



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»**  
ΣΧΟΛΕΣ: ΜΗΧ. ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,  
ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ**  
**ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΡΟ**  
**«ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
του

**ΛΑΜΠΡΙΝΙΔΗ ΛΑΜΠΡΟΥ ΕΛΕΘΕΡΙΟΥ**  
Διπλωματούχος Μηχανικός Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης

**Επιβλέπων:** Κωνσταντίνος Λουπασάκης  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, 2021





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

ΣΧΟΛΕΣ: ΜΗΧ. ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,  
ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ  
ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΡΟ**

**«ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**ΛΑΜΠΡΙΝΙΔΗ ΛΑΜΠΡΟΥ ΕΛΕΘΕΡΙΟΥ**

Διπλωματούχος Μηχανικός Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης

**Επιβλέπων:** Κωνσταντίνος Λουπασάκης

Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις ...../...../.....

(Υπογραφή)

.....

Λουπασάκης Κωνσταντίνος  
Αναπληρωτής Καθηγητής

(Υπογραφή)

.....

Μπενάρδος Ανδρέας  
Αναπληρωτής Καθηγητής

(Υπογραφή)

.....

Τσαγγαράτος Παρασκευάς  
ΕΔΙΠ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, 2021

Copyright © Lamprinidis Lampros Eleftherios, 2021  
Με κάθε επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

## Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	12
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	16
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 3 ΚΑΙ Ο ΣΤΑΘΜΟΣ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ.....	28
1.1 Η Αττικό Μετρό Α.Ε.....	28
1.2 Η επέκταση της Γραμμής 3.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	33
2.1 Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής των Αθηνών.....	33
2.2 Γεωλογική δομή και τεκτονικά στοιχεία του Αθηναϊκού σχιστολίθου.....	34
2.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	35
2.4 Γεωλογική περιγραφή κατά μήκος της χάραξης του έργου.....	37
2.5 Γεωτεχνικές συνθήκες του σταθμού Αγίας Βαρβάρας.....	39
2.5.1 Πρώτη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού.....	41
2.5.2 Δεύτερη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού.....	42
2.5.3 Τρίτη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ.....	44
3.1 Μέθοδοι διάνοιξης.....	44
3.1.1 Υπόγεια μέθοδος εκσκαφής NATM.....	45
3.1.2 Ανοικτή εκσκαφή Cut and Cover.....	48
3.1.3 Επίκωση και Εκσκαφή Cover and Cut.....	50
3.2 Μέτρα προσωρινής αντιστήριξης πρανών εκσκαφής.....	52
3.2.1 Τοίχος αντιστήριξης.....	53
3.2.2 Αγκύρια εδάφους-Προεντεταμένα αγκύρια.....	54
3.2.3 Αντηρίδες.....	59
3.2.4 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.....	59
3.3 Μέθοδος διάνοιξης και μέτρα αντιστήριξης σταθμού Αγίας Βαρβάρας.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	70
4.1 Το πρόγραμμα PLAXIS.....	70
4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΕΠΙΛΥΣΕΩΝ.....	72
4.2.1 Φρεατοπάσσαλοι αντιστήριξης.....	72

4.2.2 Προεντεταμένα αγκύρια.....	75
4.2.3 Μεταλλικές αντηρίδες αντιστήριξης .....	77
<b>4.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>77</b>
4.3.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανατολικού συστήματος αντιστήριξης αναφοράς της εκσκαφής .....	77
4.3.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δυτικού συστήματος αντιστήριξης αναφοράς της εκσκαφής .....	86
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΤΟΜΗΣ 1-1 .....</b>	<b>98</b>
5.1 Οργάνωση των παραμετρικών αναλύσεων .....	98
5.2 Παραμετρική ανάλυση Α .....	98
5.2.1 Παραμετρική ανάλυση Α – Επίλυση ανατολικού τμήματος αντιστήριξης .....	98
5.2.2 Παραμετρική ανάλυση Α – Επίλυση δυτικού τμήματος αντιστήριξης .....	108
5.3 Παραμετρική ανάλυση Β .....	119
5.3.1 Παραμετρική ανάλυση Β – Επίλυση ανατολικού τμήματος αντιστήριξης .....	121
5.3.2 Παραμετρική ανάλυση Β – Επίλυση δυτικού τμήματος αντιστήριξης.....	129
5.4 Παραμετρική ανάλυση Γ .....	139
5.4.1 Παραμετρική ανάλυση Γ – Επίλυση ανατολικού τμήματος αντιστήριξης.....	141
5.4.2 Παραμετρική ανάλυση Γ – Επίλυση δυτικού τμήματος αντιστήριξης.....	149
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ .....</b>	<b>159</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>163</b>
Βιβλιογραφία.....	165
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ .....</b>	<b>168</b>
(ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ).....	169
(ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΜΑΔΑΣ Α).....	182
(ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΜΑΔΑΣ Β).....	195
(ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΜΑΔΑΣ Γ).....	208

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. 1: Χάρτης με την χάραξη της επέκτασης της Γραμμής 3.....	30
Σχήμα 1. 2: Τομή του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας όπως είναι στην τελική του όψη ο Σταθμός (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.). .....	32
Σχήμα 2. 1: Γεωτεκτονικές ενότητες του λεκανοπεδίου της Αττικής. Χάρτες της δυτικής και της κεντρικής λεκάνης αντίστοιχα, όπου παρατηρούνται οι εμφανίσεις των ανώτερων σχηματισμών (ΡΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ et al., 2004). 36	
Σχήμα 2. 2:Νεοτεκτονικός χάρτης λεκανοπεδίου Αθηνών. (αρχείο Παπανικολάου Δ. και συνεργάτες 2002). .....	37
Σχήμα 2. 3: Γεωλογικό μοντέλο κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας για την επέκταση της γραμμής 3 «Χαιϊδάρι-Πειραιάς» (Κ.Βορονκay, Τμήμα Τεχνικής Γεωλογίας, Αττικό Μετρό Α.Ε.). .....	38
Σχήμα 2. 4: Κάτοψη του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας με τις θέσεις των γεωτεχνικών τομών σχεδιασμού (Γ.Τ.Σ.). (ΟΒΕΡΜΕΥΕΡ PLANEN + ΒΕΡΑΤΕΝ GmbH, 2013). .....	39
Σχήμα 2. 5:Γεωτεχνική Τομή σχεδιασμού 1 (ΟΒΕΡΜΕΥΕΡ PLANEN + ΒΕΡΑΤΕΝ GmbH, 2013). .....	41
Σχήμα 2. 6:Γεωτεχνική Τομή σχεδιασμού 2 (ΟΒΕΡΜΕΥΕΡ PLANEN + ΒΕΡΑΤΕΝ GmbH, 2013). .....	42
Σχήμα 2. 7:Γεωτεχνική Τομή σχεδιασμού 3 (ΟΒΕΡΜΕΥΕΡ PLANEN + ΒΕΡΑΤΕΝ GmbH, 2013) .....	43
Σχήμα 3. 1:Στάδια εκσκαφής (διάνοιξη) σήραγγας με την μέθοδο NATM σε τρεις διαδοχικές φάσεις (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 1996). 46	
Σχήμα 3. 2:Στάδια εκσκαφής (διάνοιξης) σήραγγας με την μέθοδο NATM σε έξι φάσεις μέσα σε σχηματισμούς έντονα εδαφοποιημένους (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 1996). .....	47
Σχήμα 3. 3:Καμπύλη σύγκλισης -αποτόνωσης της βραχομάζας Επιρροή του χρόνου τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στην πίεση της βραχομάζας επι της υποστήριξης της σήραγγας (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2012). .....	48
Σχήμα 3. 4:Στάδια εφαρμογής της μεθόδου cut and cover (railsystem.net). .....	50
Σχήμα 3. 5:Στάδια εφαρμογής της μεθόδου cover and cut (railsystem.net). .....	52
Σχήμα 3. 6:Διάταξη πασσάλων σε κάτοψη. (α) Ασυνεχής πασσαλότοιχος, (β) Τοίχος τεμνόμενων ή συνεχών πασσάλων (BURRAS Ltd CIVIL ENGINEERING AND PILING CONTRACTORS). .....	54
Σχήμα 3. 7:Σκαρίφημα προεντεταμένου αγκυρίου. Στο σχήμα διακρίνονται όλα τα μέρη από τα οποία αποτελείται το αγκύριο (ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, 1985). .....	55
Σχήμα 3. 8:Εφαρμογή προεντεταμένων αγκυρώσεων για την αντιστήριξη κατακόρυφου πρανούς εκσκαφής ανοικτού ορύγματος (ELEBOR A.E.B.E., 2013). .....	57
Σχήμα 3. 9: Διαδικασία προέντασης των αγκυρίων εδάφους (ELEBOR A.E.B.E., 2013). .....	58
Σχήμα 3. 10: Τεχνικό σκαρίφημα από τα μέρη που αποτελείται ένα αγκύριο εδάφους στο εμπόριο (ELEBOR A.E.B.E., 2013) . .....	58

Σχήμα 3. 11:Εφαρμογή αντηρίδων στήριξης των κατακόρυφων πρανών. (α) Σκαρίφημα εφαρμογής των αντηρίδων στήριξης σε κατακόρυφη εκσκαφή. (BARNES, 2005). (β) Άποψη από το εσωτερικό της εκσκαφής ανοικτού ορύγματος στον σταθμό Ανθούπολης (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.).	59
Σχήμα 3. 12:Μηχανήματα εκτόξευσης σκυροδέματος ξηρής και υγρής μεθόδου αντίστοιχα (SIKA HELLAS ABEE).	60
Σχήμα 3. 13:Προκαταρκτική φάση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Αριστερά πραγματοποιείται ο καθαρισμός της επιφάνειας εφαρμογής από την σκόνη με χρήση νερού, ενώ δεξιά διακρίνεται η σωστή απόσταση ακροφύσιου και επιφάνειας εφαρμογής (SIKA HELLAS ABEE).	61
Σχήμα 3. 14:Διαδικασία ψεκασμού εκτοξευμένου σκυροδέματος (SIKA HELLAS ABEE).	61
Σχήμα 3. 15:Κατασκευαστικά στοιχεία σταθμού μετρό Τομή 2-2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).	63
Σχήμα 3. 16:Κατασκευαστικά στοιχεία σταθμού μετρό, Τομή 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).	64
Σχήμα 3. 17:Κατασκευαστικά στοιχεία σταθμού μετρό Τομή 6-6 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).	65
Σχήμα 4. 1: Παράδειγμα υπολογισμού των υδροστατικών πιέσεων όπως διαμορφώνονται καθώς πραγματοποιείται εκσκαφή από πάνω προς τα κάτω σε διάφορες φάσεις.	71
Σχήμα 4. 2:Προσομοίωμα παραμόρφωσης ανατολικού συστήματος εκσκαφής και αντιστήριξης.	78
Σχήμα 4. 3: Απεικόνιση σημείων παρατήρησης εντός του προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος.	79
Σχήμα 4. 4:Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	80
Σχήμα 4. 5: Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	81
Σχήμα 4. 6: Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	82
Σχήμα 4. 7: Προσομοίωμα παραμόρφωσης δυτικού συστήματος εκσκαφής και αντιστήριξης.	86
Σχήμα 4. 8: Απεικόνιση σημείων παρατήρησης του προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	87
Σχήμα 4. 9: Ολικές μετατοπίσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	88
Σχήμα 4. 10: Οριζόντιες μετατοπίσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	89
Σχήμα 4. 11:Κατακόρυφες μετατοπίσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	91



Σχήμα 4. 1: Παράδειγμα υπολογισμού των υδροστατικών πιέσεων όπως διαμορφώνονται καθώς πραγματοποιείται εκσκαφή από πάνω προς τα κάτω σε διάφορες φάσεις. 71

Σχήμα 4. 2: Προσομοίωμα παραμόρφωσης ανατολικού συστήματος εκσκαφής και αντιστήριξης..... 78

Σχήμα 4. 3: Απεικόνιση σημείων παρατήρησης εντός του προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος. .... 79

Σχήμα 4. 4: Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. .... 80

Σχήμα 4. 5: Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. .... 81

Σχήμα 4. 6: Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. .... 82

Σχήμα 4. 7: Προσομοίωμα παραμόρφωσης δυτικού συστήματος εκσκαφής και αντιστήριξης..... 86

Σχήμα 4. 8: Απεικόνιση σημείων παρατήρησης του προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. .... 87

Σχήμα 4. 9: Ολικές μετατοπίσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. .... 88

Σχήμα 4. 10: Οριζόντιες μετατοπίσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. .... 89

Σχήμα 4. 11: Κατακόρυφες μετατοπίσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. .... 91

Σχήμα 5. 1: Τομή ανατολικού συστήματος αντιστήριξης τύπου A παραμετρικών αναλύσεων. 99

Σχήμα 5. 2: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων τύπου A, ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. .... 100

Σχήμα 5. 3: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση A. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. .... 101

Σχήμα 5. 4: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση της τύπου A Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. .... 102

Σχήμα 5. 5: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την ομάδα A παραμετρικών αναλύσεων. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.. 103

Σχήμα 5. 6: Τομή δυτικού συστήματος αντιστήριξης τύπου A παραμετρικών αναλύσεων..... 108

Σχήμα 5. 7: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων A, δυτικού συστήματος αντιστήριξης. .... 109

Σχήμα 5. 8: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση A. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης..... 109

Σχήμα 5. 9: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση της τύπου A Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης. .... 111

Σχήμα 5. 10: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση A. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης. .... 112

Σχήμα 5. 11: Τομή ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την ομάδα Β παραμετρικών αναλύσεων. ....	119
Σχήμα 5. 12: Τομή δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την ομάδα Β παραμετρικών αναλύσεων. ....	120
Σχήμα 5. 13: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων Β, ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	121
Σχήμα 5. 14: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Β. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	122
Σχήμα 5. 15: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Β. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	123
Σχήμα 5. 16: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων Β, δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	129
Σχήμα 5. 17: Αριθμητικό προσομοίωμα συνολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Β. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	130
Σχήμα 5. 18: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Β. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	131
Σχήμα 5. 19: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Β. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	132
Σχήμα 5. 20: Τυπική διατομή διπλής τροχιάς/διάνοιξη με TBM σήραγγας Μετρό. (πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε./4T00CW403A301A). ....	139
Σχήμα 5. 21: Σκαρίφημα τομής ανατολικής αντιστήριξης. ....	139
Σχήμα 5. 22: Σκαρίφημα τομής δυτικής αντιστήριξης. ....	140
Σχήμα 5. 23: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων Γ, ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	141
Σχήμα 5. 24: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	142
Σχήμα 5. 25: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	143
Σχήμα 5. 26: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	145
Σχήμα 5. 27: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων Γ, δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	149
Σχήμα 5. 28: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	150
Σχήμα 5. 29: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	152
Σχήμα 5. 30: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	153

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 3. 1:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 8 &amp; 9 για το ανατολικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 2-2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	63
<i>Πίνακας 3. 2:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 23 για το ανατολικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 2-2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	63
<i>Πίνακας 3. 3:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 21 για το δυτικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 2-2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	64
<i>Πίνακας 3. 4:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 2 για το δυτικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	64
<i>Πίνακας 3. 5:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 4 για το ανατολικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	65
<i>Πίνακας 3. 6:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 2 για το ανατολικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	65
<i>Πίνακας 3. 7:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων πάσσαλος Νο 8 για το δυτικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	66
<i>Πίνακας 3. 8:Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πασσαλότοιχων Νο 1 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	67
<i>Πίνακας 3. 9:Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πασσαλότοιχων Νο 2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	68
<i>Πίνακας 3. 10:Παραδοχές και υλικά κατασκευής (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).</i>	69
<i>Πίνακας 6. 1:Στοιχεία ευστάθειας αντιστήριξης. Προσδιορισμός συντελεστών ασφαλείας ανά τύπο ανάλυσης.</i>	159

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4. 1:Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης.	80
Διάγραμμα 4. 2:Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	81
Διάγραμμα 4. 3:Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης.	82
Διάγραμμα 4. 4:Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης.	83
Διάγραμμα 4. 5: Χωρική κατανομή διατμητικών (τεμνουσών) δυνάμεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	84
Διάγραμμα 4. 6:Χωρική κατανομή διατμητικών (τεμνουσών) δυνάμεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	84
Διάγραμμα 4. 7:Χωρική κατανομή καμπτικών ροπών στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	85
Διάγραμμα 4. 8:Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	88
Διάγραμμα 4. 9: Ανάπτυξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	90
Διάγραμμα 4. 10: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	92
Διάγραμμα 4. 11: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	93
Διάγραμμα 4. 12: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	93
Διάγραμμα 4. 13:Μέγιστες αξονικές δυνάμεις στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης.	94
Διάγραμμα 4. 14: Μέγιστες αξονικές δυνάμεις στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης.	95
Διάγραμμα 4. 15: Κατανομή διατμητικών (τεμνουσών) δυνάμεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης.	96
Διάγραμμα 4. 16: Κατανομή διατμητικών (τεμνουσών) δυνάμεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης.	96
Διάγραμμα 4. 17:Χωρική κατανομή των καμπτικών ροπών στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	97
Διάγραμμα 4. 18: Χωρική κατανομή καμπτικών ροπών στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.	97
Διάγραμμα 5. 1: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση της τύπου Α .	101

101

Διάγραμμα 5. 2:Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης για την ομάδα Α του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	103
Διάγραμμα 5. 3: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης για την ομάδα Α του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	104
Διάγραμμα 5. 4: Κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης της τύπου Α παραμετρικών αναλύσεων.	105

Διάγραμμα 5. 5: Κατανομή αξονικής δύναμης σε όλο το μήκος του τοίχου αντιστήριξης για την ομάδα Α του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	105
Διάγραμμα 5. 6: Κατανομή διατμητικών δυνάμεων (τεμνουσών) σε όλο το μήκος του τοίχου αντιστήριξης για την ομάδα Α του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ...	106
Διάγραμμα 5. 7: Κατανομή ροπών κάμψεως σε όλο το μήκος του τοίχου αντιστήριξης για την ομάδα Α του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	107
Διάγραμμα 5. 8: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Α. ....	110
Διάγραμμα 5. 9: Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης για την παραμετρική ανάλυση Α του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	111
Διάγραμμα 5. 10: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης για την ομάδα Α του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	113
Διάγραμμα 5. 11: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.....	114
Διάγραμμα 5. 12: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.....	114
Διάγραμμα 5. 13: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α. ....	115
Διάγραμμα 5. 14: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.....	116
Διάγραμμα 5. 15: Κατανομή διατμητικών δυνάμεων (τεμνουσών) σε όλο το μήκος του πρώτου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.....	116
Διάγραμμα 5. 16: Κατανομή διατμητικών δυνάμεων (τεμνουσών) σε όλο το μήκος του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.....	117
Διάγραμμα 5. 17: Κατανομή ροπών κάμψεως σε όλο το μήκος του πρώτου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.....	117
Διάγραμμα 5. 18: Κατανομή ροπών κάμψεως σε όλο το μήκος του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.....	118
Διάγραμμα 5. 19: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Β. ....	122
Διάγραμμα 5. 20: Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Β. ....	124
Διάγραμμα 5. 21: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την ομάδα Β παραμετρικών αναλύσεων. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.....	125
Διάγραμμα 5. 22: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Β. ....	125
Διάγραμμα 5. 23: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.....	126
Διάγραμμα 5. 24: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β. ....	127

Διάγραμμα 5. 25:Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων(τεμνουσών) στον τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.....	127
Διάγραμμα 5. 26:Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.....	128
Διάγραμμα 5. 27:Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Β. ....	130
Διάγραμμα 5. 28: Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Β. ....	132
Διάγραμμα 5. 29: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Β. ....	133
Διάγραμμα 5. 30: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για τον πρώτο τοίχο αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.....	134
Διάγραμμα 5. 31: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.....	134
Διάγραμμα 5. 32:Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων(τεμνουσών) στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β. ....	135
Διάγραμμα 5. 33: Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του πρώτου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.....	135
Διάγραμμα 5. 34: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.....	136
Διάγραμμα 5. 35:Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.....	137
Διάγραμμα 5. 36: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων(τεμνουσών) στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β. ....	137
Διάγραμμα 5. 37:Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.....	138
Διάγραμμα 5. 38: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ.....	143
Διάγραμμα 5. 39: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ. ....	144
Διάγραμμα 5. 40: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ.....	146
Διάγραμμα 5. 41: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	146
Διάγραμμα 5. 42: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.....	147
Διάγραμμα 5. 43: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων(τεμνουσών) στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	147
Διάγραμμα 5. 44: Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	148

Διάγραμμα 5. 45: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ. ....	151
Διάγραμμα 5. 46: Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ. ....	152
Διάγραμμα 5. 47: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ. ....	154
Διάγραμμα 5. 48: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	154
Διάγραμμα 5. 49: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	155
Διάγραμμα 5. 50: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων(τεμνουσών) στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	155
Διάγραμμα 5. 51: Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του πρώτου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	156
Διάγραμμα 5. 52: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	156
Διάγραμμα 5. 53: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	157
Διάγραμμα 5. 54: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων(τεμνουσών) στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	158
Διάγραμμα 5. 55: Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ. ....	158
Ιστόγραμμα 6. 1: Διάγραμμα αξιολόγησης του συντελεστή ασφαλείας στο μέσον της εκσκαφής των διαφόρων αναλύσεων, του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.	160
Ιστόγραμμα 6. 2: Διάγραμμα αξιολόγησης του συντελεστή ασφαλείας στο μέσον της εκσκαφής των διαφόρων αναλύσεων, του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	160
Ιστόγραμμα 6. 3: Διάγραμμα αξιολόγησης του συντελεστή ασφαλείας στην τελική φάση της εκσκαφής των διαφόρων αναλύσεων, του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. ....	161
Ιστόγραμμα 6. 4: Διάγραμμα αξιολόγησης του συντελεστή ασφαλείας στην τελική φάση της εκσκαφής των διαφόρων αναλύσεων, του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. ....	162

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η υφιστάμενη διπλωματική μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων». Πρόκειται για διατμηματικό μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών το οποίο διοργανώνει η σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. και ως συνεργαζόμενα τμήματα συμμετέχουν οι σχολές Πολιτικών Μηχανικών και Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Με την εκπόνηση και κατάθεση της μεταπτυχιακής εργασίας ολοκληρώνεται ο κύκλος σπουδών του διατμηματικού προγράμματος και ακολουθεί η απόκτηση διπλώματος Master of Science.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κωνσταντίνο Λουπασάκη, Αναπληρωτή καθηγητή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., που με εμπιστεύθηκε, μου ανέθεσε και με καθοδήγησε στο παρών τεχνικό θέμα. Επίσης μου προσέφερε τεχνικές γνώσεις και σημαντική βοήθεια κατά την διάρκεια εκπόνησης του θέματος.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. για τα στοιχεία του Σταθμού «Αγία Βαρβάρα» που μου εμπιστεύθηκε και παραχώρησε για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα έχει σαν αποτέλεσμα τις αυξανόμενες απαιτήσεις ως προς την μεταφορά των πολιτών από την μία περιοχή στην άλλη εντός αστικού ιστού, γρήγορα και με ασφάλεια. Το δίκτυο του Μετρό των Αθηνών δραστηριοποιείται από την δεκαετία του 90 στον αστικό ιστό του λεκανοπεδίου της Αττικής και η ύπαρξη του έχει την δυνατότητα να μεταφέρει τους πολίτες από την περιοχή του αεροδρομίου έως το λιμάνι του Πειραιά σε λιγότερο από μία ώρα. Κάθε επέκταση των κύριων αξόνων έρχεται να συμβάλει θετικά στην καθημερινότητα των πολιτών και να βελτιώσει τις ήδη υπάρχουσες κυκλοφοριακές ανωμαλίες στο οδικό δίκτυο της πόλης.

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιείται την συμπεριφορά του συστήματος αντιστήριξης του σταθμού Μετρό Αγία Βαρβάρα. Πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις που σκοπό έχουν την μελέτη και συμπεριφορά της αλληλεπίδρασης του εδαφικού σχηματισμού με διάφορες παραλλαγές στο σύστημα αντιστήριξης του σταθμού. Δεν πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της πραγματικής εκσκαφής. Αντιθέτως από τις αναλύσεις που προέκυψαν αντλούνται στοιχεία από την μελέτη γραφείου και κατασκευάζονται ισοδύναμα ιδεατά μοντέλα. Στο τέλος πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση, εξάχθηκαν συμπεράσματα και συγκρίθηκαν τα δισδιάστατα ιδεατά μοντέλα όπως προέκυψαν από τις επιμέρους αναλύσεις. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση της εργασίας ήταν το PLAXIS V8. Όλα τα απαραίτητα δεδομένα και οι προδιαγραφές για τη μοντελοποίηση του συστήματος αντιστήριξης του Σταθμού, ελήφθησαν από τα την προμελέτη που εκπονήθηκε από την Αττικό Μετρό Α.Ε.

Το αντικείμενο της παραμετρικής ανάλυσης επικεντρώνεται στην αναδιάταξη των τοίχων αντιστήριξης, την αντικατάσταση των αγκύρων με αντηρίδες και τη δημιουργία ενός μικρού αναχώματος στη βάση των τοίχων αντιστήριξης. Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψαν διαγράμματα ολικών, οριζόντιων και κατακόρυφων μετατοπίσεων καθώς και διαγράμματα αξονικών και διατμητικών δυνάμεων και ροπών κάμψης των τοίχων αντιστήριξης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρατηρήθηκε στον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας, όπως προέκυψε ξεχωριστά για κάθε αριθμητική προσομοίωση.



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
**INDERDEPARTMENTAL PROGRAM OF POSTGRADUATE**  
**STUDIES**

**«DESIGN AND CONSTRUCTION OF UNDERGROUND WORKS»**

SCHOOL OF MINING & METALLURGICAL ENGINEERING,  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING, SCHOOL OF RURAL,  
SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING

---

**PARAMETRIC ANALYSIS OF METRO STATION SUPPORT SYSTEMS. THE  
CASE OF AGIAS VARVARAS STATION**

Lamprinidis Lampros-Eleftherios

---

**ARTICLE INFO**

Keywords:

Metro Station

Athenian Schist

Parametric Analysis

Axial Stiffness

Bending Moment

Flexural Stiffness

**ABSTRACT**

The present study deals with the behavior of the support system of the Agia Varvara Metro station. Parametric analyzes were performed to study the behavior and behavior of the soil formation with various variants in the station support system. No assessment of the actual excavation was made. On the contrary, from the analyzes that emerged, data are drawn from the geotechnical study as well as from the ground-support system behavior and equivalent ideal models are constructed. In the end, an evaluation was performed, conclusions were drawn and the two-dimensional ideal models were compared as they emerged from the individual analyzes. The software used to solve the task was PLAXIS V8. All the necessary data and the specifications for the modeling of the support system of the Station, were obtained from the preliminary design data prepared by Attiko Metro SA. The object of the parametric analysis focuses on the rearrangement of the retaining walls, the replacement of the anchors with struts and the creation of a small embankment at the base of the retaining walls. From the analyzes performed, diagrams of total, horizontal and vertical displacements as well as diagrams of axial and shear forces and bending moments of the retaining walls emerged. Particular interest was observed in the calculation of the safety factor, as it emerged separately for each numerical simulation.

---

**1. Introduction**

The geological background of the Attica basin consists of a number of geological formations, which form the Athenian Schist. The Athenian Schist

consists of a series of different lithological formations, which are dominated by the schist-sandstone and limestone phase (Μαρίνος, 1981). The lithological phases of the formation are the clayey, sandstone or sandstone-clay schist, sandstone-to-genuine calcareous schist and clays, marl or calcareous sandstones, sandstone or

limestone, cobblestone and limestone, sandstone and calcareous sandstone. They are spread in the space either horizontally or vertical (Μαρίνος, 1981). In terms of its tectonic characteristics, the Athenian Schist consists of tectonic zones due to large shear stress. This results in loosening of the slate rock mass along the shear zones. The shear zones allow the penetration of groundwater, which has as a consequence the disintegration and degradation of the mechanical characteristics of the rock mass of the Athenian Schist (Καζύλη, 1981).

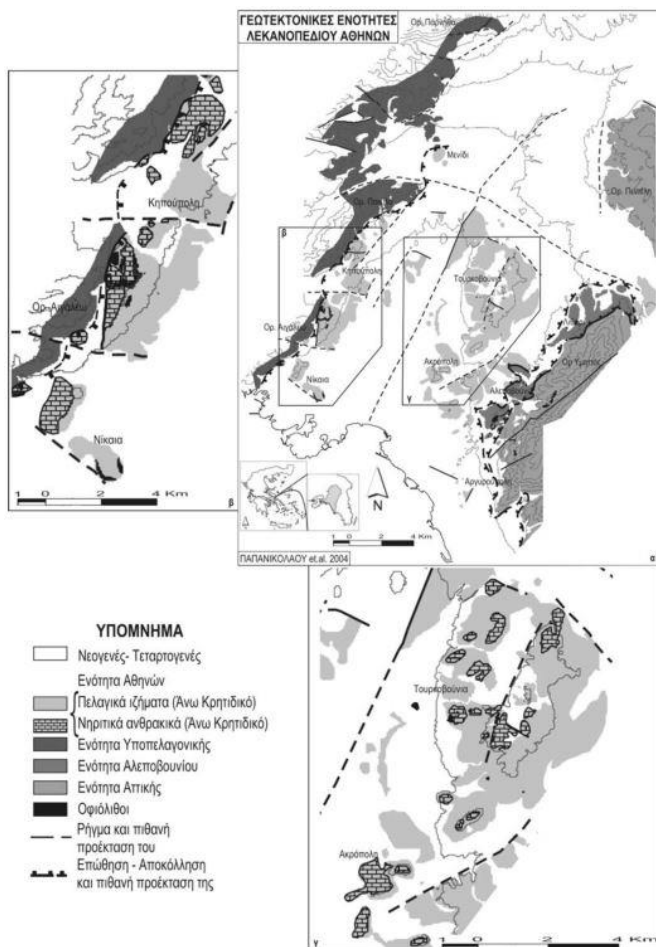


Figure 1: Geotectonic units of the Athens basin. Maps of the western and central Basin respectively, where the occurrences of the upper formations are observed (PAPANIKOLAOU et al., 2004).

For the excavation of the Metro stations, three excavation methods are applied. For the selection of each excavation method, the geotechnical conditions of the formations of the material to be excavated are taken into account. The excavation methods are Cut and Cover, Cover and Cut and New Austrian Tunneling Methods (N.A.T.M.). In practice, the first two are applied either separately or in combination

with the third method. Agia Varvara Station has been constructed using the Cut and Cover method. The excavation was carried out from top to bottom, and mechanical means were used (excavation, loaders, trucks, etc.). ground surface constructions.

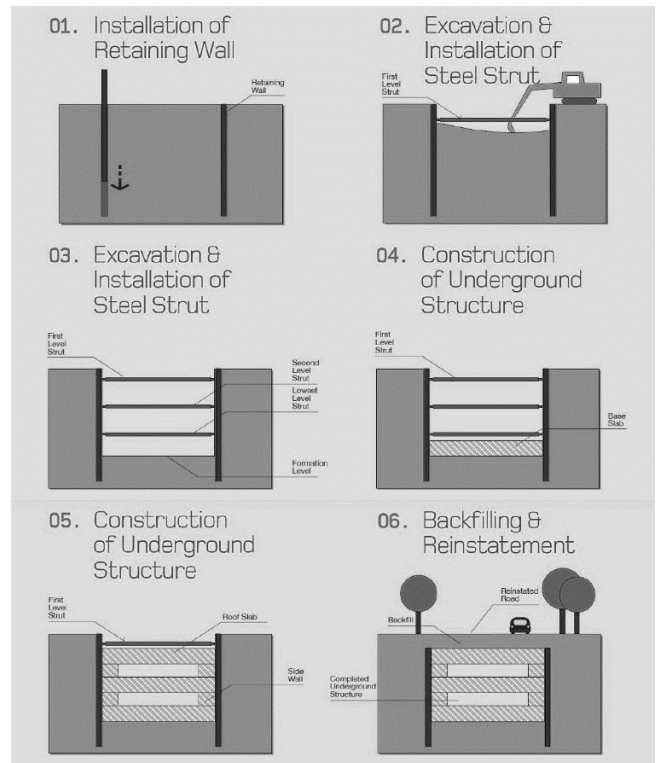


Figure 2: Excavation and lateral support process of the cut and cover method. The figure describes the support using struts (railssystem.net).

## 2. Design parameters and support

The Agia Varvara station is to be constructed in an area which in terms of its geotechnical behavior consists of formations of Lake Margaic Sediments which consist of the geotechnical formations of calcareous clays and siltstones (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013). In the current study, parametric analyzes of the design section 1-1 will be performed. The geotechnical section (figure 3) from top to bottom consists of artificial embankments 1.75m thick. Then follow the alluvial deposits 1.45m thick. Up to a depth of 3.20m the mechanical properties of the soil are low, mainly loose materials with a low cohesive value of about 10kPa and 20kPa. The aquifer is located at 2.34m above the ground. As the excavation depth increases, the formations show high mechanical properties and are found as calcareous limestones and clays with layers and alternations of margaric limestones to a depth of 11.70

m. Finally, the formation that follows from the depth of 11.70m and down is the calcareous siltstones and clay blocks (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013).

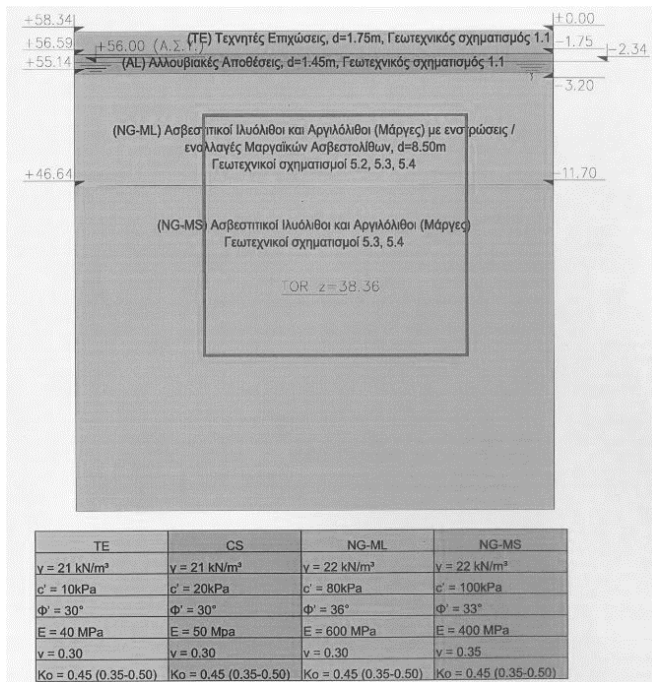


Figure 3: Geotechnical design section in the area of the Station Section 1-1 (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013).

The temporary support of the station starts with the excavation, reinforcement and concreting of 0.80m diameter and C20 / 25 quality concrete piles, which are arranged at a distance of 2.00 m from each other, and have a headband at the top. The vertical structural elements cover the entire perimeter of the trench. In order to take the horizontal loads in parallel with the excavation process in phases, prestressed anchorages and metal supports are installed, up to the appropriate excavation depth. The prestressed anchors consist of 3, 4, 5 or 6 clones (clone diameter 0.6 ") and the anchoring in their fixed part is carried out using unreinforced cement grout quality C16 / 20. The construction material of the anchors is quality steel 1700/1900 with leakage limit 238kN. With the evolution of the excavation in phases in each phase on the front that is created laterally, between the vertical piles reinforcement is carried out with reinforced spraying concrete quality C20 / 25 thickness 0.10m. In addition, to relieve the hydrostatic pressures, drainage holes are drilled on the slopes of the excavation (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013).

### 3. Parametric analysis data

The simulation process will be performed with the Plaxis 2D V8 finite element software. All support components are imported to simulate the parametric analyzes in the Plaxis 2D V8 software. The supporting elements that are simulated are the piles, the prestressed anchors and the metal struts. It is considered a Young's modulus  $E_b = 25 \text{ GPa}$ . For the support elements mentioned above, the calculation of the "EA" axial stiffness and the "EI" flexural stiffness is required.

- **For the piles:**

$$E_b A_b = E_b * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (\text{kN}) \quad (3.1)$$

$$A_b = (\pi * D^2) / 4 \quad \text{mm}^2 \quad (\text{pile area}) \quad (3.2)$$

The input of the data in the Plaxis software of the inconvenience values are reduced per meter of length so they are divided by the axial distance of the stakes which is determined around 2.00m.

$$E_b A'_b = \frac{E_b * \frac{\pi * D^2}{4}}{X} \quad (\text{kN/m}) \quad (3.3)$$

$$E_b I = E_b * \frac{\pi * D^4}{64} \quad (\text{kN} * \text{m}^2) \quad (3.4)$$

$$I = (\pi * D^4) / 64 \quad \text{m}^4 \quad (\text{The moment of inertia of the pile}) \quad (3.5)$$

The input of the data in the Plaxis software of the flexural stiffness values are reduced per meter of length so they are divided by the axial distance of the piles which is determined around 2.00m. The retaining wall includes an intermediate wall 0.06m thick. So the final equations of magnitude are defined as follows:

#### Axial stiffness

$$EA = E_b * \frac{(x-D)*w}{x} \quad (\text{kN/m}) \quad (3.6)$$

X: the axial distance between the piles

D: the diameter of the piles

W: the thickness of the partition wall

$E_b$ : the Young's modulus of concrete

From equations (3.3) and (3.6) resulting:

$$EA_{wall} = E_b A'_b + EA \text{ (kN/m)} \quad (3.7)$$

#### Flexural stiffness

$$EI = E_b * \frac{(x-D)*w^3}{x} \text{ (kN * m)} \quad (3.8)$$

X: the axial distance between the piles

D: the diameter of the piles

W: the thickness of the partition wall

E<sub>b</sub>: the Young's modulus of concrete

From equations (3.4) and (3.8) resulting:

$$EI_{wall} = E_b I' + EI \text{ (kN * m)} \quad (3.9)$$

In addition, the weight of the retaining wall per current meter is determined with equivalent slab thickness  $d = 0.648\text{m}$ , and specific weight of concrete  $\gamma = 24\text{kN} / \text{m}^3$ .

$$W = \gamma * d \text{ (kN/m)} \quad (3.10)$$

The Poisson ratio is 0,15.

- **For the prestressed anchors:**

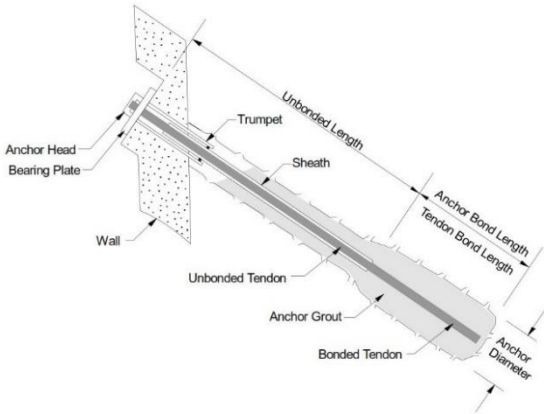


Figure 4: Components of a ground anchor (P.J. SABATINI, 1999)

The prestressed anchors used to solve the analysis are 3rd, 4th and 5th clone. The steel of the prestressed anchors is of quality S1700 / 1900 and Young's modulus  $E_s = 210\text{GPa}$ . The diameter of each strand (cable) is 0.6 "(1,524 cm).

$$A_s = \frac{\pi * d^2}{4} \text{ (clone area)} \quad (3.11)$$

For the anchor bond length:

$$A_{s3} = 3 * A_s \text{ (cm}^2\text{)} \text{ (area for anchor, 3rd clone)} \quad (3.12)$$

$$A_{s4} = 4 * A_s \text{ (cm}^2\text{)} \text{ (area for anchor, 4th clone)} \quad (3.13)$$

$$A_{s5} = 5 * A_s \text{ (cm}^2\text{)} \text{ (area for anchor, 5th clone)} \quad (3.14)$$

Axial stiffness for the anchor bond length:

$$EA_{s3} = E_s * A_{s3} \text{ (kN)} \text{ (for 3rd clone)} \quad (3.15)$$

$$EA_{s4} = E_s * A_{s4} \text{ (kN)} \text{ (for 4th clone)} \quad (3.16)$$

$$EA_{s5} = E_s * A_{s5} \text{ (kN)} \text{ (for 5th clone)} \quad (3.17)$$

For the unbonded length:

$$A_{b3} = \left[ \frac{\pi * d^2}{4} - A_{s3} \right] \text{ (cm}^2\text{)} \text{ (area for anchor, 3rd clone)} \quad (3.18)$$

$$A_{b4} = \left[ \frac{\pi * d^2}{4} - A_{s4} \right] \text{ (cm}^2\text{)} \text{ (area for anchor, 4th clone)} \quad (3.19)$$

$$A_{b5} = \left[ \frac{\pi * d^2}{4} - A_{s5} \right] \text{ (cm}^2\text{)} \text{ (area for anchor, 5th clone)} \quad (3.20)$$

d: anchor diameter (figure 4) (d=10cm)

#### Axial stiffness:

$$EA_{b3} = (E_b * A_{b3}) + EA_{s3} \text{ (kN)} \quad (3.21)$$

$$EA_{b4} = (E_b * A_{b4}) + EA_{s4} \text{ (kN)} \quad (3.22)$$

$$EA_{b5} = (E_b * A_{b5}) + EA_{s5} \text{ (kN)} \quad (3.23)$$

E<sub>b</sub>: The Young's modulus of the anchoring bulb cement mortar (E<sub>b</sub> = 15GPa)

- **For the metal struts**

#### Axial stiffness

$$EA = E_s * A_s \text{ kN} \quad (3.24)$$

$$A_s = \pi * (D^2 - d^2) \text{ m}^2 \quad (3.25)$$

E<sub>s</sub> = 210GPa Young's modulus of steel

D: Outer diameter of the metal strut

d: Inner diameter of metal strut

The placement distance of the struts (horizontal distance) was set at 4.5m (Lspacing).

#### 4. Results of design parametric analysis

The parametric design analysis is called the initial analysis, ie the analysis of the current condition of the Metro station. An analysis of the numerical model (east and west supports) was performed, and diagrams of movement, axial and shear forces, bending moments were obtained.

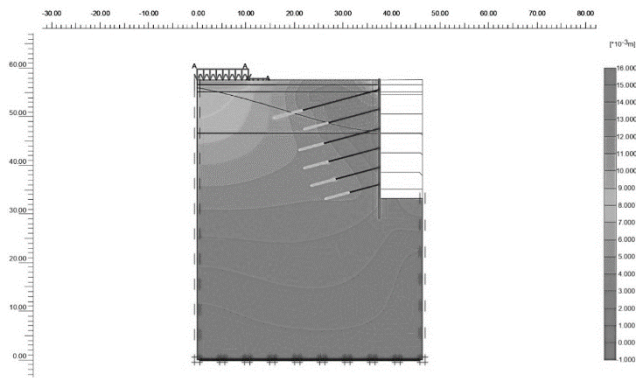


Figure 5: Total displacements of the numerical simulation of the eastern support system

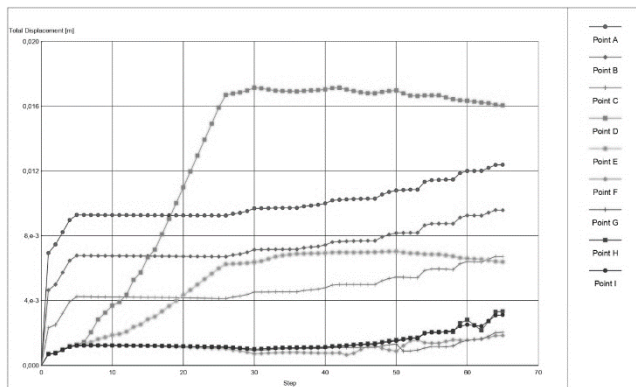


Figure 6: Evolution of the total displacements of the observation points of the eastern support system.

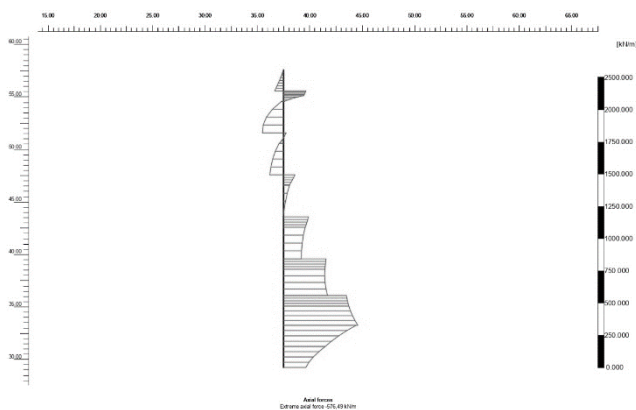


Figure 7: Distribution of axial forces on the retaining wall of the eastern support system.

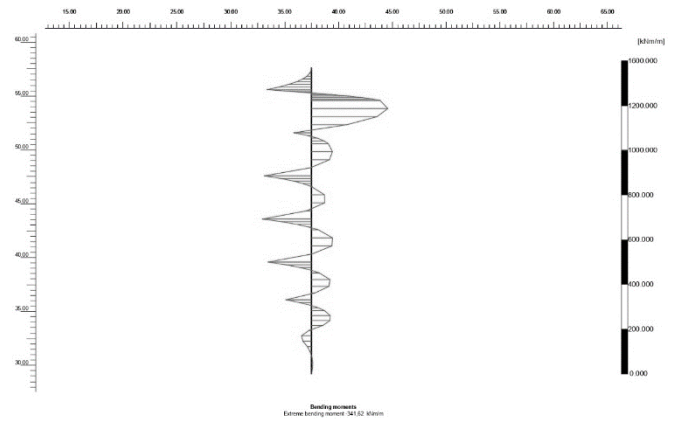


Figure 8: Distribution of bending moments in the retaining wall of the eastern support system.

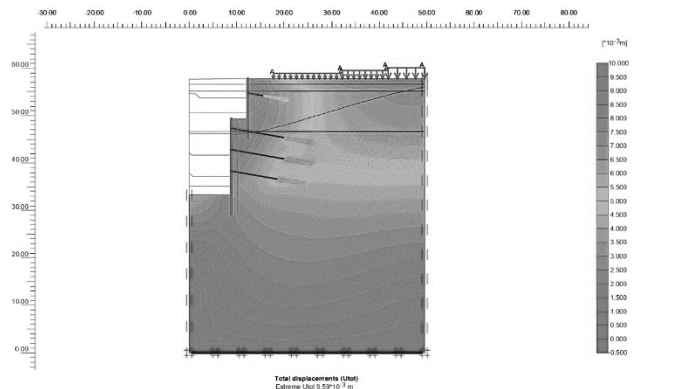


Figure 9: Total displacements of the numerical simulation of the western support system

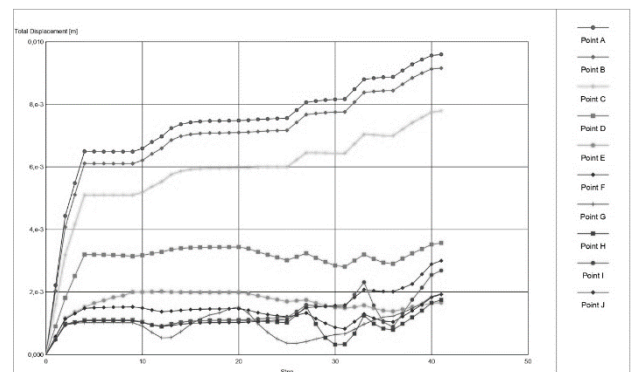


Figure 10: Evolution of the total displacements of the observation points of the western support system.

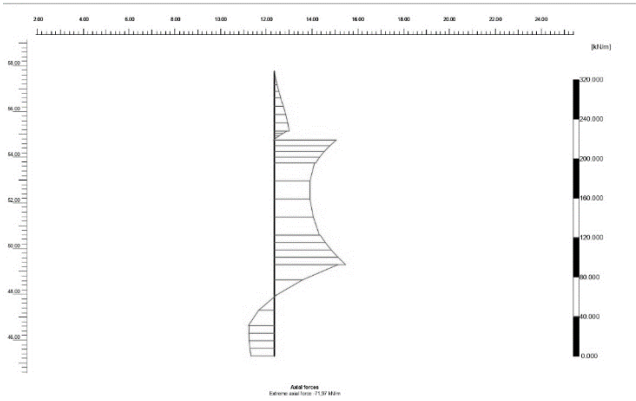


Figure 11: Axial force distribution on the first retaining wall of the western support system.

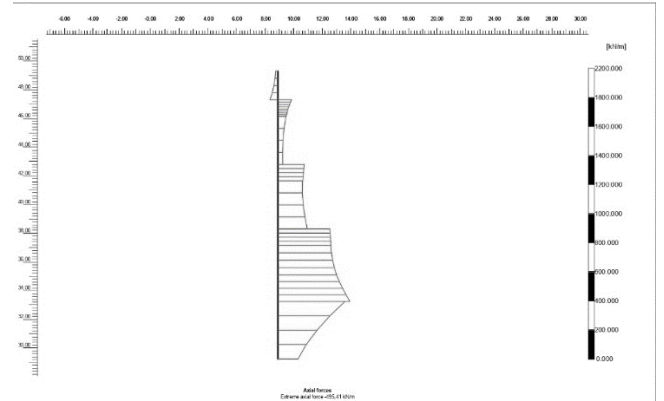


Figure 14: Axial force distribution on the second retaining wall of the western support system.

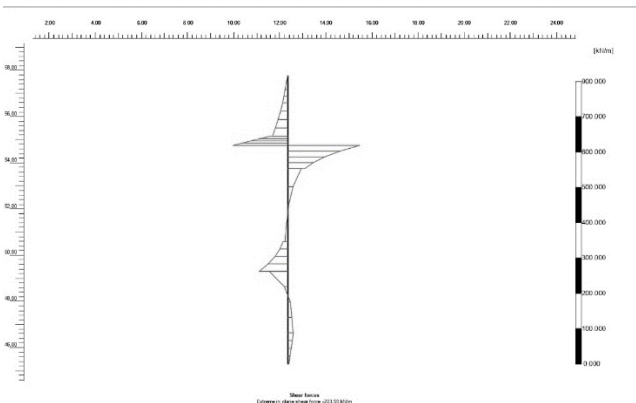


Figure 12: Distribution of shear forces in the first retaining wall of the western support system.

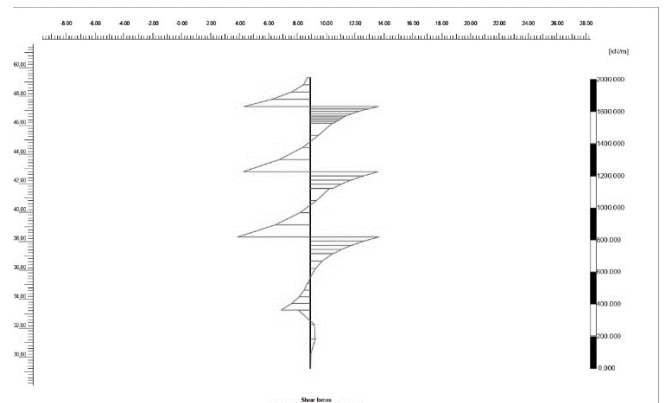


Figure 15: Distribution of shear forces in the second retaining wall of the western support system.

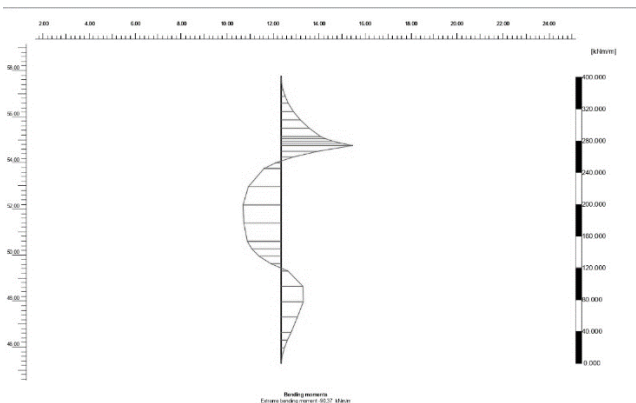


Figure 13: Distribution of bending moments in the first retaining wall of the western support system.

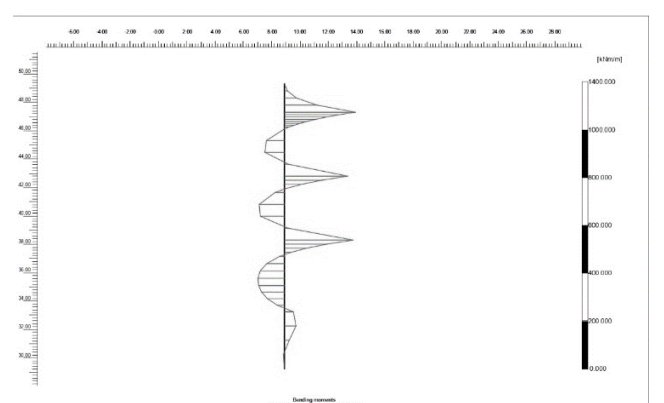


Figure 16: Distribution of bending moments in the second retaining wall of the western support system.

## 5. Results of parametric analysis type A, B, C

To investigate the behaviour of the support system of the open type excavation (cut and cover) of Agia Varvara station, a solution of Section 1-1 was performed, from which technical conclusions emerged. In order to study in detail the soil-construction behavior, three different types of parametric analyzes were selected. The analyzes aim at the study of the movements that the surface structures undergo with the progress of the excavation, but also the study of the development of soil pressures and bending moments that are exerted on the shell of the support system.

### Type A parametric analyze

To perform the parametric analysis A, the solution of the eastern support system, 80cm diameter well pile was used, which is simulated in the software as a slab, and C20 / 25 quality concrete is used as the construction material. Additional structural elements were used metal struts with a modulus young of construction material of 210GPa. The metal struts were developed in two rows with a horizontal distance of 4.5m between them. Finally, three rows of prestressed anchors were used.

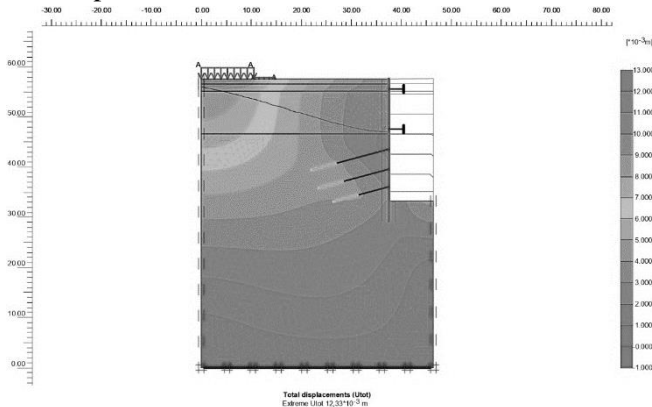


Figure 17: Numerical simulation of total displacements for the parametric analysis of type A. Simulation of eastern support system.

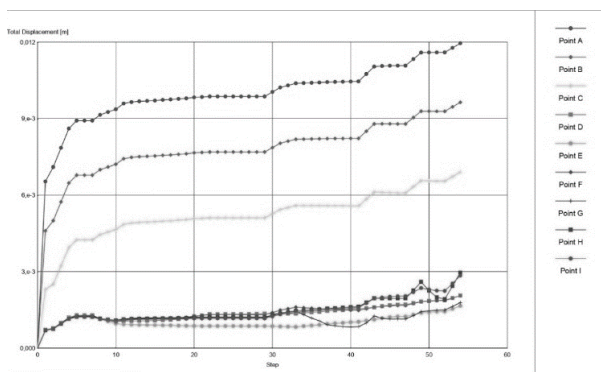


Figure 18: Total displacements for the eastern support system (type A).

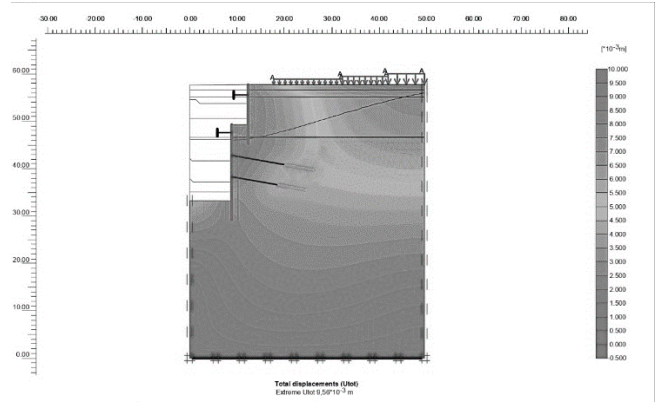


Figure 19: Numerical simulation of total displacements for the parametric analysis of type A. Simulation of western support system.

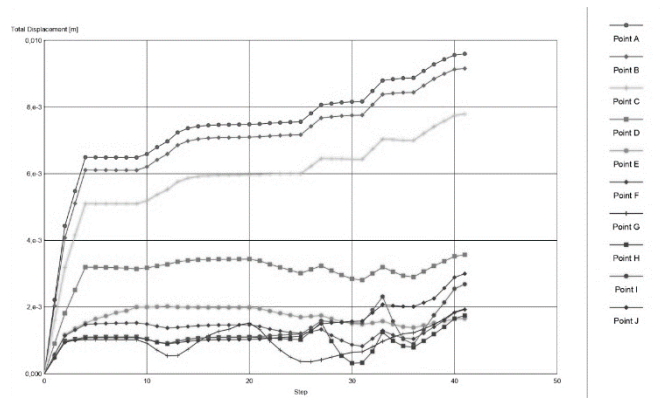


Figure 20: Total displacements for the western support system (type A).

### Type B parametric analyze

Type B parametric analyzes aim at the soil-construction interaction behavior, with the variant of increasing the width of the excavation by two meters relative to the outer side of the excavation.

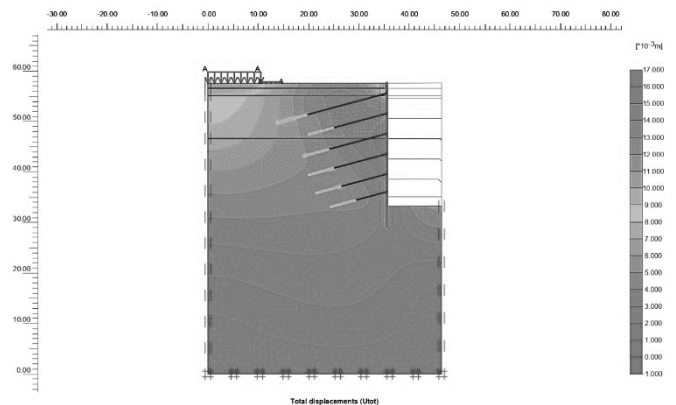


Figure 21: Numerical simulation of total displacements for the parametric analysis of type B. Simulation of eastern support system.



Specifically, the retaining wall will be changed in the eastern section by two meters to the left, while in the western section of the station, only the first retaining wall will be changed by two meters to the right. All other supporting components will remain the same as in the original analyzes.

### Type C parametric analyze

Type C parametric analyzes aim at constructing an embankment at the base of the excavation bottom, right and left of the retaining walls. The location and slope of the embankment is selected based on the specifications of a circular tunnel with a diameter (outer diameter) of 9.50 m, which corresponds to the standard cross section of a metro tunnel, for the passage of trains in a two-way track.

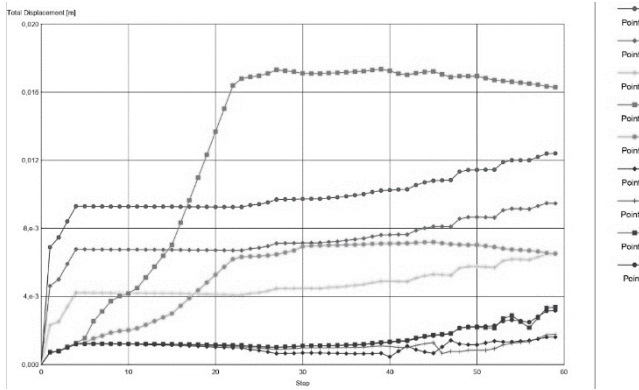


Figure 22: Total displacements for the eastern support system (type B).

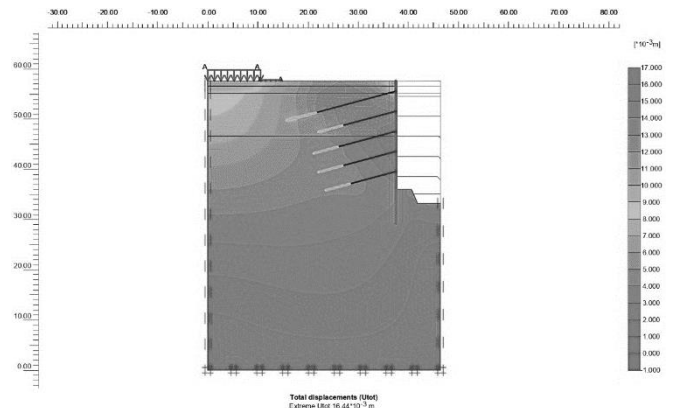


Figure 25: Numerical simulation of total displacements for the parametric analysis of type C. Simulation of eastern support system.

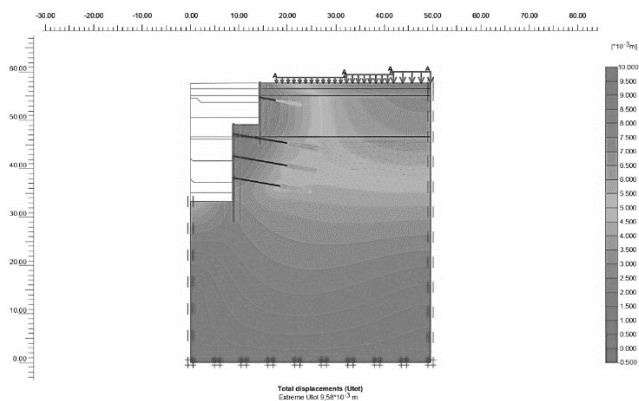


Figure 23: Numerical simulation of total displacements for the parametric analysis of type B. Simulation of western support system.

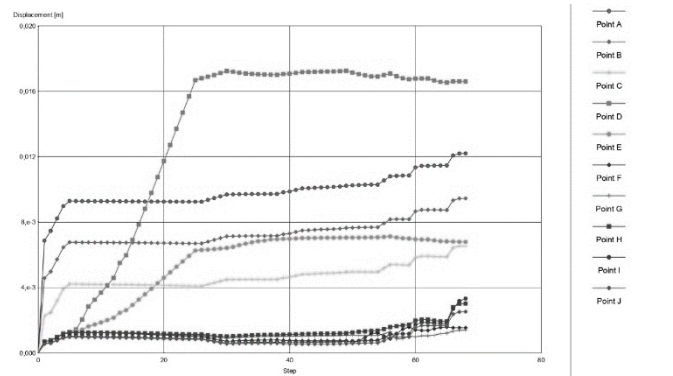


Figure 26: Total displacements for the eastern support system (type C).

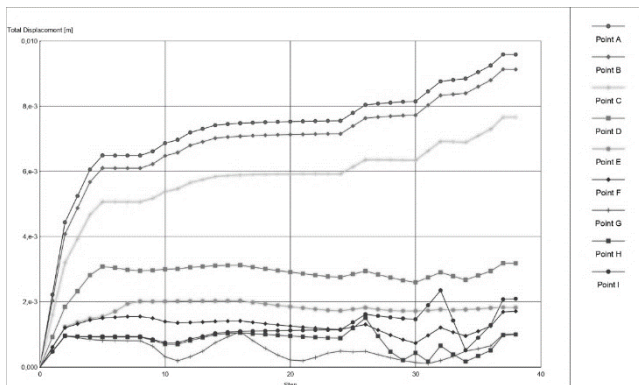


Figure 24: Total displacements for the western support system (type B).

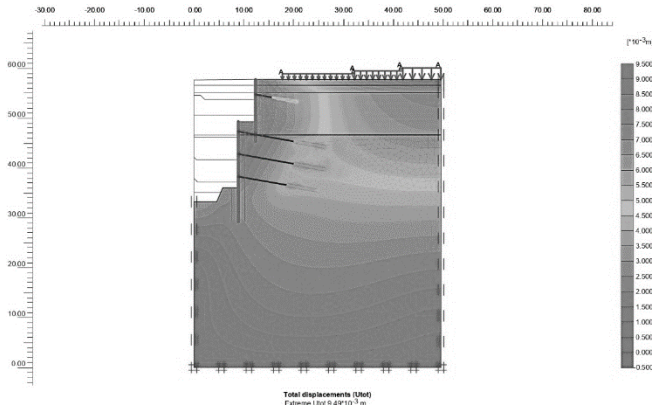


Figure 27: Numerical simulation of total displacements for the parametric analysis of type C. Simulation of western support system.

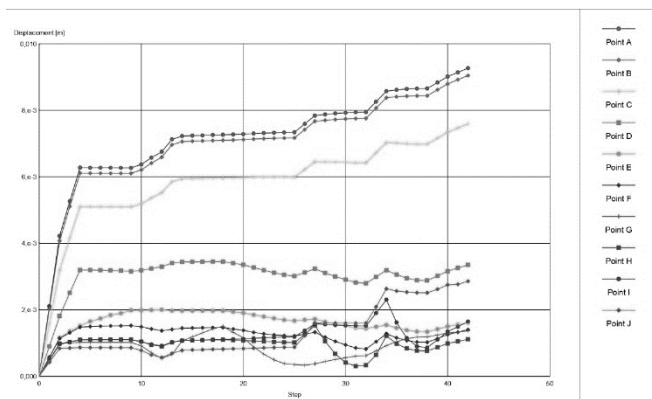


Figure 28: Total displacements for the western support system (type C).

## 6. Safety factor

The calculation of the safety factor in the Plaxis V8 2D program is performed by reducing the terms of shear strength, coherence and friction angle. For the calculation of the safety factor in each numerical simulation a separate calculation is performed, the first is done in the middle of the excavation, ie when the excavation is in the third phase, while the second calculation is performed during the final stage of the excavation, at the completion of the project. It is calculated as follows:

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Shear strength}}{\text{reduced shear strength}} \quad (6.1)$$

$$\text{Safety Factor} = \frac{c - \sigma_n \tan \varphi}{c_r - \sigma_n \tan \varphi_r} \quad (6.2)$$

The parameters  $c$  and  $\varphi$  are the initial design values, while the values  $c_r$  and  $\varphi_r$ , express the reduced values. The final mathematical relation for calculating the safety factor is determined as follows:

$$\text{Safety Factor} = \frac{c}{c_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} \quad (6.3)$$

The following is a summary table for calculating the safety factor per numerical simulation model:

Type of analysis	Eastern system		Western system	
	Excavator phase 3	Final excavation	Excavator phase 3	Final excavation
First Analysis	3,246	2,378	0,865	2,480
Analysis A	3,250	3,212	0,141	3,124
Analysis B	3,320	2,325	4,138	2,518
Analysis C	3,240	2,463	1,036	2,616

Table 1: Determination of safety factors by type of analysis.

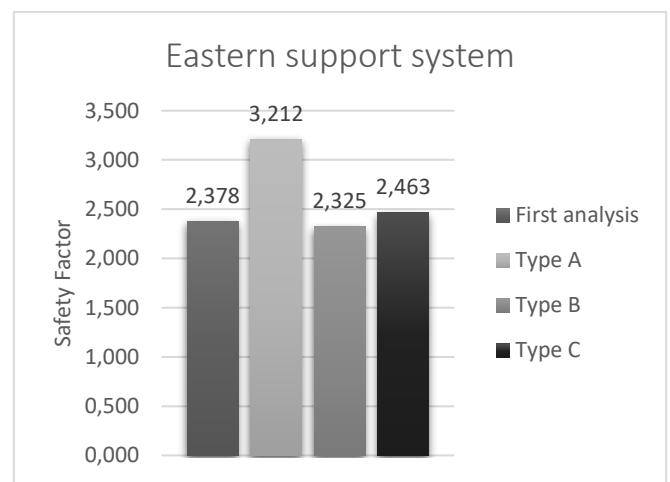


Chart 1: Evaluation of the safety factor in the final phase of the excavation of the various types of analysis, the eastern support system.

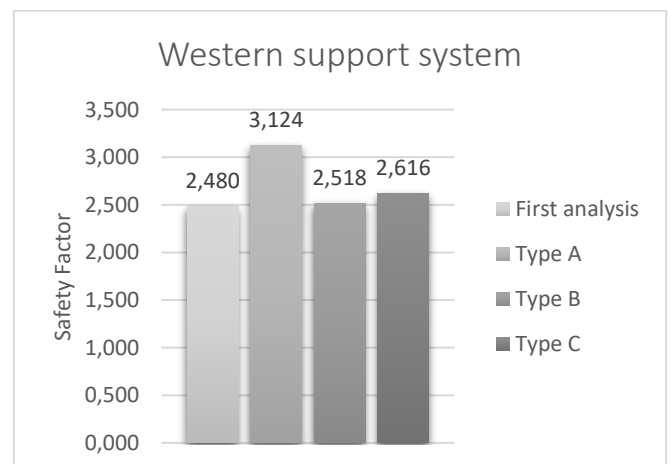


Chart 2: Evaluation of the safety factor in the final phase of the excavation of the various types of analysis, the western support system.

## 7. Conclusions

In order to study the ground-support interaction of Agia Varvara station, three types of parametric analysis were solved, from which numerical simulation models emerged. The numerical simulation models as well as the accompanying diagrams of the numerical models were evaluated and conclusions were drawn about the behaviour of the excavation according to the transformations that occurred in the support system. In addition, observation points were defined in the resulting diagrams for a more detailed evaluation of the results. Finally, the safety factor was calculated per type of solution. In each excavation section (support system) two values of the safety factor were determined. The calculation is focused during the intermediate phase of the project, while the second calculation is set during the final phase of the work, with the completion of the excavation and support.

The calculations revealed differences in the studied magnitudes, such as movements, axial forces (ground thrusts), bending moments, etc. Cumulatively from the data so far and from the three types of analysis, the example with the use of struts seems to show the best behaviour in terms of the development of movements and the behaviour of the ground on the support system, compared to the other types of solution. Regarding the calculation of the safety factor, the example of solving with the application of metal struts, showed better stability with the safety factor being set at 3,212 for the eastern system and 3,124 for the western system.

The results obtained from the analysis are not intended to judge the design of the station but aim at understanding the behaviour of the support measures by parametrically changing their geometry.

## 8. Reference

*OBBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH. (2013), Σταθμός "Αγία Βαρβάρα" – Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης (3SW6CW395R), Αττικό Μετρό Α.Ε.*

Sabatini P.J., Pass D.G., Bachus R.C. (1999), *GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR No.4 – Ground Anchors and Anchored Systems, FHWA-IF-99-015, Office of Bridge Technology, Washington*

*Papanikolaou D.I., Loizos S.G., Soukis K. & Skourtsos Em., (2004), The Geological Structure of the Allochthonous "Athens Schist", 10th International Congress, Thessaloniki 2004, Bulletin of the Geological Society of Greece, vol XXXVI*

*Μαρίνος Γ., Ανδρονουπουλος Β., Μούγιαρης Ν., Γεωτεχνικά προβλήματα του Αθηναϊκού σχιστόλιθου, "Ο Αθηναϊκός Σχιστόλιθος από Γεωλογική Σκοπιά", Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.), 22 Μαΐου 1981, Αθήνα*

*Καζίλη Ν., Γεωτεχνικά προβλήματα του Αθηναϊκού σχιστόλιθου, "Τεχνική Γεωλογία του Συστήματος του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου", Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.), 22 Μαΐου 1981, Αθήνα*

*railssystem.net:*

<http://www.railssystem.net/cut-and-cover/>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 3 ΚΑΙ Ο ΣΤΑΘΜΟΣ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ

### 1.1 Η Αττικό Μετρό Α.Ε.

Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. αποτελεί μια σύγχρονη εταιρεία δημοσίου συμφέροντος και ασχολείται εξ ολοκλήρου με την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας. Στην σημερινή εποχή το Μετρό της Αθήνας διευκολύνει καθημερινά 938.000 επιβάτες (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.) οι οποίοι μεταφέρονται από την μία άκρη της Αττικής στην άλλη μέσω των δύο βασικών γραμμών της. Συγκεκριμένα το Μετρό της Αθήνας αναπτύσσεται σε δύο συγκοινωνιακούς άξονες την Γραμμή 2 (Ανθούπολη-Ελληνικό), και την Γραμμή 3 (Αγία Μαρίνα-Δουκίσσης Πλακεντίας). Το συνολικό μήκος των δυο γραμμών υπολογίζεται περίπου στα 59,7 km (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.) ενώ το συνολικό πλήθος των σύγχρονων σταθμών του είναι περί τους 40. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο δίκτυο των σταθμών του Μετρό εντάσσονται και οι τέσσερις σταθμοί που εξυπηρετούν την γραμμή Δουκίσσης Πλακεντίας-Αεροδρόμιο με συνολικό μήκος ανάπτυξης τα 20,7 km (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.), η οποία εξυπηρετείται και από τον Προαστιακό σιδηρόδρομο. Αξίζει να σημειωθεί ότι το όφελος που επιφέρει στην πόλη των Αθηνών το έργο του Μετρό είναι η ελαχιστοποίηση της κίνησης των οχημάτων στο οδικό δίκτυο της πόλης, με την μείωση των μετακινήσεων των Ι.Χ. κατά 250.000 περίπου ημερησίως (ΚΟΥΚΟΥΤΑΣ, 2001, ΕΠΩΝΥΜΩΣ, «Ενημερωτικό Δελτίο» Τ.Ε.Ε., 2156, σ. 129). Το επίτευγμα αυτό είναι ζωτικής σημασίας διότι περιορίζεται η ατμοσφαιρική ρύπανση, ενώ βελτιώνεται σημαντικά η ποιότητα ζωής των πολιτών. (ΚΟΥΚΟΥΤΑΣ, 2001, ΕΠΩΝΥΜΩΣ, «Ενημερωτικό Δελτίο» Τ.Ε.Ε., 2156, σ. 129). Η τεχνική εξέλιξη της εταιρείας δεν είναι στάσιμη καθώς τον Μάρτιο του 2012 υπογράφηκε η σύμβαση με τον ανάδοχο για την επέκταση της Γραμμής 3 από την Αγία Μαρίνα προς τον Πειραιά. Η χάραξη της νέας Γραμμής υπολογίζεται στα 7,6 km (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.) και προϋποθέτει την κατασκευή 6 νέων σταθμών με τερματικό σταθμό στο Δημοτικό θέατρο του Πειραιά. Η επέκταση προς Πειραιά στην φάση της ολοκλήρωσής της θα μπορεί να εξυπηρετεί επιβάτες από και προς το Αεροδρόμιο με ταχύτητα και ασφάλεια (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.).

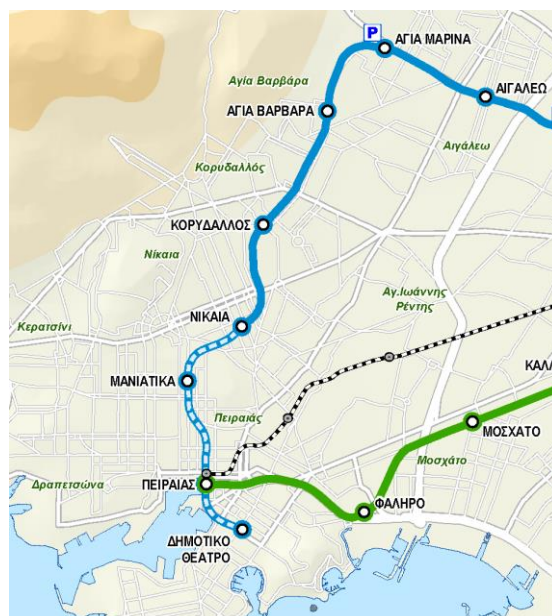
Εκτός από το δίκτυο του υπόγειου σιδηρόδρομου της Αθήνας, η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. έχει προχωρήσει στην ανάπτυξη του υπόγειου σιδηρόδρομου της πόλης της Θεσσαλονίκης, με την κατασκευή του δικτύου του Μετρό. Το έργο της Θεσσαλονίκης αποτελείται από την κεντρική Γραμμή συνολικού μήκους 9,6 km (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.) και

αποτελείται από 16 σύγχρονους Σταθμούς. Από την έναρξη του έργου και μέχρι σήμερα οι εργασίες κατασκευής του έργου είναι σε προχωρημένο στάδιο καθώς οι δύο μηχανές ολομέτωπης κοπής κατασκευάζουν δύο παράλληλες σήραγγες διπλής τροχιάς σε βάθη που αγγίζουν τα 16 έως και 31 m (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.). Η κατασκευή του Μετρό της Θεσσαλονίκης αξιολογείται πως θα είναι τεχνικά ανώτερο από εκείνο των Αθηνών. Μέσα στον προγραμματισμό της κατασκευής του υπόγειου σιδηροδρομικού δικτύου της Θεσσαλονίκης, έχει ενταχθεί και η επέκταση προς Καλαμαριά, η οποία θα αναπτύσσεται σε μήκος χάραξης 4,8km και προβλεπεται να κατασκευαστούν πέντε νέοι σταθμοί και θα εξυπηρετούν καθημερινά 65.000 επιβάτες (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.). Παράλληλα με τις εργασίες κατασκευής του έργου βρίσκεται σε μελετητικό στάδιο η επέκταση προς Σταυρούπολη. Με την ολοκλήρωση των έργων του Μετρό της Θεσσαλονίκης θα αλλάξει εξ ολοκλήρου η καθημερινότητα των πολιτών της συμπροτεύουσας.

## **1.2 Η επέκταση της Γραμμής 3**

Κάθε χρόνο όλο και περισσότεροι συμπολίτες μας έχουν την τάση να καταφθάνουν στα μεγάλα αστικά κέντρα επικαλούμενοι λόγους εργασίας. Η Αθήνα στο μέλλον θα μετατραπεί σε μία πράσινη πόλη με έντονη δραστηριότητα στις υπόγειες συγκοινωνιακές μεταφορές. Η νέα επέκταση της Γραμμής 3 «Αγία Μαρίνα – Δημοτικό Θέατρο Πειραιά», θα αποτελέσει τον υπόγειο σιδηροδρομικό άξονα που θα ενώσει τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών «Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος» με το μεγαλύτερο λιμάνι της χώρας το Λιμάνι του Πειραιά. Ο σχεδιασμός της χάραξης του έργου έρχεται να δώσει λύση στα προβλήματα για τους κατοίκους των περιοχών (Νίκαιας, Κορυδαλλός, Αγία Βαρβάρα), οι οποίοι για πολλά χρόνια αντιμετώπιζαν κυκλοφοριακά προβλήματα καθώς επίσης και έντονα φαινόμενα συνωστισμού στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.). Ο υπόγειος σιδηρόδρομος πλεονεκτεί κατά πολύ σε σχέση με τα υπόλοιπα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς διότι λειτουργεί ως αυτόνομο μέσο μεταφοράς για την κοινωνία της πρωτεύουσας. Το συνολικό μήκος χάραξης της σήραγγας ανέρχεται στα 7,6km και περιλαμβάνει έξι νέους σταθμούς (Αγία Βαρβάρα, Κορυδαλλός, Νίκαια, Μανιάτικα, Πειραιάς, Δημοτικό Θέατρο) εξυπηρέτησης πολιτών (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.). Σύμφωνα με τα μέχρι στιγμής στοιχεία της Αττικό Μετρό Α.Ε. οι πρώτοι τρεις νέοι σταθμοί της γραμμής θα εξυπηρετούν καθημερινά πάνω από 653.000 επιβάτες στο συγκοινωνιακό δίκτυο του Μετρό (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.). Αξίζει να σημειωθεί ότι με την ολοκλήρωση του έργου η περιοχή του Πειραιά, θα αναβαθμιστεί ακόμα

περισσότερο διότι θα δημιουργηθεί ένα μεγάλο συγκοινωνιακό έργο που θα περιλαμβάνει την Γραμμή 1 την Γραμμή 3 καθώς επίσης και τις γραμμές του Τράμ και του Προαστιακού σιδηρόδρομου. Η σπουδαιότητα των υπόγειων έργων και κυρίως του συνολικού δικτύου του Μετρό της Αθήνας θα φανεί σταδιακά στο μέλλον.



Σχήμα 1. 1: Χάρτης με την χάραξη της επέκτασης της Γραμμής 3.

Η χάραξη του έργου ξεκινά από την Χ.Θ. 1+418,552 και ολοκληρώνεται στην Χ.Θ. 8+968,954. Η σήραγγα των συνολικά 7,6km διαιρείται σε δύο τμήματα, εκ των οποίων το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει τα πρώτα 6,5km για την διάνοιξη των οποίων χρησιμοποιείται Μηχάνημα Ολομέτωπης κοπής ΤΒΜ, ενώ το υπόλοιπο τμήμα της χάραξης που αποτελείται από δύο υπο-τμήματα ένα στην αρχή και ένα στο τέλος της χάραξης υλοποιείται με υπόγεια εκσκαφή. Τα κύρια κατασκευαστικά έργα κατά μήκος του έργου σύμφωνα με την εργασία των (Παπανγέρη Α. Γεωργία, 2012, σσ. 38-39) είναι:

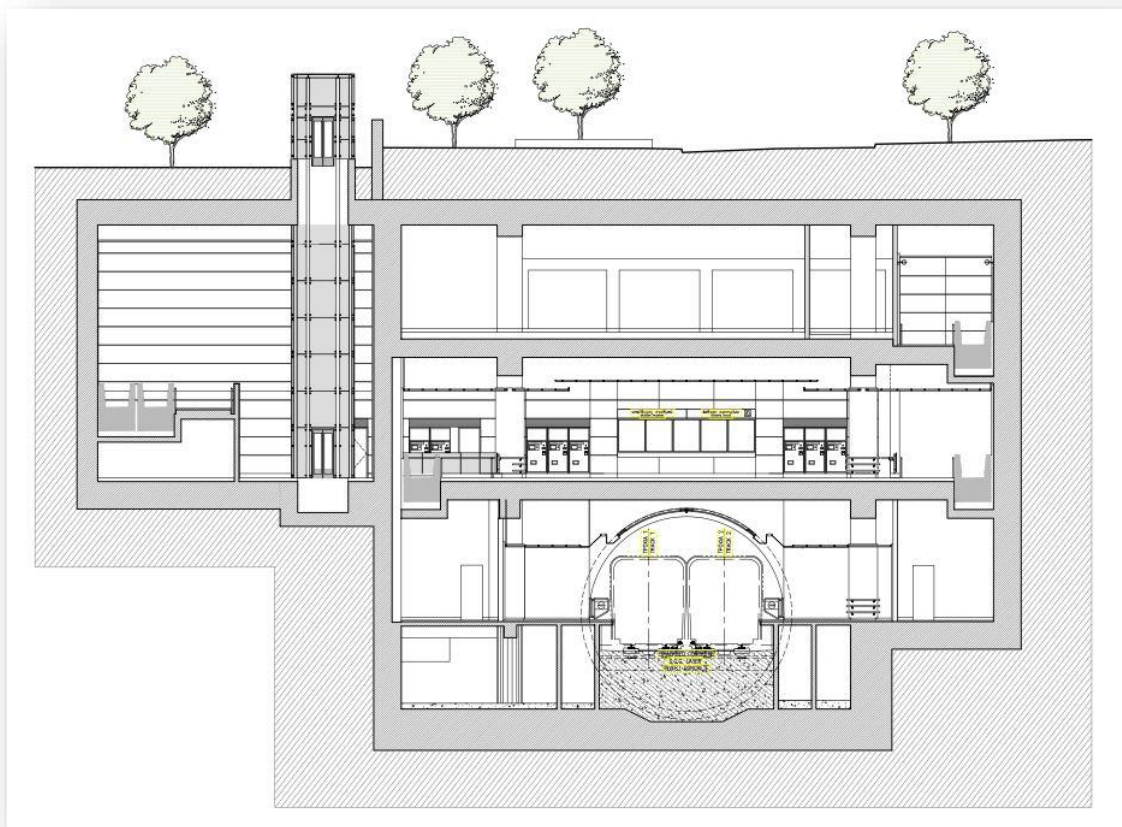
- Ο σταθμός Αγίας Βαρβάρας κατασκευάστηκε με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος.
- Ο σταθμός Κορυδαλλός κατασκευάστηκε με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος.
- Ο σταθμός Νίκαια κατασκευάστηκε, το ένα τμήμα με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος, και το άλλο τμήμα με υπόγεια εκσκαφή Ν.Α.Τ.Μ.
- Ο σταθμός Μανιάτικα κατασκευάστηκε εξ' ολοκλήρου με υπόγεια εκσκαφή.

- Ο σταθμός Πειραιά υλοποιήθηκε με την μέθοδο cover and cut (επικάλυψη και κοπή) στην μέθοδο εκσκαφής χρησιμοποιούνται ως κατακόρυφα πετάσματα διαφραγματικοί τοίχοι, λόγω ύπαρξης έντονου υπόγειου νερού.
- Ο σταθμός Δημοτικό Θέατρο κατασκευάζεται ένα τμήμα του με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος και το άλλο τμήμα του με υπόγεια εκσκαφή.
- Η σήραγγα διπλής τροχιάς η οποία βρίσκεται στο φρέαρ εισόδου στην περιοχή του Χαϊδαρίου έχει μήκος 127m και εκτείνεται έως το τέλος της σήραγγας του επίσταθμου στο σταθμό του Χαϊδαρίου.
- Διάνοιξη υπόγειας σήραγγας μήκους 6.505,522m με χρήση μηχανής ολομέτωπης κοπής «TBM» από την Χ.Θ. 1+582,74 έως τη Χ.Θ. 8+748,262
- Διάνοιξη σήραγγας μήκους 220,70m η οποία κατασκευάζεται με υπόγεια εκσκαφή μεταξύ των Χ.Θ. 8+748,262 και Χ.Θ. 8+968,954.

Επιπλέον κατασκευάζονται κατακόρυφα φρέατα σε όλη την έκταση της υπόγειας σήραγγας με την μέθοδο του ανοικτού ορύγματος (Παπαυγένη Α. Γεωργία, 2012, σσ. 38-39). Τα κατασκευαστικά έργα τα οποία υποστηρίζουν το υπόγειο σιδηροδρομικό δίκτυο είναι:

- Φρέαρ Εισόδου: Κατασκευάστηκε στην αρχή του έργου με σκοπό την εκκίνηση του TBM για την έναρξη του έργου. Το φρέαρ μετά την ολοκλήρωση του έργου θα επανεπιχωθεί.
- Φρέαρ Κομνηνού: Φρέαρ αερισμού, διανοίχθηκε μεταξύ του φρέατος εισόδου και σταθμού Αγίας Βαρβάρας.
- Φρέαρ Μεγάλου Αλεξάνδρου: Φρέαρ αερισμού διανοίχθηκε μεταξύ των σταθμών Αγίας Βαρβάρας και Κορυδαλλού.
- Φρέαρ Ταξιαρχών: Αποτελεί φρέαρ αερισμού και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού μεταξύ των σταθμών Αγίας Βαρβάρας – Κορυδαλλού.
- Φρέαρ Πισιδίας: Βρίσκεται μεταξύ των σταθμών Κορυδαλλού και Νίκαιας
- Φρέαρ Βλαχάκου: Βρίσκεται μεταξύ των σταθμών Νίκαιας και Μανιάτικα
- Φρέαρ Μελά: Αποτελεί φρέαρ αερισμού του τμήματος Μανιάτικα -Πειραιάς
- Φρέαρ Ρολόι: Αποτελεί φρέαρ αερισμού μεταξύ των σταθμών Πειραιάς και Δημοτικό θέατρο
- Φρέαρ Δεληγιάννη: Βρίσκεται στην πλατεία Δεληγιάννη. Η κατασκευή του οποίου θα δώσει πρόσβαση στην σήραγγα NATM που θα κατασκευασθεί στον επίσταθμο, και από το ίδιο φρέαρ θα πραγματοποιηθεί και η ανάσχυση του TBM.

- Φρέαρ Πανεπιστημίου: Τερματικό φρέαρ αερισμού.
- Σε όλους τους σταθμούς έχουν διανοιχθεί φρέατα εκτόνωσης/αερισμού. Οι κατασκευές αυτές είναι ενσωματωμένες σε κάθε Σταθμό ή αποτελούν αυτόνομα συστήματα αερισμού στην περιοχή γύρω από κάθε σταθμό.



Σχήμα 1. 2: Τομή του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας όπως είναι στην τελική του όψη ο Σταθμός (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

### 2.1 Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής των Αθηνών

Η ευρύτερη περιοχή των Αθηνών αποτελείται από ένα ιδιαίτερο γεωλογικό υπόβαθρο. Οι σχηματισμοί του γεωλογικού υποβάθρου αποκαλούνται με τον όρο Σχιστόλιθοι των Αθηνών. Ο όρος αυτός αποτελείται από μία σειρά ποικίλων λιθολογικών σχηματισμών, επί των οποίων παρατηρείται η σχιστοψαμμιτική και η ασβεστομαργαϊκή φάση (MAPINOS, 1981). Στρωματογραφικά ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος αποτελείται από ένα μεγάλο γεωλογικό φάσμα το οποίο χρονολογείται από το Παλαιοζωϊκό έως το Άνω Κρητιδικό. Διάφοροι ερευνητές αναζητούν στοιχεία, ενώ τα επικρατέστερα κριτήρια βάση των οποίων απέδωσαν και τα στοιχεία της ηλικίας του, είναι τα χαρακτηριστικά απολιθώματα τα οποία βρέθηκαν κατά την πρόοδο των εκσκαφών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον φαίνεται να υπάρχει για την Άνω Κρητιδική ηλικία των σχιστολίθων, λόγω των στοιχείων που έχουν περισυλλέγει από τις εμφανίσεις ασβεστολίθων στους λόφους του λεκανοπεδίου (MAPINOS, 1981).

Ως προς την λιθολογική του σύσταση ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος περιέχει αργιλικούς σχιστολίθους, ψαμμίτες, μάργες, ασβεστολίθους και μαργαϊκούς ασβεστολίθους έχοντας όλα τα είδη των βασικών και εξελιγμένων λιθολογικών φάσεων (MAPINOS, 1981). Οπότε οι διάφοροι τύποι των λιθολογικών φάσεων είναι οι αργιλικοί, ψαμμιτικοί ή ψαμμιτοαργιλικοί σχιστόλιθοι, ψαμμιτομαργαϊκοί έως γνήσιοι ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι και αργιλικοί, μαργαϊκοί ή ασβεστιτικοί ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ψαμμιτικές και ασβεστολιθικές μάργες, ψαμμούχους ή μαργαϊκούς ασβεστολίθους και γνήσιους ασβεστολίθους (MAPINOS, 1981). Η εξάπλωση των ανωτέρω λιθολογικών τύπων πραγματοποιείται είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα, με την σημασία ότι οι οριζοντιογραφικοί ορίζοντες δεν είναι ευδιάκριτοι. Συνοψίζοντας το σύστημα των σχηματισμών των Αθηνών αποτελείται από τέσσερις ενότητες:

- a. Τους ανώτερους σχιστολίθους με τους μαργαϊκούς σχηματισμούς
- b. Ψαμμιτικούς σχηματισμούς και σχιστολίθους
- c. Τους ασβεστολίθους του Αρδητού
- d. Κατώτεροι σχιστόλιθοι με βασικά χαρακτηριστικά όπως εκείνα των σχιστοψαμμίτων.

Συχνά αναφέρεται ότι κατά το στάδιο των γεωτρητικών ερευνών στα πλαίσια μελέτης των έργων του Μετρό ο επικρατέστερος λιθολογικός τύπος είναι εκείνος της

ψαμμιτομαργαϊκής φάσης, η οποία παρουσιάζεται με την μορφή στρώσεων μαργών ή ασβεστολίθων τεφροκίτρινου ή μαύρου χρώματος (MAPINOS, 1981).

Από ορυκτολογικής σύστασης τα κυριότερα ορυκτά που απαντώνται στους σχηματισμούς του Αθηναϊκού σχιστολίθου είναι ο χαλαζίας, οι αστρίοι, οι μαρμαρυγίες (μοσχοβίτης-σερικήτης, βιοτίτης), πρωτογενές ορυκτό αποτελεί ο ασβεστίτης, επιπλέον ο ίδιος απαντάται και σαν δευτερογενές ορυκτό σε φλεβίδια ή σε πληρώσεις κοιλοτήτων και τέλος ακολουθούν τα αργιλικά ορυκτά (MAPINOS, 1981). Μικρότερης εμφάνισης ορυκτά αποτελούν η κεροστίλβη, ο χλωρίτης πρωτογενής ή δευτερογενής από εξαλλοίωση άλλων ορυκτών, άμορφα πυριτικά ορυκτά, το ρουτίλιο, ο σιδηροπυρίτης, ο μαγνητίτης και άλλα οξείδια σιδήρου δευτερογενούς προέλευσης. Όλα τα προαναφερθέντα ορυκτά συνηπάρχουν με διάφορους συνδιασμούς μεταξύ τους και σε διάφορες αναλογίες με αποτέλεσμα να αποτελούν συστατικά των προαναφερθέντων πετρολογικών τύπων (MAPINOS, 1981).

## **2.2 Γεωλογική δομή και τεκτονικά στοιχεία του Αθηναϊκού σχιστολίθου**

Οι σχηματισμοί του Αθηναϊκού σχιστολίθου καλύπτουν την μεγαλύτερη γεωλογική ενότητα του υποβάθρου της Αττικής. Έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες για την γένεση και την προέλευση αυτών των σχηματισμών οι οποίες οργανώνονται ως εξής:

- Παρατηρείται ότι οι σχιστόλιθοι των Αθηνών με τις ασβεστολιθικές εμφανίσεις στους λόφους του λεκανοπεδίου ανήκουν στην απλή αυτόχθονα ιζηματογενή σειρά Κρητιδικής ηλικίας που μοιάζει με τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς του Υμηττού. Ο ισχυρισμός αυτός προήλθε από τον ερευνητή Lepsius ο οποίος βασίζεται στο ότι ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος αποτελείται από ένα είδος φλύσχη (MAPINOS, 1981).
- Αποτελεί τμήμα μεγάλου τεκτονικού καλύμματος με δομή παράλληλων τεκτονικών λεπίων. Ο ερευνητής KOBEL αναφέρει ότι οι σχιστόλιθοι των Αθηνών εντάσσονται μαζί με τους ασβεστόλιθους Αλεποβουνίου στην ανώτερη σειρά σχηματισμών, οι οποίοι επωθήθηκαν με την μορφή τεκτονικού καλύμματος πάνω στην κατώτερη Αττική σειρά (MAPINOS, 1981).

Ως προς τα τεκτονικά στοιχεία ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος αποτελείται από τεκτονικές ζώνες οι οποίες διακρίνονται σε δύο είδη (KAZILIH, 1981) :

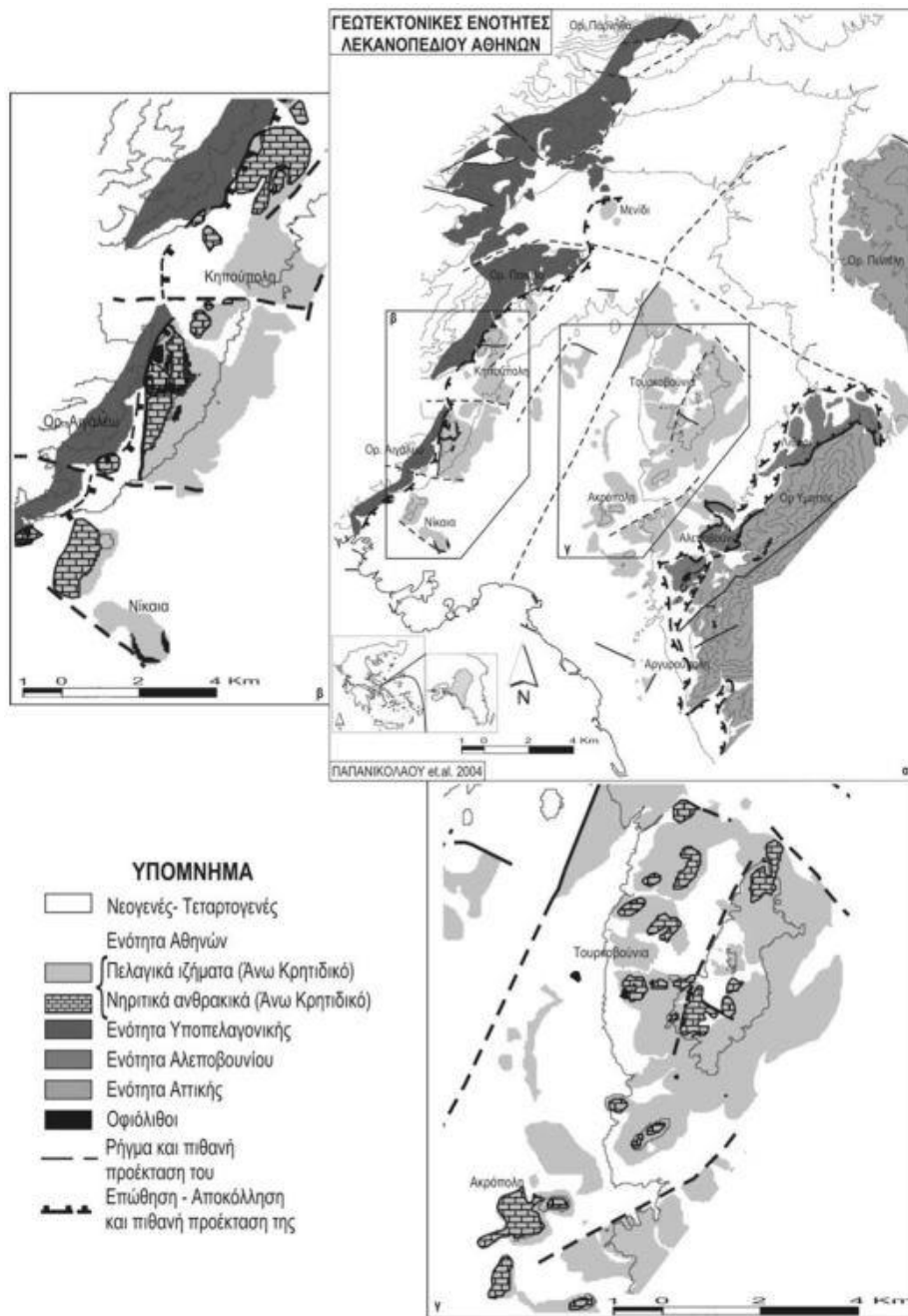
- a. Στο εσωτερικό του σχηματισμού τα αργιλομαργαικά στρώματα αναπτύσσονται σε επιπεύσεις μικρής κλίσης ως αποτέλεσμα της πολύπλοκης μικροπτύχωσης και αναδίπλωσης αυτών
- b. Παρατηρείται έντονη ρηγμάτωση με γωνία  $45^\circ$  στις πλευρές των λόφων του λεκανοπεδίου στους οποίους απαντώνται μυλωνίτες σε ασβεστολιθικά πετρώματα.

Οι ζώνες τεκτονισμού οφείλονται σε διατμητική καταπόνηση ευρείας κλίμακας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προκαλείται χαλάρωση στην βραχομάζα του σχιστολίθου κατά μήκος των ζωνών διάτμησης. Τέτοιου είδους φαινόμενο επιτρέπει την κατείσδυση υπόγειου νερού, το οποίο έχει σαν συνέπεια την αποσάθρωση και την υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας του Αθηναϊκού σχιστολίθου. Στις τεκτονισμένες ζώνες αναμένεται χαμηλή η τιμή της λειτουργικής αντοχής η οποία τείνει να ταυτιστεί με την παραμένουσα αντοχή. Στην δε περίπτωση που ο σχηματισμός είναι αναμοχλευμένος στις τεκτονισμένες ζώνες τότε παρουσιάζεται ακόμα μικρότερη αντοχή της βραχομάζας (KAZIAH, 1981).

### **2.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες**

Η λιθολογικές φάσεις αλλά και το ανισότροπο περιβάλλον που δομεί τον Αθηναϊκό σχιστόλιθο, συνδέεται με χαρακτηριστικά υδρογεωλογικού χαρακτήρα. Λόγω της έντονης ανομοιομορφίας των σχηματισμών παρατηρούνται διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς την υδροπερατότητα την υδατοαγωγιμότητα και την ικανότητα αποθήκευσης νερού εντός των σχηματισμών (ΜΟΥΓΙΑΡΗΣ Ν., 1981).

Υψηλή υδροπερατότητα και ταυτόχρονα μικρή αποθηκευτική ικανότητα αναλόγως το ενεργό πορώδες τους, παρουσιάζουν οι σχηματισμοί των ψαμμιτών και των ασβεστολίθων. Αντιθέτως μέτρια έως χαμηλή υδροπερατότητα παρουσιάζουν οι μάργες και οι σχιστόλιθοι. Λόγω της αποσάθρωσης οι σχηματισμοί που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους κυρίως οι σχιστοψαμμιτικοί σχηματισμοί, παρουσιάζουν περιορισμένη διέλευση υπόγειου νερού. Λόγο της περιορισμένης διέλευσης του υπόγειου νερού, στο τμήμα αυτό αρχίζει και σχηματίζεται ένας υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος εμπλουτίζεται στις περιοχές που απαντώνται οι ασβεστολιθικοί και ψαμμιτικοί σχηματισμοί (ΜΟΥΓΙΑΡΗΣ Ν., 1981). Το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους διαμορφώνεται περί τα 4m έως 6m, ενώ η διέλευσή του ελέγχεται από το υγιές πέτρωμα, το οποίο απαντάται στο κάτω μέρος του αποσαθρωμένου Αθηναϊκού σχιστόλιθου με υδατοστεγανή συμπεριφορά.



