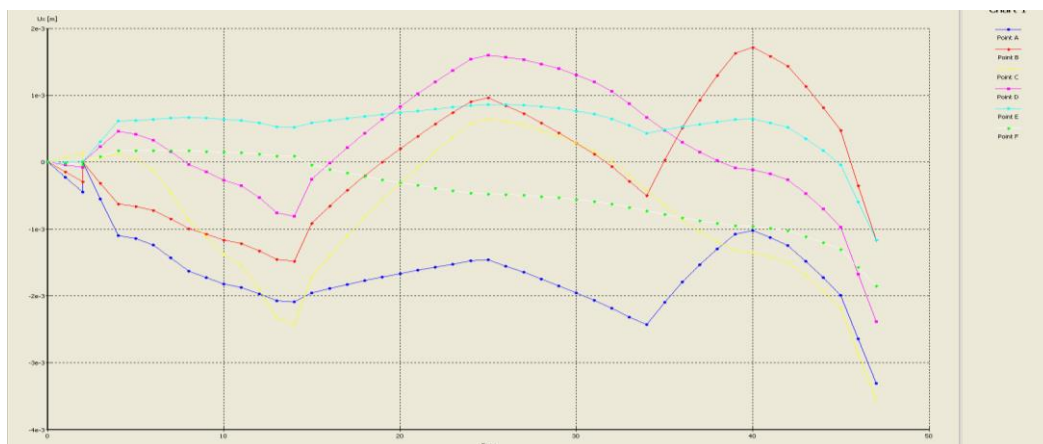
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΗΘΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Οριζόντιες μετακινήσεις για το προσομοίωμα B1A



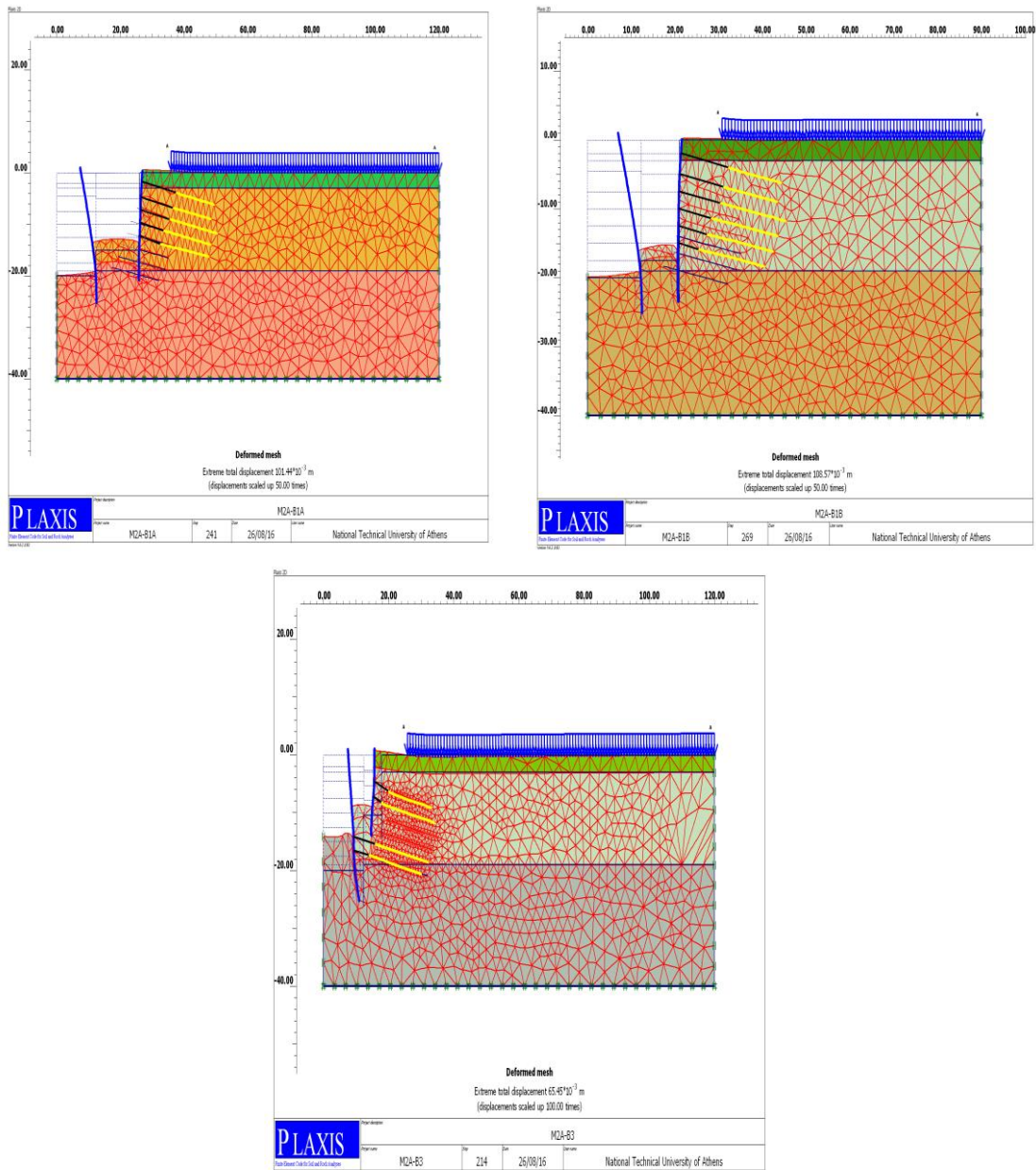
Οριζόντιες μετακινήσεις για το προσομοίωμα B1B