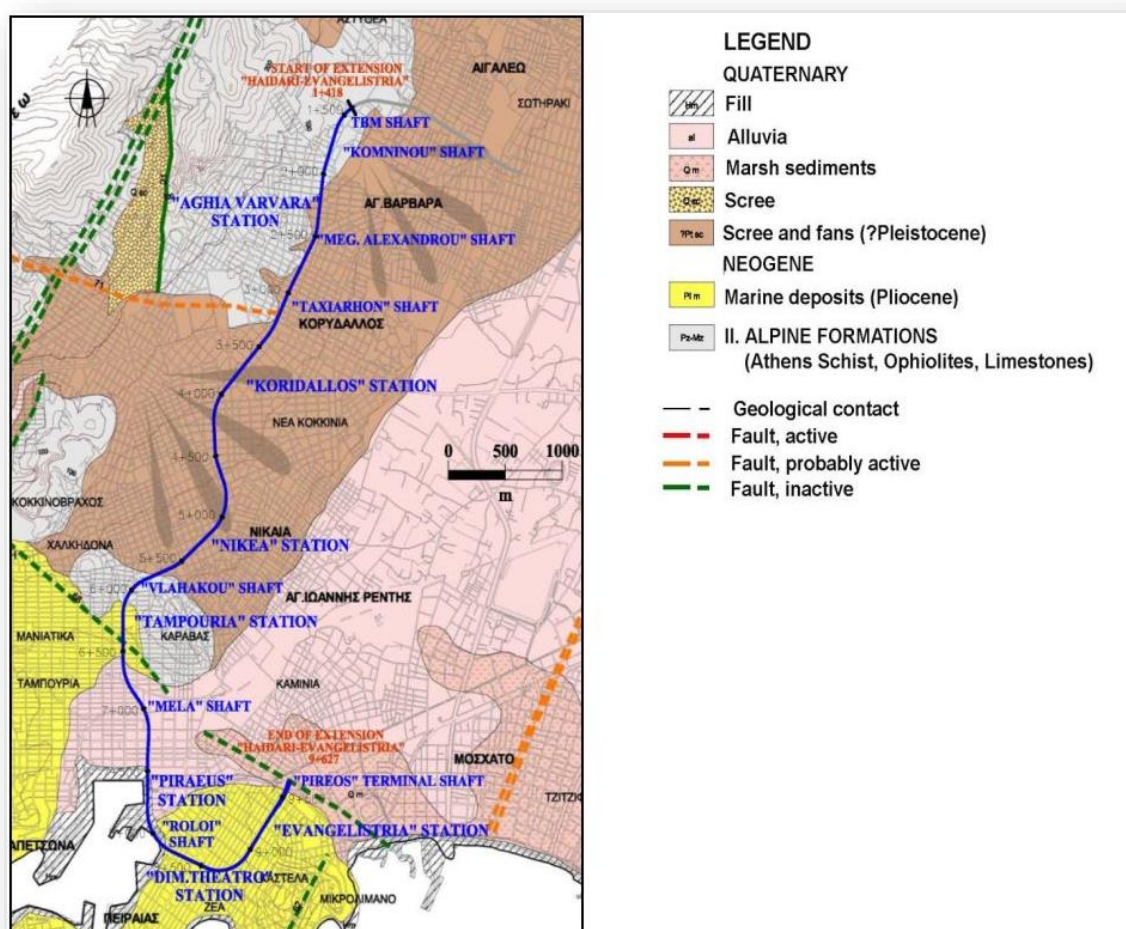
Σχήμα 2. 1: Γεωτεκτονικές ενότητες του λεκανοπεδίου της Αττικής. Χάρτες της δυτικής και της κεντρικής λεκάνης αντίστοιχα, όπου παρατηρούνται οι εμφανίσεις των ανώτερων σχηματισμών (PAPANIKOLAOU et al., 2004).

Αυξημένη υδατογωγιμότητα και ταυτόχρονα μικρή αποθηκευτική ικανότητα παρατηρείται στους σχηματισμούς που βρίσκονται στον ανώτερο ορίζοντα του Αθηναϊκού σχιστόλιθου. Οι σχηματισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται από έντονη ανισοτροπία ως προς την υδραυλική αγωγιμότητα. Γενικά σε όλη την έκτασή του ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος θεωρείται στεγανός σχηματισμός, ενώ παρατηρείται ισχυρή η υδραυλική αγωγιμότητα σύμφωνα με το δευτερογενές πορώδες. Συγκεντρωτικά ο υδροφόρος ορίζοντας σε

μερικάσημεία απαντάται ως εκτεταμένος ενώ σε άλλα διασπάται σε διαδοχικούς και επικρεμάμενους ορίζοντες χωρίς συνεχή επικοινωνία (ΜΟΥΓΙΑΡΗΣ Ν., 1981).

## 2.4 Γεωλογική περιγραφή κατά μήκος της χάραξης του έργου

Σύμφωνα με τους ερευνητές αλλά και τους γεωλογικούς χάρτες σχήμα 2.1 (χάρτης νεοτεκτονισμού), περιγράφεται η κατάσταση των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης από άποψη σεισμικής δραστηριότητας (ΠΑΠΑΥΓΕΡΗ Α. ΓΕΩΡΓΙΑ, ΑΡΒΑΝΙΤΗ Π. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ, 2012). Σε όλη την διαδρομή της χάραξης του έργου τα ρήγματα που τέμνουν τον άξονα της σήραγγας βρίσκονται στις θέσεις Χ.Θ. 3+250 και στην Χ.Θ. 6+500.

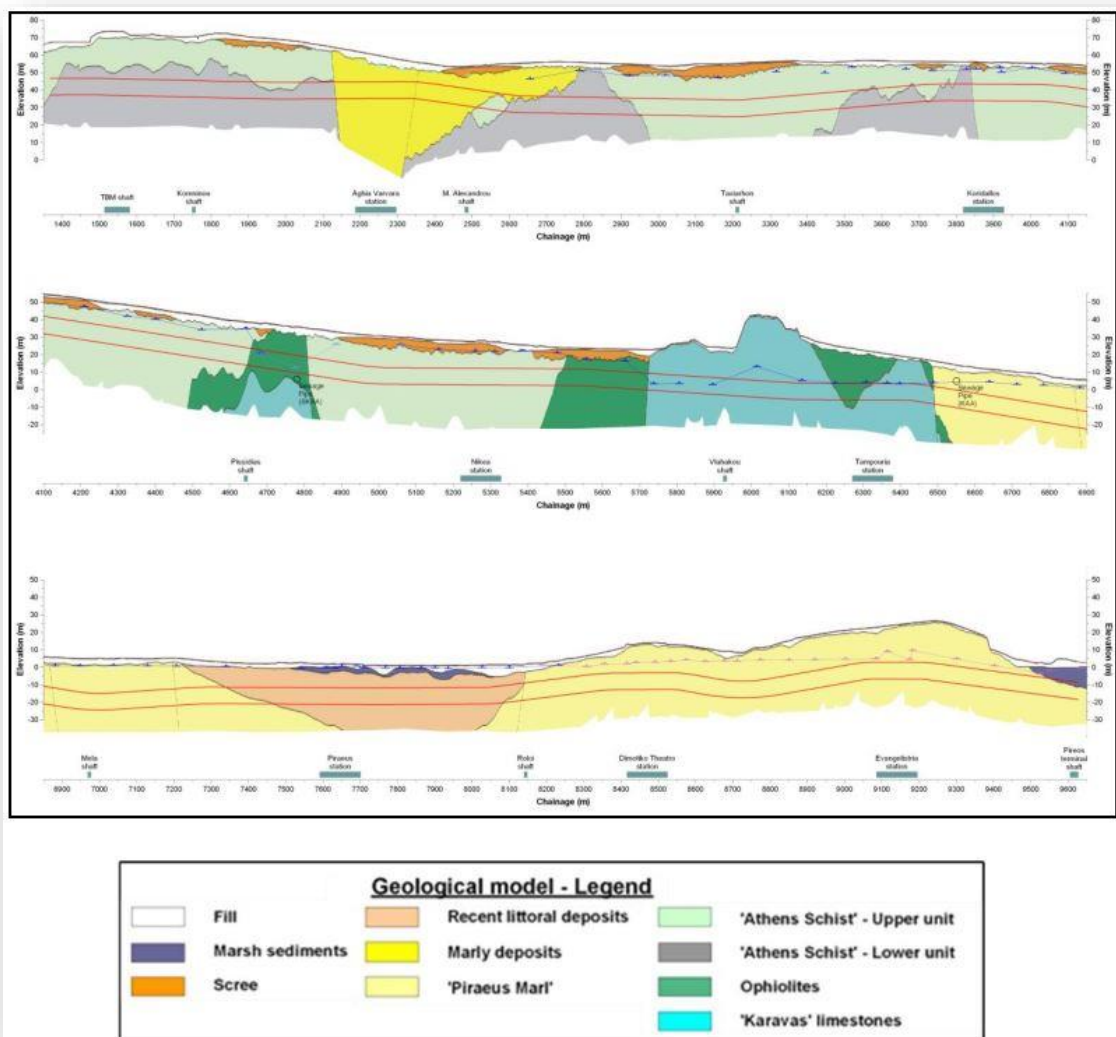


Σχήμα 2. 2: Νεοτεκτονικός χάρτης λεκανοπεδίου Αθηνών. (αρχείο Παπανικολάου Δ. και συνεργάτες 2002).

Σύμφωνα με τα δεδομένα της γεωτεχνικής έρευνας (δειγματοληπτικές γεωτρήσεις), αλλά και τον χάρτη του σχήματος 2.2, παρατηρείται ότι το ρήγμα που εμφανίζεται στην Χ.Θ. 3+250, έχει πέρας πάνω στον άξονα της χάραξης του δικτύου. Στις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις η ύπαρξη του εν λόγω ρήγματος δεν συμφωνεί με τον χάρτη, και πιο συγκεκριμένα δεν παρατηρείται κάποια διαφοροποίηση στην στρωματογραφία των

γεωτρήσεων, αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το υπό μελέτη ρήγμα να χαρακτηρίζεται ως πιθανώς ενεργό. Αντιθέτως το ρήγμα που διασταυρώνεται με την διαδρομή της χάραξης και την τέμνει κάθετα στην Χ.Θ. 6+500 επιβεβαιώνεται και από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Στο σημείο αυτό η βραχώμαζα χαρακτηρίζεται ως πολύ φτωχή και επικαλύπτεται με το όριο της Μάργας του Πειραιά (ΠΑΠΑΥΓΕΡΗ Α. ΓΕΩΡΓΙΑ, ΑΡΒΑΝΙΤΗ Π. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ, 2012). Το ρήγμα αυτό χαρακτηρίζεται ως ανενεργό.

Σχήμα 2. 3: Γεωλογικό μοντέλο κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας για την επέκταση της γραμμής 3



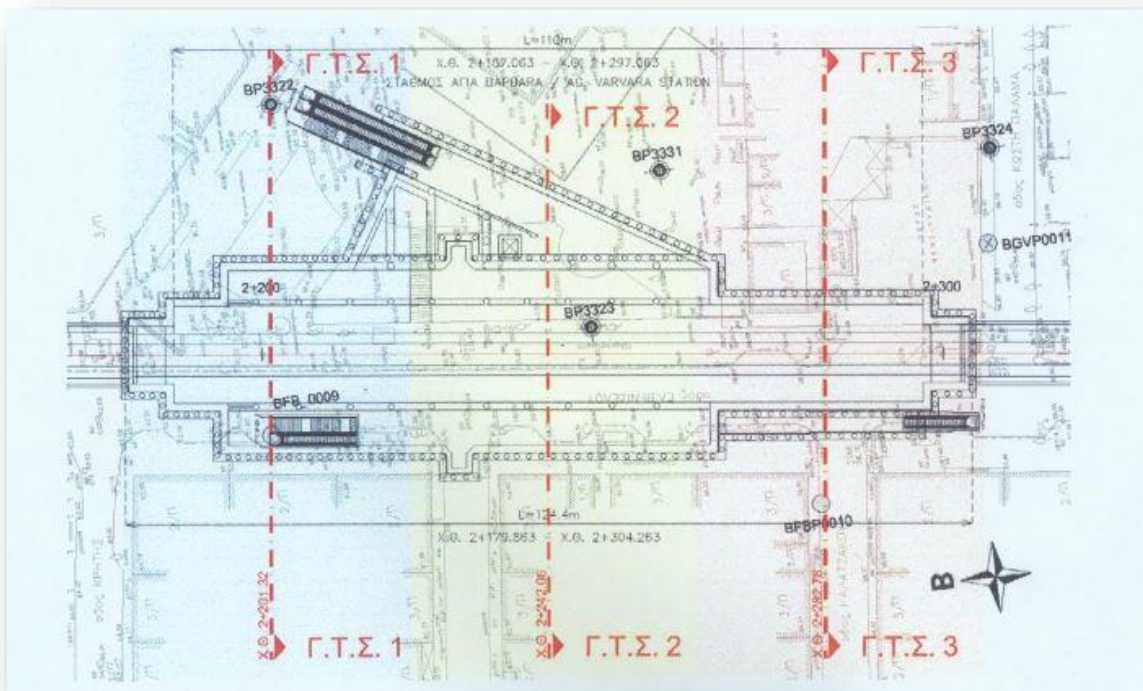
«Χαϊδάρη-Πειραιάς» (Κ.Βορονκay, Τμήμα Τεχνικής Γεωλογίας, Αττικό Μετρό Α.Ε.).

Από επιστημονικές αναφορές είναι γνωστό ότι το ρήγμα της Πάρνηθας που έδωσε τον σεισμό του 1999, δεν επηρέασε τα ρήγματα της περιοχής των Αθηνών, οπότε δεν παρατηρήθηκε κάποια σχετική δραστηριότητα μετακινήσεων στην επιφάνεια. Στο σχεδιασμό του έργου και συγκεκριμένα ως προς τον αντισεισμικό σχεδιασμό πρέπει να

ληφθεί υπόψη μια πιθανή ενεργοποίηση του ρήγματος. Παρατίθεται γεωλογικό μοντέλο (σχήμα 2.3), τομή του υπεδάφους κατά μήκος της γραμμής χάραξης του έργου, από το Τμήμα Τεχνικής Γεωλογίας της Αττικό Μετρό Α.Ε. Το γεωλογικό μοντέλο εκπονήθηκε από τον κ. Κ.Βορονκαγ, ο οποίος βασίστηκε σε γεωλογικές πληροφορίες που συνέλεξε από επι τόπου έρευνες και από επισκέψεις που έκανε σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του έργου (ΠΑΠΑΥΓΕΡΗ Α. ΓΕΩΡΓΙΑ, ΑΡΒΑΝΙΤΗ Π. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ, 2012).

## 2.5 Γεωτεχνικές συνθήκες του σταθμού Αγίας Βαρβάρας

Ο σταθμός της Αγίας Βαρβάρας όπως προβλέπει η «Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης Παραμέτρων Σχεδιασμού Σταθμού Αγίας Βαρβάρας» πρόκειται να διανοιχθεί και να κατασκευαστεί εντός γεωτεχνικής περιοχής που αποτελείται από σχηματισμούς Λιμναίων Μαργαϊκών Ιζημάτων οι οποίοι δομούνται από τους γεωτεχνικούς σχηματισμούς των ασβεστιτικών αργιλολίθων και ιλυολίθων (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013). Χωροταξικά ο σταθμός οριοθετείται από τις Χ.Θ. 2+150 και Χ.Θ. 2+300.



Σχήμα 2. 4: Κάτοψη του Σταθμού Αγίας Βαρβάρας με τις θέσεις των γεωτεχνικών τομών σχεδιασμού (Γ.Τ.Σ.). (OBERMAYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013).

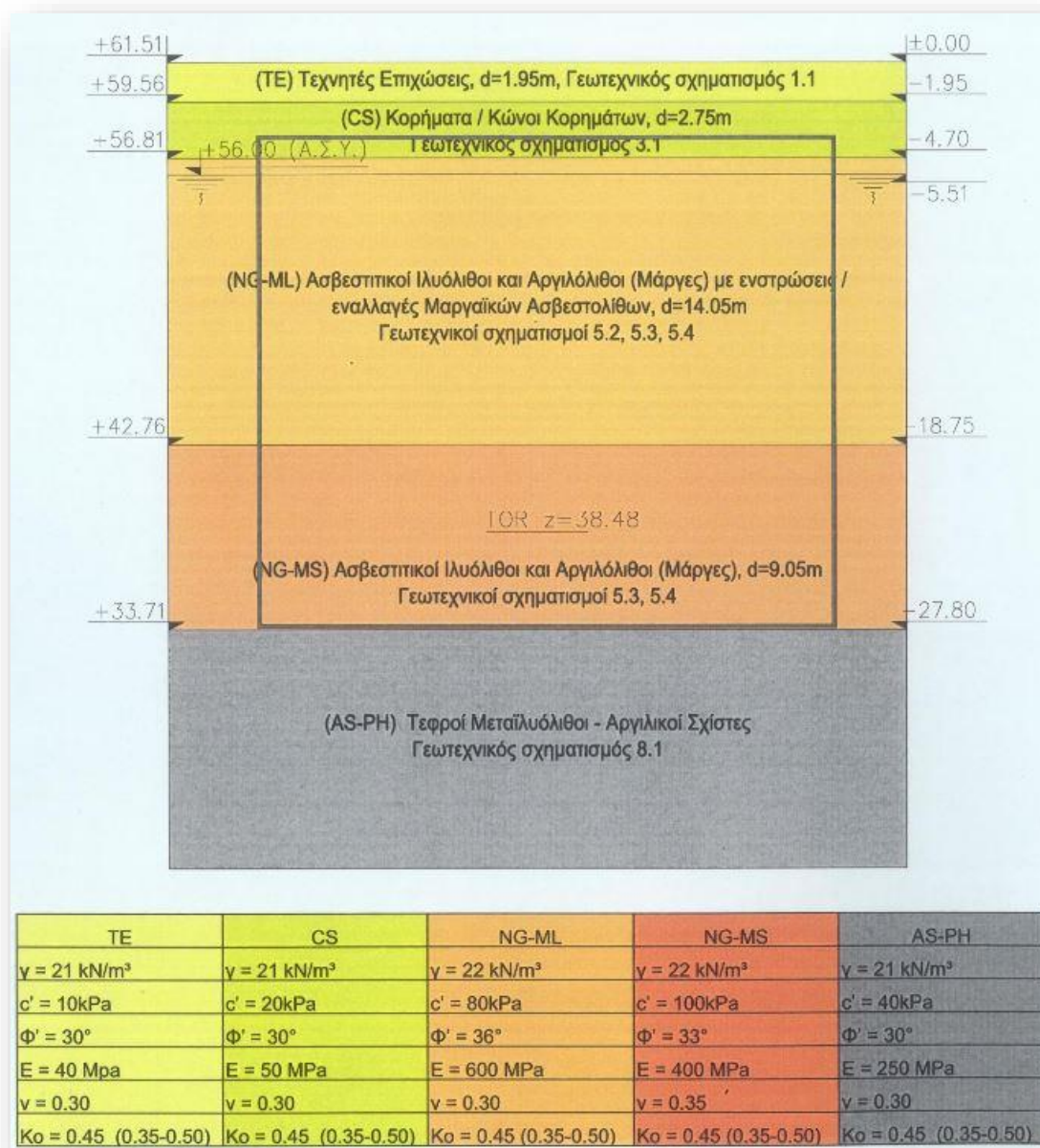
Από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις παρατηρήθηκε ότι έως το βάθος των 25m εντοπίστηκε ο σχηματισμός των ασβεστιτικών ιλυολίθων και αργιλιλιθων οι οποίοι απαντώνται με εναλλαγές κατά τόπους με οριζόντες και στρώσεις μαζί με μαργαϊκούς ασβεστολίθους. Η Κατώτερη ενότητα των Αθηναϊκών σχιστολίθων εντοπίζεται στο

βορειοδητικό τμήμα του σταθμού μέχρι την Χ.Θ. 2+200, ενώ το βάθος στο οποίο βρίσκεται είναι μεγαλύτερο των 28m. Η ενότητα αυτή αποτελείται από τεφρούς μεταίλυολίθους, κατά θέσεις με ενστρώσεις τεφρού μεταψαμμίτη. Τέλος το ρήγμα που βρίσκεται στην περιοχή διακόπτει την συνέχεια του σχηματισμού προς νότο (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013). Για την πλήρη γεωτεχνική περιγραφή του υπεδάφους του σταθμού Αγία Βαρβάρα, συντάχθηκαν και παρουσιάστηκαν τρεις Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού σχήμα 2.4. Η πρώτη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού (Γ.Τ.Σ. 1) αφορά το βόρειο τμήμα του Σταθμού, η δεύτερη Γ.Τ.Σ. 2 το κεντρικό τμήμα ενώ η τρίτη Γ.Τ.Σ. 3 αφορά το νότιο τμήμα του Σταθμού (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).



## 2.5.1 Πρώτη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού

Η πρώτη γεωτεχνική τομή (Γ.Τ.Σ. 1), σχήμα 2.5 περιγράφει την εντατική κατάσταση του εδάφους στο βόρειο τμήμα του σταθμού. Στα ανώτερα τμήματα του εδάφους συναντώνται τεχνητές προσχώσεις έως το 1,95m και κορήματα ή κώνοι κορημάτων έως το βάθος των 2,75m. Η επιφανειακή στρωματογραφία παρουσιάζει χαμηλής ποιότητες μηχανικές ιδιότητες.



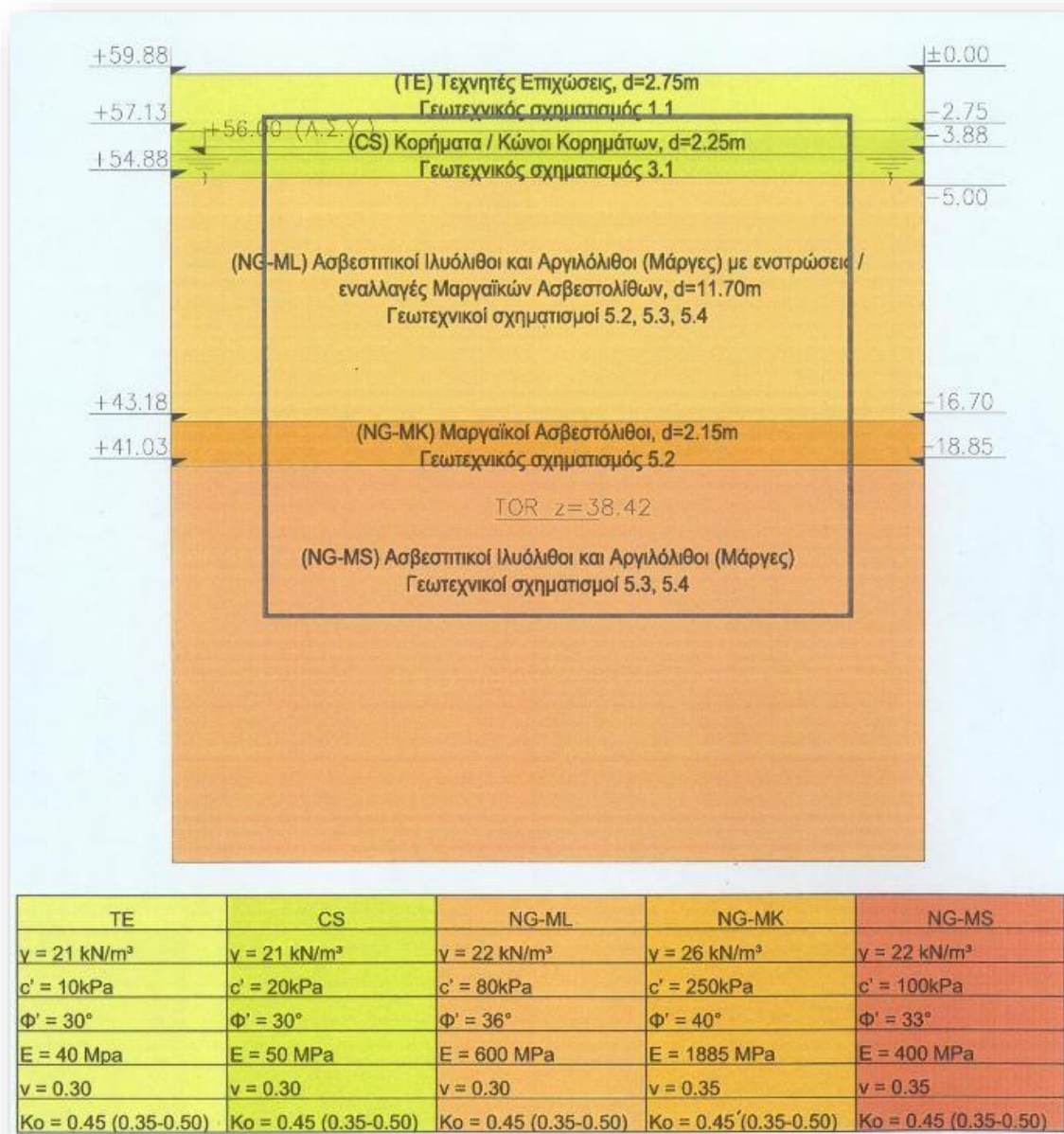
Σχήμα 2. 5:Γεωτεχνική Τομή σχεδιασμού 1 (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013).

Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίστηκε σε βάθος 5,51m από την επιφάνεια του εδάφους. Στην συνέχεια όσο αυξάνεται το βάθος εκσκαφής συναντώνται οι ασβεστιτικοί ιλιυίλιθοι και αργιλόλιθοι με ενστρώσεις και εναλλαγές μαργαϊκών ασβεστολίθων. Οι σχηματισμοί

αυτή έχουν πάχος 14,05m και εκτείνονται έως το βάθος των 18,75m, στην επαφή με τους ασβεστιτικούς ιλυόλιθους και αργιλόλιθους πάχους 9,5m. Τέλος κάτω από το δάπεδο του σταθμού συναντώνται οι τεφροί μεταίλυόλιθοι-αργιλικόι σχίστες.

## 2.5.2 Δεύτερη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού

Η δεύτερη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού σχήμα 2.6 περιγράφει την κατάσταση του εδάφους στο κεντρικό τμήμα του σταθμού.



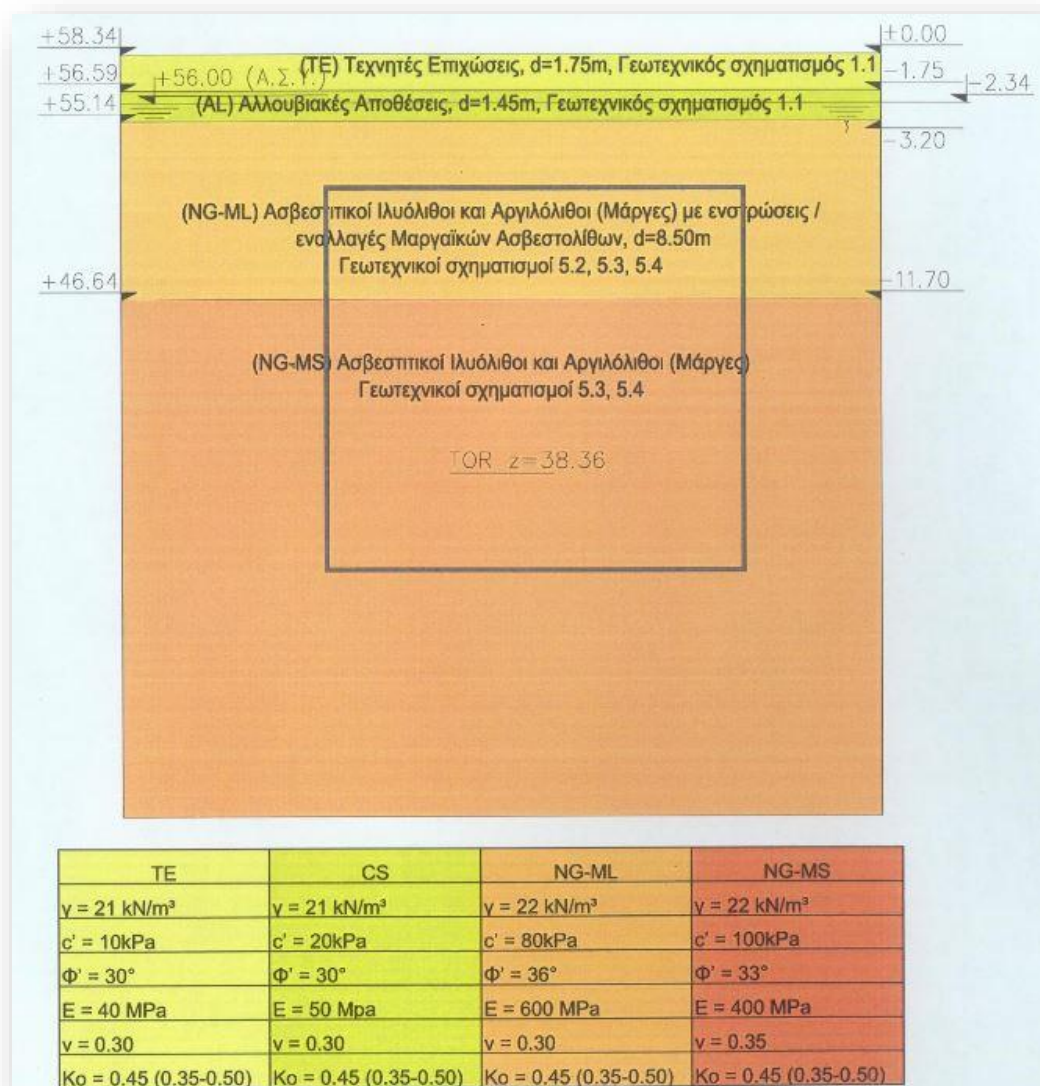
Σχήμα 2. 6:Γεωτεχνική Τομή σχεδιασμού 2 (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013).

Οι επιφανειακοί σχηματισμοί αποτελούνται από τεχνητές επιχώσεις πάχους 2,75m και στην συνέχεια απαντώνται κορήματα ή κώνοι κορημάτων έως το βάθος των 5,00m από την επιφάνεια του εδάφους. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας αποκαλύπτεται σε βάθος

3,88m. Από το βάθος των 5,0m έως και το βάθος των 16,70m απαντώνται οι ασβεστιτικοί ιλυόλιθοι και αργιλόλιθοι με ενστρώσεις και εναλλαγές μαργαϊκών ασβεστολίθων. Οι αμέσως επόμενοι σχηματισμοί και σε βάθος από 16,70m έως και τα 18,85m είναι οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι. Τέλος ο κατώτερος σχηματισμός συναντάται στα 18,85m και είναι ασβεστιτικοί ιλυόλιθοι και αργιλόλιθοι. Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν τις υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με τους υπόλοιπους σχηματισμούς.

### 2.5.3 Τρίτη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού

Η τρίτη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού σχήμα 2.7 περιγράφει την κατάσταση του εδάφους στο νότιο τμήμα του σταθμού.



Σχήμα 2. 7:Γεωτεχνική Τομή σχεδιασμού 3 (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013)

Η τομή αποτελείται στα ανώτερα στρώματα από τεχνητές επιχώσεις πάχους στρώματος 1,75m. Στην συνέχεια ακολουθούν οι αλλουβιακές αποθέσεις πάχους 1,45m. Μέχρι το βάθος των 3,20m οι μηχανικές ιδιότητες του εδάφους είναι χαμηλές, κυρίως χαλαρά υλικά με χαμηλή τιμή συνοχής περί τα 10kPa και 20kPa. Ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στα 2,34m από την επιφάνεια του εδάφους. Καθώς αυξάνεται το βάθος εκσκαφής οι σχηματισμοί κρίνονται υψηλών μηχανικών ιδιοτήτων και απαντώνται ως ασβεστιτικοί ιλυόλιθοι και αργιλόλιθοι με ενστρώσεις και εναλλαγές μαργαϊκών ασβεστολίθων έως το βάθος των 11,70m. Τέλος ο σχηματισμός που ακολουθεί από το βάθος των 11,70m και προς τα κάτω είναι ο ασβεστιτικοί ιλυόλιθοι και αργιλόλιθοι.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟ

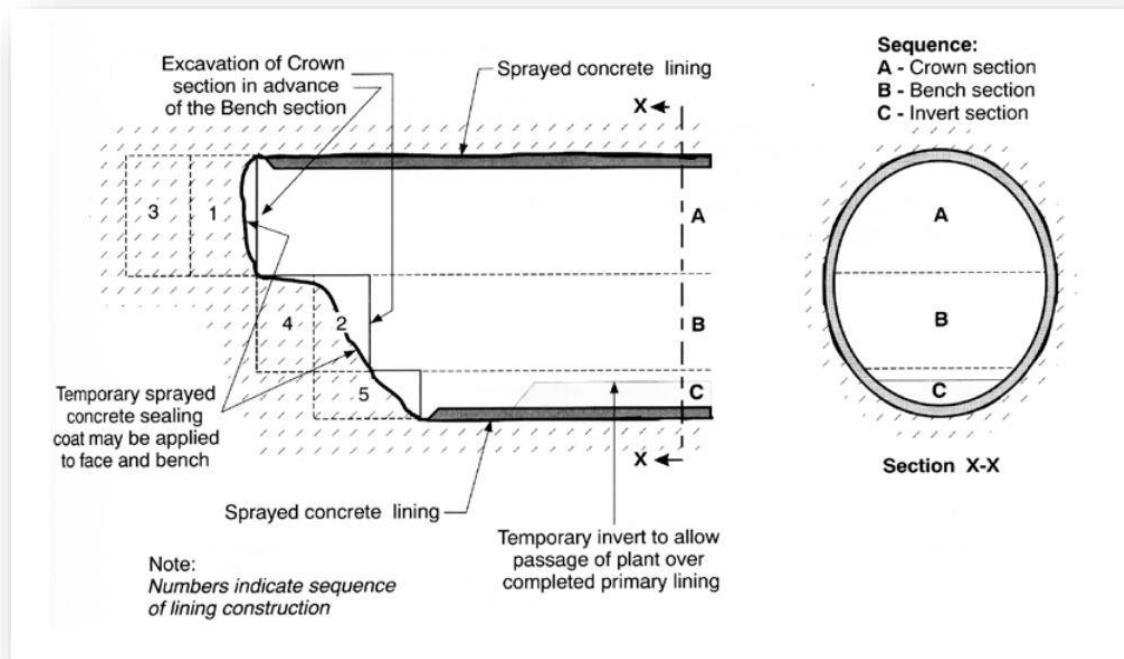
### 3.1 Μέθοδοι διάνοιξης

Κατά τον αρχικό σχεδιασμό, η επιλογή της μεθόδου διάνοιξης των σταθμών του μετρό καθορίζεται σύμφωνα με τα τεχνικοοικονομικά στοιχεία του έργου. Η εκσκαφή του ανοικτού ορύγματος προκρίνεται έναντι των τεχνικών υπόγειας διάνοιξης. Βασικός παράγοντας στην επιλογή είναι το βάθος της εκσκαφής (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2018). Η μέθοδος του ανοικτού ορύγματος πραγματοποιείται όταν το βάθος εκσκαφής είναι σχετικά μικρό, πρόκειται για την διάνοιξη τάφρου με κοπή (cut), παράλληλα πραγματοποιείται η υποστήριξη των πρανών που δημιουργούνται και στην συνέχεια πραγματοποιείται επικάλυψη (cover) της ήδη διανοιγμένης τάφρου (railsystem.net). Από την άλλη πλευρά όταν η θέση των σταθμών κατά το στάδιο της χάραξης παρουσιάζει χωροταξικά προβλήματα(περιορισμένος χώρος ανάπτυξης του σταθμού στο επιφανειακό αστικό περιβάλλον), ή όταν οι δύο κλάδοι των σηράγγων επικοινωνούν τότε η επιλογή της υπόγειας διάνοιξης είναι μονόδρομος. Κάθε σταθμός επιλέγεται να είναι όσο το δυνατόν πιο επιφανειακός (μικρό βάθος εκσκαφής), έτσι ώστε οι απαιτήσεις σε μέτρα υποστήριξης να ελαχιστοποιούνται, σε αντίθεση με τις μεθόδους υπόγειας διάνοιξης που το κόστος αυξάνεται σημαντικά λόγω ύπαρξης των έργων υποστήριξης (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2018). Τόσο η υπόγεια εκσκαφή όσο και η εκσκαφή του ανοικτού ορύγματος, υλοποιούνται από τις κάτωθι μεθόδους:

- Υπόγεια μέθοδος εκσκαφής NATM
- Ανοικτή εκσκαφή (Cut and Cover)
- Επίχωση και Εκσκαφή (Cover and Cut)

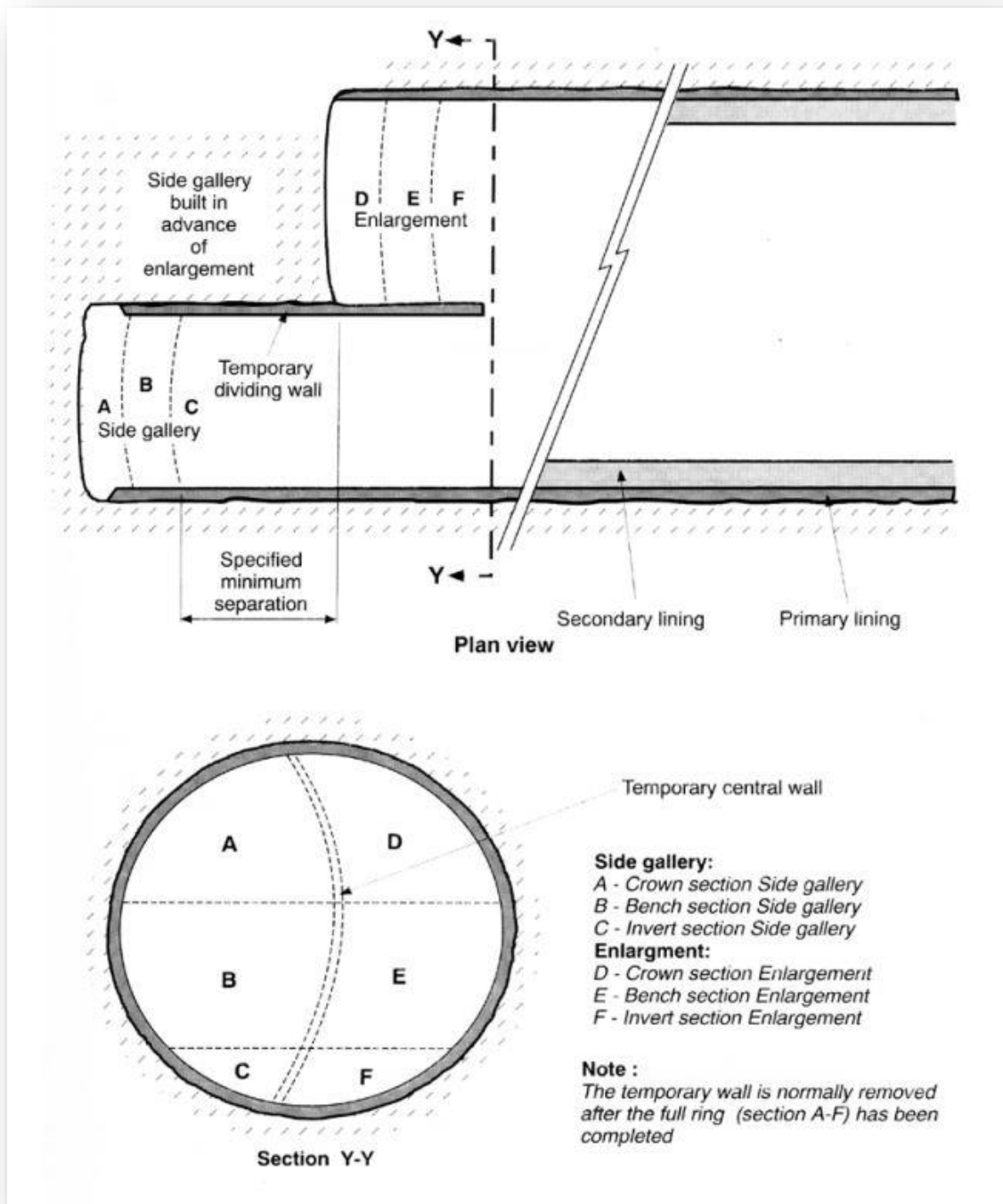
### 3.1.1 Υπόγεια μέθοδος εκσκαφής NATM

Η μέθοδος NATM, αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στις Αυστριακές Άλπεις για την διάνοιξη υπόγειων σηράγγων. Αποτελείται από ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης σηράγγων και υποστήριξης. Η διάνοιξη σηράγγων με την μέθοδο NATM πραγματοποιείται τόσο σε χαλαρά εδάφη όσο και σε βραχώδες σχηματισμούς. Τεχνικά η εφαρμογή της μεθόδου εξελίσσεται από πάνω προς τα κάτω σε περισσότερες από μία φάσεις εκσκαφής. Αρχικά διαμορφώνεται η άνω διατομή της τελικής διάνοιξης (top heading), χρησιμοποιώντας μηχανικά μέσα ή χρήση εκρηκτικών υλών, αναλόγως την κατάσταση του περιβάλλοντος σχηματισμού (μηχανικές ιδιότητες σχηματισμού, ύπαρξη ασυνεχειών κλπ). Μερικές φορές όταν ο περιβάλλον σχηματισμός είναι έντονα τεκτονισμένος ή αποσαθρωμένος, η πρώτη φάση της εκσκαφής, εκσκάπτεται σε περισσότερες από μία φάσεις κατά το πλάτος της σήραγγας σχήμα 3.1. Σημαντική παρατήρηση είναι ότι δεν χρησιμοποιούνται μηχανήματα ολομέτωπης κοπής TBM για την διάνοιξη και αυτό συμβαίνει διότι δεν ασκείται κάποια μορφής πίεσης στην επιφάνεια του μετώπου εκσκαφής. Μετά την ολοκλήρωση της προχώρησης της εκσκαφής ακολουθεί η προσωρινή υποστήριξη του υπόγειου ανοίγματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (οπλισμένο ή άοπλο), χρήση μεταλλικών διατομών I ή ελαφρού τύπου μεταλλικών διατομών (χαλύβδινα πλαίσια) καθώς επίσης και αγκύρια παθητικά ή προεντεταμένα. Μετά την ολοκλήρωση της πρώτης διάνοιξης (πρώτη φάση εκσκαφής) με όμοιο τρόπο ακολουθεί η δεύτερη φάση με μορφή υπαίθριας βαθμίδας (bench), και συνέχιση των μέτρων υποστήριξης. Όταν η διάνοιξη πραγματοποιείται μέσα σε χαλαρούς σχηματισμούς, για να αποφευχθούν φαινόμενα ανύψωσης του δαπέδου της υπόγειας διατομής πραγματοποιείται και μία επιπλέον φάση εκσκαφής που ονομάζεται διατομή ανάστροφου τόξου (χρήση διατομής invert). Η διατομή αυτή μετά την δημιουργία της υποστηρίζεται με οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους μεγαλύτερου από εκείνο των τοιχωμάτων της σήραγγας ενώ επιπλέον ενίσχυση προσδίδεται με την χρήση μεταλλικών πλαισίων.



Σχήμα 3. 1:Στάδια εκσκαφής (διάνοιξη) σήραγγας με την μέθοδο NATM σε τρεις διαδοχικές φάσεις (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 1996).

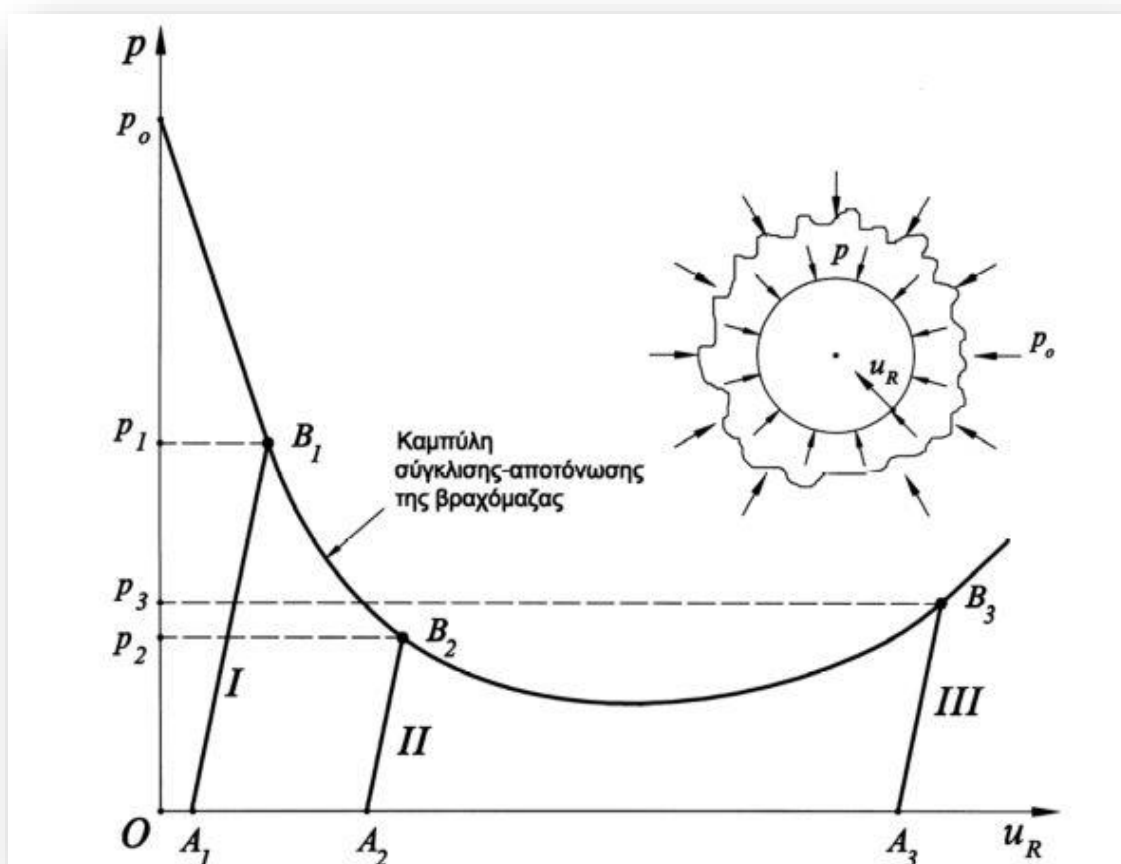
Ο τρόπος εφαρμογής της NATM στηρίζεται στο γεγονός ότι η διάνοιξη (προχώρηση) τη εκσκαφής και ταυτοχρόνως η εφαρμογή των μέτρων προσωρινής υποστήριξης, έχει σαν αποτέλεσμα να ενεργοποιηθεί η αντοχή του περιβάλλοντος πετρώματος – βραχώμαζας με την μορφή της ελεγχόμενης σύγκλισης των τοιχωμάτων της εκσκαφής. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται σημαντική μείωση των τάσεων του περιβάλλοντος σχηματισμού γύρω από τα τοιχώματα του ανοίγματος. Οπότε οι πιέσεις που ασκούνται στο κέλυφος της προσωρινής υποστήριξης είναι μειωμένες σε σχέση με τις αρχικές.



Σχήμα 3. 2:Στάδια εκσκαφής (διάνοιξης) σήραγγας με την μέθοδο NATM σε έξι φάσεις μέσα σε σχηματισμούς έντονα εδαφοποιημένους (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 1996).

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκλισης-αποτόνωσης της βραχώμαζας μέσα στην οποία πραγματοποιείται διάνοιξη κυκλικής σήραγγας, ενώ με τα λατινικά γράμματα παρουσιάζονται οι τρεις περιοχές αξιολόγησης. Στην πρώτη περιοχή (περιοχή I), η πίεση  $P_1$  που αναπτύσσεται γύρω από το κυκλικό άνοιγμα είναι αρκετά υψηλή για την εφαρμογή της άμεσης υποστήριξης. Καθώς προχωρά η διάνοιξη της διατομής η καμπύλη αρχίζει να μειώνεται σημαντικά και η πίεση από την τιμή  $P_1$  πέφτει

στην  $P_2$  (περιοχή II). Στο σημείο αυτό εκτός από την αποτόνωση της πίεσης  $P$  έχουν αναπτυχθεί και μετατοπίσεις-σύγκλισεις  $u_R$ , σε τέτοιο βαθμό ώστε οι τιμές τους να είναι αποδεκτές. Στο χρονικό διάστημα αυτό εφαρμόζεται η προσωρινή υποστήριξη η οποία καλείται να αναλάβει την τιμή της πίεσης  $P_2$ . Τέλος η περιοχή III, στην καμπύλη σύγκλισης-αποτόνωσης δείχνει την σημαντική αύξηση της πίεσης  $P$  (πίεση από  $P_2$  σε  $P_3$ ) που οφείλεται λόγω της χαλάρωσης της βραχομάζας με άμεσο κίνδυνο την κατάρρευση της οροφής του κυκλικού ανοίγματος. Στο στάδιο της περιοχής III η εφαρμογή μέτρων υποστήριξης είναι αρκετά καθυστερημένη.



Σχήμα 3. 3:Καμπύλη σύγκλισης -αποτόνωσης της βραχομάζας Επιρροή του χρόνου τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στην πίεση της βραχομάζας επι της υποστήριξης της σήραγγας (ΚΑΒΒΑΔΑΣ, 2012).

### 3.1.2 Ανοικτή εκσκαφή Cut and Cover

Η μέθοδος εκσκαφής κοπής και επανεπίχωσης (cut & cover) του σχήματος 3.4, αποτελεί τεχνική κατασκευής σηράγγων και υπόγειων σταθμών του μετρό σε αστικές ή μη περιοχές όπου το βάθος της κατασκευής του έργου είναι υψηλό ([railsystem.net](http://railsystem.net)). Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου, αποτελούν οι γεωτεχνικές συνθήκες του



εδάφους. Μαλακοί βράχοι ή εδάφη με χαμηλές μηχανικές ιδιότητες είναι υλικά εντός των οποίων επιλέγεται η μέθοδος cut and cover. Ως προς την εφαρμογή της ιδίως σε αστικό περιβάλλον η μέθοδος αυτή ξεκινά με την εκσκαφή του ορύγματος με κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω. Η προχώρηση των φάσεων εκσκαφής πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα (χωματουργικά μηχανήματα). Τα πρανή που δημιουργούνται παράλληλα με την εξέλιξη του έργου είναι κατακόρυφα και η αντιστήριξή τους πραγματοποιείται με μέτρα προσωρινής ή μόνιμης αντιστήριξης ([railsystem.net](http://railsystem.net)). Η αντιστήριξη αποτελείται από τοίχους αντιστήριξης, διαφραγματικούς τοίχους, προεντεταμένες αγκυρώσεις και μερικές φορές μεταλλικές αντηρίδες.

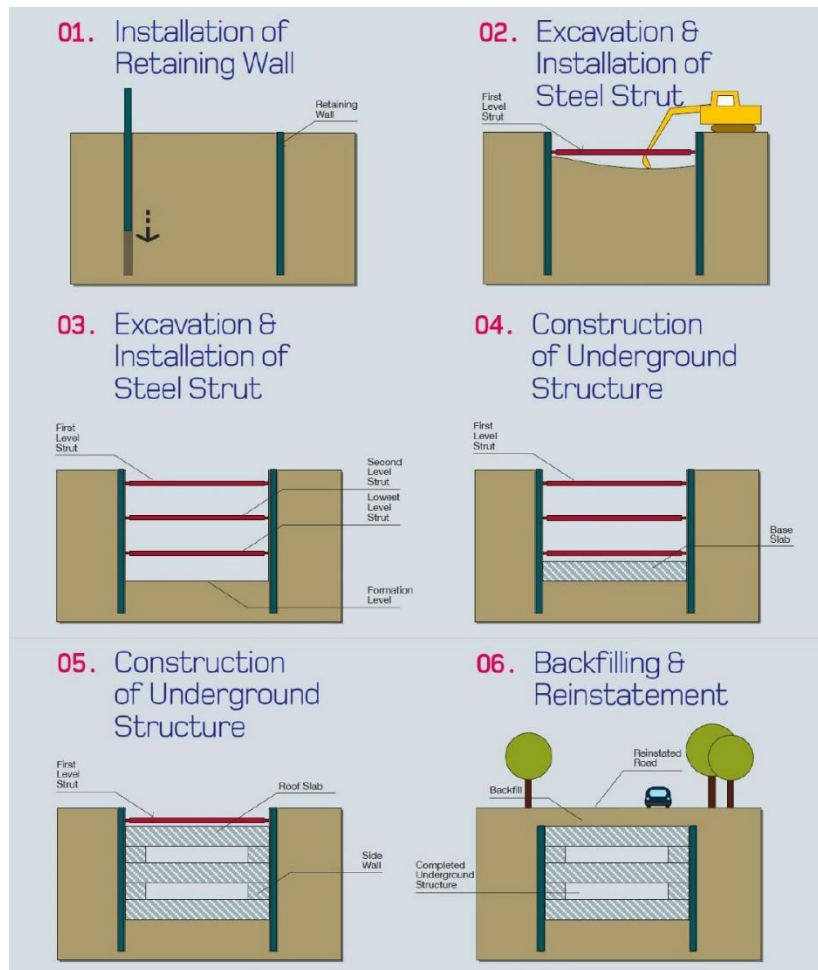
Μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης της τάφρου ακολουθεί η κατασκευή του υπόγειου σταθμού. Στο στάδιο αυτό ο φέρον οργανισμός της κατασκευής κατασκευάζεται πλήρως από οπλισμένο σκυρόδεμα ή ακόμα από προκατασκευασμένα τμήματα. Μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή του υπόγειου δομήματος, πραγματοποιείται επικάλυψη της εκσκαφής, κενού χώρου μεταξύ κατασκευής και επιπέδου επιφανείας. Στο τελικό στάδιο των εργασιών πρέπει ο χώρος πάνω από τον οποίο βρίσκεται ο υπόγειος σταθμός να διαμορφωθεί όπως το υπόλοιπο αστικό περιβάλλον (επαναφορά οδικού δικτύου, διαμόρφωση πλατειών κ.λ.π.) ([railsystem.net](http://railsystem.net)).

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος cut and cover είναι ([railsystem.net](http://railsystem.net)):

- Παρουσιάζει ευκολία στην κατασκευή καθώς αποτελεί μια συμβατική μέθοδος εκσκαφής (διάνοιξη κατακόρυφου ορύγματος με χωματουργικά μηχανήματα)
- Ο χώρος της εκσκαφής είναι προσβάσιμος για τον μηχανολογικό εξοπλισμό, και επιπλέον μπορεί να πραγματοποιηθεί αποθήκευση υλικών στο εσωτερικό του.
- Μπορεί να επιτευχθεί στεγανοποίηση του χώρου εκσκαφής διότι οι εξωτερικές πλευρές του χώρου είναι προσβάσιμες.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου εκσκαφής cut and cover είναι ([railsystem.net](http://railsystem.net)):

- Το πλάτος του ανοικτού ορύγματος πρέπει να κατασκευάζεται λίγο μεγαλύτερο σε σχέση με εκείνο της μεθόδου cover and cut.
- Η αποκατάσταση του εδάφους ολοκληρώνεται μόνο όταν κατασκευασθεί πλήρως όλη η υπόγεια κατασκευή.
- Απαιτείται η χρήση προσωρινών ή μόνιμων μέτρων αντιστήριξης (όπως αγκύρια, αντηρίδες, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κ.α.) κατά την διάρκεια της εκσκαφής.



Σχήμα 3. 4:Στάδια εφαρμογής της μεθόδου cut and cover (railssystem.net).

### 3.1.3 Επίχωση και Εκσκαφή Cover and Cut

Η ανοικτή εκσκαφή cover and cut, πραγματοποιείται με σκοπό την κατασκευή ενός υπόγειου χώρου (σήραγγα, σταθμοί μετρό κ.α.), κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Διαφέρει από την μέθοδο cut and cover ως προς την κατασκευή του υπόγειου δομήματος η οποία πραγματοποιείται από πάνω προς τα κάτω. Η εν λόγω τεχνική ξεκινά με την όρυξη κατακόρυφων πετασμάτων (φρεατοπάσσαλοι, διαφραγματικός τοίχος) από οπλισμένο σκυρόδεμα (railssystem.net). Στην συνέχεια πραγματοποιείται η πρώτη εκσκαφή με μηχανικά μέσα. Η υποστήριξη των κατακόρυφων πετασμάτων μετά την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης εκσκαφής ενισχύεται με την χρήση μεταλλικών αντηρίδων. Στην συνέχεια για την άμεση αποκατάσταση του επιφανειακού χώρου, κατασκευάζεται η οροφή της εκσκαφής η οποία καλύπτει όλη την έκταση του δημιουργηθέντος ορύγματος (railssystem.net). Η εξέλιξη της εκσκαφής προχωρά πλέον με εκσκαφή (κοπή) και τοποθέτηση αντηρίδων αλλά και των πρώτων δομικών στοιχείων δοκαριών, της τελικής εκσκαφής. Μόλις η εκσκαφή

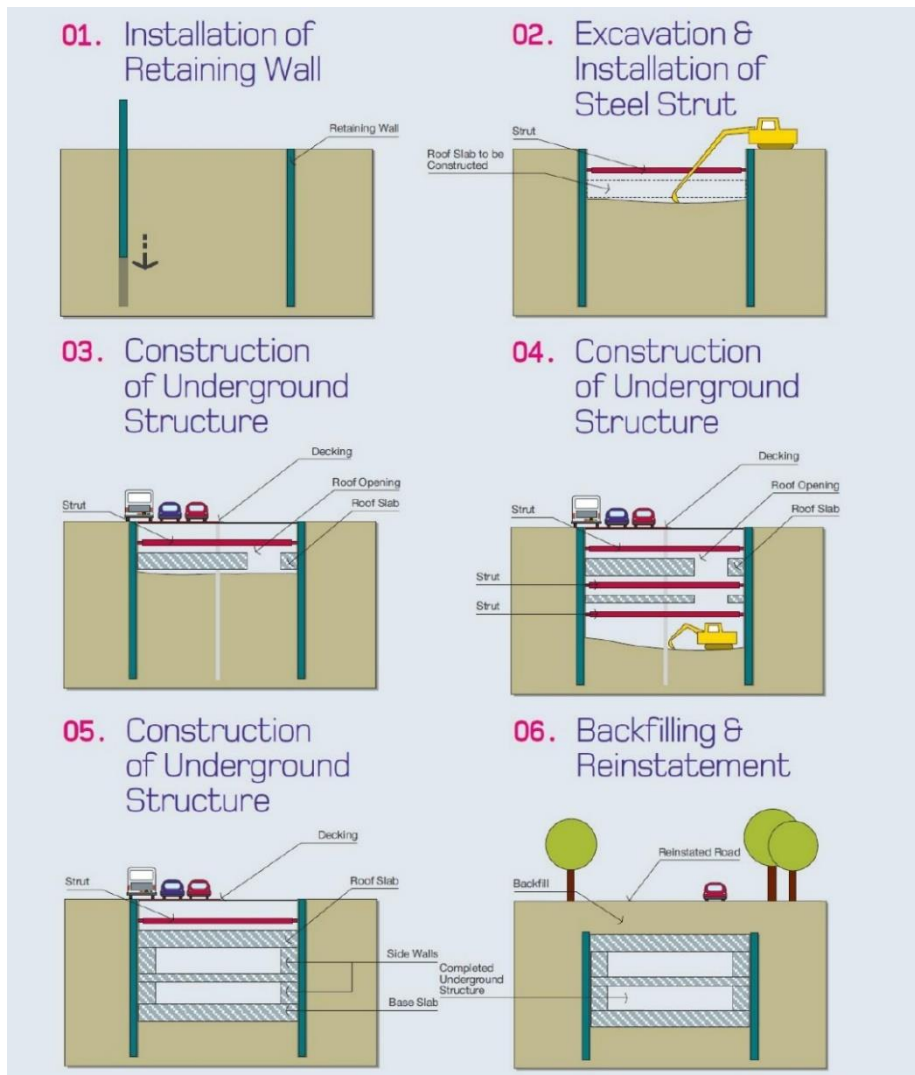
φτάσει στο επιθυμητό βάθος, τότε με αντίστροφη πορεία (από κάτω προς τα πάνω) πραγματοποιείται η ανέγερση του υπόγειου δομήματος και η σταδιακή αφαίρεση των προσωρινών αντηρίδων. Μετά την ολοκλήρωση της υπόγειας κατασκευής, το κενό που παραμένει μεταξύ οροφής εκσκαφής και κατασκευής επικαλύπτεται με εδαφικό υλικό έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης συνάφεια κατασκευής και επιφάνειας περιβάλλοντος ([railsystem.net](http://railsystem.net)).

Η μέθοδος cover and cut πλεονεκτεί σε σχέση με την μέθοδο cut and cover διότι ([railsystem.net](http://railsystem.net)):

- Επιτρέπει την άμεση αποκατάσταση της επιφάνειας του εδάφους πάνω από την εκσκαφή.
- Η χρήση αντηρίδων κατά την φάση της εκσκαφής προσδίδει άμεση προσωρινή στήριξη των κατακόρυφων πετασμάτων και αποτελεί πιο οικονομική μέθοδο στήριξης από εκείνη των αγκυρίων, δεδομένου ότι κατά το στάδιο της ανέγερσης του δομήματος πραγματοποιείται αφαίρεση των μεταλλικών αντηρίδων.
- Δεδομένου ότι η αποκατάσταση της επιφάνειας του εδάφους πραγματοποιείται πριν η εκσκαφή προχωρήσει αρκετά, η κατασκευή της οροφής που καλύπτει το άνοιγμα του ορύγματος με σχετικά πιο εύκολο τρόπο (κατασκευή οροφής από έγχυτο σκυρόδεμα)

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου εστιάζονται σε ([railsystem.net](http://railsystem.net)):

- Αδυναμία εξωτερικής στεγανότητας έξω από τους τοίχους της υπόγειας κατασκευής δεδομένου ότι δεν είναι προσβάσιμη η πίσω πλευρά των.
- Περιορισμένος χώρος για την κατασκευή του υπόγειου δομήματος.
- Κίνδυνος αστοχίας των διαφραγματικών τοίχων κατά το στάδιο αφαίρεσης των αντηρίδων λόγω εγκατάστασης των τοίχων της κατασκευής.



Σχήμα 3. 5:Στάδια εφαρμογής της μεθόδου cover and cut (railsystem.net).

### 3.2 Μέτρα προσωρινής αντιστήριξης πρανών εκσκαφής

Η αντιστήριξη προσωρινή ή μόνιμη εφαρμόζεται με σκοπό την διατήρηση της εκσκαφής έναντι αστοχίας του εδάφους. Στα σύγχρονα τεχνικά έργα ο μηχανικός καλείται να επιλέξει μεταξύ διαφόρων μεθόδων αντιστήριξης την βέλτιστη λύση η οποία θα προσδώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στην σύγχρονη μηχανική ο όρος αντιστήριξη κατακόρυφων πρανών παραπέμπει, σε μέτρα προσωρινής υποστήριξης με χρήση τοίχων αντιστήριξης, χαλύβδινες πασσαλοσανίδες, αντηρίδες αγκύρια εδάφους ή βράχου, διαφραγματικοί τοίχοι από οπλισμένο σκυρόδεμα κ.α. (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2018) Η επιλογή των ανωτέρω καθορίζεται σύμφωνα με τις συνθήκες του εδάφους όπως μηχανικές ιδιότητες, ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα κ.α. Λόγω της φύσης των σχηματισμών του εδάφους και της ασφάλειας των εκσκαφών επιλέγονται οι διαφραγματικοί τοίχοι ή τοίχοι αντιστήριξης, από

οπλισμένους πασσάλους τύπου προβόλου, με ενδιάμεσο σανίδωμα, σε συνδυασμό με προεντεταμένες αγκυρώσεις ή αντηρίδες.

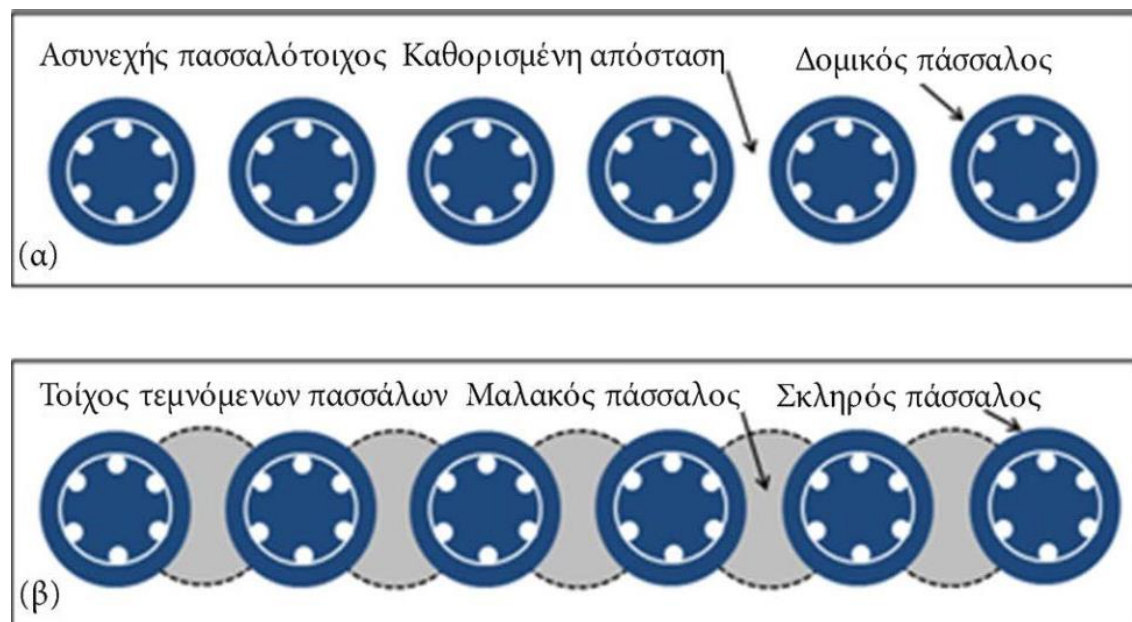
Ο τελικός σχεδιασμός των μέτρων αντιστήριξης καθορίζεται από (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2018):

- την φύση του υλικού(εδάφους) προς εκσκαφή και αντιστήριξη
- την ύπαρξη αλλά και το ύψος εμφάνισης του υδροφόρου ορίζοντα
- τις διαστάσεις της εκσκαφής (βάθος και πλάτος)
- την διαμόρφωση του τελικού φέροντα οργανισμού μέσα στην εκσκαφή, και αν αυτός ενσωματωθεί στην αντιστήριξη των κατακόρυφων πρανών.
- την διασφάλιση της εκσκαφής σε σχέση με γειτονικά κτήρια.
- το τελικό φορτίο που προστίθεται κατά το στάδιο της επανεπίχωσης (μέθοδος cut & cover), και διαμορφώνεται ανάλογα τις συνθήκες του αστικού περιβάλλοντος (ύπαρξη δρόμου κυκλοφορία, πλατειών κλπ)

### 3.2.1 Τοίχος αντιστήριξης

Ως τοίχος αντιστήριξης νοείται το πέτασμα το οποίο οριοθετεί και αντιστηρίζει τα κατακόρυφα ή κεκλιμένα πρανή ορυγμάτων τα οποία διανοίγονται σε αστικό περιβάλλον, λοφώδεις περιοχές και στα πρανή των αυτοκινητοδρόμων. Κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα, το ύψος τους ποικίλει αναλόγως την φύση του έργου. Τυπικά ύψη των τοίχων αντιστήριξης ξεκινούν από τα 8 με 10m και φθάνουν έως και τα 30m. Κατασκευαστικά ο τοίχος αντιστήριξης αποτελείται από φρεατοπασσάλους μεγάλης διαμέτρου, διανοίγεται οπή πασσάλου με ιδικό διατρητικό μηχάνημα (πασσαλιέρα) στην συνέχεια τοποθετείται ο οπλισμός από σίδερα (αποτελείται από κλωβό με χαλύβδινα σίδερα μήκους όσο και το ύψος του πασσάλου) και στο τέλος πραγματοποιείται έκχυση σκυροδέματος εντός της οπής. Μετά την πλήρωση ολόκληρης της έκχυσης σκυροδέματος σε ολόκληρη την στήλη του πασσάλου, η κατασκευή ολοκληρώνεται με την διαμόρφωση του κεφαλόδεσμου από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2018). Η διάταξη των οπλισμένων κατακόρυφων στοιχείων είναι ασυνεχής (σχήμα 3.6 α) ή συνεχείς, εφαπτόμενοι (σχήμα 3.6 β). Η διάταξη τεμνόμενων ή συνεχών φρεατοπασσάλων, αποτελείται από εναλλαγές οπλισμένων και άοπλων κατακόρυφων στοιχείων από σκυρόδεμα. Κατασκευαστικά στην αρχή πραγματοποιείται η όρυξη και δημιουργία των άοπλων στοιχείων και προσδίδεται στο έδαφος μια πρώτη ενίσχυση, και στην συνέχεια ακολουθούν οι οπλισμένοι φρεατοπάσσαλοι οι οποίοι κατά την κατασκευή τους επικαλύπτουν του άοπλους έτσι ώστε

στην τελική του μορφή η διάταξη του τοίχου αντιστήριξης μοιάζει με το (σχήμα 3.6 β). Το σύστημα αυτό προσδίδει στον τελικό τοίχο σημαντικά υψηλή αντοχή (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2018). Από την άλλη πλευρά η διάταξη των ασυνεχών δομικών στοιχείων αποτελείται από την όρυξη και κατασκευή οπλισμένων φρεατοπασσάλων οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους. Οικονομικά υπερτερούν του συστήματος των συνεχών ή τεμνόμενων πασσάλων αλλά αποτελούν έναν γρήγορο τρόπο κατασκευής. Η διάταξη αυτή κατά το στάδιο την κατασκευής του ορύγματος, πλαισιώνεται με σανίδωμα από σκυρόδεμα έτσι ώστε κατά το τελικό στάδιο κατασκευής του ορύγματος να έχει δημιουργηθεί ένας ενιαίος τοίχος αντιστήριξης ο οποίος να εμπεριέχει τους πασσάλους σε απόσταση μεταξύ τους (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2018).

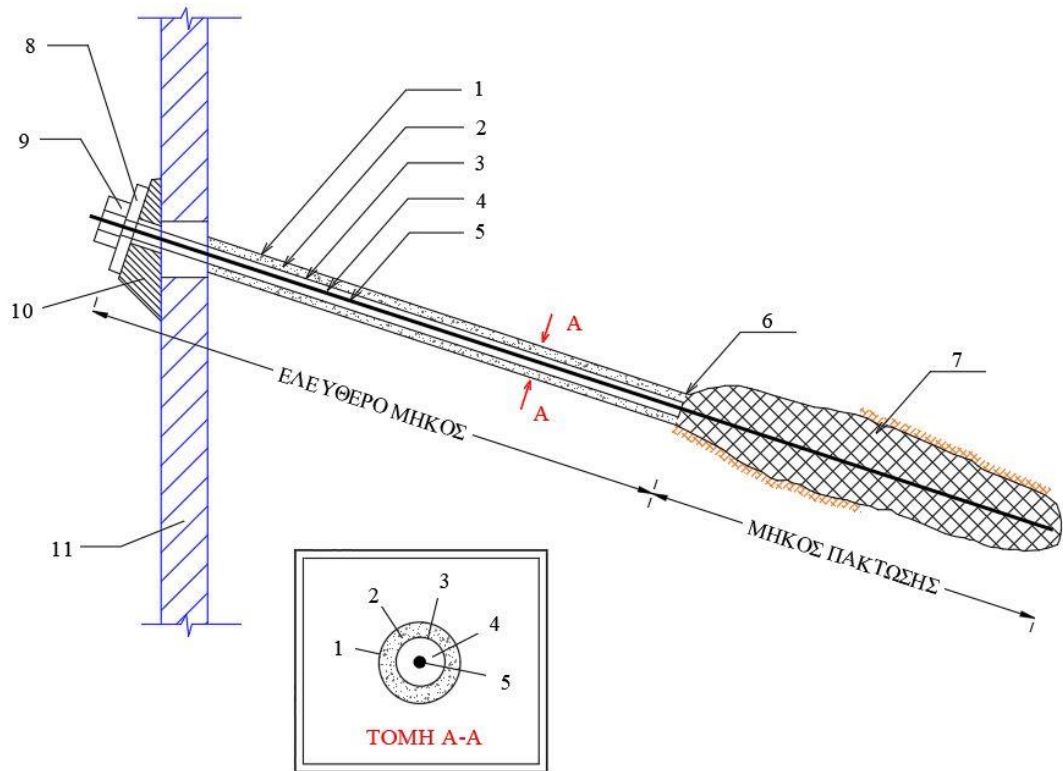


Σχήμα 3. 6:Διάταξη πασσάλων σε κάτοψη. (α) Ασυνεχής πασσαλότοιχος, (β) Τοίχος τεμνόμενων ή συνεχών πασσάλων (BURRAS Ltd CIVIL ENGINEERING AND PILING CONTRACTORS).

### 3.2.2 Αγκύρια εδάφους-Προεντεταμένα αγκύρια

Το αγκύριο ως ένα στοιχείο αντιστήριξης έχει την ιδιότητα να μεταβιβάζει εφελκυστικό φορτίο από την επιφάνεια στην οποία εδράζεται μέσα στον εδαφικό σχηματισμό. Το αγκύριο εδάφους αποτελείται από ένα σύνολο χαλύβδινων νευρώσεων (κλώνους), οι οποίοι τοποθετούνται εντός διατρήματος. Στην συνέχεια υσπίζεται ποσότητα ενεματικού μίγματος, με σκοπό την σταθεροποίηση-πάκτωση τμήματος των χαλύβδινων κλώνων, η διάσταση που καλύπτει το ενεματικό μίγμα ονομάζεται μήκος πάκτωσης. Το υπόλοιπο τμήμα καλείται ελεύθερο μήκος. Κατά την εξέλιξη ενός τεχνικού

έργου σειρές αγκυρίων κατασκευάζονται και απέχουν απόσταση  $a$  μεταξύ τους. Η απόσταση των αγκυρίων με την απόσταση των σειρών αγκύρωσης καθορίζουν τον κάρναβο αγκύρωσης (ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, 1985). Η διάταξη ενός αγκυρίου εδάφους μέσα σε χαλαρό σχηματισμό απεικονίζεται στο σχήμα 3.7.



Σχήμα 3. 7:Σκαρίφημα προεντεταμένου αγκυρίου. Στο σχήμα διακρίνονται όλα τα μέρη από τα οποία αποτελείται το αγκύριο (ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, 1985).

1. Κεκλιμένο διάτρημα
2. Ενεματικό μίγμα περιμετρικά του ελεύθερου άκρου
3. Προστατευτικό περίβλημα
4. Προστασία έναντι διάβρωσης
5. Τένοντας (κλώνος)
6. Πώμα
7. Βολβός ενέματος
8. Πλάκα έδρασης της κεφαλής
9. Κεφαλή στερέωσης
10. Πρισματική βάση (σφήνα)
11. Δομικό στοιχείο (π.χ. τοίχος αντιστήριξης)

Τα βασικά στοιχεία του αγκυρίου (ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, 1985) που διακρίνονται στο σχήμα 3.7 είναι:

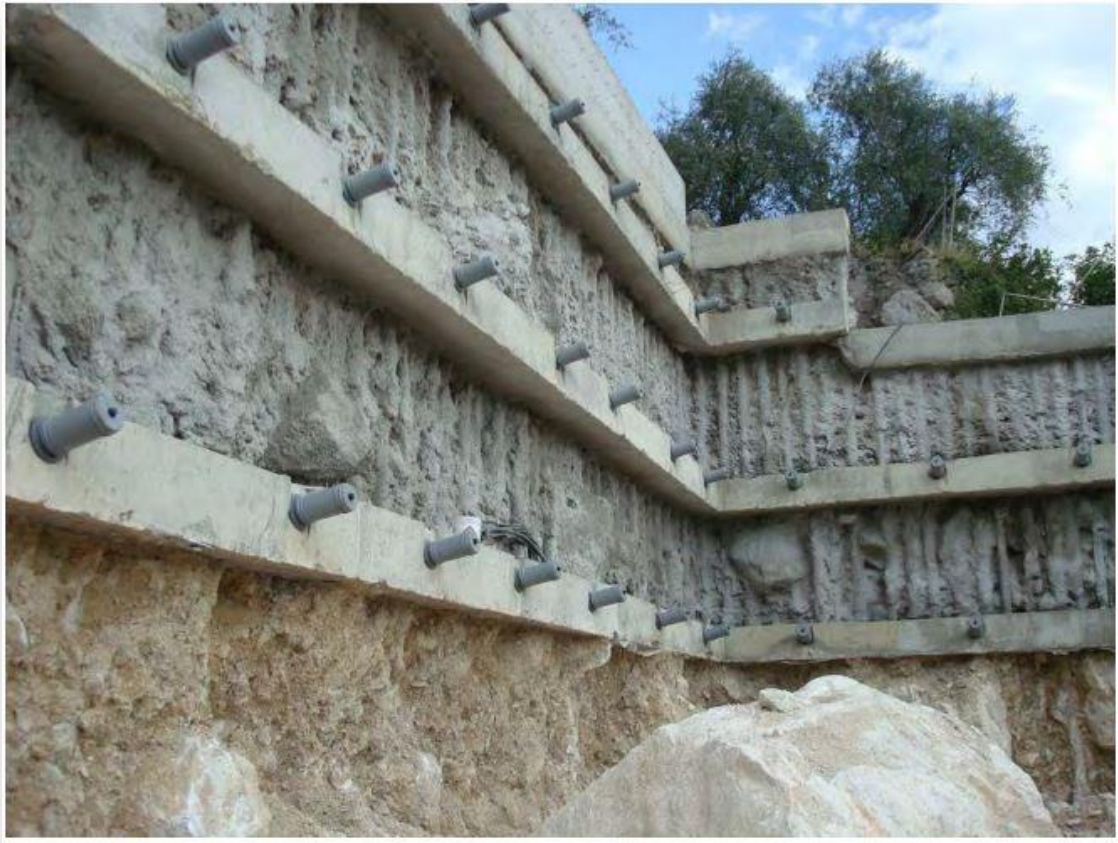
- **Ο τένοντας:** ονομάζεται έτσι η χαλύβδινη ράβδος ή το χαλύβδινο καλώδιο ή κλώνος που συνδέει την κεφαλή του αγκυρίου με το πακτωμένο τμήμα. Η εφελκυστική δύναμη μεταφέρεται στο έδαφος διαμέσο του τένοντα.
- **Η κεφαλή του αγκυρίου:** πρόκειται για το μεταλλικό στοιχείο το οποίο συνδέει τον τένοντα του αγκυρίου με την κατασκευή πάνω στην οποία έχει τοποθετηθεί. Από την κεφαλή του αγκυρίου πραγματοποιείται η διαδικασία της προέντασής του.
- **Το μήκος πάκτωσης:** είναι το τμήμα του αγκυρίου το οποίο πακτώνεται στο έδαφος με χρήση τσιμεντενέματος. Η εφελκυστική δύναμη προέντασης καταλήγει στο πακτωμένο τμήμα και εν τέλει διαχέεται στην μάζα του εδαφικού σχηματισμού. Ο τένοντας του αγκυρίου ξεκινά από το πακτωμένο τμήμα και καταλήγει στην κεφαλή του αγκυρίου.

Τα προεντεταμένα αγκύρια έχουν μήκος που ξεκινά από τα 8m και μπορεί να φτάσει και τα 50m ενώ οι δυνάμεις που μεταβιβάζουν στο έδαφος ανέρχονται από 150 έως 2500kN και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσουν και τα 10000kN. Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του τένοντα είναι χάλυβας προέντασης με υψηλή αντοχή. Κάθε αγκύριο αποτελείται από περισσότερα από ένα τένοντα. Τα πολύκλινα καλώδια (τένοντες), αποτελούνται από πολλές εύκαμπτες ράβδους με διάμετρο 4mm. Η μικρή δυσκαμψία των ράβδων διευκολύνει στους χειρισμούς κατά το στάδιο της τάνυσης. Η τεχνολογία των προεντεταμένων αγκυρίων εφαρμόζεται τόσο σε εδαφικούς σχηματισμούς όσο και σε βραχώδη πετρώματα. Λειτουργικά συμπεριφέρονται με τον ίδιο όμως η διαφορά παρουσιάζεται στον τρόπο διάτρησής τους και στο πακτωμένο τμήμα που είτε χρησιμοποιείται τσιμεντένεμα είτε ρητινικό ένεμα (ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, 1985). Οι παράγοντες από τους οποίους καθορίζεται το είδος των αγκυρίων είναι (ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, 1985):

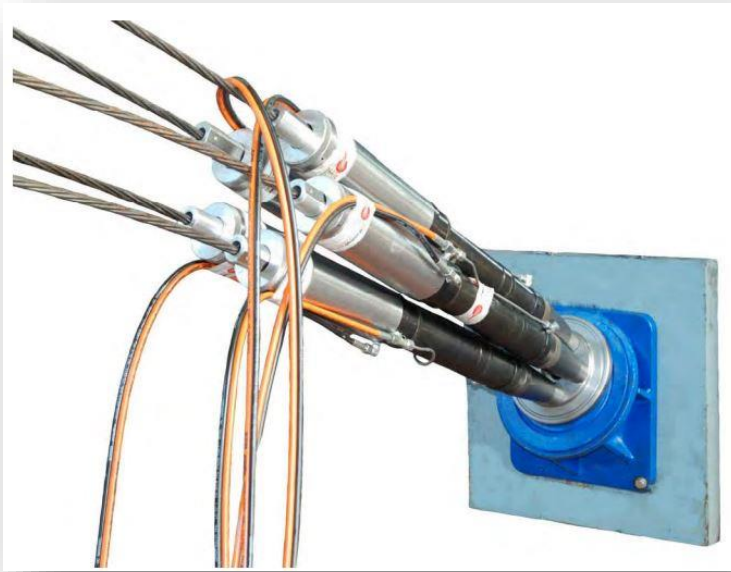
- Διακρίνονται σε προσωρινά ή μόνιμα ανάλογα την διάρκεια ζωής τους
- Η διαδικασία κατασκευής τους
- Οι μηχανικές ιδιότητες του εδάφους στο οποίο μεταβιβάζουν την εφελκυστική δύναμη τάνυσης.



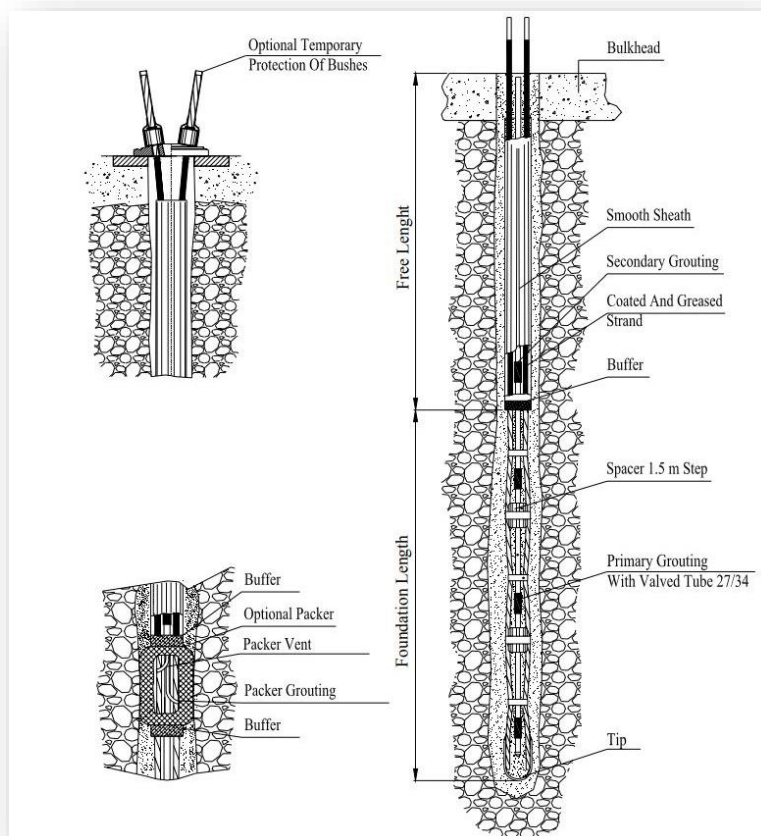
Με βάση τα παραπάνω τα μόνιμα προεντεταμένα αγκύρια διαφέρουν από τα προσωρινά διότι σχεδιάζονται για να έχουν χρόνο ζωής ίδιο με τον χρόνο λειτουργίας του έργου, με αποτέλεσμα ο χάλυβας που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους να προστατεύεται από την διάβρωση (ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, 1985). Ο τρόπος τοποθέτησής τους είναι ο ίδιος.



*Σχήμα 3. 8:Εφαρμογή προεντεταμένων αγκυρώσεων για την αντιστήριξη κατακόρυφου πρανούς εκσκαφής ανοικτού ορύγματος (ELEBOR A.E.B.E., 2013).*



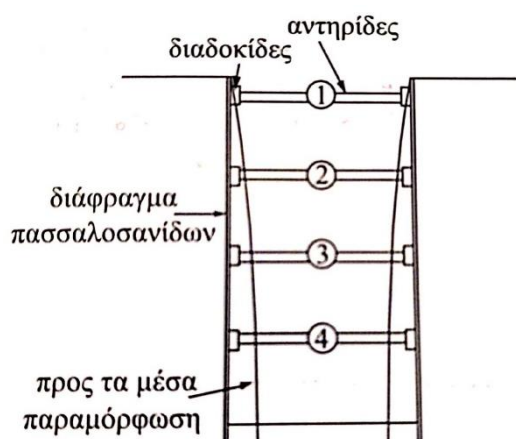
Σχήμα 3. 9: Διαδικασία προέντασης των αγκυρίων εδάφους (ELEBOR A.E.B.E., 2013).



Σχήμα 3. 10: Τεχνικό σκαρίφημα από τα μέρη που αποτελείται ένα αγκύριο εδάφους στο εμπόριο (ELEBOR A.E.B.E., 2013).

### 3.2.3 Αντηρίδες

Εκτός από τις προεντεταμένες αγκυρώσεις την εμφάνισή τους για την αντιστήριξη των κατακόρυφων πρανών ενός ανοικτού ορύγματος, κάνουν και οι μεταλλικές αντηρίδες (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2018). Χρησιμοποιούνται συνήθως σε αβαθής εκσκαφές ή χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αγκυρώσεις σε βαθιές εκσκαφές σε αστικό περιβάλλον όπως για παράδειγμα σε σταθμούς μετρό (βλέπε σχήμα 3.9). Ο σκοπός τους είναι να περιορίσουν τις πλευρικές πιέσεις που ασκεί το έδαφος στην επιφάνεια των κατακόρυφων πρανών, ώστε να αποτραπεί η αστοχία του εδάφους και η ροή εδαφικού υλικού στο εσωτερικό της εκσκαφής (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2018). Εντάσσονται στα προσωρινά μέτρα αντιστήριξης και η εφαρμογή τους σε τεχνικά έργα εξαρτάται από την μορφή και την διάταξη της κατασκευής, την γεωτεχνική κατάσταση του εδάφους, τον έλεγχο των εδαφικών μετακινήσεων και την γενική μέθοδο κατασκευής του έργου. Η ανάληψη φορτίων από τις αντηρίδες, όταν αυτές χρησιμοποιούνται σε βαθιές εκσκαφές είναι σημαντική κυρίως όταν το υλικό εκσκαφής είναι υπερστερεοποιημένη άργιλος.



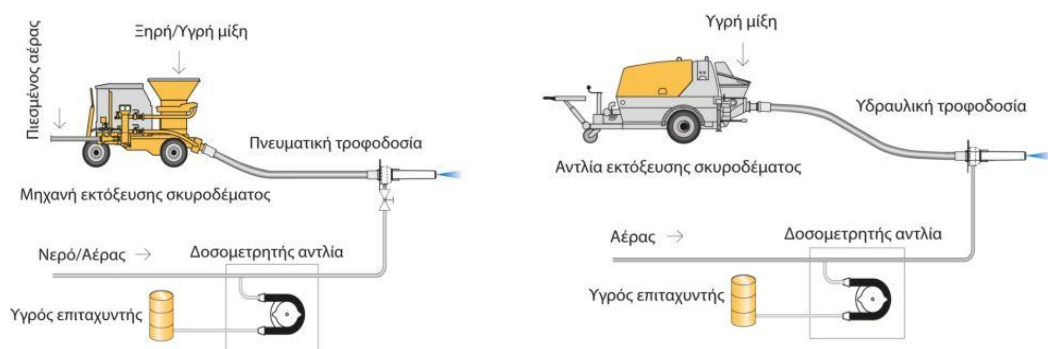
Σχήμα 3. 11: Εφαρμογή αντηρίδων στήριξης των κατακόρυφων πρανών. (α) Σκαρίφημα εφαρμογής των αντηρίδων στήριξης σε κατακόρυφη εκσκαφή. (BARNES, 2005). (β) Άποψη από το εσωτερικό της εκσκαφής ανοικτού ορύγματος στον σταθμό Ανθούπολης (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.).

### 3.2.4 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελεί διαδικασία υποστήριξης και αντιστήριξης στο στάδιο κατασκευής ενός τεχνικού έργου. Ορίζεται ως το σκυρόδεμα το οποίο διαστρώνεται με εκτόξευση από ακροφύσιο επάνω σε μία επιφάνεια ώστε να υπάρχει συνάφεια στρώσης σκυροδέματος και επιφάνειας (ΣΟΦΙΑΝΟΣ, 2015). Χρησιμοποιείται τόσο σε έργα υπόγειων σηράγγων όσο και σε εκσκαφές ανοικτών

ορυγμάτων. Παρασκευάζεται επί τόπου στον χώρο του έργου και χρησιμοποιείται είτε άοπλο είτε οπλισμένο. Η όπλισή του πραγματοποιείται με τοποθέτηση δομικού πλέγματος στην επιφάνεια προς υποστήριξη ή κατά το στάδιο της εφαρμογής του εκτοξευοντάς το με ειδική πρέσα, τοποθετούνται χαλύβδινες ίνες ή ίνες υαλονήματος κατά την έξοδό του από το μηχάνημα, οπότε κατά την εκτόξευσή του εκτοξεύεται μαζί με τις ενισχυτικές ίνες. Ο σχεδιασμός του μίγματος πραγματοποιείται όπως εκείνος της παρασκευής σκυροδέματος. Αυτό σημαίνει ότι κατά το σχεδιασμό του μίγματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ο λόγος νερού προς τσιμέντο (N/T), η περιεκτικότητα του μίγματος σε αέρα, ο βαθμός συμπύκνωσης, και επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την διαβάθμιση των αδρανών υλικών και την περιεκτικότητα σε τσιμέντο (ΣΟΦΙΑΝΟΣ , 2015) Για τον έλεγχο της αντοχής του σκυροδέματος εξετάζεται ο λόγος νερού προς τσιμέντο (N/T), η περιεκτικότητα σε αέρα, και ο βαθμός συμπύκνωσης.

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού EN 197-1 τα επιτρεπτά τσιμέντα για την παρασκευή εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι τύπου Portland. Σε σπάνιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τσιμέντα CEM I 42.5 ή CEM I 52.5 αλλά και CEM II 42.5 διότι καταναλώνουν μεγαλύτερη ποσότητα επιταχυντή κατά το στάδιο εκτόξευσής τους (ΣΟΦΙΑΝΟΣ , 2015). Για την ανάμειξη των υλικών και την κατασκευή εκτοξευόμενου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται δύο ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι, η ξηρή και η υγρή μέθοδος. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων προσδιορίζεται στον τρόπο με τον οποίο τα υλικά συναντιούνται στο ακροφύσιο της πρέσας λίγο πριν την εκτόξευση. Στην ξηρή μέθοδο τα υλικά φτάνουν στο ακροφύσιο ξεχωριστά, σε σχέση με την υγρή μέθοδο κατά την οποία νερό και ξηρό μείγμα φτάνουν μαζί.



Σχήμα 3. 12:Μηχανήματα εκτόξευσης σκυροδέματος ξηρής και υγρής μεθόδου αντίστοιχα (SIKA HELLAS ABEE).



Σχήμα 3. 13: Προκαταρκτική φάση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Αριστερά πραγματοποιείται ο καθαρισμός της επιφάνειας εφαρμογής από την σκόνη με χρήση νερού, ενώ δεξιά διακρίνεται η σωστή απόσταση ακροφύσιου και επιφάνειας εφαρμογής (SIKA HELLAS ABEE) .



Σχήμα 3. 14: Διαδικασία ψεκασμού εκτοξευμένου σκυροδέματος (SIKA HELLAS ABEE).

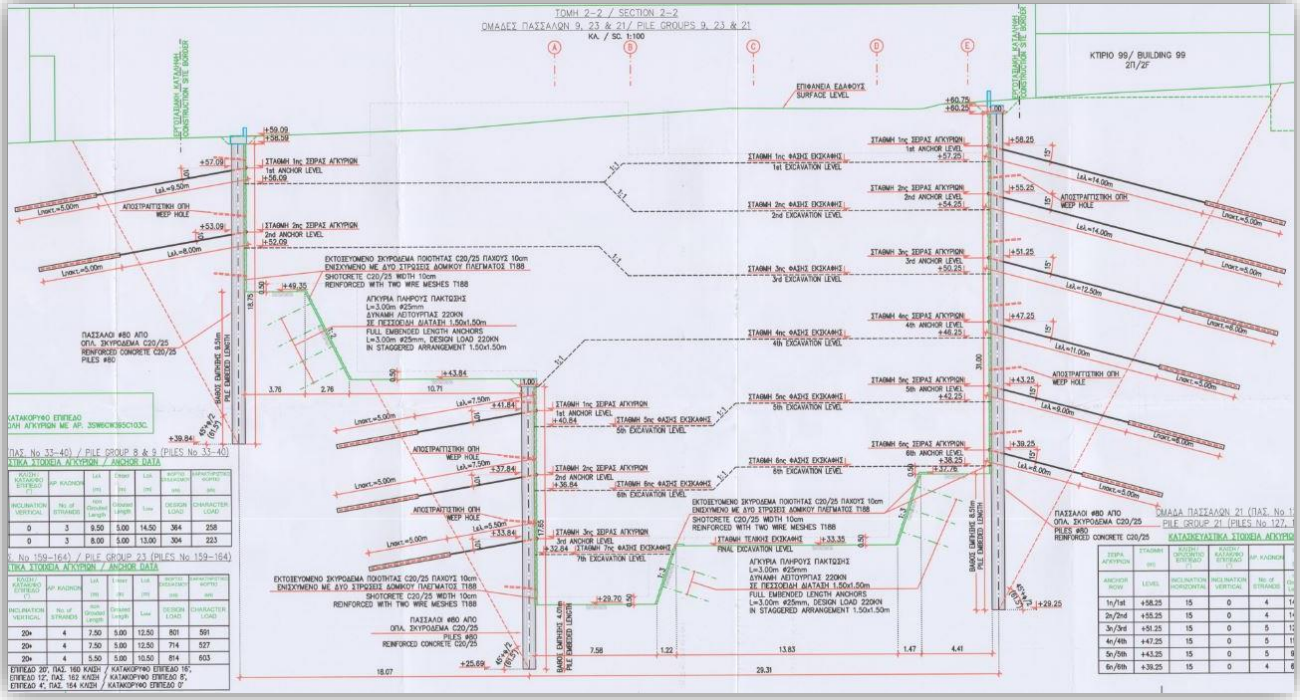
### 3.3 Μέθοδος διάνοιξης και μέτρα αντιστήριξης σταθμού Αγίας Βαρβάρας.

Ο σταθμός του Μετρό Αγία Βαρβάρα έχει κατασκευαστεί με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος cut and cover (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013). Κατά την διαδικασία εκσκαφής του σταθμού με φορά από πάνω προς τα κάτω, δημιουργούνται κατακόρυφα πρανή, τα οποία χρήζουν μέτρα προσωρινής αντιστήριξης. Για την αντιστήριξη της εκσκαφής αρχικά πραγματοποιήθηκε όρυξη, όπλιση και σκυροδέτηση φρεατοπασσάλων διαμέτρου 0,80m, οι οποίοι είναι διατεταγμένοι σε απόσταση 2,00 m μεταξύ τους, και φέρουν κεφαλόδεσμο στην κορυφή τους. Τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία καλύπτουν περιμετρικά όλη την έκταση του ορύγματος, συνολικό μήκος τοίχου σε ανάπτυγμα 415m. Οι φρεατοπάσσαλοι στο σύνολό τους αποτελούνται από 27 ομάδες, η ομαδοποίηση των οποίων έγινε βάση του ύψους του αντιστηριζόμενου

πρανούς, το ύψος στάθμης στο οποίο κατασκευάστηκε ο κεφαλόδεσμος και το συνολικό μήκος του κάθε πασσάλου. Σχεδιαστικά ο κάθε κεφαλόδεσμος έχει διαστάσεις ύψος 0,50m και βάθος 1,00 m από την επιφάνεια του εδάφους. Για λόγους ασφαλείας των εργαζομένων επί των κεφαλόδεσμων κατασκευάζονται τοιχία ύψους 1,30m, κυρίως για αποφυγή βραχοπτώσεων και εισροή επιφανειακών υδάτων εντός του ορύγματος (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

Για την ανάληψη των οριζόντιων φορτίων παράλληλα με την διαδικασία της εκσκαφής σε φάσεις, πραγματοποιείται τοποθέτηση προεντεταμένων αγκυρώσεων, και μεταλλικών αντηρίδων, έως το κατάλληλο βάθος εκσκαφής. Τα προεντεταμένα αγκύρια αποτελούνται από 3, 4, 5 ή 6 κλώνους και η πάκτωση στο πακτωμένο τμήμα τους πραγματοποιείται με χρήση άοπλου τσιμεντενέματος. Με την εξέλιξη της εκσκαφής σε φάσεις σε κάθε φάση στο μέτωπο που δημιουργείται πλευρικά, μεταξύ των κατακόρυφων πασσάλων πραγματοποιείται ενίσχυση με οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 0,10m. Επιπλέον για την αποτόνωση των υδροστατικών πιέσεων ορύσσονται οπές αποστράγγισης στα πρηνή του ορύγματος (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

Στις περιοχές του βόρειου και του νότιου μετώπου στις πλευρές του σταθμού από τις οποίες θα γίνει η διέλευση του TBM, η αντιστήριξη του σκάμματος διαμορφώνεται με εγκατάσταση φρεατοπασσάλων έως το βάθος των 17m και 12m αντίστοιχα οι οποίοι είναι αναρτημένοι με κεφαλόδεσμο, ενώ χρησιμοποιούνται και προεντεταμένα αγκύρια. Λόγω ύπαρξης θόλου σήραγγας για την διέλευση του TBM οι πασσαλοστοιχείες κάτω από τα βάθη των 17m και 12m διακόπτονται. Για την εξασφάλιση της ασφάλειας του έργου κατασκευάστηκε δοκάρι οπλισμένου σκυροδέματος μεγάλης ακαμψίας, το οποίο συνδέει τις αποκοπόμενες σειρές πασσάλων στις αιχμές τους. Τέλος για την ανεμπόδιστη διέλευση της μηχανής ολομέτωπης κοπής από τον χώρο του σταθμού στο βόρειο και νότιο μέτωπο χρησιμοποιούνται, αγκύρια υαλοϊνών και εκτοξευόμενο ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Στον κεντρικό τομέα του σταθμού κατασκευάζεται τεχνητό πρανές. Για την ευστάθεια του τεχνητού πρανούς χρησιμοποιείται οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και παθητικά αγκύρια (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).