Οριζόντιες μετακινήσεις για το προσομοίωμα B13

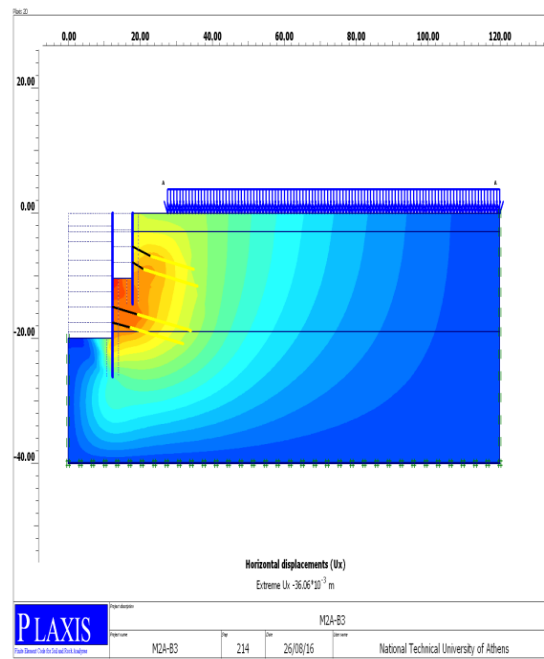
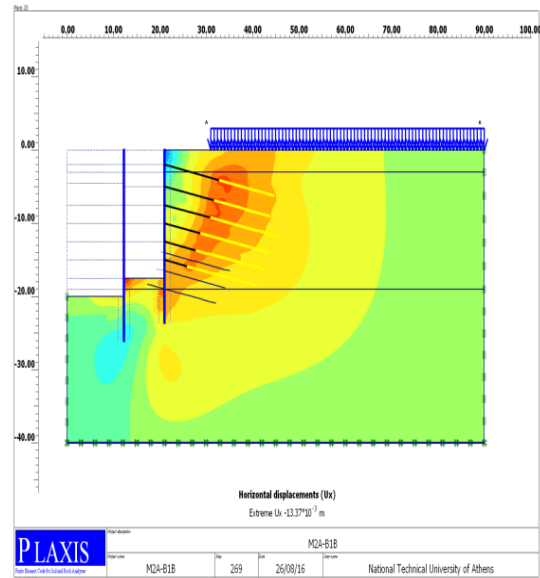
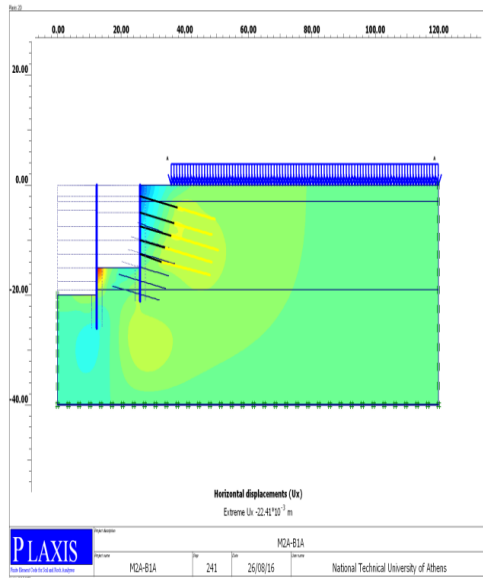
Παράρτημα 4