Σχήμα 3. 15:Κατασκευαστικά στοιχεία σταθμού μετρό Τομή 2-2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

Πίνακας 3. 1:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 8 & 9 για το ανατολικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 2-2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

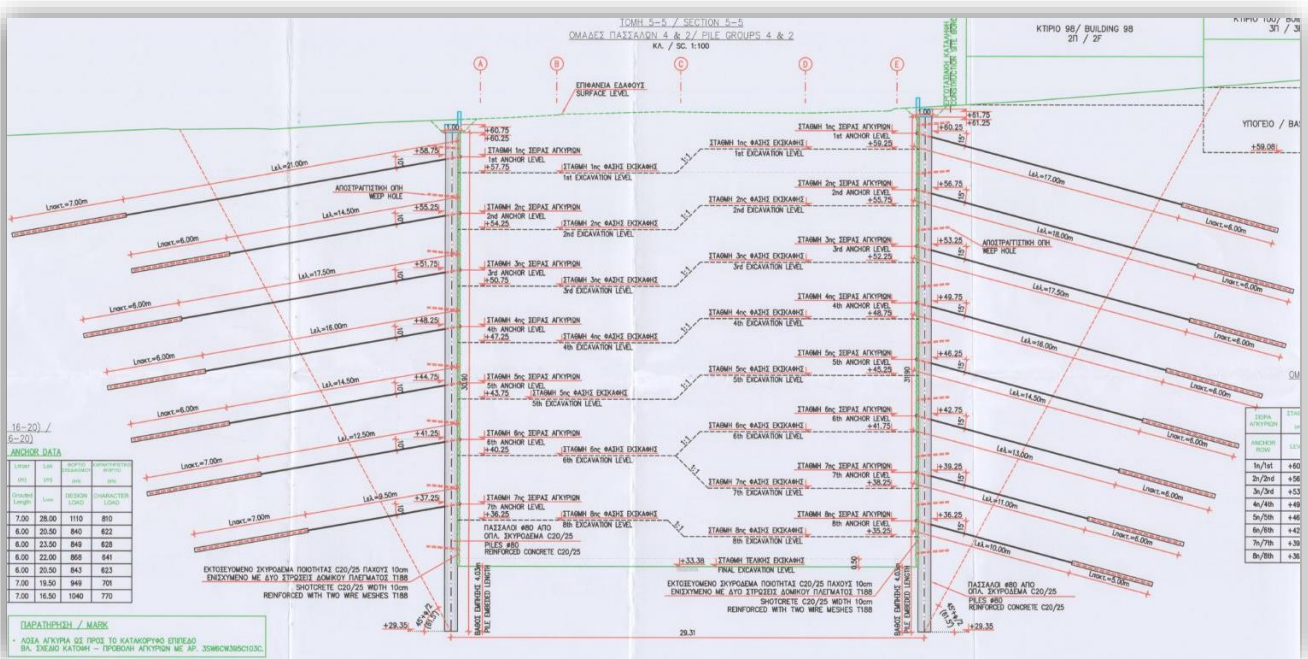
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΑΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ No 8 & 9 (ΠΑΣΣΑΛΟΙ No 33-40)										
Number of Anchor	ΣΕΙΡΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΚΛΙΣΗ/ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΚΛΙΣΗ/ΚΑΤΑΚ/ΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΑΡ. ΚΛΩΝΩΝ	Λεξ (m)	Λπακτ (m)	Λολ (m)	ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (kN)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)
1.1	1st	+57,09	10	0	3	9,50	5,00	14,50	364	258
1.2	2nd	+53,09	10	0	3	8,00	5,00	13,00	304	223

Πίνακας 3. 2:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 23 για το ανατολικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 2-2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΑΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ No 23 (ΠΑΣΣΑΛΟΙ No 159-164)										
Number of Anchor	ΣΕΙΡΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΚΛΙΣΗ/ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΚΛΙΣΗ/ΚΑΤΑΚ/ΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΑΡ. ΚΛΩΝΩΝ	Λεξ (m)	Λπακτ (m)	Λολ (m)	ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (kN)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)
2.1	1st	+41,84	10	20*	4	7,50	5,00	12,50	801	591
2.2	2nd	+37,84	10	20*	4	7,50	5,00	12,50	714	527
2.3	3rd	+33,84	10	20*	4	5,50	5,00	10,50	814	603

Πίνακας 3. 3: Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 21 για το δυτικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 2-2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΑΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ Νο 21 (ΠΑΣΣΑΛΟΙ Νο 127, 129, 130, 132-135)											
Number of Anchor	ΣΕΙΡΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΚΛΙΣΗ/ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΚΛΙΣΗ/ ΚΑΤΑΚ/ΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΑΡ. ΚΛΩΝΩΝ	Λελ (m)	Λπακτ (m)	Λολ (m)	ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΛΙΑΣΜΟΥ (kN)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)	
3.1	1st	+58.25	15	0	4	14.00	5.00	19.00	559	414	
3.2	2nd	+55.25	15	0	4	14.00	5.00	19.00	680	504	
3.3	3rd	+51.25	15	0	5	12.50	6.00	18.50	774	573	
3.4	4th	+47.25	15	0	5	11.00	5.00	16.00	731	542	
3.5	5th	+43.25	15	0	5	9.00	6.00	15.00	827	613	
3.6	6th	+39.25	15	0	4	6.00	5.00	11.00	608	450	



Σχήμα 3. 16: Κατασκευαστικά στοιχεία σταθμού μετρώ, Τομή 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

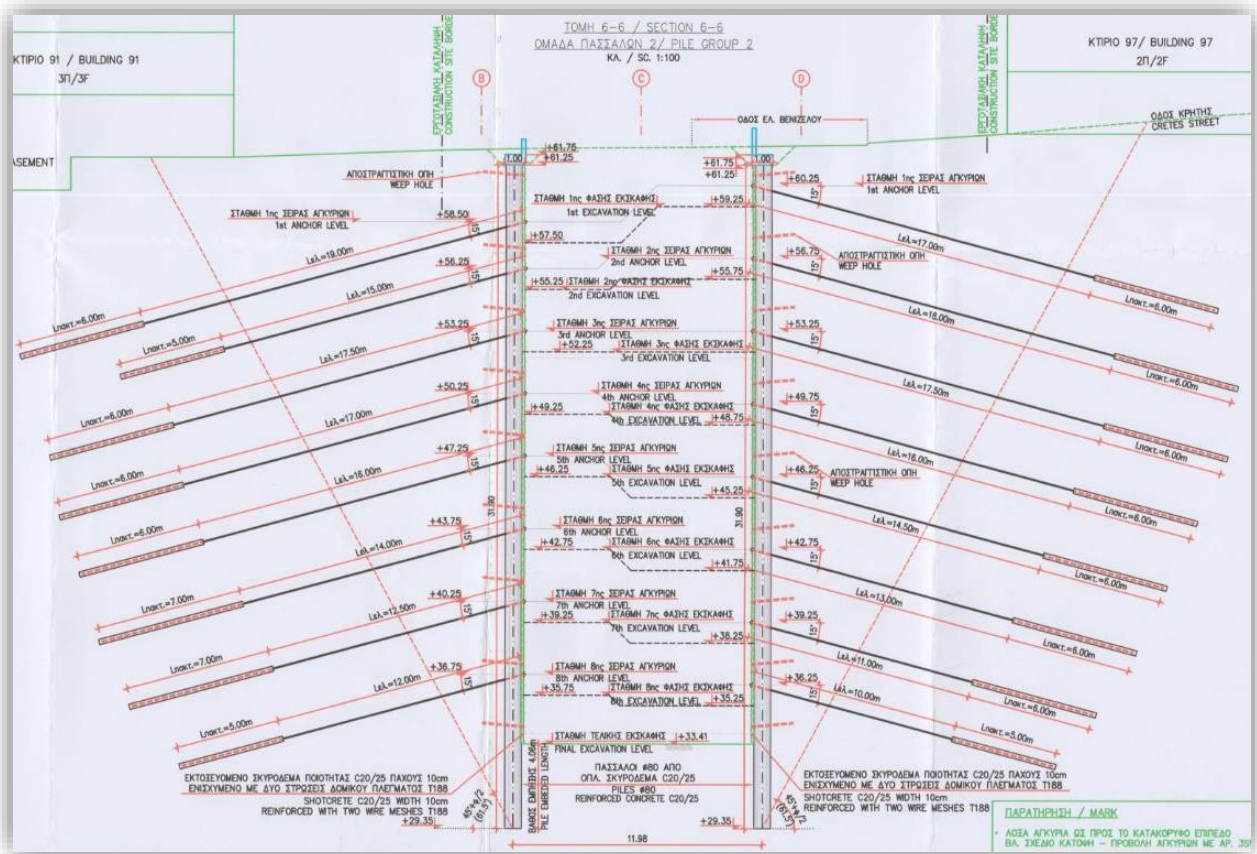
Πίνακας 3. 4: Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 2 για το δυτικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΑΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ Νο 2 (ΠΑΣΣΑΛΟΙ Νο 141-147, 151-154, 156-158)											
Number of Anchor	ΣΕΙΡΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΚΛΙΣΗ/ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΚΛΙΣΗ/ ΚΑΤΑΚ/ΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΑΡ. ΚΛΩΝΩΝ	Λελ (m)	Λπακτ (m)	Λολ (m)	ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΛΙΑΣΜΟΥ (kN)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)	
3.1	1st	+60.25	15	0	5	17.00	6.00	23.00	796	589	
3.2	2nd	+56.75	15	0	5	18.00	6.00	24.00	847	628	
3.3	3rd	+53.25	15	0	5	17.50	6.00	23.50	815	604	
3.4	4th	+49.75	15	0	5	16.00	6.00	22.00	845	626	
3.5	5th	+46.25	15	0	5	14.50	6.00	20.50	829	614	
3.6	6th	+42.75	15	0	5	13.00	6.00	19.00	851	631	
3.7	7th	+39.25	15	0	5	11.00	6.00	17.00	787	582	
3.8	8th	+36.25	15	0	4	10.00	6.00	15.00	680	506	



Πίνακας 3. 5:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 4 για το ανατολικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΑΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ Νο 4 (ΠΑΣΣΑΛΟΙ Νο 16 - 20)										
Number of Anchor	ΣΕΙΡΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΚΛΙΣΗ/ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΚΛΙΣΗ/ΚΑΤΑΚ/ΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΑΡ. ΚΛΩΝΩΝ	Λελ (m)	Λπακτ (m)	Λολ (m)	ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (kN)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)
3.1	1st	+58.75	10	25	6	21.00	7.00	28.00	1110	810
3.2	2nd	+55.25	10	25	5	14.50	6.00	20.50	840	622
3.3	3rd	+51.75	10	25	5	17.50	6.00	23.50	849	628
3.4	4th	+48.25	10	25	5	16.00	6.00	22.00	868	641
3.5	5th	+44.75	10	25	5	14.50	6.00	20.50	843	623
3.6	6th	+41.25	10	25	6	12.50	7.00	19.50	949	701
3.7	7th	+37.25	10	25	6	9.50	7.00	16.50	1040	770



Σχήμα 3. 17:Κατασκευαστικά στοιχεία σταθμού μετρό Τομή 6-6 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

Πίνακας 3. 6:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων ομάδας πασσάλων Νο 2 για το ανατολικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΟΜΑΔΑΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ Νο 2 (ΠΑΣΣΑΛΟΙ Νο 6, 7, 9, 202)										
Number of Anchor	ΣΕΙΡΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΚΛΙΣΗ/ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΚΛΙΣΗ/ΚΑΤΑΚ/ΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΑΡ. ΚΛΩΝΩΝ	Λελ (m)	Λπακτ (m)	Λολ (m)	ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (kN)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)
3.1	1st	+58.50	15	15	5	19.00	6.00	25.00	1065	786
3.2	2nd	+56.25	15	15	4	15.00	5.00	20.00	613	455
3.3	3rd	+53.25	15	15	5	17.50	6.00	23.50	863	639
3.4	4th	+50.25	15	15	5	17.00	6.00	23.00	805	596
3.5	5th	+47.25	15	15	5	16.00	6.00	22.00	923	684
3.6	6th	+43.75	15	15	6	14.00	7.00	21.00	988	732
3.7	7th	+40.25	15	15	6	12.50	7.00	19.50	977	724
3.8	8th	+36.75	15	15	6	12.00	5.00	17.00	999	740

Πίνακας 3. 7:Κατασκευαστικά στοιχεία αγκυρίων πάσσαλος Νο 8 για το δυτικό σύστημα αντιστήριξης της Τομής 5-5 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΠΑΣΣΑΛΟΣ Νο 8										
Number of Anchor	ΣΕΙΡΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ	ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΚΛΙΣΗ/ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΚΛΙΣΗ/ΚΑΤΑΚ/ΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (°)	ΑΡ. ΚΛΩΝΩΝ	Le <sub>1</sub> (m)	L <sub>πακτ</sub> (m)	Lo <sub>2</sub> (m)	ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΛΙΑΣΜΟΥ (kN)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)
3.1	1st	+58.50	8	0	5	20.50	6.00	26.50	1003	741
3.2	2nd	+56.25	8	0	4	15.50	5.00	20.50	578	429
3.3	3rd	+53.25	8	0	5	19.00	6.00	25.00	813	602
3.4	4th	+50.25	8	0	5	18.50	5.00	23.50	759	562
3.5	5th	+47.25	8	0	5	17.50	6.00	23.50	869	644
3.6	6th	+43.75	8	0	5	15.50	7.00	22.50	931	690
3.7	7th	+40.25	8	0	6	13.50	7.00	20.50	921	682
3.8	8th	+36.75	8	0	5	12.50	5.00	17.50	941	698

Πίνακας 3. 8:Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πασσαλότοιχων Νο 1 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

ΟΜΑΔΑ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΕΦΑΛΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΟΥ (άνο παρειά)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΜΗΚΟΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ (m)	ΥΨΟΣ ΠΑΣΣΑΛΟΤΟΙΧΟΥ (m)	ΜΗΚΟΣ ΕΜΠΗΞΗΣ (m)	ΦΟΡΤΙΑ ΕΠΙ ΕΛΑΦΟΥΣ (kPa)	ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΤΟΜΗ
1	1	Ø80	+61,25	+61,75	5	14,7	28,34	0,00	10	3
2 πάσσαλοι No 6, 7, 202	1	Ø80	+61,25	+61,75	5(+1*)	31,9	28,37	4,03	10+50+20+30	6
2 πάσσαλοι No 141-147, 151-154, 156, 158	1	Ø80	+61,25	+61,75	13)	31,9	28,37	4,03	10+50+20+30	5
2 πάσσαλοι No 8, 148, 149, 150, 155	1	Ø80	+61,25	+61,75	4	31,9	28,37	4,03	10+50+20+30	17
3	1	Ø80	+60,75	+61,25	6	31,4	27,9	4,00	10+50+30	11
4	1	Ø80	+60,25	+60,75	5	30,9	27,4	4,00	10+50+30	5
5	1	Ø80	+59,75	+60,25	4	34,05	30,55	4,00	10+50	13
6	1	Ø80	+59,25	+59,75	2	19,4	15,81	4,09	10+50+30	12
7	1	Ø80	+58,75	+59,25	6	18,9	15,81	4,09	10+50+30	12
8	2	Ø80	+58,59	+59,09	3	9,90-12,20	≤9,74	4,09	10+50+20	2
9	2	Ø80	+58,59	+59,09	5	18,75	9,74	9,01	10+50+20	2
10	2	Ø80	+58,09	+58,59	18	18,25	14,75	4,00	120+10+70	4
11 πάσσαλοι No 59, 63-69	3	Ø80	+57,59	+58,09	8	28,35	24,86	3,99	10+50+30+20+70	7
11 πάσσαλοι	3	Ø80	+57,59	+58,09	3	28,35	24,86	3,99	10+50+30+20+70	19

Πίνακας 3. 9:Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πασσαλότοιχων Νο 2 (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

ΟΜΑΔΑ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΕΦΑΛΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΟΥ (άνο παρειά)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΜΗΚΟΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ (m)	ΥΨΟΣ ΠΑΣΣΑΛΟΤΟΙΧΟΥ (m)	ΜΗΚΟΣ ΕΜΠΛΗΞΗΣ (m)	ΦΟΡΤΙΑ ΕΠΙ ΕΔΑΦΟΥΣ (kPa)	ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΤΟΜΗ
No 60-62										
12	3	Ø80	+57,09	+57,59	5	27,85	24,36	3,99	10+50+30+20+70	1
13	3	Ø80	+56,59	+57,09	13	27,35	23,86	4,49	10+50+20+30	8
14	3	Ø80	+56,59	+57,09	5	10,2	23,86	0	10+50	3
15	3	Ø80	+57,25	+57,75	9	8,35-11,95	≤8,45	4	10+50+20+30	1, 8
16	3	Ø80	+57,75	+58,25	6	13,35-18,75	≤15,23	4,02	10+50+30	7
17 πάσσαλοι No 110-114	3	Ø80	+58,25	+58,75	5	29	25,45	4,05	30	16
17 πάσσαλοι No 108-109	3	Ø80	+58,75	+58,75	5	29	25,45	4,05	30	18
18	2	Ø80	+59,25	+59,25	4	29,5	21,53	8,47	30	15
19	2	Ø80	+59,75	+59,75	5	30	22,03	8,47	20+30+20	4
20	2	Ø80	+60,25	+60,25	3	30,5	22,5	8,5	20+30	14
21	2	Ø80	+60,75	+60,75	7	31	22,99	5,86	20+30	2
21a	2	Ø80	+60,75	+60,75	2	31	22,99	5,86	10	10
22	1	Ø80	+61,25	+61,25	5	31,5	23,48	8,52	20+30+20	13
23	2	Ø80	+43,84	+43,84	6	17,65	14,15	4	320**	2
24	2	Ø80	+43,84	+43,84	18	14	10,5	4	320**	4
24a	2	Ø80	+43,84	+43,84	2	14	10,5	4	320**	9
25 πάσσαλοι No 186-201	3	Ø80	+53,14 - +42,52	+53,14 - +42,52	16	13,28-23,41	≤20,40	4	180**	1, 7, 8
25 πάσσαλος No 185	3	Ø80	+42,52	+42,52	1	13,28-23,41	≤20,40	4	180**	20

\* Στην ομάδα 2 συμπεριλαμβάνεται και ο πάσσαλος Νο 202 του οποίου η στάθμη κεφαλής προβλέπεται στο υψόμετρο +59.15 για τη διευκόλυνση της διέλευσης του γειτονικού αγωγού ομβρίων. Οι πάσσαλοι των ομάδων 1 και 14 δεν εμπηγνύονται επί του εδάφους καθόσον δεν κατασκευάζονται μέχρι την τελική στάθμη εκσκαφής, αφού έχει προηγηθεί η διέλευση του TBM.

\*\* Για την διαστασιολόγηση των αγκυριών των κατώτερων υψομετρικά πασσάλων (οι σειρές των οποίων απέχουν σε κάτοψη έως και 20 μέτρα από τις ανώτερες υψομετρικά σειρές) προσδιορίζεται μόνιμο φορτίο υπερκειμένων γαιών επί της επιφάνειας στο εκάστοτε επίπεδο κεφαλόδεσμου ανάλογο με το ύψος των υπερκειμένων γαιών που αντιστηρίζουν οι ανώτερες σειρές πασσάλων.

Στον πίνακα 3.14 που ακολουθεί δίνονται συνοπτικά όλες οι βασικές παραδοχές και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της κατασκευής του Σταθμού.

Πίνακας 3. 10:Παραδοχές και υλικά κατασκευής (OBERMAYER PLANEN + BERATEN, 2013).

1. Φορτία μελέτης	Τιμή
Ίδιο βάρος γαιών	Ε.Γ.Α.Π.Σ
Ίδιο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος	25.00 kN/m <sup>3</sup>
Ίδιο βάρος δομικού χάλυβα	78.50 kN/m <sup>3</sup>
Επιφορτίσεις από κτήρια και κατασκευές	10.00 kN/m <sup>2</sup> / όροφο
Επιφορτίσεις από οικοδομικούς γερανούς	30.00 kN/m <sup>2</sup>
Εργοταξιακό φορτίο	50.00 kN/m <sup>2</sup> / 10.00 kN/m <sup>2</sup> (EAB)
Σεισμική επιτάχυνση εδάφους	α=0.16g
2. Υλικά κατασκευής	Τιμή
Οπλισμένο σκυρόδεμα	C20/25
Άοπλο σκυρόδεμα	C16/20
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	C20/25
Χάλυβας οπλισμών	B500C
Χάλυβας δομικού πλέγματος	B500A
Χάλυβας προεντεταμένων αγκυρίων	S1700/1900
Χάλυβας αντηρίδων	S235
Ηλώσεις fiberglass	F=360kN
3. Επικαλύψεις οπλισμών	Τιμή
Πάσσαλοι	60mm
Κεφαλόδεσμοι	50mm
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	20mm
Τοιχεία	40mm

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

### 4.1 Το πρόγραμμα PLAXIS

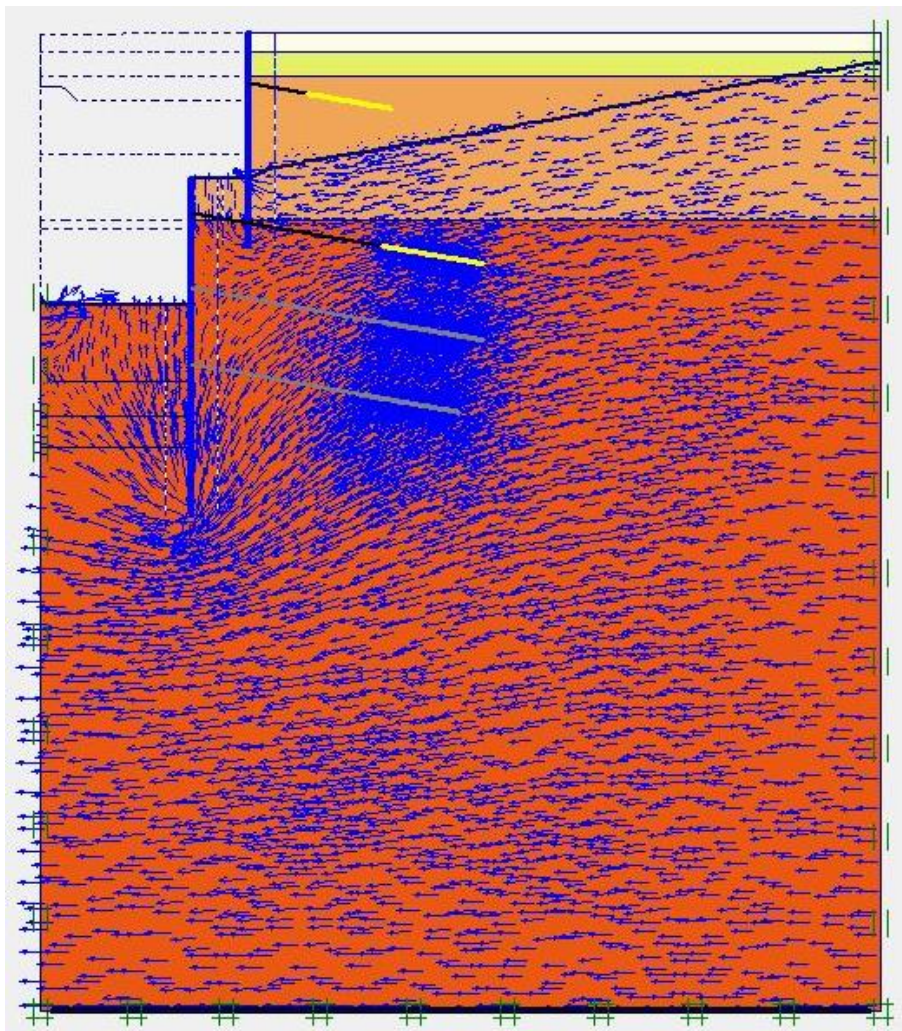
Η επίλυση της εργασίας θα πραγματοποιηθεί με το λογισμικό Plaxis V8. Το λογισμικό Plaxis είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που εκτελεί αναλύσεις σε δύο διαστάσεις, προβλημάτων παραμόρφωσης και ευστάθειας σε γεωτεχνικά έργα. Σκοπός του προγράμματος είναι να προσδιορίσει διάφορα σενάρια αναλύσεων του συστήματος αντιστήριξης της εκσκαφής. Η αριθμητική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τις αναλύσεις των προβλημάτων είναι εκείνη των πεπερασμένων στοιχείων, η οποία βασίζεται στην επίλυση μερικών διαφορικών εξισώσεων. Κατά την αριθμητική αυτή μέθοδο προσομοιώνεται η συνολική αλληλουχία των φάσεων εκσκαφής και υποστήριξης (στην προκειμένη ενός σταθμού Μετρό), οπότε μελετάται η αλληλεπίδραση του εδάφους με τα στοιχεία της υποστήριξης με αποτέλεσμα την δημιουργία διαγραμμάτων μετακινήσεων, αξονικών και διατμητικών δυνάμεων καθώς επίσης και ροπών κάμψεως.

Αρχικά γίνεται εισαγωγή στο πρόγραμμα των συνθηκών των εδαφικών σχηματισμών (ειδικό βάρος, μέτρο ελαστικότητας, συνοχή, γωνία εσωτερικής τριβής κ.λπ.), σχεδιάζονται τα όρια των στρωμάτων και ορίζεται το γεωτεχνικό μοντέλο. Η υποστήριξη της εκσκαφής η οποία μπορεί να αποτελείται από διαφραγματικό τοίχο, προεντεταμένων αγκυρίων κ.α. προσομοιώνεται αντίστοιχα με στοιχεία δοκού και αγκυρίων (μήκος πάκτωσης, ελεύθερο μήκος). Μετά την ολοκλήρωση όλων των δομικών στοιχείων, ορίζονται αν υπάρχουν και εξωτερικά φορτία (κτίρια ή οποιαδήποτε άλλη επιφανειακή κατασκευή), ακολουθεί η επίλυση του προβλήματος στις διαδοχικές φάσεις εκσκαφής και υποστήριξης και προκύπτουν συμπεράσματα. Οι διαδοχικές φάσεις εκσκαφής και υποστήριξης προσομοιώνονται ο ως εξής:

- Φάση 1<sup>η</sup>: Σε όλα τα γεωτεχνικά προβλήματα που επιλύονται με αριθμητικές μεθόδους, το πρώτο στάδιο είναι εκείνο που διαμορφώνεται πριν την εκσκαφή. Το πρώτο στάδιο ονομάζεται και γεωστατικό διότι περιγράφει την εντατική κατάσταση του εδάφους πριν την οποιαδήποτε επέμβαση (εκσκαφή). Πολλές φορές στο στάδιο αυτό δίνονται και κάποια από τα στοιχεία υποστήριξης που κατασκευάζονται πριν την εκσκαφή (όπως φρεατοπάσσαλοι) στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου cut and cover ή cover and cut είτε ακόμα όταν γίνεται

χρήση πιο εξελιγμένων μέτρων υποστήριξης σηράγγων όπως εκείνων των δοκών προπορείας.

- Φάση 2<sup>η</sup>: Πραγματοποιείται η πρώτη εκσκαφή και η υποστήριξή της. Στο στάδιο αυτό ο εδαφικός σχηματισμός αρχίζει να παραμορφώνεται και να πραγματοποιείται ανακατανομή των τάσεων. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης μόλις εφαρμοστούν βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας είναι δηλαδή αφόρτιστα. Θα κληθούν να αναλάβουν φορτία από την στιγμή της τοποθέτησής τους και όσο ο εδαφικός σχηματισμός αρχίζει να παραμορφώνεται. Σκοπός της υποστήριξης είναι να αναλάβει τα φορτία που τείνουν να αστοχήσουν την εκσκαφή.



Σχήμα 4. 1: Παράδειγμα υπολογισμού των υδροστατικών πιέσεων όπως διαμορφώνονται καθώς πραγματοποιείται εκσκαφή από πάνω προς τα κάτω σε διάφορες φάσεις.

- Φάση ν<sup>η</sup>: Η δεύτερη, Τρίτη, νιοστή φάση επαναλαμβάνεται αναλόγως των αριθμό των φάσεων εκσκαφής και υποστήριξης του έργου έως το επιθυμητό βάθος εκσκαφής. Στην εν λόγω διπλωματική εργασία τα στοιχεία προσωρινής υποστήριξης που εφαρμόζονται είναι ο τοίχος αντιστήριξης και τα προεντεταμένα αγκύρια. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις συνθήκες του εδάφους συμπεριλαμβάνεται και η ύπαρξη του υδροφόρου ορίζοντα. Κατά την δημιουργία των ανωτέρω φάσεων εκσκαφής και υποστήριξης συμπεριλαμβάνεται και η ανακατανομή των υδροστατικών πιέσεων όπως αυτές διαμορφώνονται ανά φάση εκσκαφής στο παράδειγμα του σχήματος 4.1.

Μετά το πέρας των φάσεων εκσκαφής δίνεται η τελική τομή της εκσκαφής και των μέτρων υποστήριξης και υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας της διατομής αντιστήριξης και στο τέλος παρουσιάζονται διαγράμματα μετακινήσεων, τάσεων και ροπών κάμψης των στοιχείων υποστήριξης.

## **4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΕΠΙΛΥΣΕΩΝ.**

Έχοντας τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής του σταθμού τομή 1-1, πραγματοποιούνται σενάρια αναλύσεων από όπου προκύπτουν συμπεράσματα για την αλληλεπίδραση των εδαφικών σχηματισμών με τα στοιχεία υποστήριξης. Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν φρεατοπάσσαλοι, η προσομοίωση των οποίων γίνεται με την μορφή ισοδύναμων πλακών. Προεντεταμένα αγκύρια, τα οποία προσομοιώθηκαν σε πακτωμένο και μη πακτωμένο τμήμα το μήκος των οποία ποικίλλει ανά σειρά τοποθέτησης. Τέλος στα σενάρια αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν και μεταλλικές αντηρίδες αντιστήριξης. Για την περιγραφή των στοιχείων στο λογισμικό προσομοίωσης απαιτείται ο υπολογισμός της δυστένειας «ΕΑ» και καμπτικής δυσκαμψίας «ΕΙ».

### **4.2.1 Φρεατοπάσσαλοι αντιστήριξης**

Για τις επιλύσεις των σεναρίων αναλύσεων θα χρησιμοποιηθεί τοίχος αντιστήριξης που αποτελείται από στοιχεία κατακόρυφων φρεατοπασσάλων διαμέτρου Φ80 (80cm), ενώ χρησιμοποιείται οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας C20/25 για την κατασκευή τους. Η αξονική απόσταση μεταξύ τους προσδιορίζεται περί τα 2.00m. Η διαδικασία κατασκευής είναι εκείνη της διάτρησης και επι τόπου σκυροδέτησης ενώ στο άνω τμήμα κάθε πασσάλου σκυροδετείτε κεφαλόδεσμος. Το βάθος ανάπτυξης κάθε κατακόρυφου πασσάλου διαμορφώνεται αναλόγως την θέση τοποθέτησής των. Για την



περιγραφή των στοιχείων στο λογισμικό προσομοίωσης απαιτείται ο υπολογισμός της δυστένειας «EA» και καμπτικής δυσκαμψίας «EI». Το μέτρο ελαστικότητας δίδεται ως  $E_b = 25\text{GPa}$ .

Δυστένεια:

$$E_b A_b = E_b * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (kN) \quad (\text{Εξίσωση 4. 1})$$

Όπου:  $A_b = (\pi * D^2)/4 \text{ mm}^2$  Το εμβαδόν διατομής του φρεατοπασσάλου.

Άρα:

$$E_b A_b = 12566371 kN$$

Η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό Plaxis των τιμών δυστένειας ανάγονται ανά μέτρο μήκους οπότε διαιρούνται με την αξονική απόσταση των πασσάλων η οποία προσδιορίζεται περί τα 2.00m. Η τιμή εισαγωγής είναι:

$$E_b A'_b = \frac{\left[ E_b * \frac{\pi * D^2}{4} \right]}{X} \quad (kN/m) \quad (\text{Εξίσωση 4. 2})$$

$$E_b A'_b = 6283185 kN/m$$

Καμπτική δυσκαμψία:

$$E_b I = E_b * \frac{\pi * D^4}{64} \quad (kN * m^2) \quad (\text{Εξίσωση 4. 3})$$

Όπου:  $I = (\pi * D^4)/64 \text{ m}^4$  Η ροπή αδρανείας του του φρεατοπασσάλου.

Άρα:

$$E_b I = 502655 kN * m^2$$

Η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό Plaxis των τιμών καμπτικής δυσκαμψίας ανάγονται ανά μέτρο μήκους οπότε διαιρούνται με την αξονική απόσταση των πασσάλων η οποία προσδιορίζεται περί τα 2.00m. Η τιμή εισαγωγής είναι:

$$E_b I' = 251327 kNm$$

Στον τοίχο αντιστήριξης συμπεριλαμβάνεται και ενδιάμεσος τοίχος πάχους 0,06m. Άρα οι τελικές τιμές των μεγεθών καθορίζονται ως εξής:

• Δυστένεια:

$$EA = E_b * \frac{(x-D)*w}{x} \quad (kN/m) \quad (\text{Εξίσωση 4. 4})$$

Όπου:

X: η αξονική απόσταση μεταξύ των φρεατοπασσάλων

D: η διάμετρος των φρεατοπασσάλων

W: το πάχος του ενδιάμεσου τοίχου

E<sub>b</sub>: το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος

Άρα:

$$EA = 900000 \text{ kN/m}$$

Η τελική τιμή της δυστένειας υπολογίζεται:

$$EA_{wall} = E_b A'_b + EA \text{ (kN/m)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 5})$$

$$EA_{wall} = 7183185 \text{ kN/m}$$

- Καμπτική δυσκαμψία:

$$EI = E_b * \frac{(x-D)*w^3}{x} \text{ (kN * m)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 6})$$

Όπου:

X: η αξονική απόσταση μεταξύ των φρεατοπασσάλων

D: η διάμετρος των φρεατοπασσάλων

W: το πάχος του ενδιάμεσου τοίχου

E<sub>b</sub>: το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος

Άρα:

$$EI = 270 \text{ kN * m}$$

Η τελική τιμή της δυστένειας υπολογίζεται:

$$EI_{wall} = E_b I' + EI \text{ (kN * m)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 7})$$

$$EI_{wall} = 251597 \text{ kNm}$$

Τέλος προσδιορίζεται το βάρος του τοίχου αντιστήριξης ανά τρέχον μέτρο με ισοδύναμο πάχος πλάκας d = 0.648m, και ειδικό βάρος σκυροδέματος γ=24kN/m<sup>3</sup>.

$$W = \gamma * d \text{ (kN/m)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 8})$$

$$W = 15,55 \text{ kN/m}$$

Ο λόγος Poisson προσδιορίζεται ως 0,15.

#### 4.2.2 Προεντεταμένα αγκύρια

Τα προεντεταμένα αγκύρια που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των αναλύσεων είναι 3<sup>ov</sup>, 4<sup>ov</sup> και 5 κλώνων. Ο χάλυβας των προεντεταμένων αγκυρίων είναι ποιότητας S1700/1900 και μέτρου ελαστικότητας  $E_s = 210\text{GPa}$ . Η διάμετρος κάθε κλώνου(καλωδίου) είναι 0,6'' (1,524 cm). Το εμβαδόν διατομής κάθε κλώνου είναι:

$$A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 9})$$

$$A_s = 1,81 \text{ cm}^2$$

##### Μη πακτωμένο τμήμα

- **Αγκύρια με 3 κλώνους:**

$$A_{s3} = 3 * A_s \text{ (cm}^2\text{)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 10})$$

$$A_{s3} = 5,43 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Δυστένεια αγκυρίων με 3 κλώνους:

$$EA_{s3} = E_s * A_{s3} \text{ (kN)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 11})$$

$$EA_{s3} = 114030 \text{ kN}$$

- **Αγκύρια με 4 κλώνους:**

$$A_{s4} = 4 * A_s \text{ (cm}^2\text{)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 12})$$

$$A_{s4} = 7,24 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Δυστένεια αγκυρίων με 4 κλώνους:

$$EA_{s4} = E_s * A_{s4} \text{ (kN)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 13})$$

$$EA_{s4} = 152040 \text{ kN}$$

- **Αγκύρια με 5 κλώνους:**

$$A_{s5} = 5 * A_s \text{ (cm}^2\text{)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 14})$$

$$A_{s5} = 9,05 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Δυστένεια αγκυρίων με 5 κλώνους:

$$EA_{s5} = E_s * A_{s5} \text{ (kN)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 15})$$

$$EA_{s5} = 190050 \text{ kN}$$

##### Πακτωμένο τμήμα

- **Αγκύρια με 3 κλώνους:**

$$A_{b3} = \left[ \frac{\pi \cdot d^2}{4} - A_{s3} \right] \text{ (cm}^2\text{)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 16})$$

Όπου:

d: Η διάμετρος του βολβού πάκτωσης (d=10cm)

$$A_{b3} = 73,11 * 10^{-4} m^2$$

Δυστένεια αγκυρίων με 3 κλώνους:

$$EA_{b3} = (E_b * A_{b3}) + EA_{s3} \text{ (kN)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 17})$$

Όπου:

E<sub>b</sub>: Το μέτρο ελαστικότητας του τσιμεντοκονιάματος βολβού πάκτωσης (E<sub>b</sub>=15GPa)

$$EA_{b3} = 223695 \text{ kN}$$

- **Αγκύρια με 4 κλώνους:**

$$A_{b4} = \left[ \frac{\pi * d^2}{4} - A_{s4} \right] (cm^2) \quad (\text{Εξίσωση 4. 18})$$

Όπου:

d: Η διάμετρος του βολβού πάκτωσης (d=10cm)

$$A_{b4} = 71,30 * 10^{-4} m^2$$

Δυστένεια αγκυρίων με 4 κλώνους:

$$EA_{b4} = (E_b * A_{b4}) + EA_{s4} \text{ (kN)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 19})$$

Όπου:

E<sub>b</sub>: Το μέτρο ελαστικότητας του τσιμεντοκονιάματος βολβού πάκτωσης (E<sub>b</sub>=15GPa)

$$EA_{b4} = 258990 \text{ kN}$$

- **Αγκύρια με 5 κλώνους:**

$$A_{b5} = \left[ \frac{\pi * d^2}{4} - A_{s5} \right] (cm^2) \quad (\text{Εξίσωση 4. 20})$$

Όπου:

d: Η διάμετρος του βολβού πάκτωσης (d=10cm)

$$A_{b5} = 69,49 * 10^{-4} m^2$$

Δυστένεια αγκυρίων με 5 κλώνους:

$$EA_{b5} = (E_b * A_{b5}) + EA_{s5} \text{ (kN)} \quad (\text{Εξίσωση 4. 21})$$

Όπου:

E<sub>b</sub>: Το μέτρο ελαστικότητας του τσιμεντοκονιάματος βολβού πάκτωσης (E<sub>b</sub>=15GPa)

$$EA_{b5} = 294285 \text{ kN}$$

### 4.2.3 Μεταλλικές αντηρίδες αντιστήριξης

Με τον όρο μεταλλικές αντηρίδες ονομάζεται ένα σύστημα από μεταλλικές δοκούς κυκλικής διατομής οι οποίες αντιστηρίζουν τις δύο κατακόρυφες παρειές μιας ανοικτής εκσκαφής. Για την επίλυση ενός τέτοιου συστήματος απαιτείται ο υπολογισμός της δυστένειας  $EA$  κάθε μεταλλικής αντηρίδας.

$$EA = E_s * A_s \text{ kN} \quad (\text{Εξίσωση 4. 22})$$

Όπου:

- $E_s = 210\text{GPa}$  το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα
- $A_s$ : Το εμβαδόν διατομής της αντηρίδας.

$$A_s = \pi * (D^2 - d^2) \text{ m}^2 \quad (\text{Εξίσωση 4. 23})$$

Όπου:

- $D$ : Εξωτερική διάμετρος κορμού αντηρίδας.
- $d$ : Εσωτερική διάμετρος κορμού αντηρίδας.

Άρα:

$$EA = 902,52 * 10^6 \text{ kN}$$

Η απόσταση τοποθέτησης των αντηρίδων (οριζόντια απόσταση) καθορίστηκε στα 4,5m ( $L_{spacing}$ ).

## 4.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αρχικά πραγματοποιήθηκε επίλυση αναφοράς σε υποθετικά συστήματα αντιστήριξης. Τα συστήματα αυτά έχουν υποστεί τροποποιήσεις σε σχέση με αυτά που εφαρμόστηκαν στην πραγματικότητα.

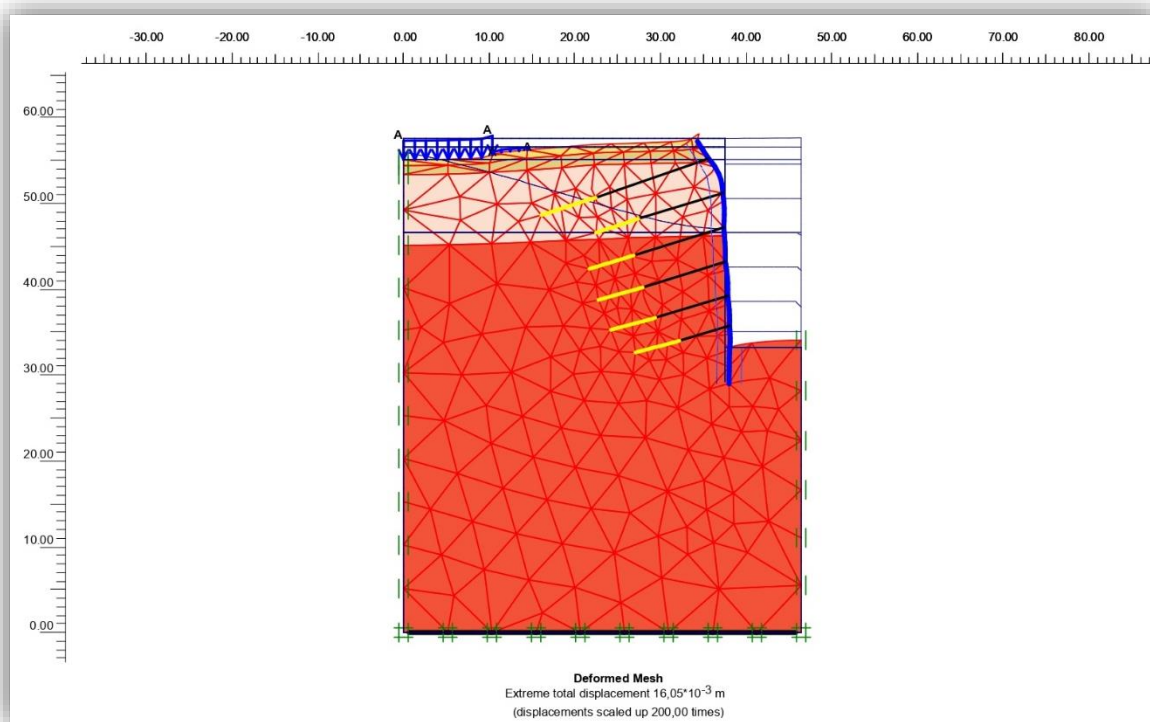
Χρησιμοποιώντας το λογισμικό Plaxis V8 2D, προέκυψε το αριθμητικό προσομοίωμα (εκσκαφής-αντιστήριξης) για το ανατολικό και δυτικό σύστημα του σταθμού αντίστοιχα.

### 4.3.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανατολικού συστήματος αντιστήριξης αναφοράς της εκσκαφής

Για την επίλυση αναφοράς της εκσκαφής, του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης χρησιμοποιήθηκαν φρεατοπάσσαλοι διαμέτρου 80cm κατασκευασμένοι από οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας C20/25, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ως βασικός κορμός του τοίχου αντιστήριξης. Πάνω στον τοίχο αντιστήριξης τοποθετήθηκαν ανά επίπεδο εκσκαφής προεντεταμένα αγκύρια 3<sup>ov</sup>, 4<sup>ov</sup> και 5κλώνων. Ως υλικό αυτών επιλέχθηκε χάλυβας ποιότητας S1700/1900 και μέτρου ελαστικότητας  $E_s = 210\text{GPa}$ , ενώ η διάμετρος κάθε κλώνου αγκύρωσης προσδιορίζεται στα 1,524cm. Το μήκος

πάκτωσης κάθε αγκυρίου προσδιορίζεται στα 5,00m και 6,00m ενώ για την πάκτωσή τους χρησιμοποιείται τσιμεντοκονίαμα μέτρου ελαστικότητας 15GPa. Για τις προεντεταμένες αγκυρώσεις χρησιμοποιήθηκαν έξι σειρές αγκυρίων.

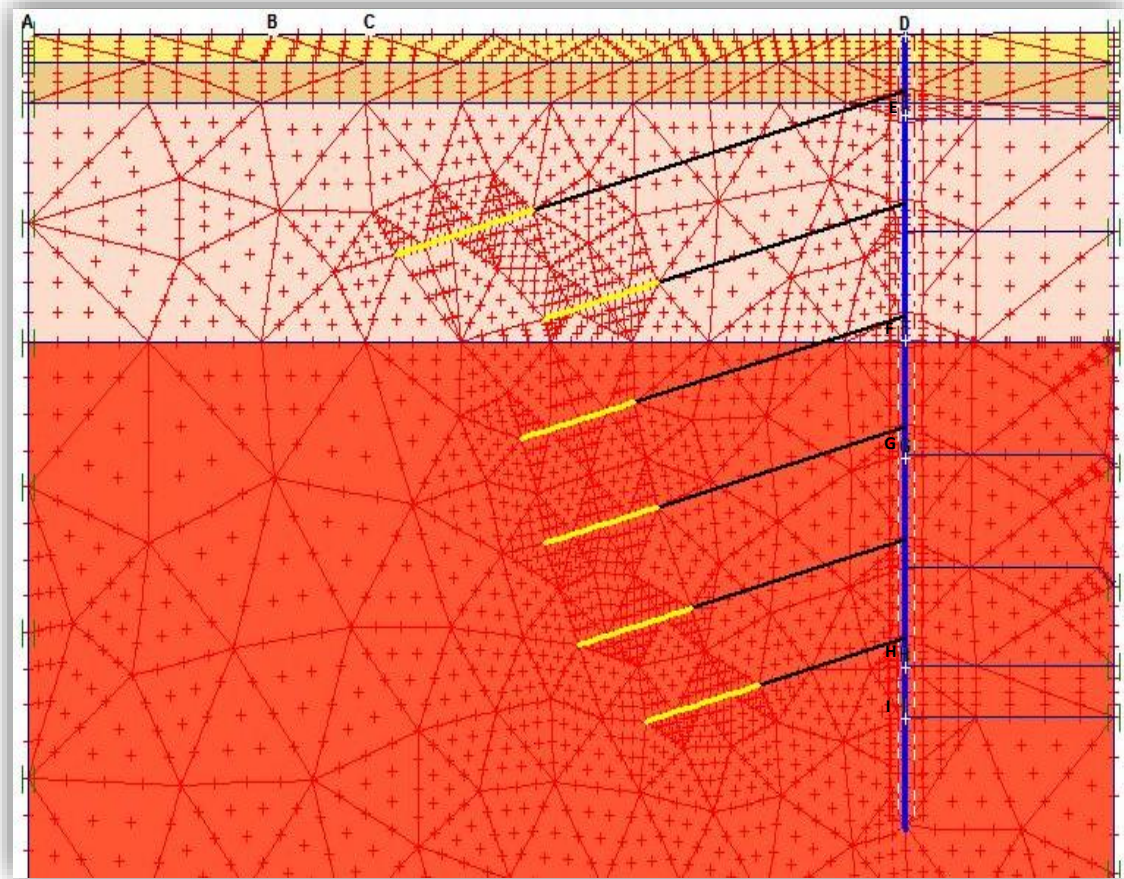
Από την επίλυση του ανατολικού συστήματος εκσκαφής και αντιστήριξης προέκυψε το παραμορφωμένο αριθμητικό προσομοίωμα του σχήματος 4.2.



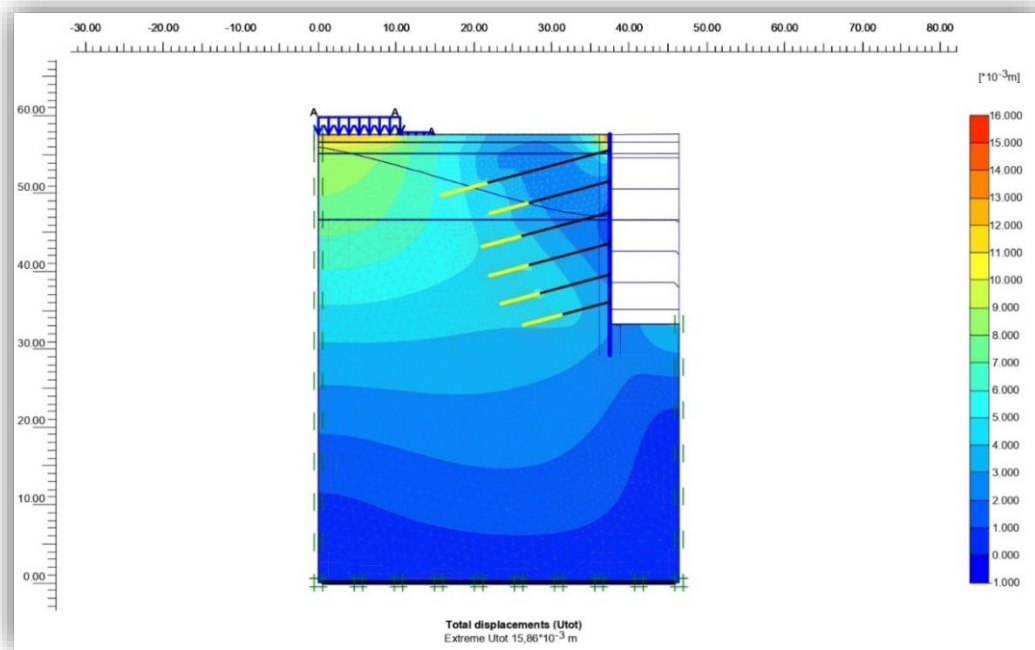
Σχήμα 4. 2: Προσομοίωμα παραμόρφωσης ανατολικού συστήματος εκσκαφής και αντιστήριξης.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επίλυση του ανατολικού συστήματος του σχήματος 4.3, παρατηρούνται οι συνολικές μετακινήσεις, να είναι της τάξεως των 15,86mm. Η εμφάνιση αυτών διαπιστώνεται στον κεφαλόδεσμο του τοίχου αντιστήριξης και στη βάση του κτηρίου 7Π (Δημαρχείου). Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζονται οι οριζόντιες μετακινήσεις. Επί του τοίχου αντιστήριξης η μέγιστη τιμή 15,86mm των μετακινήσεων εντοπίζεται στον κεφαλόδεσμο του τοίχου αντιστήριξης. Το πρόσημο (-) στην τιμή όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4, καθορίζει την κατεύθυνση των μετατοπίσεων, η φορά δείχνει μετακίνηση αντίρροπη με την εκσκαφή. Αυτό είναι φανερό και στο προσομοίωμα (σχήμα 4.2) παραμόρφωσης κατά το οποίο ο κεφαλόδεσμος του τοίχου αντιστήριξης παραμορφώνεται από την αντίθετη πλευρά του χώρου εκσκαφής. Και στα τρία υφιστάμενα σχήματα 4.2, 4.3, 4.4, παρατηρείται στην βάση του τοίχου (μήκος πάκτωσης) αμελητέα μετακίνηση της τάξεως των 2,00 έως 4,00mm. Πιο συγκεκριμένα στα διαγράμματα 4.1, 4.2, 4.3 το σημείο I που βρίσκεται

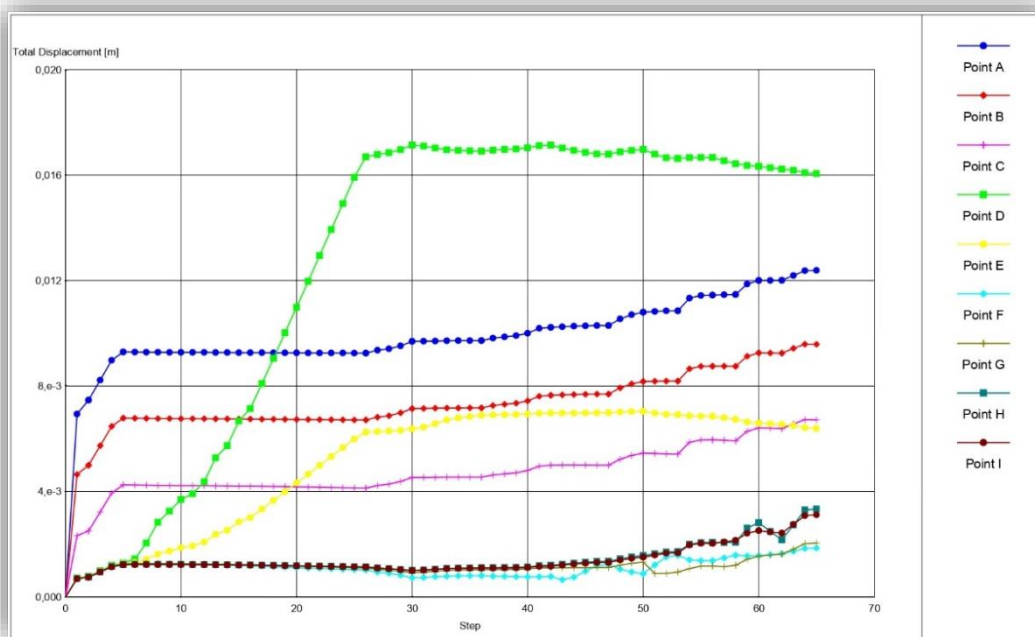
στην βάση του τοίχου στον πυθμένα της εκσκαφής, παρουσιάζει ανεπαίσθητα φαινόμενο ανύψωση πυθμένα. Για την καλύτερη παρακολούθηση των μετακινήσεων ορίστηκαν σημεία παρατήρησης τα οποία απεικονίζονται στο σχήμα 4.3.



Σχήμα 4. 3: Απεικόνιση σημείων παρατήρησης εντός του προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος.

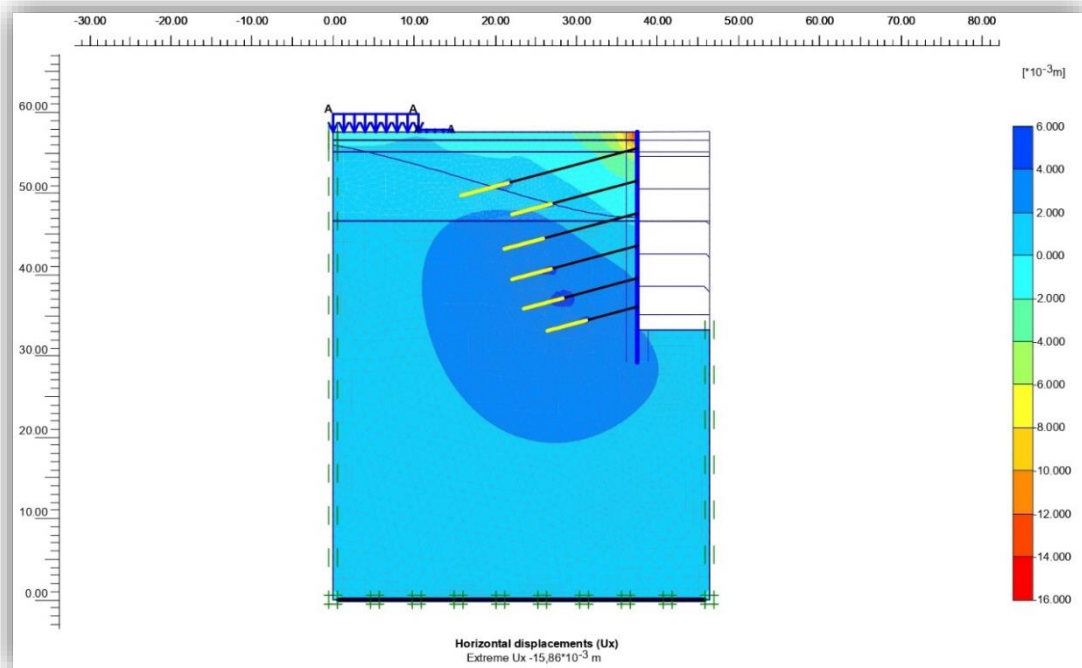


Σχήμα 4. 4:Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.



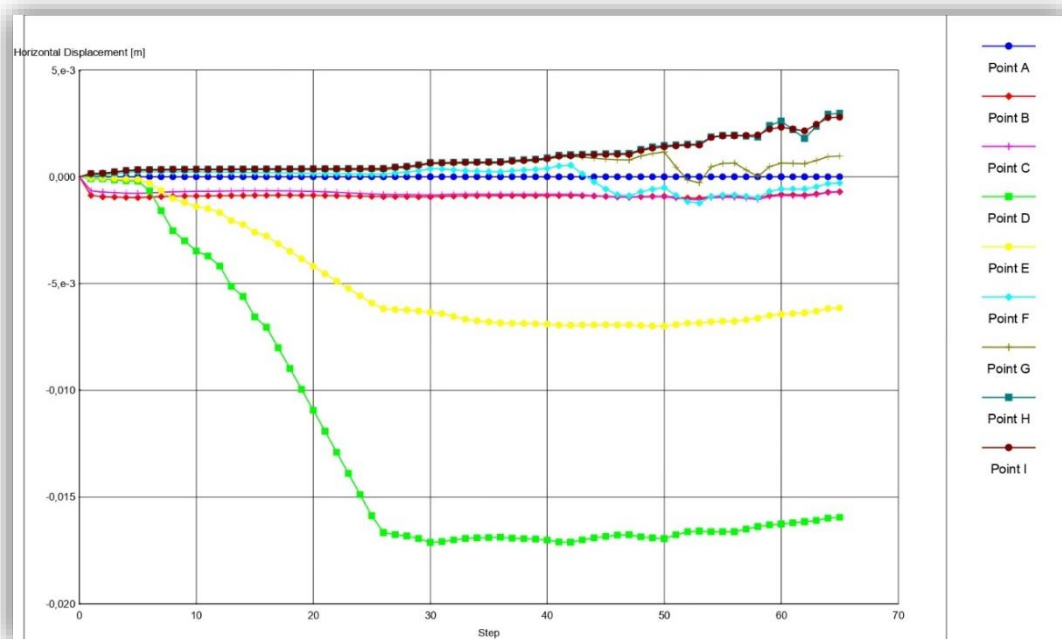
Διάγραμμα 4. 1:Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης.



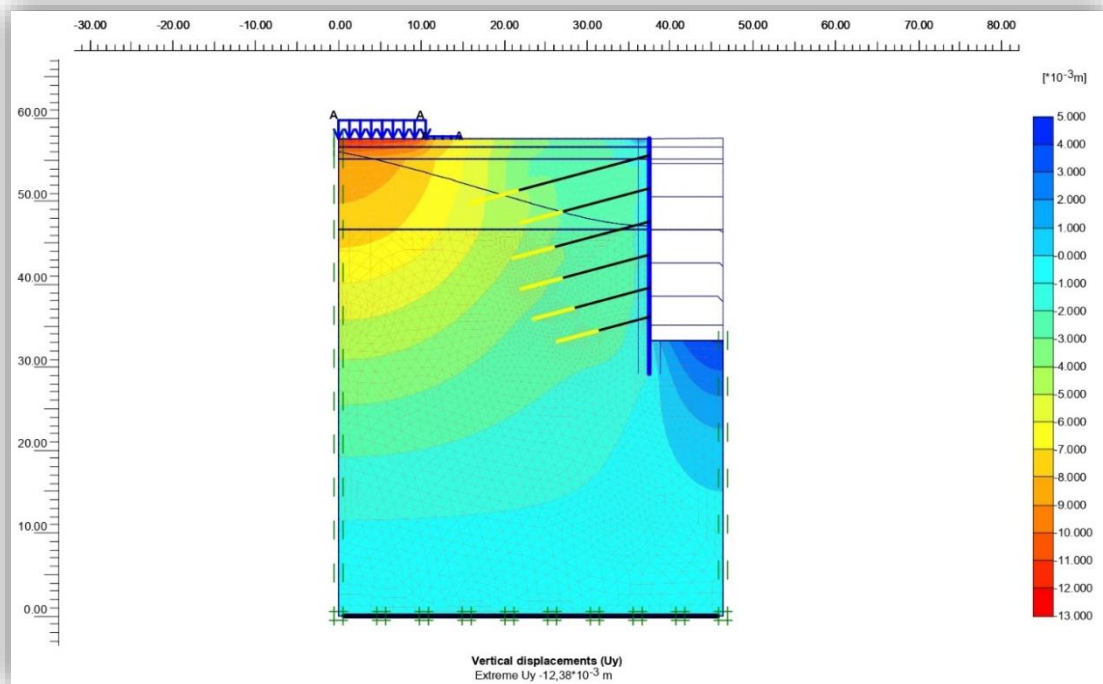


Σχήμα 4. 5: Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Τα στοιχεία του διαγράμματος 4.1, περιγράφουν την εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων του σχήματος 4.4, πιο συγκεκριμένα η καμπύλη του σημείο D το οποίο βρίσκεται στον κεφαλόδεσμο του τοίχου αντιστήριξης διαμορφώνεται μετατοπισμένη σε σχέση με τις καμπύλες των υπόλοιπων σημείων παρατήρησης.

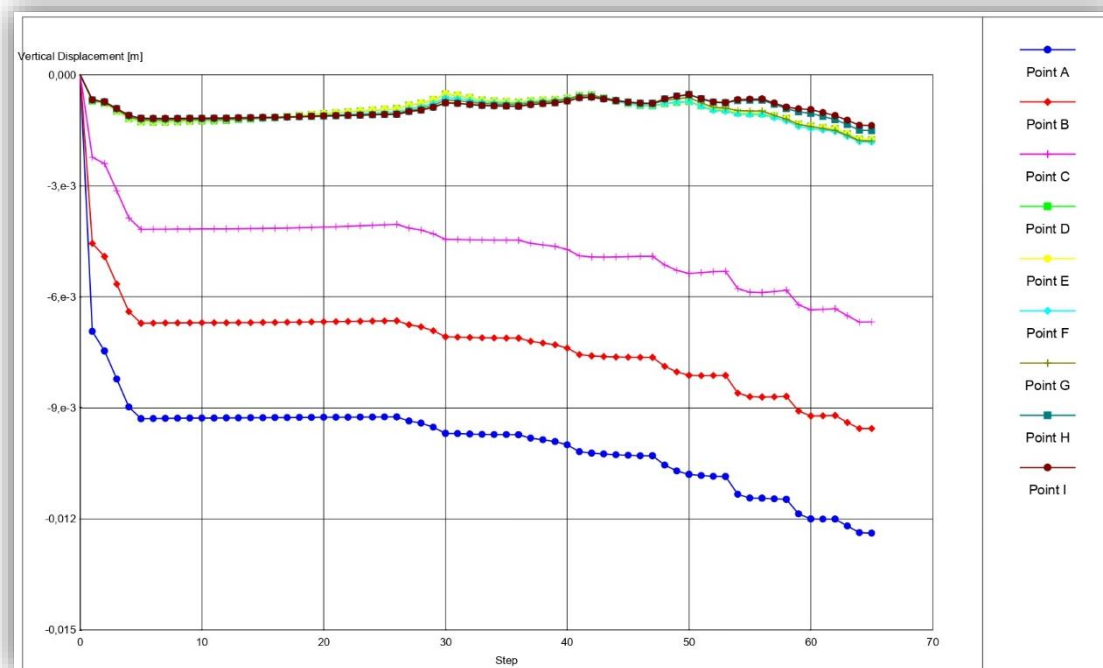


Διάγραμμα 4. 2: Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.



Σχήμα 4. 6: Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

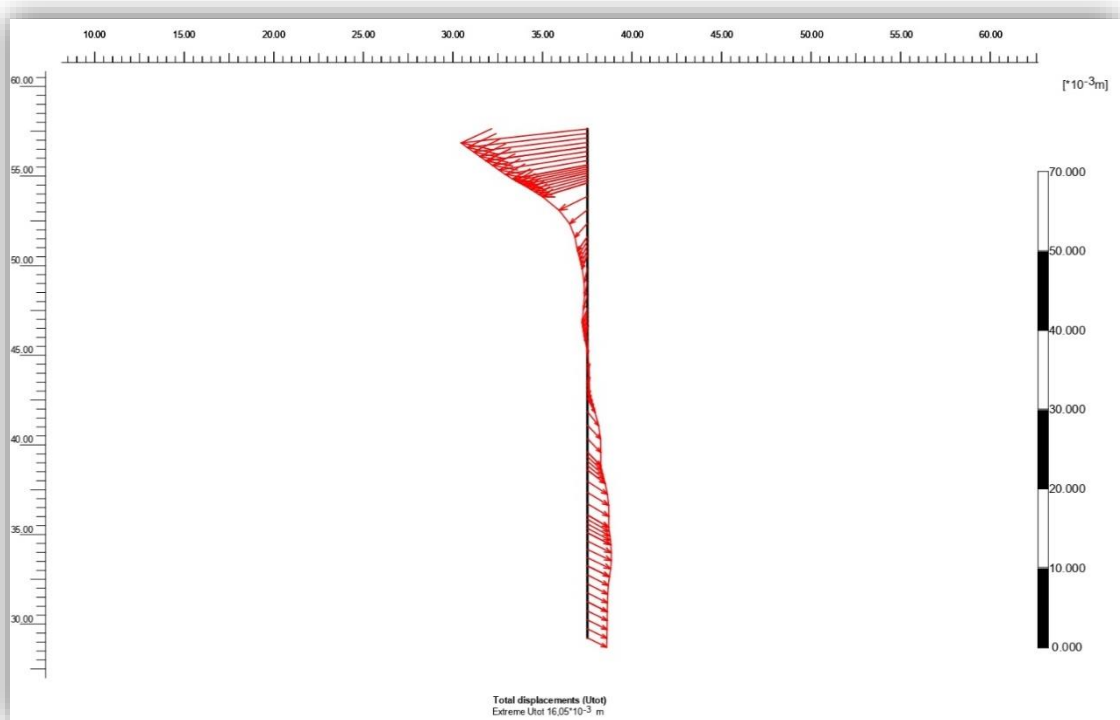
Αντίστοιχα για την βάση του κτηρίου 7Π οι χαρακτηριστικές καμπύλες των σημείων παρατήρησης Α και Β διακρίνονται στο σχήμα 4.3. Η εξέλιξη των καμπυλών είναι ευνοϊκή καθώς οι τιμές που παρατηρούνται είναι φυσιολογικές.



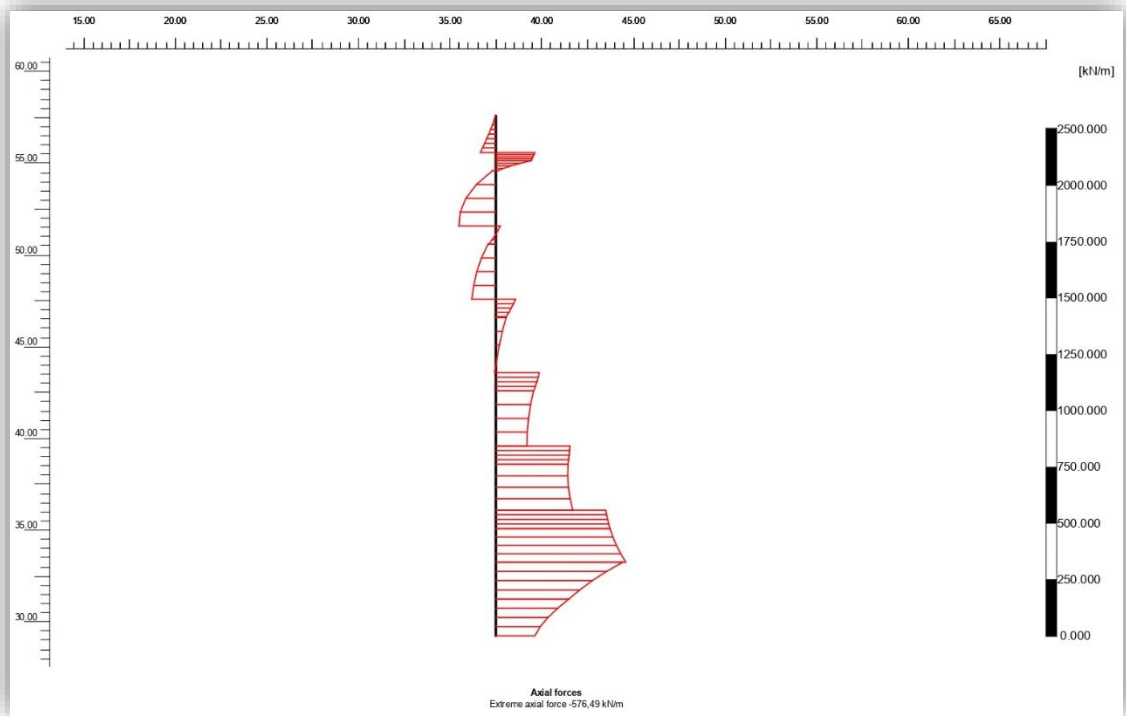
Διάγραμμα 4. 3: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης.

Στο σχήμα 4.6, παρουσιάζονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις. Η τιμή αυτών διαμορφώνεται στα 12,38mm. Στο διάγραμμα 4.3 περιγράφεται η εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης σε σχέση με την πρόοδο της εκσκαφής. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι η ύπαρξη κατακόρυφων μετακινήσεων-βυθίσεων των σημείων A, B, C λόγω ύπαρξης του κτηρίου 7Π (Δημαρχείο) με αποτέλεσμα την ύπαρξη ανεπαίσθητης διαφορικής καθίζησης. Τα υπόλοιπα σημεία D, E, F, G, H, I παρουσιάζουν μικρότερης τάξης κατακόρυφες μετακινήσεις. Ακολουθούν διαγράμματα, χωρικής κατανομής των συνολικών μετακινήσεων, αξονικών-διατμητικών δυνάμεων και ροπών κάμψης για τον τοίχο αντιστήριξης.

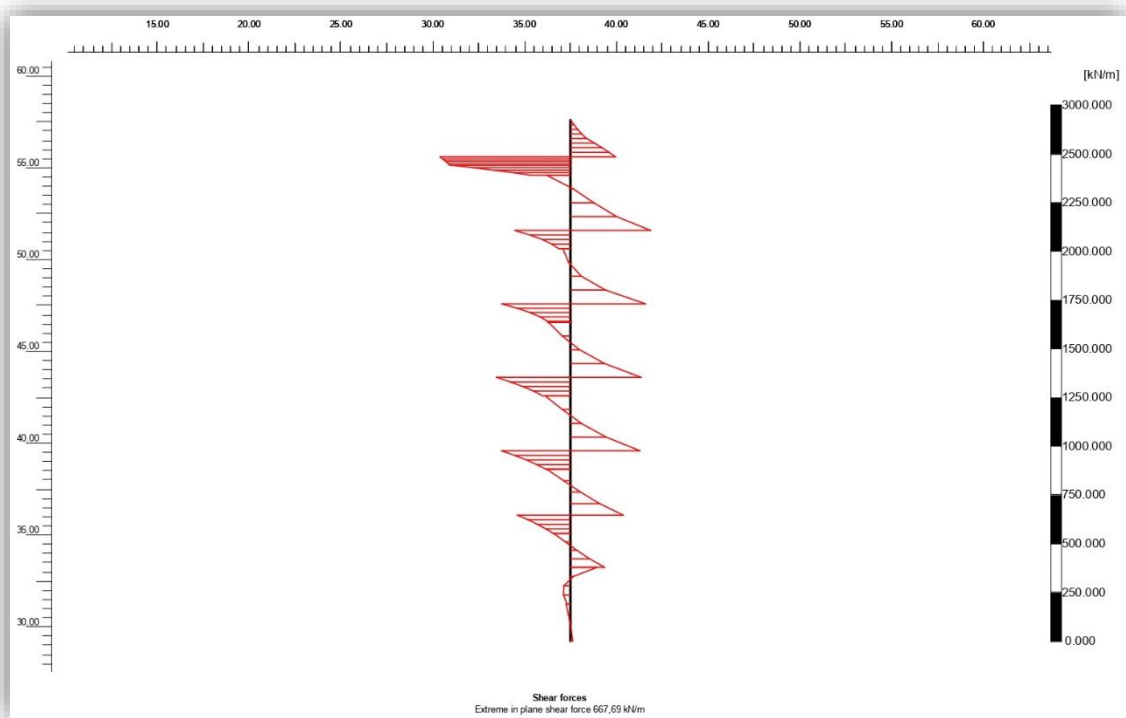
Στο διάγραμμα 4.4 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συνολικών μετακινήσεων του τοίχου αντιστήριξης, η μέγιστη τιμή αυτών διαμορφώνεται στον κεφαλόδεσμο και είναι της τάξεως των 16,05mm. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση των μετακινήσεων σε όλη την έκταση του τοίχου αντιστήριξης.



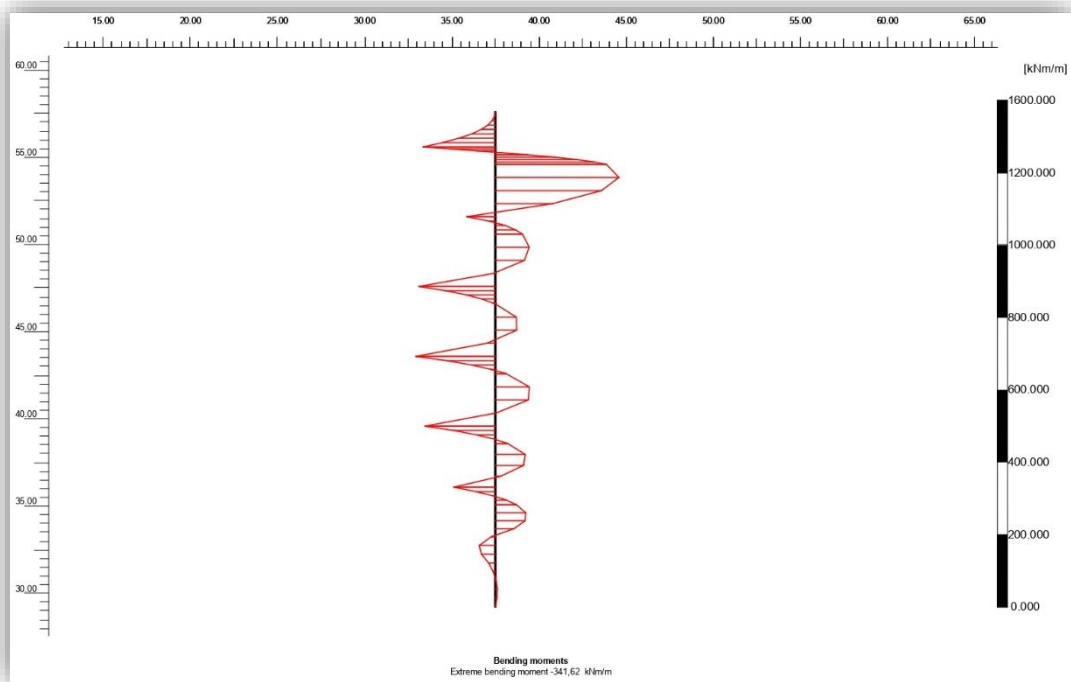
Διάγραμμα 4. 4:Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης.



Διάγραμμα 4. 5: Χωρική κατανομή διατμητικών (τεμνουσών) δυνάμεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.



Διάγραμμα 4. 6: Χωρική κατανομή διατμητικών (τεμνουσών) δυνάμεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.



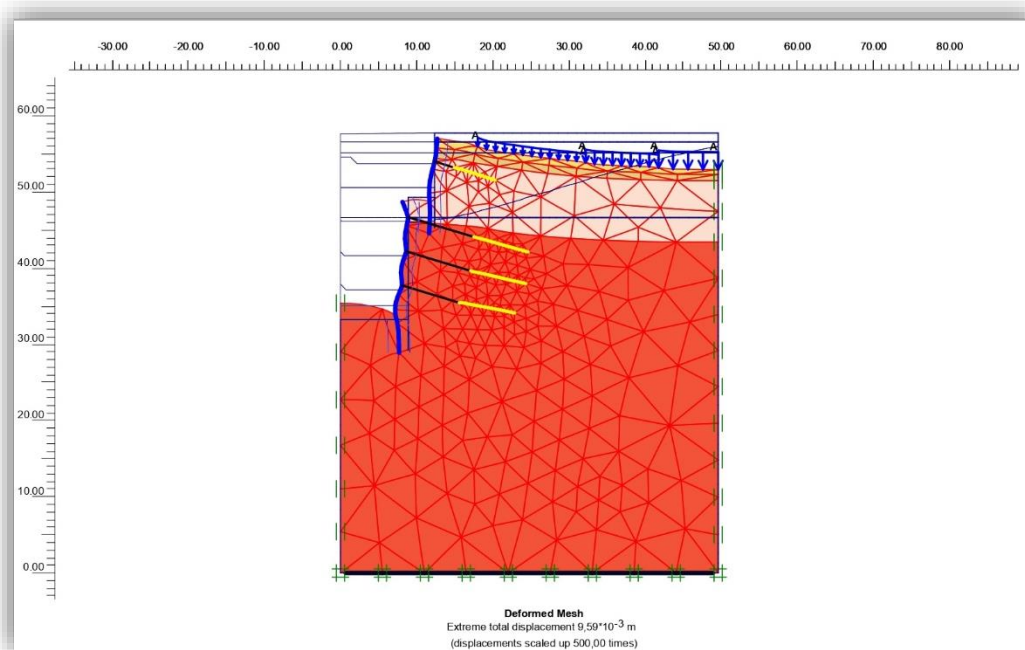
Διάγραμμα 4. 7:Χωρική κατανομή καμπτικών ροπών στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Τέλος ο συντελεστής ασφαλείας της τομής του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης προέκυψε σε  $FS= 3,246$ . Η μεθοδολογία υπολογισμού του οποίου αναλύεται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 6.0.

### 4.3.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δυτικού συστήματος αντιστήριξης αναφοράς της εκσκαφής

Για την επίλυση αναφοράς της εκσκαφής, του δυτικού συστήματος αντιστήριξης χρησιμοποιήθηκαν φρεατοπάσσαλοι διαμέτρου 80cm κατασκευασμένοι από οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας C20/25, οι οποίοι προσομοιώνουν τον τοίχο αντιστήριξης. Στην επίλυση χρησιμοποιούνται δύο τοίχοι αντιστήριξης οι οποίοι διαφέρουν ως προς το μήκος ανάπτυξής τους και το βάθος (υψόμετρο) ανάρτησής τους. Πάνω στους φρεατοπασσάλους και ανά επίπεδο εκσκαφής ορύσσονται προεντεταμένα αγκύρια 3<sup>ov</sup> και 5 κλώνων. Ως υλικό αυτών επιλέχθηκε χάλυβας ποιότητας S1700/1900 και μέτρου ελαστικότητας  $E_s = 210\text{GPa}$ , ενώ η διάμετρος κάθε κλώνου αγκύρωσης προσδιορίζεται στα 1,524cm. Το μήκος πάκτωσης κάθε αγκυρίου προσδιορίζεται στα 5,00m και 6,00m ενώ για την πάκτωσή τους χρησιμοποιείται τσιμεντοκονίαμα μέτρου ελαστικότητας 15GPa. Για τις προεντεταμένες αγκυρώσεις χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις σειρές αγκυριών.

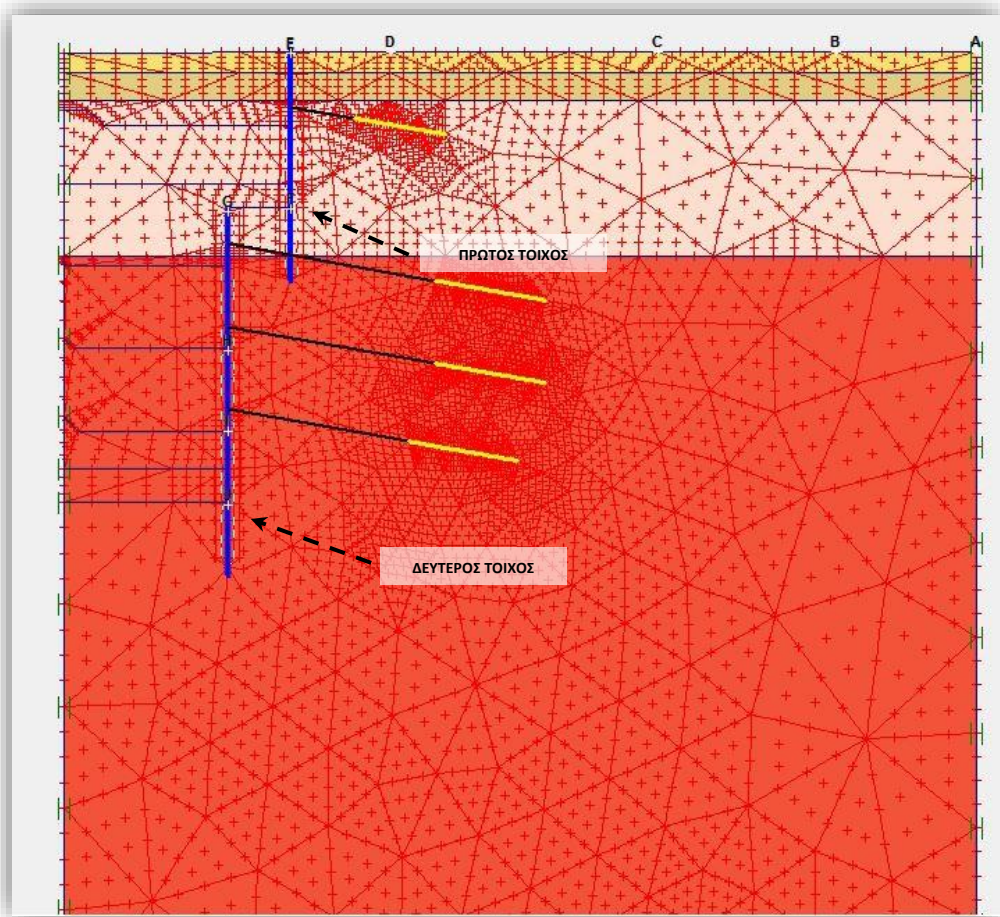
Από την επίλυση του δυτικού συστήματος εκσκαφής και αντιστήριξης προέκυψε το παραμορφωμένο αριθμητικό προσομοίωμα του σχήματος 4.7.



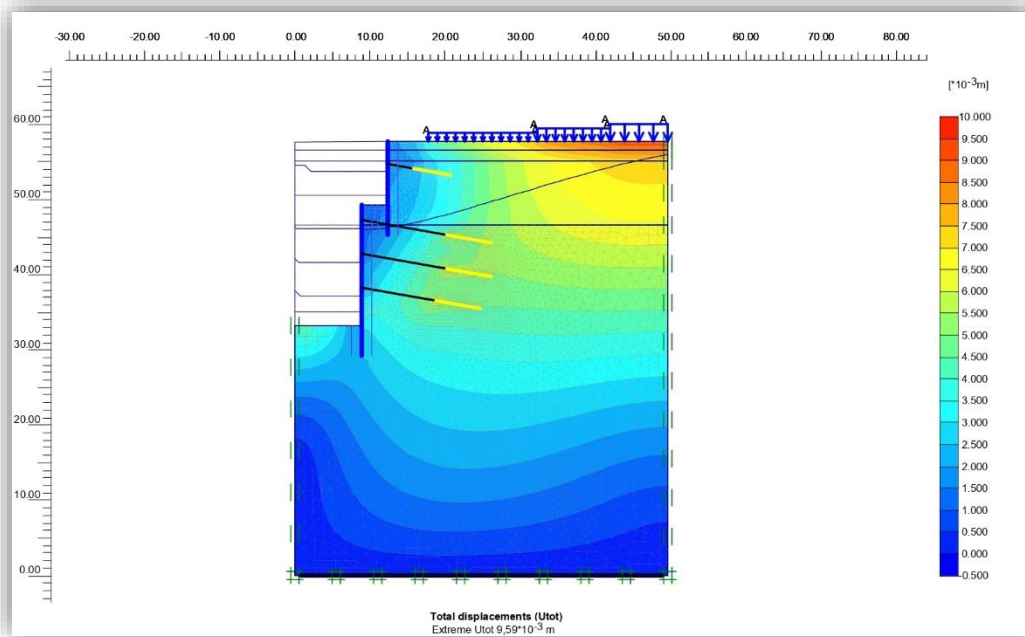
Σχήμα 4. 7: Προσομοίωμα παραμόρφωσης δυτικού συστήματος εκσκαφής και αντιστήριξης.

Στο σχήμα 4.8, παρουσιάζεται το προσομοίωμα του δυτικού τμήματος του σταθμού, στο οποίο απεικονίζεται η κατανομή των συνολικών μετακινήσεων σε όλη την έκταση της δυτικής τομής. Η χρωματική κλίμακα είναι εκείνη βάση της οποία

πραγματοποιείται η κατανομή των μεγεθών. Η τιμή των ολικών μετακινήσεων διαμορφώνεται στα 9,59mm. Επιπλέον για την πλήρη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ορίστηκαν σημεία παρατήρησης. Η διάταξη των σημείων παρουσιάζεται στο σχήμα 4.8.

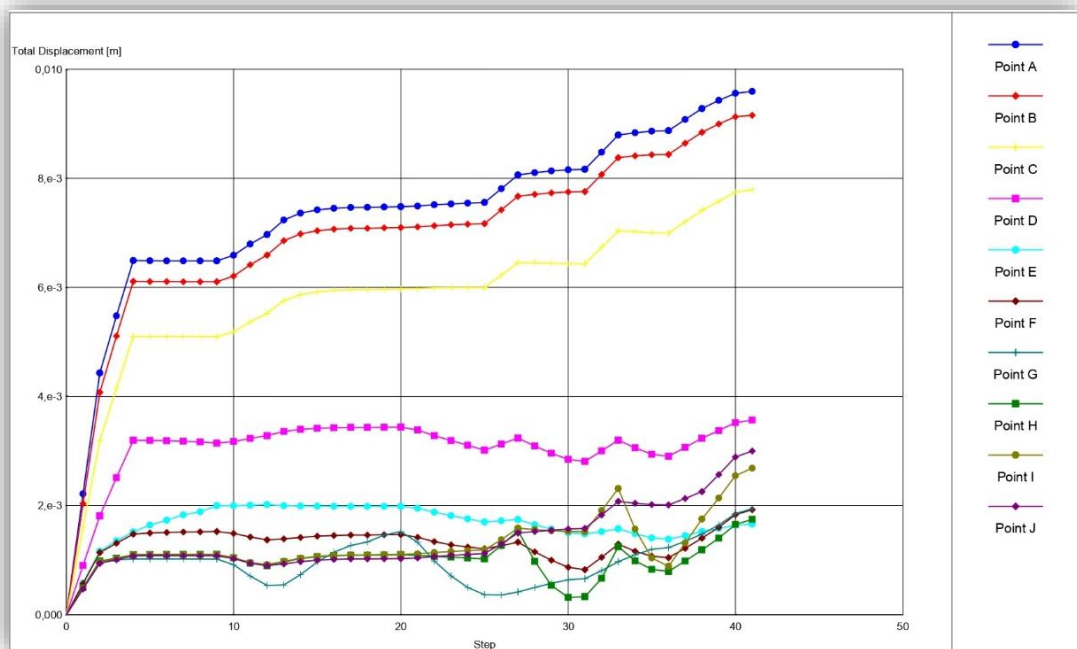


Σχήμα 4. 8: Απεικόνιση σημείων παρατήρησης του προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.



Σχήμα 4. 9: Ολικές μετατοπίσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

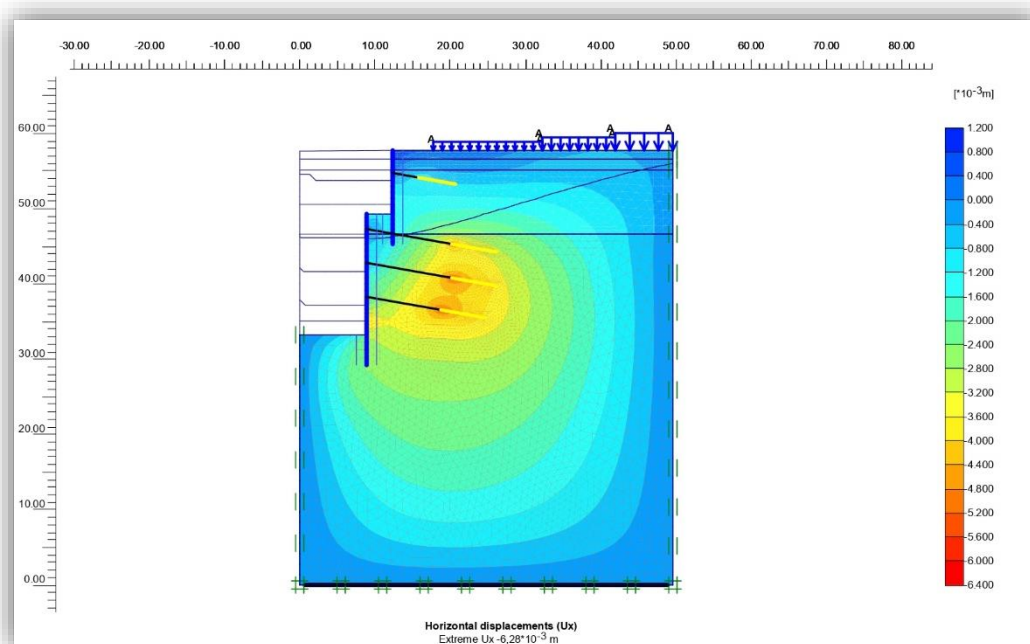
Σύμφωνα με το σχήμα των ολικών μετακινήσεων του δυτικού συστήματος αντιστήριξης (σχήμα 4.9), παρατηρείται η κατανομή των συνολικών μετακινήσεων σε σχέση με την πρόοδο της εκσκαφής.



Διάγραμμα 4. 8: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.



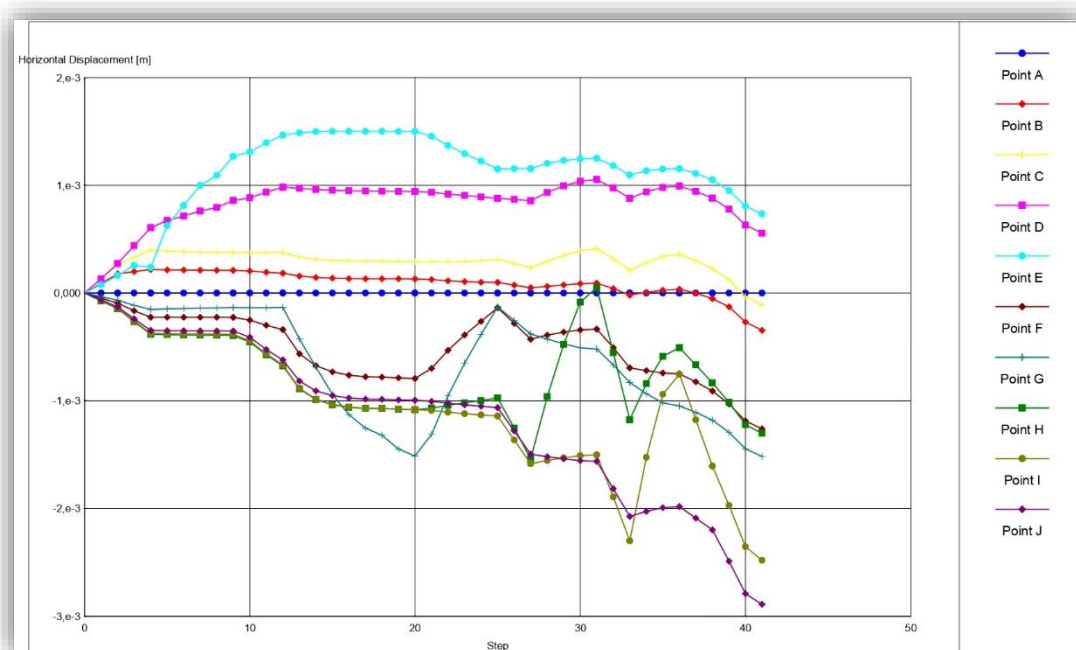
Μικρής εμφάνισης μετακινήσεων παρατηρείται στον πυθμένα της εκσκαφής ως ανεπαίσθητη ανύψωση πυθμένα. Στον πυθμένα της εκσκαφής η χρωματική κλίμακα ορίζει την μετακίνηση μεταξύ των 2,50mm έως και ελαφρώς 4,00mm. Πιο αναλυτικά στο διάγραμμα 4.8 παρατηρείται η εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων σύμφωνα με τα σημεία παρατήρησης και δίνονται η πορεία εξέλιξης των καμπυλών. Το κτίριο 122 (2Π) οριοθετείται από τα σημεία C, D, το κτίριο 121 (3Π) από τα σημεία B, C και το κτίριο 120 (3Π + υπόγειο) από τα σημεία A, B. Κατά σειρά μετακινήσεων είναι από το σημείο A, έως και το D. Το διάγραμμα 4.8, επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα του σχήματος 4.9, με την διαμόρφωση των καμπυλών των σημείων παρατήρησης. Όπως διαμορφώνεται η κατανομή των μετακινήσεων παρατηρείται αρκετά μικρή ανάπτυξη αυτών. Επίσης το σημείο J βρίσκεται στην βάση της εκσκαφής. Η καμπύλη του σημείου αυτού δείχνει αρχικά μία μικρή αύξηση περί τα 1,20mm και στην συνέχεια επέρχεται σταθερότητα και εν τέλει μία αύξηση έως και τα 3,00mm. Αναλυτικότερα οι μετακινήσεις διαχωρίζονται σε οριζόντιες και κατακόρυφες. Το σχήμα 4.10 περιγράφει την κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων, όπως αυτές διαμορφώνονται στο δυτικό σύστημα αντιστήριξης.



Σχήμα 4. 10: Οριζόντιες μετατοπίσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Από τα αποτελέσματα του σχήματος 4.10 και σύμφωνα με τα μεγέθη της χρωματικής κλίμακας αυτού, εντοπίζεται μικρής έκτασης ανάπτυξη μετακινήσεων στο κεντρικό σημείο του υπό εκσκαφή σταθμού και πιο συγκεκριμένα στο ύψος της

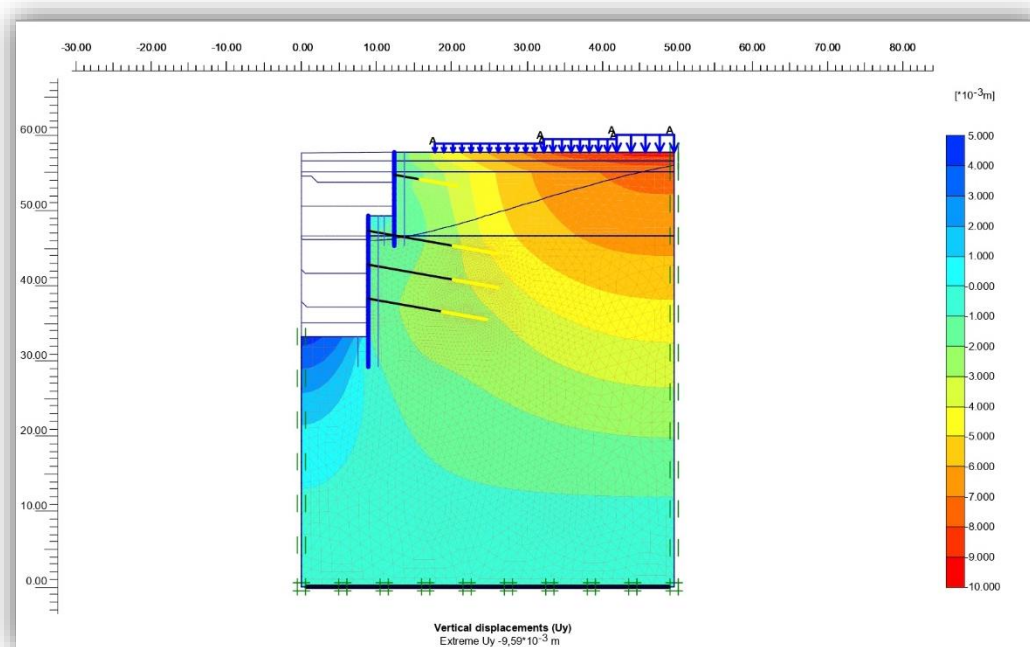
δεύτερης σειράς αγκυριών. Από το προσομοίωμα παραμόρφωσης (σχήμα 4.7) αλλά και από το αριθμητικό προσομοίωμα των μετακινήσεων (σχήμα 4.10), στο σημείο ανάπτυξης οριζόντιων μετατοπίσεων παρατηρείται η εμφάνιση ενεργητικών ωθήσεων. Η τιμή των οριζόντιων μετακινήσεων υπολογίζεται στα  $-6,28\text{mm}$ . Ο τοίχος αντιστήριξης παραμορφώνεται παρουσιάζοντας μία κύρτωση στο εσωτερικό της εκσκαφής, αυτό μαρτυρεί ότι το εδαφικό υλικό τείνει να τον ωθήσει προς το εσωτερικό της εκσκαφής.



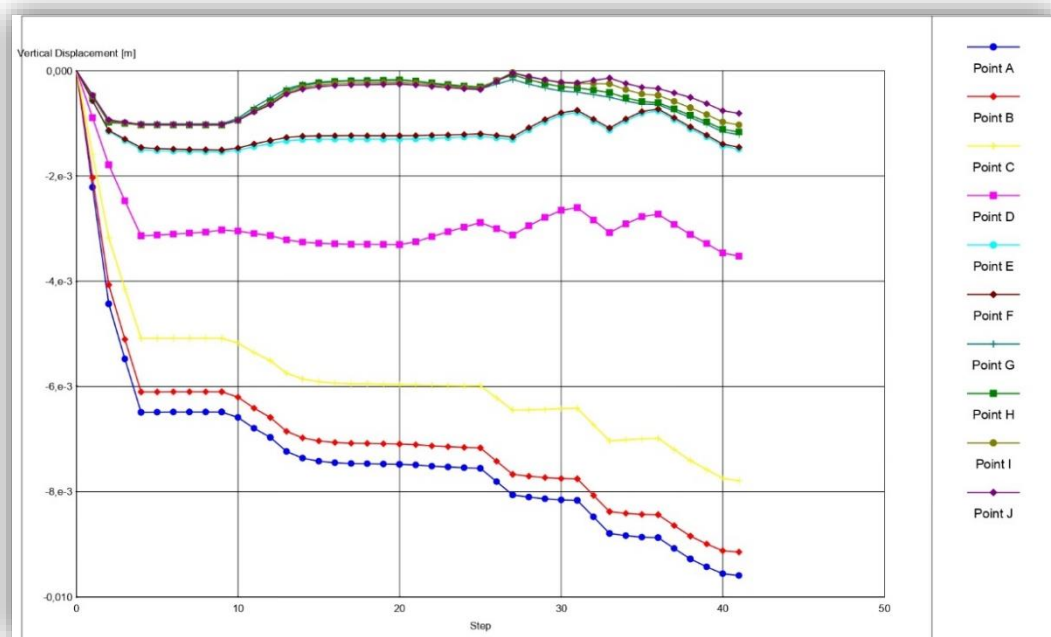
Διάγραμμα 4. 9: Ανάπτυξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Στο διάγραμμα των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης (διάγραμμα 4.9), παρατηρείται η κατανομή των μετακινήσεων σε σχέση με την προχώρηση της εκσκαφής. Η δραστηριότητα των κεφαλόδεσμων των τοίχων αντιστήριξης περιγράφεται από τα σημεία E και G αντίστοιχα. Το σημείο E παρουσιάζει μία ελαφρά οριζόντια μετακίνηση (θετική) η οποία μεταβάλλεται με φθίνουσα πορεία καθώς η εκσκαφή εξελίσσεται σε βάθος. Αντιθέτως ο κεφαλόδεσμος του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης (σημείο G), αρχικά παρουσιάζει μία μικρή αλλά σταθερή εξέλιξη μετακινήσεων, έως ότου την στιγμή κατά την οποία ο πρώτος αρχίζει να σταθεροποιείται, ενώ ο δεύτερος παρουσιάζει ένα τοπικό ελάχιστο δηλαδή ελαφρά μετακίνηση κατά  $(-) 1,51\text{mm}$ . Το πρόσημο καθορίζει την κατεύθυνση των μετακινήσεων.

Στον πυθμένα της εκσκαφής βρίσκεται το σημείο J πάνω στον τοίχο αντιστήριξης. Το σημείο αυτό παρουσιάζει αμυδρά παραμόρφωση ενώ η τιμή των μετακινήσεων διαμορφώνεται στα 2,89mm με φορά προς το εσωτερικό της εκσκαφής. Η παραμόρφωση αυτή εντοπίζεται στο σχήμα 4.11. Ως προς τις κατακόρυφες μετακινήσεις (σχήμα 4.11), παρατηρείται αλλαγή της χρωματικής κλίμακας στο σημείο έδρασης των ανωδομών (κτίρια 122, 121, 120). Η αλλαγή του χρώματος είναι πολύ τοπική και μεταφράζεται ως διαφορική καθίζηση μικρότερη του 1cm. Εκτός από τις διαφορικές καθιζήσεις παρατηρείται και ανεπαίσθητη ανύψωση του πυθμένα της εκσκαφής. Πιο αναλυτικά ακολουθεί το διάγραμμα των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης.



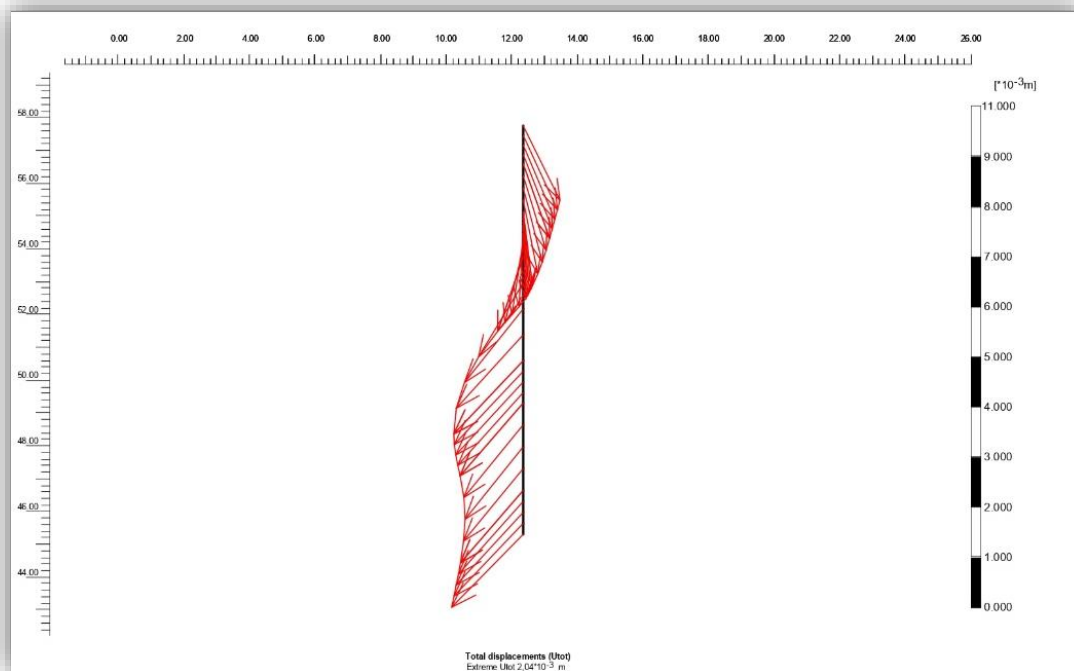
Σχήμα 4. 11:Κατακόρυφες μετατοπίσεις του αριθμητικού προσομιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.



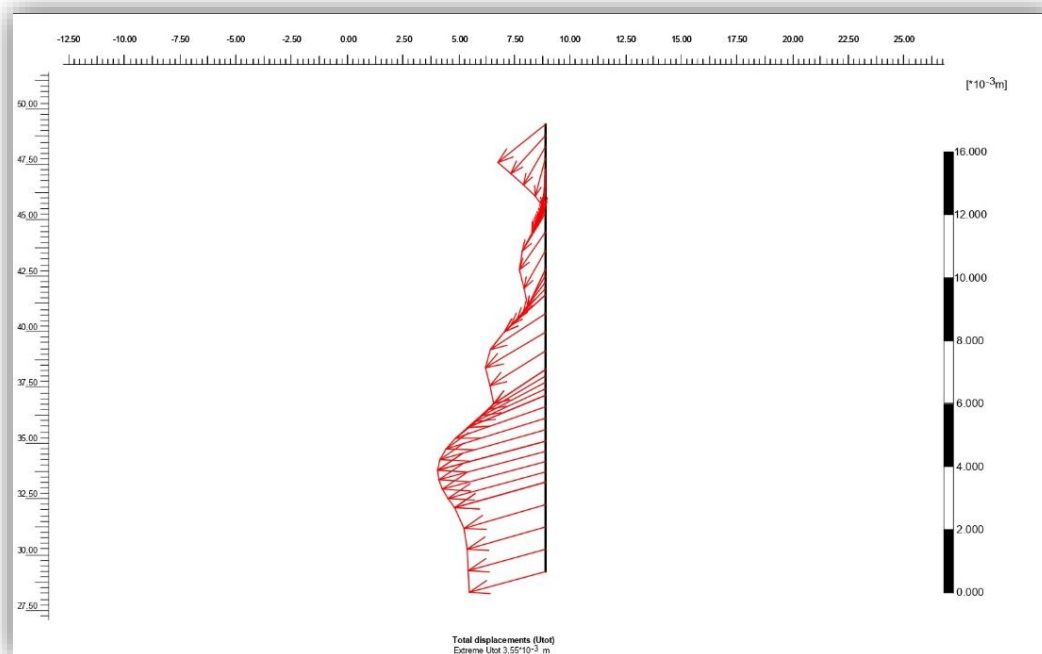
Διάγραμμα 4. 10: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Στο διάγραμμα 4.10 παρατηρείται η εξέλιξη των διαφορικών καθιζήσεων στα σε όλη την έκταση του μοντέλου προσομοίωσης, όπως περιγράφεται από τα σημεία παρατήρησης. Καθιζήσεις μικρότερες του 1cm παρατηρούνται στις ανωδομές περιμετρικά της εκσκαφής, όπου έχουν ορισθεί τα σημεία A, B, C, D. Ως μέγιστη τιμή διαφορικών καθιζήσεων (κατακόρυφων μετακινήσεων), προκύπτει με τιμή 9,59mm. Επιπλέον από το σχήμα 4.11 διακρίνεται το βάθος επιρροής των καθιζήσεων όπως επίσης και η έκταση αυτού κατά την οριζόντιο. Η τιμή των ανεπαίσθητα διαφορικών καθιζήσεων φτάνει έως και τον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης. Για την περεταίρω μελέτη των στοιχείων αντιστήριξης ακολουθούν διαγράμματα ολικών μετακινήσεων, αξονικών τάσεων, ροπών και διατμητικών τάσεων για τους τοίχους αντιστήριξης.

Όπως προσδιορίστηκαν από τις αναλύσεις η τιμή των ολικών μετακινήσεων του πρώτου τοίχου αντιστήριξης διάγραμμα 4.11 υπολογίζεται στα 2,04mm. Αντιστοίχως η τιμή των ολικών μετακινήσεων του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης διάγραμμα 4.12 ανέρχεται στα 3,55mm. Ως προς το σύνολό τους οι τιμές που προέκυψαν είναι μικρότερες του 1cm, γεγονός που ενισχύει την αποτελεσματικότητα των στοιχείων υποστήριξης της υφιστάμενης προσομοίωσης.



Διάγραμμα 4. 11: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

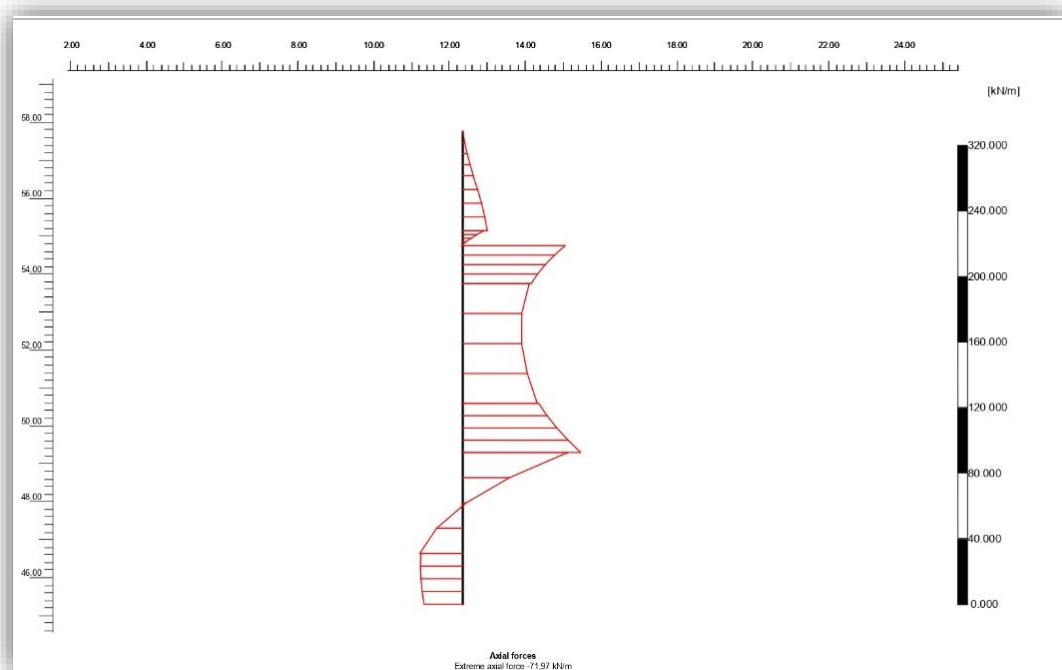


Διάγραμμα 4. 12: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Συγκριτικά με τα δύο δομικά στοιχεία υποστήριξης θα μπορούσε να παρατηρήσει κάποιος ότι ο δεύτερος τοίχος αντιστήριξης επηρεάζεται περισσότερο έναντι του πρώτου τοίχου αντιστήριξης. Αυτό οφείλεται στο ότι ο δεύτερος έχει

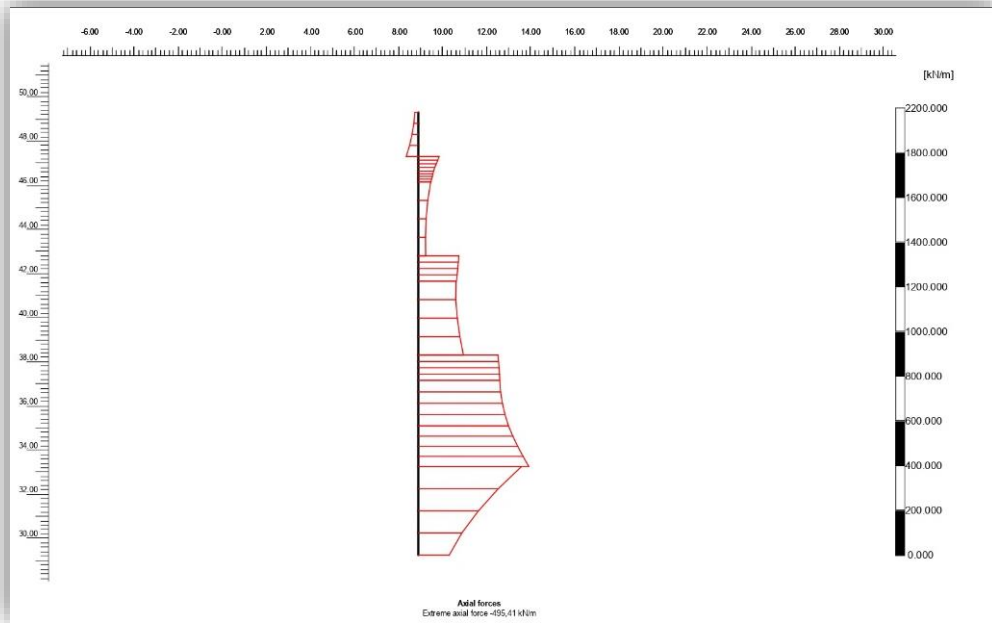
κατασκευασθεί σε μεγαλύτερο βάθος πράγμα που σημαίνει ότι η επιρροή του βάθους των διαφορικών καθιζήσεων των γειτονικών κτιρίων με την εξέλιξη της εκσκαφής, επηρεάζει ελαφρώς τον τοίχο. Επίσης από το διάγραμμα 4.9 μελετώνται καλύτερα τα σημεία E, G και διαγράφεται η εξέλιξη των μετακινήσεων (οριζόντιων), σημεία τα οποία ανήκουν στους κεφαλόδεσμους των τοίχων. Τα μεγέθη των μετακινήσεων στον κάθε κεφαλόδεσμο των τοίχων διαμορφώνονται και στα διαγράμματα των τοίχων (διαγράμματα 4.11 και 4.12).

Στο διάγραμμα 4.13 διαμορφώνεται η κατανομή των αξονικών δυνάμεων επί του πρώτου τοίχου αντιστήριξης. Η μέγιστη τιμή αυτών υπολογίζεται στα 71,97kN/m. Σύμφωνα με το διάγραμμα αξονικών δυνάμεων, στον τοίχο παρατηρείται μία διακύμανση των ενεργητικών ωθήσεων έως το σημείο F ( σχήμα 4.8). Από εκείνο το σημείο και ως το τέλος του τοίχου παρατηρείται η εμφάνιση παθητικών ωθήσεων. Αυτό οφείλεται διότι στο μήκος του τοίχου από το σημείο F έως και την βάση του, ο τοίχος είναι πακτωμένος στο έδαφος.



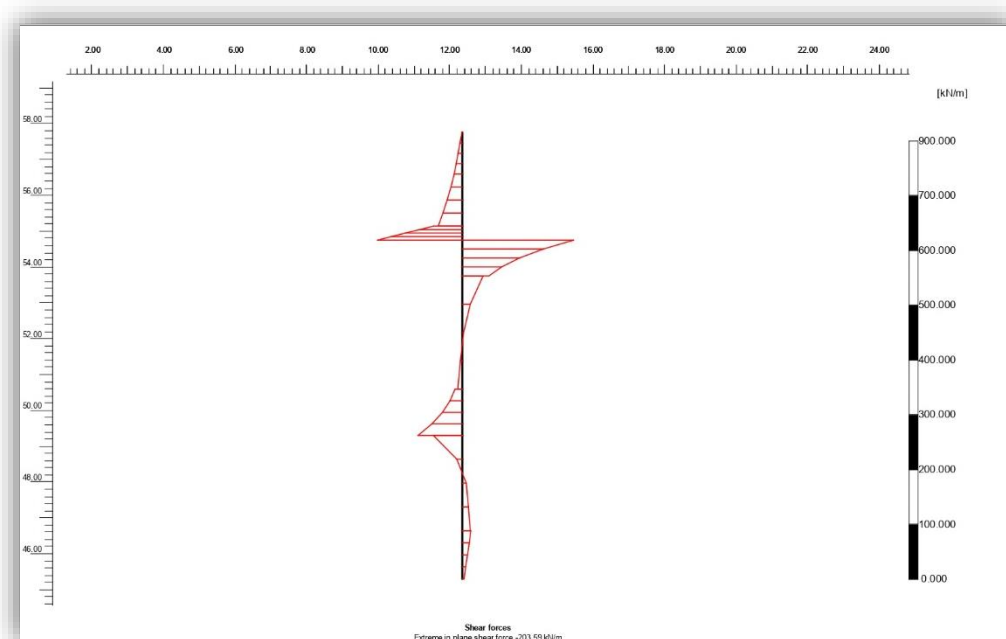
Διάγραμμα 4. 13:Μέγιστες αξονικές δυνάμεις στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης.

Οπότε το σημείο F είναι το σημείο περιστροφής του δομικού στοιχείου (ανάπτυξη ροπών). Στο διάγραμμα 4.14 δίνεται η κατανομή των αξονικών δυνάμεων όπως αυτές προκύπτουν για τον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης. Η μέγιστη τιμή υπολογίζεται στα 495,41kN/m, και έχει κατεύθυνση προς το εσωτερικό του ορύγματος.

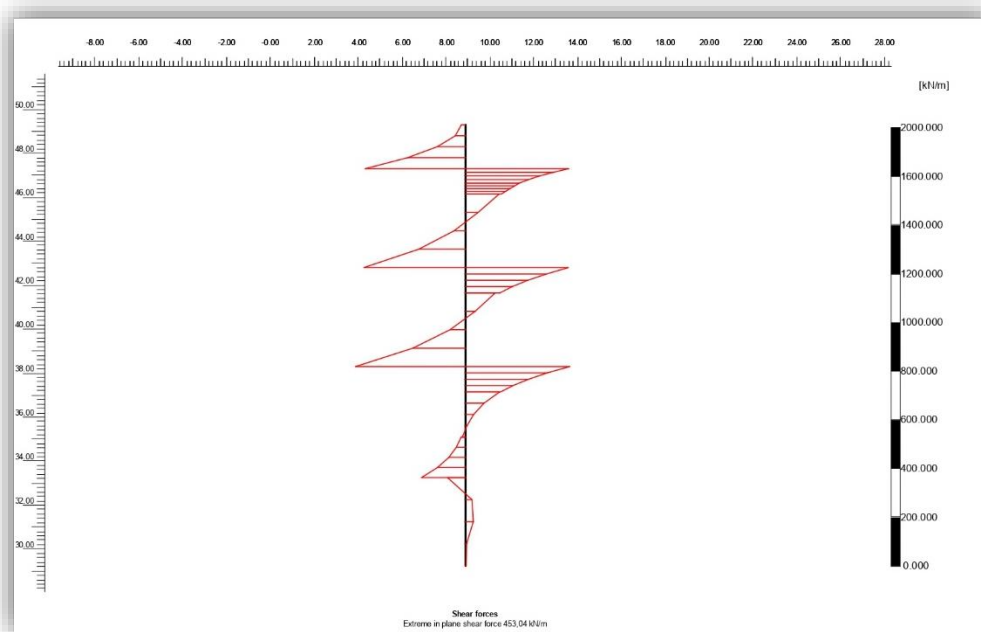


Διάγραμμα 4. 14: Μέγιστες αξονικές δυνάμεις στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης.

Στον δεύτερο τοίχο (διάγραμμα 4.14) αρχικά παρατηρείται η ανάπτυξη παθητικών ωθήσεων πολύ κοντά στον κεφαλόδεσμό του και στην συνέχεια παρουσιάζεται έντονη διακύμανση ενεργητικής ωθήσεως. Η ανάπτυξη παθητικής ώθησης κοντά στον κεφαλόδεσμο του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης, πιθανώς οφείλεται στο γεγονός της ανάπτυξη του δεύτερου τοίχου εντός της περιοχής πάκτωσης του πρώτου. Τα δύο στοιχεία απέχουν απόσταση μεταξύ τους περί τα 3,50m. Καθώς η εκσκαφή εξελίσσεται από πάνω προς τα κάτω, ταυτόχρονα διαμορφώνεται και η κατανομή των ενεργητικών ωθήσεων, δηλαδή ενεργοποίηση της αποτόνωσης του εδάφους. Η παρουσία αυτών προσδιορίζεται στο ύψος του πυθμένα της εκσκαφής, ενώ σε όλο το μήκος πάκτωσης του τοίχου παρατηρείται μείωση των ενεργητικών ωθήσεων.



Διάγραμμα 4. 15: Κατανομή διατμητικών (τεμνουσών) δυνάμεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης.

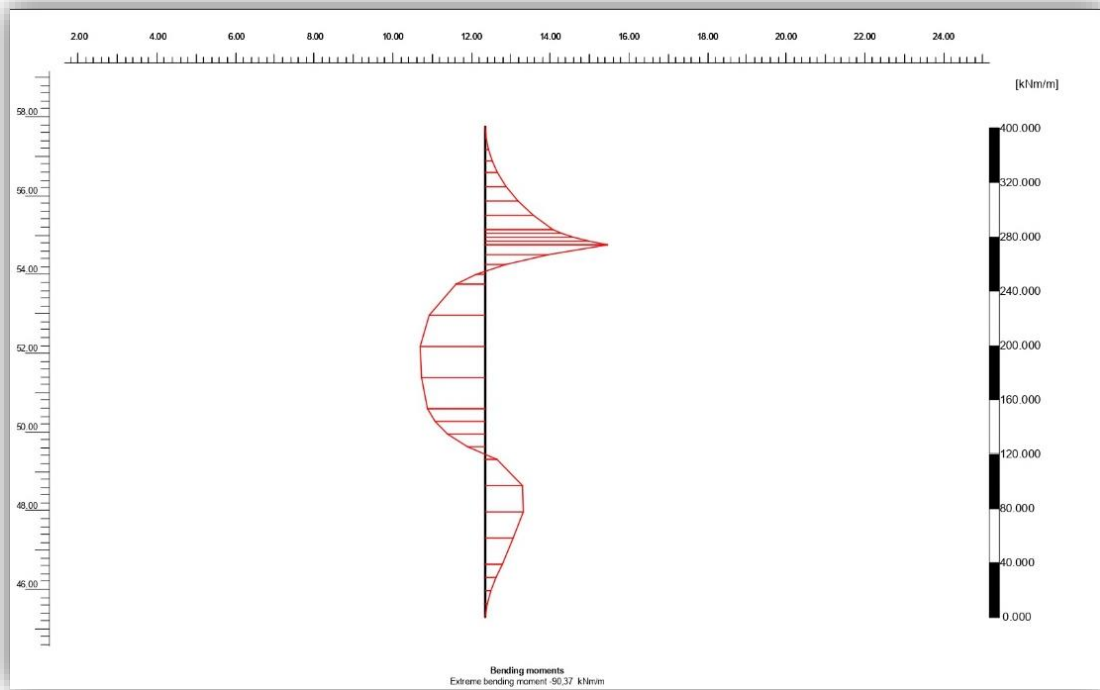


Διάγραμμα 4. 16: Κατανομή διατμητικών (τεμνουσών) δυνάμεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης.

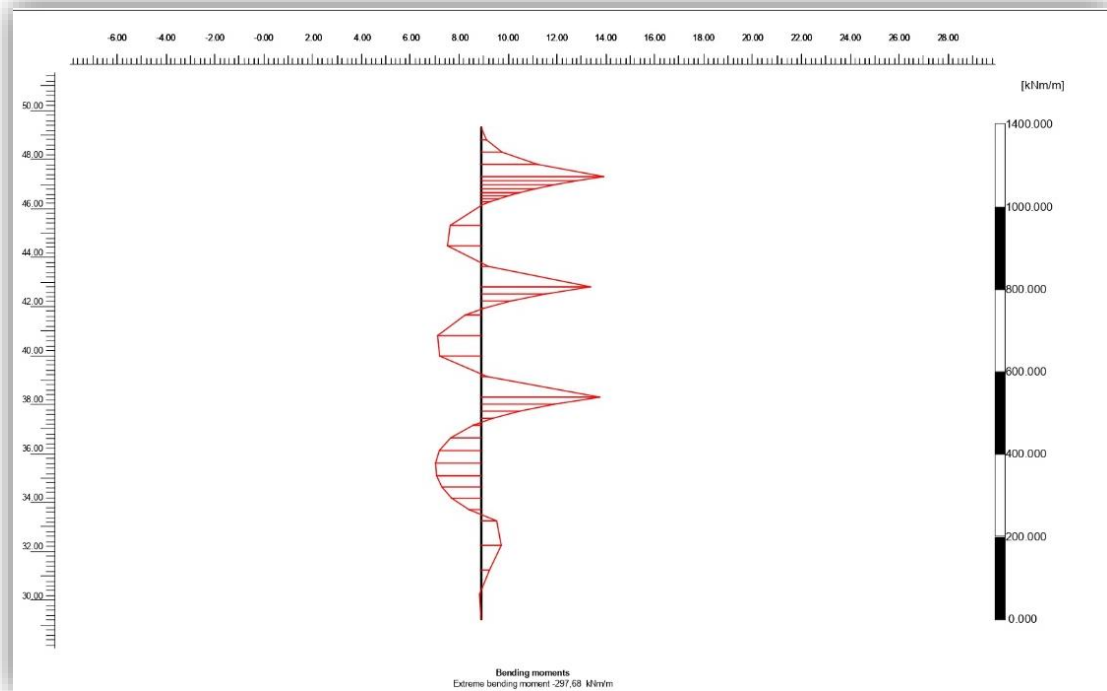
Στα διαγράμματα 4.15 και 4.16 απεικονίζεται η κατανομή των τεμνουσών δυνάμεων αντίστοιχα για τον πρώτο και τον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης. Οι μέγιστες τιμές αυτών είναι 203,59kN/m για τον πρώτο και 453,04 kN/m για τον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης. Όπως και στα διαγράμματα αξονικών δυνάμεων έτσι και στα



διαγράμματα τεμνουσών παρατηρείται μεγαλύτερη τιμή των τεμνουσών δυνάμεων εκ των δύο στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης.



Διάγραμμα 4. 17: Χωρική κατανομή των καμπτικών ροπών στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.



Διάγραμμα 4. 18: Χωρική κατανομή καμπτικών ροπών στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Η κατανομή των ροπών κάμψεως που ασκούνται στον κάθε ένα τοίχο αντιστήριξης αποτυπώνεται στα διαγράμματα 4.17 και 4.18 αντίστοιχα. Οι μέγιστες τιμές αυτών υπολογίζονται για τον μεν πρώτο τοίχο στα 90,37kN/m, ενώ για τον δε δεύτερο στα 297,68 kN/m. Στα διαγράμματα 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 παρατηρείται αμυδρά ανάπτυξη καμπτικών ροπών αλλά και διατμητικών (τεμνουσών) δυνάμεων στα σημεία αγκύρωσης των δύο τοίχων. Ο δεύτερος τοίχος αντιστήριξης παρουσιάζει μεγαλύτερες καταπονήσεις σε σχέση με τον πρώτο τοίχο αντιστήριξης, πιθανώς λόγω της διάταξής του στο χώρο ενώ ταυτόχρονα με την δημιουργία της εκσκαφής οι ωθήσεις του εδάφους προκαλούν παραμορφώσεις στην υφιστάμενη αντιστήριξη. Τέλος ο συντελεστής ασφαλείας του συστήματος αντιστήριξης υπολογίζεται σε  $FS= 2,48$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΤΟΜΗΣ 1-1

### 5.1 Οργάνωση των παραμετρικών αναλύσεων

Προκειμένου να διερευνηθεί η συμπεριφορά του συστήματος αντιστήριξης της εκσκαφής ανοιχτού ορύγματος ενός Σταθμού Μετρό, πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές επιλύσεις επί της Τομής 1-1. Λόγο πολυπλοκότητας της τομής σχεδιασμού, οι παραμετρικές αναλύσεις οργανώθηκαν σε δύο επιλύσεις. Η κάθε επίλυση οργανώνεται σε ανάλυση του ανατολικού και του δυτικού συστήματος αντιστήριξης ξεχωριστά, από όπου προκύπταν δύο συντελεστές ασφαλείας. Για την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των υποθετικών συστημάτων αντιστήριξης του σταθμού, αποφασίστηκε κάθε φορά να μεταβάλλεται ή να προστίθεται μία παράμετρος σχεδιασμού ενώ οι υπόλοιπες να διατηρούνται σταθερές. Οι αναλύσεις οργανώθηκαν σε τρεις τύπους έτσι ώστε να μελετηθεί πλήρως η μέθοδος εκσκαφής και αντιστήριξης.

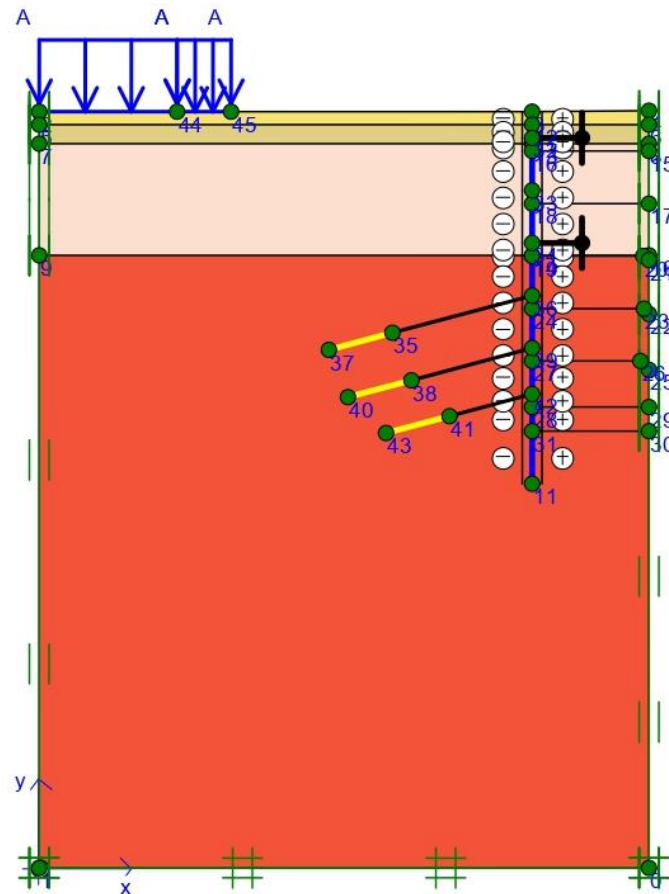
### 5.2 Παραμετρική ανάλυση Α

Οι παραμετρικές αναλύσεις Α, επικεντρώνονται στην συμπεριφορά της εκσκαφής χρησιμοποιώντας μεταλλικές αντηρίδες στο σύστημα αντιστήριξης. Οι υπολογισμοί των στοιχείων εισαγωγής στο λογισμικό Plaxis προσδιορίζονται στην παράγραφο 4.2.3.

#### 5.2.1 Παραμετρική ανάλυση Α – Επίλυση ανατολικού τμήματος αντιστήριξης

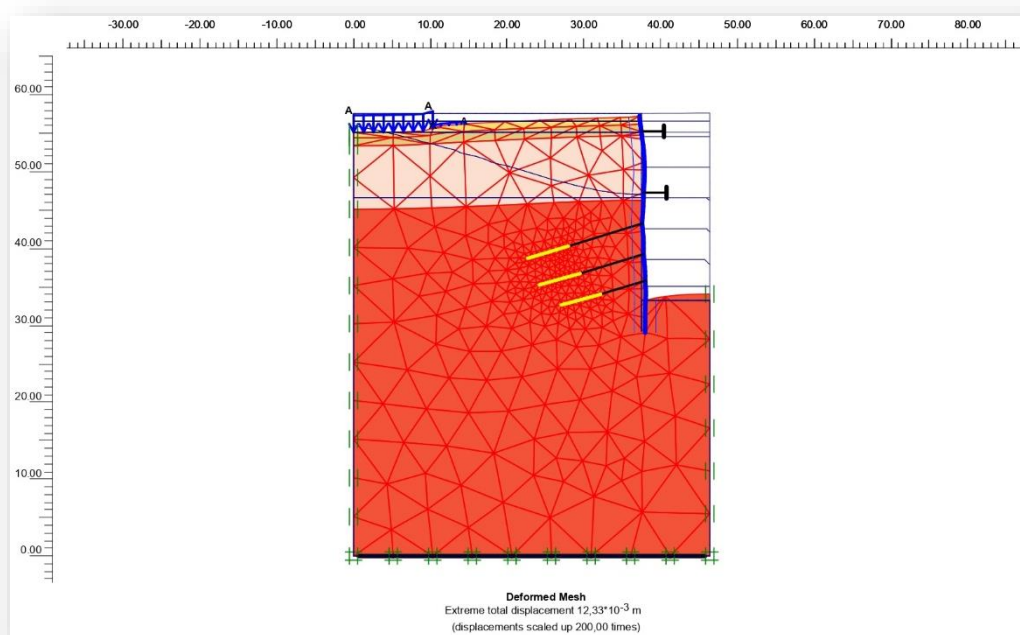
Για την διεξαγωγή της παραμετρικής ανάλυσης Α, της επίλυσης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, χρησιμοποιήθηκε φρεατοπάσσαλος διαμέτρου 80cm, ο οποίος προσομοιώνεται στο λογισμικό ως πλάκα, και ως υλικό κατασκευής

χρησιμοποιείται σκυρόδεμα ποιότητας C20/25. Επιπλέον ως δομικά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικές αντηρίδες (σχήμα 5.1) με μέτρο ελαστικότητας υλικού κατασκευής τα 210GPa. Οι μεταλλικές αντηρίδες αναπτύχθηκαν σε δύο σειρές με οριζόντια απόσταση μεταξύ τους τα 4,5m. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν τρεις σειρές αγκυριών 3<sup>ov</sup>, 4<sup>ov</sup> και 5 κλώνων τα προεντεταμένα αγκύρια διαμορφώνονται από το τμήμα πάκτωσης και το μη πακτωμένο τμήμα ενώ η διάμετρος κάθε κλώνου προσδιορίζεται περί τα 1,524cm.



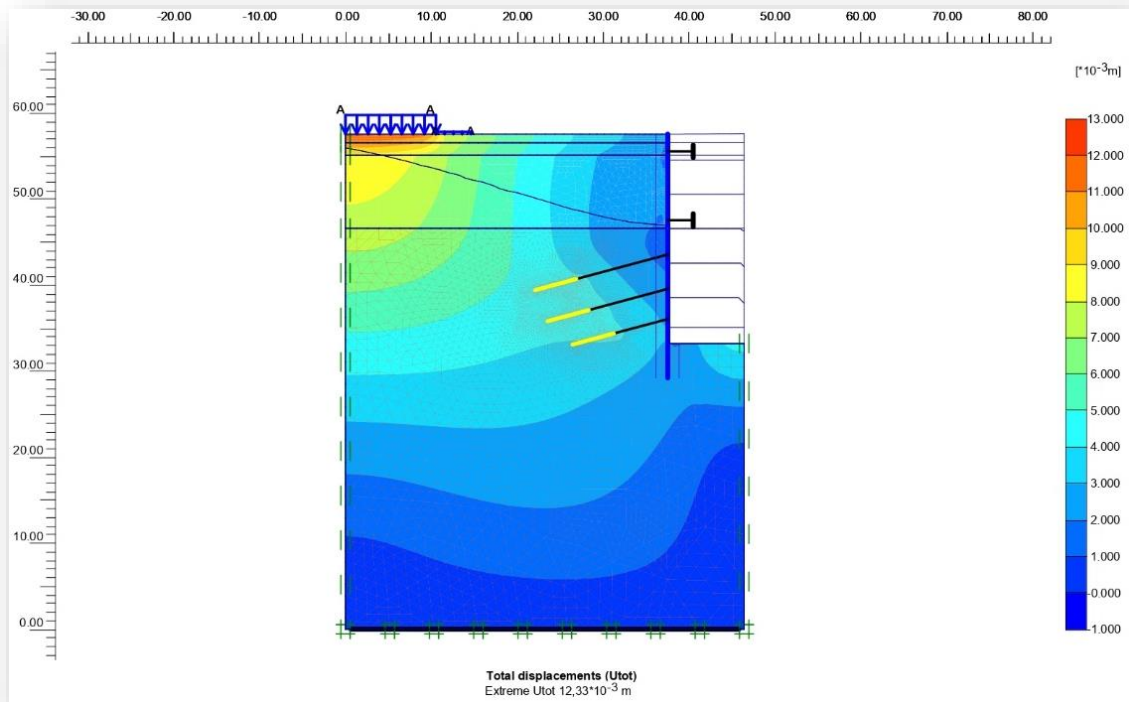
Σχήμα 5. 1: Τομή ανατολικού συστήματος αντιστήριξης τύπου Α παραμετρικών αναλύσεων.

Μετά την ολοκλήρωση της επίλυσης A του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, ακολουθεί το παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο του σχήματος 5.2.

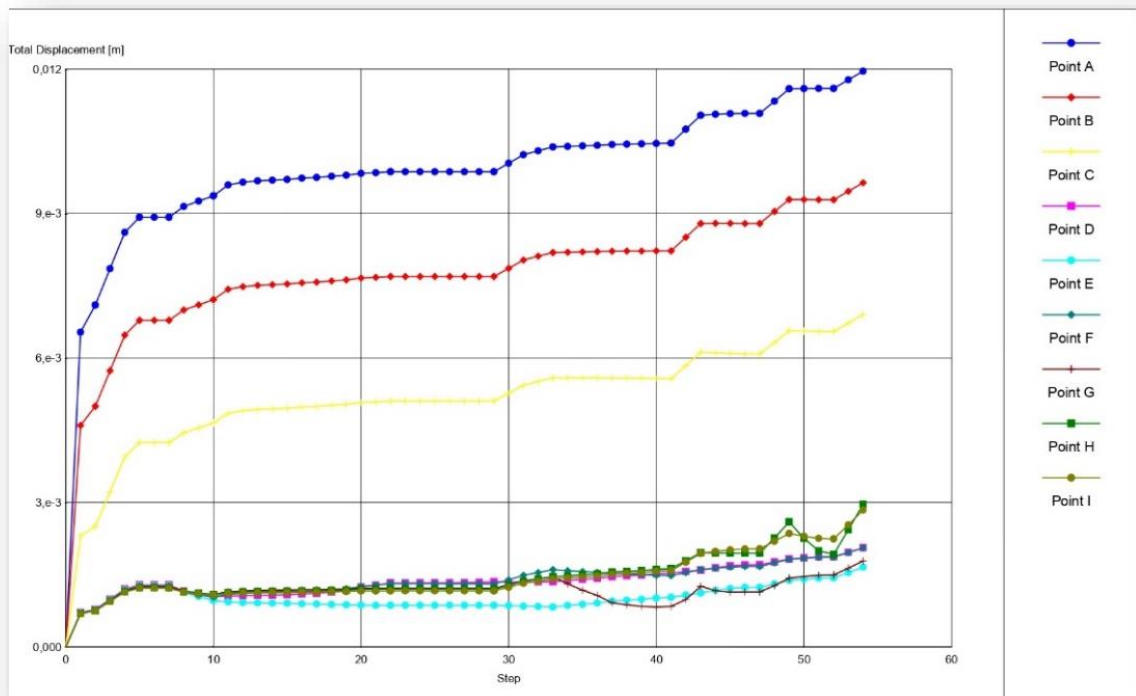


Σχήμα 5. 2: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων τύπου A, ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Οι ανωμαλίες (καμπυλώσεις) του μοντέλου προσομοίωσης που διαμορφώνονται στο σχήμα 5.2, υποδεικνύουν τις παραμορφώσεις που υφίσταται το σύστημα αντιστήριξης και παράλληλα την συμπεριφορά που παρουσιάζεται στα γειτονικά κτίρια σε σχέση με την προχώρηση/διαμόρφωση της εκσκαφής. Στο σχήμα 5.3, απεικονίζεται το μοντέλο προσομοίωσης των παραμετρικών αναλύσεων A, και περιγράφει την κατανομή συνολικών μετακινήσεων μέσω χρωματικής κλίμακας. Οι μετακινήσεις του μοντέλου διαμορφώνονται στα 12,33mm. Σε αντιπαραβολή με το σχήμα 4.3 η τιμή των μετακινήσεων διαμορφώνεται στα 15,86mm. Παρατηρείται μείωση αυτών κατά 3,72mm κάνοντας χρήση δύο σειρών αντηρίδων. Επιπλέον η τοποθέτηση αντηρίδων πολύ κοντά στον κεφαλόδεσμο του τοίχου αντιστήριξης περιορίζει τις μετακινήσεις στο σημείο αυτό.



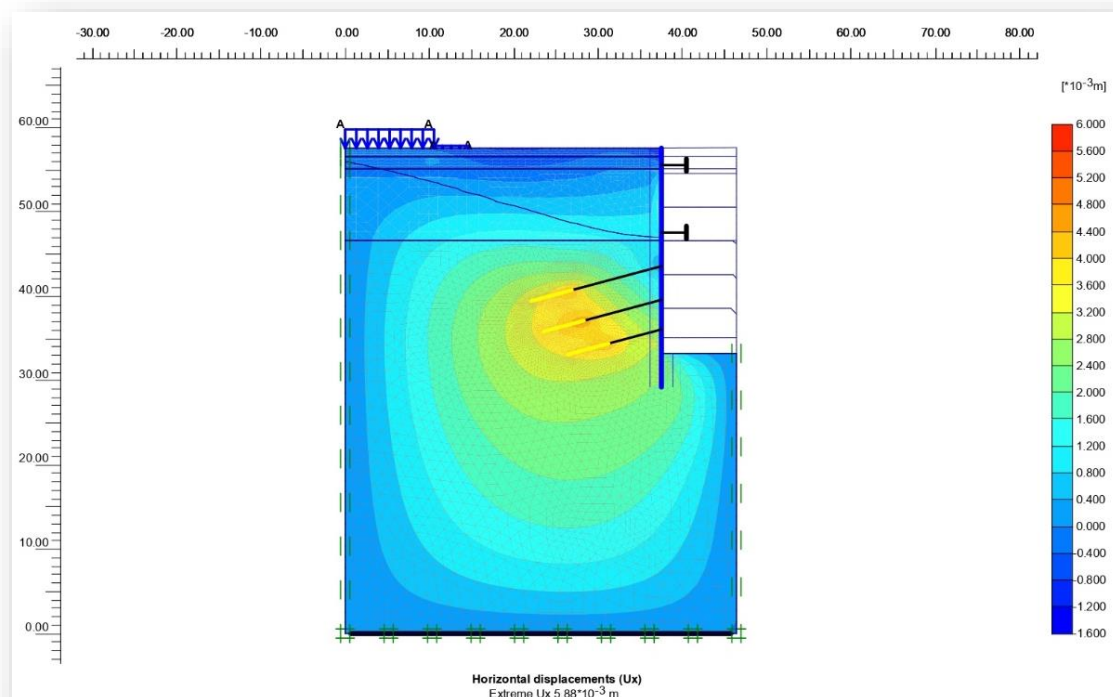
Σχήμα 5. 3: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Α. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.



Διάγραμμα 5. 1: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση της τύπου Α .

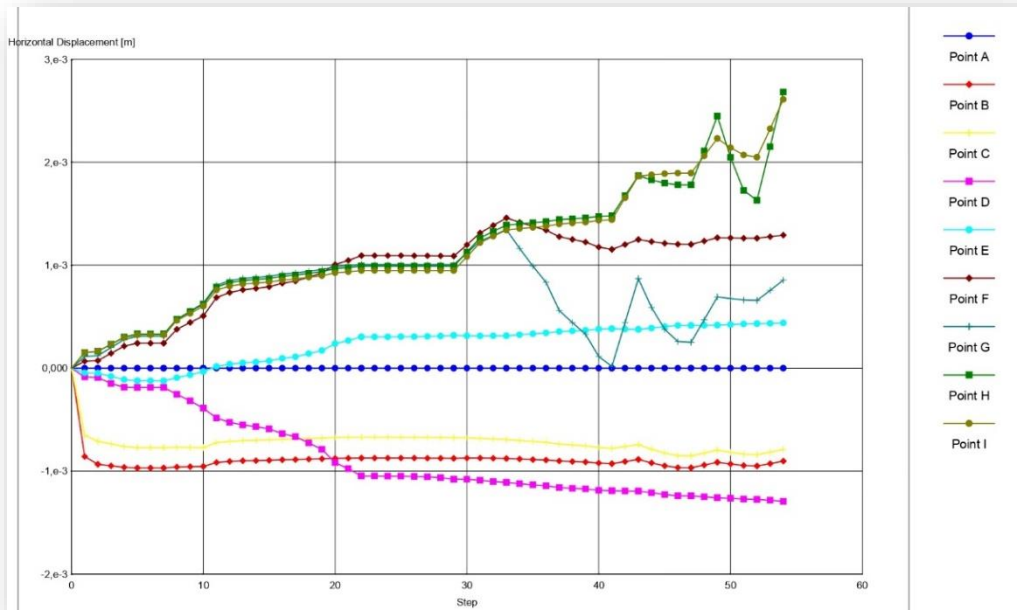
Στο διάγραμμα 5.1 διαμορφώνονται οι καμπύλες των ολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης όπως αυτά έχουν τοποθετηθεί κατά μήκος του συστήματος αντιστήριξης. Σε σχέση με το σύνολο των σημείων παρατήρησης, οι καμπύλες των σημείων A, B, C, εμφανίζονται ελαφρώς μετατοπισμένες σε σχέση με τις υπόλοιπες καμπύλες. Η μετατόπιση αυτή αντιστοιχεί στις περιμετρικές ανωδομές αλλά η τιμή της μετατόπισης είναι μικρότερη του 1cm.

Στα επόμενα σχήματα και διαγράμματα παρουσιάζονται οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες αντιστοίχως μετακινήσεις. Στο σχήμα 5.4 αποτυπώνεται στην τομή του ανατολικού συστήματος η ανάπτυξη των οριζόντιων μετακινήσεων. Η τιμή των μέγιστων οριζόντιων μετακινήσεων ανέρχεται στα 5,88mm. Το τμήμα του τοίχου στο οποίο εφαρμόζονται προεντεταμένες αγκυρώσεις, φαίνεται ότι δείχνει υψηλότερες οριζόντιες μετακινήσεις σε σύγκριση με το υπόλοιπο τμήμα του τοίχου στο οποίο εφαρμόζονται οι αντηρίδες. Αυτό είναι φανερό και από τα σημεία παρατήρησης F, G, H, I των οποίων οι καμπύλες παρουσιάζουν αύξουσα πορεία (διάγραμμα 5.2) έναντι των υπόλοιπων σημείων.

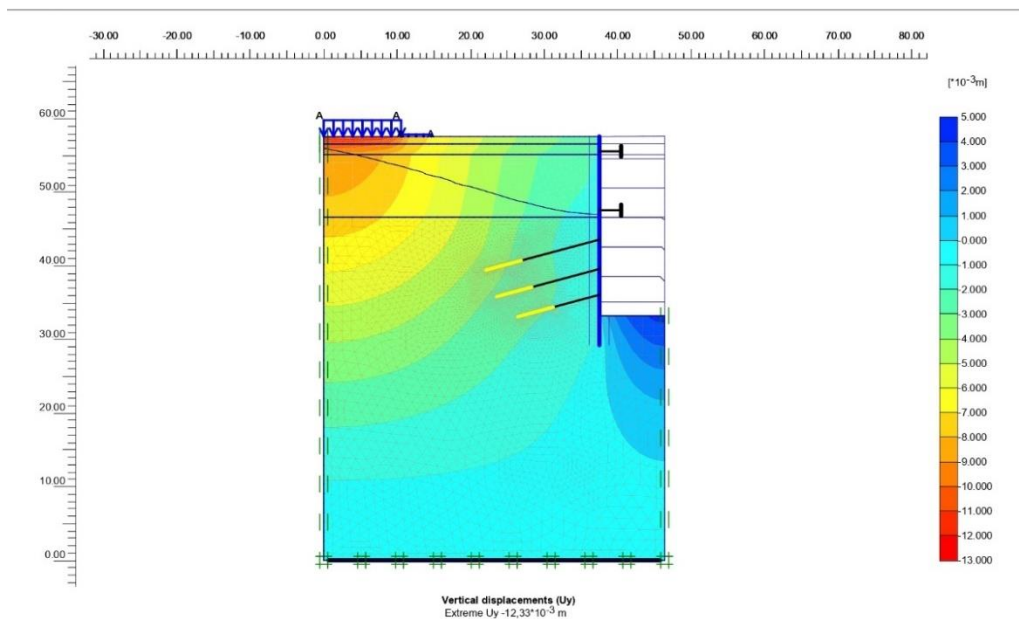


Σχήμα 5. 4: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση της τύπου Α Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Παρατηρείται ότι λόγω εφαρμογής μεταλλικών αντηρίδων στο επάνω τμήμα του τοίχου, οι εδαφικοί σχηματισμοί που βρίσκονται στο τμήμα του τοίχου με τις αγκυρώσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη αποτόνωση (ενεργητική ώθηση) στο τμήμα αυτό από ότι στο υπόλοιπο. Οι καμπύλες των σημείων F, G, H, I του διαγράμματος 5.2, περιγράφουν την πορεία εξέλιξης των μετακινήσεων από την έναρξη της εκσκαφής έως και το τελικό στάδιο της.



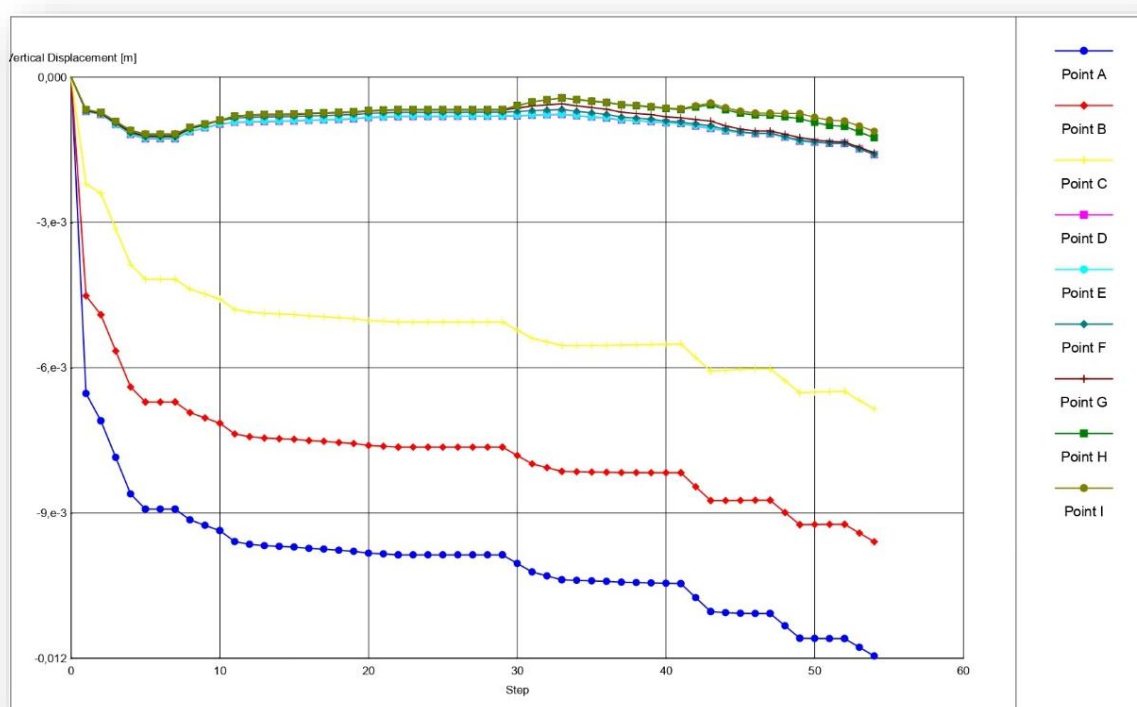
Διάγραμμα 5. 2:Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης για την ομάδα Α του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.



Σχήμα 5. 5: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την ομάδα Α παραμετρικών αναλύσεων. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Οι κατακόρυφες μετακινήσεις του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης παραμετρικών αναλύσεων A δίνονται στο σχήμα 5.5. Από το μοντέλο προσομοίωσης παρατηρείται από την χρωματική κλίμακα εμφάνιση μικρό μετακινήσεων της τάξεως των 12,33mm (τιμή μικρότερη του 1cm) στην βάση του κτιρίου (7Π) του Δημαρχείου.

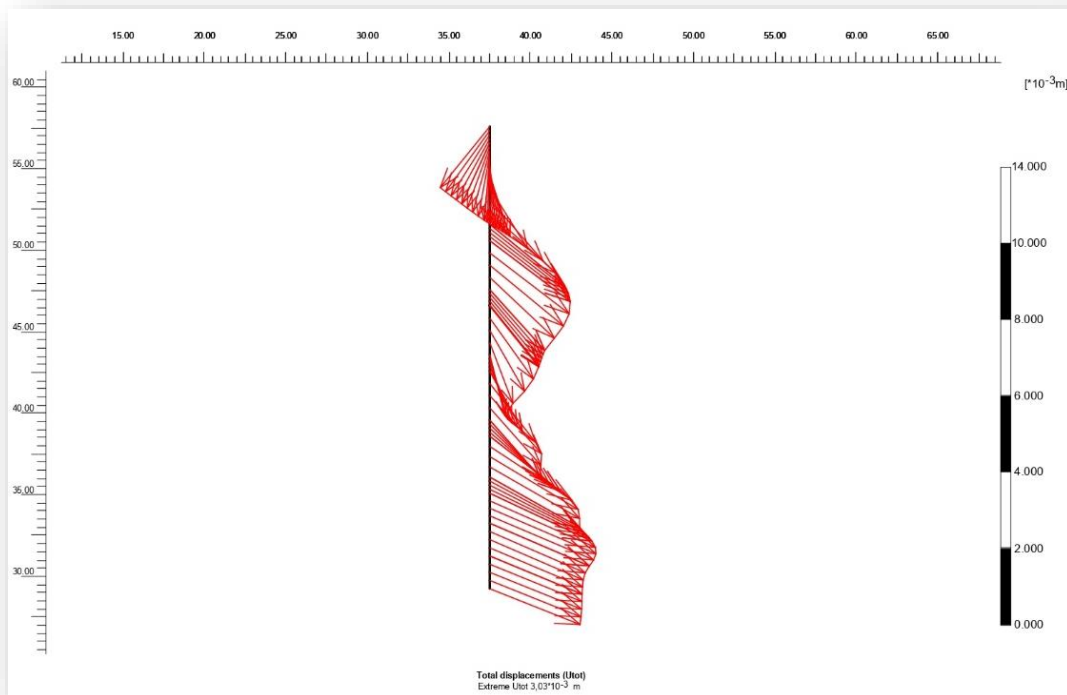
Για την καλύτερη μελέτη των τιμών των μετακινήσεων (διαφορικών καθιζήσεων) ορίσθηκαν σημεία παρατήρησης στο σύνολο της τομής. Στο υφιστάμενο κτίριο διαμορφώνονται τα σημεία A, B, C. Οι τιμές των μετακινήσεων των εν λόγω σημείων σε σχέση με την πορεία εξέλιξης της εκσκαφής δίνονται στο διάγραμμα 5.3.



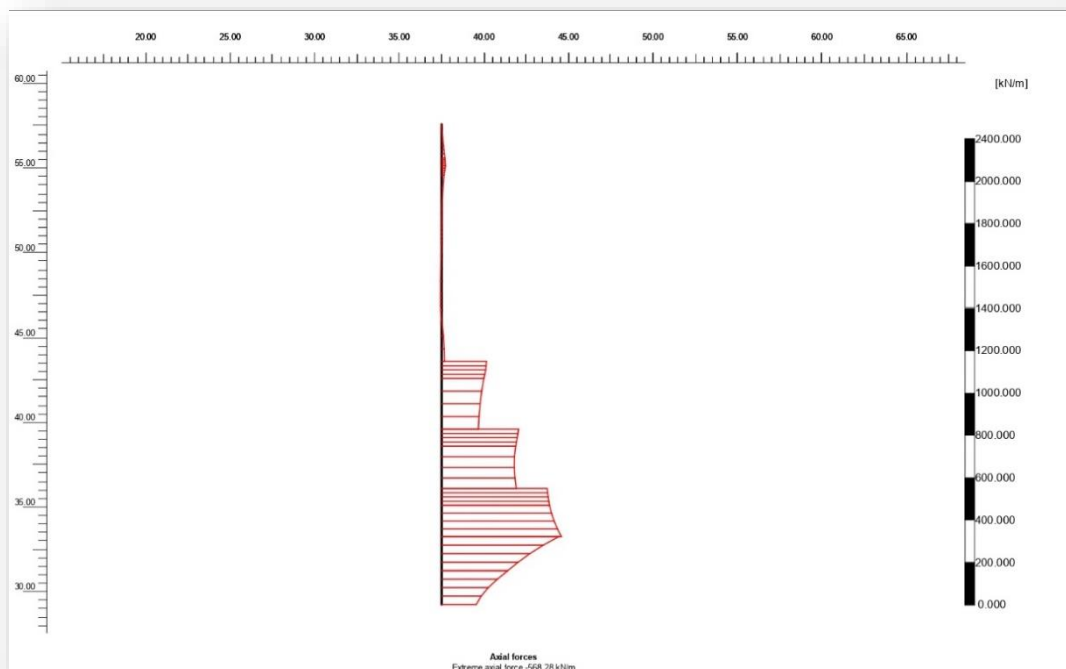
Διάγραμμα 5. 3: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης για την ομάδα A του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Από το διάγραμμα 5.3 δίνεται η συνολική εκτίμηση των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης. Τα σημεία A, B, C, σε σχέση με τα υπόλοιπα, εμφανίζουν καμπύλες ελαφρώς μετατοπισμένες από το σύνολο των υπολοίπων. Κατά μέγιστη τιμή στο σύνολο των σημείων, το σημείο A εμφανίζει καθιζήσεις της τάξεως των 12,00mm. Οι τιμές των καθιζήσεων/μετακινήσεων είναι αρκετά μικρές και εντός των επιτρεπτών ορίων.





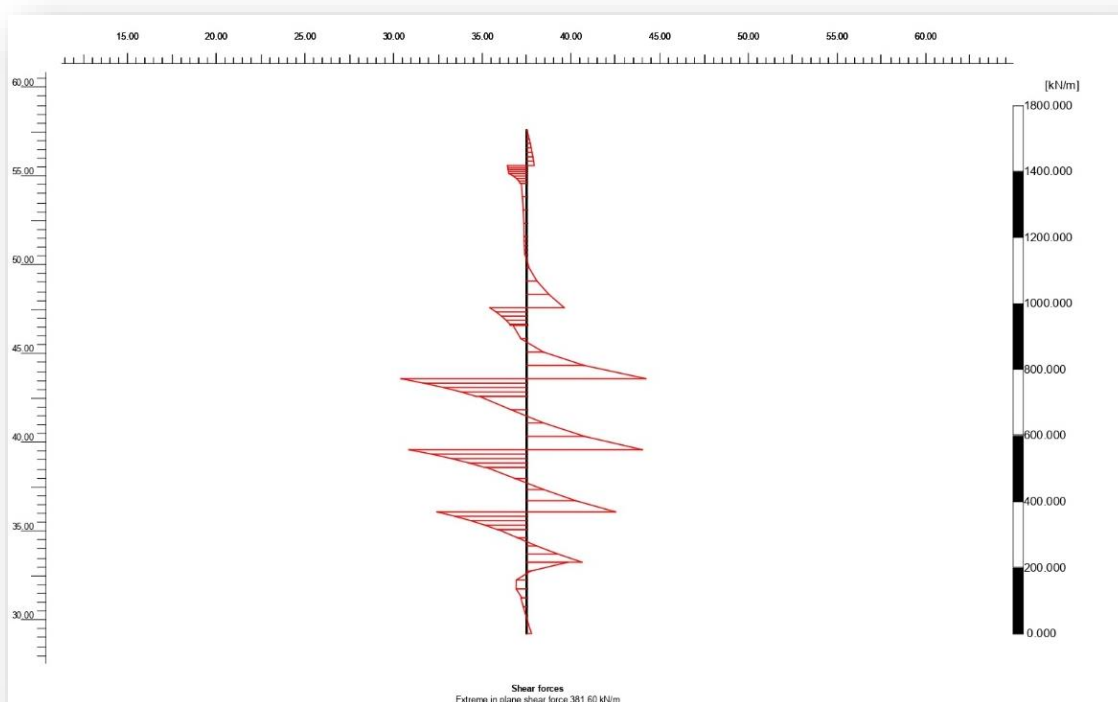
Διάγραμμα 5. 4: Κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης της τύπου A παραμετρικών αναλύσεων.



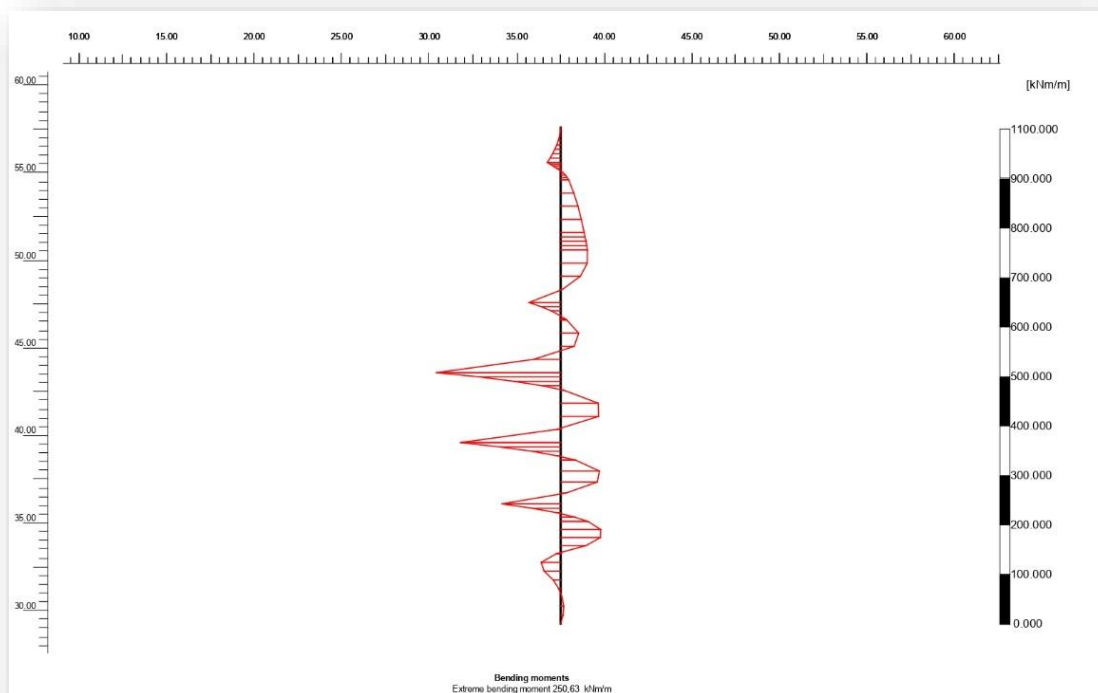
Διάγραμμα 5. 5: Κατανομή αξονικής δύναμης σε όλο το μήκος του τοίχου αντιστήριξης για την ομάδα A του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Η χωρική κατανομή των μετακινήσεων σε όλη την έκταση του τοίχου αντιστήριξης παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.4. Τα κόκκινα βέλη προσδιορίζουν την κατεύθυνση των μετακινήσεων. Η μέγιστη τιμή των μετακινήσεων του τοίχου αντιστήριξης υπολογίζεται στα 3,03mm. Συγκριτικά με την επίλυση αναφοράς (διάγραμμα 4.4) η εικόνα των ολικών μετακινήσεων διακρίνεται βελτιωμένη. Η χρήση των αντηρίδων βελτιώνει την ανάπτυξη μετακινήσεων.

Η κατανομή των αξονικών δυνάμεων σε όλη την έκταση του τοίχου αντιστήριξης παρατηρείται στο διάγραμμα 5.5. Λόγο εφαρμογής των αντηρίδων παρατηρήθηκε ελαφρά ανάπτυξη αξονικών δυνάμεων στο πρώτο τμήμα του τοίχου. Στο υπόλοιπο τμήμα με την χρήση αγκυρώσεων παρατηρείται η εμφάνιση αξονικών δυνάμεων, συνολικά κατά μέγιστη τιμή 568,28kN/m. Από το διάγραμμα διακρίνεται ότι η εμφάνιση αυτών χωροθετείται στην δεξιά πλευρά του τοίχου και λόγω του **αρνητικού προσήμου** τους οφείλονται σε ανάπτυξη παθητικών ωθήσεων. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην προένταση των αγκυριών τα οποία σε συνδυασμό με το κατακόρυφο πέτασμα έχουν την ιδιότητα να αντιτίθενται στην αποτόνωση του εδάφους λόγω εκσκαφής.



Διάγραμμα 5. 6: Κατανομή διατμητικών δυνάμεων (τεμνουσών) σε όλο το μήκος του τοίχου αντιστήριξης για την ομάδα A του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

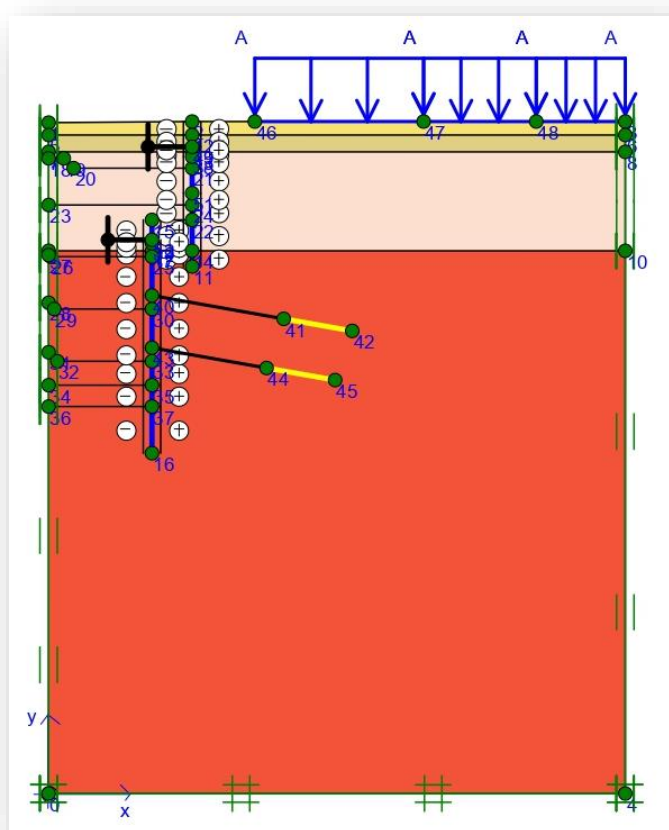


Διάγραμμα 5. 7: Κατανομή ροπών κάμψεως σε όλο το μήκος του τοίχου αντιστήριξης για την ομάδα Α του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Στα διαγράμματα 5.6 και 5.7 δίνεται η κατανομή των τεμνουσών και των ροπών κάμψεως αντίστοιχα κατά μήκος του τοίχου αντιστήριξης. Η μέγιστη τιμή τεμνουσών προσδιορίζεται περί τα 381,60 kN/m, ενώ η μέγιστη τιμή ροπών κάμψεως ανέρχεται στα 250,63kNm/m. Συγκριτικά με τα διαγράμματα της επίλυσης αναφοράς, παρατηρείται μικρή μείωση των τεμνουσών από τα 667,69 kN/m στα 381,60 kN/m ενώ παρουσιάζεται μικρή μείωση αλλά και αλλαγή κατεύθυνσης των ροπών κάμψεως από τα -341,62 kNm/m στα 250,63 kNm/m. Αυτό συνέβη διότι στην επίλυση αναφοράς (διάγραμμα 4.7), ο κεφαλόδεσμος του τοίχου παρουσιάζει αύξηση των ροπών κάμψεων, σε αντίθεση στην νέα τομή σχεδιασμού συγκρατείται από την πρώτη σειρά αντηρίδων με αποτέλεσμα να παρουσιάζει περιορισμό στην ανάπτυξη μετακινήσεων, ροπών κάμψεως και διατμητικών δυνάμεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ανάπτυξη τεμνουσών και ροπών κάμψεως κατά μήκος του τοίχου, εντοπίζονται στα σημεία στα οποία ο τοίχος συγκρατείται από τις προεντεταμένες αγκυρώσεις.

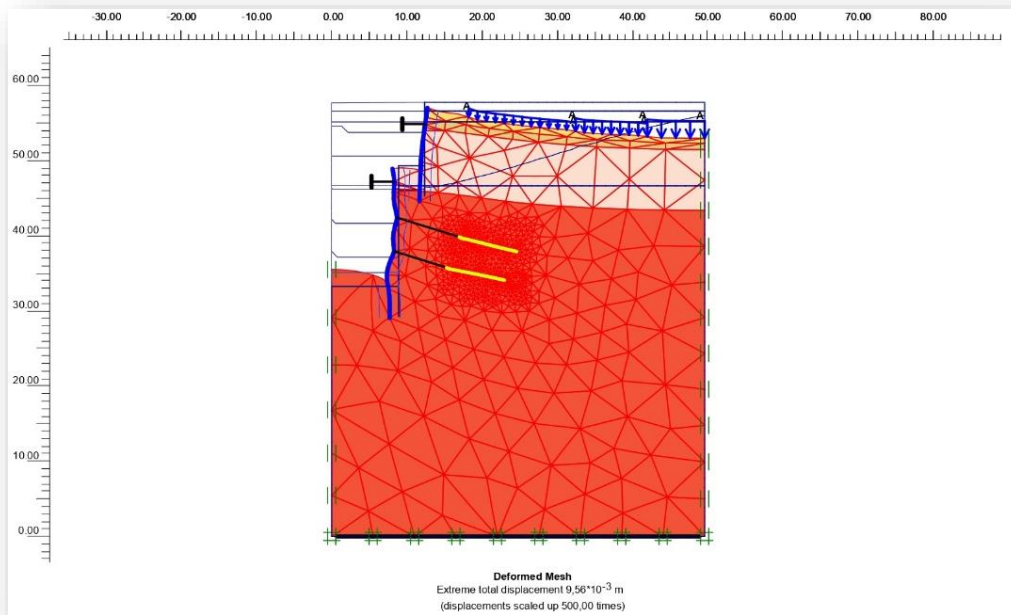
### 5.2.2 Παραμετρική ανάλυση A – Επίλυση δυτικού τμήματος αντιστήριξης

Για την διεξαγωγή της παραμετρικής ανάλυσης A, της επίλυσης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, χρησιμοποιήθηκαν φρεατοπάσσαλοι διαμέτρου 80cm, οι οποίοι προσομοιώνονται στο λογισμικό με την μορφή πλακών και διαφέρουν ως προς το μήκος τους. Το υλικό κατασκευής των είναι σκυρόδεμα ποιότητας C20/25. Επιπλέον ως δομικά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικές αντηρίδες (σχήμα 5.6) με μέτρο ελαστικότητάς υλικού κατασκευής είναι 210GPa. Οι μεταλλικές αντηρίδες αναπτύχθηκαν σε δύο σειρές με οριζόντια απόσταση μεταξύ τους τα 4,5m. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν τρεις σειρές αγκυρίων 3<sup>ov</sup> και 5 κλώνων. Τα προεντεταμένα αγκύρια διαμορφώνονται από το τμήμα πάκτωσης και το μη πακτωμένο τμήμα ενώ η διάμετρος κάθε κλώνου προσδιορίζεται περί τα 1,524cm. Τα στοιχεία αγκυρώσεων διαμορφώνονται μετά τις μεταλλικές αντηρίδες σε δύο σειρές.



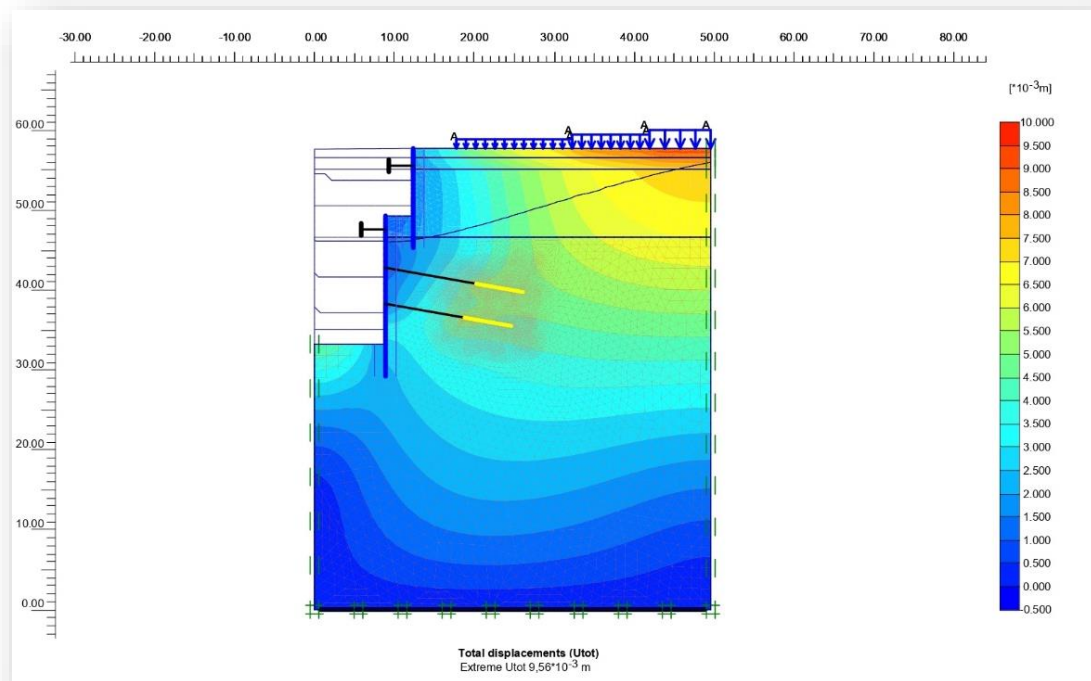
Σχήμα 5. 6: Τομή δυτικού συστήματος αντιστήριξης τύπου A παραμετρικών αναλύσεων.

Στο σχήμα 5.7 προσδιορίζεται το παραμορφωμένο μοντέλο του δυτικού τμήματος αντιστήριξης παραμετρικών αναλύσεων A.



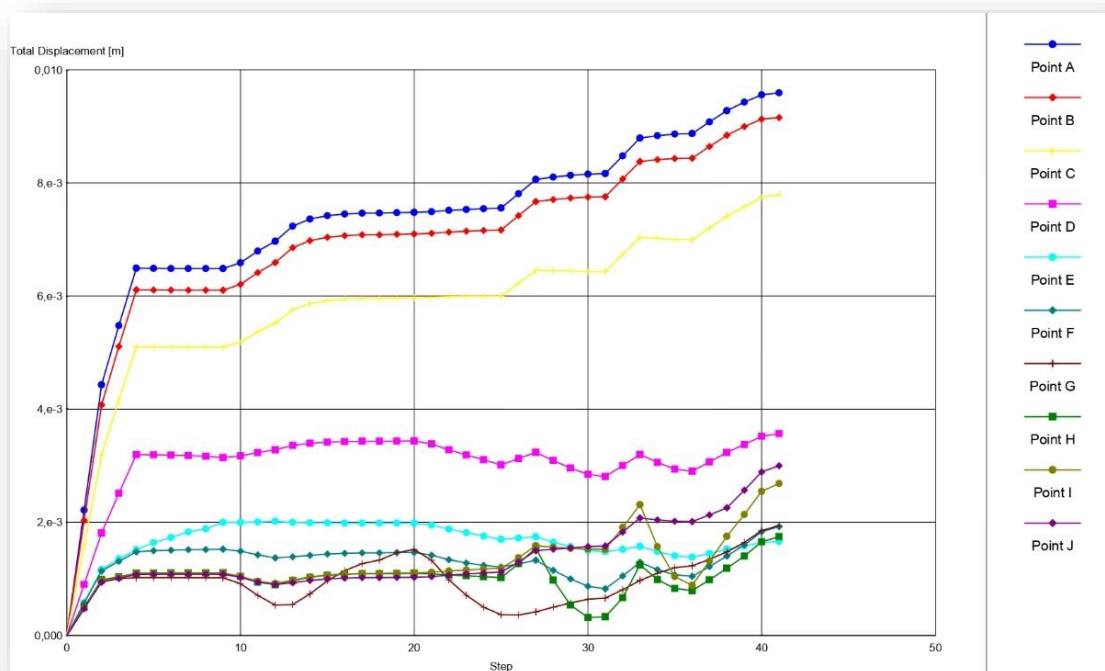
Σχήμα 5. 7: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων A, δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Ακολουθεί τομή συνολικών μετακινήσεων του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για τις παραμετρικές αναλύσεις A (σχήμα 5.8).



Σχήμα 5. 8: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση A. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Από το σχήμα 5.8 παρατηρείται η ζώνη επιρροής των μετακινήσεων. Η τιμή των ολικών μετακινήσεων υπολογίζεται περί τα 9,56mm. Ακολουθεί διάγραμμα ολικών μετακινήσεων συναρτήσει της προόδου της εκσκαφής για τα σημεία παρατήρησης που έχουν οριστεί.

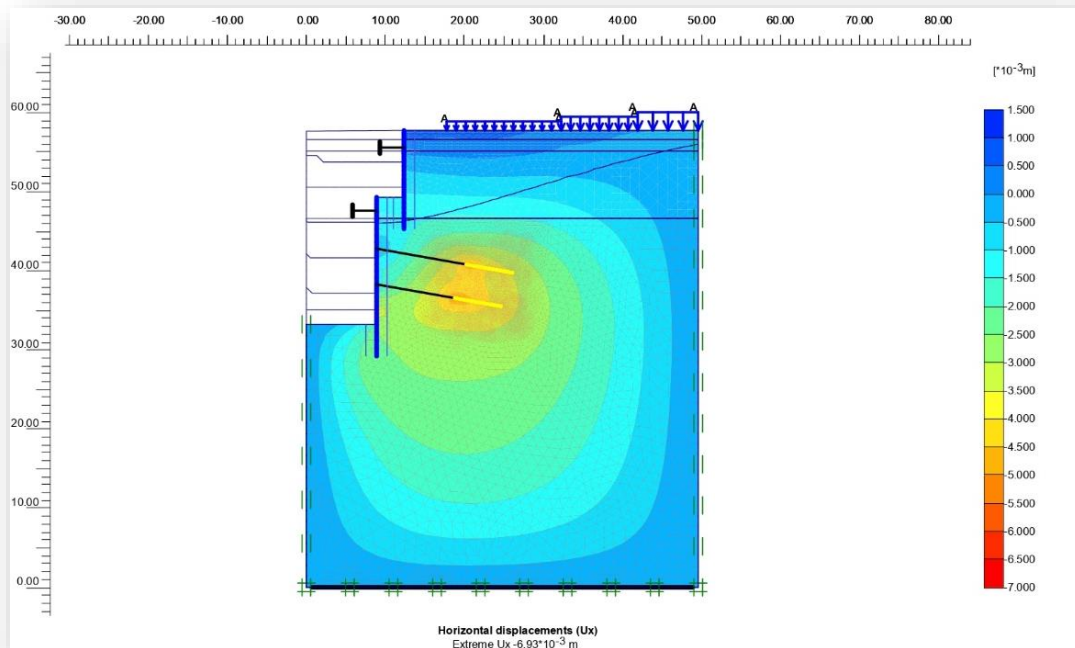


Διάγραμμα 5. 8:Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Α .

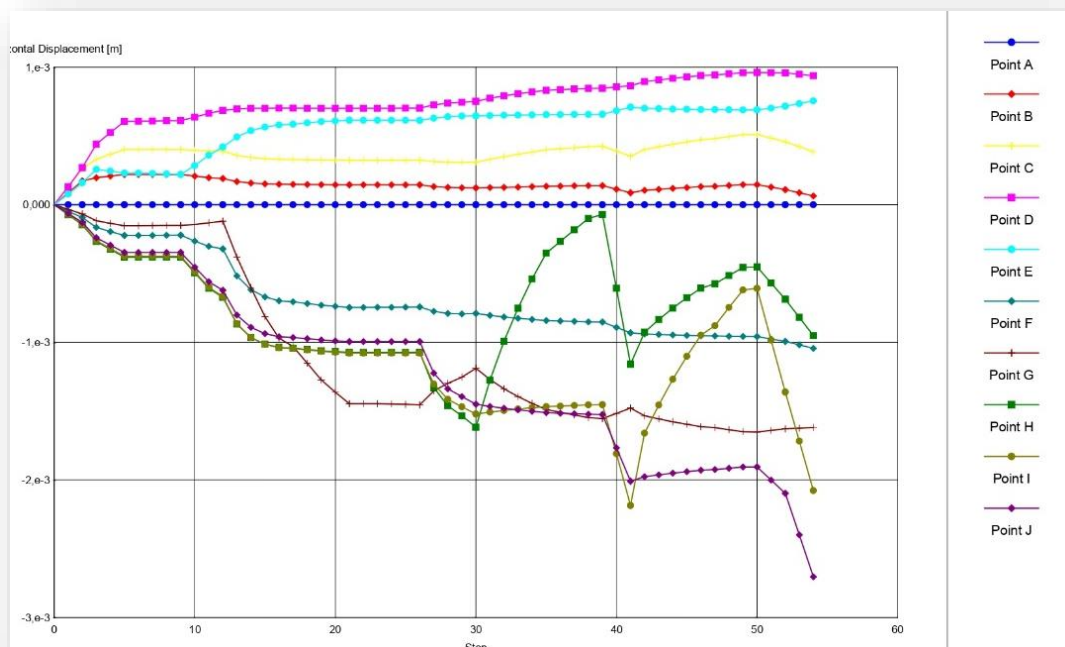
Στο διάγραμμα 5.8 δίνονται οι καμπύλες των ολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης. Σύμφωνα με το διάγραμμα παρατηρείται ότι αρχικά όλα τα σημεία παρουσιάζουν μία ελαφρά αύξηση των μετακινήσεων, ενώ στην συνέχεια καθώς προχωρά η εκσκαφή παρουσιάζουν μια σταθερότητα. Τα σημεία A, B, C είναι σημεία τα οποία αντιστοιχούν στα σημεία εφαρμογής των εξωτερικών φορτίων των ανωδομών που βρίσκονται πλευρικά της εκσκαφής. Τα εν λόγω σημεία παρουσιάζουν κάποιες μετακινήσεις μικρότερες του 1cm από το σύνολο των σημείων παρατήρησης, με σταθερό ρυθμό σε σχέση με την πρόοδο της εκσκαφής.

Το σχήμα 5.9 απεικονίζει το μοντέλο προσομοίωσης των οριζόντιων μετακινήσεων όπως προέκυψε μετά την παραμετρική ανάλυση Α των στοιχείων υποστήριξης . Η τιμή των οριζόντιων μετακινήσεων προσδιορίζεται περί τα 6,93mm. Σε αντίθεση με την επίλυση αναφοράς η τιμή των οριζόντιων μετακινήσεων έχει βελτιωθεί

σημαντικά λόγω χρήσης των μεταλλικών αντηρίδων. Οι τιμές αυτές είναι μικρότερες του 1cm.

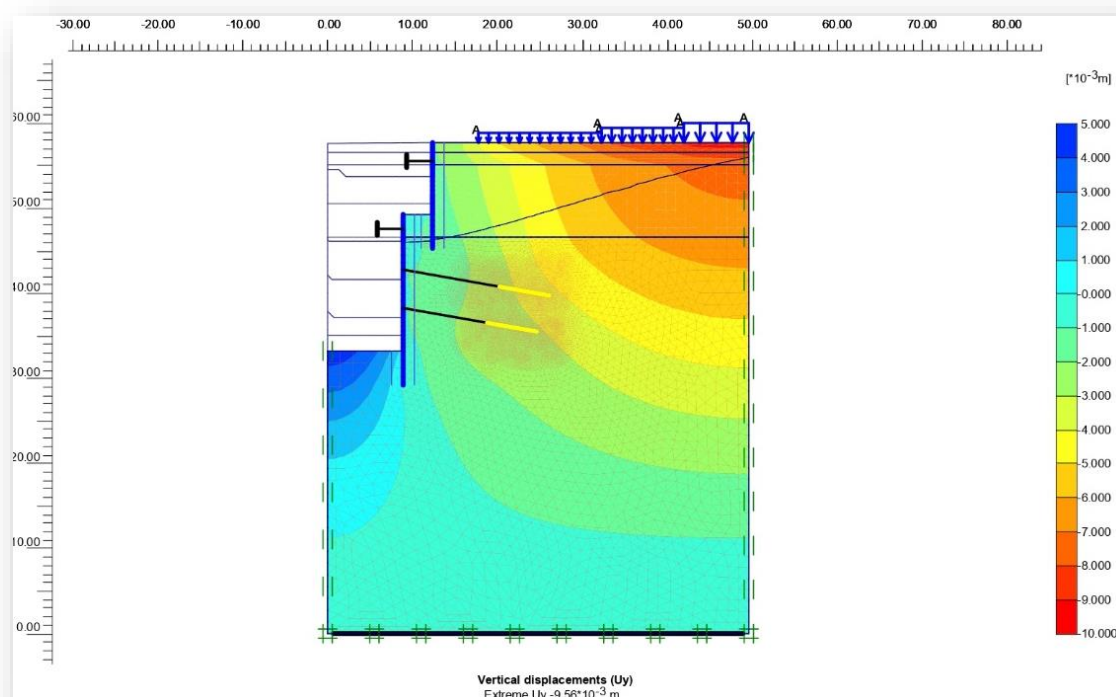


Σχήμα 5. 9:Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση της τύπου A Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης.



Διάγραμμα 5. 9:Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης για την παραμετρική ανάλυση A του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

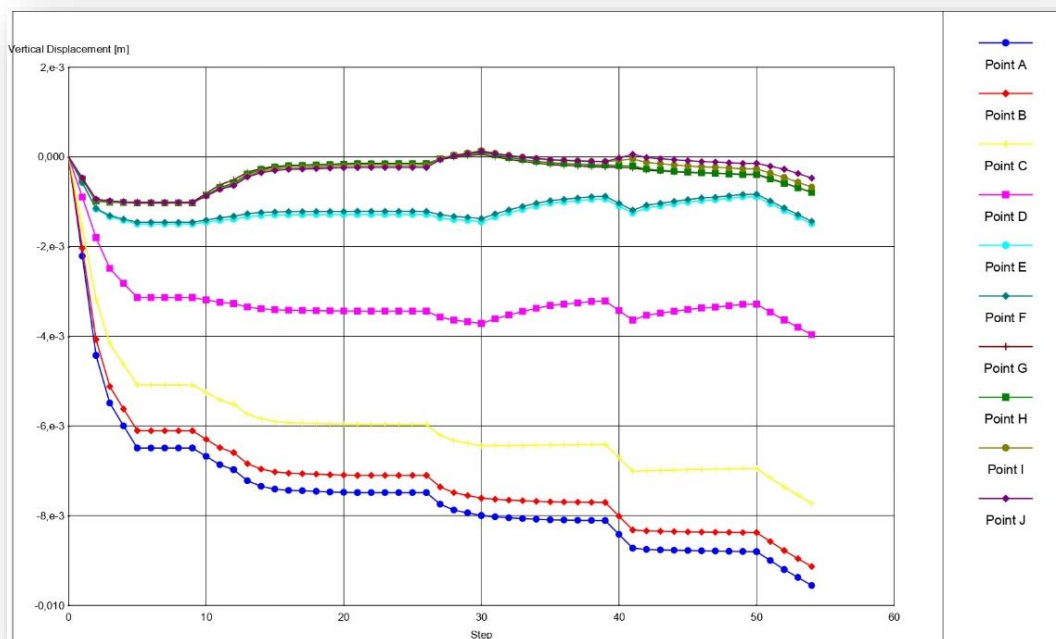
Στο διάγραμμα 5.9 δίνονται οι καμπύλες των μετακινήσεων στα σημεία παρατήρησης σε συνάρτηση με την πορεία εξέλιξης της εκσκαφής. Σαν γενική εικόνα το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα σημεία αρχικά εμφανίζουν μετακινήσεις μικρότερες του 1cm, ενώ στην συνέχεια επέρχεται σταθεροποίηση. Στο ίδιο διάγραμμα το σημείο J το οποίο βρίσκεται στον πυθμένα της εκσκαφής παρουσιάζει ανεπαίσθητα μετακινήσεις λόγω ανάπτυξης ενεργητικών ωθήσεων στον τοίχο αντιστήριξης.



Σχήμα 5. 10: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Α. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Στο σχήμα 5.10 παρουσιάζεται το προσομοίωμα των κατακόρυφων μετακινήσεων της τομής του δυτικού συστήματος αντιστήριξης των παραμετρικών αναλύσεων Α. Η μέγιστη τιμή των μετακινήσεων ανέρχεται στα 9,56mm και με φορά κατακόρυφη από πάνω προς τα κάτω. Σε σύγκριση με την επίλυση αναφοράς (σχήμα 4.10), δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη διαφοροποίηση στις μετακινήσεις (κατακόρυφες). Οι μετακινήσεις οφείλονται στην ανάπτυξη διαφορικών καθιζήσεων στα σημεία έδρασης των κτιρίων λόγω της εκσκαφής. Εφόσον στις αναλύσεις δεν μεταβάλλεται κάποιο δομικό στοιχείο των κτιρίων, η ανάπτυξη κατακόρυφων μετακινήσεων στα σημεία έδρασης των κτιρίων θα είναι παρόμοιας κλίμακας με την επίλυση αναφοράς. Και σ' αυτή την περίπτωση αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές των μετακινήσεων που παρατηρούνται είναι πολύ μικρές.

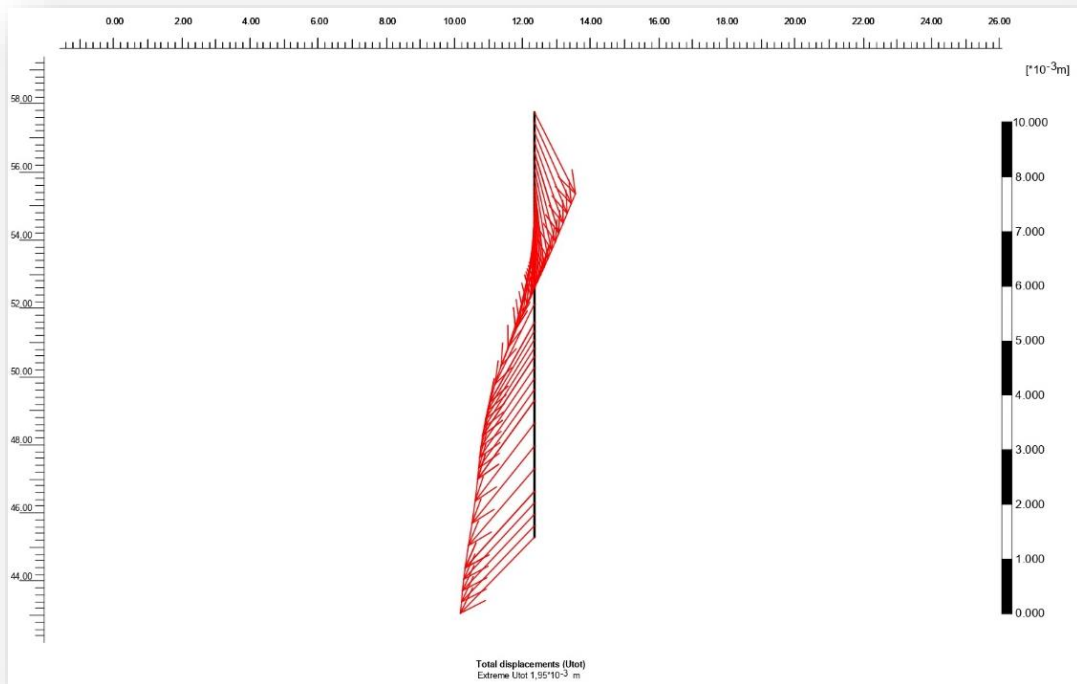




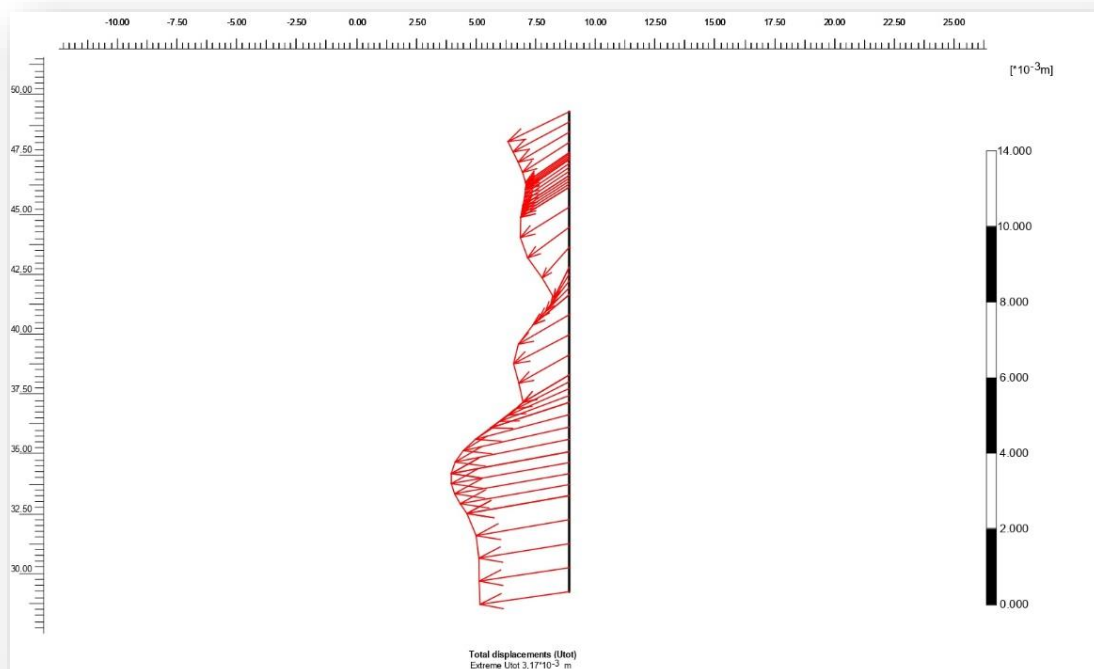
Διάγραμμα 5. 10: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης για την ομάδα Α του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Από την σκοπιά του διαγράμματος 5.10 παρατηρείται η ανάπτυξη διαφορικών καθιζήσεων των κτιρίων με την βύθιση των σημείων παρατήρησης A, B, C, D. Όλα τα υπόλοιπα σημεία παρουσιάζουν αρχικά μια ελαφρά βύθιση και στην συνέχεια ισορροπούν. Το τελευταίο σημείο το οποίο βρίσκεται στον πυθμένα της εκσκαφής είναι το J το οποίο σε σχέση με τα υπόλοιπα έχει αντίρροπη μετακίνηση, και καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ανεπαίσθητα παρουσιάζει φαινόμενο ανύψωση πυθμένα. Ακολουθούν διαγράμματα μετακινήσεων αξονικών, τεμνουσών δυνάμεων καθώς και ροπών κάμψης για τους τοίχους αντιστήριξης. Τα διαγράμματα 5.11 και 5.12 απεικονίζουν την χωρική κατανομή των συνολικών μετακινήσεων των δύο τοίχων αντιστήριξης αντίστοιχα για το δυτικό σύστημα αντιστήριξης. Οι τιμές των μετακινήσεων υπολογίζονται στα 1,95mm και στα 3,17mm αντιστοίχως. Συγκριτικά με την επίλυση αναφοράς στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης παρουσιάζεται μια σημαντική βελτίωση/μείωση των μετακινήσεων ενώ αντιστοίχως στον δεύτερο τοίχο παρατηρείται μικρότερη βελτίωση/μείωση των συνολικών μετακινήσεων. Αυτό οφείλεται στο ότι η χρήση των αντηρίδων αντιστήριξης έχει καλύτερη συμπεριφορά πάνω στον τοίχο με

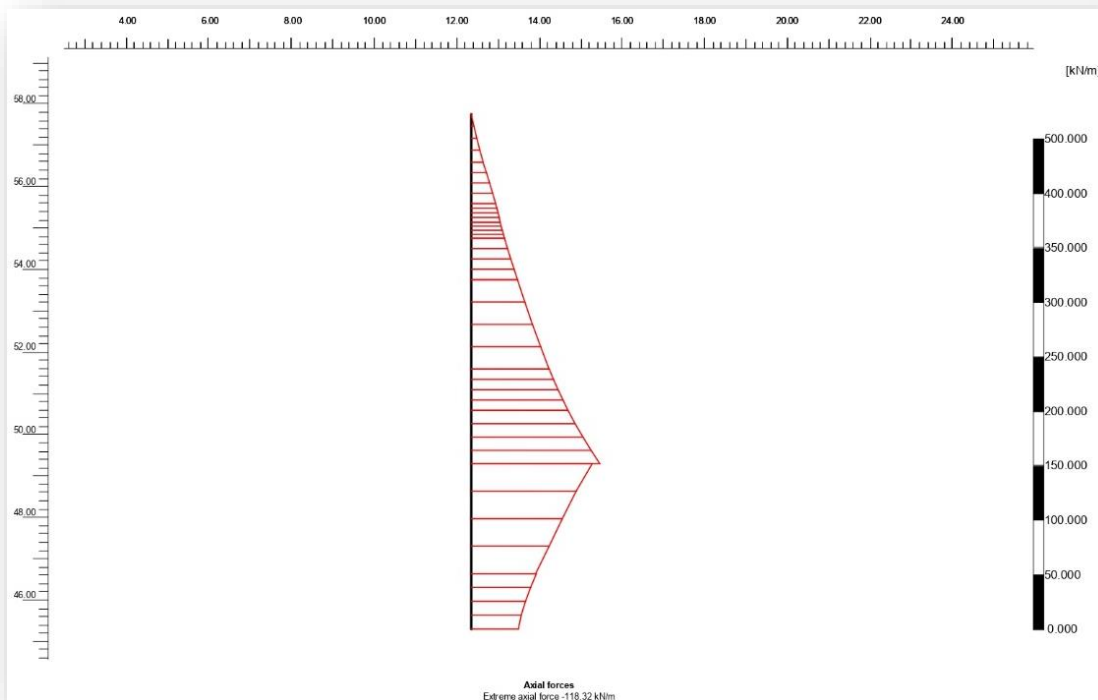
σκοπό τον περιορισμό της αποτόνωσης των πλευρικών ωθήσεων (ενεργητικών) πάνω στην επιφάνειά του.



Διάγραμμα 5. 11: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.

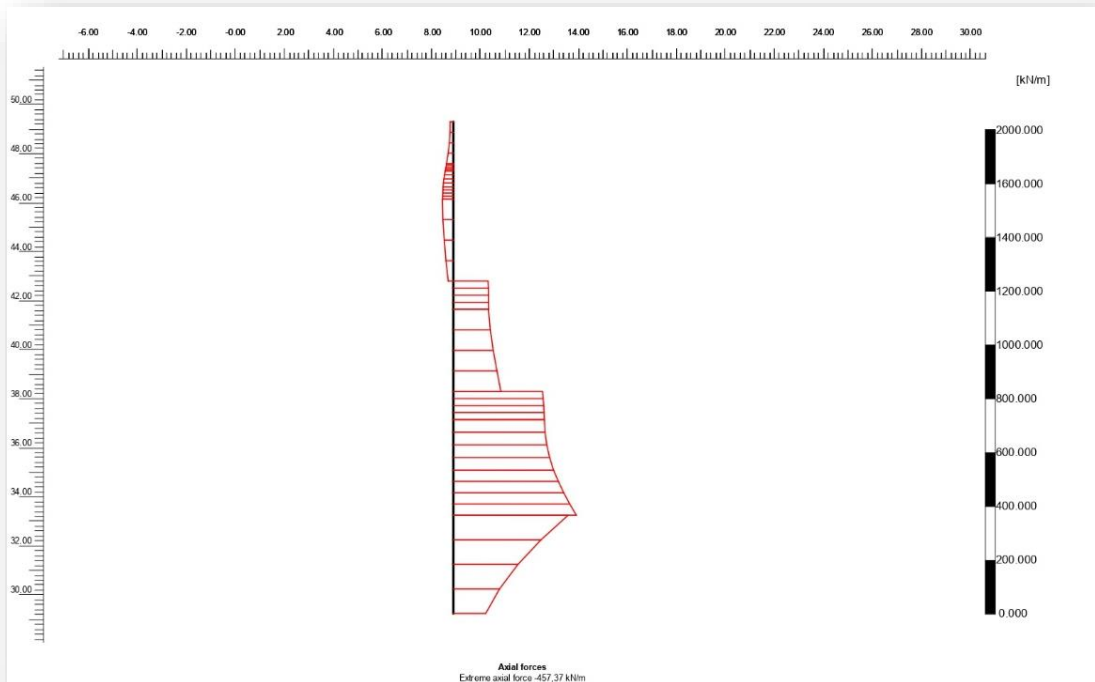


Διάγραμμα 5. 12: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.

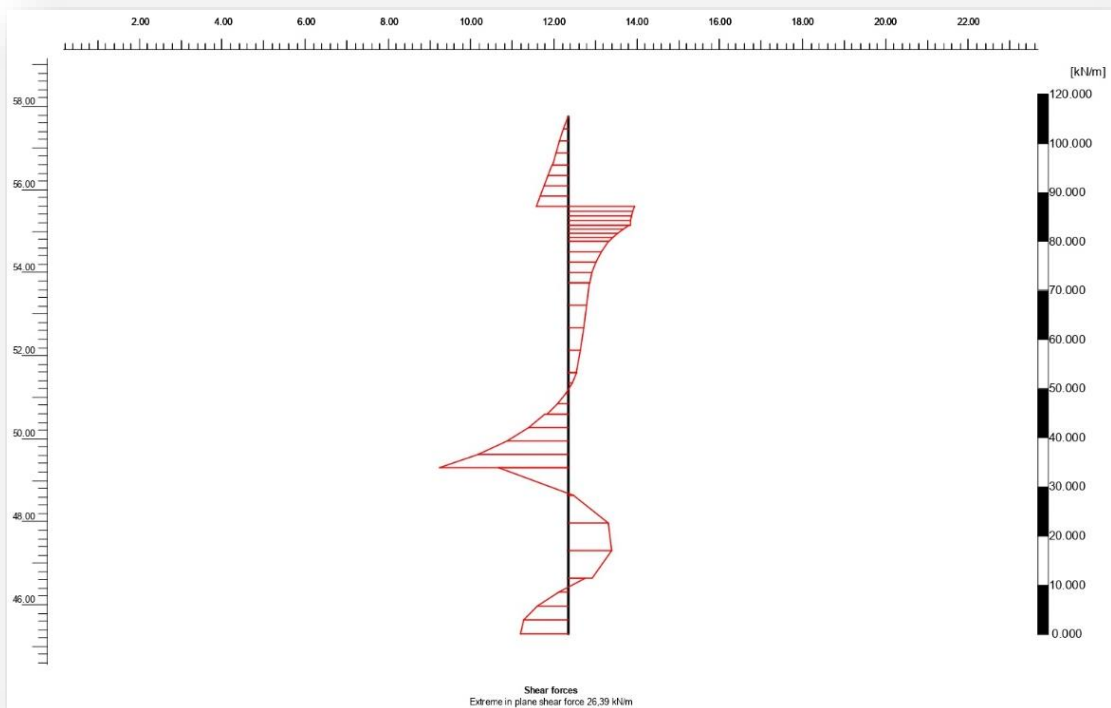


Διάγραμμα 5. 13:Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.