4^η Παραμετρική Ανάλυση



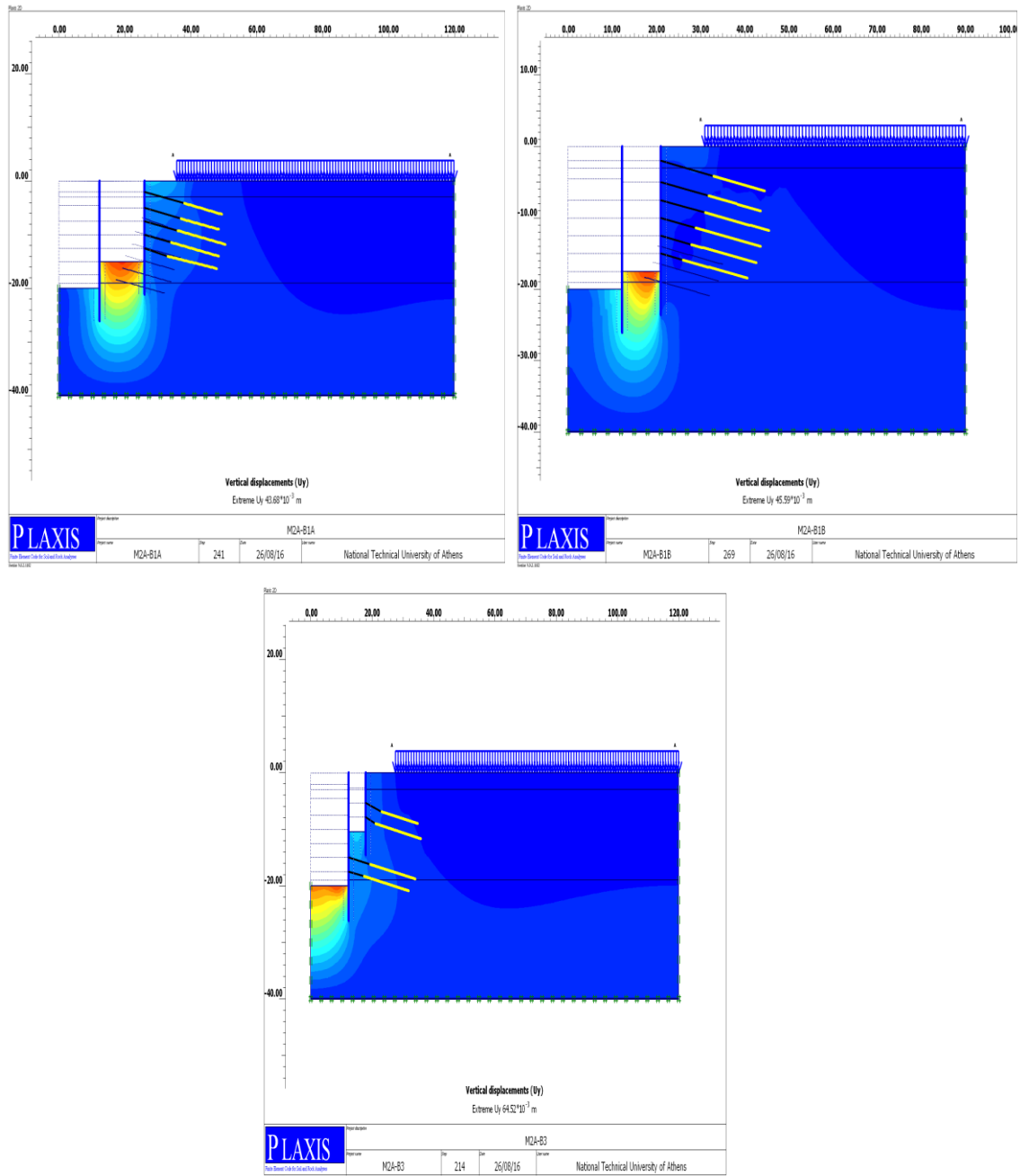
Συνολικές μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα M2A-B1A, M2A-B1B και M2A-B3