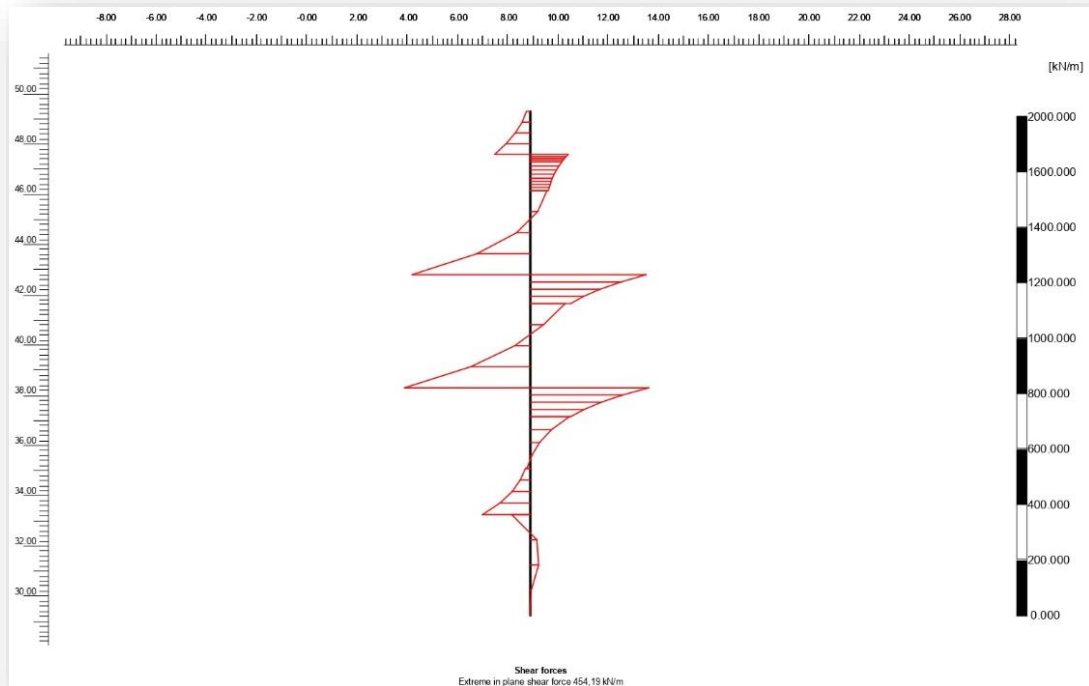
Στο διάγραμμα 5.13 δίνεται η κατανομή αξονικών δυνάμεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης. Κατά μέγιστη τιμή οι αξονικές δυνάμεις στον τοίχο υπολογίζονται σε 118,32kN/m. Στο διάγραμμα 5.14 δίνεται η κατανομή των αξονικών δυνάμεων στον δεύτερο τοίχο, με μέγιστη τιμή αυτών τα 457,37 kN/m. Συγκριτικά με τα διαγράμματα (4.13, 4.14) της επίλυσης αναφοράς, παρατηρείται στον πρώτο τοίχο αύξηση των αξονικών δυνάμεων ενώ στον δεύτερο τοίχο προκύπτει μείωση των αξονικών μεγεθών. Κατά μήκος του πρώτου τοίχου από το διάγραμμα 5.13 παρατηρείται ότι ο τοίχος δέχεται μόνο ενεργητικές ωθήσεις, με την μέγιστη τιμή να προσδιορίζεται περι το σημείο έναρξης της πάκτωσής του. Αντιθέτως στον δεύτερο τοίχο παρατηρείται η ανάπτυξη παθητικών ωθήσεων έως το σημείο της σειράς των αγκυρίων. Το υπόλοιπο τμήμα του τοίχου υπόκειται στην ανάπτυξη ενεργητικών ωθήσεων. Τα διαγράμματα 5.15, 5.16 απεικονίζουν τις κατανομές των τεμνουσών στον πρώτο και στον δεύτερο αντίστοιχα τοίχο αντιστήριξης. Οι μέγιστες τιμές αυτών υπολογίζονται στα 26,39kN/m και 454,19kN/m για τον πρώτο και τον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης.



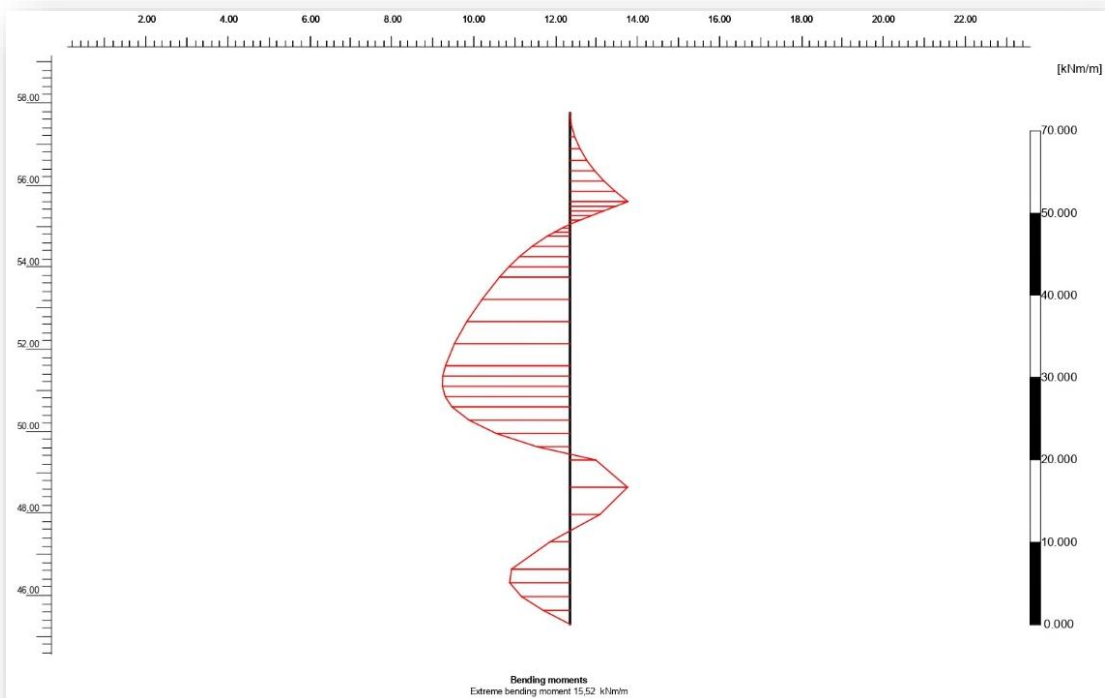
Διάγραμμα 5. 14: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.



Διάγραμμα 5. 15: Κατανομή διατμητικών δυνάμεων (τεμνουσών) σε όλο το μήκος του πρώτου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.

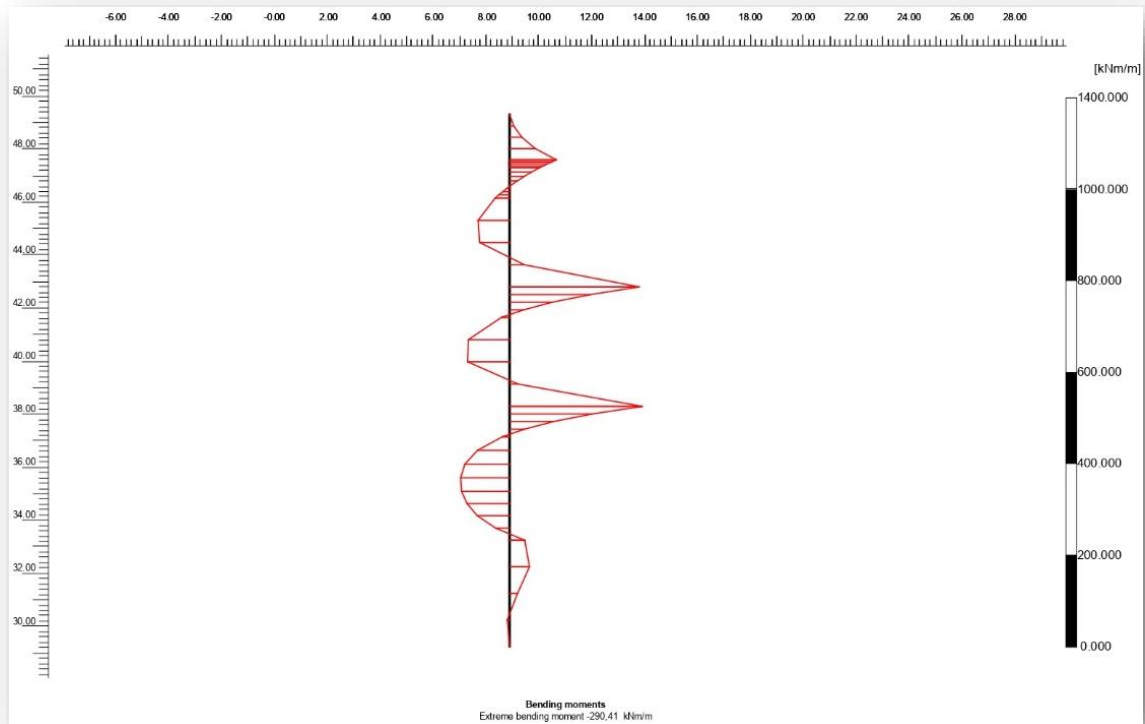


Διάγραμμα 5. 16: Κατανομή διατμητικών δυνάμεων (τεμνουσών) σε όλο το μήκος του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.



Διάγραμμα 5. 17: Κατανομή ροπών κάμψεως σε όλο το μήκος του πρώτου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.

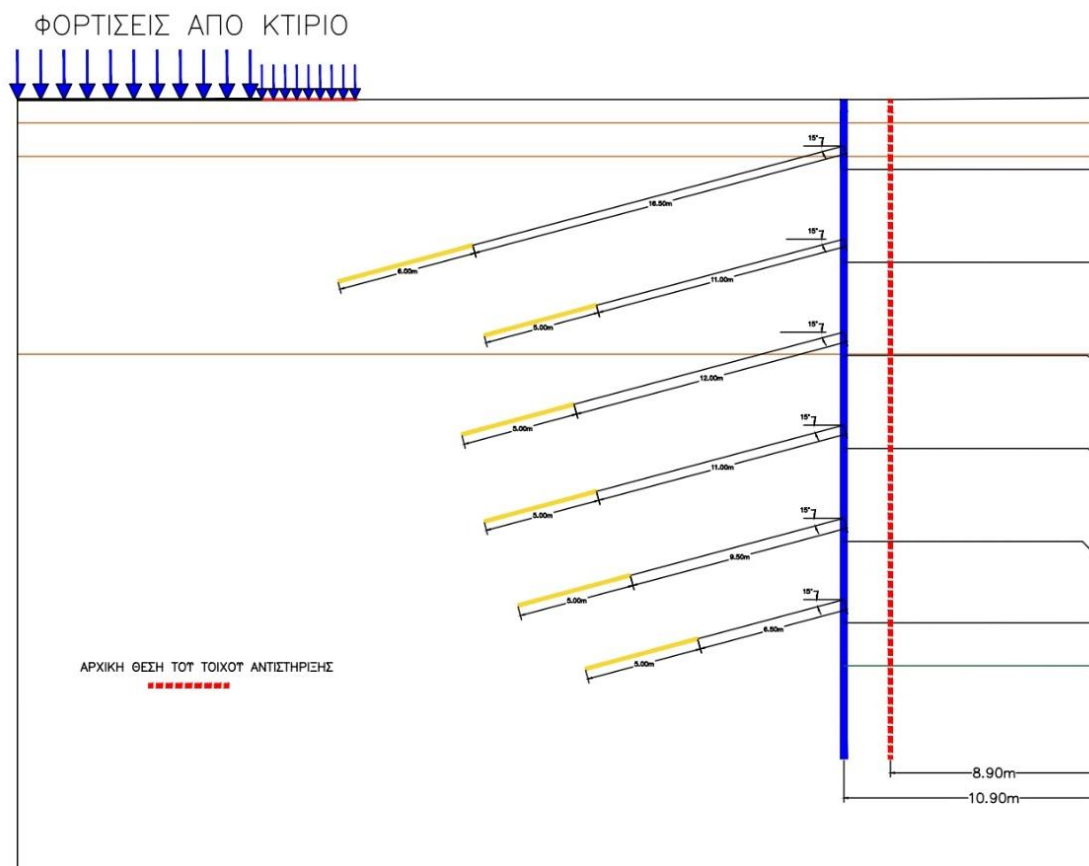
Οι κατανομές των ροπών κάμψεως κατά μήκος των τοίχων αντιστήριξης για το δυτικό σύστημα αντιστήριξης απεικονίζονται στα διαγράμματα 5.17 και 5.18. Οι συνολικές τιμές των ροπών κάμψεως προσδιορίζονται περι τα 15,52 kNm/m και 290,41 kNm/m αντιστοίχως.



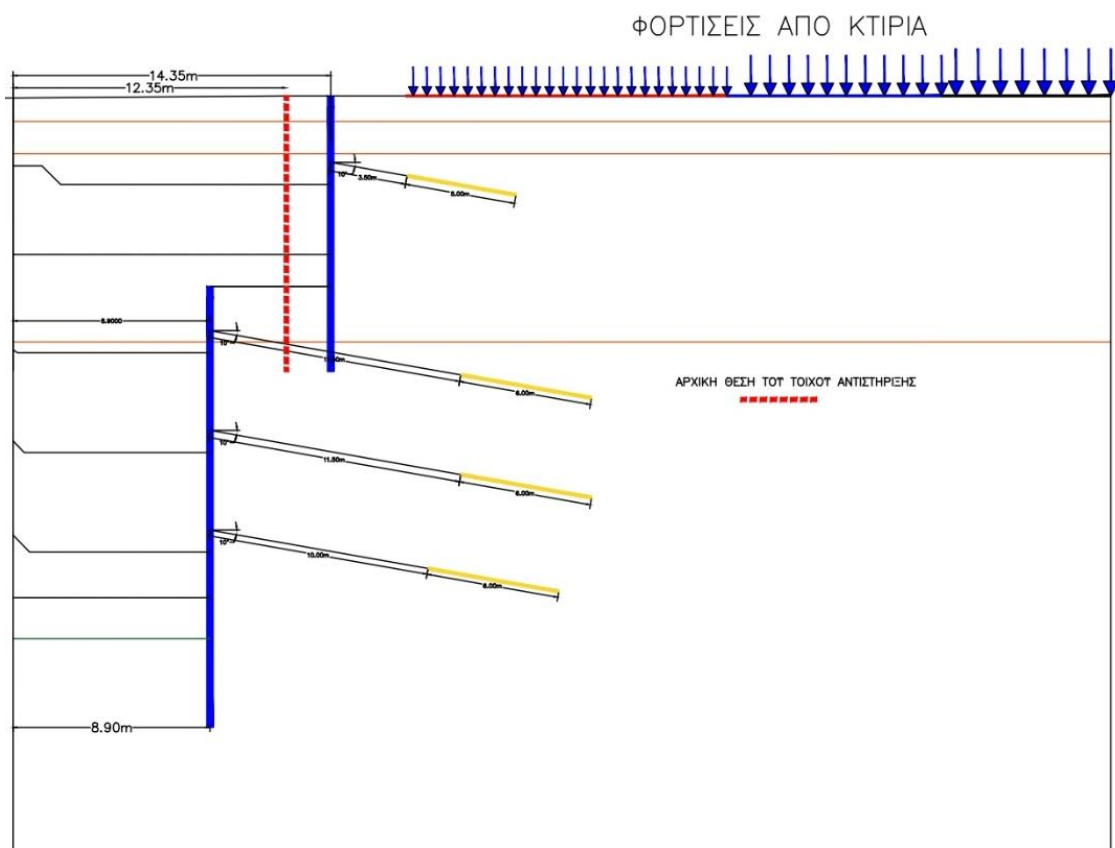
Διάγραμμα 5. 18:Κατανομή ροπών κάμψεως σε όλο το μήκος του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Α.

### 5.3 Παραμετρική ανάλυση Β

Στην παραμετρική ανάλυση Β, πραγματοποιήθηκε τροποποίηση της τομής 1-1 του Σταθμού ως αποτέλεσμα την αλλαγή στην απόσταση των τοίχων αντιστήριξης. Πραγματοποιήθηκε αναδιάταξη των τοίχων αντιστήριξης πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε αύξηση της μεταξύ των απόσταση κατά 2m. Η τελική διάταξη των τομών δίνεται στα σχήματα (5.11 & 5.12).



Σχήμα 5. 11: Τομή ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την ομάδα Β παραμετρικών αναλύσεων.

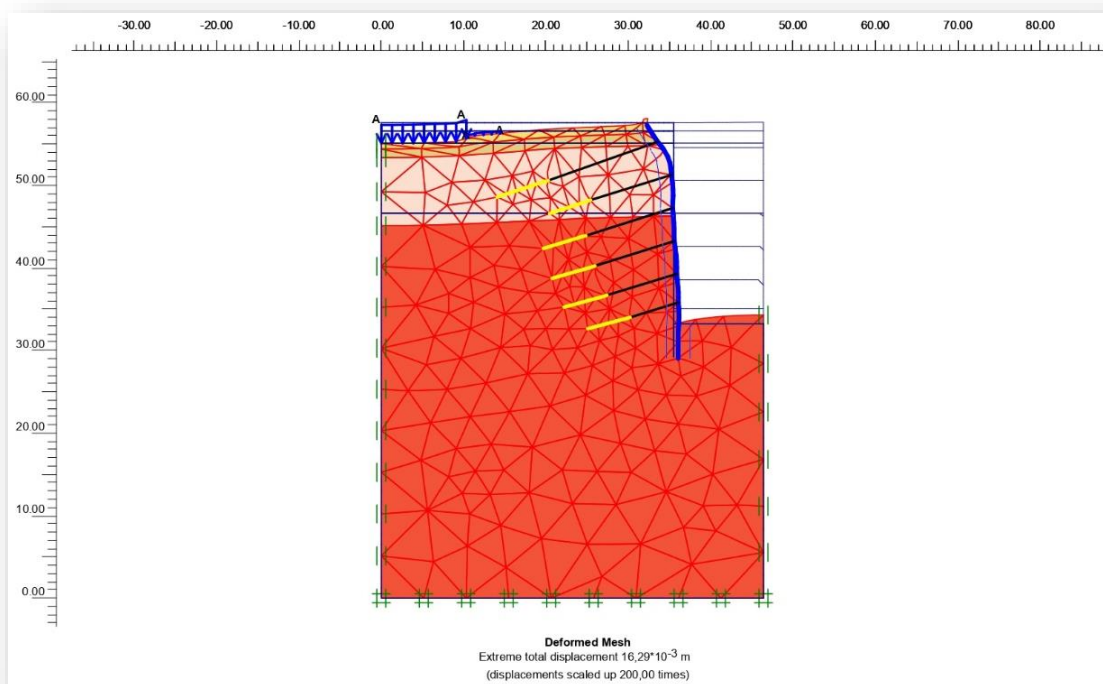


Σχήμα 5. 12: Τομή δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την ομάδα Β παραμετρικών αναλύσεων.



### 5.3.1 Παραμετρική ανάλυση Β – Επίλυση ανατολικού τμήματος αντιστήριξης

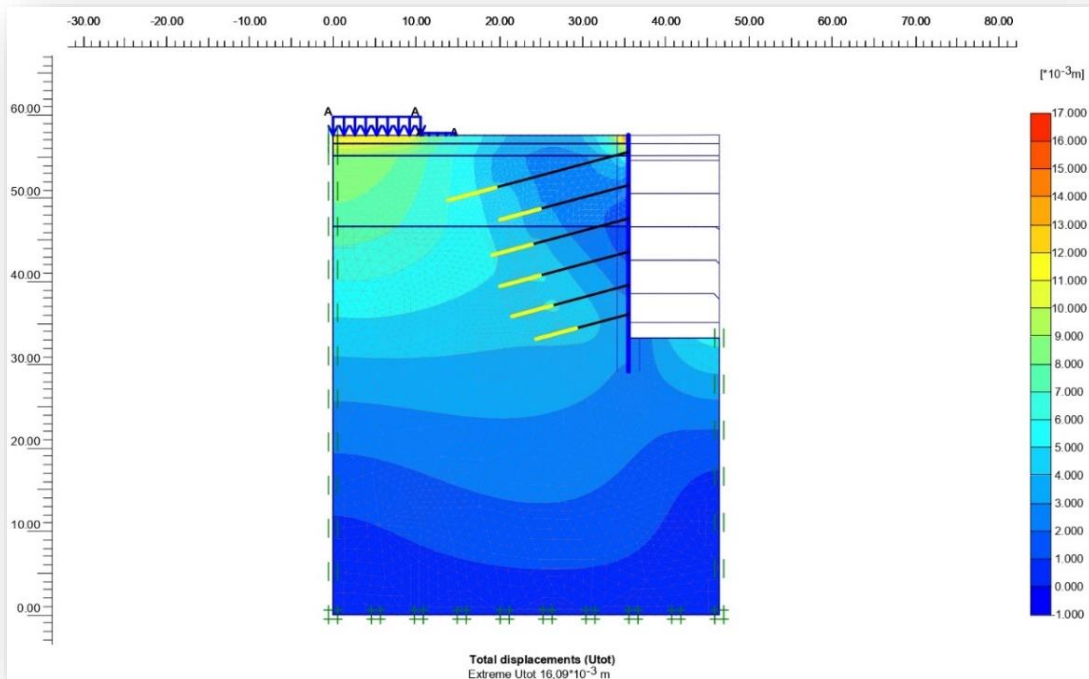
Για την επίλυση της παραμετρικής ανάλυσης Β, του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης χρησιμοποιήθηκαν φρεατοπάσσαλοι διαμέτρου 80cm κατασκευασμένοι από σκυρόδεμα ποιότητας C20/25.



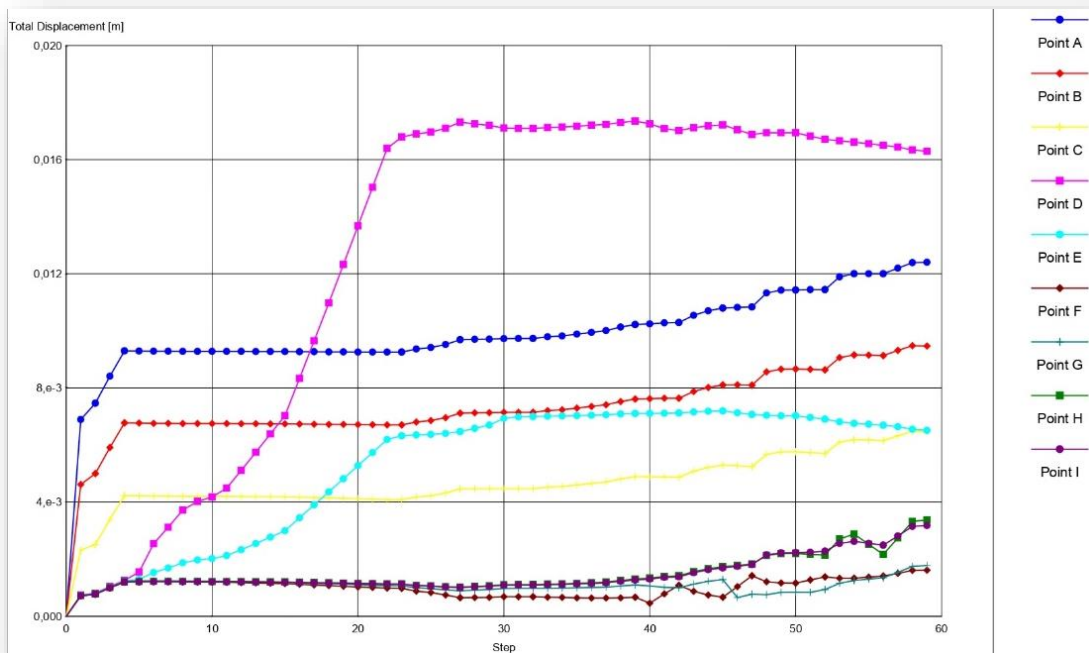
Σχήμα 5. 13: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων Β, ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Πάνω στον τοίχο αντιστήριξης αναρτώνται ανά επίπεδο εκσκαφής προεντεταμένα αγκύρια 3<sup>ov</sup>, 4<sup>ov</sup> και 5κλώνων. Ως υλικό αυτών επιλέχθηκε χάλυβας ποιότητας S1700/1900 και μέτρου ελαστικότητας  $E_s = 210\text{GPa}$ , ενώ η διάμετρος κάθε κλώνου αγκύρωσης προσδιορίζεται στα 1,524cm. Για τις προεντεταμένες αγκυρώσεις χρησιμοποιήθηκαν έξι σειρές αγκυρίων. Στο σχήμα 5.13 δίνεται το παραμορφωμένο μοντέλο της τομής του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης όπως αυτό προέκυψε από την επίλυση στο πρόγραμμα Plaxis. Από την επίλυση της τομής ανατολικού συστήματος, προέκυψαν οι συνολικές μετακινήσεις του σχήματος 5.14, ενώ στο διάγραμμα 5.19 δίνεται η εξέλιξη των μετακινήσεων για τα σημεία παρατήρησης όπως ορίστηκαν στο μοντέλο προσομοίωσης. Η μέγιστη τιμή των ολικών μετακινήσεων (σχήμα 5.13), υπολογίστηκε στα 16,09mm. Στη βάση της εκσκαφής παρατηρείται αλλαγή του χρώματος, το οποίο μεταφράζεται ως ανεπαίσθητη ανύψωση στον πυθμένα της εκσκαφής καθώς επίσης και ως αμυδρές μετακινήσεις στα σημεία έδρασης του

περιβάλλοντος κτιρίου. Στο διάγραμμα 5.19, δίνονται οι καμπύλες μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης.

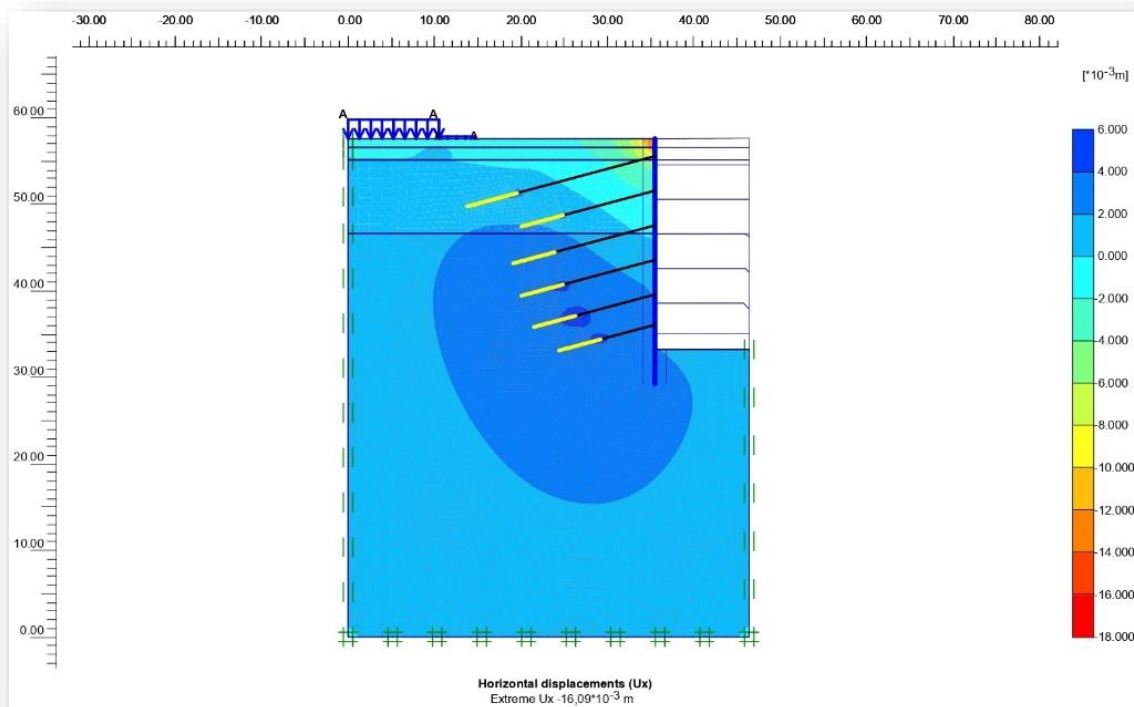


Σχήμα 5. 14: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Β. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.



Διάγραμμα 5. 19: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Β.

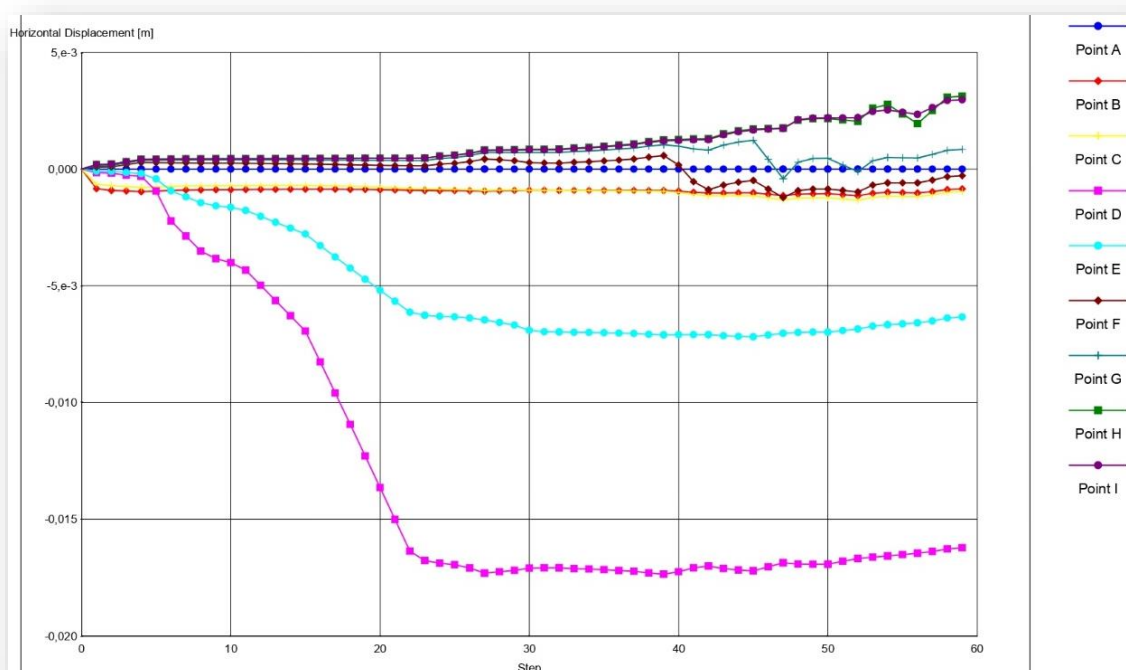
Η ολοκληρωμένη εικόνα των μετακινήσεων (διάγραμμα 5.19) των σημείων παρατήρησης, δείχνει πως όλα τα σημεία παρουσιάζουν μια αμυδρά ανοδική πορεία των καμπυλών κατά την έναρξη της εκσκαφής ενώ στην συνέχεια σταθεροποιούνται. Τα σημεία που παρουσιάζουν διαφοροποιημένες τιμές μετακινήσεων έναντι των υπολοίπων σημείων παρατήρησης, είναι τα σημεία A, B, C τα οποία έχουν οριστεί στην βάση του περιβάλλοντος κτιρίου, και το σημείο D το οποίο βρίσκεται στον κεφαλόδεσμο του τοίχου αντιστήριξης.



Σχήμα 5. 15: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση B. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

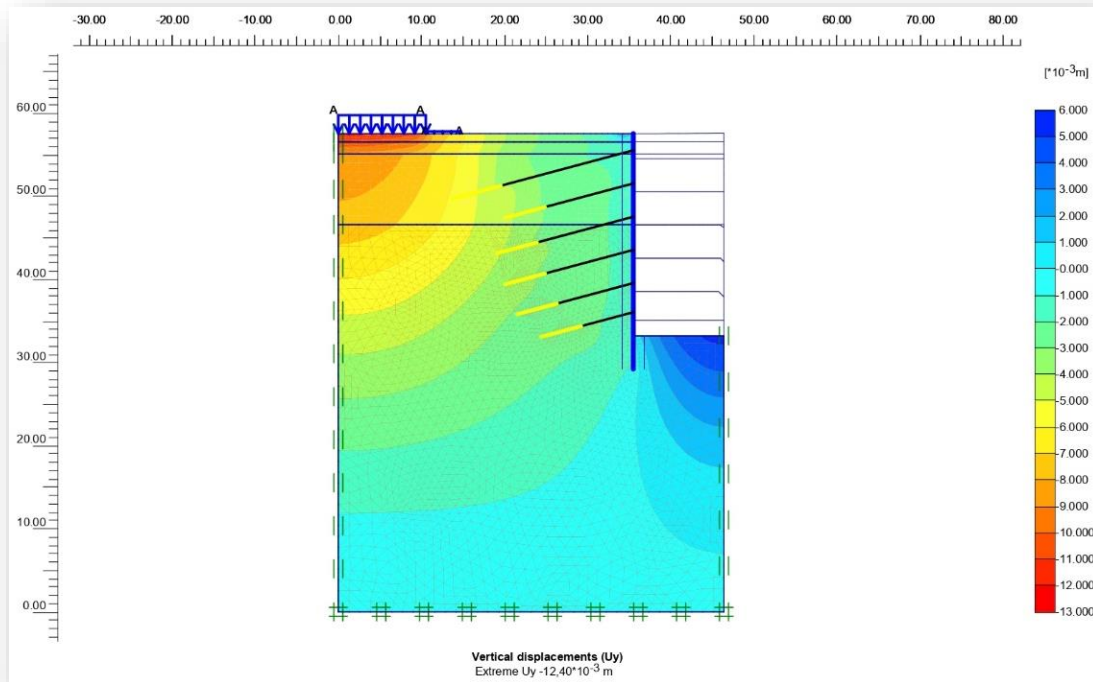
Στο σχήμα 5.15 δίνεται το αριθμητικό προσομοίωμα των οριζόντιων μετακινήσεων. Η μέγιστη τιμή αυτών υπολογίζεται περί τα 16,09mm. Σύμφωνα με την χρωματική κλίμακα του προσομοιώματος διαφοροποιημένες τιμές οριζόντιων μετακινήσεων διακρίνονται στον κεφαλόδεσμο του τοίχου αντιστήριξης. Η κατεύθυνση αυτών είναι προς τα αριστερά της εκσκαφής. Κατά μήκος του τοίχου παρατηρούνται αμυδρά τιμές μετακινήσεων. Ακολουθεί το διάγραμμα 5.20 οριζόντιων μετακινήσεων, των σημείων παρατήρησης. Στο διάγραμμα 5.20 εντοπίζεται αμυδρά οριζόντιες μετακινήσεις στα σημεία D, E. Τα υπόλοιπα σημεία εμφανίζουν μία ομοιόμορφη ακολουθία. Το σημείο παρατήρησης D αντιστοιχεί στον κεφαλόδεσμο του τοίχου ενώ το σημείο E βρίσκεται στο μεσαίο τμήμα του τοίχου αντιστήριξης. Τα σημεία F, G, H, I τα οποία βρίσκονται

στα κατώτερα επίπεδα εκσκαφής έχουν αντίρροπη κατεύθυνση από τα D, E . Αυτό συμβαίνει διότι η κατεύθυνση των μετακινήσεων στις πρώτες φάσεις εκσκαφής είναι προς τα αριστερά της εκσκαφής ενώ των υπολοίπων σημείων προς τα δεξιά της εκσκαφής. Οι αγκυρώσεις συνεισφέρουν αρκετά θετικά στην αντιστήριξη με αποτέλεσμα να συγκρατούν τον τοίχο και να περιορίζονται οι παραμορφώσεις αυτού, οι οποίες προκαλούνται λόγω ενεργητικών ωθήσεων.

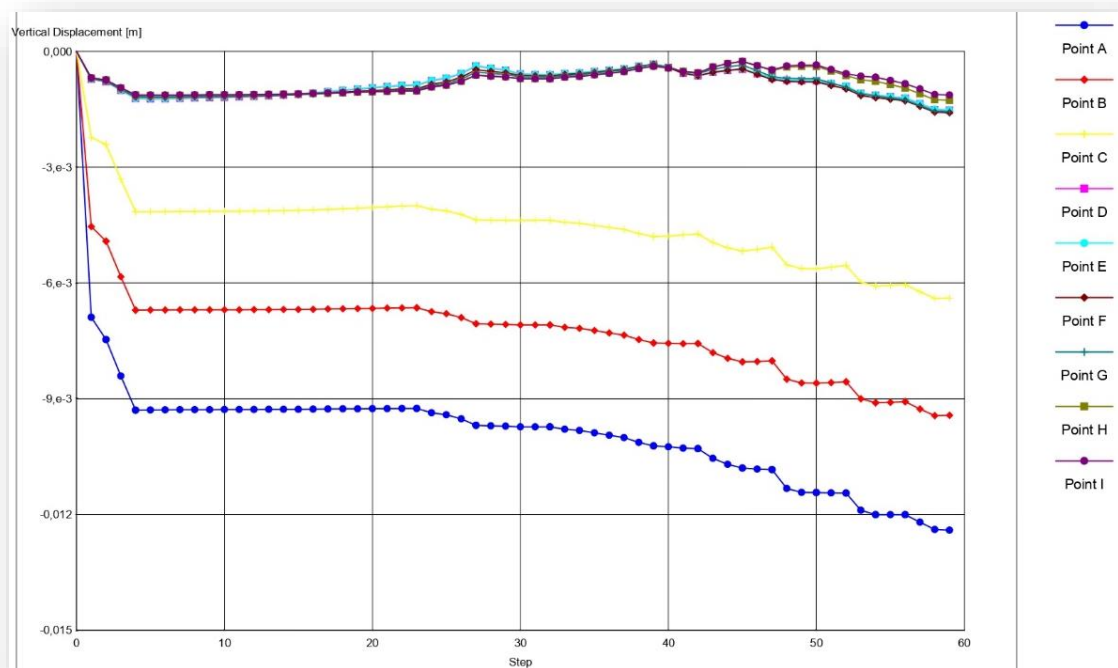


Διάγραμμα 5. 20: Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση B.

Το αριθμητικό προσομοίωμα των κατακόρυφων μετακινήσεων δίνεται στο διάγραμμα 5.21. Η μέγιστη τιμή των κατακόρυφων μετακινήσεων προσδιορίζεται περί τα 12,40mm. Η εξέλιξη των μετακινήσεων (κατακόρυφων) των σημείων παρατήρησης δίνεται στο διάγραμμα 5.22. Όπως απεικονίζεται και στο διάγραμμα τα σημεία που βρίσκονται στην βάση του κτιρίου σημεία A, B, C εμφανίζουν ανεπαίσθητα τιμές μετακινήσεων σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία.

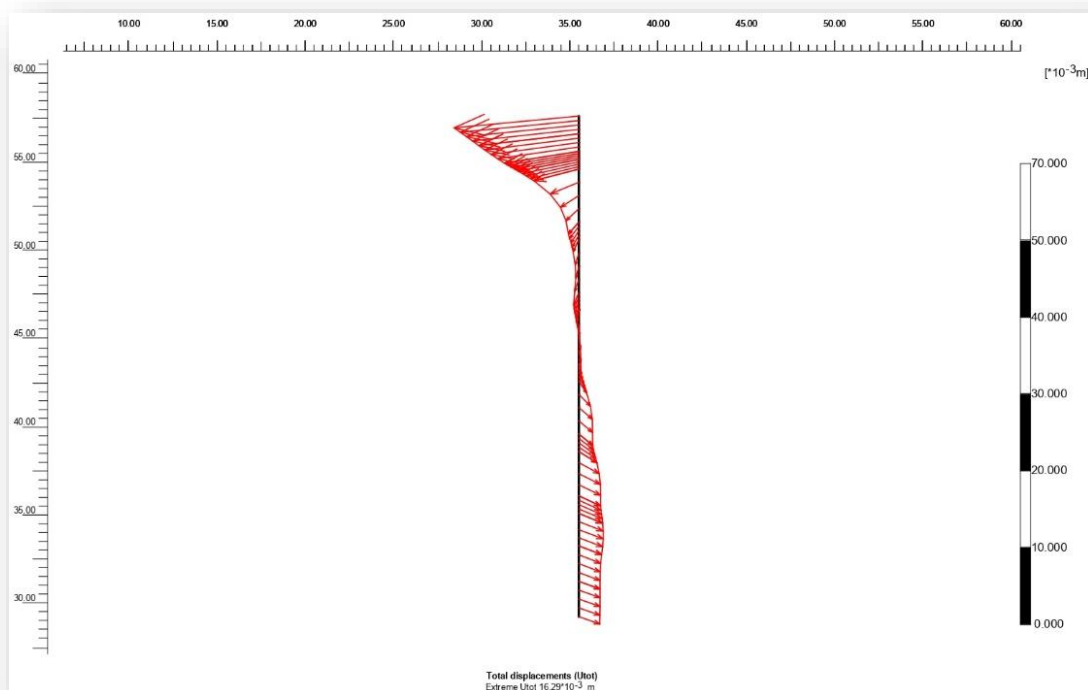


Διάγραμμα 5. 21: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την ομάδα B παραμετρικών αναλύσεων. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

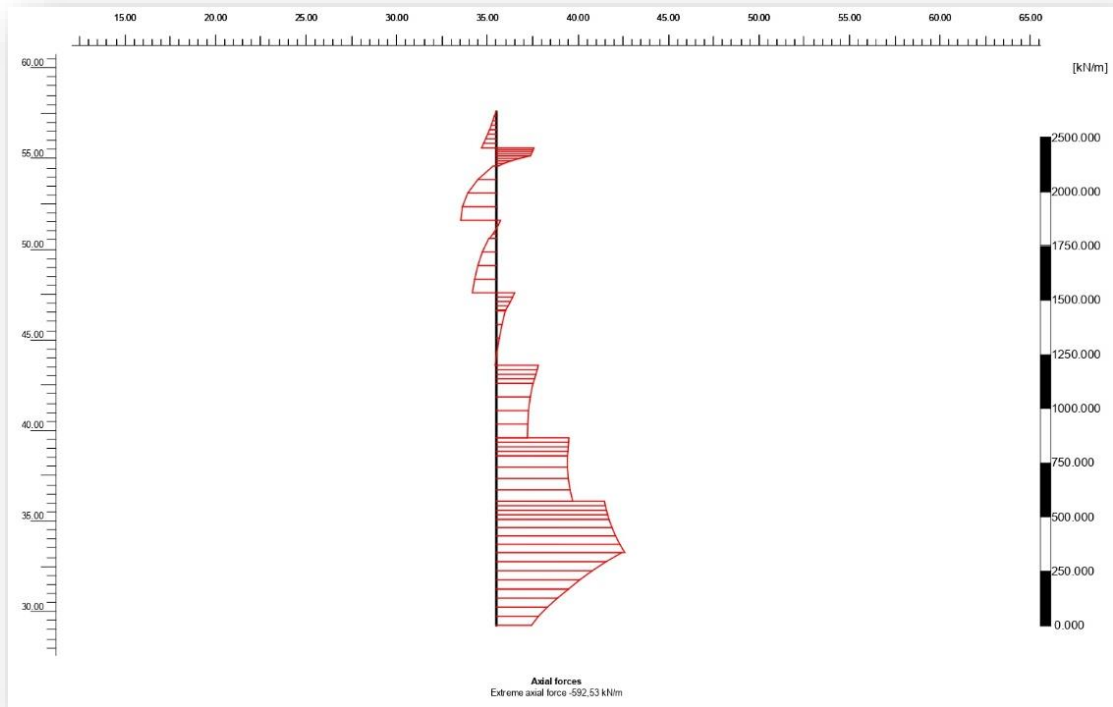


Διάγραμμα 5. 22: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση B.

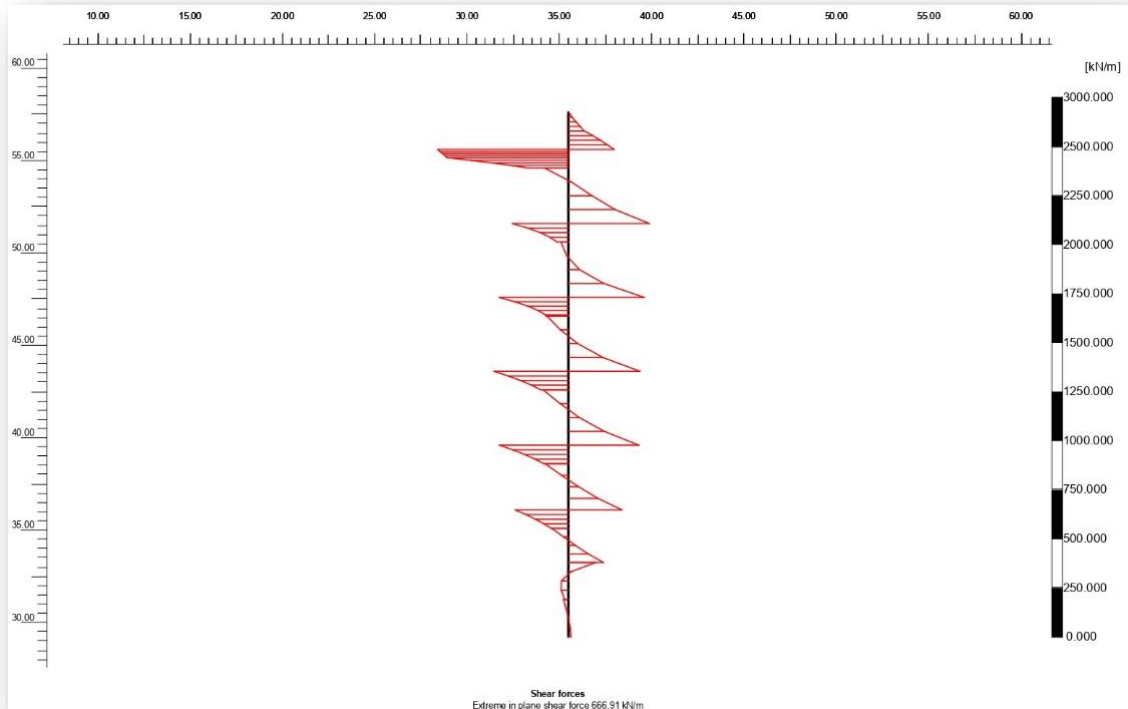
Στα διαγράμματα 5.23, 5.24, 5.25, 5.26 δίνεται η συμπεριφορά του τοίχου αντιστήριξης με την πρόοδο της εκσκαφής. Στο διάγραμμα 5.23 παρουσιάζεται η κατανομή των μετακινήσεων (συνολικών μετακινήσεων) σε όλη την έκταση του τοίχου αντιστήριξης. Η μέγιστη τιμή αυτών υπολογίζεται περί τα 16,29mm. Στο διάγραμμα 5.24 δίνεται η χωρική κατανομή των αξονικών δυνάμεων στον τοίχο αντιστήριξης. Κατά μέγιστη τιμή υπολογίζονται στα 592,53 kN/m. Η μέγιστη τιμή αυτών προσδιορίζεται κοντά στο τμήμα πάκτωσης του τοίχου και οφείλεται στην ανάπτυξη παθητικών ωθήσεων του εδάφους λόγω αλληλεπίδρασης εδάφους-συστήματος αντιστήριξης. Στον κεφαλόδεσμο του τοίχου, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, διακρίνεται δραστηριότητα αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων καθώς επίσης και ροπών κάμψεως. Οι τιμές των τεμνουσών δυνάμεων υπολογίζονται περί τα 666,91 kN/m (διάγραμμα 5.25), ενώ των ροπών κάμψεως περί τα 341,81 kNm/m (διάγραμμα 5.26).



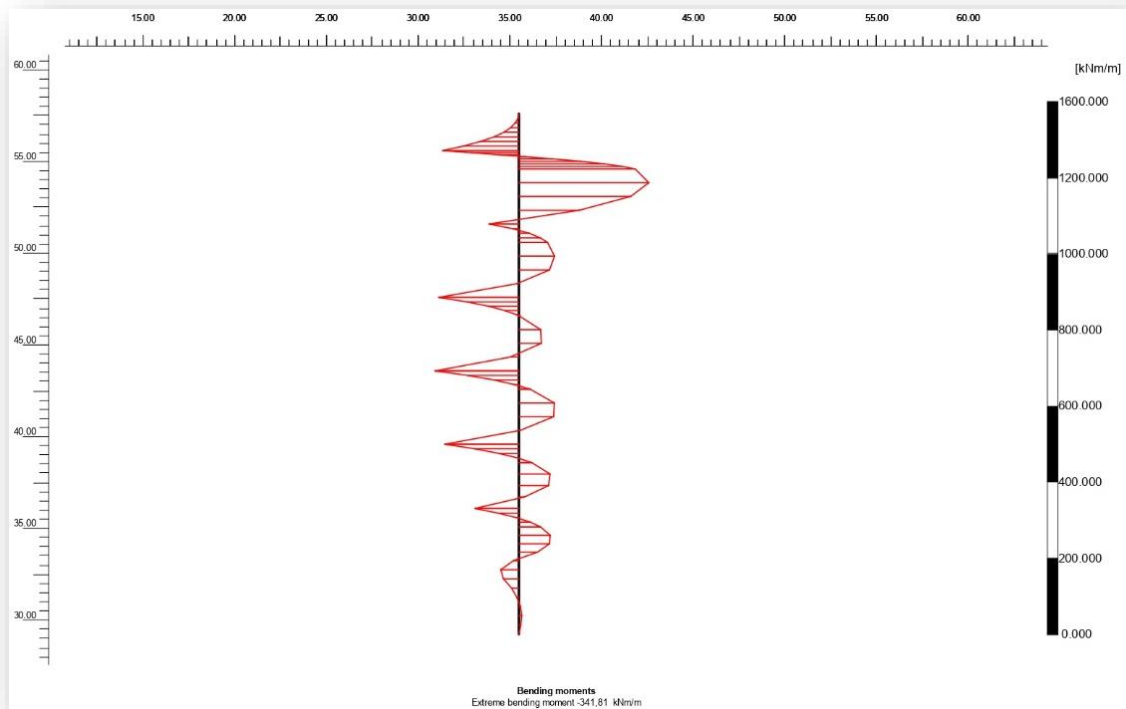
Διάγραμμα 5. 23: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β



Διάγραμμα 5. 24: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.



Διάγραμμα 5. 25: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων (τεμνουσών) στον τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.

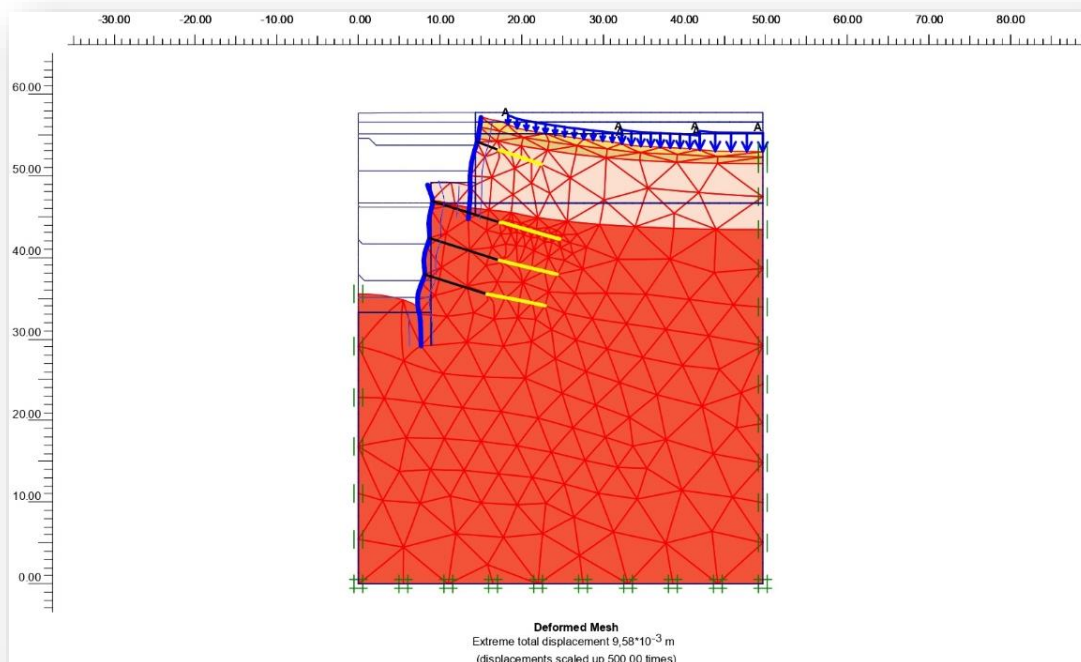


Διάγραμμα 5. 26:Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.



### 5.3.2 Παραμετρική ανάλυση Β – Επίλυση δυτικού τμήματος αντιστήριξης

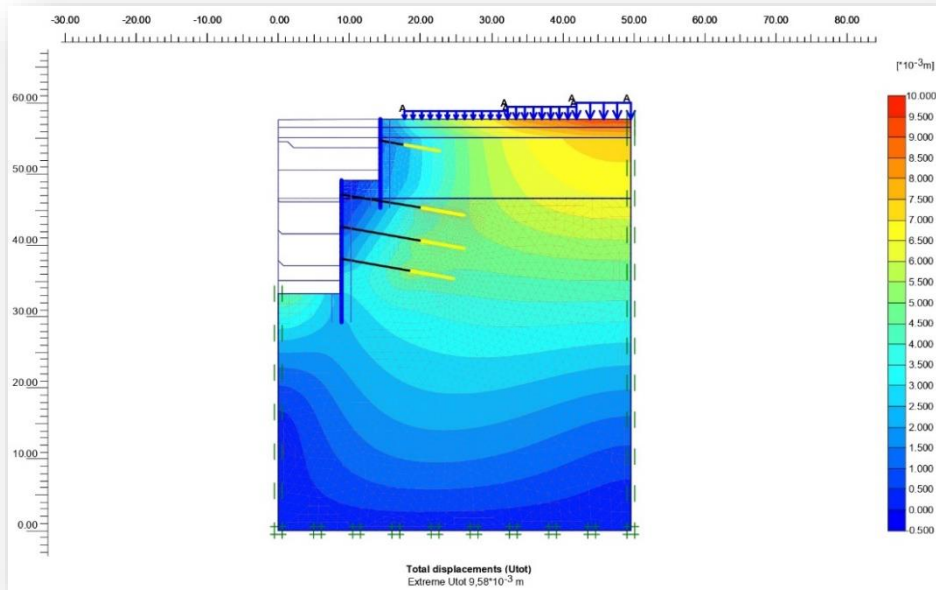
Για την επίλυση του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, χρησιμοποιήθηκαν φρεατοπάσσαλοι διαμέτρου 80cm, οι οποίοι διαφέρουν ως προς το μήκος τους και το βάθος (υψόμετρο) ανάρτησής τους. Είναι κατασκευασμένοι από σκυρόδεμα ποιότητας C20/25, και προσομοιώνουν τους τοίχους αντιστήριξης. Πάνω στους φρεατοπασσάλους και ανά επίπεδο εκσκαφής ορύσσονται προεντεταμένα αγκύρια 3<sup>ων</sup> και 5 κλώνων. Ως υλικό αυτών επιλέχθηκε χάλυβας ποιότητας S1700/1900 και μέτρου ελαστικότητας  $E_s = 210\text{GPa}$ , ενώ η διάμετρος κάθε κλώνου αγκύρωσης προσδιορίζεται στα 1,524cm. Το μήκος πάκτωσης κάθε αγκυρίου προσδιορίζεται στα 5,00m και 6,00m ενώ για την πάκτωσή τους χρησιμοποιείται τσιμεντοκονίαμα μέτρου ελαστικότητας 15GPa. Για τις προεντεταμένες αγκυρώσεις χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις σειρές αγκυριών. Στην εν λόγω επίλυση πραγματοποιήθηκε αύξηση του πλάτους εκσκαφής ως προς τα δύο μέτρα, μετακινώντας μόνο τον πρώτο τοίχο αντιστήριξης κατά δύο μέτρα δεξιότερα της αρχικής του θέσης (σχήμα 5.12). Στο σχήμα 5.16 δίνεται το παραμορφωμένο μοντέλο της τομής του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης όπως αυτό προέκυψε από την επίλυση στο πρόγραμμα Plaxis.



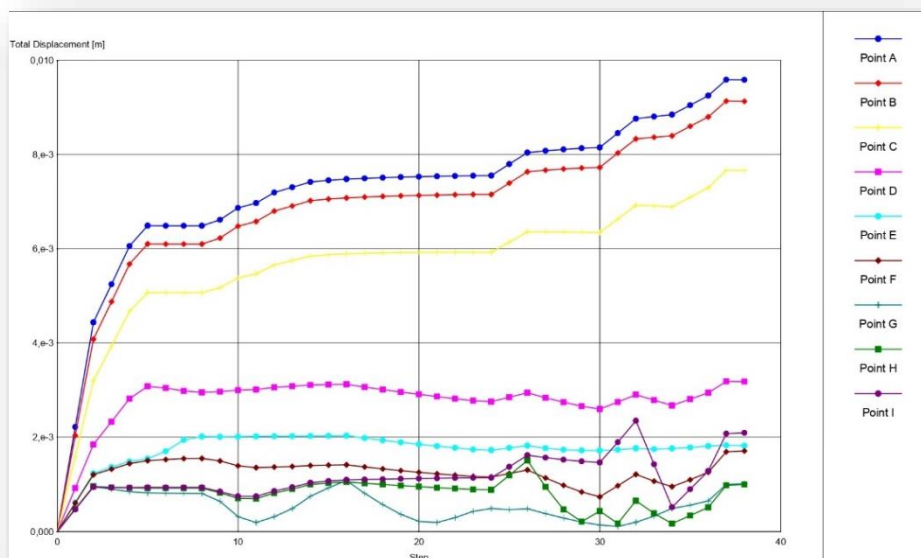
Σχήμα 5. 16: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων Β, δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Από την επίλυση του συστήματος προέκυψαν οι συνολικές μετακινήσεις.

Το αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιώντας χρωματική κλίμακα, δίνονται οι περιοχές κατανομής των συνολικών μετακινήσεων (σχήμα 5.17). Η μέγιστη τιμή των μετακινήσεων προσδιορίζεται στα 9,58mm. Η συμπεριφορά των σημείων παρατήρησης απεικονίζεται στο διάγραμμα 5.27. Συγκριτικά όλα τα σημεία παρατήρησης αρχικά παρουσιάζουν μία διαφοροποίηση ενώ στην συνέχεια σταθεροποιούνται, το οποίο πιθανώς οφείλεται στην δημιουργία ορύγματος ως αποτέλεσμα την αφαίρεση υλικού.

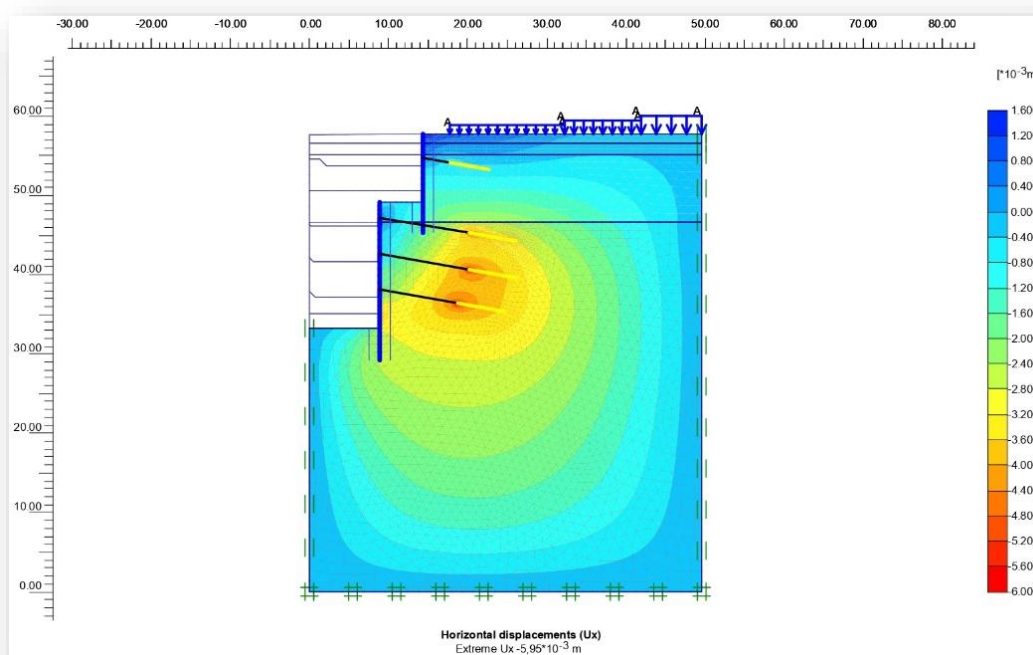


Σχήμα 5. 17:Αριθμητικό προσομοίωμα συνολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση B. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης.



Διάγραμμα 5. 27:Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση B.

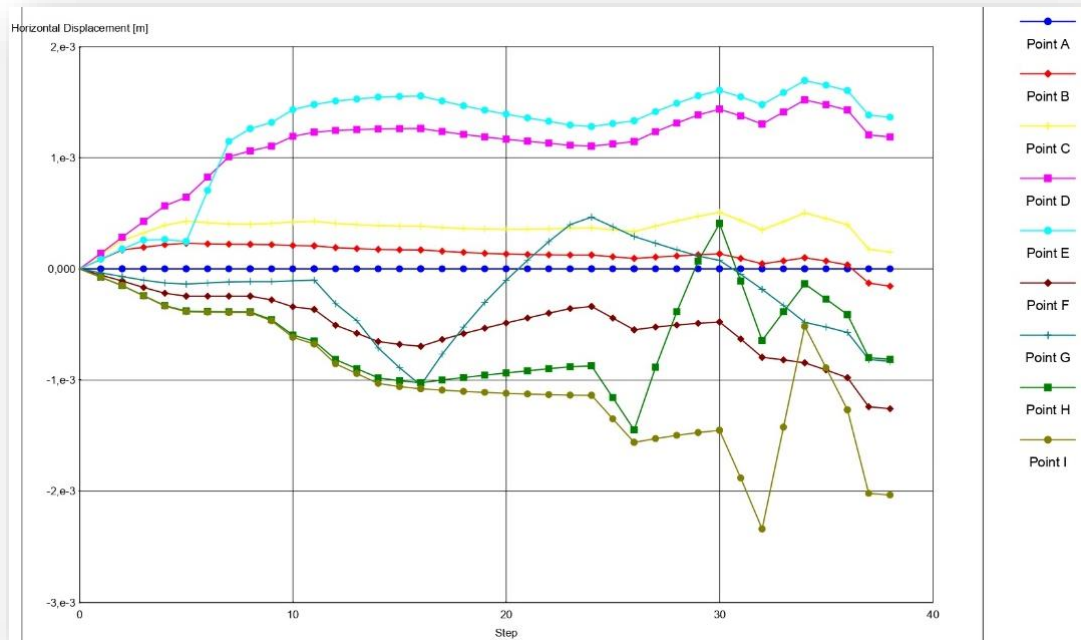
Στο σχήμα 5.18 δίνεται το αριθμητικό προσομοίωμα των οριζόντιων μετακινήσεων για το δυτικό τμήμα αντιστήριξης. Οι οριζόντιες μετακινήσεις κατά μέγιστη τιμή προσδιορίζονται περί τα 5,95mm. Αμυδρά συγκέντρωση μετακινήσεων εντοπίζεται στην περιοχή της πάκτωσης των αγκυριών (σειρές δεύτερη, τρίτη, τέταρτη). Οι υπόλοιπες περιοχές του προσομοιώματος σύμφωνα με την χρωματική κλίμακα, παρουσιάζουν οριζόντιες παραμορφώσεις έως και 1,6mm. Η εξέλιξη των σημείων παρατήρησης φαίνεται στο διάγραμμα 5.28. όλα τα σημεία παρουσιάζουν μια αρχική μετατόπιση ενώ στην συνέχεια επέρχεται σταθεροποίηση.



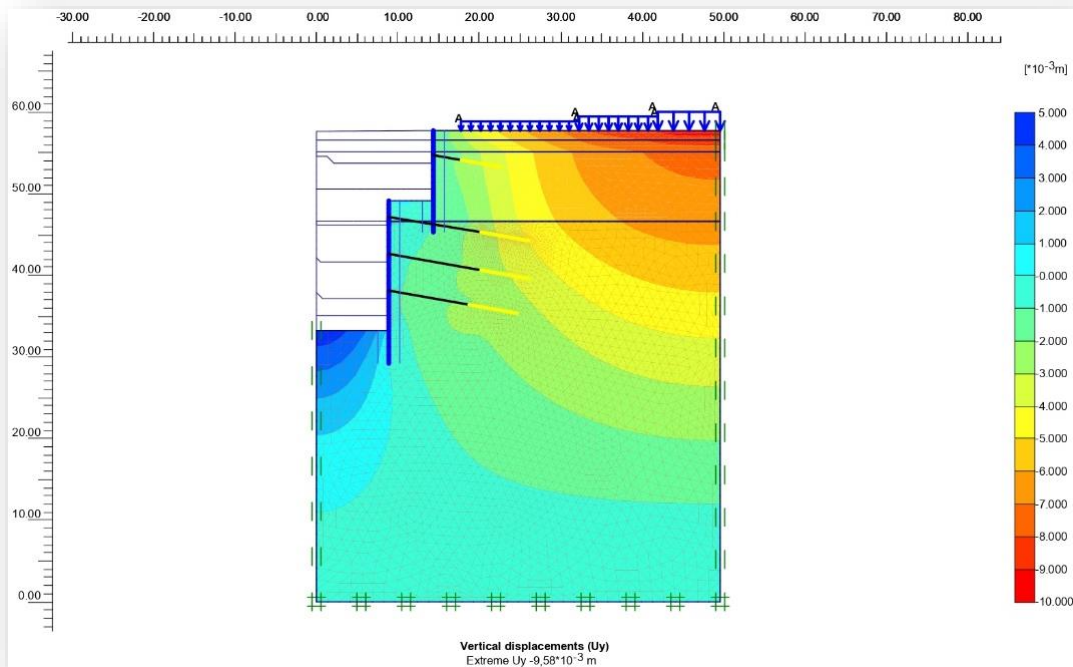
Σχήμα 5. 18: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Β. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Αμυδρές μετακινήσεις παρατηρούνται στον κεφαλόδεσμο του πρώτου τοίχου αντιστήριξης. Το σημείο που περιγράφει το φαινόμενο είναι το σημείο Ε. Αρχικά το σημείο παρατήρησης, κατά την έναρξη των εργασιών εκσκαφής παρουσιάζει μία γραμμική κατάσταση των οριζόντιων μετακινήσεων, ενώ μετέπειτά το φαινόμενο εξελίσσεται με κυματοειδή ομοιομορφία έως ότου επέλθει σταθεροποίηση. Αντιθέτως στον κεφαλόδεσμο του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης βρίσκεται το σημείο Γ. Το σημείο αυτό παρουσιάζει αντίρροπη κατεύθυνση των μετακινήσεων ενώ καθώς η εκσκαφή βρίσκεται σε εξέλιξη προς χαμηλότερα επίπεδα, εντοπίζεται μία αμυδρά ανάβαση στο διάγραμμα και στην συνέχεια επέρχεται σταθεροποίηση. Παρόμοια συμπεριφορά

παρατηρείται και στο σημείο I το οποίο βρίσκεται στην βάση του τοίχου στον πυθμένα της εκσκαφής.

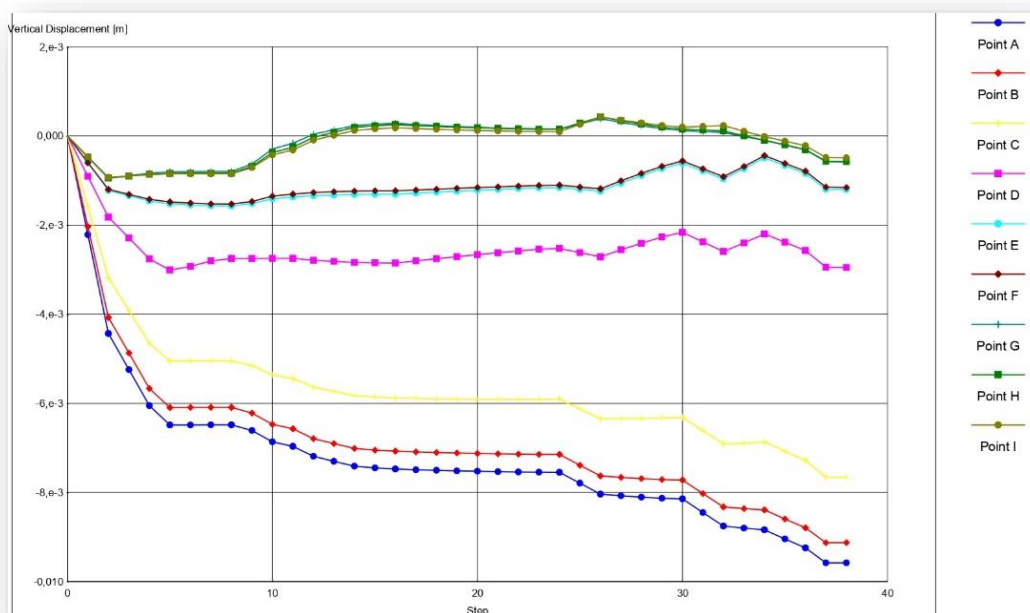


Διάγραμμα 5. 28: Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση B.



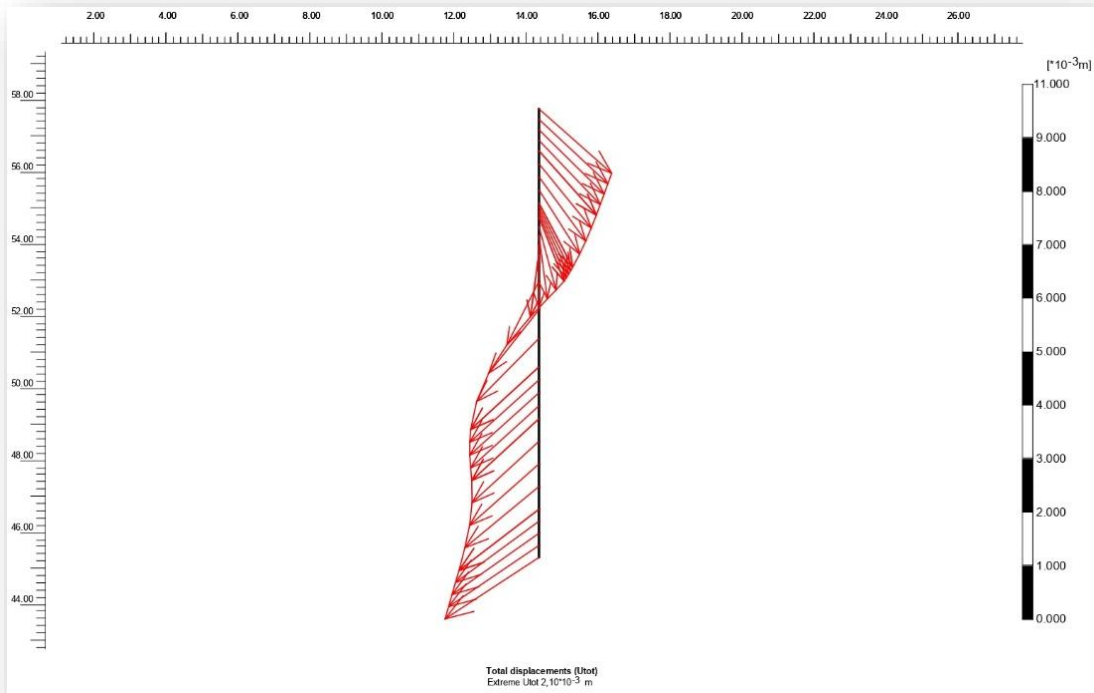
Σχήμα 5. 19: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση B. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Το σχήμα 5.19 περιγράφει την συμπεριφορά του αριθμητικού μοντέλου ως προς τις κατακόρυφες μετακινήσεις. Από την χρωματική κλίμακα έμφαση δίνεται στην βάση περιβαλλόντων κτιρίων λόγω εκσκαφής, τα οποία παρουσιάζουν ανεπαίσθητα μετακινήσεις μικρότερες του 1cm λόγω διαφορικών καθιζήσεων.

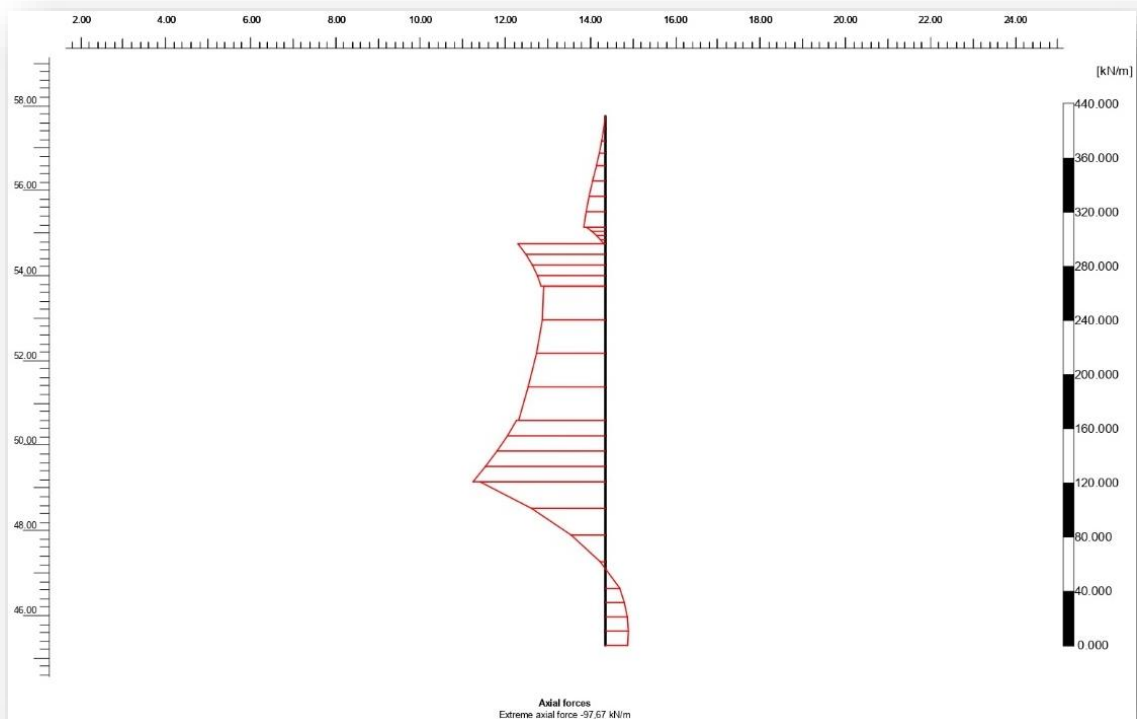


Διάγραμμα 5. 29: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Β.

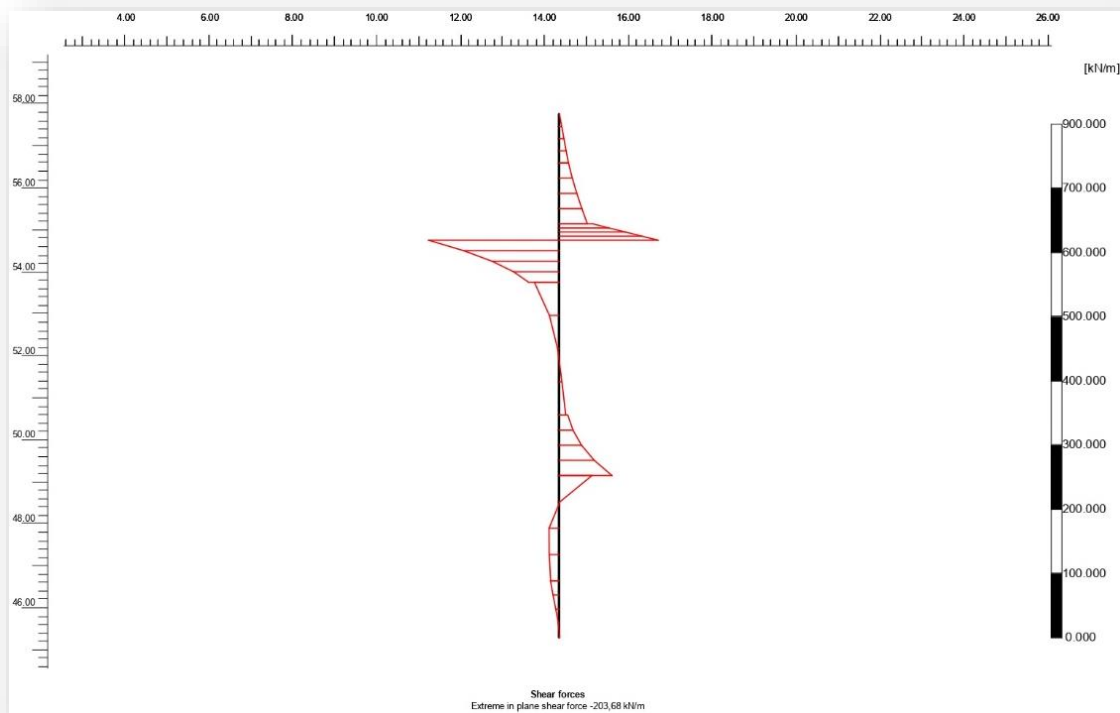
Η μέγιστη τιμή των κατακόρυφων μετακινήσεων υπολογίζεται στα 9,58mm. Επιπλέον στο σχήμα 5.19 παρατηρείται ανεπαίσθητα ανύψωση πυθμένα. Στο διάγραμμα 5.29 περιγράφεται η εξέλιξη των μετακινήσεων των εννέα σημείων παρατήρησης του δυτικού προσομοιώματος. Είναι φανερό ότι τα σημεία που αντιστοιχούν στις βάσεις των κτιρίων (σημεία, A,B,C,D) παρουσιάζουν αμυδρές τιμές κατακόρυφων μετακινήσεων έναντι των υπολοίπων σημείων. Επιπλέον το σημείο I παρουσιάζει μετακινήσεις με αντίρροπη κατεύθυνση των προαναφερθέντων σημείων παρατήρησης, το οποίο βρίσκεται στο ύψος του πυθμένα της εκσκαφής. Τα διαγράμματα που ακολουθούν περιγράφουν την συμπεριφορά των δύο τοίχων αντιστήριξης κατά το στάδιο υλοποίησης της εκσκαφής.



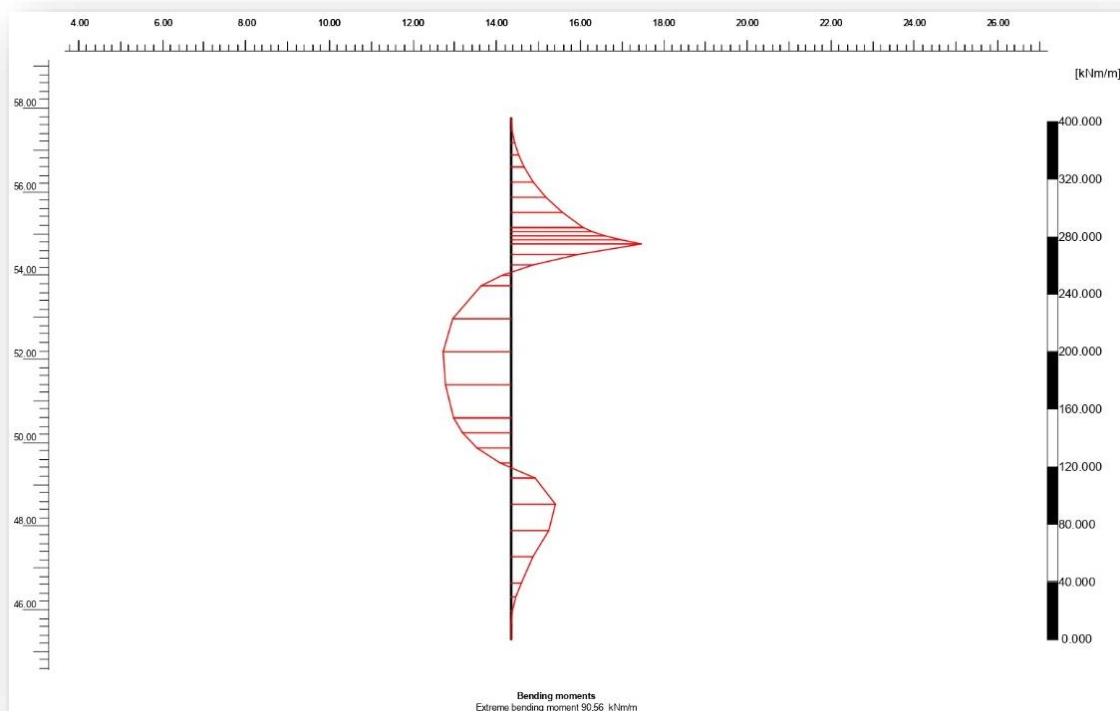
Διάγραμμα 5. 30: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για τον πρώτο τοίχο αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.



Διάγραμμα 5. 31: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.

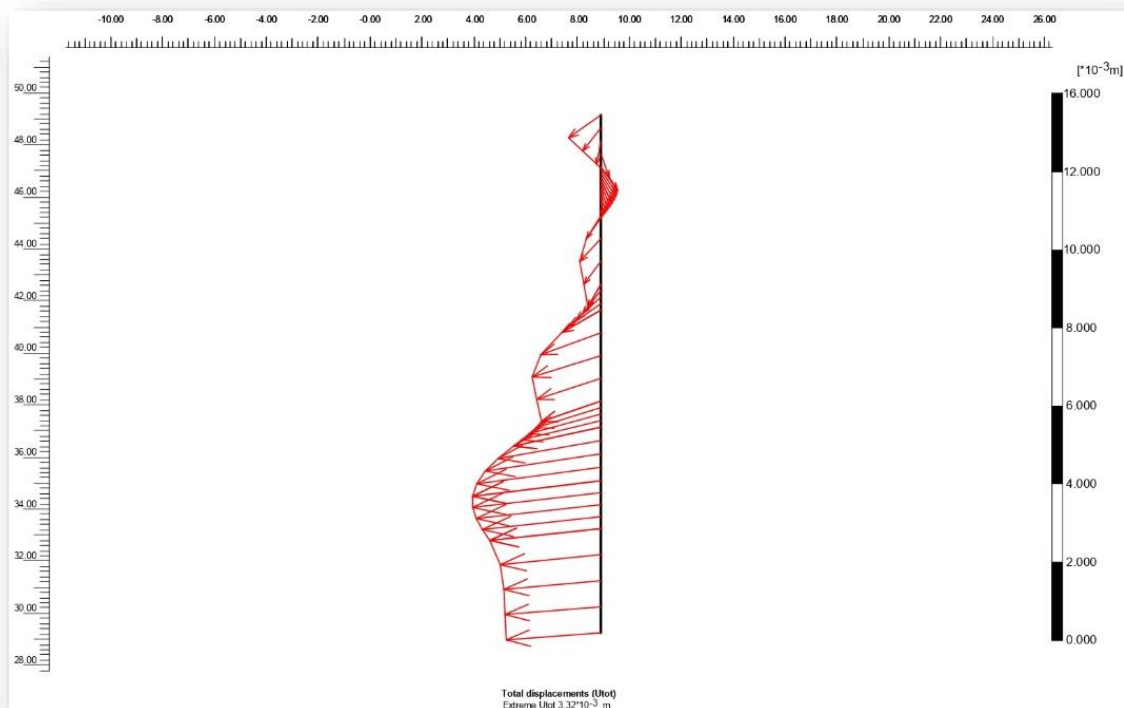


Διάγραμμα 5. 32: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων (τεμνουσών) στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.



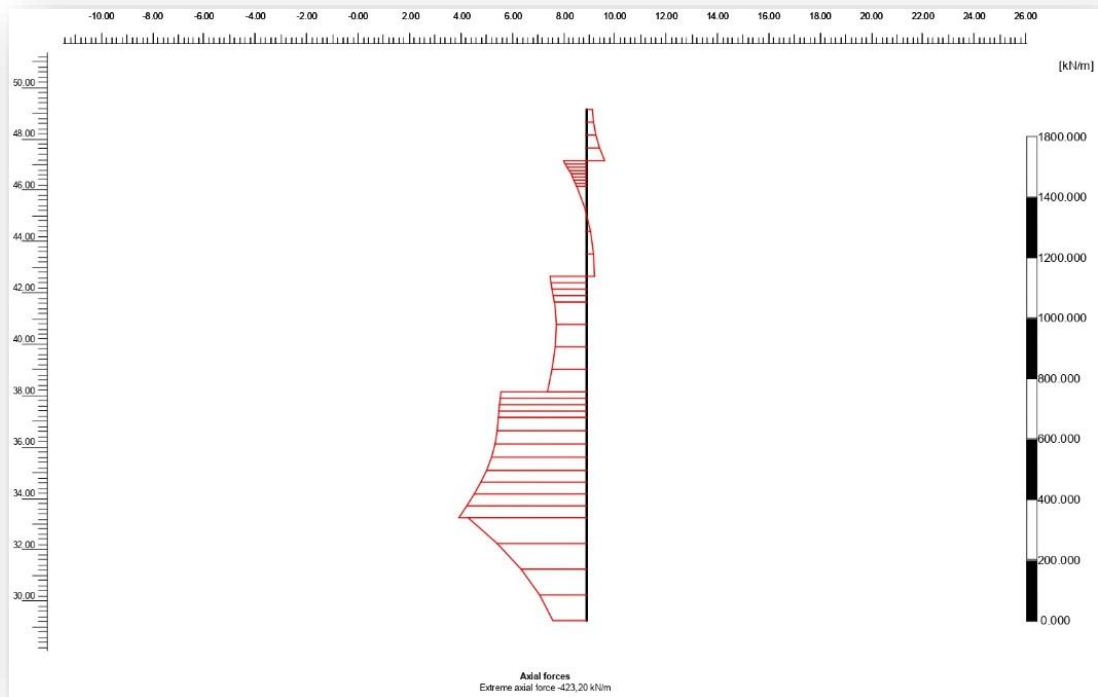
Διάγραμμα 5. 33: Χωρική κατανομή ροπών κάμψης κατά μήκος του πρώτου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.

Στα διαγράμματα 5.30, 5.31, 5.32, 5.33 δίνεται η συμπεριφορά του πρώτου τοίχου αντιστήριξης ως προς τις συνολικές μετακινήσεις, τις αξονικές δυνάμεις, τις τέμνουσες δυνάμεις καθώς επίσης και το διάγραμμα των ροπών κάμψεως αντιστοίχως. Οι συνολικές μετακινήσεις πάνω στον τοίχο αντιστήριξης προσδιορίζεται περί τα 2,10mm. Οι συνολικές αξονικές δυνάμεις προσδιορίζονται περί τα -97,67 kN/m. Οι τέμνουσες δυνάμεις υπολογίζονται στις -203,68 kN/m. Αντιστοίχως η τιμή των ροπών κάμψεως υπολογίζεται στα 90,56 kNm/m. Ως προς τις τιμές των τεμνουσών και ροπών κάμψεως δεν παρουσιάζεται κάποια ιδιαίτερη κατάσταση.

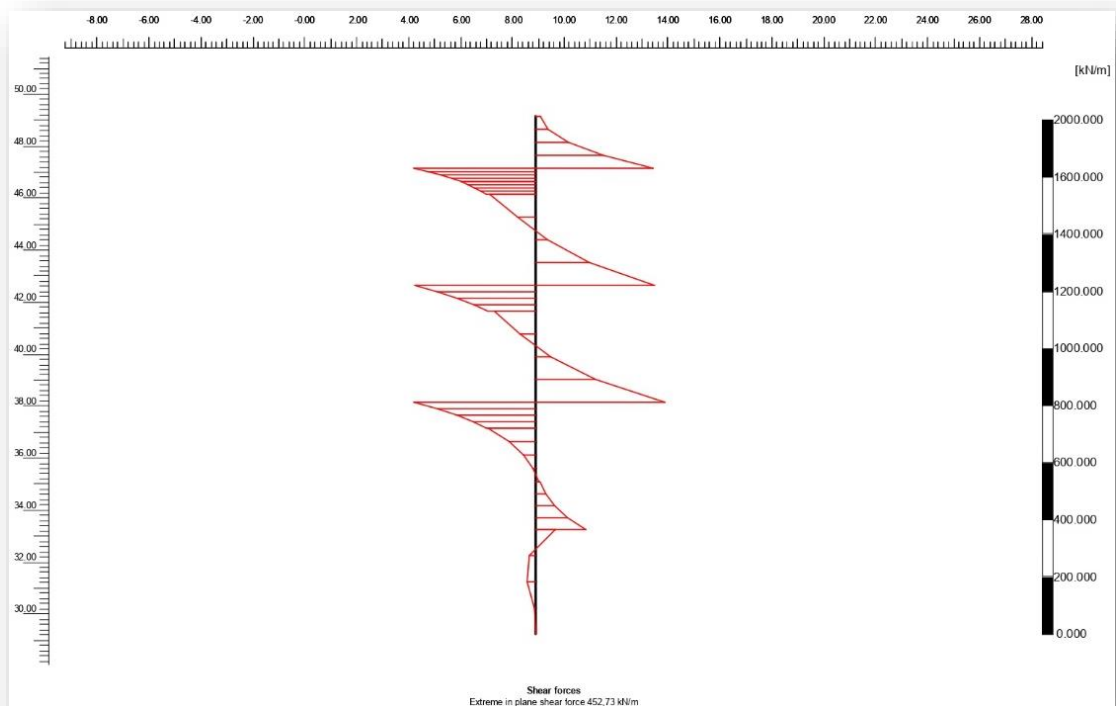


Διάγραμμα 5. 34: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.

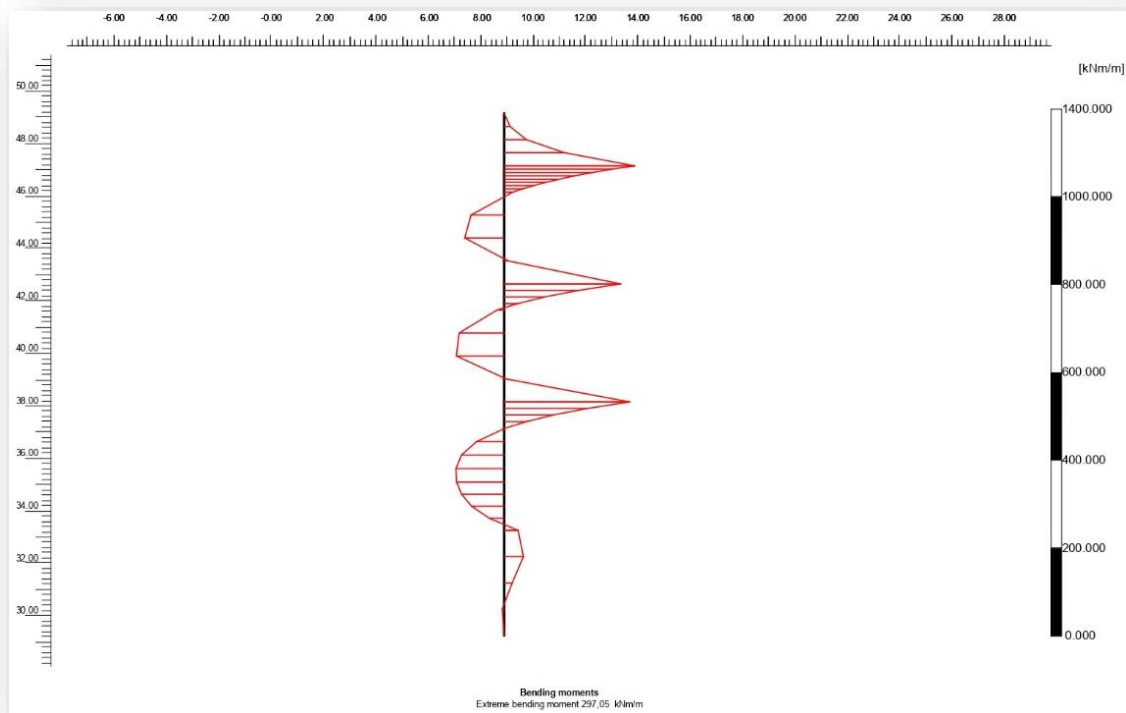




Διάγραμμα 5. 35: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.



Διάγραμμα 5. 36: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων (τεμνουσών) στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.

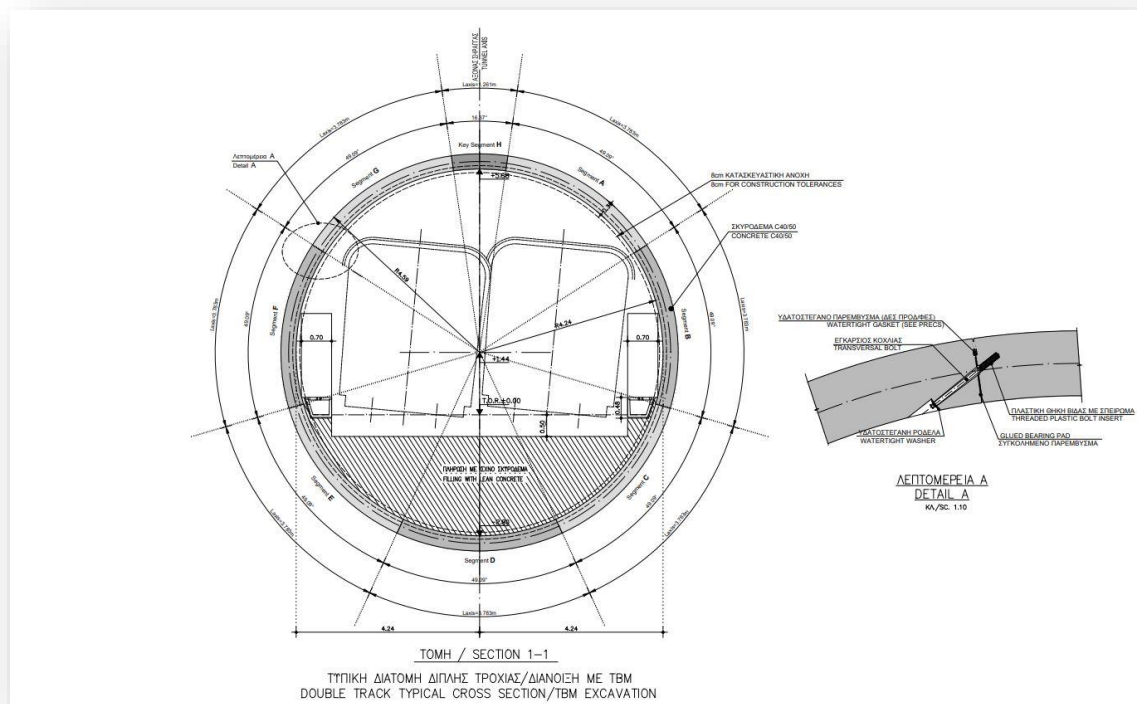


Διάγραμμα 5. 37:Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Β.

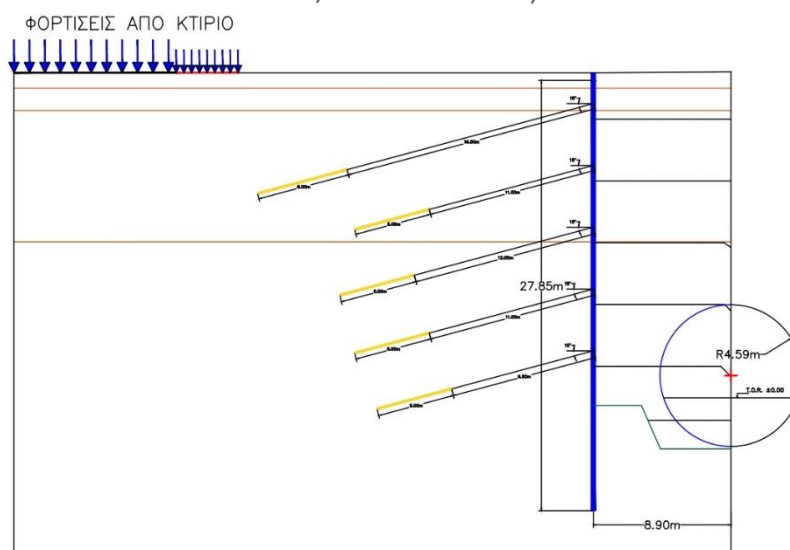
Στα διαγράμματα 5.34, 5.35, 5.36, 5.37 δίνεται η χωρική κατανομή των μεγεθών για τον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης ως προς τις συνολικές μετακινήσεις, τις αξονικές δυνάμεις, τις τέμνουσες δυνάμεις καθώς επίσης και το διάγραμμα των ροπών κάμψεως αντιστοίχως. Οι συνολικές μετακινήσεις πάνω στον τοίχο αντιστήριξης προσδιορίζεται περί τα 3,32mm. Η τιμή των αξονικών δυνάμεων ανέρχεται στα -423,20 kN/m. Λόγω αναδιάταξης του πρώτου τοίχου αντιστήριξης, ένα μεγάλο ποσοστό των ωθήσεων του εδάφους αποτονώνεται στον πρώτο τοίχο με αποτέλεσμα οι τιμές που προκύπτουν από τα διαγράμματα του δεύτερου τοίχου, είναι ελαφρώς διαφοροποιημένες. Οι τιμές των τεμνουσών και ροπών κάμψεως είναι 452,73 kN/m και 297,05 kNm/m αντιστοίχως. Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα των μεγεθών βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων.

## 5.4 Παραμετρική ανάλυση Γ

Η ομάδα Γ παραμετρικών αναλύσεων εστιάζει στην κατασκευή αναχώματος στην βάση των τοίχων αντιστήριξης. Η θέση και η κλίση του αναχώματος επιλέγεται έχοντας ως βάση την θέση κυκλικής σήραγγας διαμέτρου (εξωτερικής διάμετρος) 9,50m, η οποία αντιστοιχεί στην τυπική διατομή σήραγγας μετρό, για την διέλευση συρμών σε τροχιά διπλής κατεύθυνσης (σχήμα 5.20).

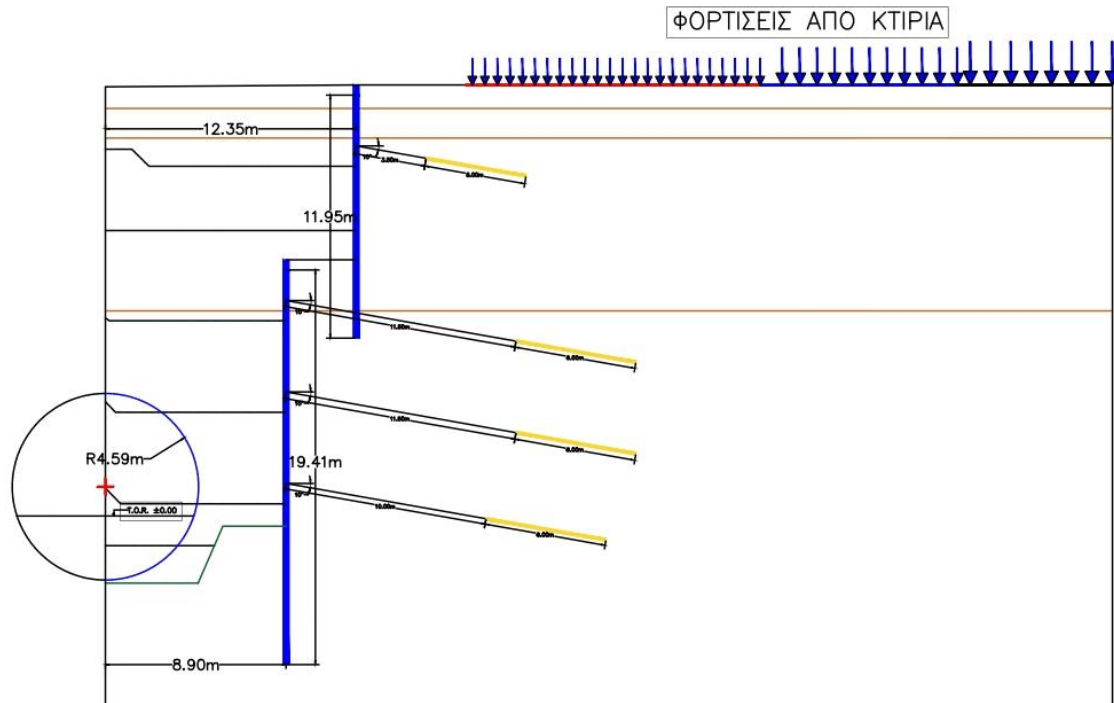


Σχήμα 5. 20: Τυπική διατομή διπλής τροχιάς/διάνοιξη με TBM σήραγγας Μετρό. (πηγή: Αττικό Μετρό Α.Ε./4Τ00CW403Α301Α).



Σχήμα 5. 21: Σκαρίφημα τομής ανατολικής αντιστήριξης.

Στα σχήματα 5.21, 5.22, δίνονται η διάταξη της εκσκαφής και αντιστήριξης του ανατολικού και δυτικού τμήματος του σταθμού της Τομής 1-1, με την προσθήκη του αναχώματος και τα στοιχεία της σήραγγας.