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



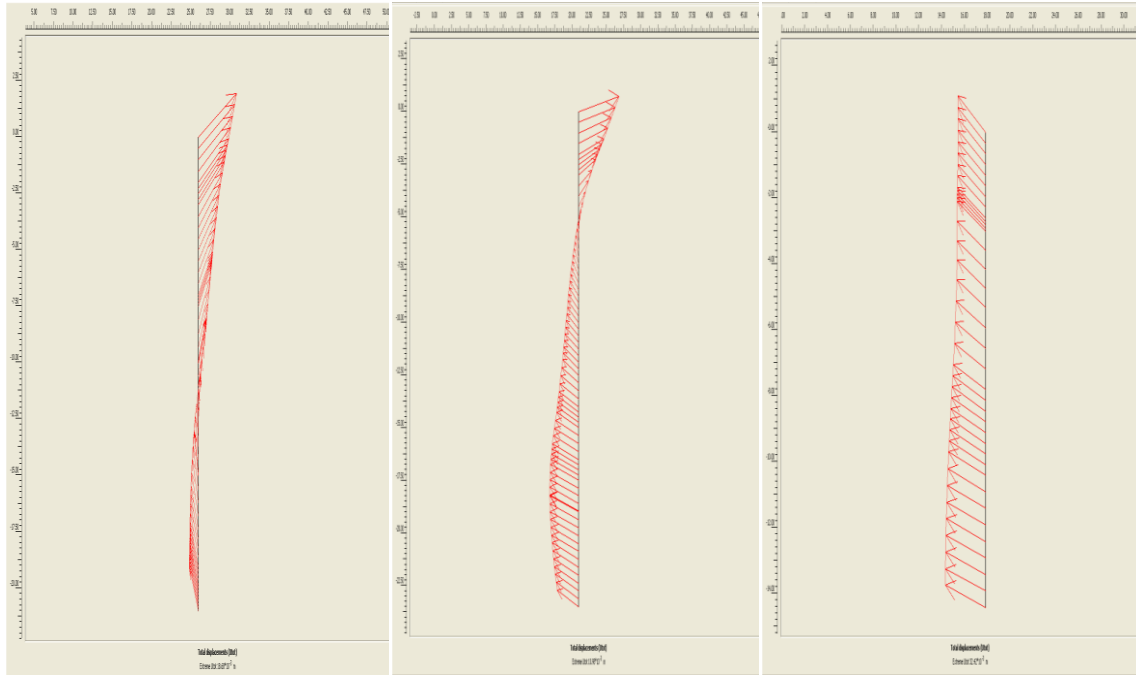
Συνολικές οριζόντιες μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα M2A-B1A, M2A-B1B και M2A-B3

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

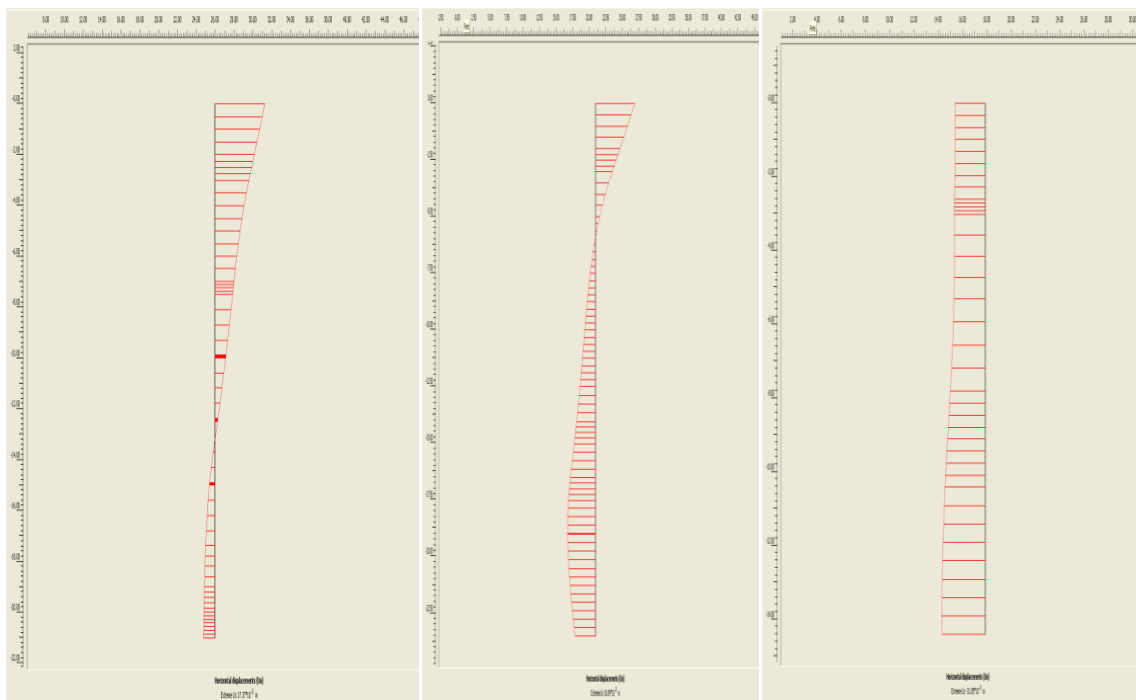


Συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεις της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα M2A-B1A, M2A-B1B και M2A-B3

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



Συνολικές μετακινήσεις πασσάλων της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα M2A-B1A, M2A-B1B και M2A-B3