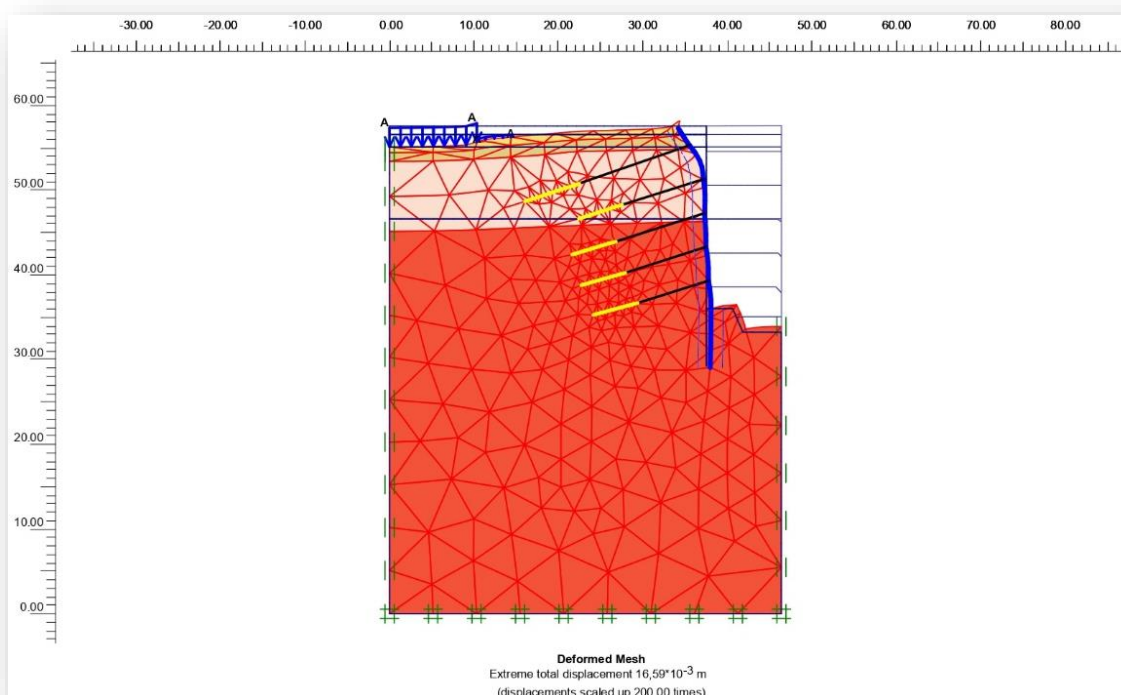


Σχήμα 5. 22: Σκαρίφημα τομής δυτικής αντιστήριξης.

### 5.4.1 Παραμετρική ανάλυση Γ – Επίλυση ανατολικού τμήματος αντιστήριξης

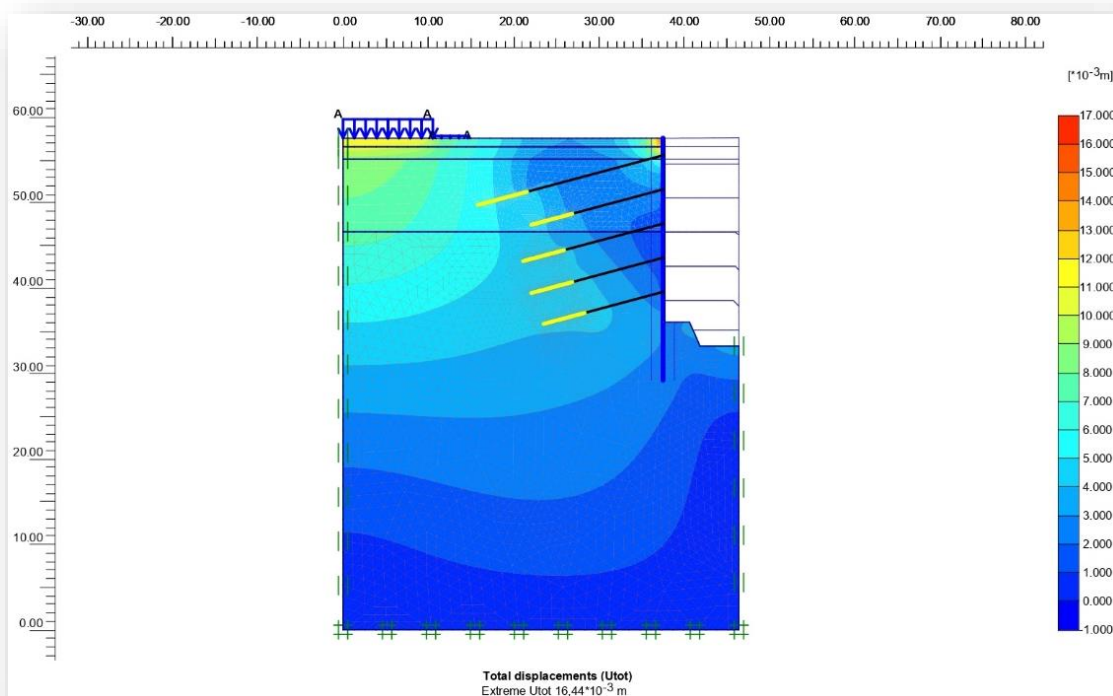
Για την επίλυση της παραμετρικής ανάλυσης Γ, του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, χρησιμοποιήθηκαν ως μέτρα αντιστήριξης, φρεατοπάσσαλος διαμέτρου 80cm, κατασκευασμένος από σκυρόδεμα ποιότητας C20/25. Πάνω στον φρεατοπάσσαλο ο οποίος αποτελεί τον τοίχο αντιστήριξης της εκσκαφής, αναρτώνται αγκύρια προεντεταμένα που αποτελούνται από 3, 4 και 5 κλώνους. Η ποιότητα του χάλυβα για τα αγκύρια είναι S1700/1900 ενώ η διάμετρος των κλώνων υπολογίζεται περί τα 1,524cm και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ανέρχεται στα 210GPa. Το μήκος πάκτωσης κάθε αγκυρίου προσδιορίζεται στα 5,00m και 6,00m ενώ για την πάκτωσή τους χρησιμοποιείται τσιμεντοκονίαμα μέτρου ελαστικότητας 15GPa. Για τις προεντεταμένες αγκυρώσεις χρησιμοποιήθηκαν συνολικά πέντε σειρές αγκυριών. Στον πόδα του τοίχου αντιστήριξης έχει τοποθετηθεί αντίβαρο με σκοπό την συγκράτηση του τοίχου αντιστήριξης στο σημείο περιστροφής του.

Στο σχήμα 5.23 απεικονίζεται το παραμορφωμένο μοντέλο αριθμητικής προσομοίωσης για την ανατολική αντιστήριξης της Τομής 1-1.



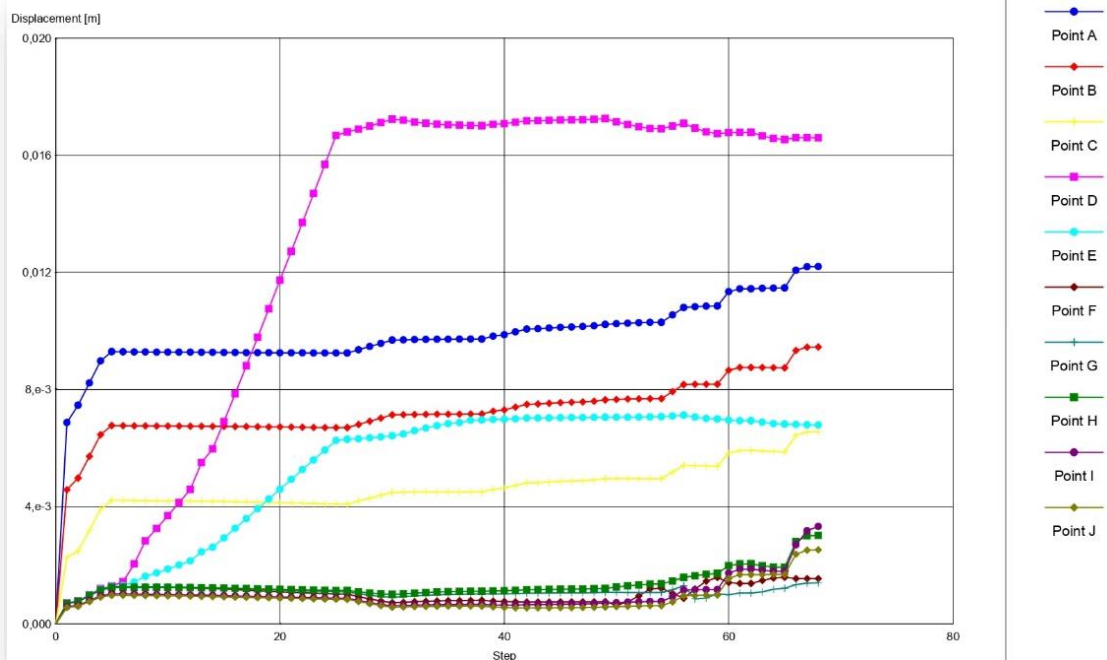
Σχήμα 5. 23: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων Γ, ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Σύμφωνα με τις παραμορφώσεις που προέκυψαν στο σχήμα 5.23, ακολουθεί το σχήμα, 5.24 στο οποίο προσδιορίζονται οι συνολικές μετακινήσεις σε όλη την χωρική έκταση του αριθμητικού μοντέλου.

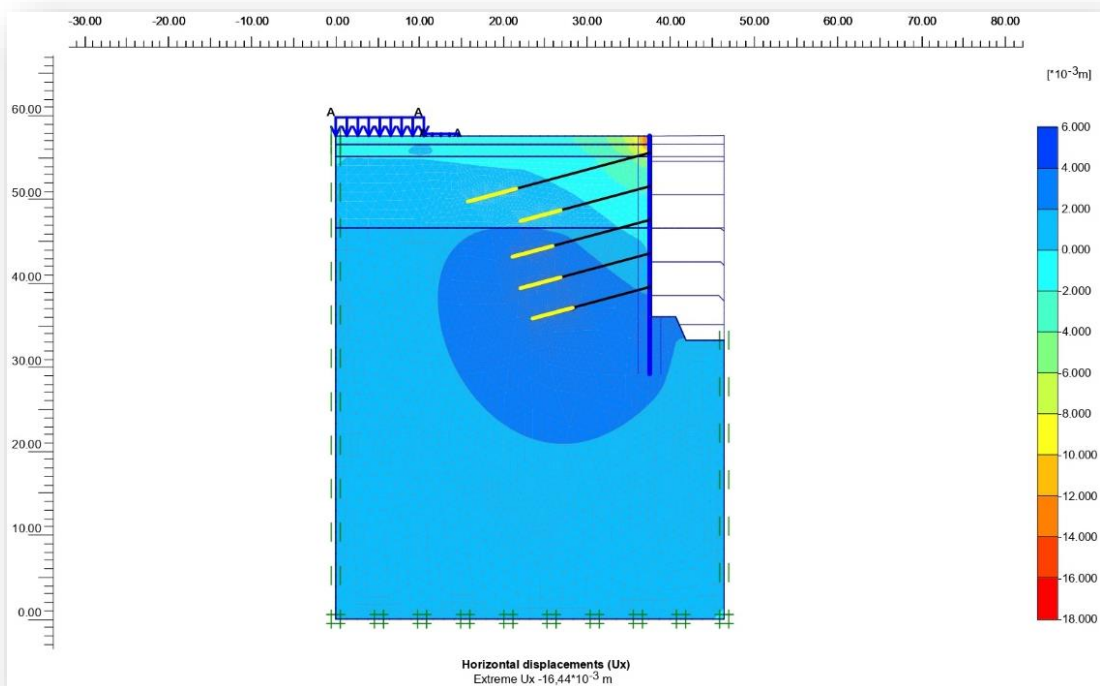


Σχήμα 5. 24: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης

Η τιμή των συνολικών μετακινήσεων στο σύστημα αντιστήριξης προσδιορίζεται περί τα 16,44mm. Από το τελικό μοντέλο που προκύπτει παρατηρείται εμφάνιση αμυδρών μετακινήσεων στον κεφαλόδεσμο του τοίχου αντιστήριξης καθώς επίσης και στην βάση έδρασης του περιβάλλοντος κτιρίου. Ακολουθούν καμπύλες μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης. Οι καμπύλες του διαγράμματος 5.38 απεικονίζουν την εξέλιξη των μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης. Τα σημεία που βρίσκονται στις προαναφερθείσες θέσεις (βάση κτιρίου και κεφαλόδεσμο τοίχου) παρουσιάζουν ανακατανομή μετακινήσεων. Ο κεφαλόδεσμος παρουσιάζει υφίσταται ανεπαίσθητα καταπόνηση έναντι των υπολοίπων στοιχείων. Οι καμπύλες των υπόλοιπων σημείων βρίσκονται χαμηλότερα ενώ τα σημεία I, J που αντιστοιχούν στο ανάχωμα κατά το τελικό στάδιο εκσκαφής παρουσιάζουν μια αμυδρά μετακινήσεις. Οι χωρική κατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων δίνεται στο σχήμα 5.25. Η κατεύθυνση των συνολικών οριζόντιων μετακινήσεων προσδιορίζεται αριστερά της εκσκαφής.

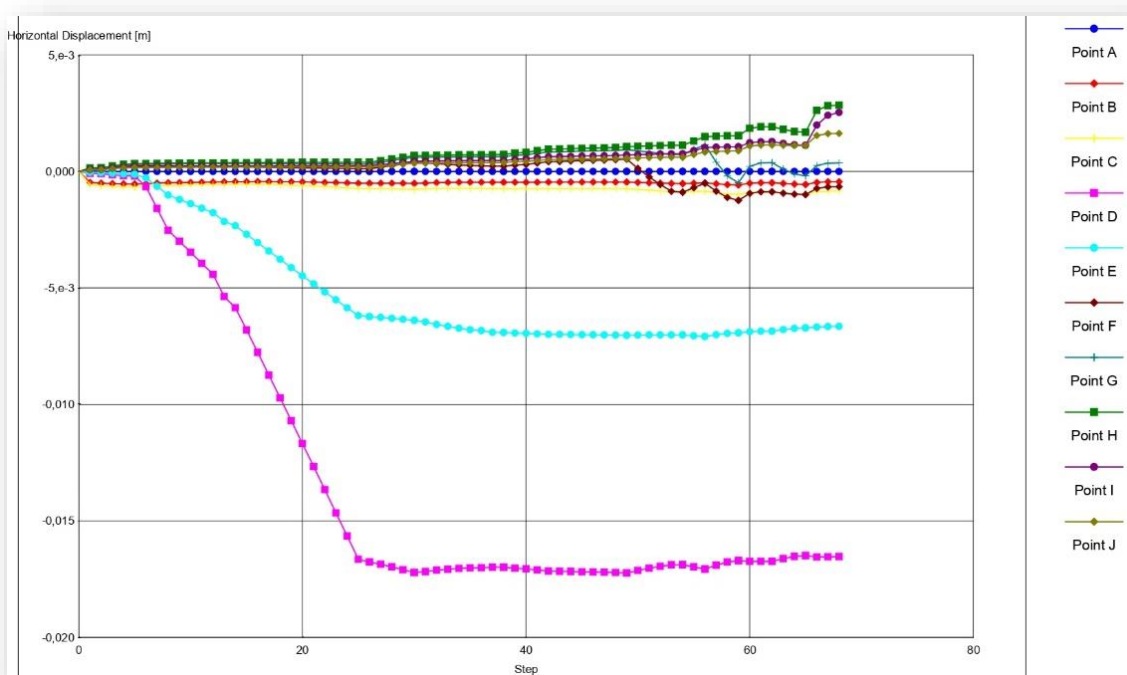


Διάγραμμα 5. 38: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ.



Σχήμα 5. 25: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Ως προς την γενική αξιολόγηση του σχήματος 5.25, σε όλη την έκταση του αριθμητικού μοντέλου εντοπίζονται ανεπαίσθητα τιμές οριζόντιων μετακινήσεων, το οποίο οφείλεται στην δημιουργία κατακόρυφου ορύγματος με αποτέλεσμα την αποτόνωση των εδαφικών σχηματισμών. Λόγω αυτού του φαινομένου στην κορυφή του τοίχου αντιστήριξης εντοπίζονται οριζόντιες μετατοπίσεις με αμυδρές τιμές υπολογισμού στον κεφαλόδεσμο του τοίχου.

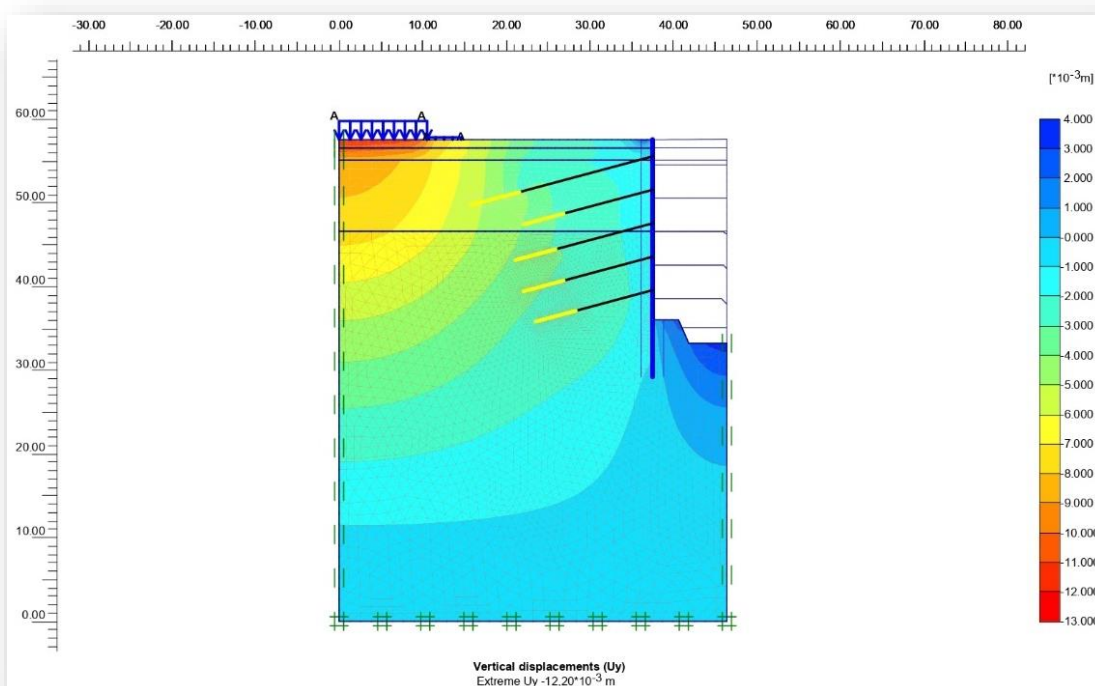


Διάγραμμα 5. 39: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ.

Η συμπεριφορά των σημείων παρατήρησης ως προς τις οριζόντιες μετατοπίσεις περιγράφεται στο διάγραμμα 5.39. Το σημείο D, το οποίο αντιστοιχεί στην μωβ καμπύλη, παρουσιάζει αρχικά γραμμική συμπεριφορά έναντι των υπολοίπων σημείων ενώ έπειτα επέρχεται σταθεροποίηση. Το σημείο αυτό είναι ορισμένο στην κορυφή του τοίχου αντιστήριξης (κεφαλόδεσμος). Το αμέσως επόμενο σημείο το οποίο παρουσιάζει μικρότερες τιμές μετακινήσεων είναι το σημείο E, το οποίο βρίσκεται στο ύψος της πρώτης φάσης εκσκαφής και πάνω στον τοίχο αντιστήριξης. Η επιρροή των παραμορφώσεων του κεφαλόδεσμου επηρεάζει αμυδρά και το αμέσως επόμενο σημείο παρατήρησης. Επιπλέον τα σημεία I, J που αντιστοιχούν στο ανάχωμα στον πόδα του τοίχου κατά την τελευταία φάση της εκσκαφής παρουσιάζουν μια μικρή δραστηριότητα στις τιμές των μετακινήσεων.



Στο σχήμα 5.26 περιγράφεται η χωρική κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων σε όλη την έκταση του αριθμητικού μοντέλου.

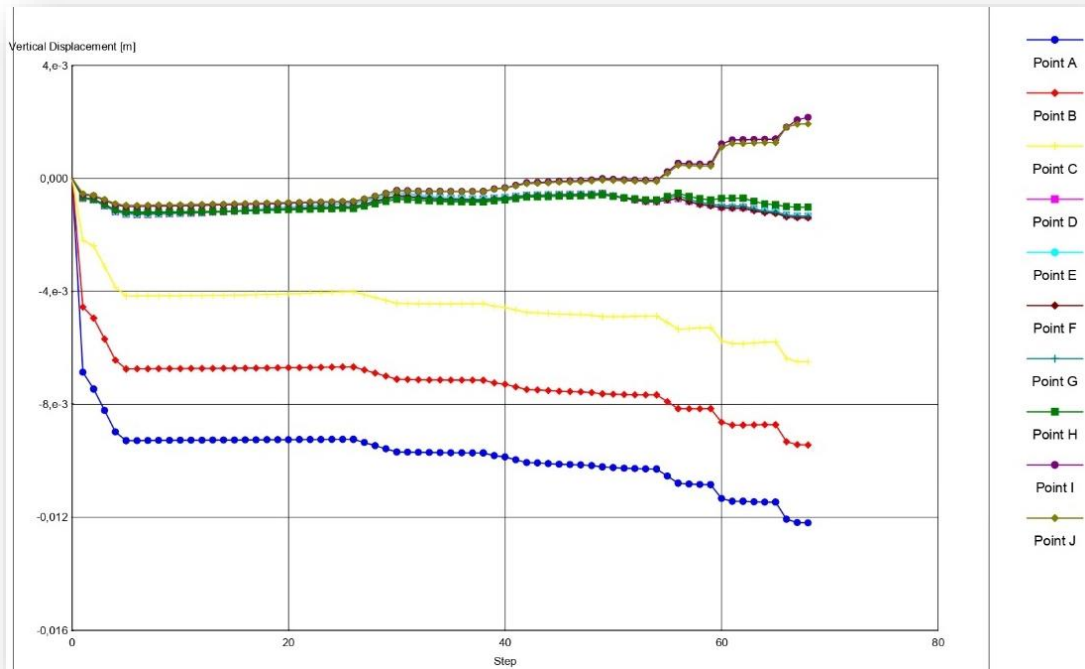


Σχήμα 5. 26: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

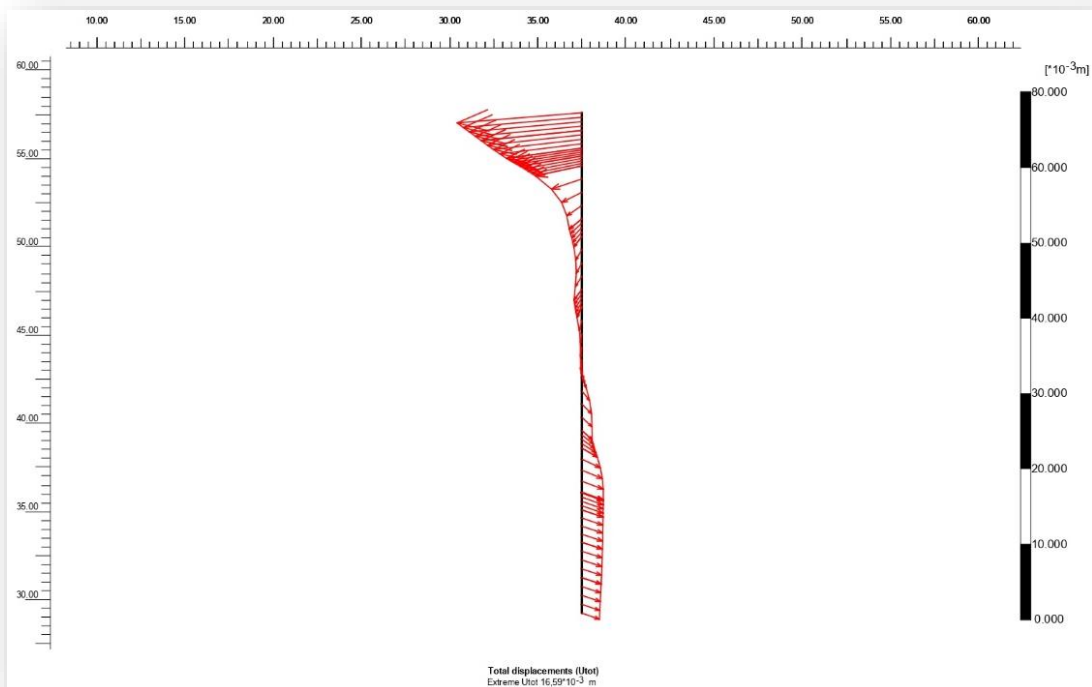
Οι συνολικές κατακόρυφες μετακινήσεων υπολογίζονται στα 12,20mm, με φορά προς τα κάτω. Το περιβάλλον κτίριο παρουσιάζει ανεπαίσθητα διαφορικές καθιζήσεις λόγω δημιουργίας της εκσκαφής. Επιπλέον όμοιας κλίμακας κατακόρυφες μετατοπίσεις με φορά προς τα πάνω εντοπίζονται στον πυθμένα της εκσκαφής ως ανεπαίσθητα ανύψωση πυθμένα της τάξεως των 4,00mm. Το ανάχωμα συνεισφέρει θετικά στην εκσκαφή του πυθμένα διότι περιορίζει τις εδαφικές μετακινήσεις και συγκρατεί την τομή αντιστήριξης.

Στο διάγραμμα 5.40 δίνονται οι καμπύλες κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης. Τα σημεία A, B, C τα οποία παρουσιάζουν αμυδρά μετακινήσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία, είναι σημεία παρατήρησης που αντιστοιχούν στην βάση του περιβάλλοντος κτιρίου το οποίο παρουσιάζει αμυδρά διαφορικές καθιζήσεις. Τα σημεία I, J τα οποία αντιστοιχούν στο ανάχωμα της εκσκαφής κατά την τελική φάση της εκσκαφής, παρουσιάζουν μικρής κλίμακας κατακόρυφες μετατοπίσεις της τάξεως

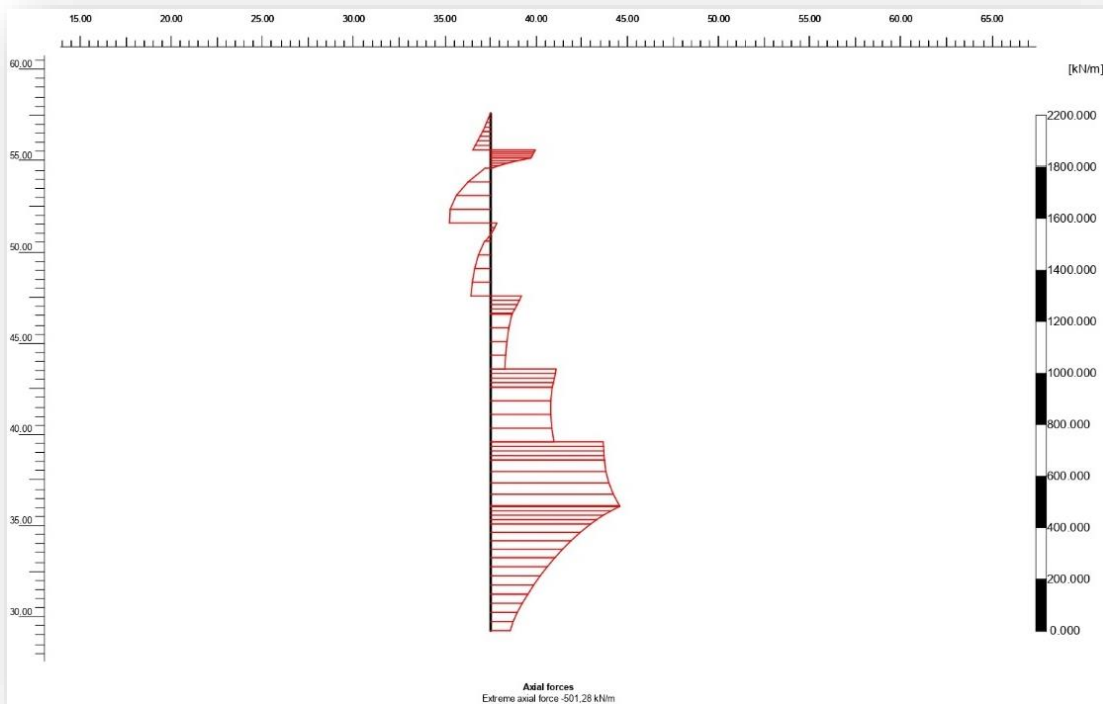
περίπου των 2,00 με 3,00mm. Σε γενικές γραμμές οι υπολογιζουσες τιμές μετακινήσεων θεωρούνται πάρα πολύ μικρές και μικρότερες κατά πολύ του 1cm.



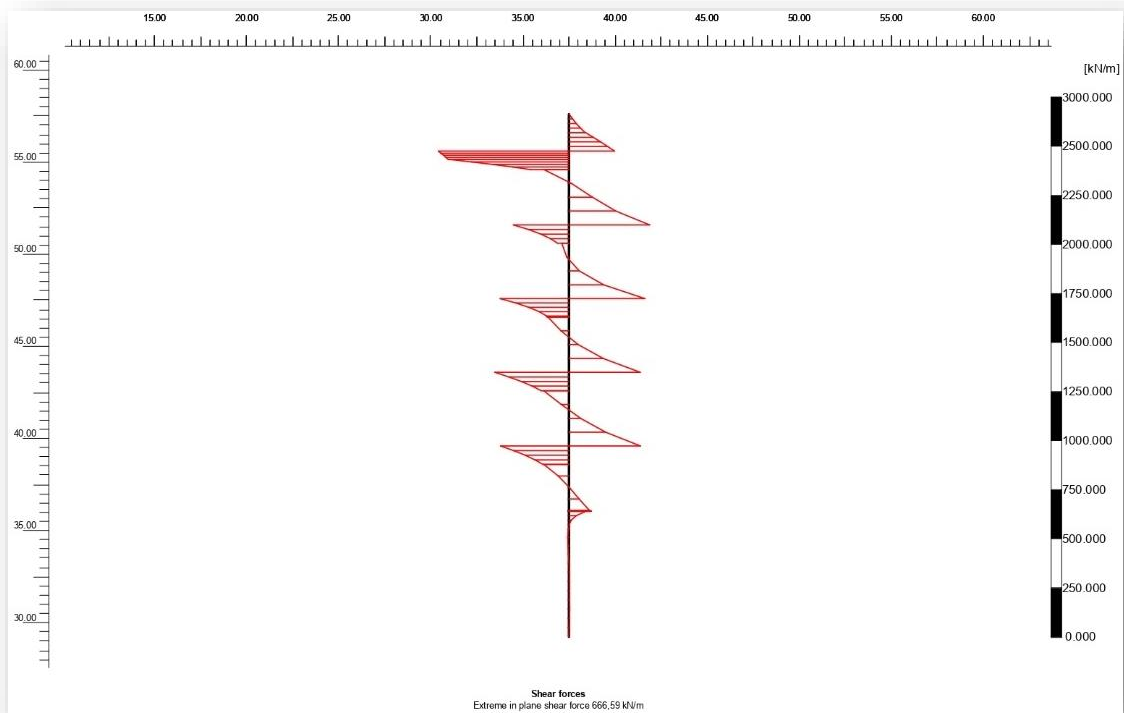
Διάγραμμα 5. 40: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ.



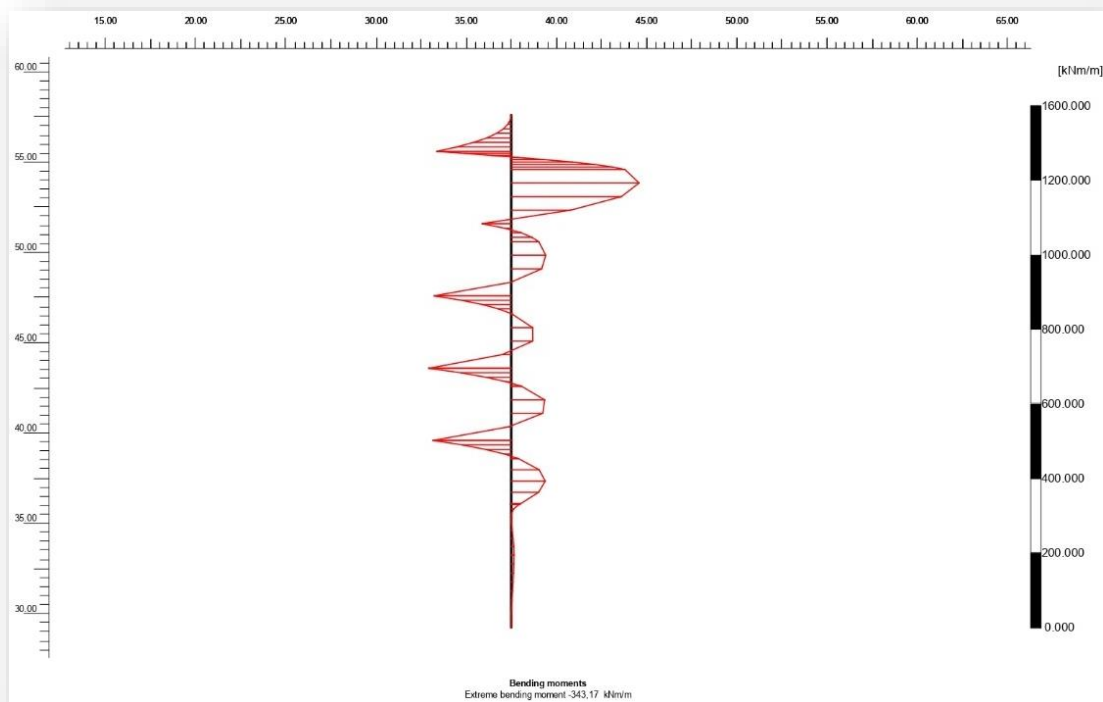
Διάγραμμα 5. 41: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.



Διάγραμμα 5. 42: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.



Διάγραμμα 5. 43: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων(τεμνουσών) στον τοίχο αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.



Διάγραμμα 5. 44: Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.

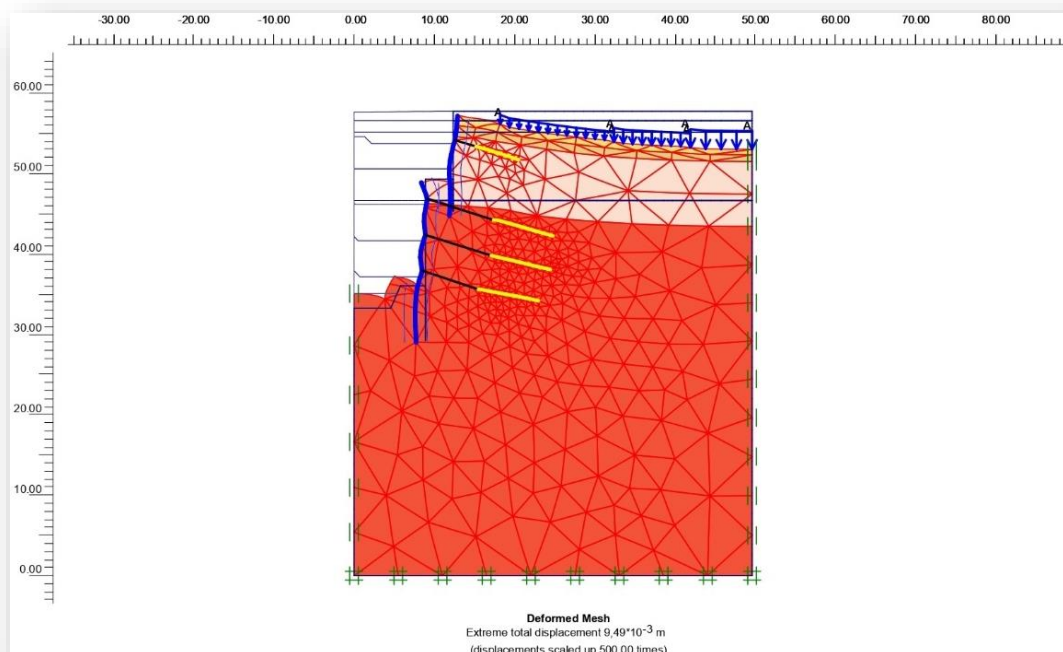
Τα διαγράμματα 5.41, 5.42, 5.43, 5.44 περιγράφουν την συμπεριφορά του φέροντος οργανισμού του τοίχου αντιστήριξης με την πρόοδο της εκσκαφής του σταθμού.

Οι μετακινήσεις στον τοίχο αντιστήριξης (διάγραμμα 5.41) υπολογίζονται στα 16,59mm. Ως προς τις αξονικές δυνάμεις (διάγραμμα 5.42) προσδιορίζονται κατά μέγιστη τιμή στα -501,28kN/m. Κατά μήκος του τοίχου παρατηρούνται εναλλαγές στην φορά των δυνάμεων λόγω των ωθήσεων του εδάφους πάνω στον τοίχο. Οι τέμνουσες δυνάμεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα 5.43 και κατά μέγιστη τιμή είναι 666,59 kN/m. Αντιθέτως το διάγραμμα των ροπών κάμψεως, δίνεται στο διάγραμμα 5.44 . Η μέγιστη τιμή των ροπών κάμψεως υπολογίζεται στα -343,17 kNm/m. Αμυδρά ανάπτυξη ροπών κάμψεως παρατηρείται στο επάνω τμήμα του τοίχου μετά τον κεφαλόδεσμο.

#### 5.4.2 Παραμετρική ανάλυση Γ – Επίλυση δυτικού τμήματος αντιστήριξης

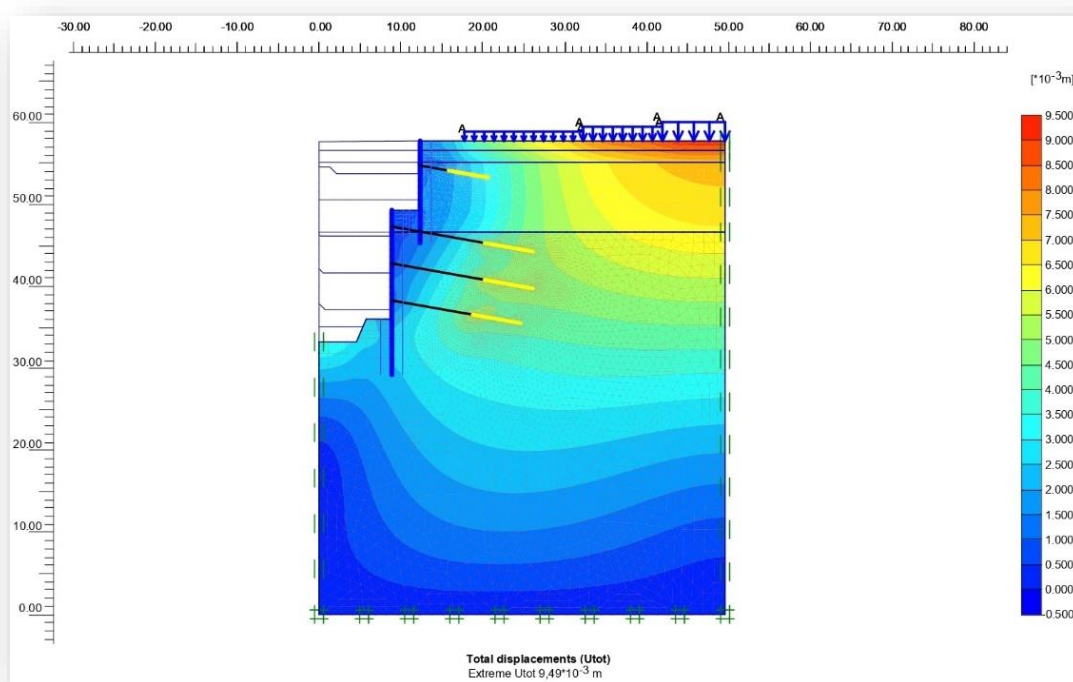
Για την επίλυση του δυτικού συστήματος αντιστήριξης χρησιμοποιήθηκαν, ως μέτρα αντιστήριξης, φρεατοπάσσαλοι διαμέτρου 80cm, κατασκευασμένοι από σκυρόδεμα ποιότητας C20/25. Πάνω στους φρεατοπασσάλους οι οποίοι αποτελούν τους τοίχους αντιστήριξης της εκσκαφής, αναρτώνται αγκύρια προεντεταμένα που αποτελούνται από 3 και 5 κλώνους. Η ποιότητα του χάλυβα για τα αγκύρια είναι S1700/1900 ενώ η διάμετρος των κλώνων υπολογίζεται περί τα 1,524cm και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ανέρχεται στα 210GPa. Το μήκος πάκτωσης κάθε αγκυρίου προσδιορίζεται στα 5,00m και 6,00m ενώ για την πάκτωσή τους χρησιμοποιείται τσιμεντοκονίαμα μέτρου ελαστικότητας 15GPa. Για τις προεντεταμένες αγκυρώσεις χρησιμοποιήθηκαν συνολικά πέντε σειρές αγκυρίων. Στον πόδα του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης έχει τοποθετηθεί αντίβαρο με σκοπό την συγκράτηση του τοίχου αντιστήριξης στο σημείο περιστροφής του.

Στο σχήμα 5.27 απεικονίζεται το παραμορφωμένο μοντέλο αριθμητικής προσομοίωσης για την δυτική αντιστήριξης της εκσκαφής.

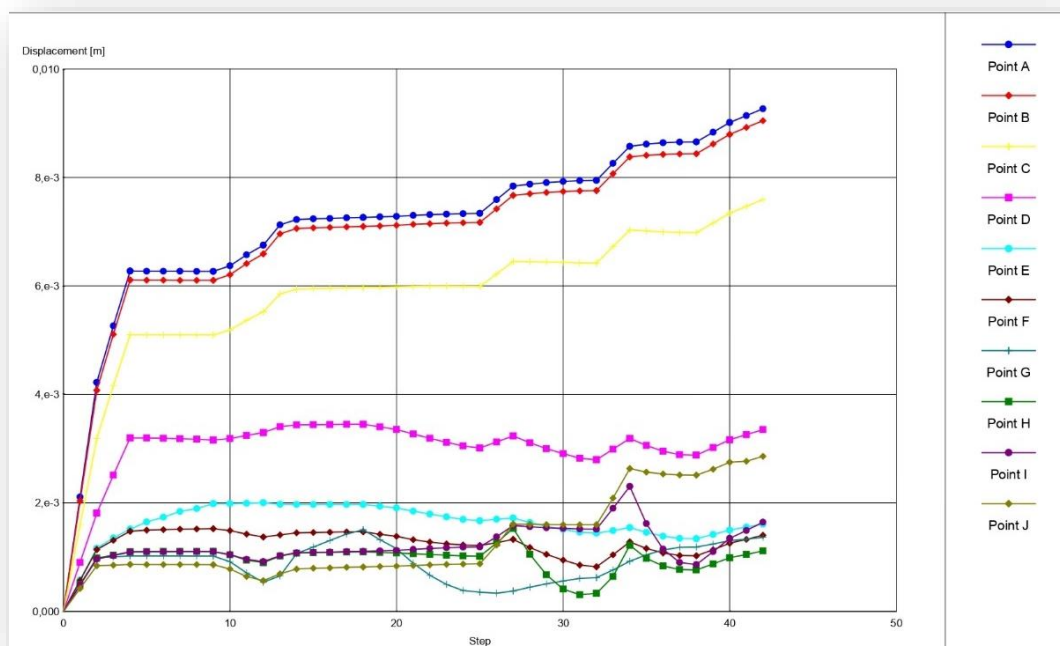


Σχήμα 5. 27: Παραμορφωμένο αριθμητικό μοντέλο παραμετρικών αναλύσεων Γ, δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Από τις παραμορφώσεις που προέκυψαν στο σχήμα 5.27, ακολουθεί το σχήμα, 5.28 με την χωρική κατανομή των συνολικών μετακινήσεων σε όλη την έκταση του αριθμητικού μοντέλου. Οι μετακινήσεις του σχήματος 5.28 υπολογίζονται στα 9,49mm. Σύμφωνα με την χρωματική κλίμακα παρατηρείται ανεπαίσθητα μετακινήσεις στα περιβάλλοντα κτίρια που βρίσκονται πλευρικά της εκσκαφής. Μικρότερη επιρροή αυτών παρατηρείται στον πυθμένα της εκσκαφής όπως επίσης και στην περιοχή επαφής των δύο τοίχων αντιστήριξης με τους εδαφικούς σχηματισμούς. Οι καμπύλες των σημείων παρατήρησης του διαγράμματος 5.45 παρουσιάζουν την εξέλιξη των μετακινήσεων με την πρόοδο της εκσκαφής.



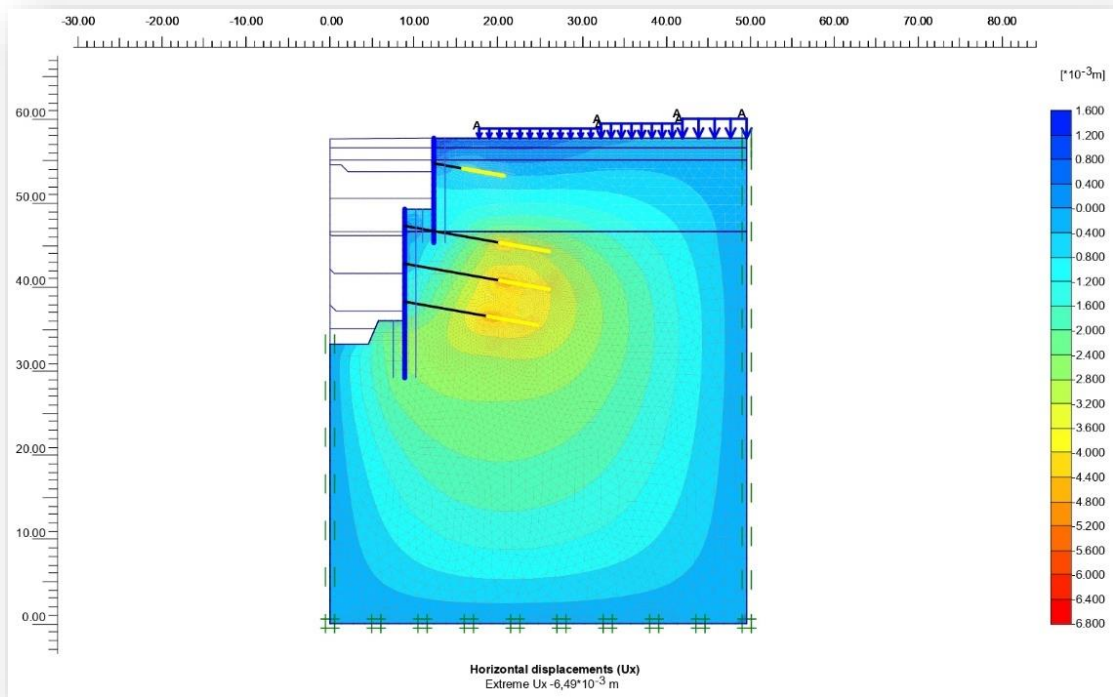
Σχήμα 5. 28: Αριθμητικό προσομοίωμα ολικών μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης.



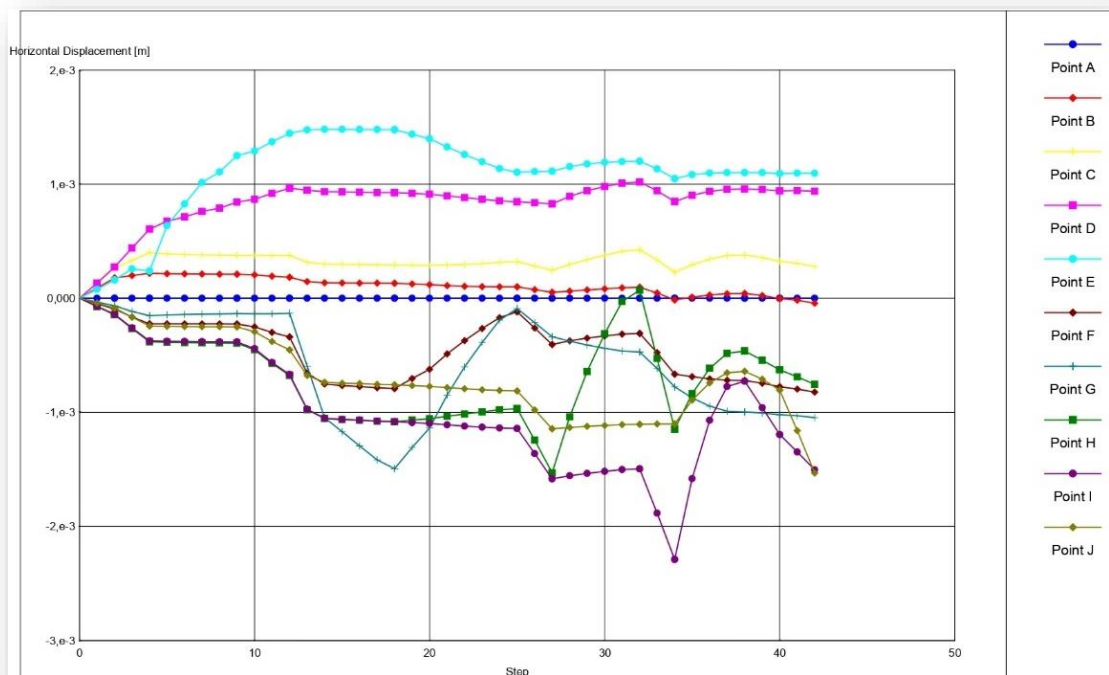
Διάγραμμα 5. 45: Εξέλιξη των συνολικών μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ.

Από το διάγραμμα 5.45, τα σημεία A, B, C, D, που αντιστοιχούν στην βάση των ανωδομών εμφανίζουν καμπύλες μετακινήσεων με τιμές μικρότερες του 1cm. Παρόμοια εξέλιξη και με μικρότερη διακύμανση μετακινήσεων εμφανίζει και το σημείο J το οποίο βρίσκεται στο ανάχωμα που έχει κατασκευαστεί τον πυθμένα της εκσκαφής. Οι οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού μοντέλου προσδιορίζονται στο σχήμα 5.29, η μέγιστη τιμή αυτών υπολογίζεται στα -6,49mm. Αμυδρά τιμές μετακινήσεων προσδιορίζονται στο κεντρικό τμήμα του αριθμητικού μοντέλου στην περιοχή του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης.

Στο διάγραμμα 5.46 δίνεται η εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα τα σημεία F, G, H, I, J παρουσιάζουν ανεπαίσθητα μετακινήσεις που ανέρχονται έως τα 2,50mm. Τα σημεία I, J τα οποία βρίσκονται πιο κοντά στον πυθμένα της εκσκαφής, διακρίνεται προς το τέλος των φάσεων εκσκαφής αλλαγές των τιμών αρκετά μικρής κλίμακας. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην σταθεροποίηση της τομής αντιστήριξης με τους εδαφικούς σχηματισμούς.



Σχήμα 5. 29: Αριθμητικό προσομοίωμα οριζόντιων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

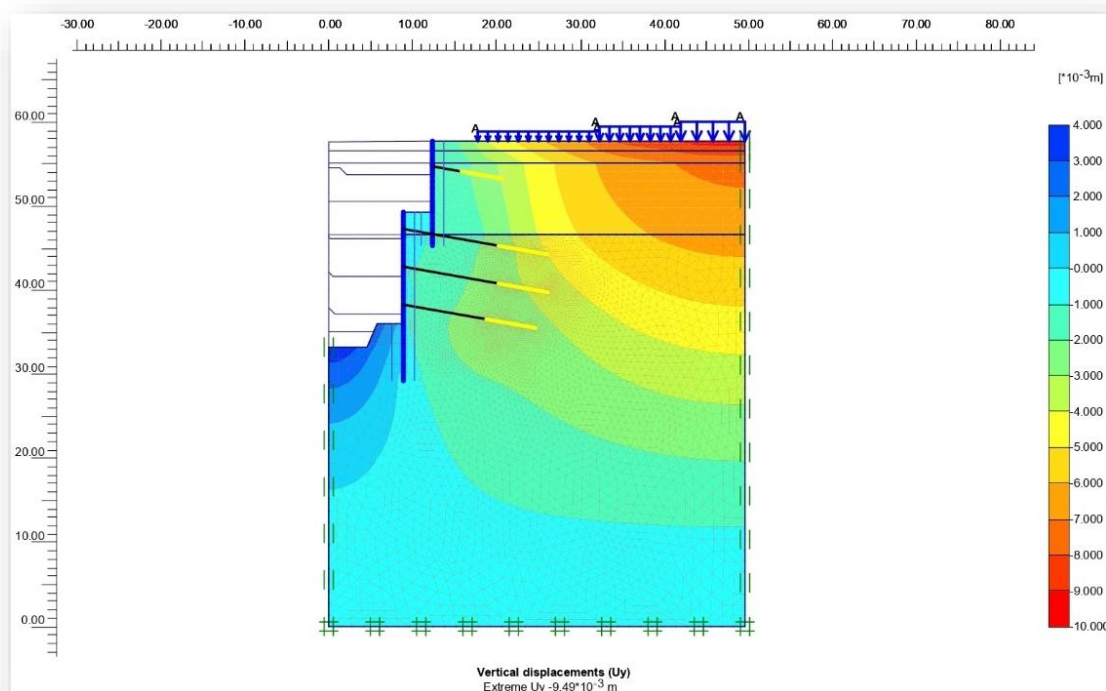


Διάγραμμα 5. 46: Εξέλιξη των οριζόντιων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ.

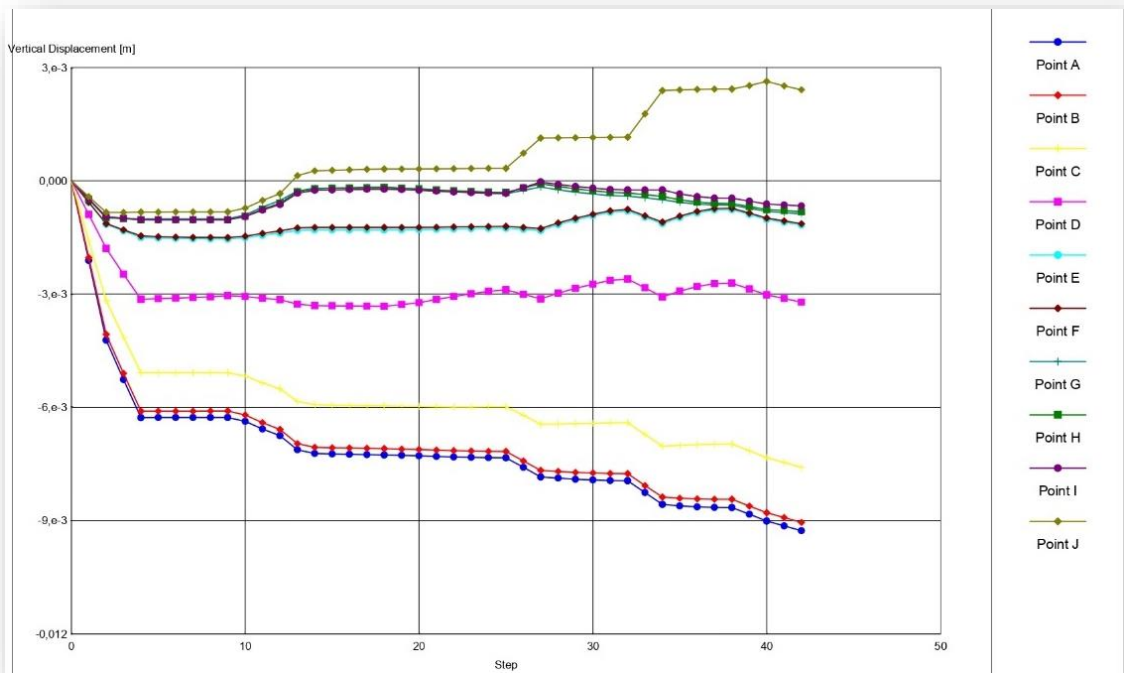


Για τον προσδιορισμό των κατακόρυφων μετακινήσεων μελετάται το σχήμα 5.30 και το διάγραμμα 5.47.

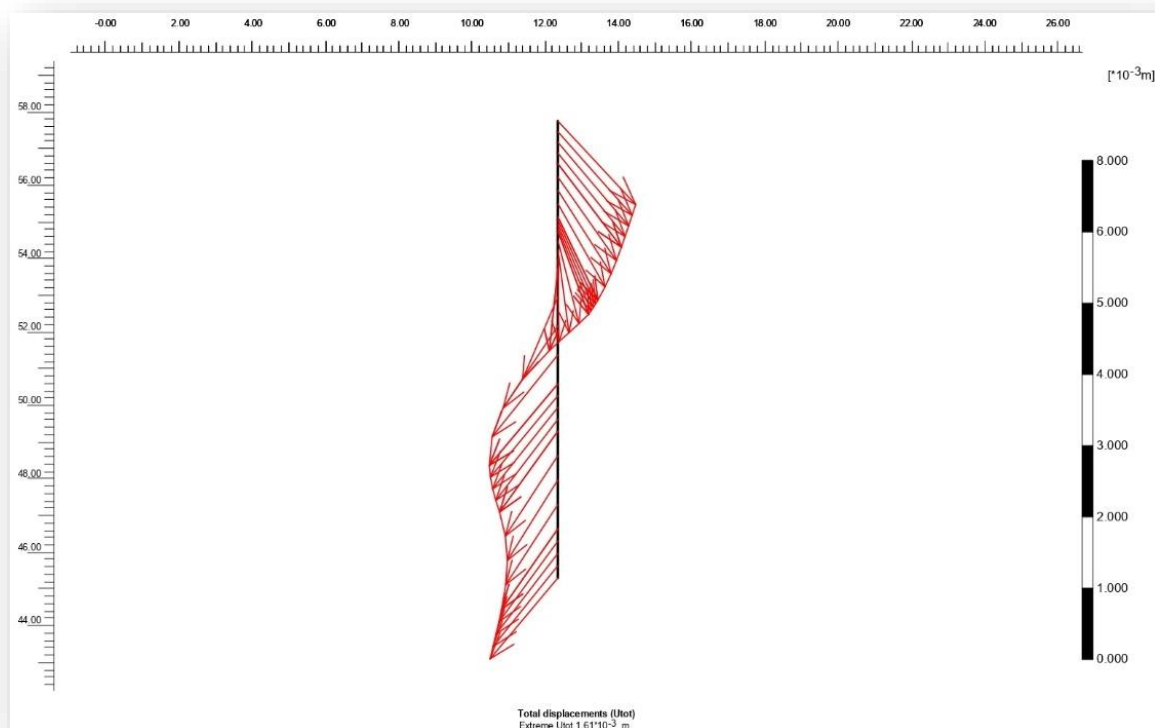
Τόσο από το σχήμα 5.30 όσο και από το διάγραμμα 5.47 παρατηρείται ανεπαίσθητα κατακόρυφες μετακινήσεις στην βάση έδρασης των περιβαλλόντων κτιρίων λόγω διάνοιξης του ορύγματος του σταθμού. Τέτοιου είδους μετακινήσεις μεταφράζονται ως διαφορικές καθιζήσεις μικρότερες του 1cm. Οι εν λόγω μεταβολές στα σημεία παρατήρησης είναι της τάξεως των -9,00mm, με μέγιστη τιμή τα -9,49mm (το πρόσημο δηλώνει την κατεύθυνση των μετακινήσεων). Επίσης μετακινήσεις παρατηρούνται και στον πυθμένα της εκσκαφής ως ανεπαίσθητη ανύψωση πυθμένα. Το σημείο παρατήρησης J βρίσκεται στο ανάχωμα στην βάση του τοίχου αντιστήριξης, το οποίο παρουσιάζει μία αμυδρά μετακίνηση προς τα πάνω το οποίο είναι φανερό στην καμπύλη του μελετώμενου σημείου.



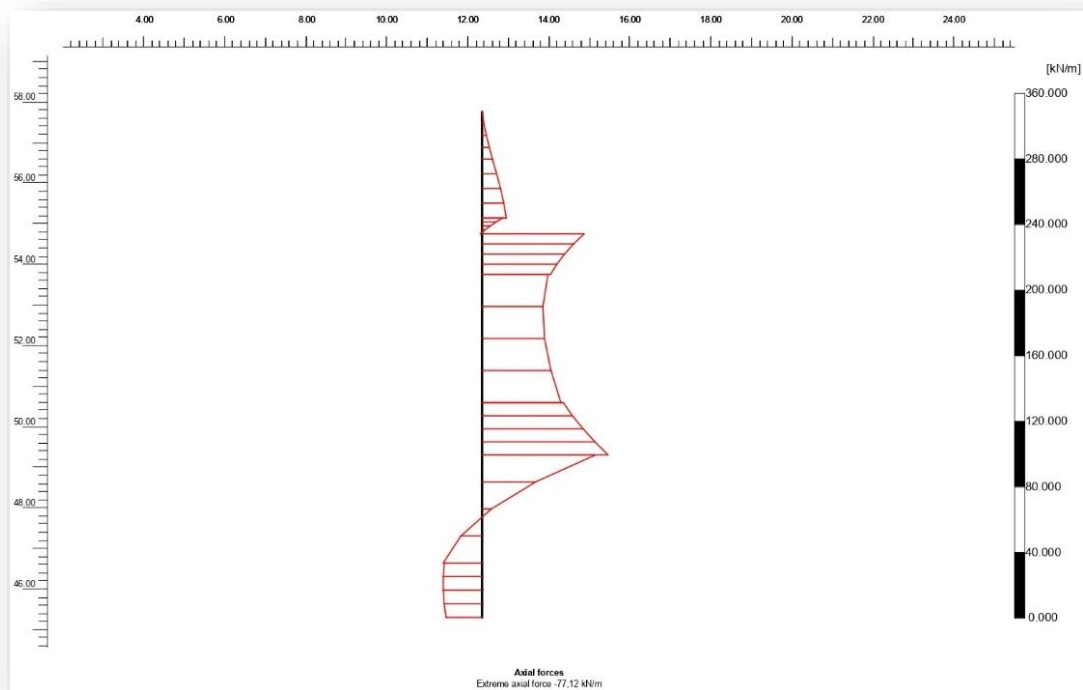
Σχήμα 5. 30: Αριθμητικό προσομοίωμα κατακόρυφων μετακινήσεων για την παραμετρική ανάλυση Γ. Προσομοίωμα δυτικού συστήματος αντιστήριξης.



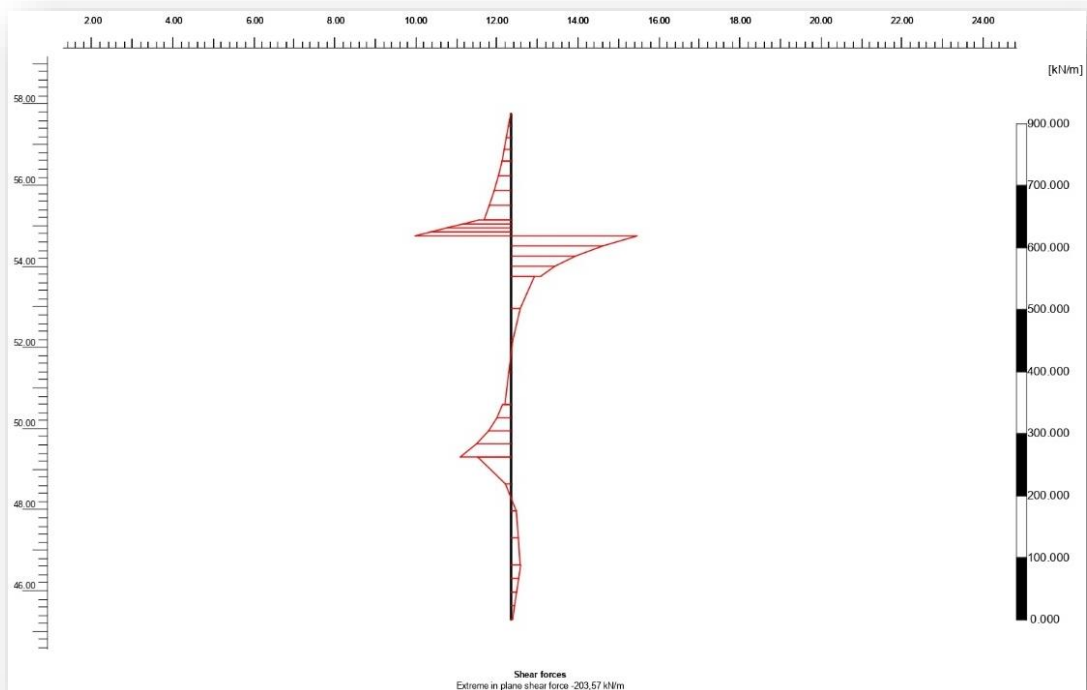
Διάγραμμα 5. 47: Εξέλιξη των κατακόρυφων μετακινήσεων των σημείων παρατήρησης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την παραμετρική ανάλυση Γ.



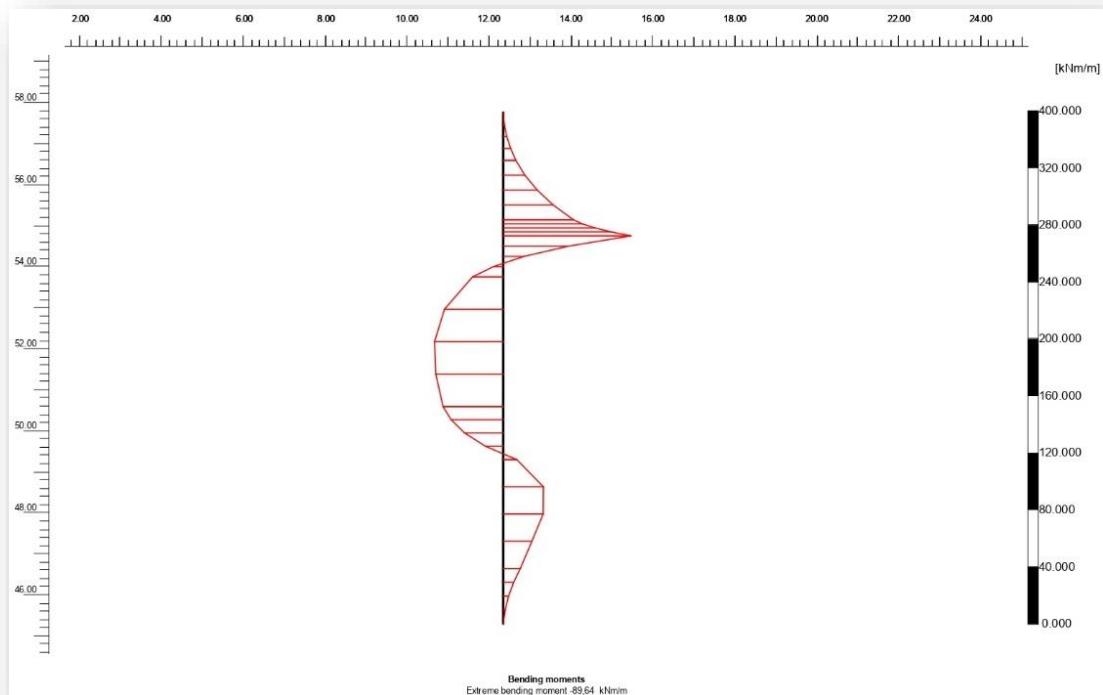
Διάγραμμα 5. 48: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.



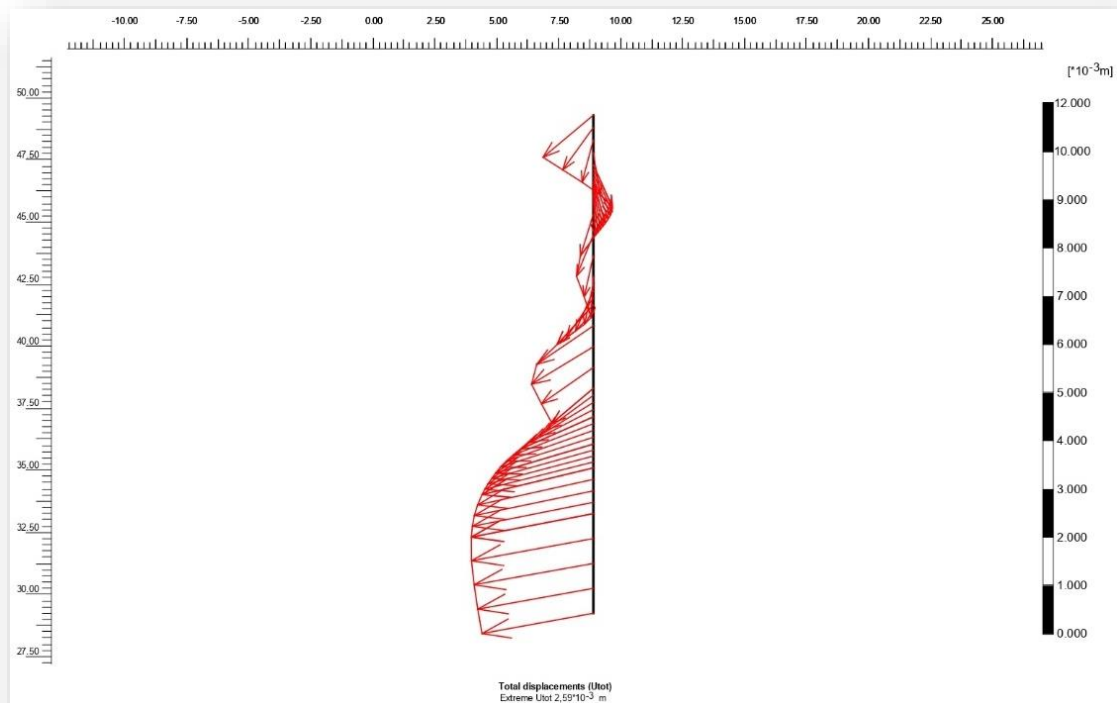
Διάγραμμα 5. 49: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.



Διάγραμμα 5. 50: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων(τεμνουσών) στον πρώτο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.

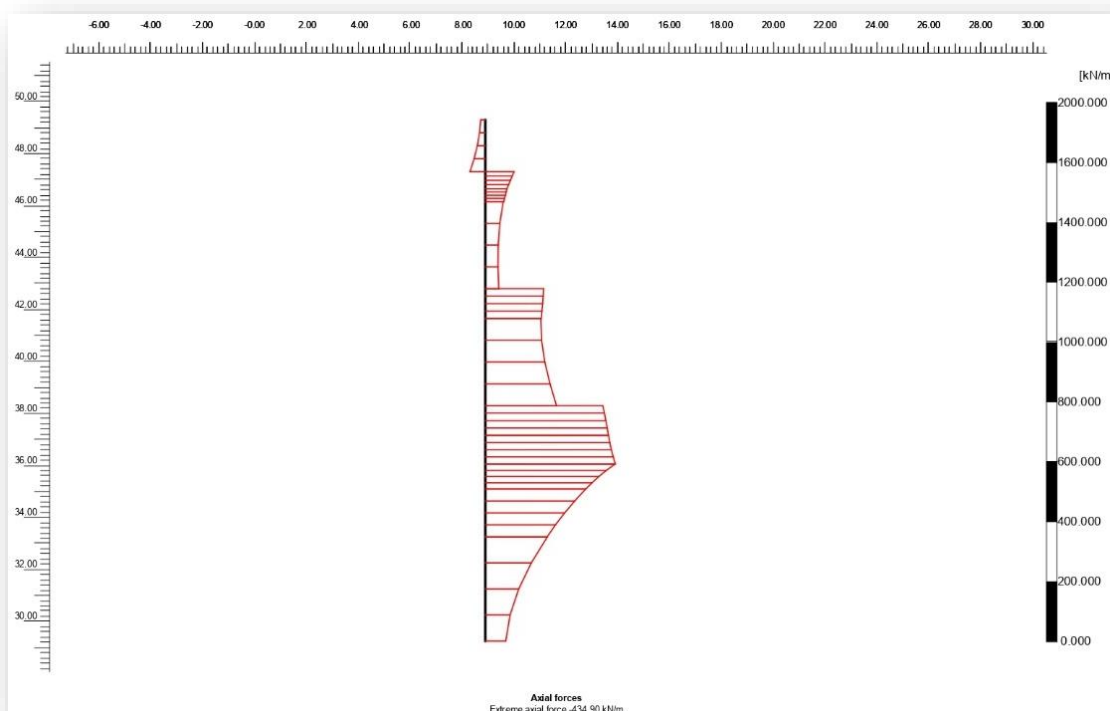


Διάγραμμα 5. 51: Χωρική κατανομή ροπών κάμψεως κατά μήκος του πρώτου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.



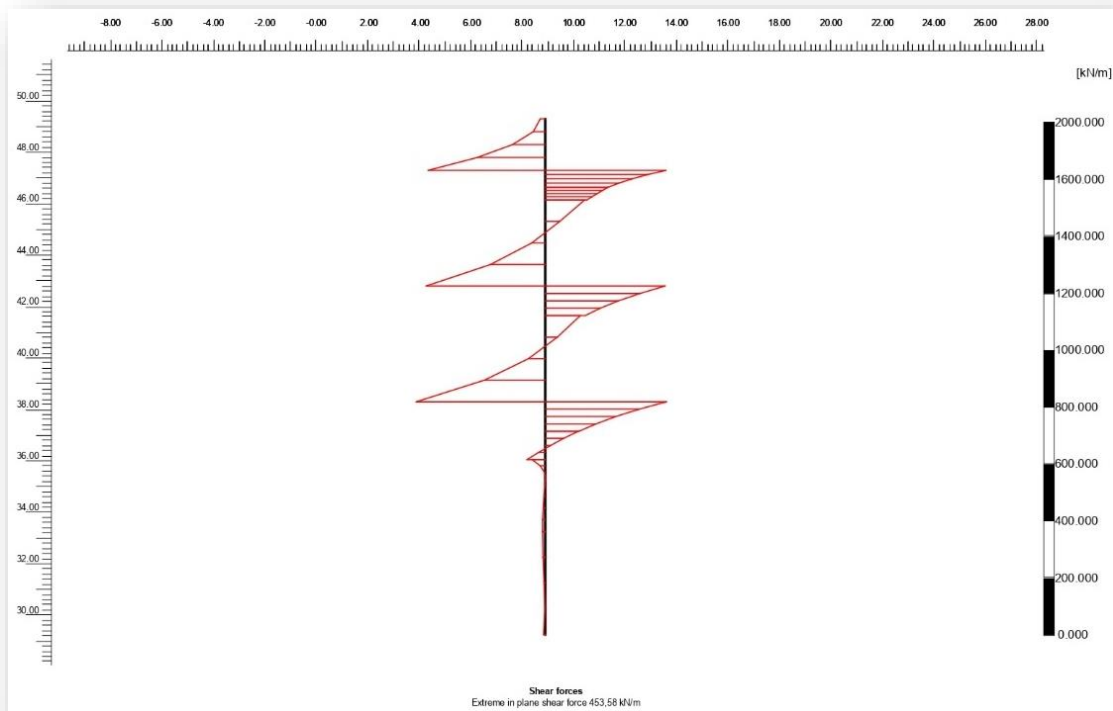
Διάγραμμα 5. 52: Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.

Τα διαγράμματα 5.48, 5.49, 5.50, 5.51 αφορούν την χωρική κατανομή των εντατικών μεγεθών για τον πρώτο τοίχο αντιστήριξης. Στο διάγραμμα 5.48 παρουσιάζονται οι συνολικές μετακινήσεις του τοίχου αντιστήριξης σε όλο το μήκος του. Η μέγιστη τιμή των μετακινήσεων υπολογίζεται στο 1,61mm. Οι αξονικές δυνάμεις (διάγραμμα 5.49) προσδιορίζονται στα -77,12 kN/m. Το διάγραμμα 5.50 τεμνουσών του πρώτου τοίχου προσδιορίζει την κατανομή δυνάμεων κατά μέγιστη τιμή στα -203,57 kN/m. Το τελευταίο διάγραμμα 5.51, προσδιορίζει την χωρική κατανομή των ροπών κάμψεως οι οποίες προσδιορίζονται στα -89,64 kNm/m.

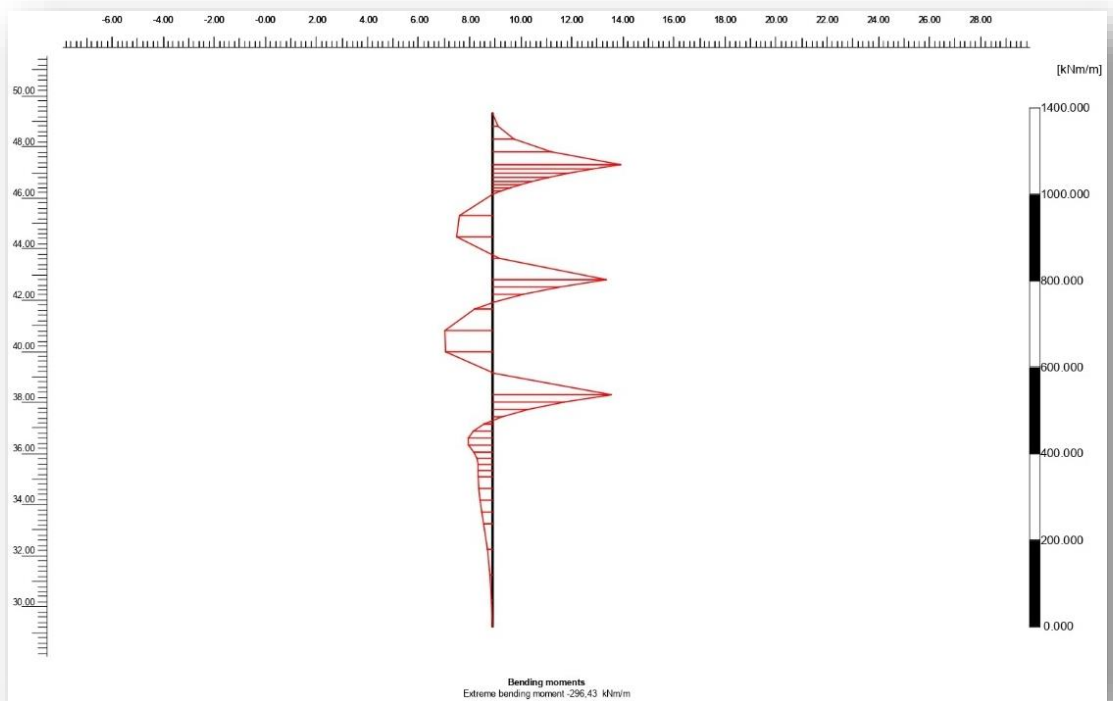


Διάγραμμα 5. 53: Χωρική κατανομή αξονικών δυνάμεων στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.

Τα διαγράμματα 5.52, 5.53, 5.54, 5.55 αφορούν την χωρική κατανομή των εντατικών μεγεθών για τον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης. Στο διάγραμμα 5.52 παρουσιάζονται οι συνολικές μετακινήσεις κατά μήκος του τοίχου αντιστήριξης. Η τιμή των μετακινήσεων υπολογίζεται στα 2,59mm. Οι αξονικές δυνάμεις λόγω ωθήσεων των εδαφικών σχηματισμών προσδιορίζονται στα -434,90 kN/m στο διάγραμμα 5.53. Στο διάγραμμα 5.54 τεμνουσών του δεύτερου τοίχου προσδιορίζεται η χωρική κατανομή αυτών κατά μήκος του τοίχου με μέγιστη τιμή τα -203,57 kN/m. Στο διάγραμμα 5.55 των ροπών κάμψεως, προσδιορίζεται η χωρική κατανομή αυτών με μέγιστη τιμή τα -89,64 kNm/m.



Διάγραμμα 5. 54: Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων(τεμνουσών) στον δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.



Διάγραμμα 5. 55: Χωρική κατανομή ροπών κάμψευς κατά μήκος του δεύτερου τοίχου αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης. Παραμετρική ανάλυση Γ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Μετά την αξιολόγηση των σχημάτων και διαγραμμάτων των συστημάτων αντιστήριξης ακολουθεί ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας. Ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας στο πρόγραμμα Plaxis V8 2D, πραγματοποιείται με απομείωση των όρων διατμητικής αντοχής, συνοχή και γωνίας εσωτερικής τριβής.

$$Safety\ Factor = \frac{\text{Διατμητική αντοχή } (\tau_{\text{maximum available}})}{\text{Απομειωμένη διατμητική αντοχή } (\tau_{\text{needed for equilibrium}})}$$

$$Safety\ Factor = \frac{c - \sigma_n \tan \varphi}{c_r - \sigma_n \tan \varphi_r}$$

Οι παράμετροι  $c$  και  $\varphi$  αποτελούν τις αρχικές τιμές σχεδιασμού, ενώ οι τιμές  $c_r$  και  $\varphi_r$ , εκφράζουν τις απομειωμένες τιμές μετά την εφαρμογή της εντολής phi-c-reduction. Η τελική μαθηματική σχέση προσδιορίζεται ως εξής:

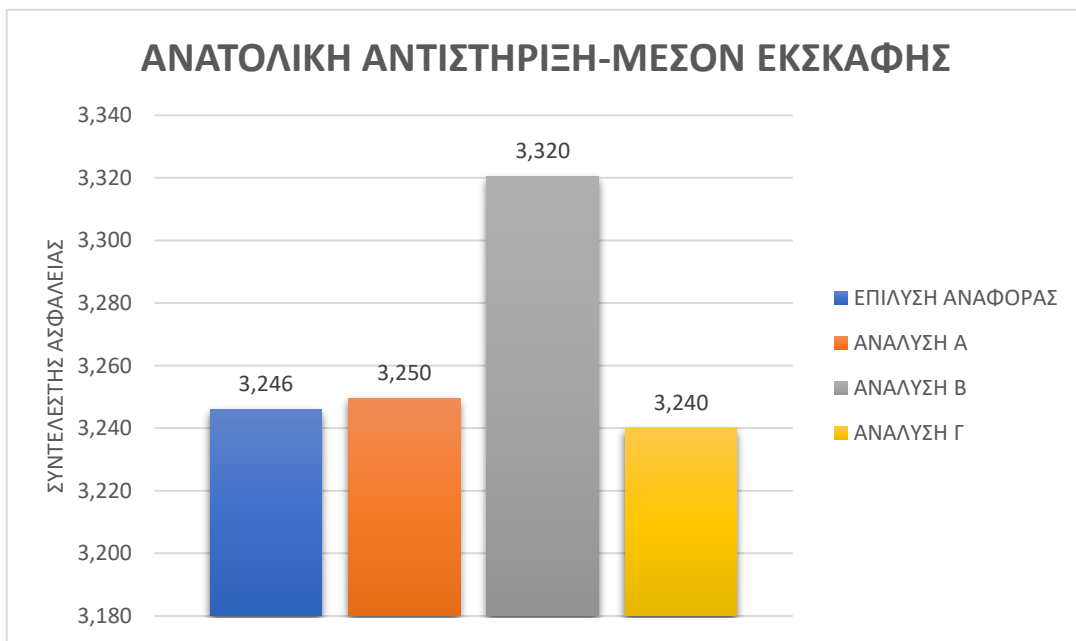
$$Safety\ Factor = \frac{c}{c_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r}$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας κάθε συστήματος αντιστήριξης, αρχικά ορίζεται μία ελάχιστη τιμή και στην συνέχεια πραγματοποιείται επίλυση του συστήματος έτσι ώστε να προκύψουν οι απομειωμένες τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού έτσι ώστε να προκύψει ο πραγματικός συντελεστής ασφαλείας. Για λόγους εκπαιδευτικούς προσδιορίζεται ο συντελεστής ασφαλείας σε δύο φάσεις εκσκαφής. Η πρώτη τιμή του συντελεστή ασφαλείας υπολογίζεται στην ενδιάμεση κατάσταση του έργου ενώ η τελική τιμή του συντελεστή ασφαλείας καθορίζεται στο τελευταίο στάδιο της εκσκαφής δηλαδή με την ολοκλήρωση όλων των φάσεων της εκσκαφής και το όρυγμα να έχει φτάσει στο επιθυμητό βάθος.

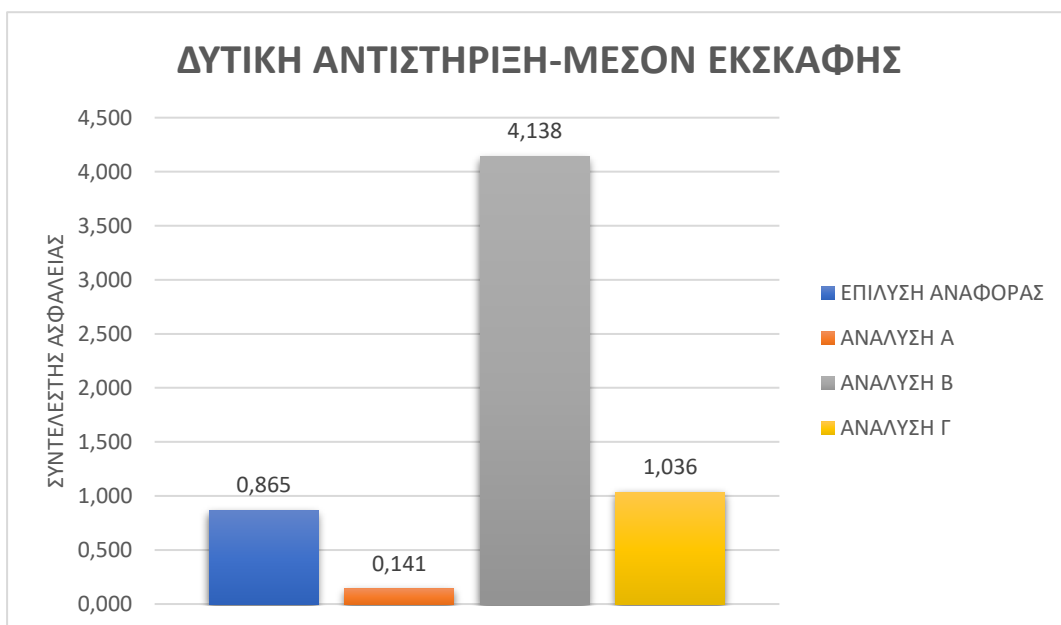
ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ		ΔΥΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ	
	ΜΕΣΟΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΤΕΛΙΚΗ ΦΑΣΗ	ΜΕΣΟΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΤΕΛΙΚΗ ΦΑΣΗ
ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	3,25	2,38	0,87	2,48
ΑΝΑΛΥΣΗ Α	3,25	3,21	0,14	3,12
ΑΝΑΛΥΣΗ Β	3,32	2,32	4,14	2,52
ΑΝΑΛΥΣΗ Γ	3,24	2,46	1,04	2,62

Πίνακας 6. 1:Στοιχεία ευστάθειας αντιστήριξης. Προσδιορισμός συντελεστών ασφαλείας ανά τύπο ανάλυσης.

Στον πίνακα 6.1 δίνονται οι τιμές του υπολογισμένου συντελεστή ασφαλείας όπως αυτός προέκυψε για κάθε τύπο ανάλυσης. Ακολουθούν ιστογράμματα για την αξιολόγησή τους.



Ιστογράμμα 6. 1: Διάγραμμα αξιολόγησης του συντελεστή ασφαλείας στο μέσον της εκσκαφής των διαφόρων αναλύσεων, του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.



Ιστογράμμα 6. 2: Διάγραμμα αξιολόγησης του συντελεστή ασφαλείας στο μέσον της εκσκαφής των διαφόρων αναλύσεων, του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

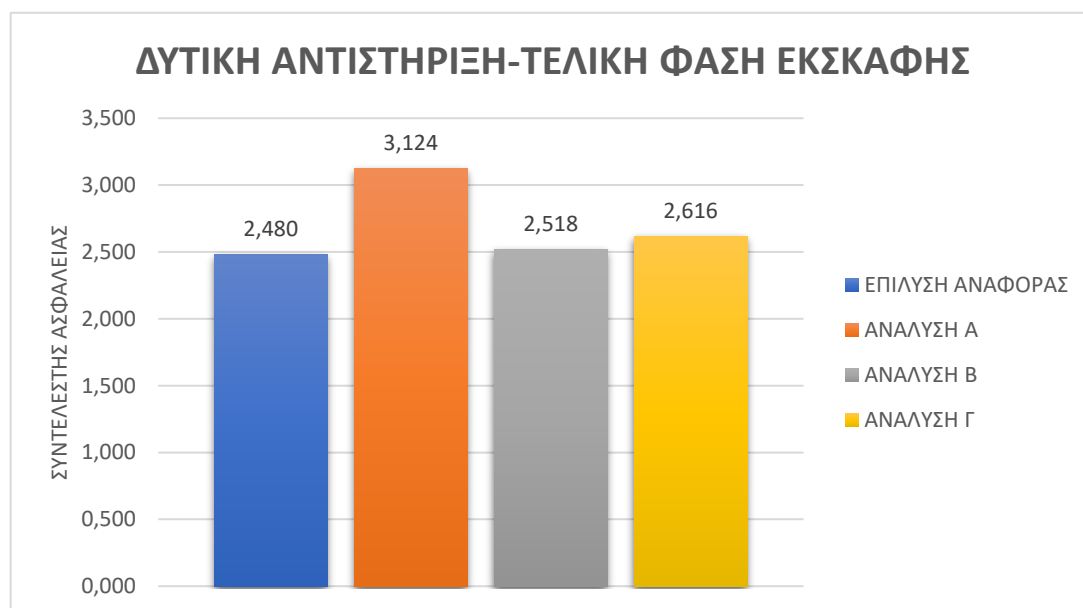


Στα ιστογράμματα 6.1 και 6.2 διακρίνεται η διακύμανση στους υπολογισμούς των συντελεστών ασφαλείας για τον υπολογισμό αυτών στο μέσον της εκσκαφής για κάθε τύπο ανάλυσης. Συγκριτικά με όλες τις τιμές αλλά και με το σύνολο των αναλύσεων παρατηρείται ότι η παραμετρική ανάλυση Β παρουσιάζει καλύτερη ευστάθεια έναντι αστοχίας. Λόγο έλλειψης γεωτεχνικών στοιχείων της συγκεκριμένης περιοχής ο σχεδιασμός της ανάλυσης Β πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα υφιστάμενα στοιχεία. Δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη αλλά παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα ως ιδεατή ανάλυση. Για την υλοποίηση του εν λόγω παραδείγματος απαιτούνται περισσότερες λεπτομέρειες για την περιοχή μελέτης. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι στο δυτικό κομμάτι αντιστήριξης παρατηρούνται χαμηλές τιμές των συντελεστών ασφαλείας με την πιο χαμηλή τιμή να προσδιορίζεται στα 0,141.



Ιστόγραμμα 6. 3: Διάγραμμα αξιολόγησης του συντελεστή ασφαλείας στην τελική φάση της εκσκαφής των διαφόρων αναλύσεων, του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης.

Στα ιστογράμματα 6.3 και 6.4 διακρίνεται η διακύμανση στους υπολογισμούς των συντελεστών ασφαλείας για τον υπολογισμό αυτών στην τελική φάση της εκσκαφής. Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι οι παραμετρικές αναλύσεις της ομάδας Α εμφανίζουν καλύτερες τιμές συντελεστών ασφαλείας κατά την ολοκλήρωση της εκσκαφής και αντιστήριξης.



Ιστογράμματα 6. 4: Διάγραμμα αξιολόγησης του συντελεστή ασφαλείας στην τελική φάση της εκσκαφής των διαφόρων αναλύσεων, του δυτικού συστήματος αντιστήριξης.

Παρατηρώντας τα ίδια διαγράμματα (6.3 και 6.4) αξίζει να σημειωθεί ότι στο σύνολό τους οι επιλύσεις (μαζί με την επίλυση αναφοράς) παρουσιάζουν ικανοποιητικές τιμές υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας. Αυτό σημαίνει ότι υπό πραγματικές συνθήκες στο στάδιο του σχεδιασμού σκοπός του έργου είναι η ευελιξία ως προς την κατασκευή του Σταθμού, ο ικανοποιητικός συντελεστής ασφαλείας καθώς επίσης και το ελάχιστο κόστος. Ικανοποιητικές τιμές του συντελεστή ασφαλείας θεωρούνται οι τιμές που είναι μεγαλύτερες του 2.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην υφιστάμενη μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις που σκοπό είχαν την μελέτη την συμπεριφοράς εδάφους-αντιστήριξης, στην κατασκευή σταθμού Μετρό, εντός αστικού ιστού. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό Plaxis V8 2D, και χρησιμοποιήθηκαν ελαφρώς διαφοροποιημένα δεδομένα της Τομής αντιστήριξης 1-1 του σταθμού Μετρό Αγία Βαρβάρα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις δεν έχουν σκοπό να κρίνουν τον σχεδιασμό του σταθμού αλλά στοχεύουν στην κατανόηση της συμπεριφοράς των μέτρων αντιστήριξης μεταβάλλοντας παραμετρικά την γεωμετρία τους.

Για την μελέτη της αλληλεπίδρασης εδάφους-αντιστήριξης του σταθμού Αγίας Βαρβάρας, επιλύθηκαν τρεις παραμετρικές αναλύσεις, από όπου προέκυψαν αριθμητικά μοντέλα μετακινήσεων (ολικών, οριζόντιων, κατακόρυφων), διαγράμματα αξονικών δυνάμεων, διατμητικών δυνάμεων καθώς επίσης και ροπών κάμψεως. Για την καλύτερη αξιολόγηση ορίστηκαν συνολικά και για τα δύο συστήματα αντιστήριξης είκοσι (20) σημεία παρατήρησης. Τέλος πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός του συντελεστή ασφαλείας ανά τύπο επίλυσης. Σε κάθε σύστημα αντιστήριξης προσδιορίστηκαν δύο τιμές του συντελεστή ασφαλείας για κάθε σύστημα (ανατολικό ή δυτικό) αντιστήριξης.

Μετά την ολοκλήρωση των επιλύσεων και περιγραφή των διαφόρων διαγραμμάτων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- **Ανάλυση Α:** Στον εν λόγω τύπο αναλύσεων χρησιμοποιήθηκε σύστημα αντηρίδων σε δύο σειρές, ενώ χρησιμοποιήθηκαν φρεατοπάσσαλοι οπλισμένου σκυροδέματος και προεντεταμένα αγκύρια για το ανατολικό και το δυτικό σύστημα αντιστήριξης έτσι ώστε στην τελική μορφή του σταθμού οι εγκατάσταση αντηρίδων να βρίσκεται στο σωστό υψόμετρο έτσι ώστε η διέλευση του TBM να είναι ανεμπόδιστη. Από την ανάλυση αυτή προέκυψε ότι το σύστημα των μεταλλικών αντηρίδων σε συνδυασμό με το σύστημα των αγκυρίων συμπεριφέρεται αρκετά καλύτερα έναντι συστημάτων με χρήση μόνο αγκυρίων. Η εικόνα των μετακινήσεων παρουσιάζεται αρκετά βελτιωμένη έναντι των υπολοίπων αναλύσεων. Οι συντελεστές ασφαλείας σε κάθε σύστημα αντιστήριξης κατά την τελική φάση εκσκαφής και αντιστήριξης παρουσιάζουν ευνοϊκότερες τιμές σε σύγκριση με εκείνες των υπόλοιπων αναλύσεων.

- **Ανάλυση Β:** Στις εν λόγω αναλύσεις πραγματοποιήθηκε αύξηση του πλάτους εκσκαφής κατά 2,00m αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ των δύο τοίχων αντιστήριξης. Στο δυτικό σύστημα αντιστήριξης πραγματοποιήθηκε μετακίνηση +2,00m δεξιότερα μόνο του πρώτου εκ των δύο τοίχων αντιστήριξης. Η επιλογή αυτή έγινε με σκοπό την συμπεριφορά των μέτρων αντιστήριξης μεταβάλλοντας την γεωμετρία τους. Οι επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά την τροποποίηση της τομής σχεδιασμού έδειξαν ανακατανομή των οριζόντιων μετακινήσεων. Επιπλέον τα διαγράμματα αξονικών και διατμητικών δυνάμεων καθώς επίσης και ροπών κάμψεως παρουσίασαν ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς τα υπολογιζόμενα μεγέθη. Οι συντελεστές ασφαλείας κατά την ολοκλήρωση της εκσκαφής και αντιστήριξης προέκυψαν για το ανατολικό σύστημα 2,33 ενώ για το δυτικό 2,51. Οι τιμές αυτές θεωρούνται ικανοποιητικές στην περίπτωση των μόνιμων κατασκευαστικών έργων.
- **Ανάλυση Γ:** Στην τρίτη και τελευταία επίλυση κατασκευάστηκε ένα μικρό ανάχωμα στον πόδα των τοίχων αντιστήριξης. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν φρεατοπάσσαλοι οπλισμένου σκυροδέματος και προεντεταμένα αγκύρια και στο ανατολικό και στο δυτικό σύστημα αντιστήριξης. Για την κατασκευή των αναχωμάτων επιλέχθηκε αυθαίρετα η τυπική διατομή κυκλικής σήραγγας διπλής κατεύθυνσης από στοιχεία που διαθέτει η Αττικό Μετρό ελεύθερα για το κοινό στον ηλεκτρονικό ιστότοπό της. Από την επίλυση των αριθμητικών προσομοιωμάτων προέκυψαν συμπεράσματα ως προς τα μεγέθη (μετακινήσεις, αξονικές- διατμητικής δυνάμεις και ροπές κάμψεις). Επιπλέον η χρήση του αναχώματος συνεισφέρει θετικά ως προς την ασφάλεια του έργου, επίσης προστατεύει την βάση του πυθμένα της εκσκαφής από την πιθανή ανύψωση πυθμένα. Μετά την παρέμβαση των αναχωμάτων, επαναπροσδιορίστηκαν τα μεγέθη των μετακινήσεων, δυνάμεων και καμπτικών ροπών. Τέλος ο συντελεστής ασφαλείας για το μεν ανατολικό σύστημα αντιστήριξης κατά το τελικό στάδιο εκσκαφής υπολογίστηκε στα 2,463 ενώ για το δε δυτικό σύστημα αντιστήριξης στα 2,616.

Ο σχεδιασμός των αναλύσεων πραγματοποιήθηκε βάση των στοιχείων που παραχωρήθηκαν για την διεξαγωγή της διατριβής. Τα σενάρια αναλύσεων που προτάθηκαν έχουν σαν στόχο την κατανόηση του μηχανισμού συμπεριφοράς εδάφους - κατασκευής και όχι την σύγκριση με την πραγματική κατάσταση του Σταθμού.

## Βιβλιογραφία

Μαρίνος Γ., Ανδρονόπουλος Β., Μούγιαρης Ν., Γεωτεχνικά προβλήματα του Αθηναϊκού σχιστόλιθου, "Ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος από Γεωλογική Σκοπιά", Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.), 22 Μαΐου 1981, Αθήνα

Καζίλη Ν., Γεωτεχνικά προβλήματα του Αθηναϊκού σχιστόλιθου, Τεχνική Γεωλογία του Συστήματος του Αθηναϊκού Σχιστολίθου", Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.), 22 Μαΐου 1981, Αθήνα

Μούγιαρη Ν., Ανδρονόπουλος Β., Γεωτεχνικά προβλήματα του Αθηναϊκού σχιστόλιθου, "Υδρογεωλογία του Αθηναϊκού Σχιστολίθου", Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.), 22 Μαΐου 1981, Αθήνα

Paranikolaou D.I., Loizos S.G., Soukis K. & Skourtsos Em., (2004), *The Geological Structure of the Allchthonous "Athens Schist"*, 10th International Congress, Thessaloniki 2004, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, vol XXXVI

Κούκουτας Σ., (2001), "Το ΜΕΤΡΟ της ΑΘΗΝΑΣ: Μέθοδοι Κατασκευής και τα σχετικά Τεχνικά Προβλήματα", ΕΠΩΝΥΜΩΣ «Ενημερωτικό Δελτίο» Τ.Ε.Ε., 2156 (pp. 129 – 137).

Κούκουτας Σ., (2002), "Επέκταση της γραμμής 3: Η Επιλογή του Μηχανήματος Ολομέτρωτης Κοπής με Ασπίδα", ΕΠΩΝΥΜΩΣ «Ενημερωτικό Δελτίο» Τ.Ε.Ε., 2202 (pp. 140 – 144).

Παπαυγέρη Γ. Α., Αρβανίτη Α. Π. (2012), "Βαθιές Εκσκαφές σε Αστικό Χώρο", Η περίπτωση του σταθμού Μετρό Αγ. Βαρβάρας, Ε.Μ.Π.

OVERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH. (2013), Σταθμός "Αγίας Βαρβάρας" - Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης (3SW6CW395R), Αττικό Μετρό Α.Ε.

Health and Safety Executive (HSE) (1996), "Safety of New Austrian Tunneling Method [NATM] Tunnels", *The National Archives*, London 2014.

SABATINI P.J., Pass D.G., Bachus R.C. (1999), *GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR No.4 - Ground Anchors And Anchored Systems*, FHWA-IF-99-015, Office of Bridge Technology, Washington.

Brinkgreve, R. B. J., & Delf University of Technology & PLAXIS b.v., T. N. (2002). *PLAXIS. LISSE, ABINGDON, EXTON (PA), TOKYO: A.A. BALKEMA PUBLISHERS.*

Barnes G.E. (2005). "ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ - Αρχές και Εφαρμογές (Δεύτερη Αγγλική Έκδοση)", Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα

Σοφιανός Α.Ι. (2018), "Διάνοιξη Σηράγγων", Ε.Μ.Π, Αθήνα

Σοφιανός Α.Ι. (2015), "Υποστήριξη Υπογείων Έργων", Ε.Μ.Π., Αθήνα

Καθβαδάς Μ. (2004), Κεφάλαιο 4: "Διάνοιξη Σηράγγων με την Μέθοδο NATM", *Σημειώσεις Σχεδιασμού Υπογείων Έργων*, Ε.Μ.Π. (pp. 5-1 – 5-15) <http://users.ntua.gr/kavvadas/Books/Tunneling/ch-5-1.pdf>

Παπασπύρου Σ. Ν. (1985), "Αγκυρώσεις", Αθήνα

SIKA HELLAS A.B.E.E., (2007), "Εγχειρίδιο τεχνολογίας σκυροδέματος", Sika

ELEBOR A.E.B.E., (2013). "Εγχειρίδιο τεχνολογίας αγκυρίων προεντάσεως TTM (Post-tensioned TTM ground anchors)", ELEBOR

<https://www.elebor.gr/datafiles/files/0709%20TTM%20ground%20anchors.pdf>.

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.:

<https://www.ametro.gr/>

railssystem.net:

<http://www.railssystem.net/cut-and-cover/>

BURRAS Ltd CIVIL ENGINEERING AND PILING CONTRACTORS:

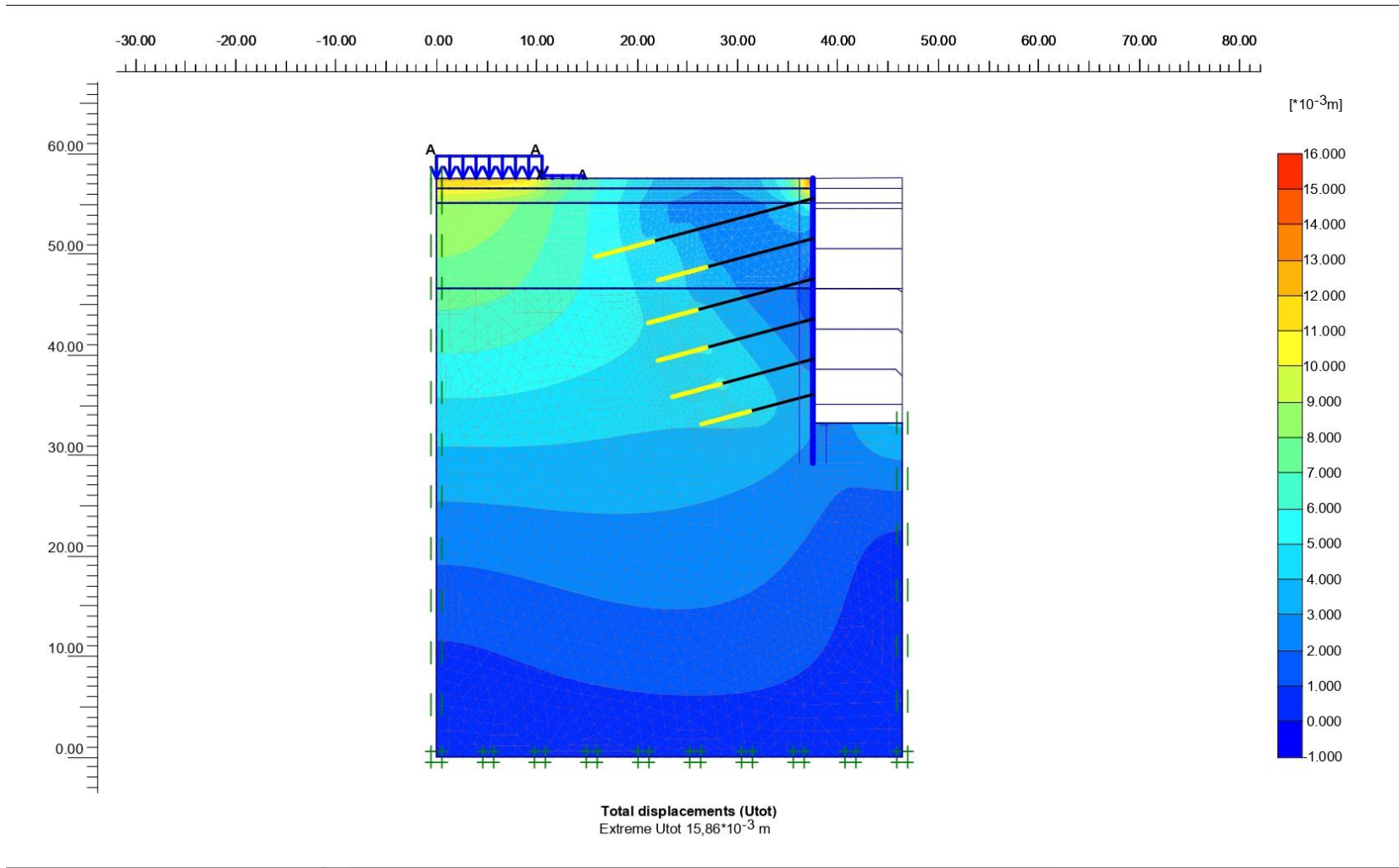
<https://burras.com/services/piled-retaining-walls/>



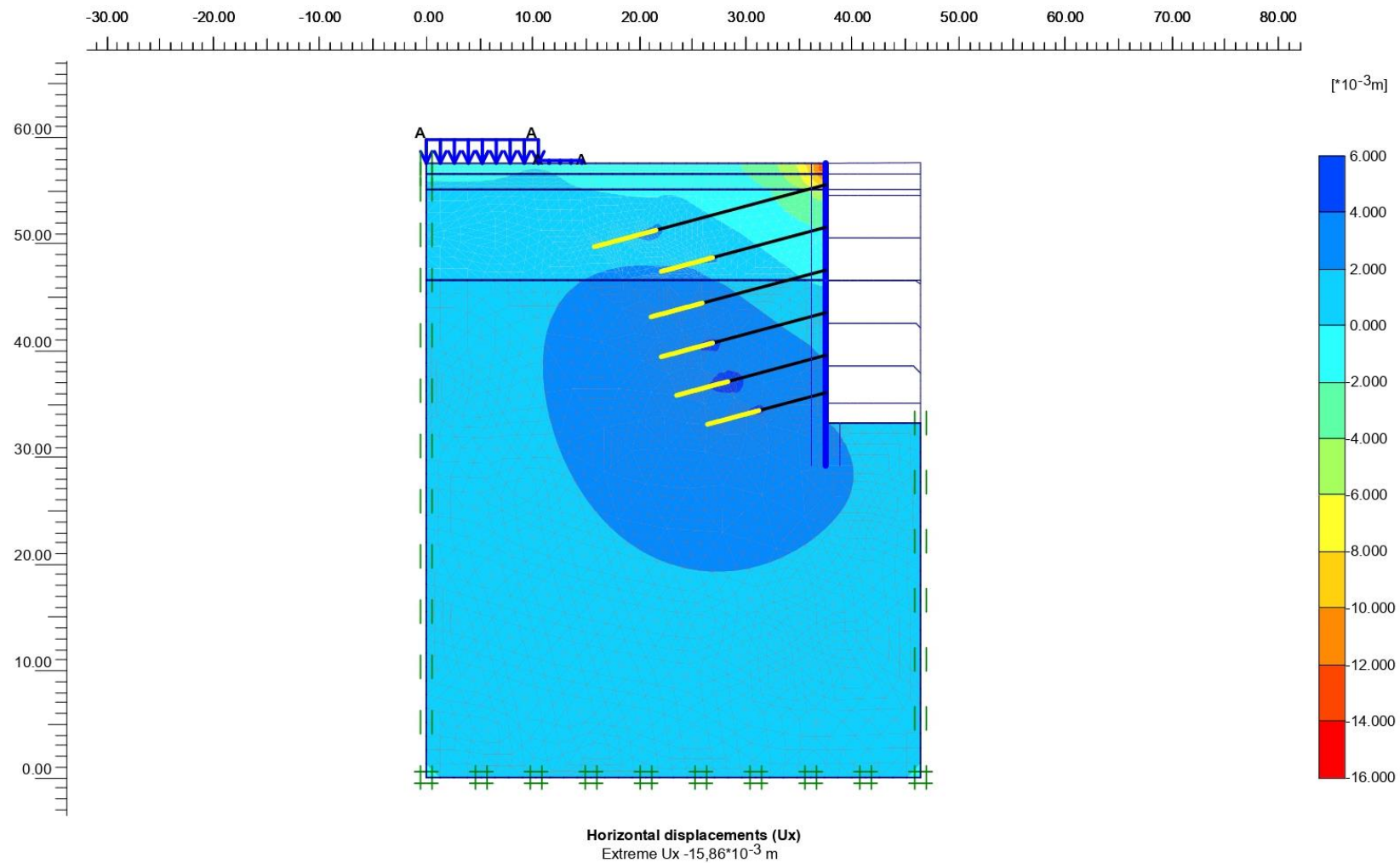
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**



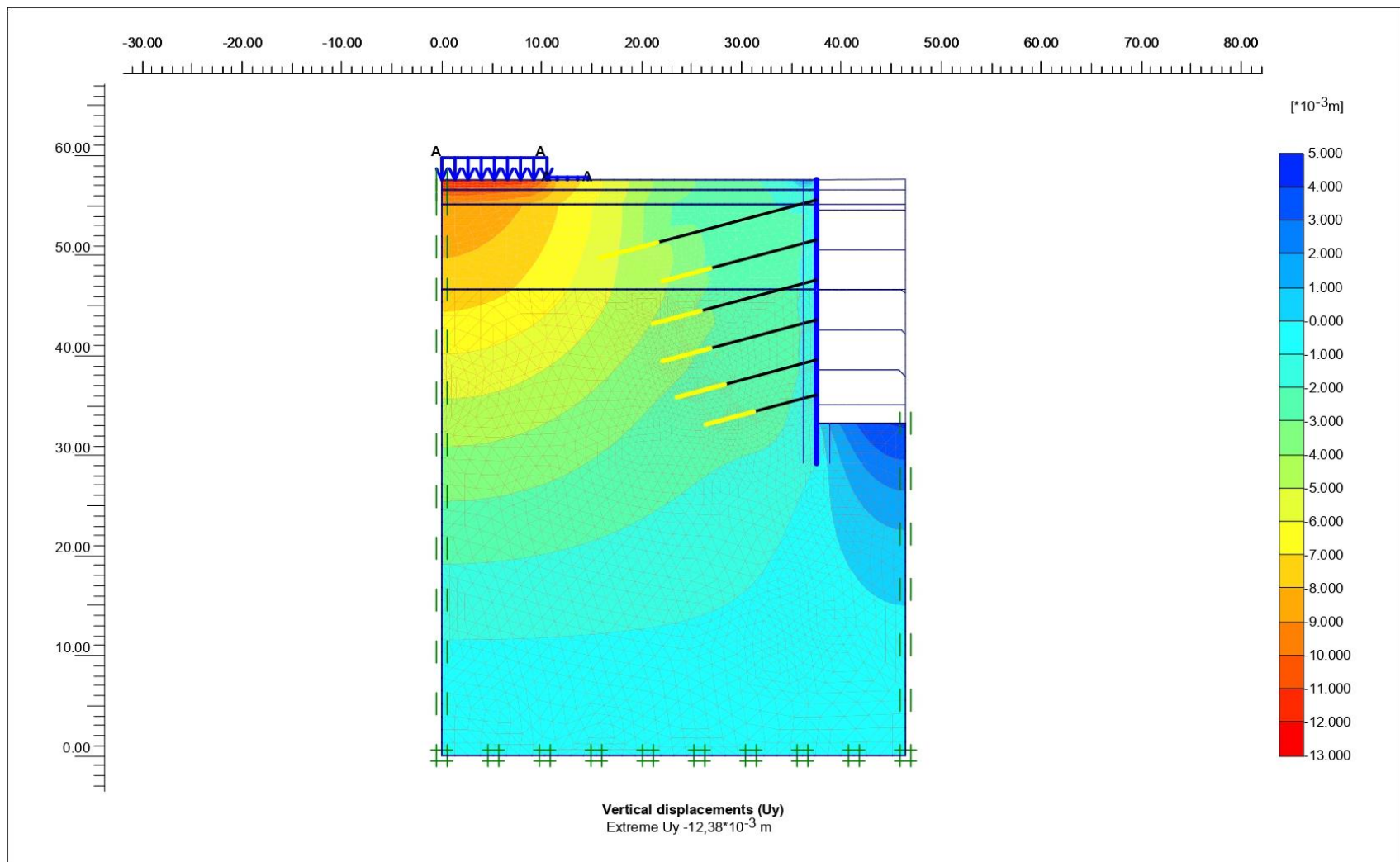
**(ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ)**



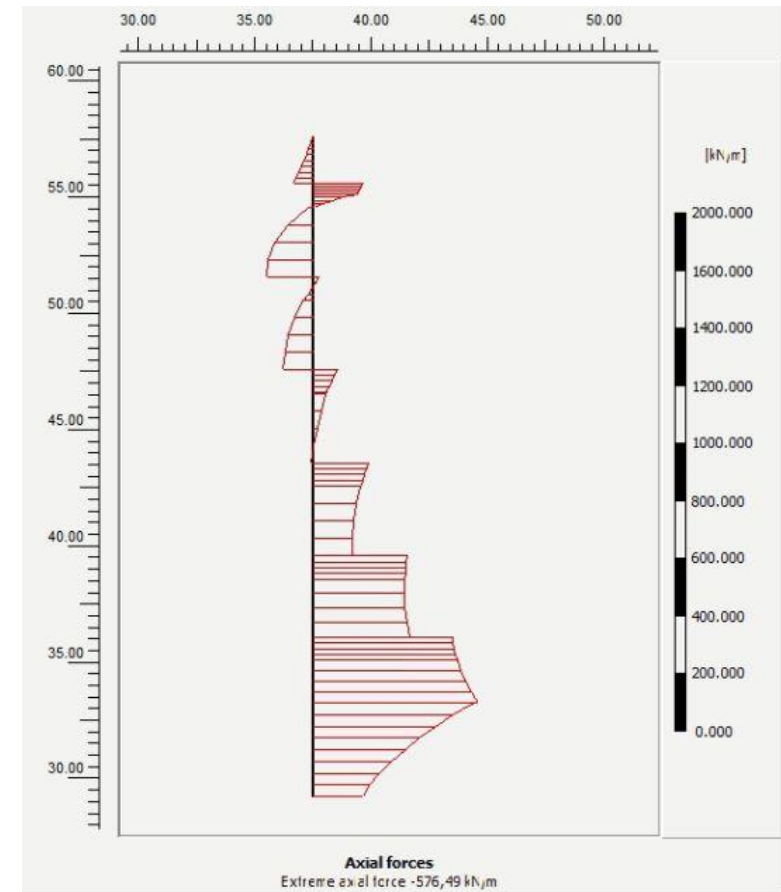
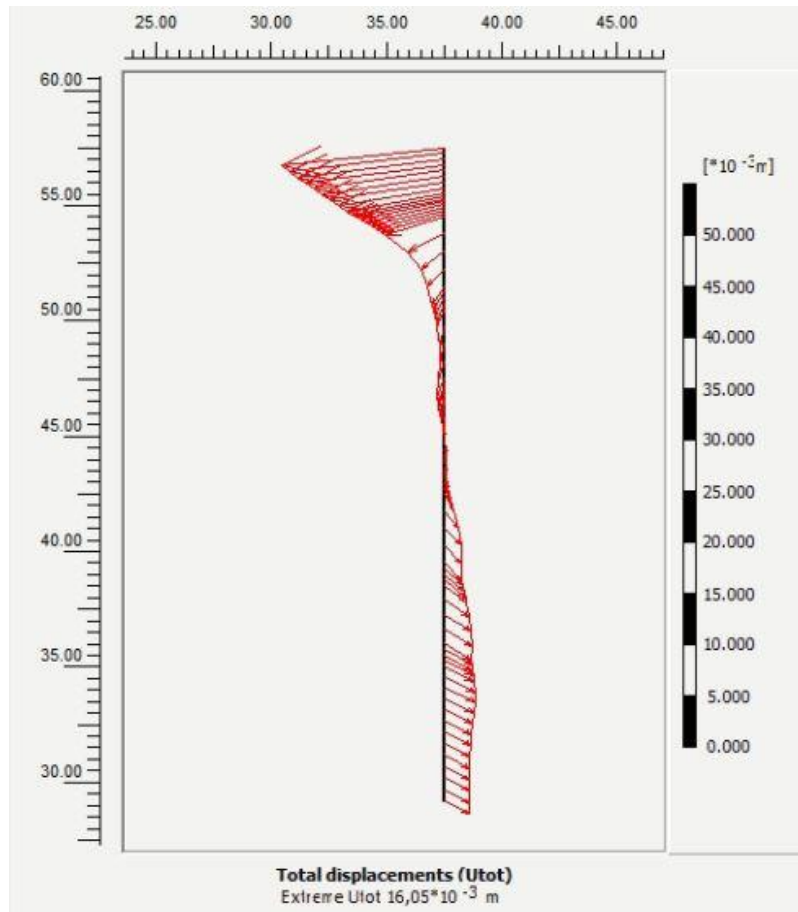
Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.



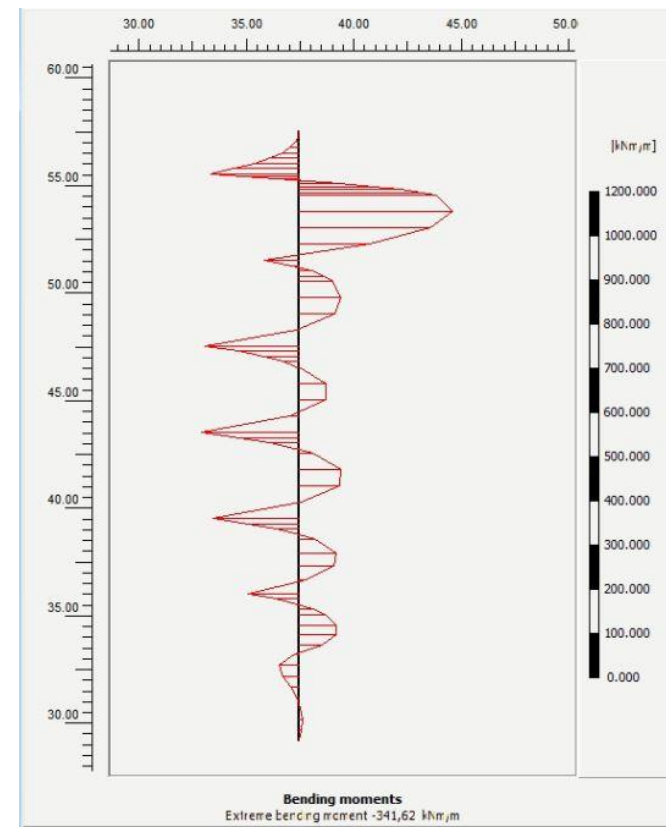
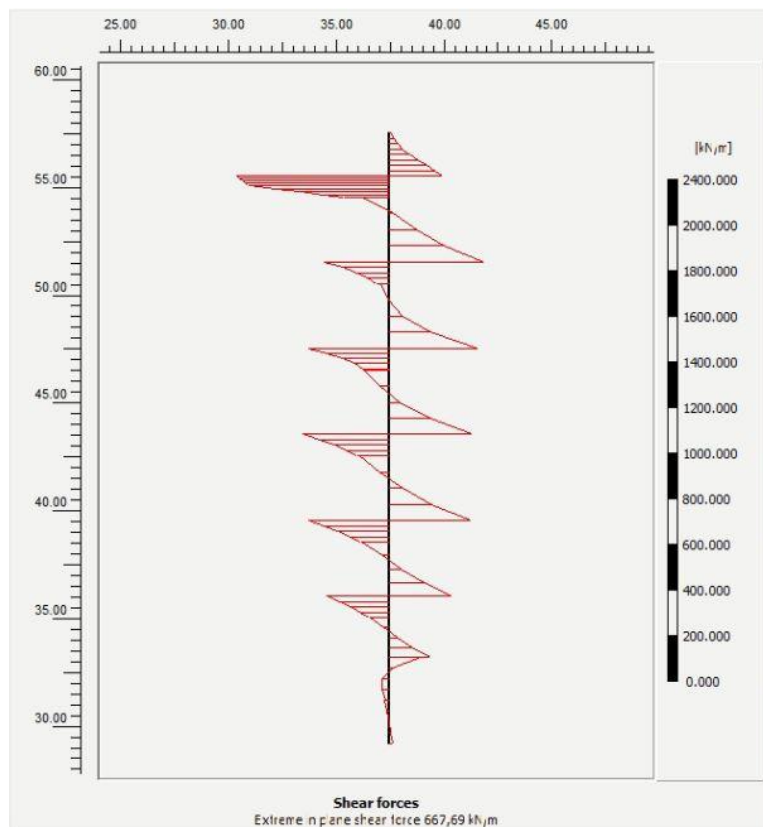
Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.



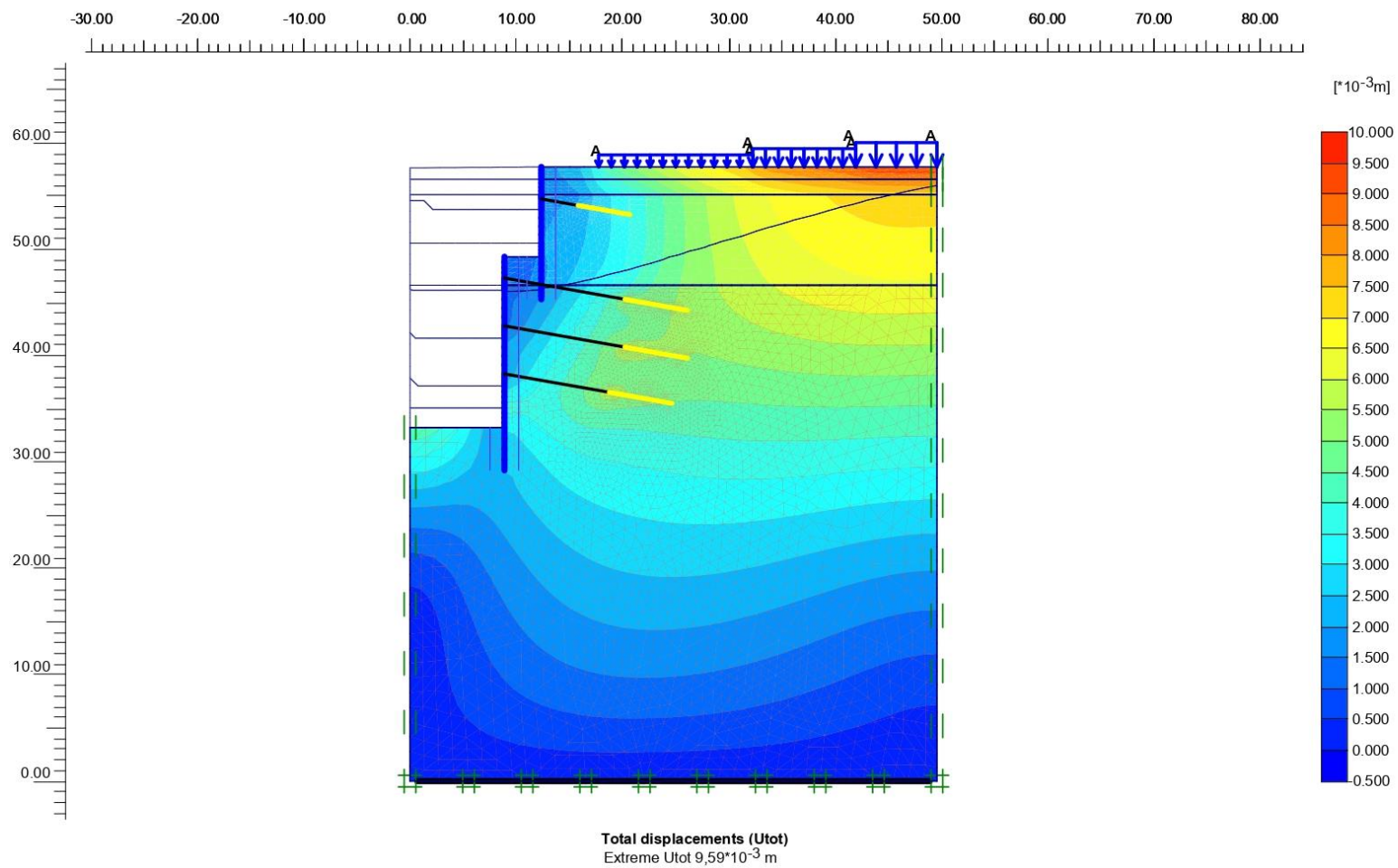
Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης για την επίλυση αναφοράς.



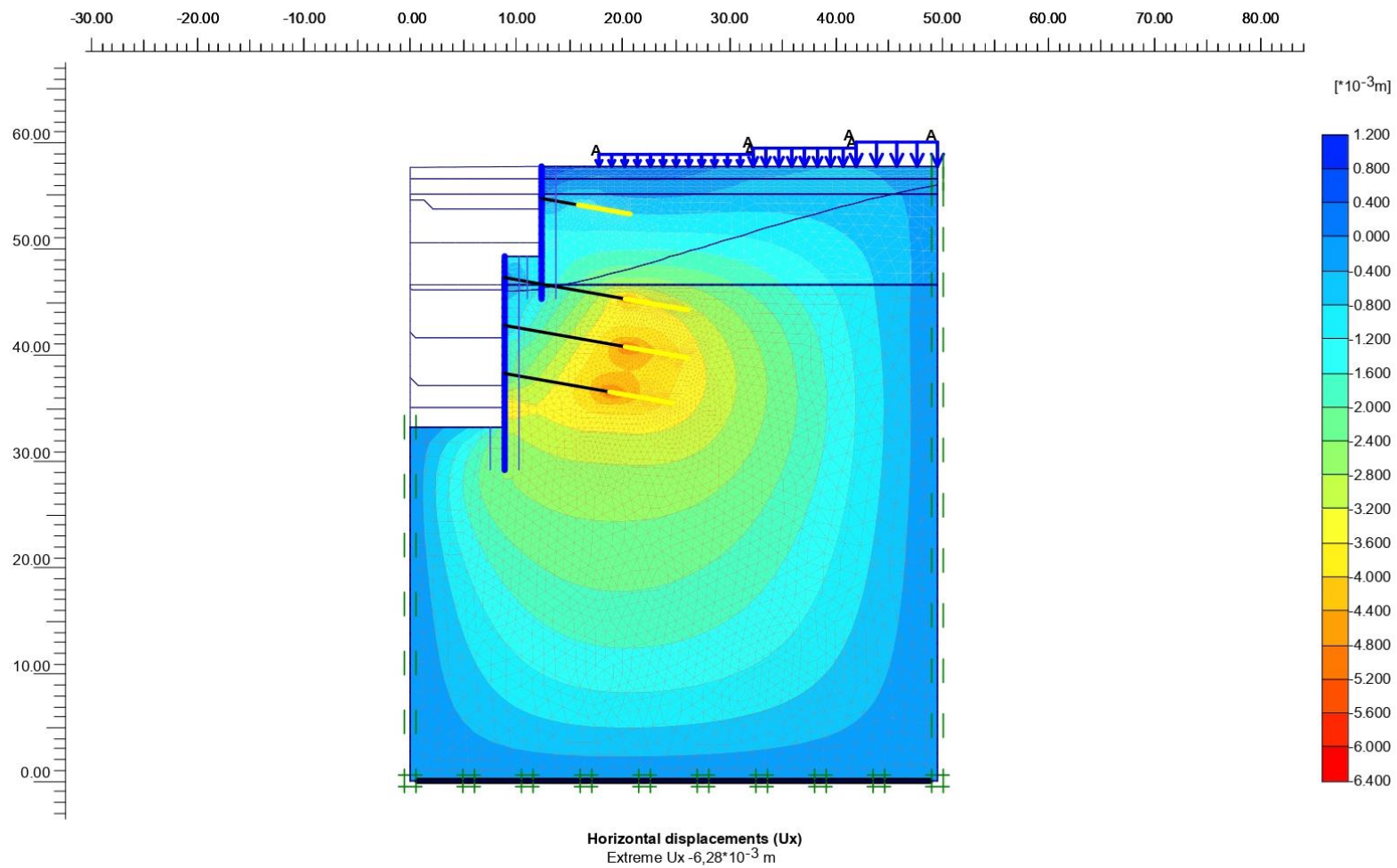
Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων και αξονικών δυνάμεων επί του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.



Χωρική κατανομή των διατμητικών δυνάμεων και ροπών κάμψης επί του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.

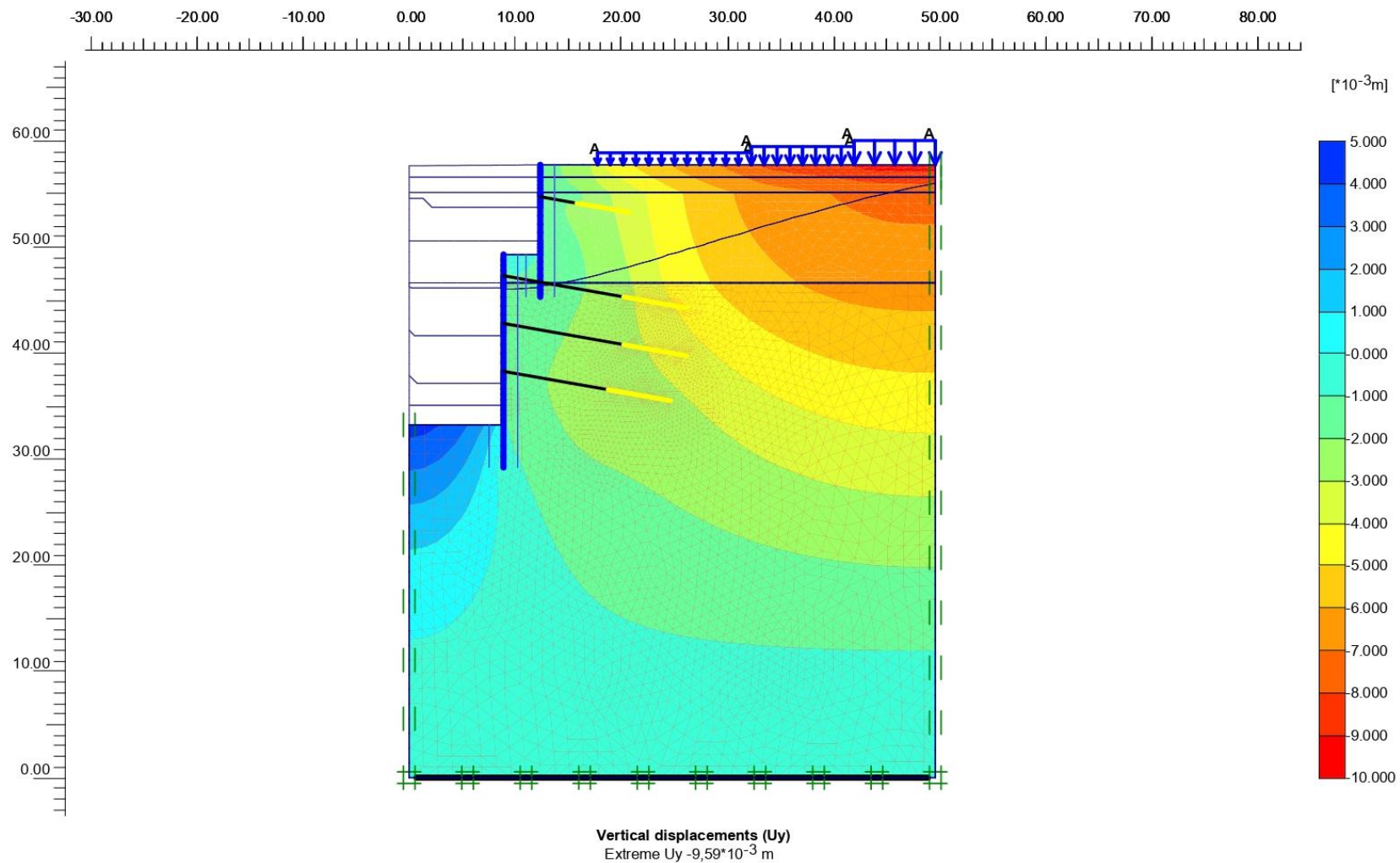


Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.

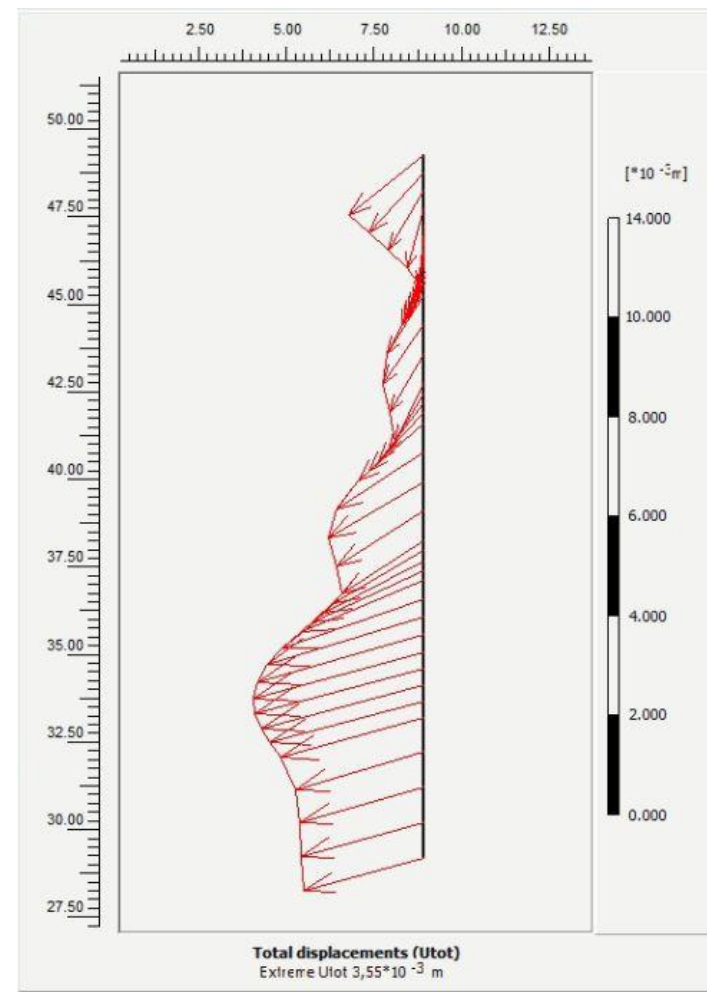
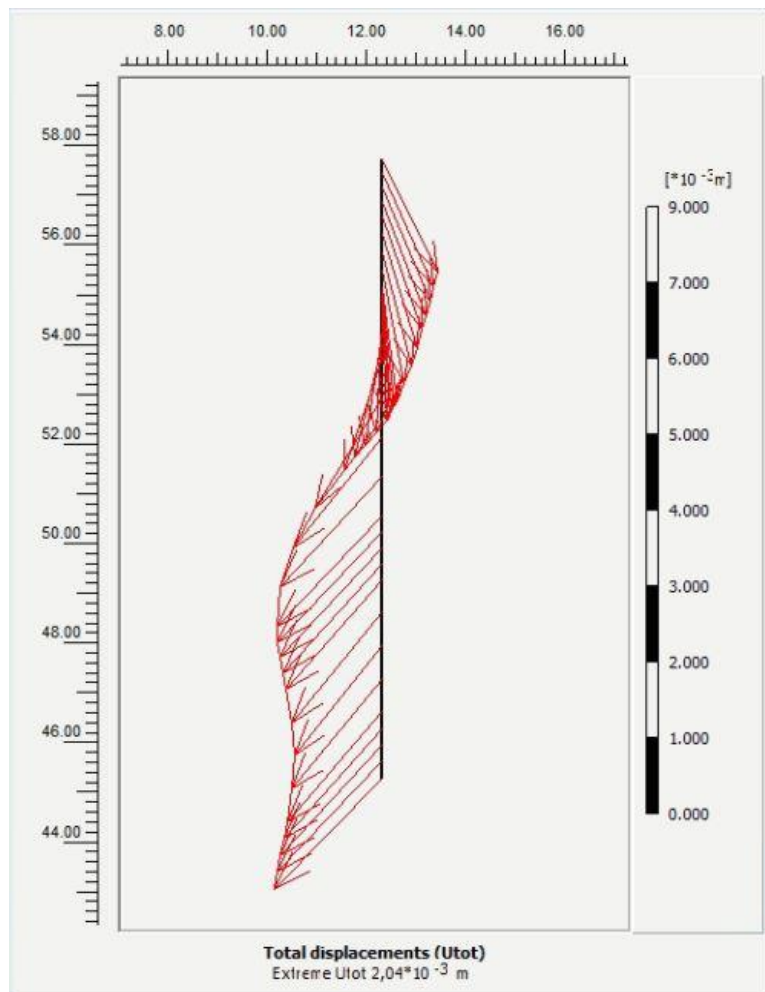


Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.

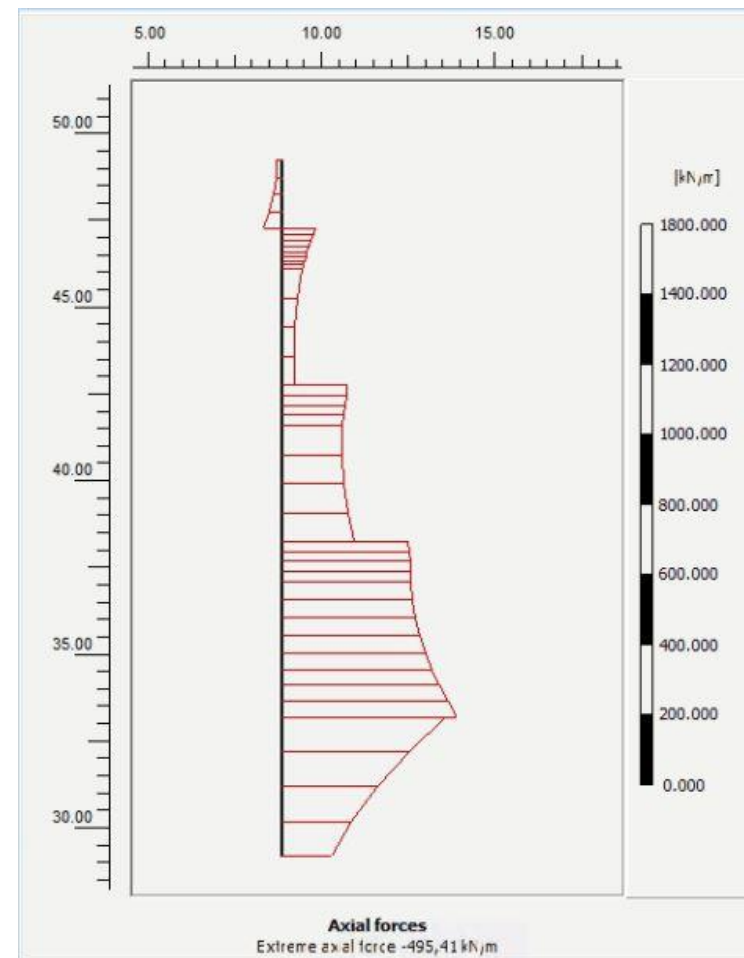
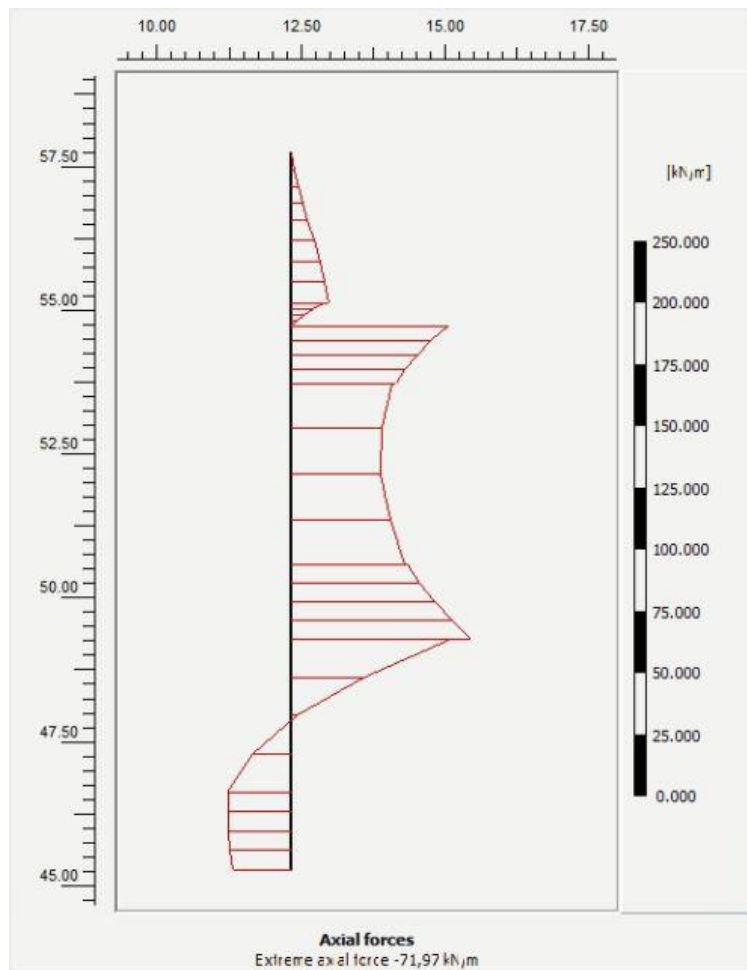




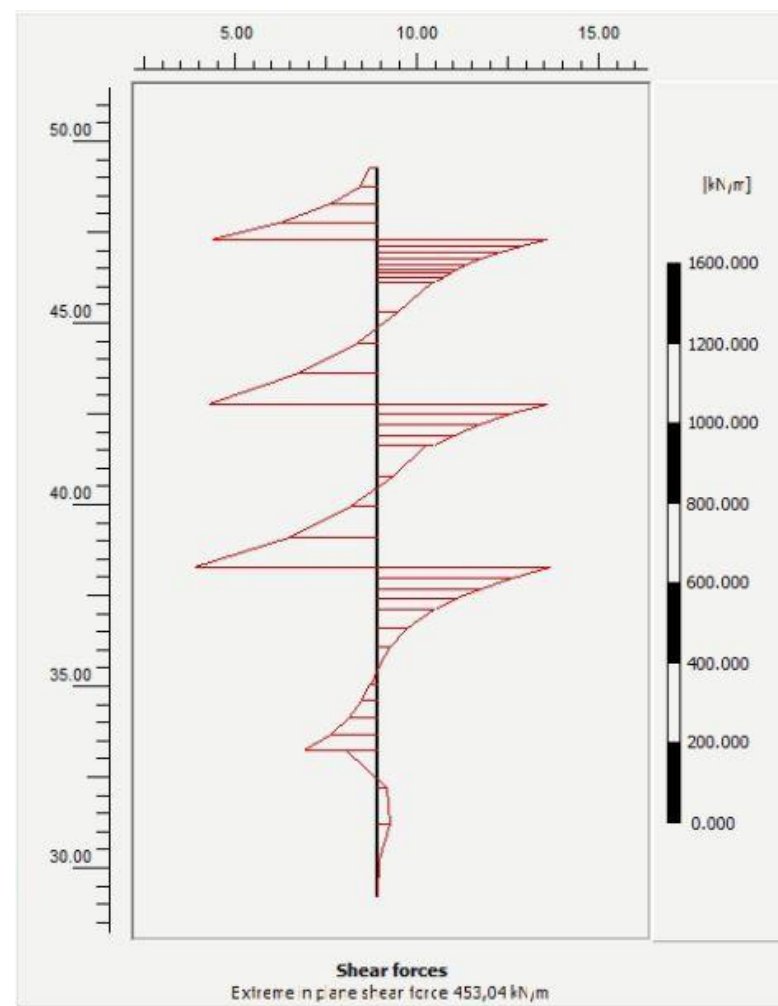
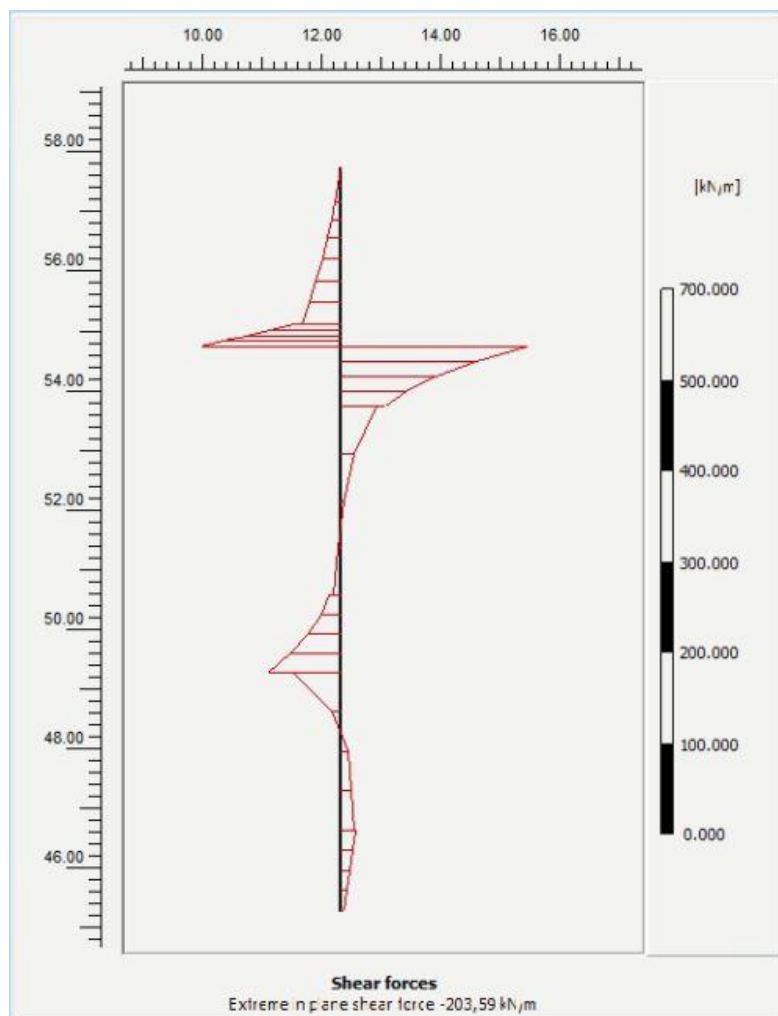
Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης για την επίλυση αναφοράς.



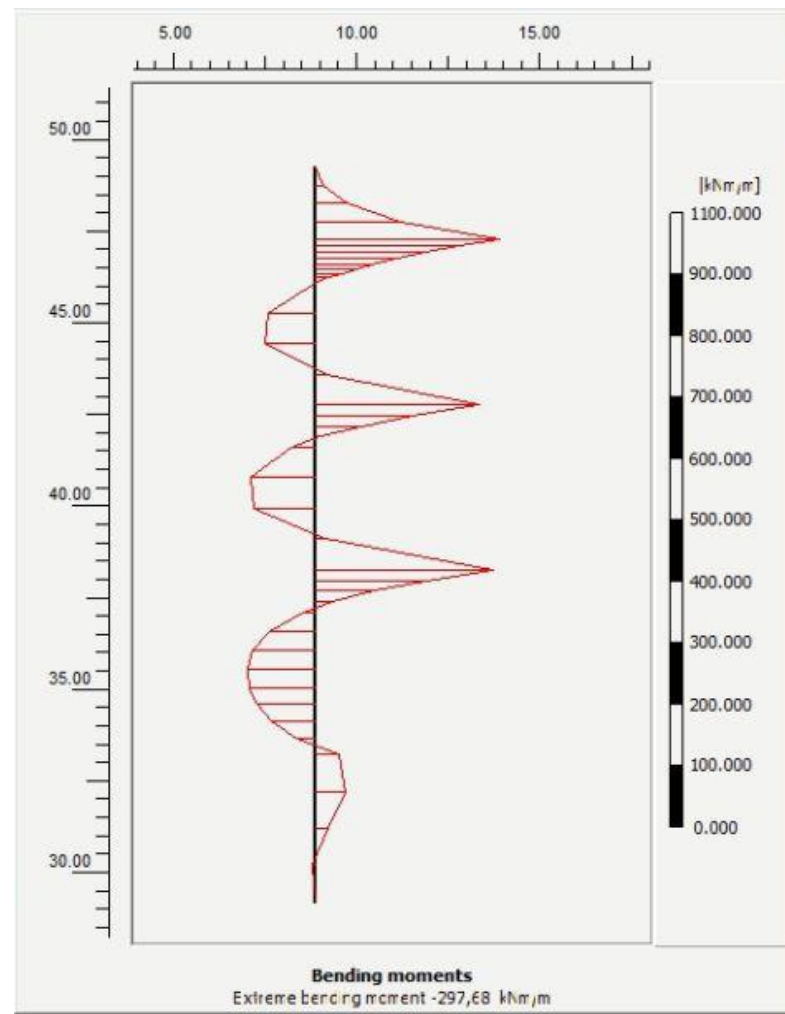
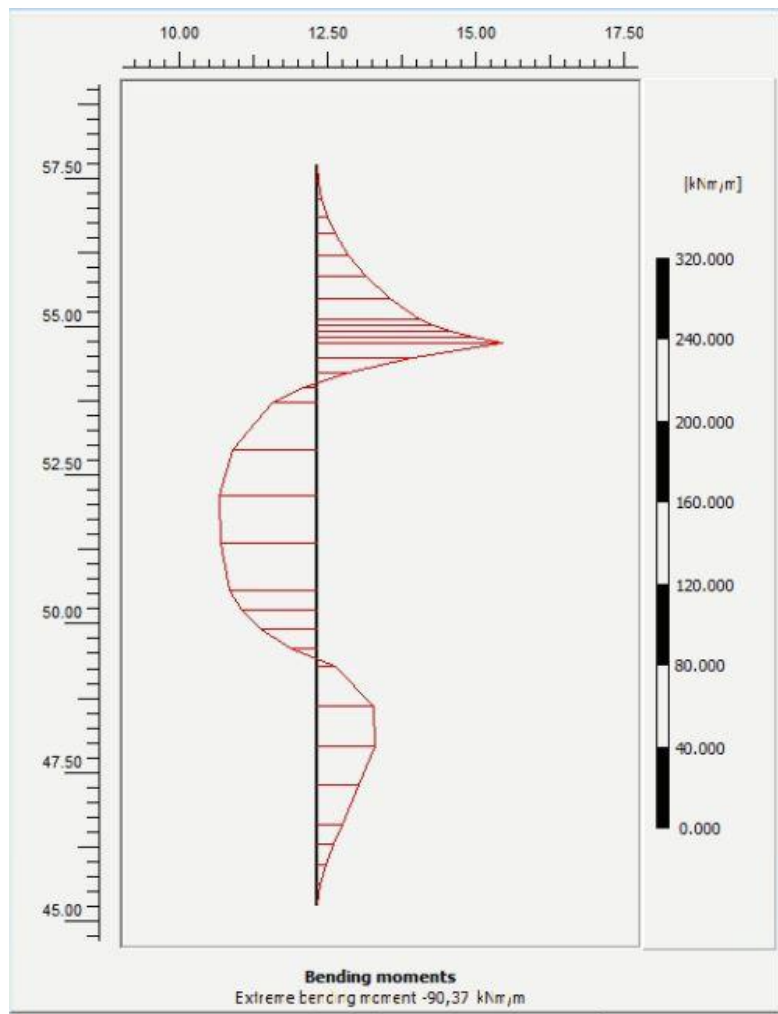
Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.



Χωρική κατανομή των αξονικών δυνάμεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.

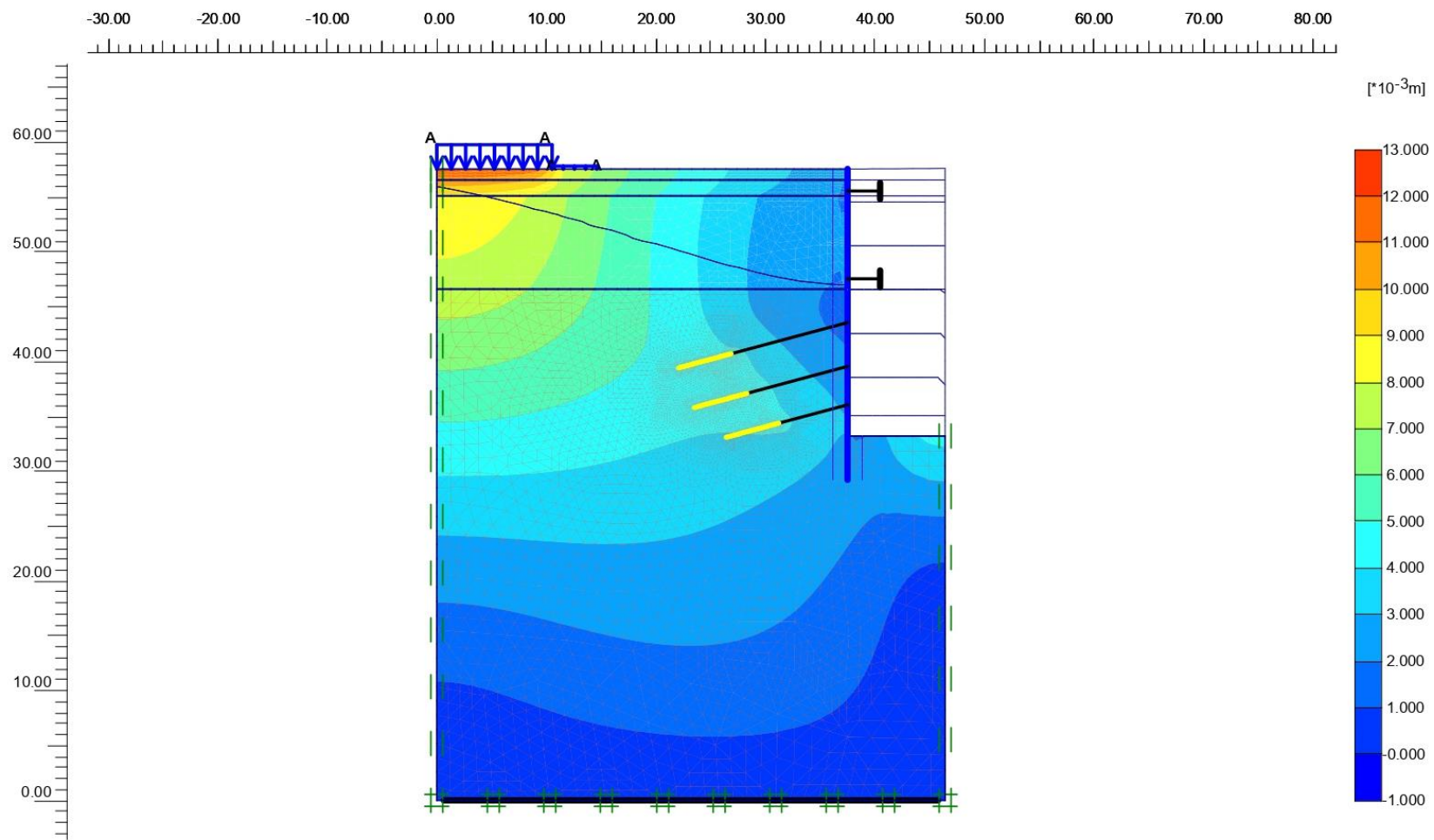


Χωρική κατανομή των διατμητικών δυνάμεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.

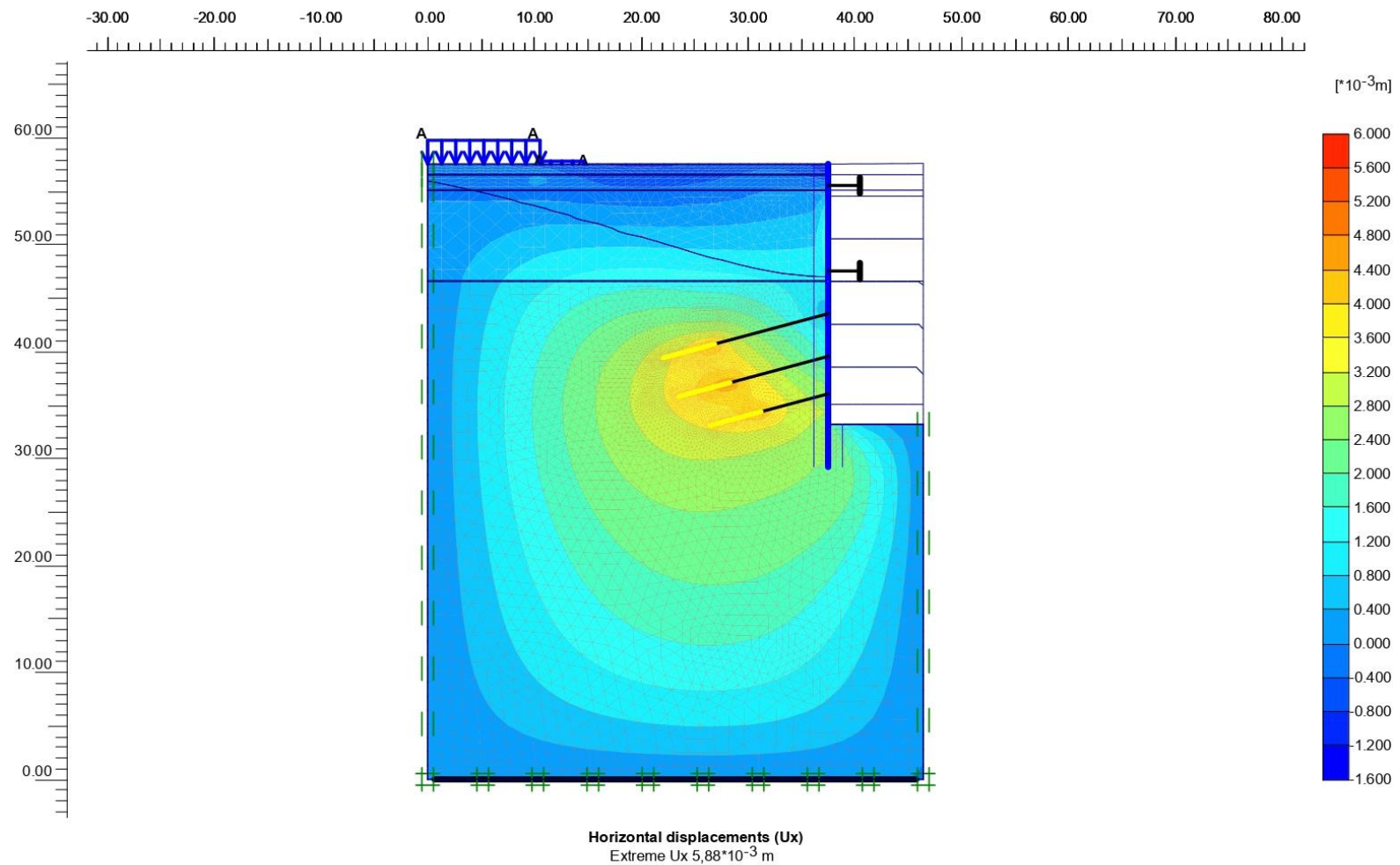


Χωρική κατανομή των ροπών κάμψεως για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση αναφοράς.

**(ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΜΑΔΑΣ Α)**

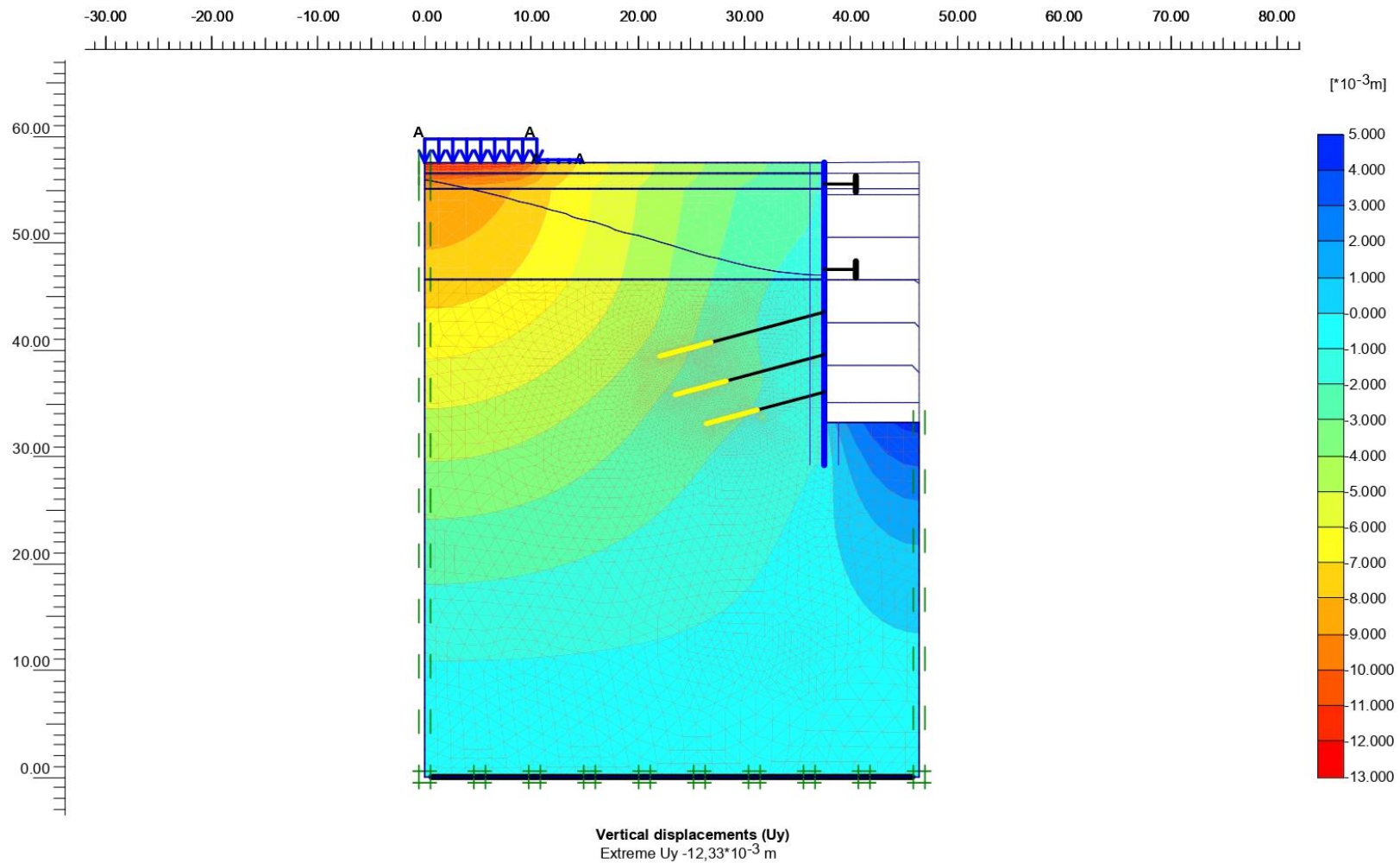


Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.

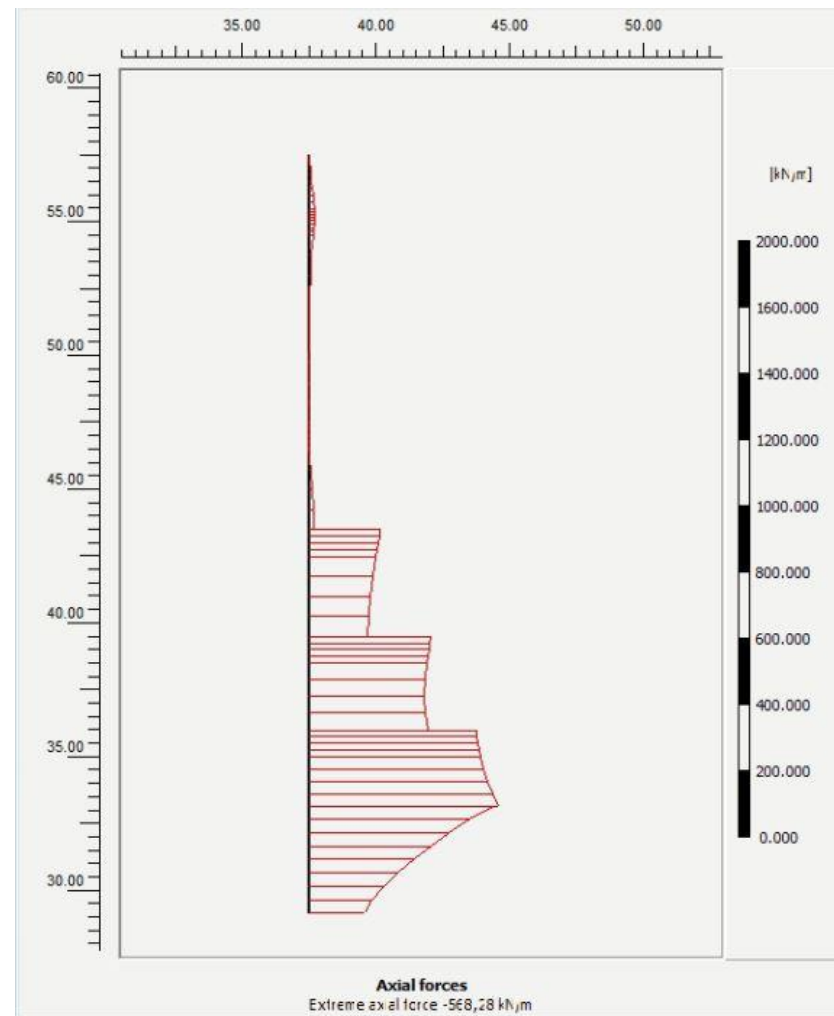
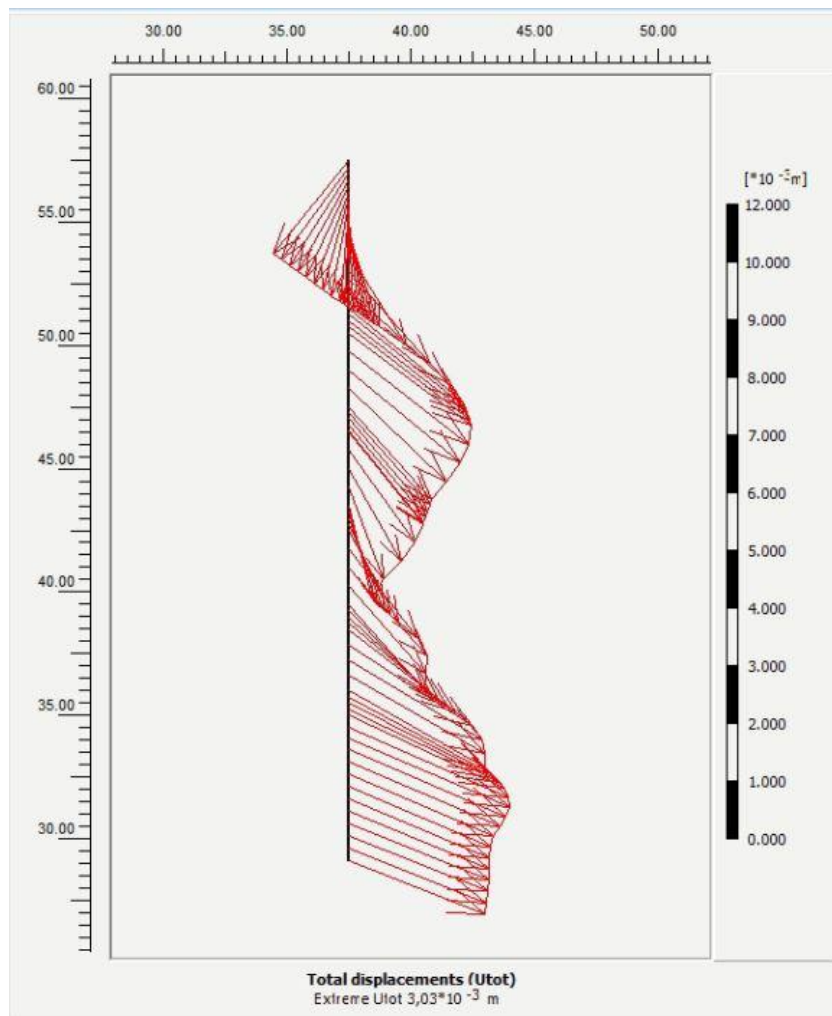


Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.

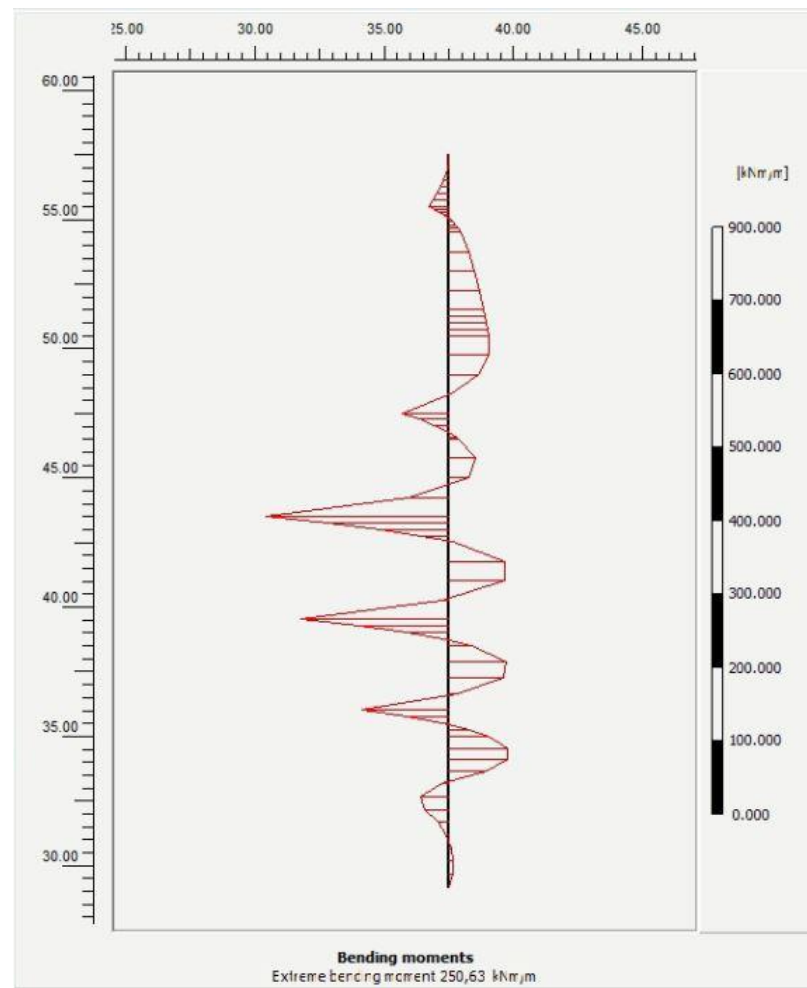
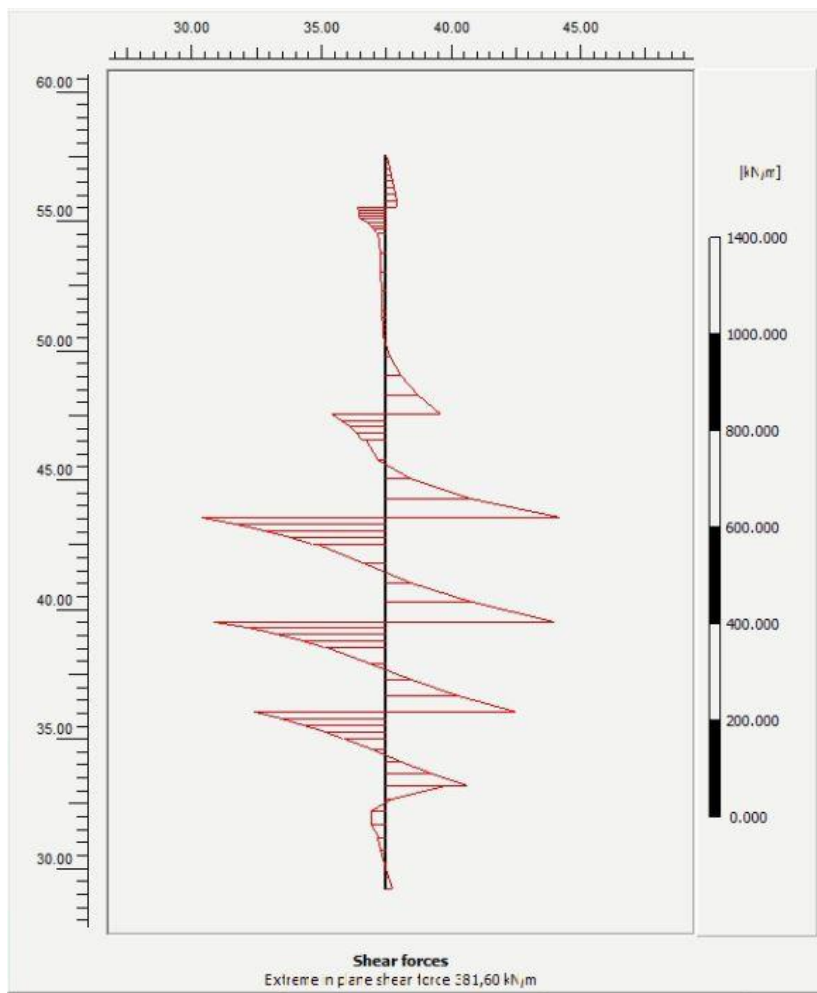




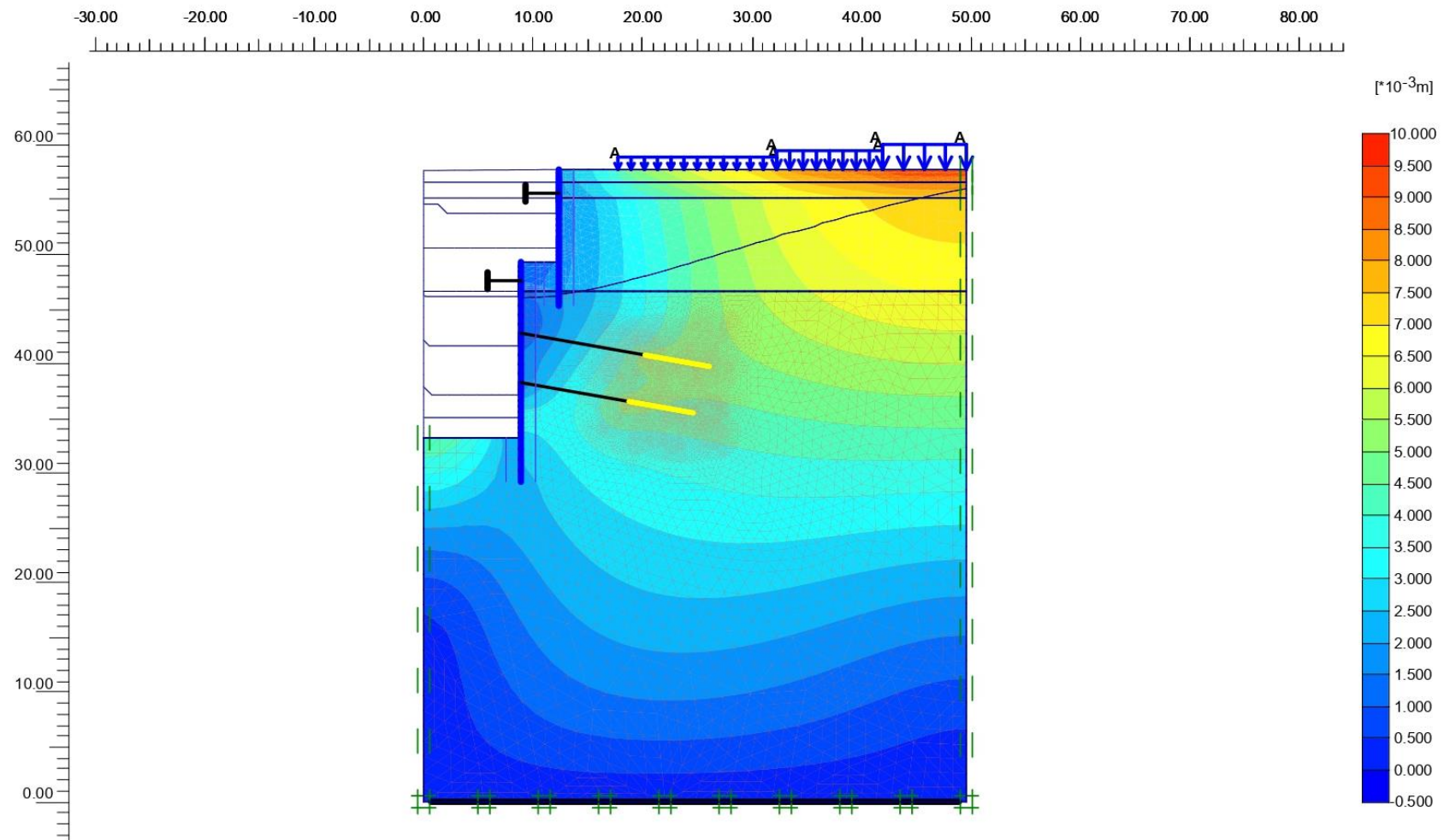
Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.



Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων και αξονικών δυνάμεων επί του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.

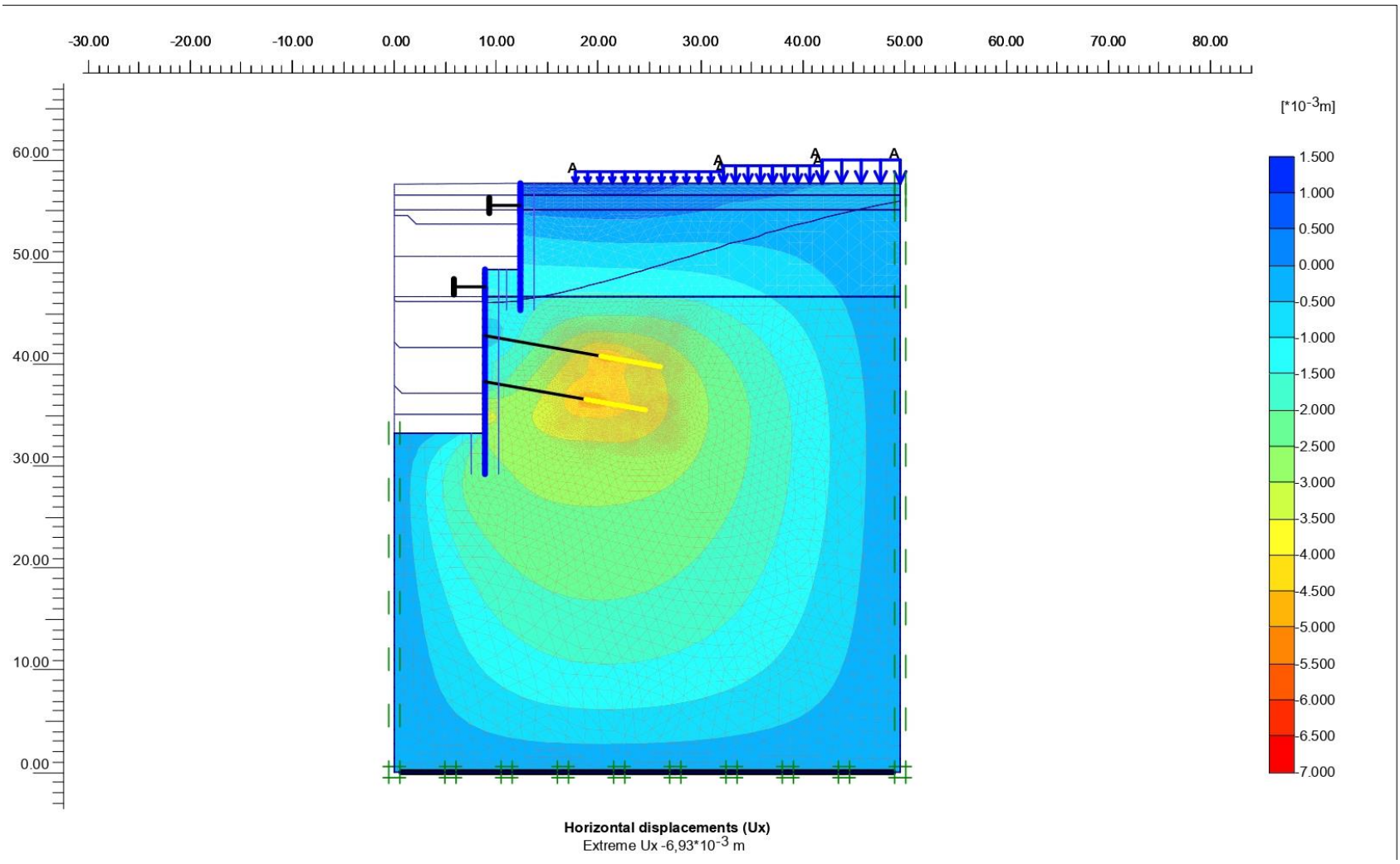


Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων και ροπών κάμψης επί του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.

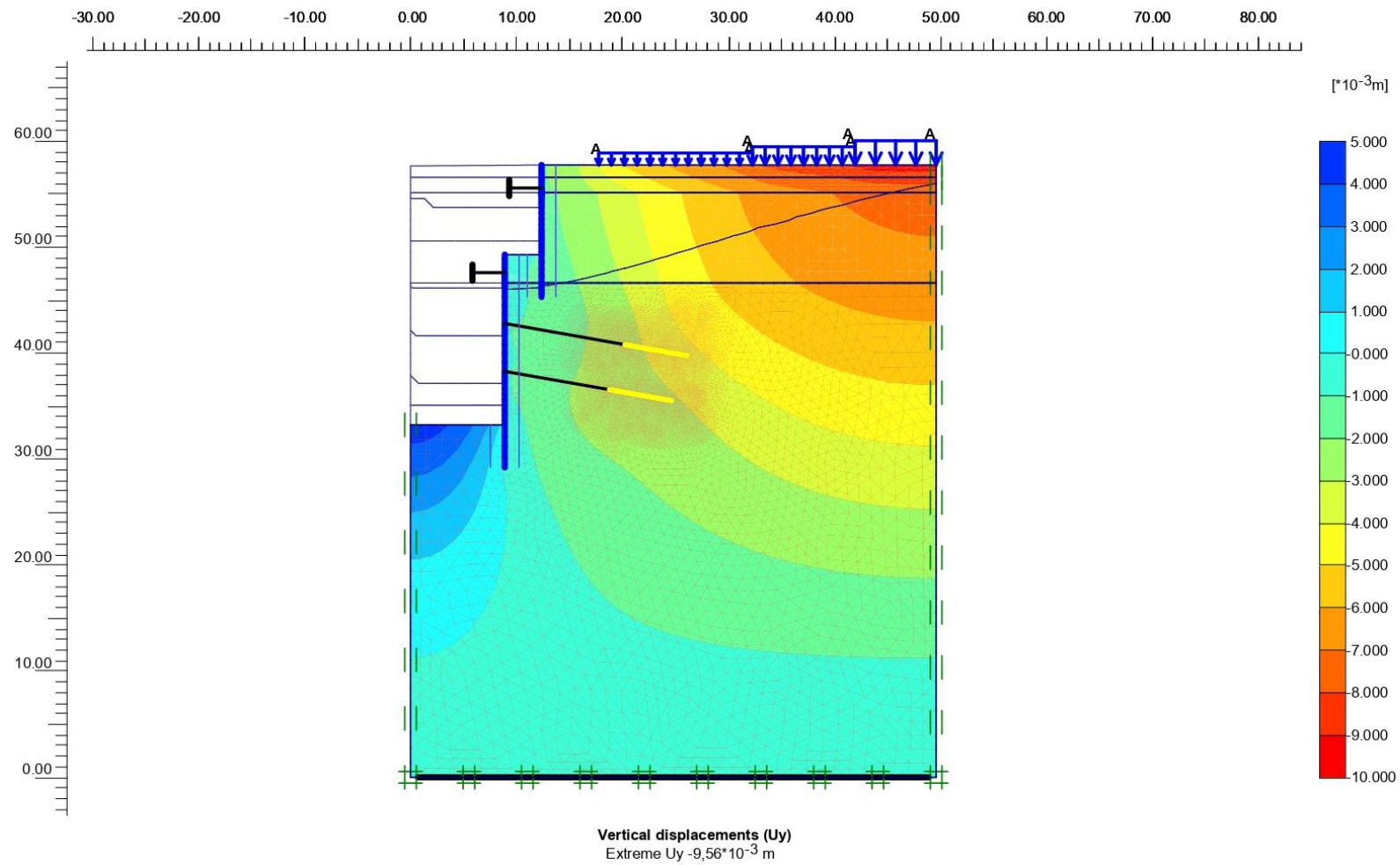


**Total displacements (Utot)**  
Extreme Utot  $9,56 \cdot 10^{-3}$  m

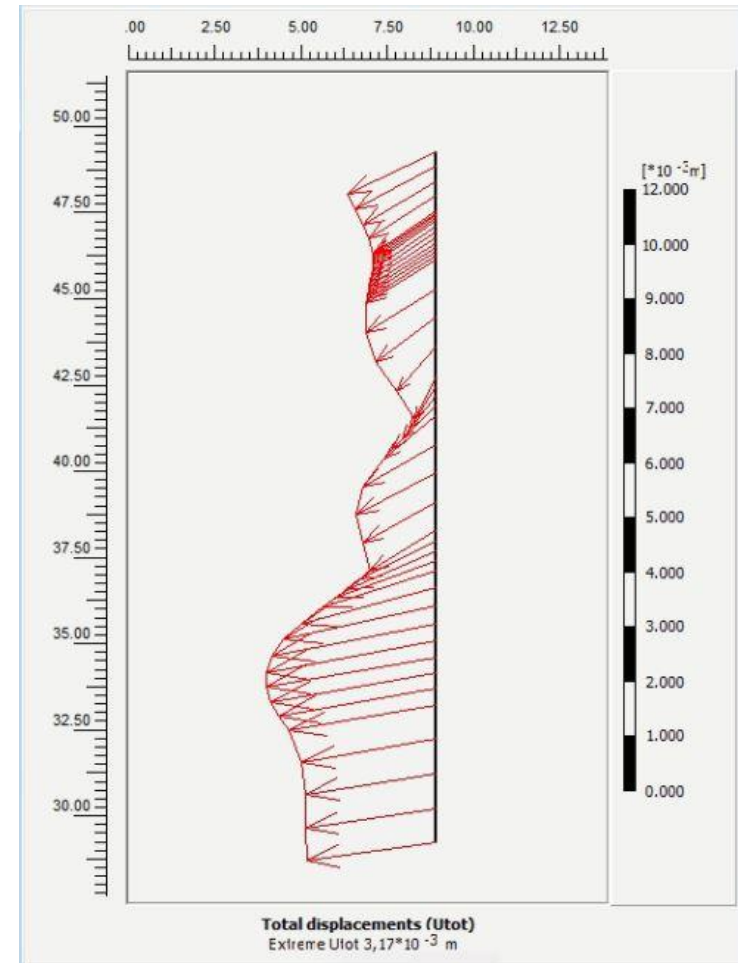
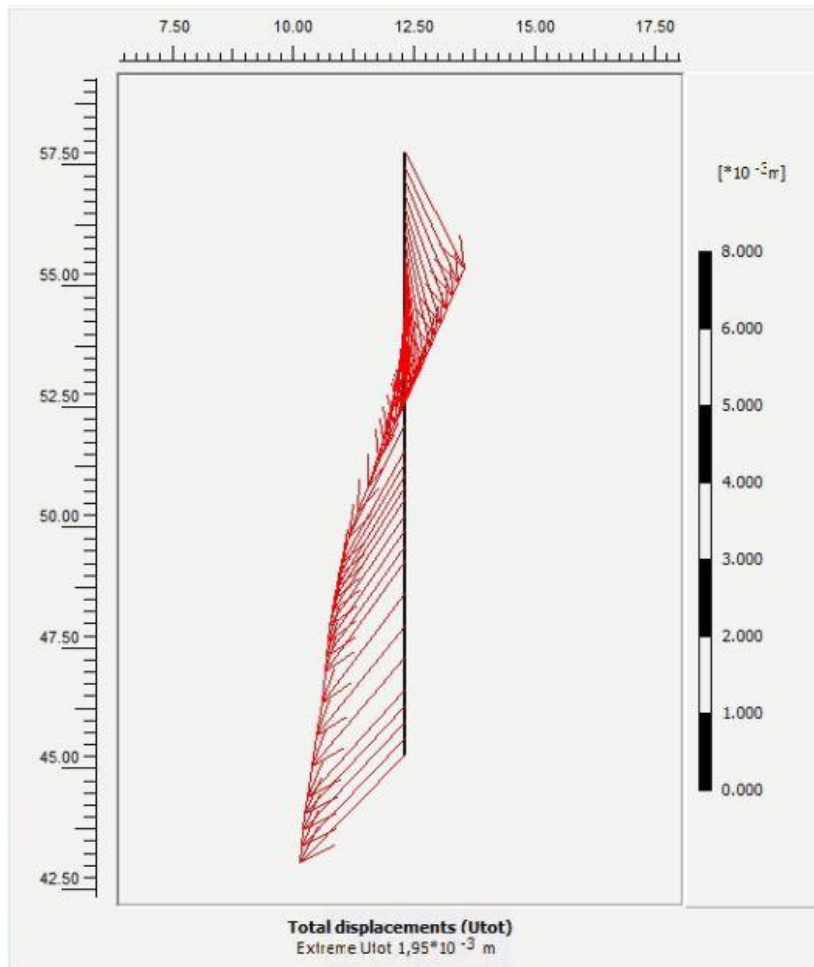
Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.



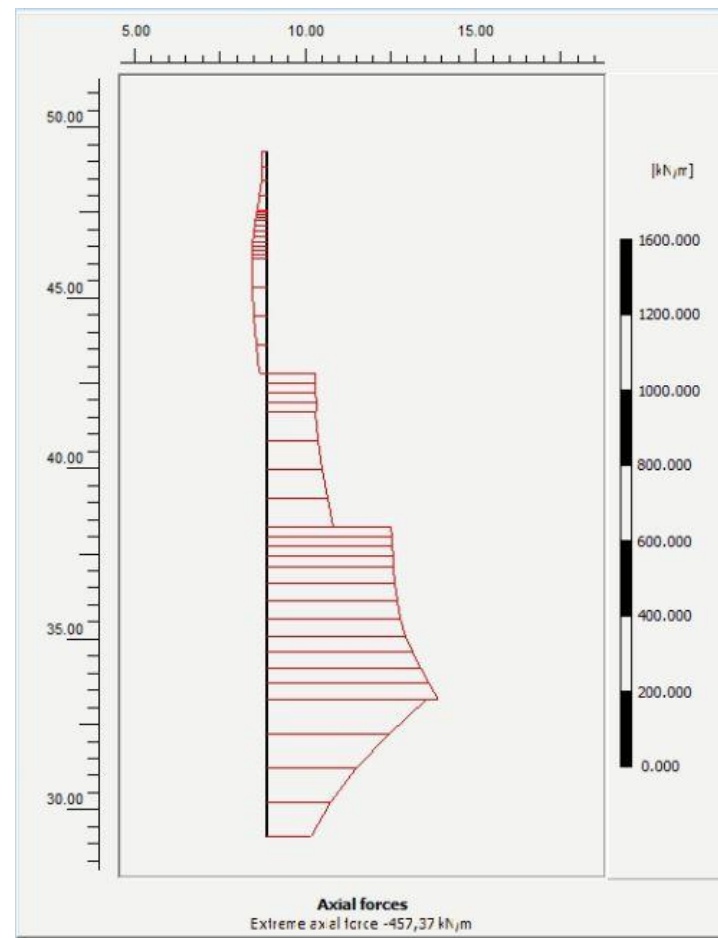
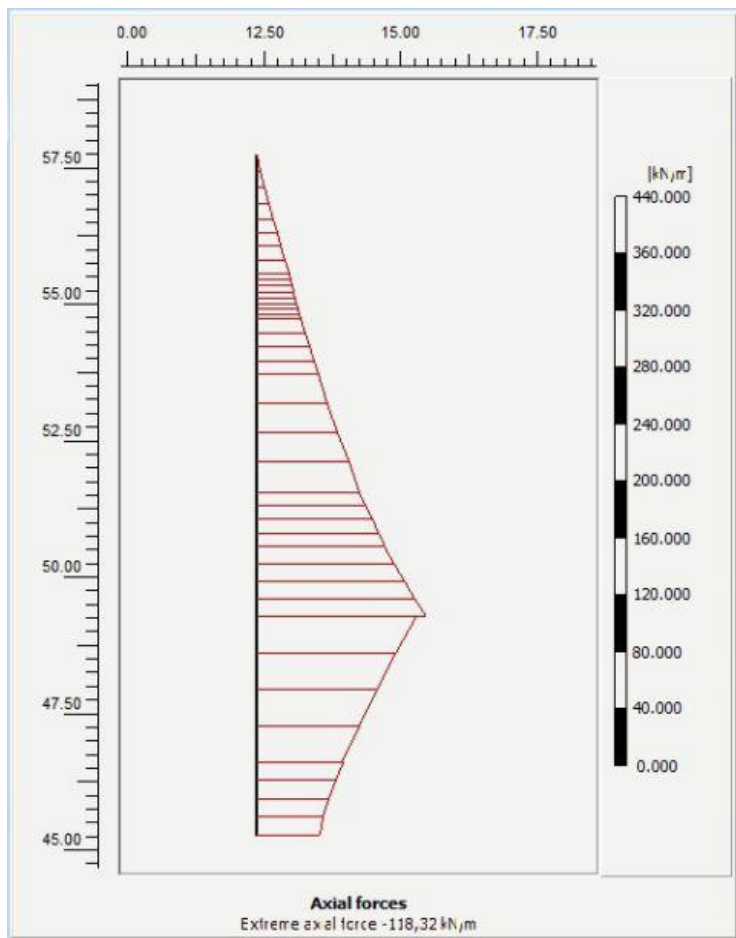
Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.



Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας A.

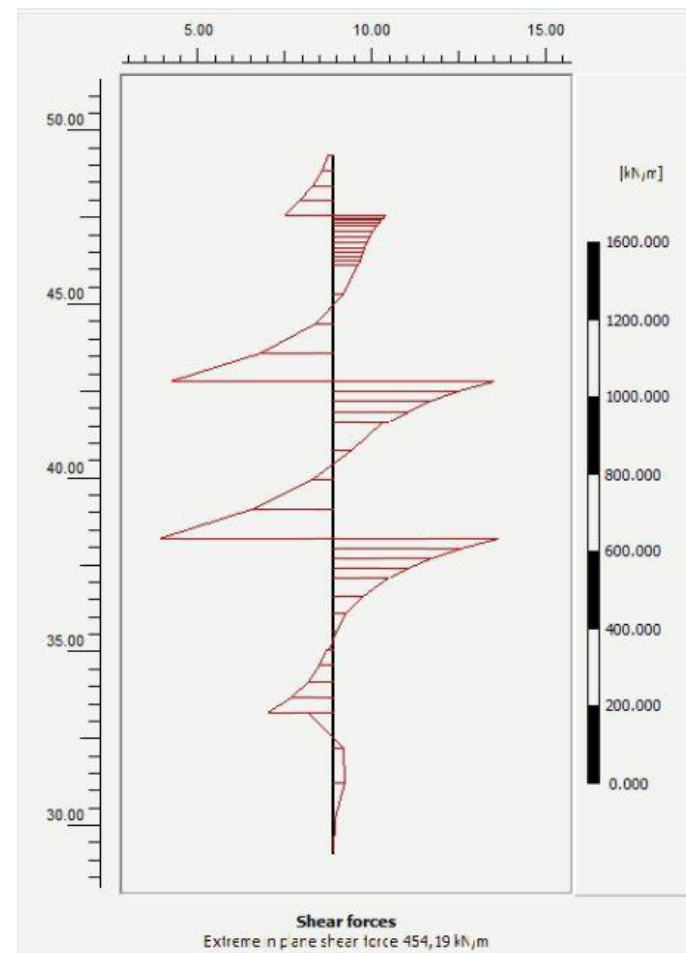
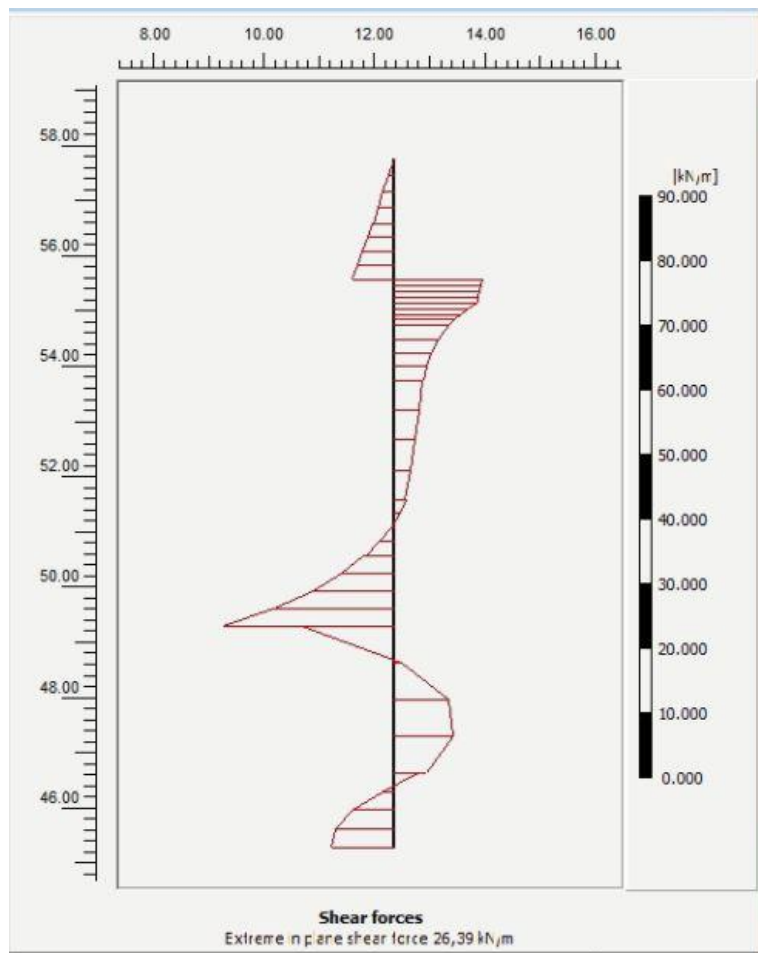


Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.

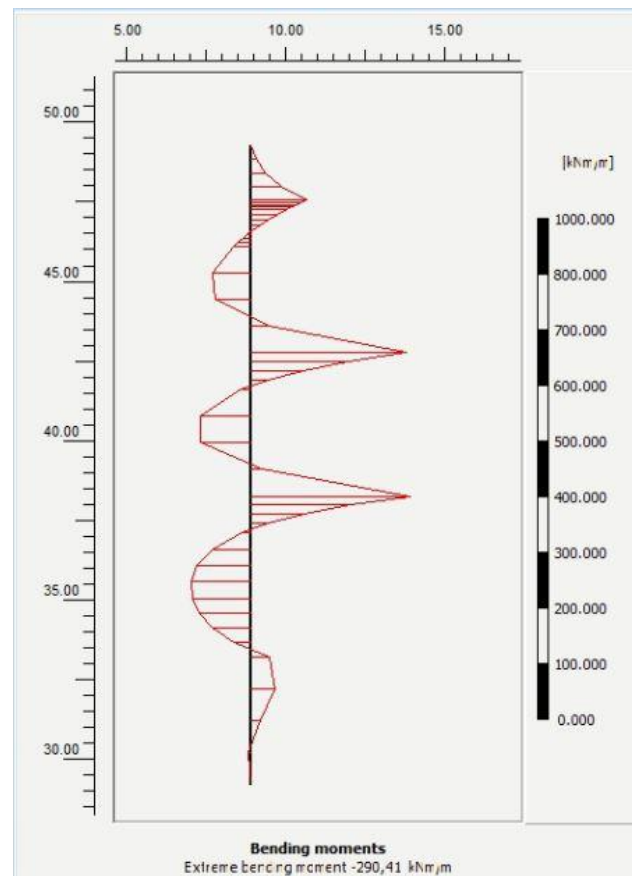
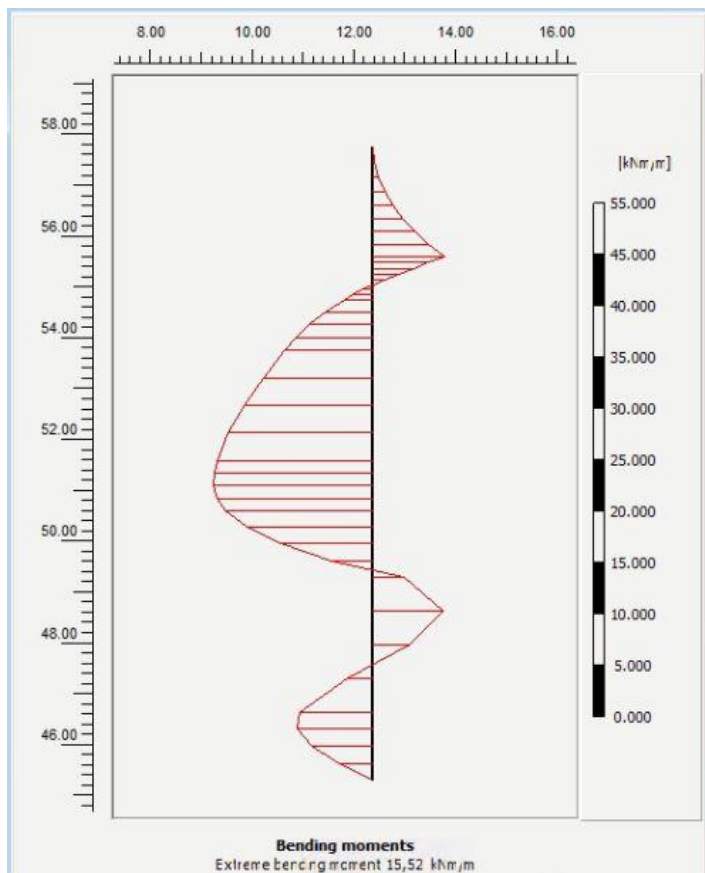


Χωρική κατανομή των αξονικών δυνάμεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.