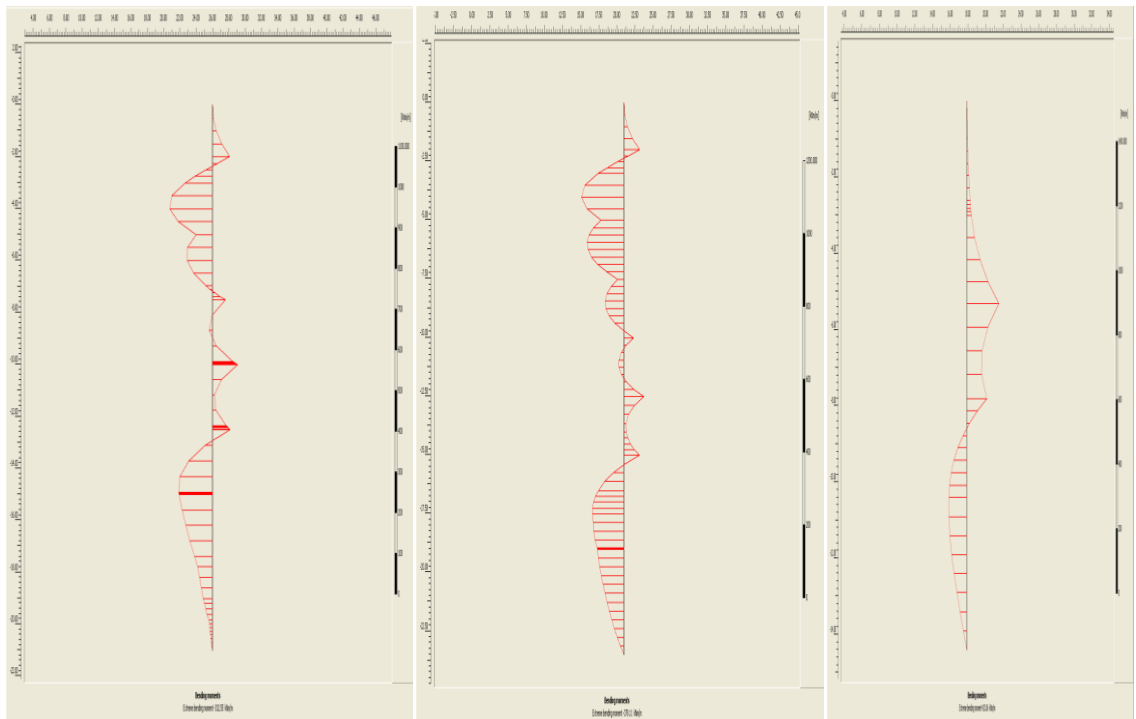


Συνολικές Οριζόντιες μετακινήσεις πασσάλων της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα M2A-B1A, M2A-B1B και M2A-B3

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

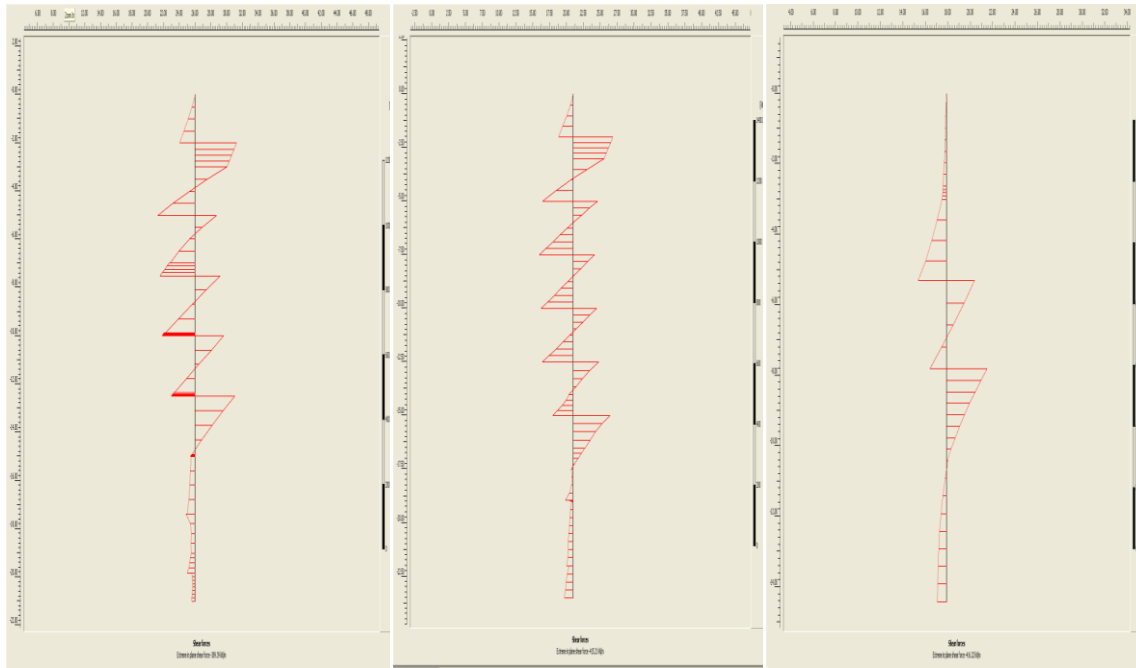


Συνολικές Κατακόρυφες μετακινήσεις πασσάλων της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα M2A-B1A, M2A-B1B και M2A-B3

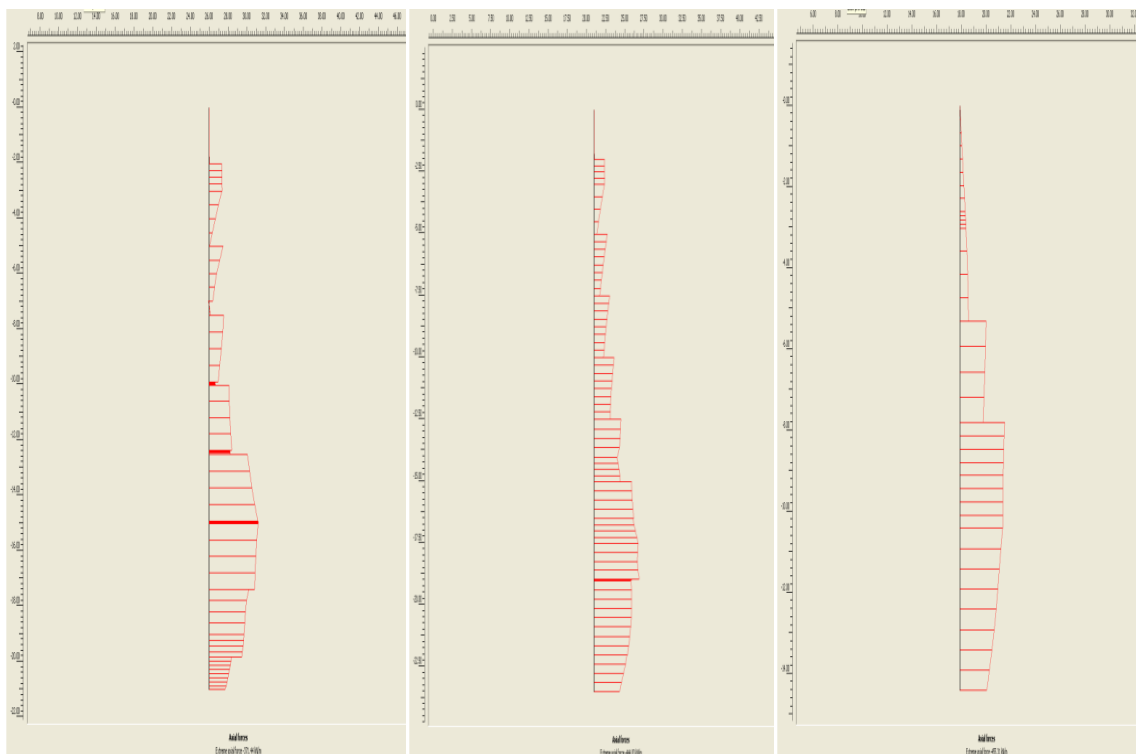


Συνολικές Καμπτικές ροπές των πασσάλων της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομοιώματα M2A-B1A, M2A-B1B και M2A-B3

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

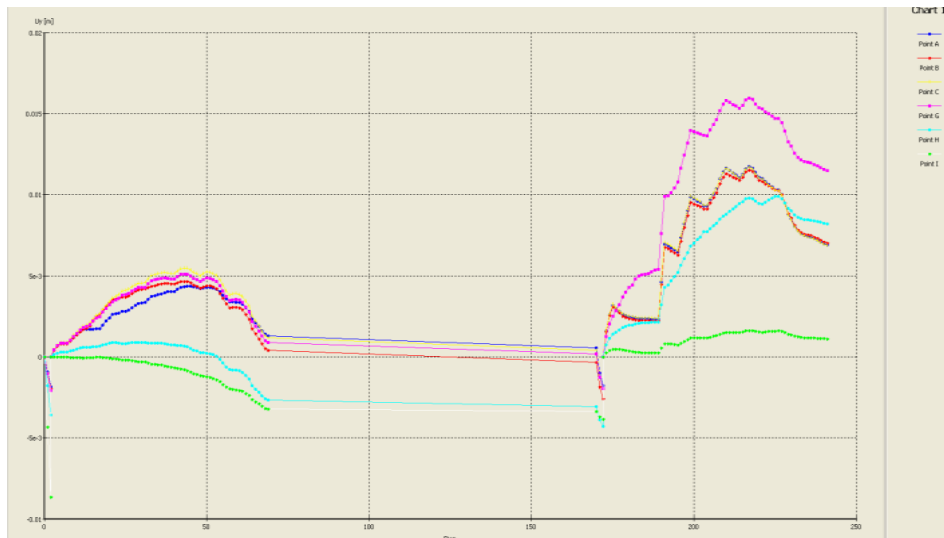


Συνολικές διαμητικές δυνάμεις των πασσάλων της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομιώματα M2A-B1A, M2A-B1B και M2A-B3

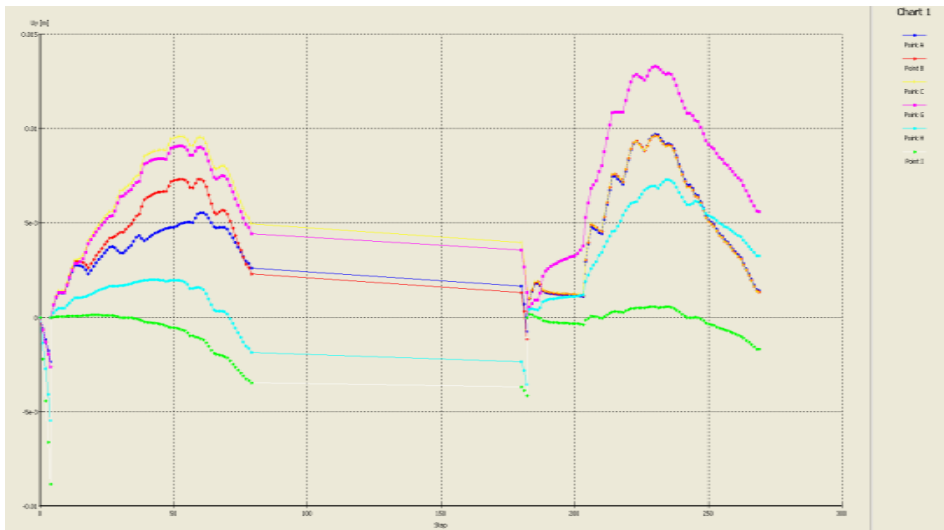


Συνολικές αξονικές δυνάμεις των πασσάλων της εκσκαφής (από αριστερά προς τα δεξιά) για τα προσομιώματα M2A-B1A, M2A-B1B και M2A-B3

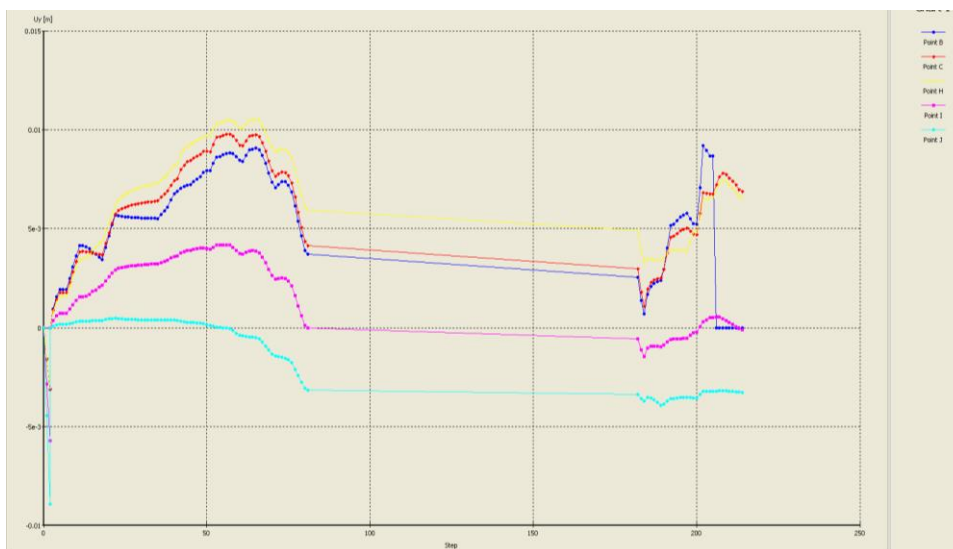
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Κατακόρυφες μετακινήσεις για τα προσομιώματα M2A-B1A

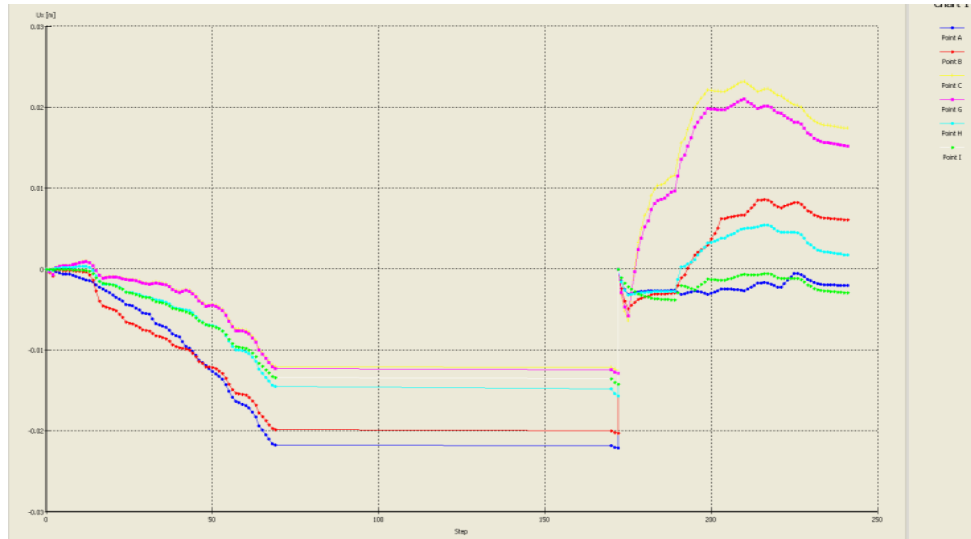


Κατακόρυφες μετακινήσεις για τα προσομιώματα M2A-B1B

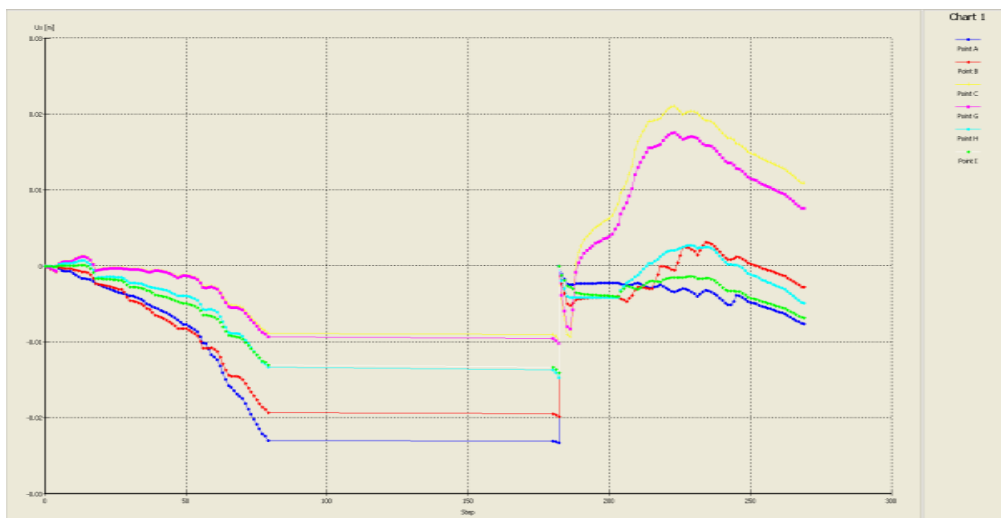


Κατακόρυφες μετακινήσεις για τα προσομιώματα M2A-B3

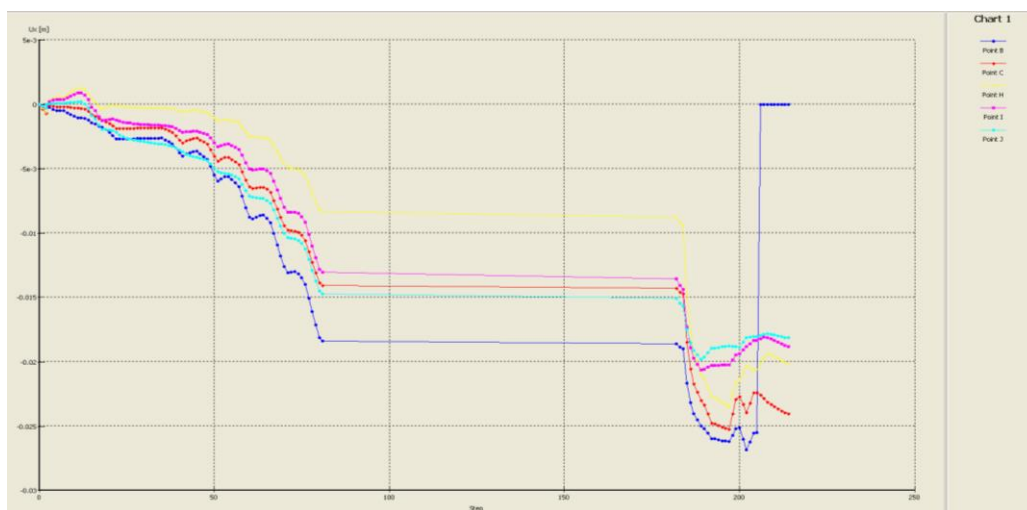
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΒΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ, ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΕΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ «ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ» ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ



Οριζόντιες μετακινήσεις για τα προσομοιώματα M2A-B1A



Οριζόντιες μετακινήσεις για τα προσομοιώματα M2A-B1B



Οριζόντιες μετακινήσεις για τα προσομοιώματα M2A-B3