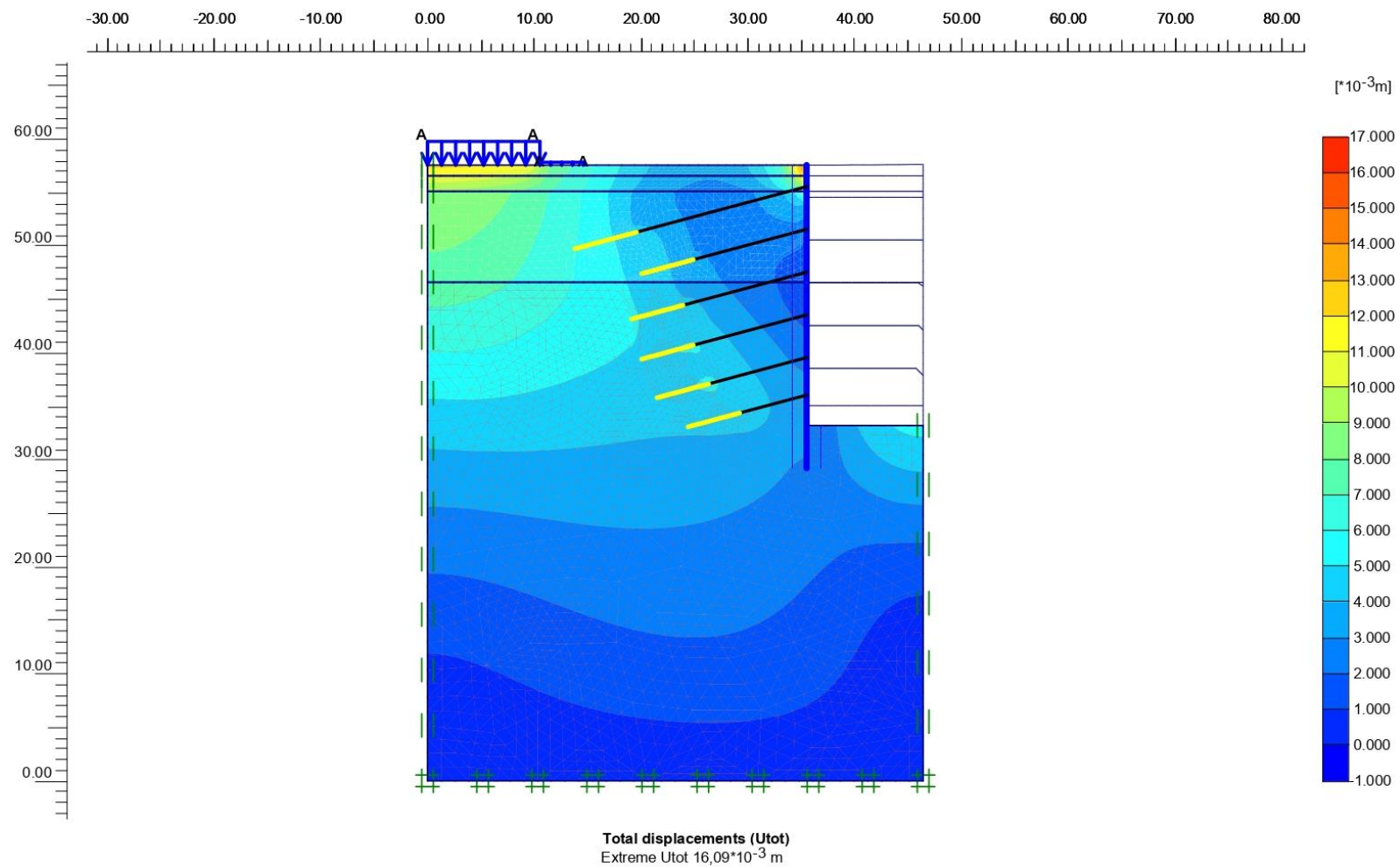


Χωρική κατανομή των διατμητικών δυνάμεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.

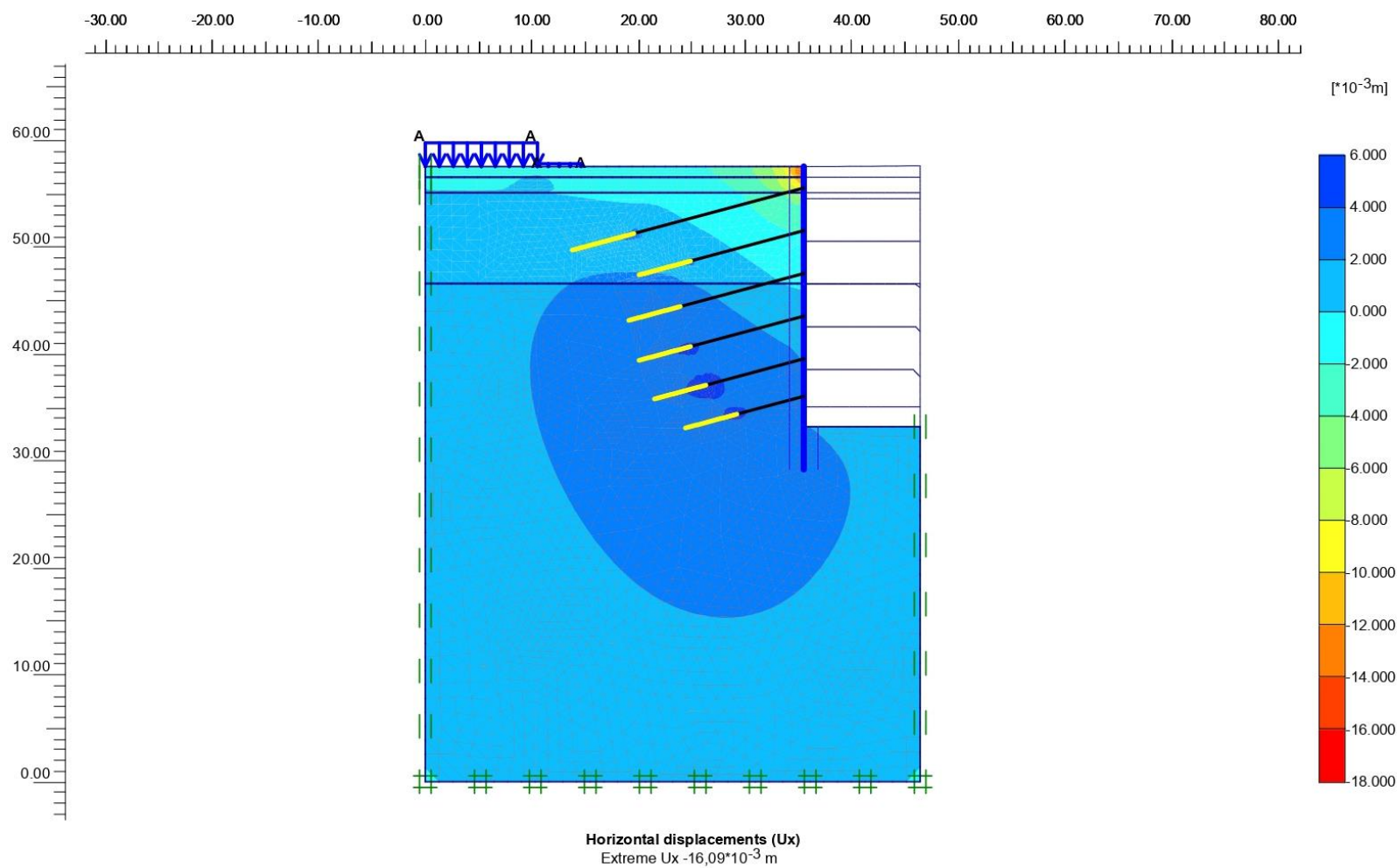


Χωρική κατανομή των ροπών κάμψης για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Α.

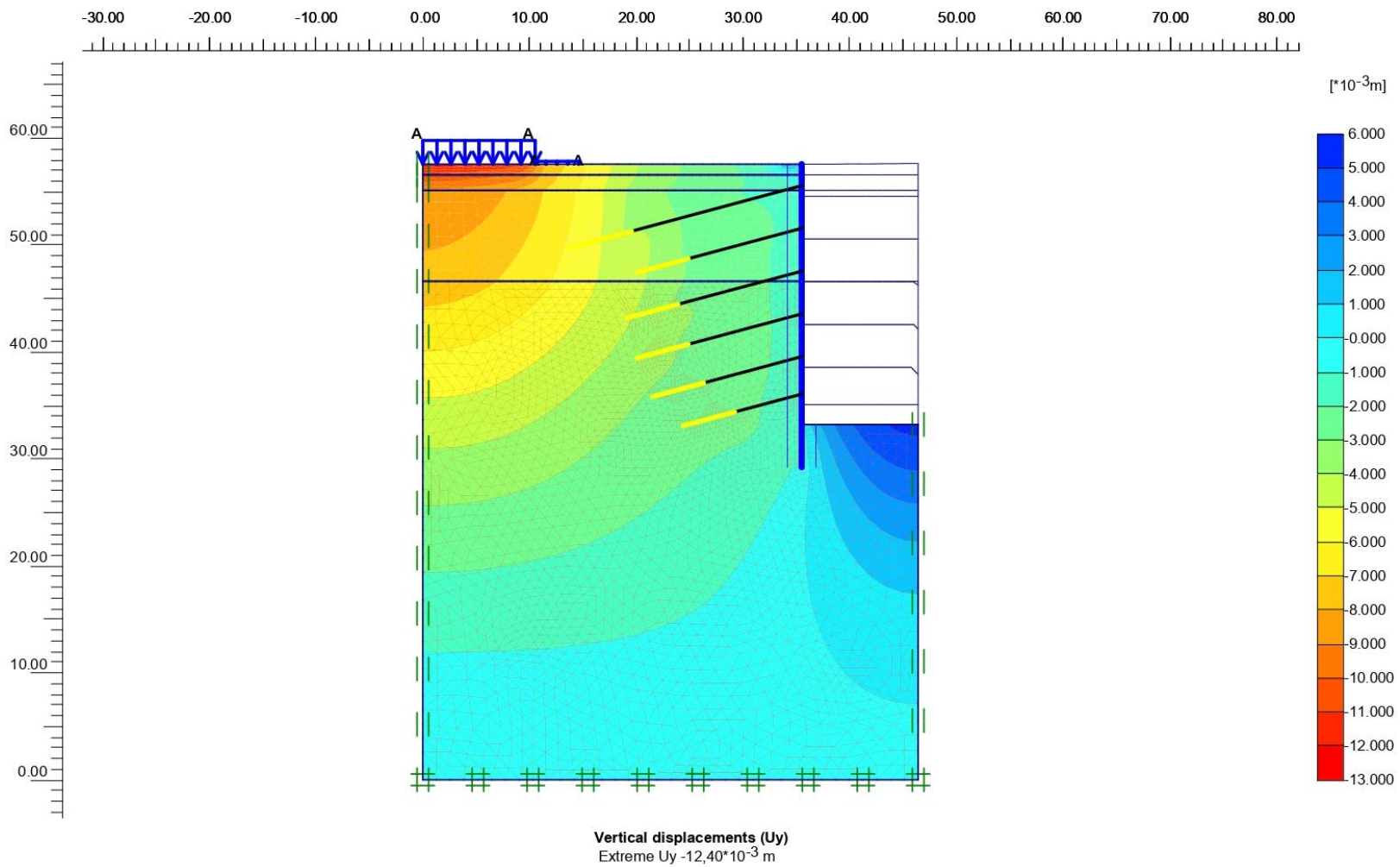
**(ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΜΑΔΑΣ Β)**



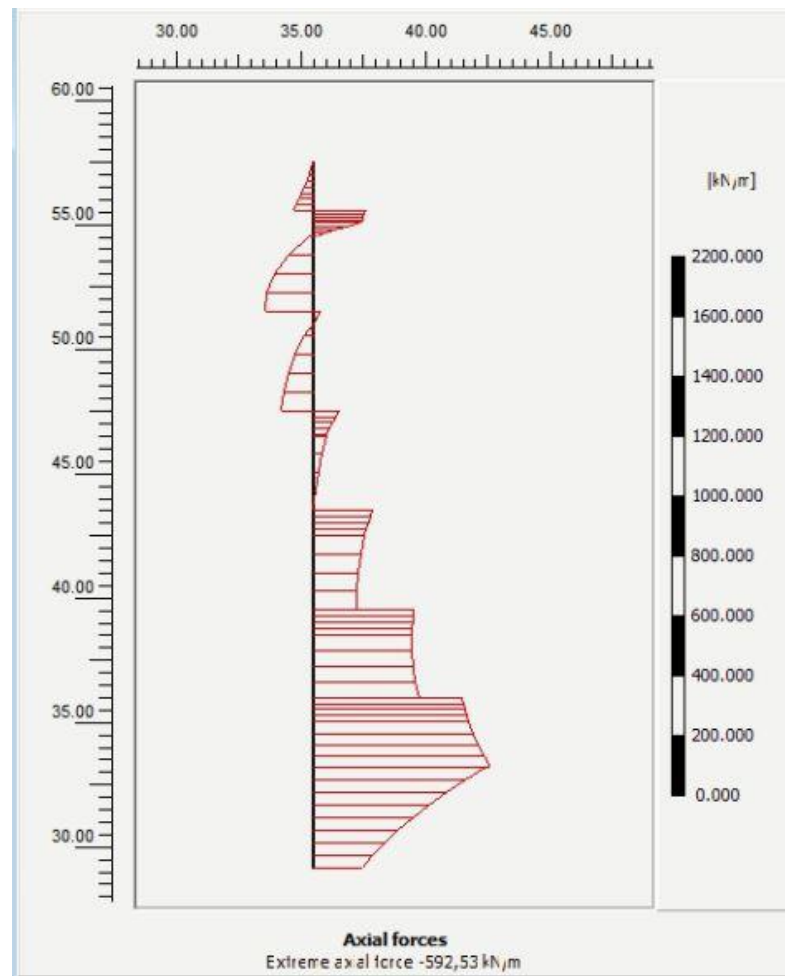
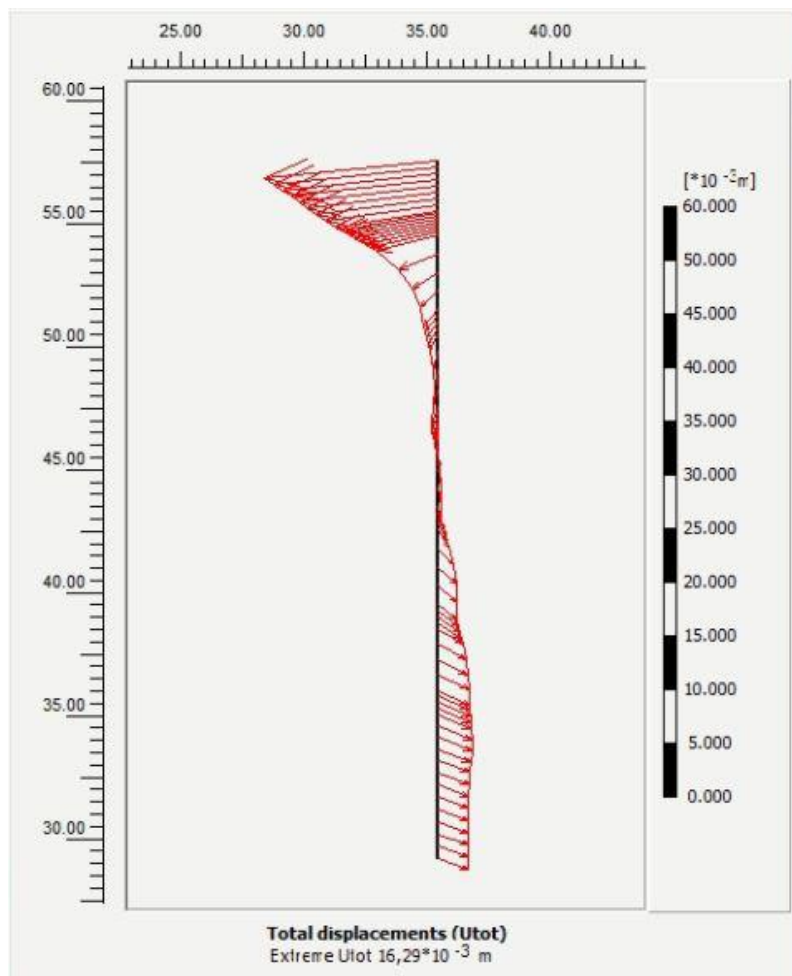
Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.



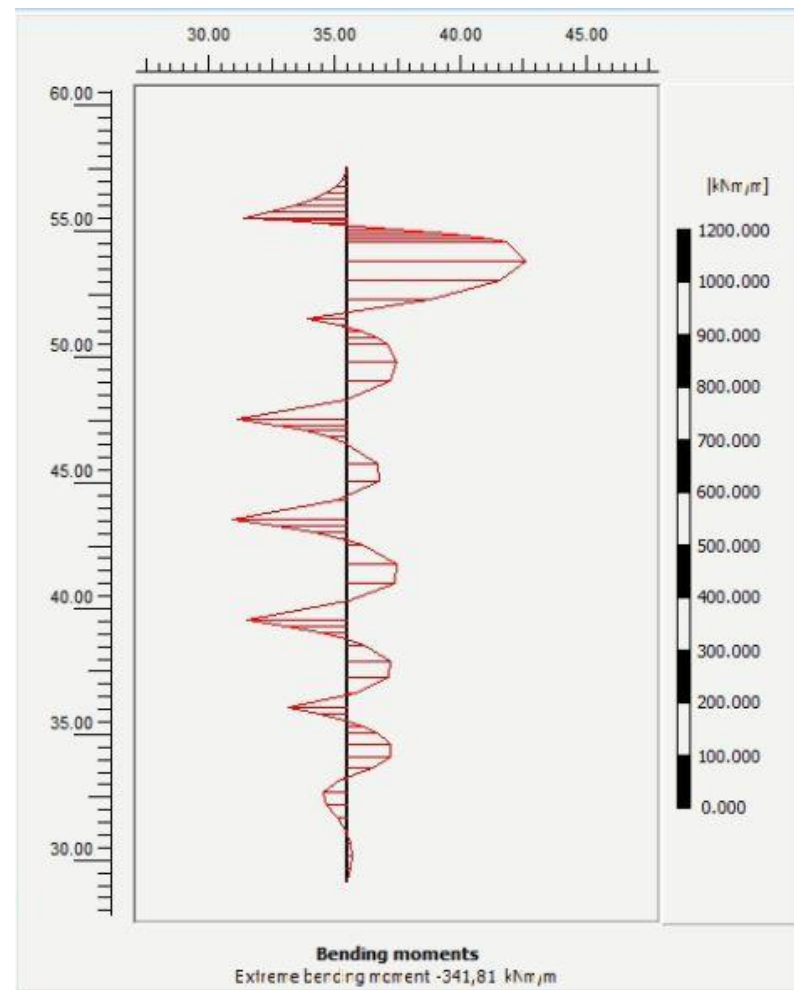
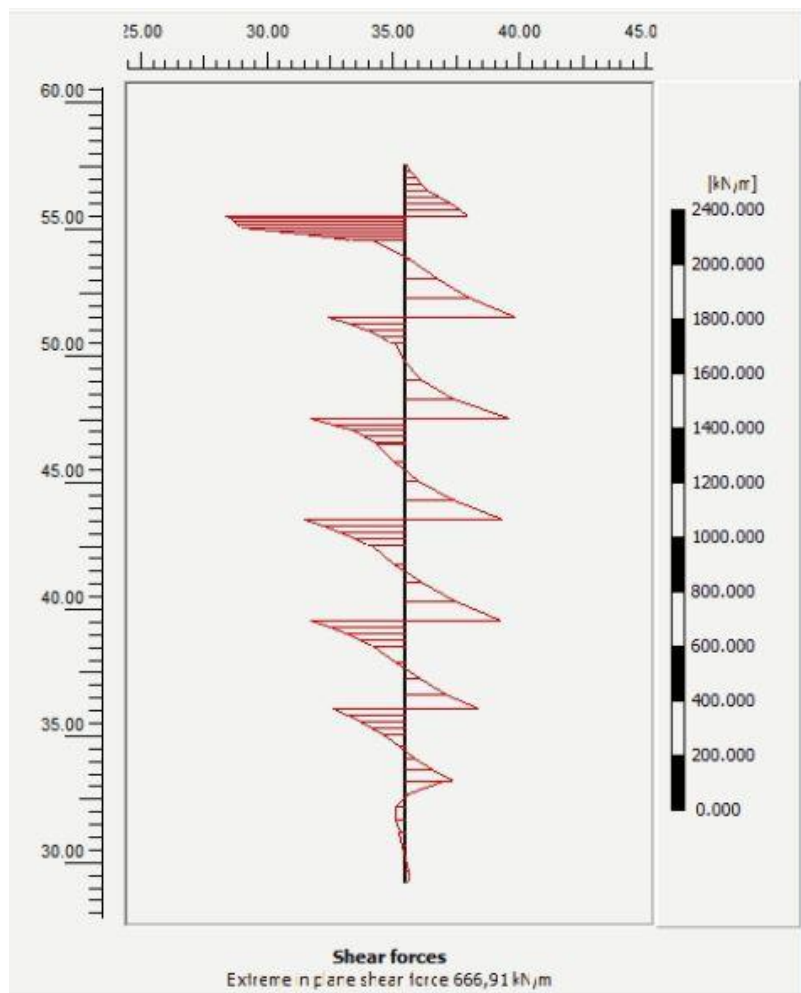
Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.



Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.

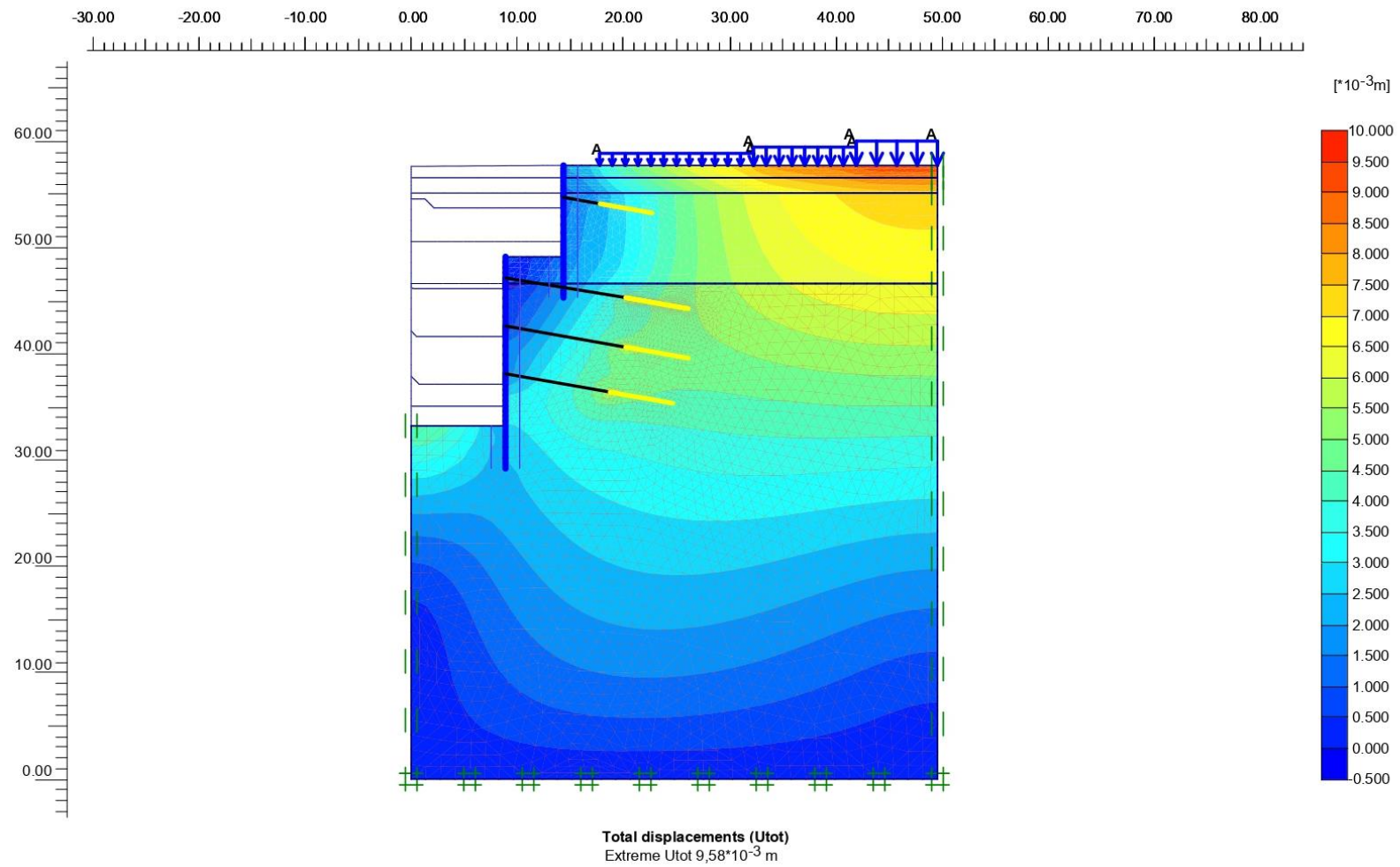


Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων και αξονικών δυνάμεων επί του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.

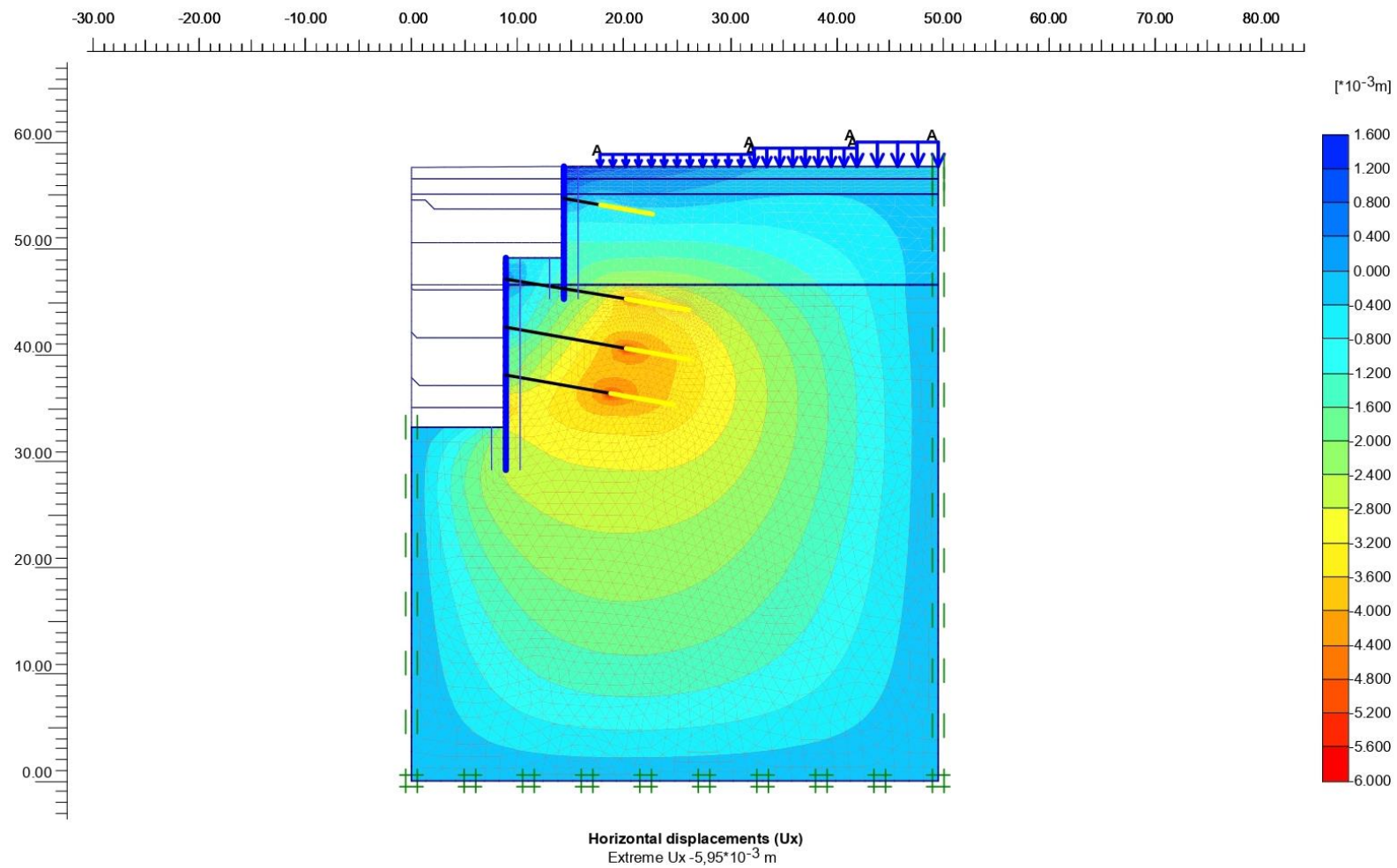


Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων και ροπών κάμψης επί του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.

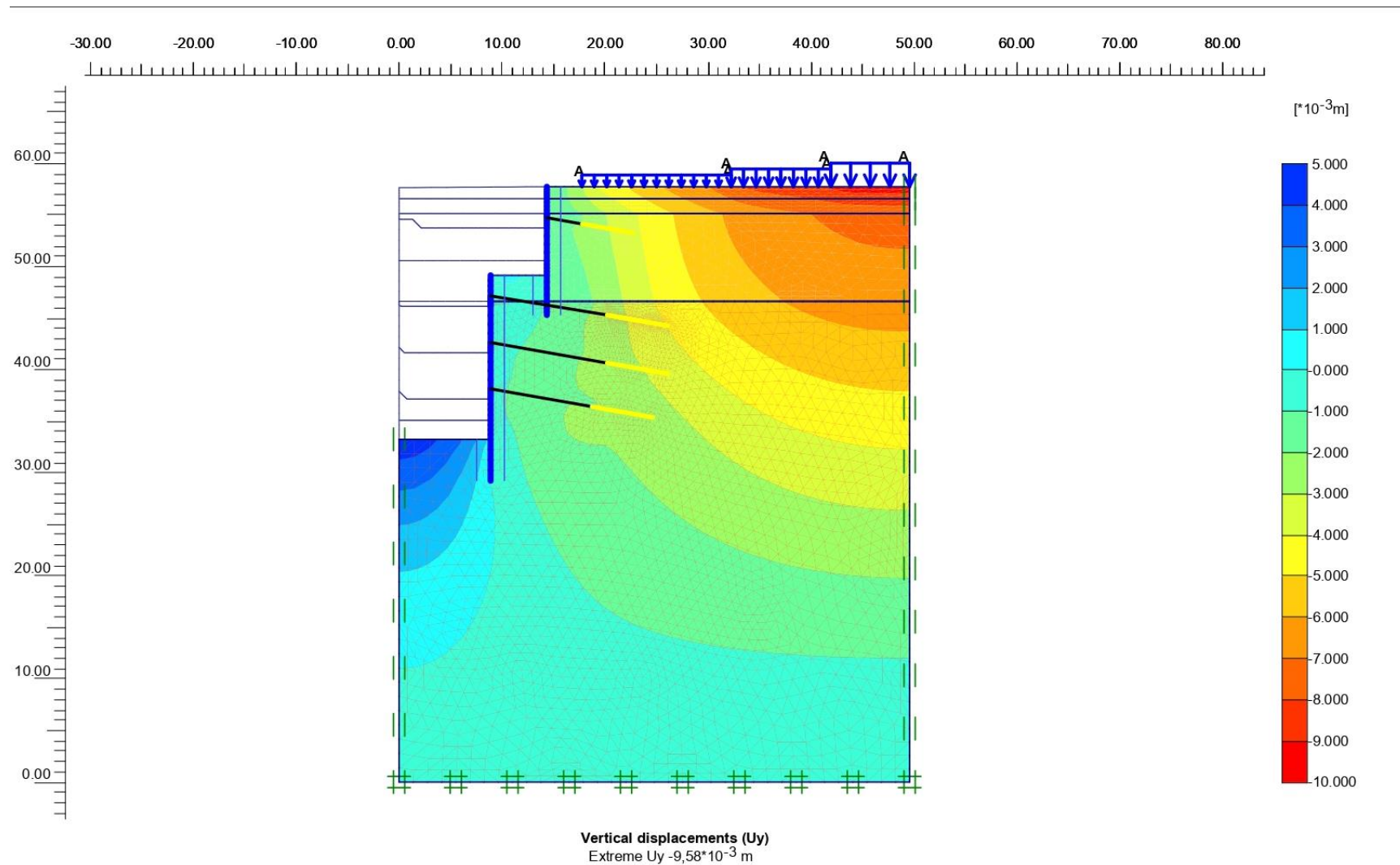




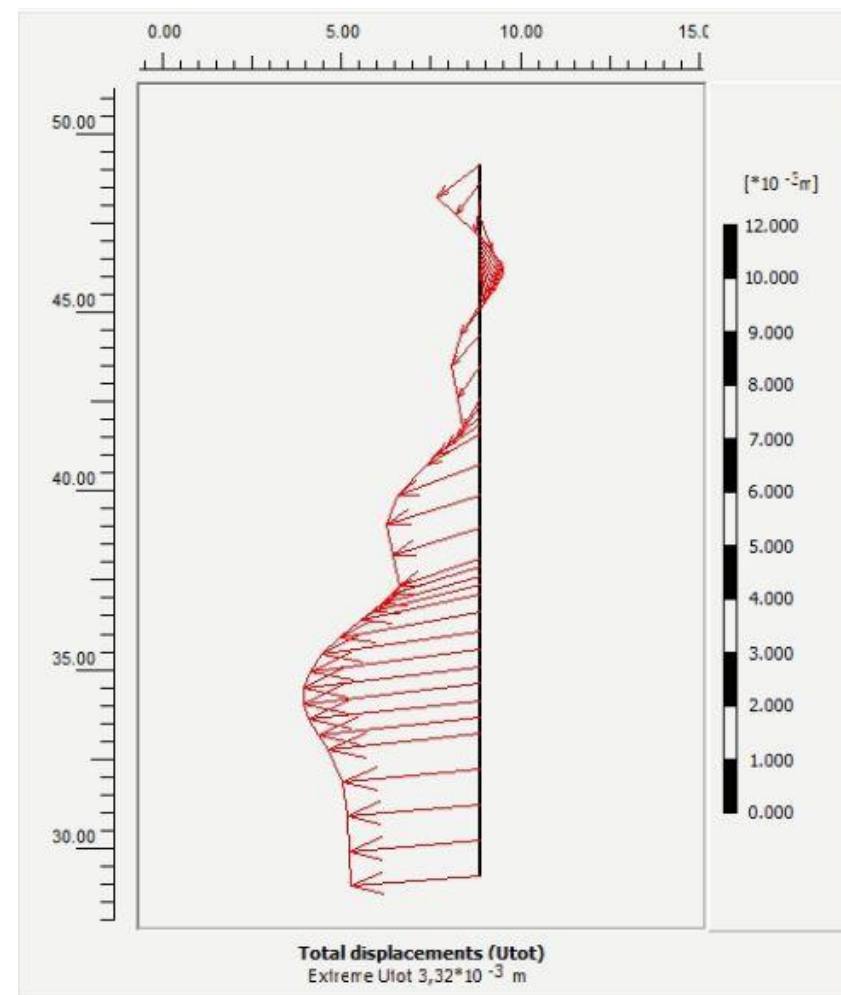
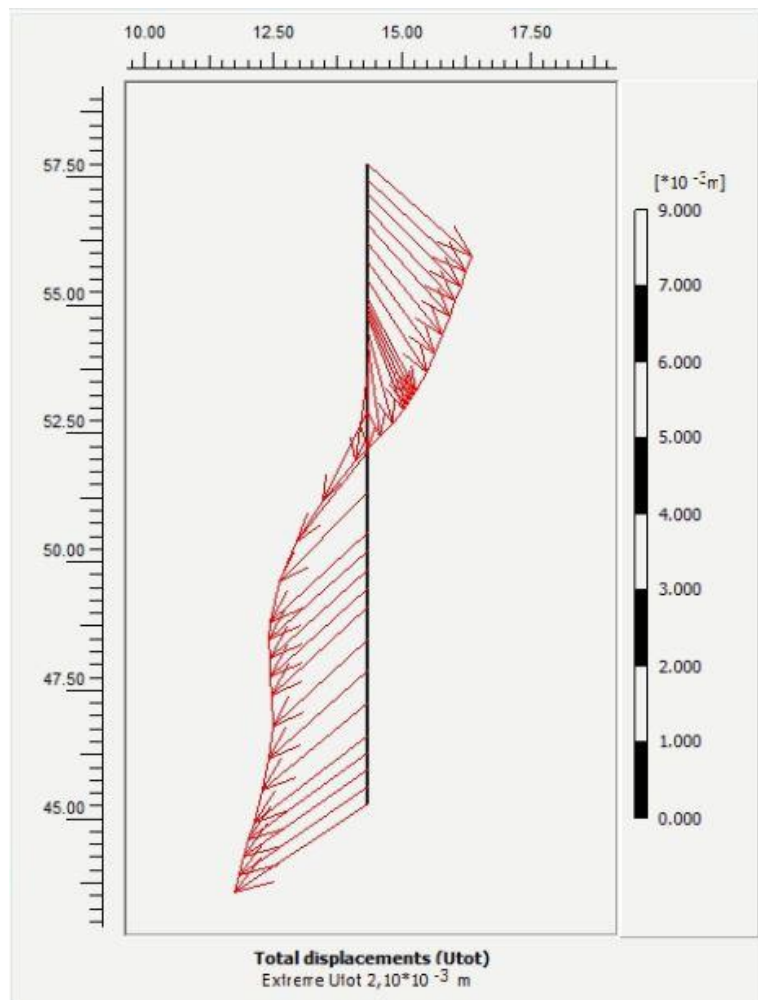
Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.



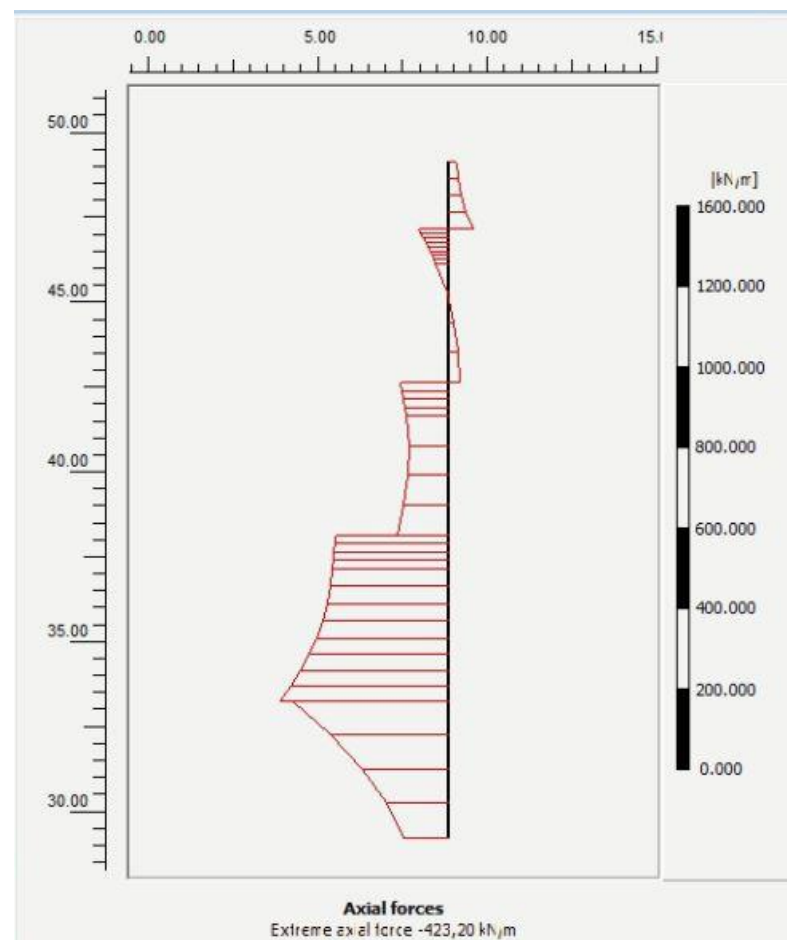
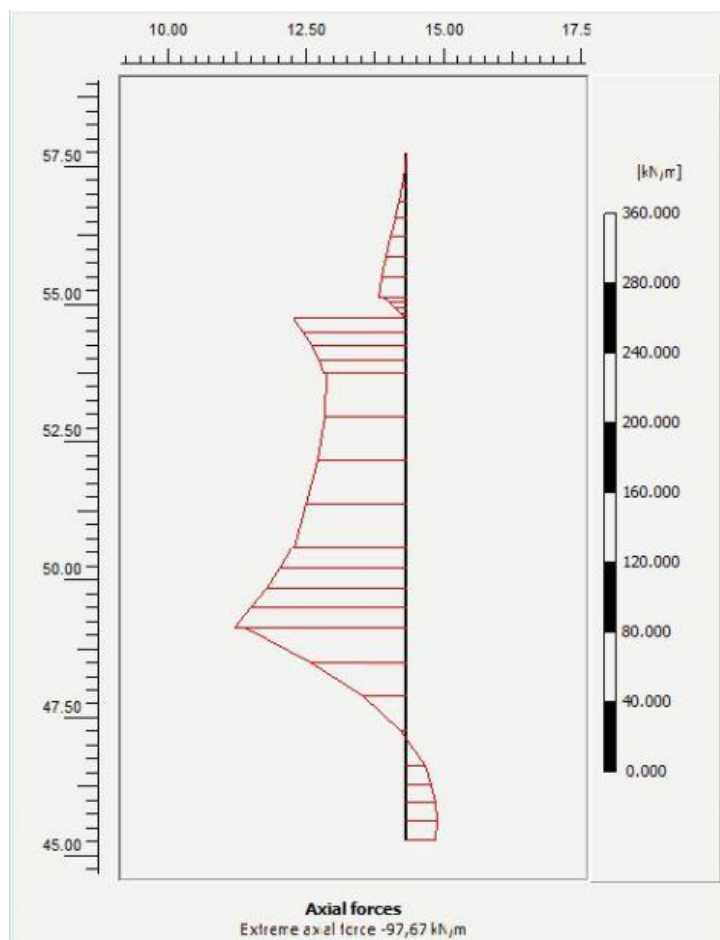
Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.



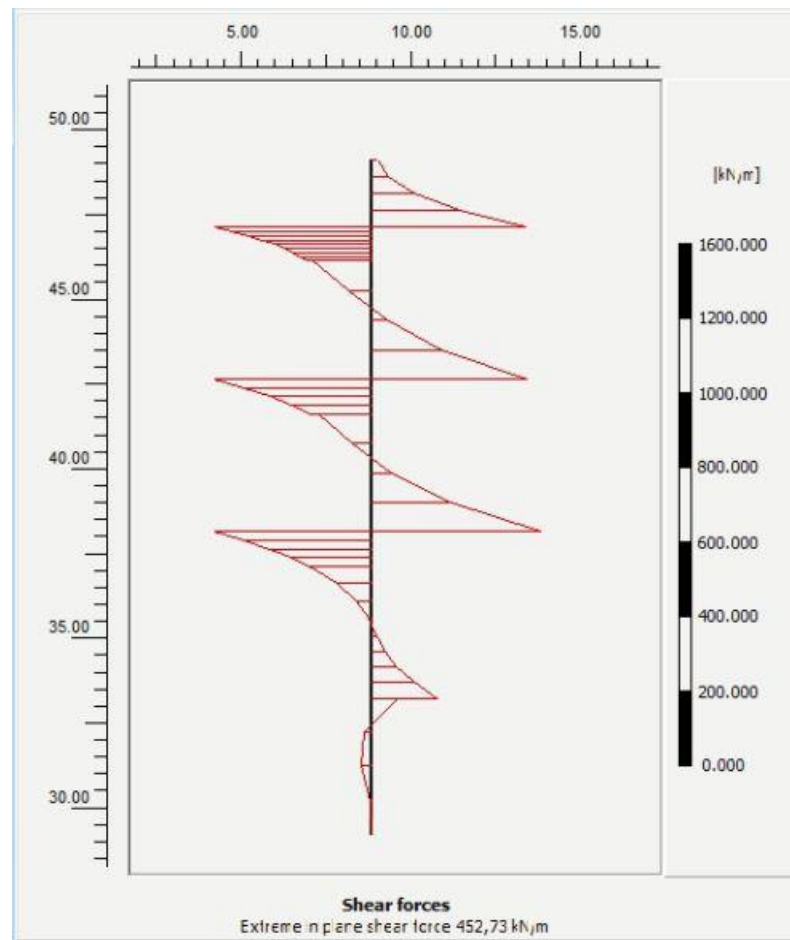
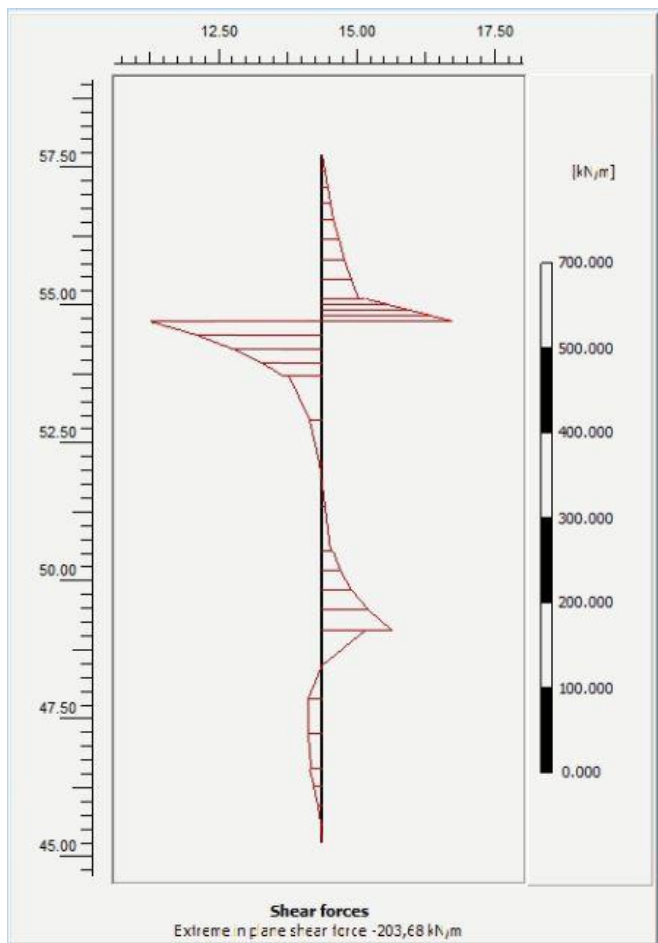
Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.



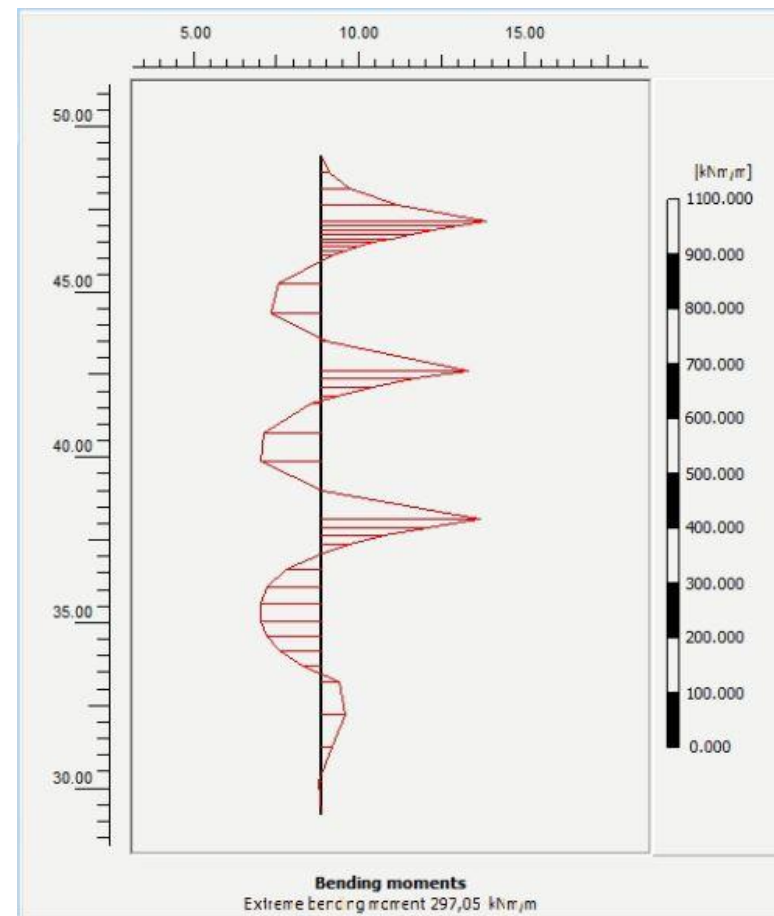
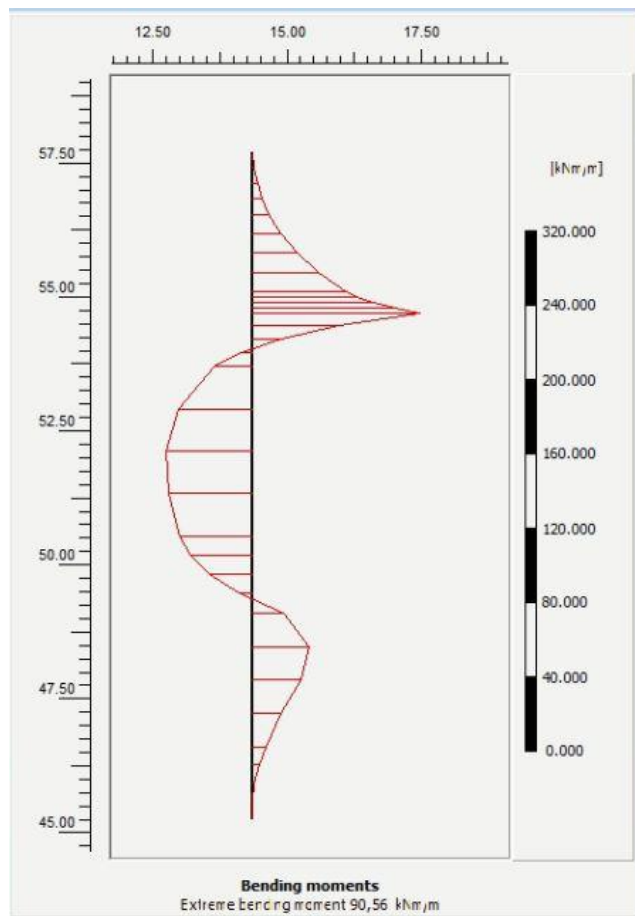
Χωρική κατανομή των συνολικών μετακινήσεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.



Χωρική κατανομή των αξονικών δυνάμεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.



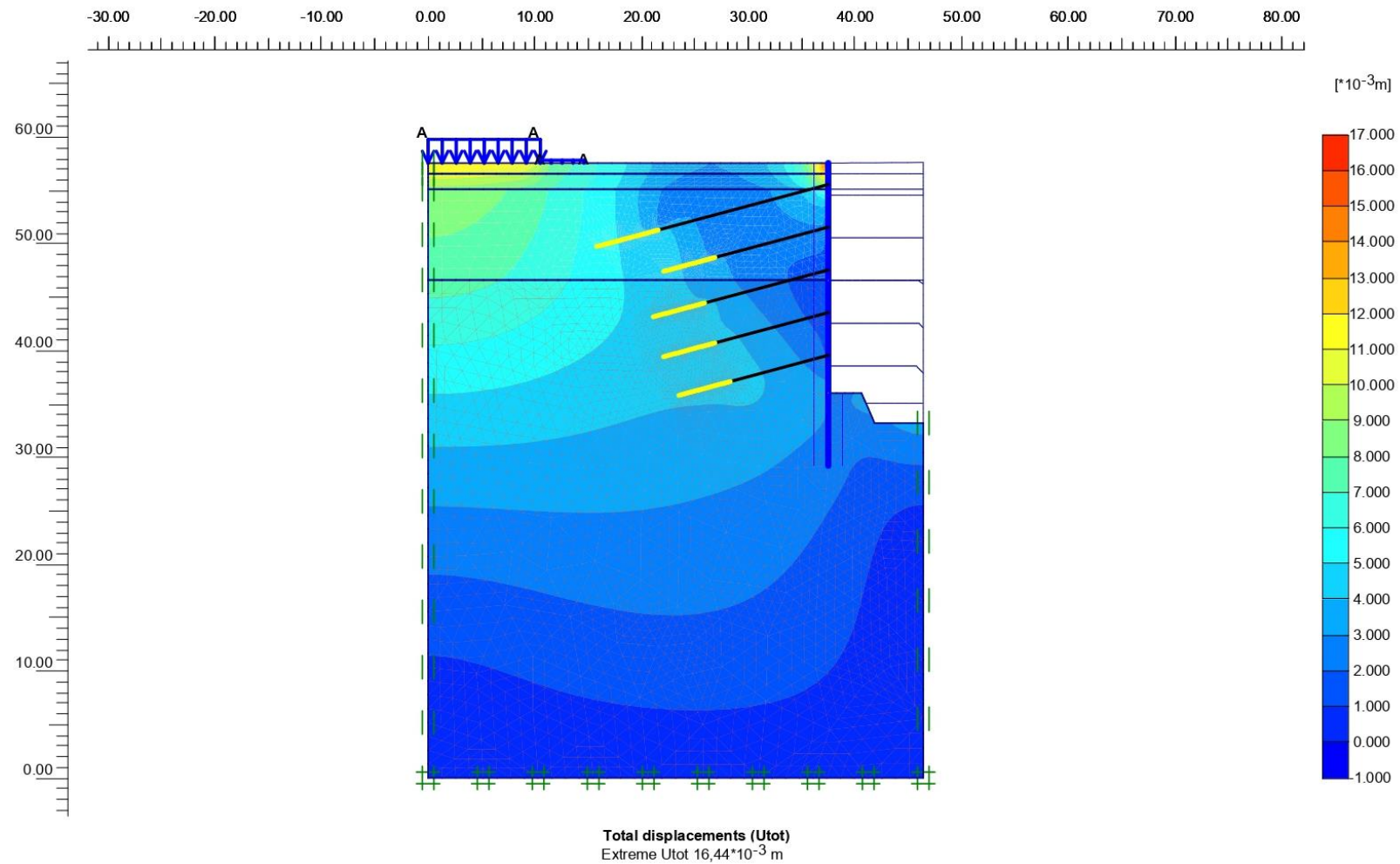
Χωρική κατανομή των διατμητικών δυνάμεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.



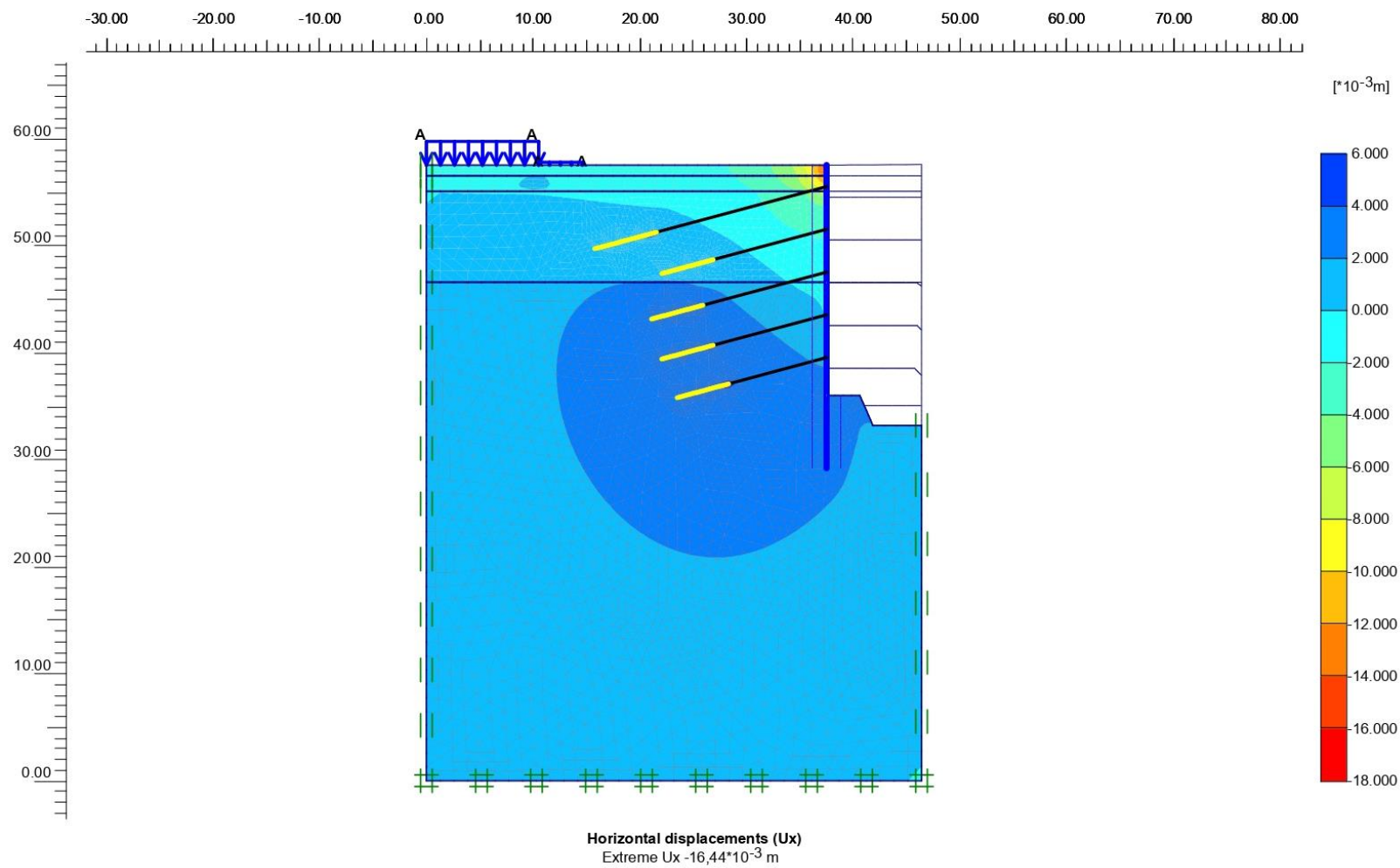
Χωρική κατανομή των ροπών κάμψεως για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Β.

**(ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΜΑΔΑΣ Γ)**

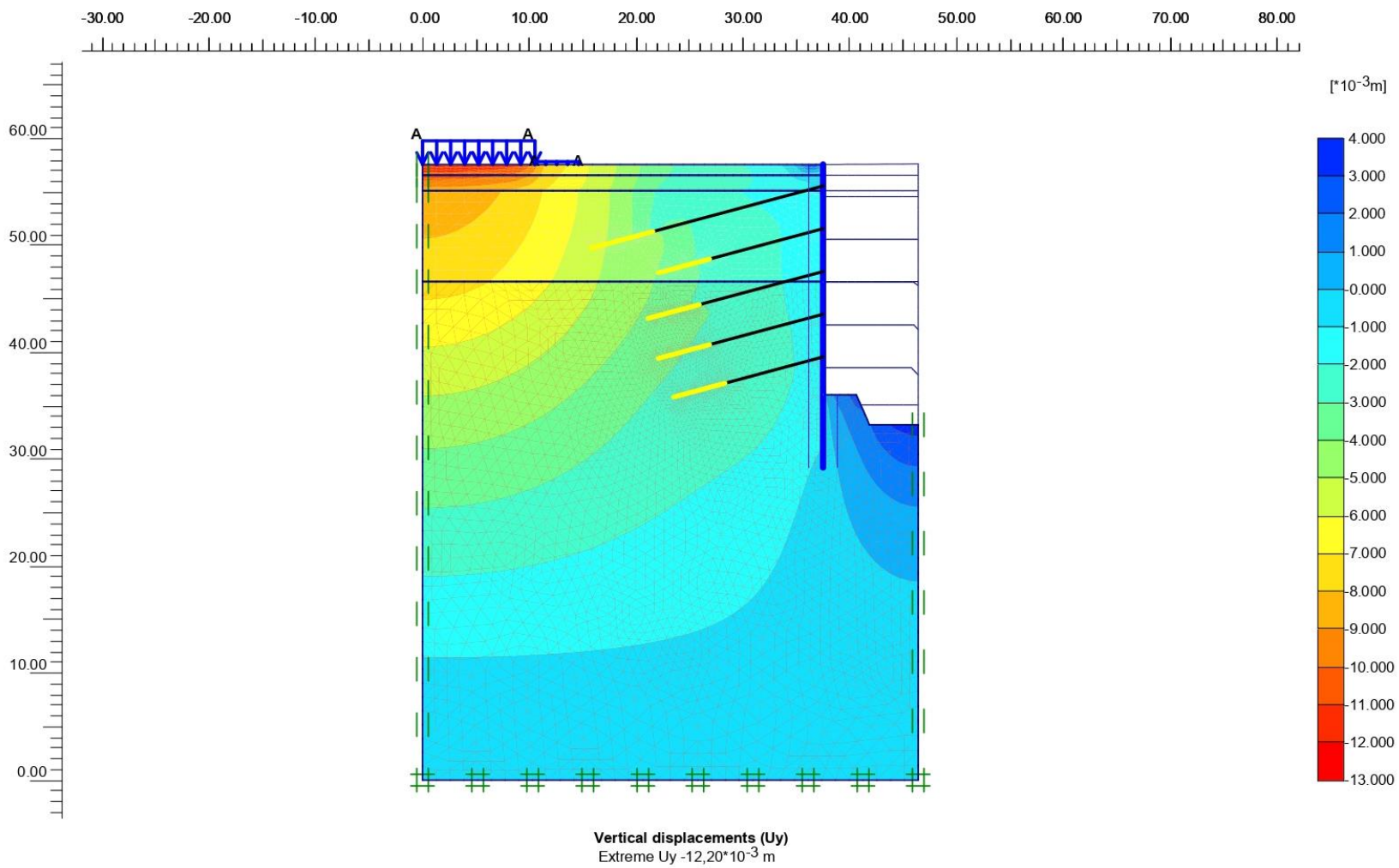




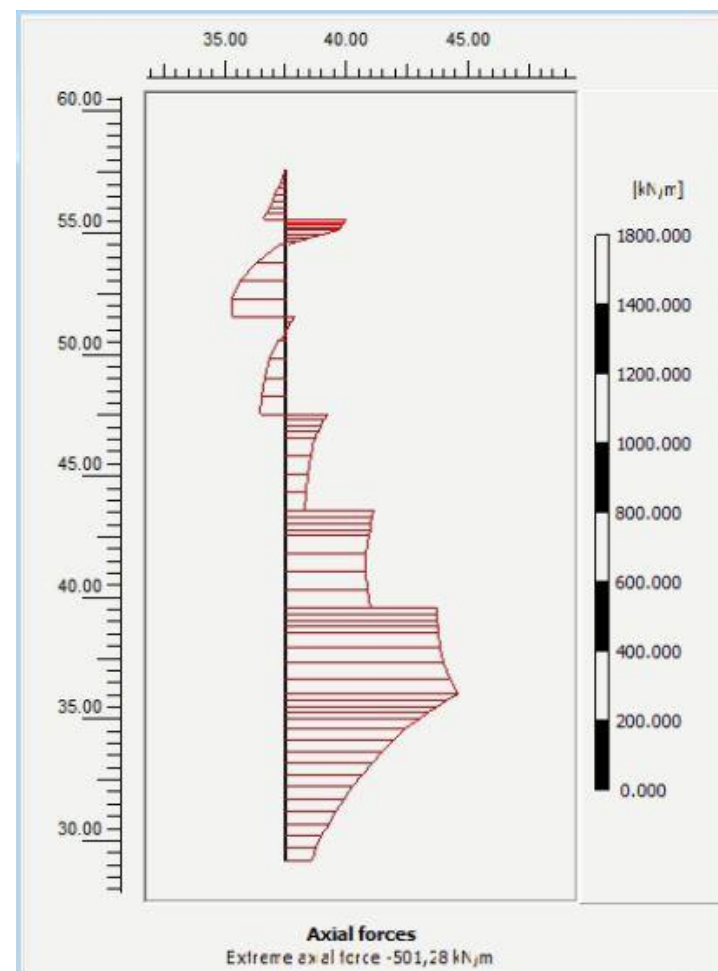
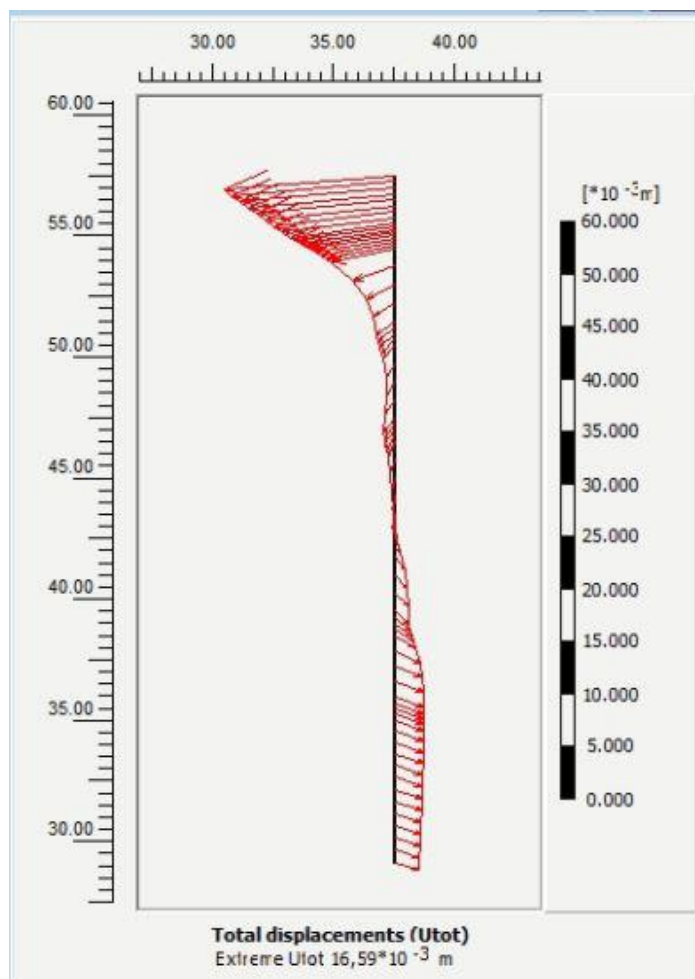
Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.



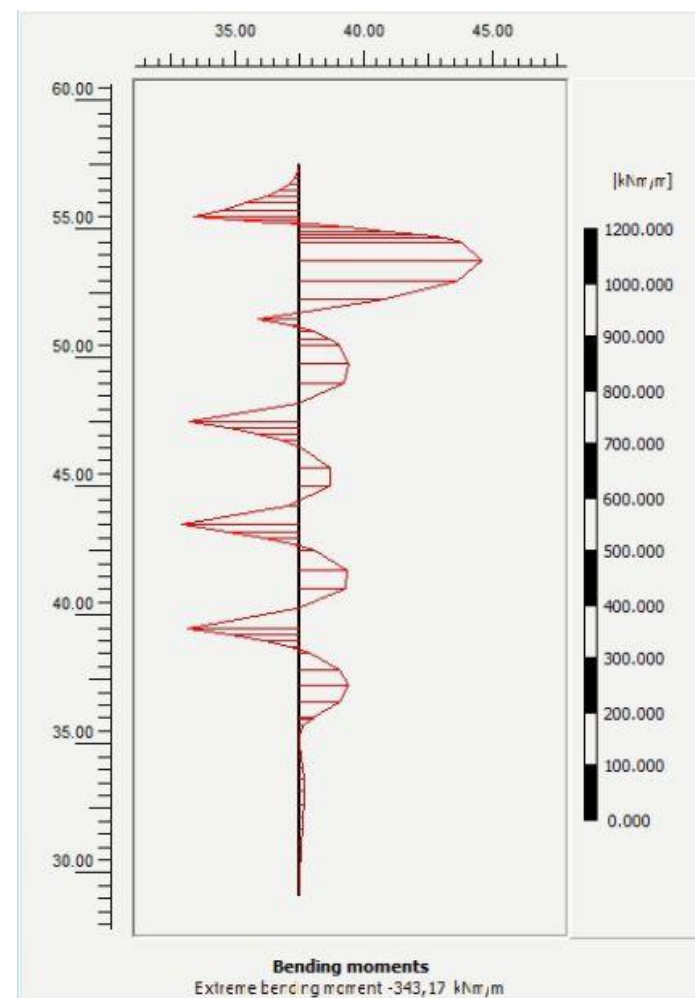
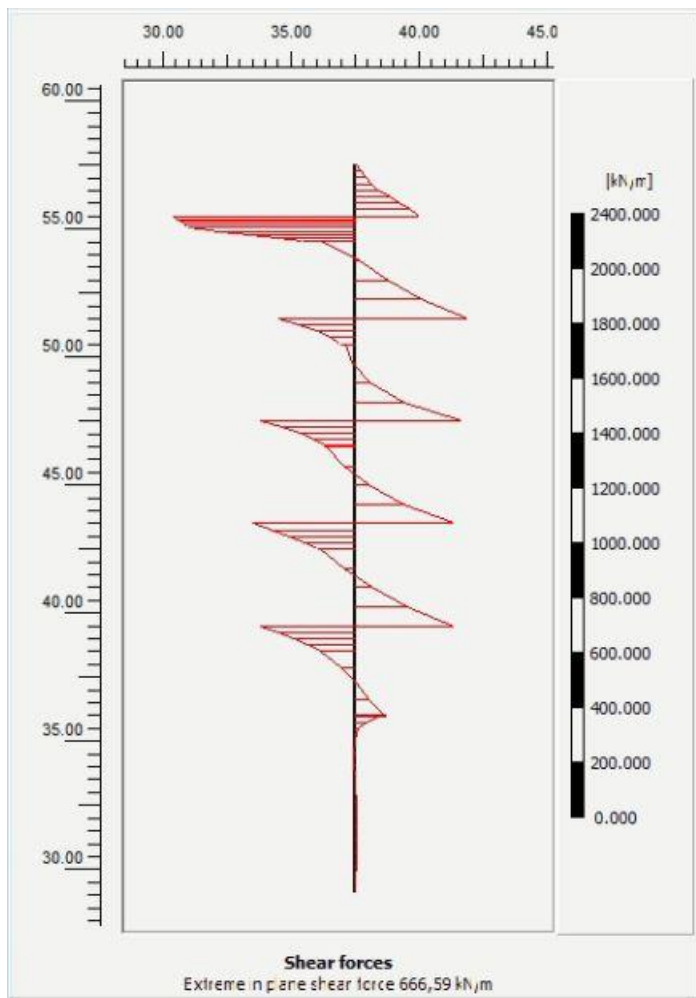
Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.



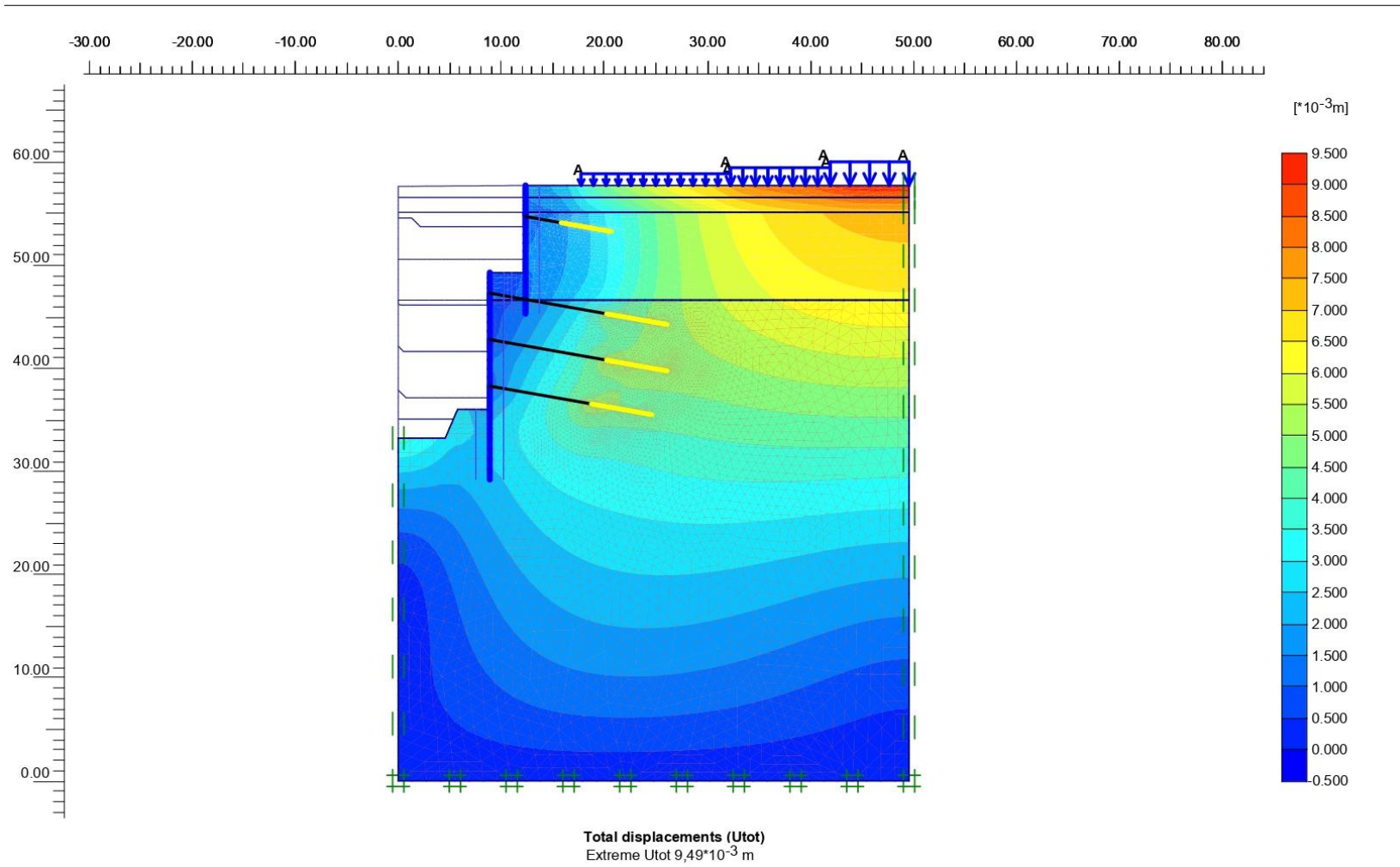
Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.



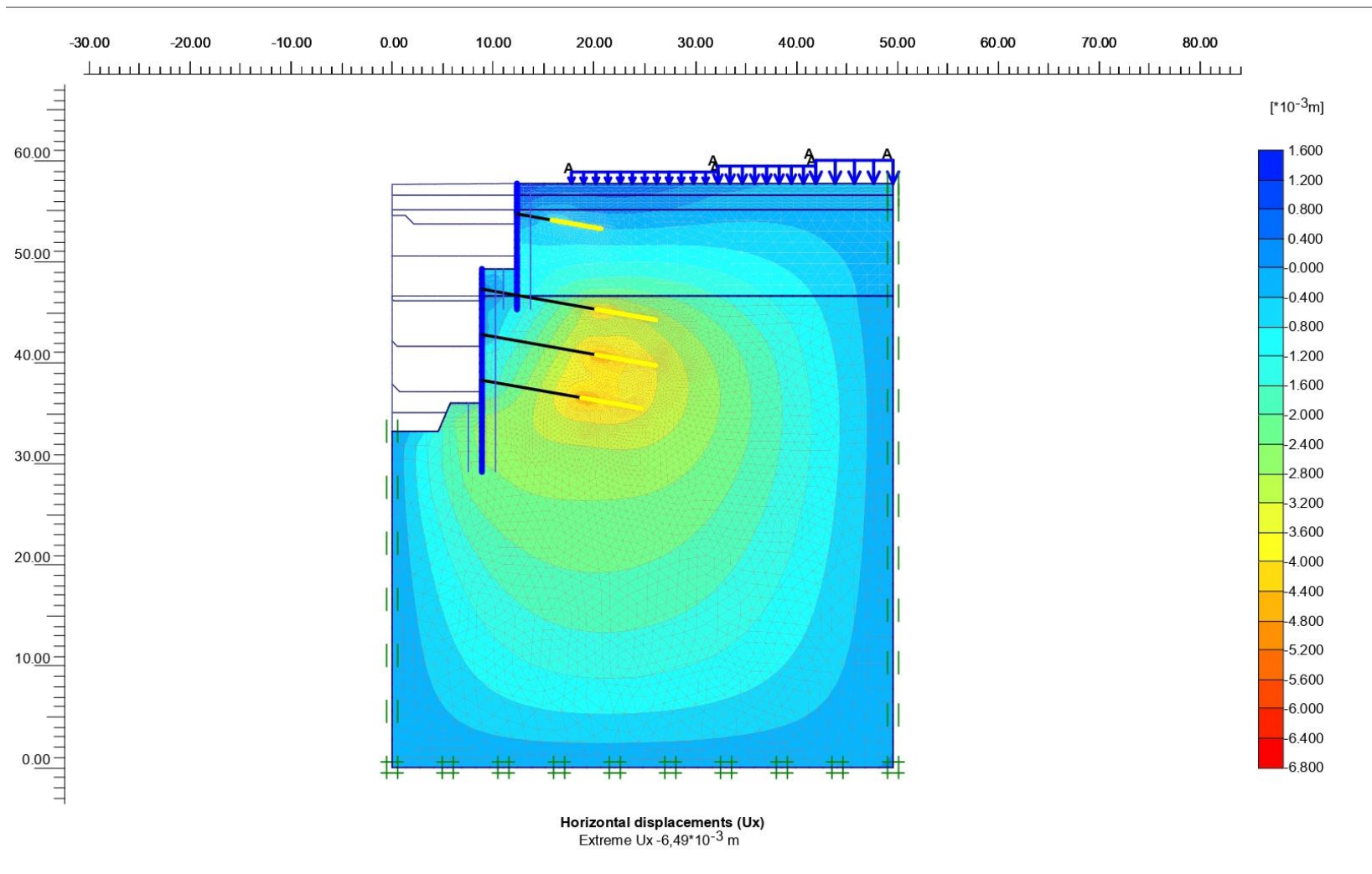
Χωρική κατανομή συνολικών μετακινήσεων και αξονικών δυνάμεων επί του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.



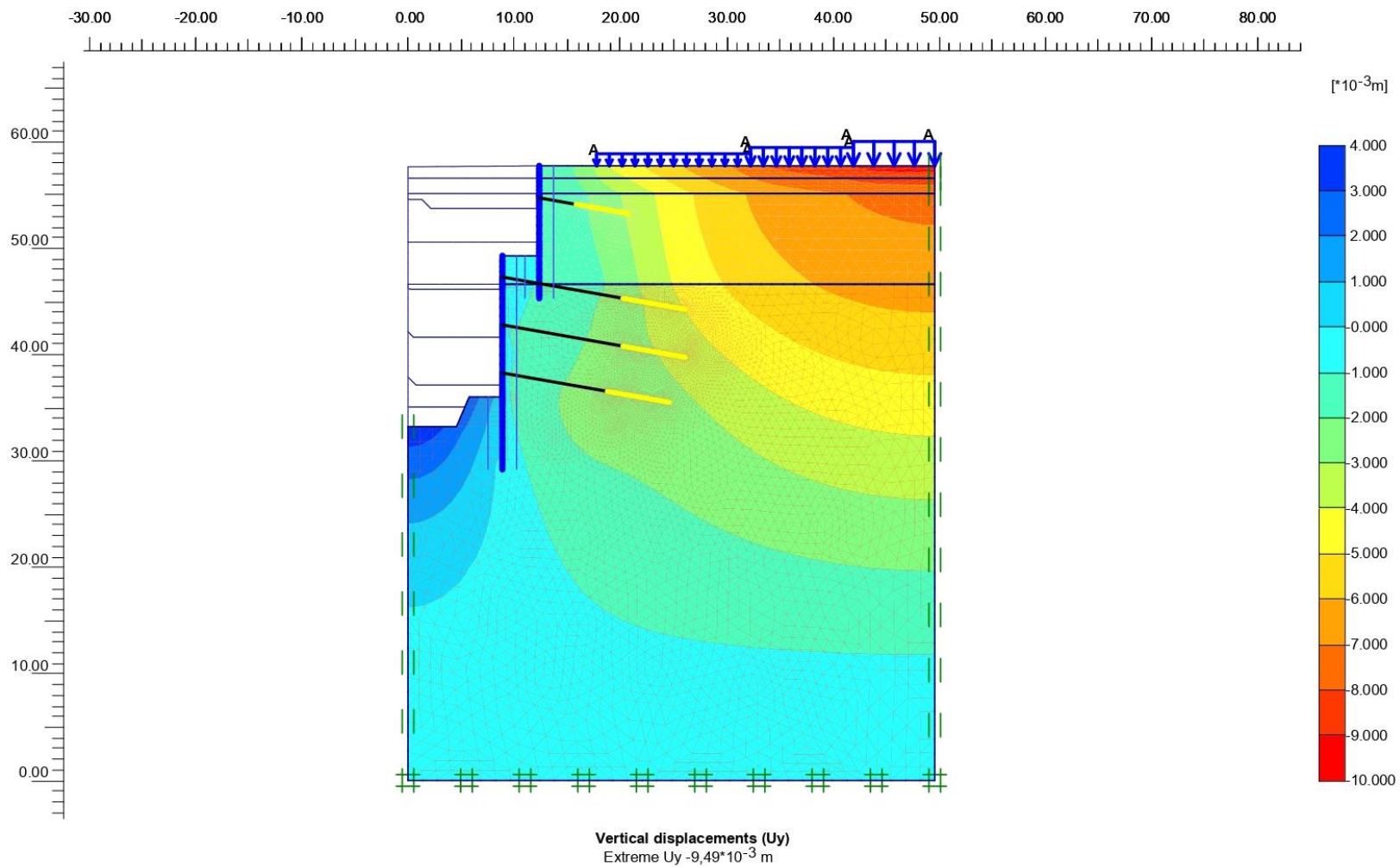
Χωρική κατανομή διατμητικών δυνάμεων και ροπών κάμψης επί του τοίχου αντιστήριξης του ανατολικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.



Συνολικές μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.

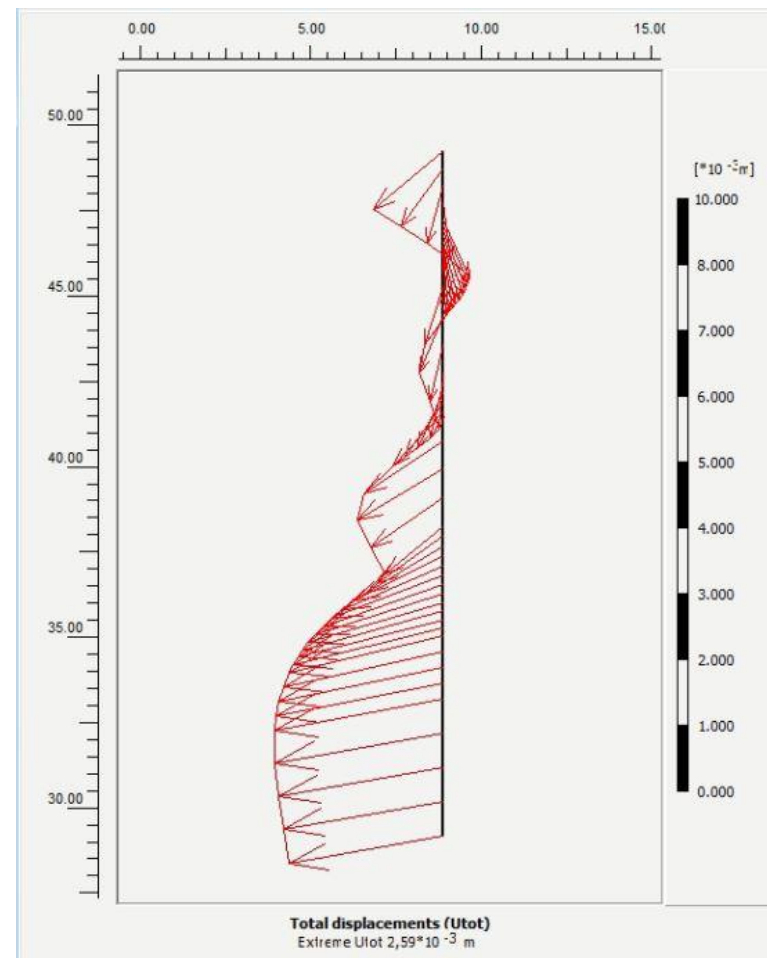
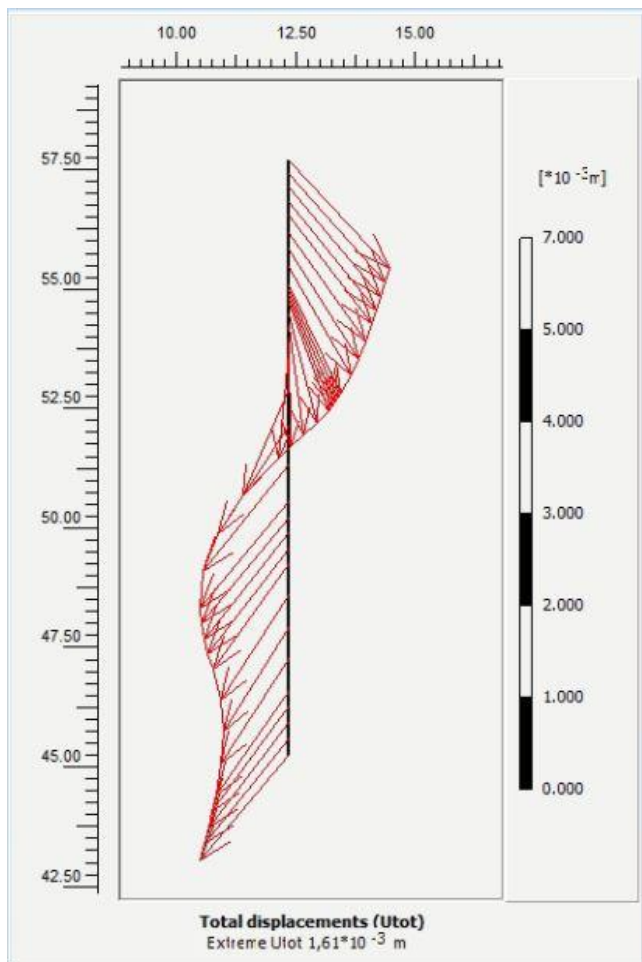


Οριζόντιες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.

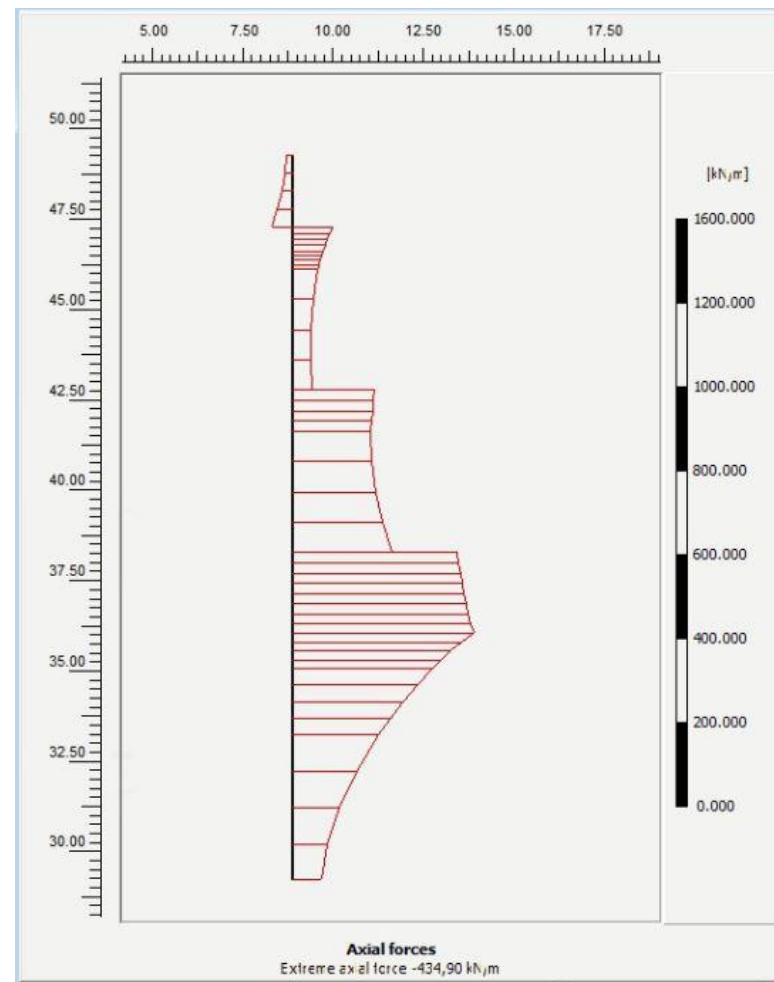
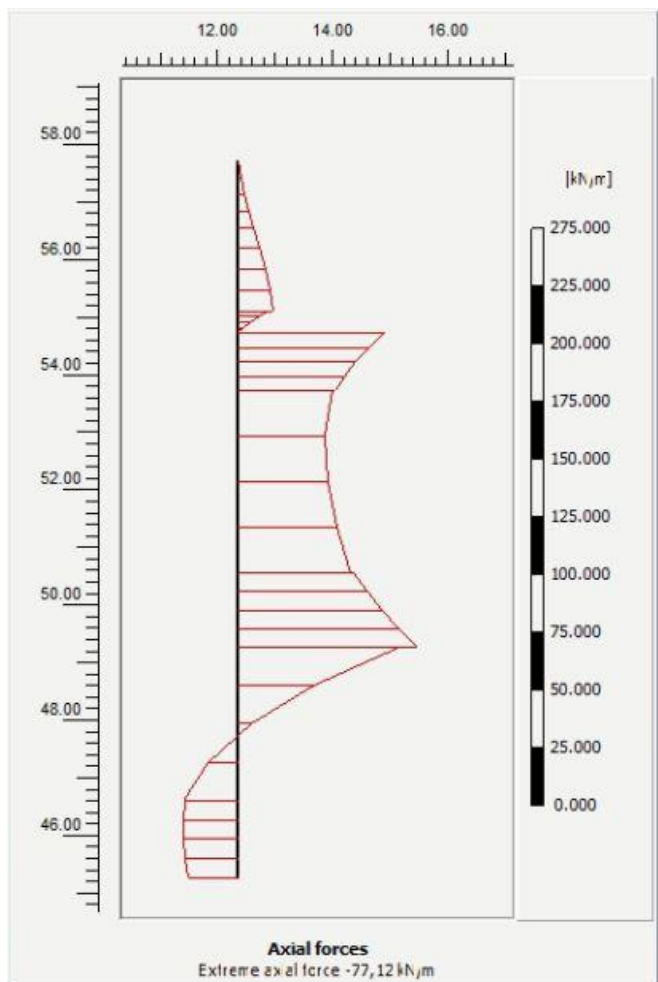


Κατακόρυφες μετακινήσεις του αριθμητικού προσομοιώματος του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.

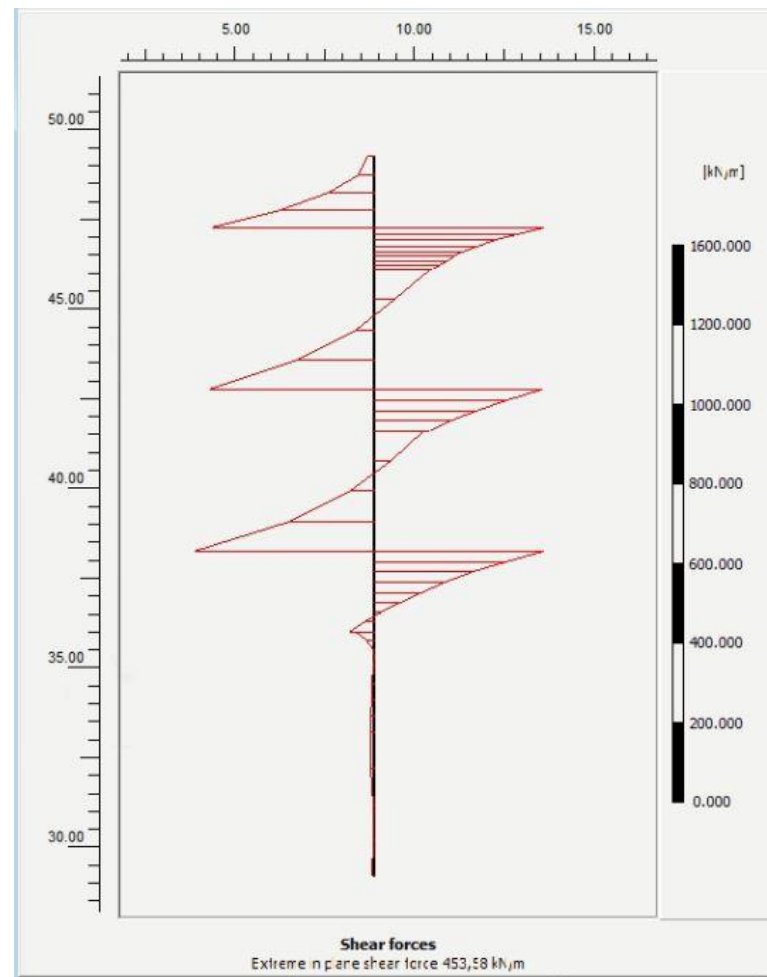
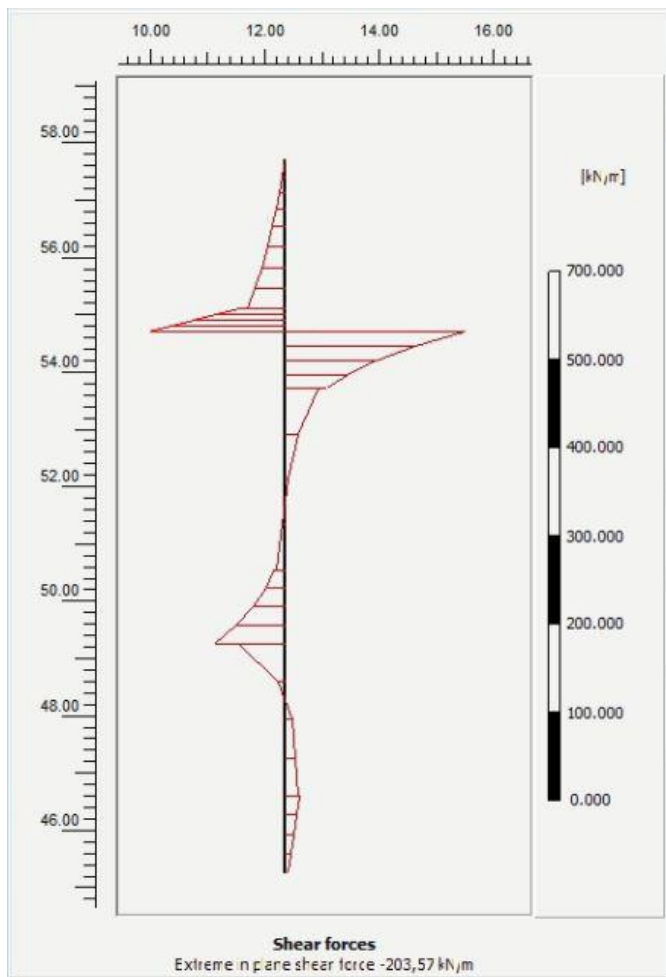




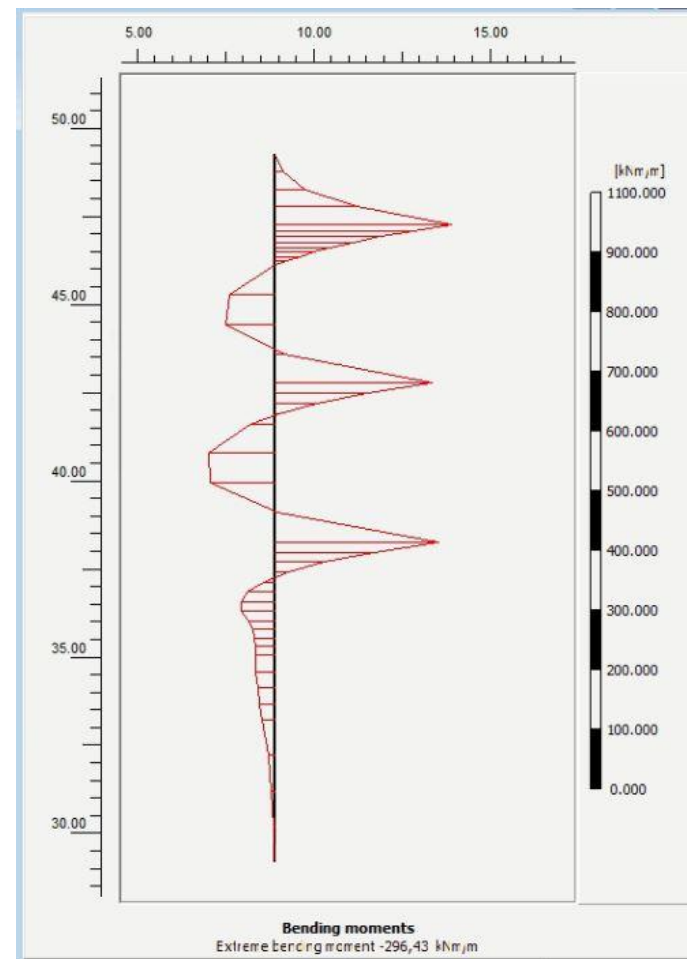
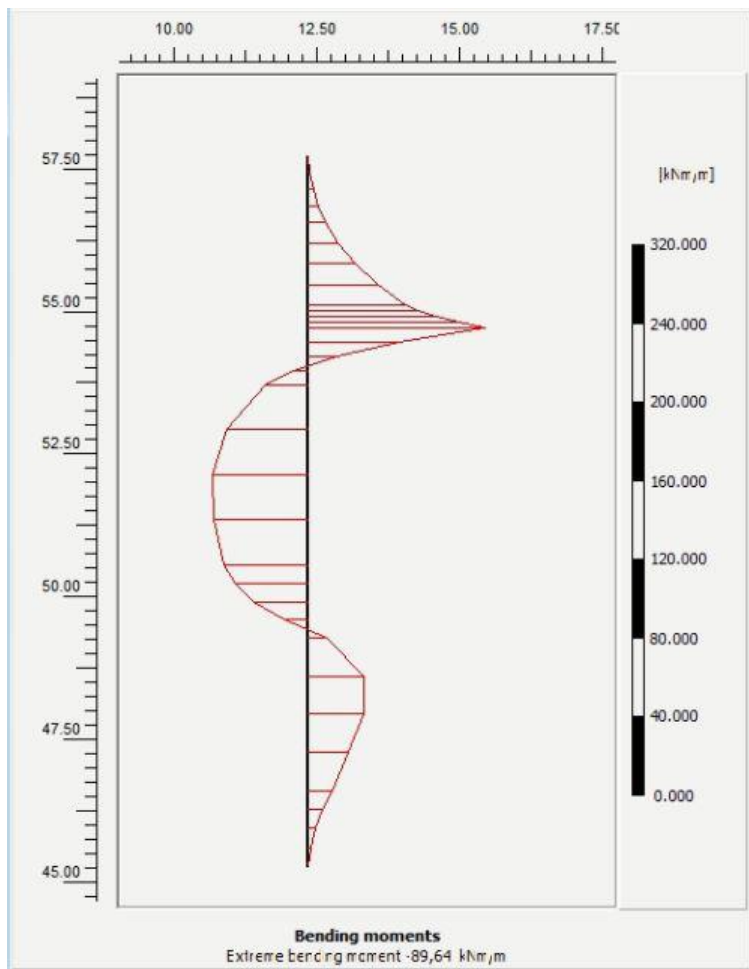
Χωρική κατανομή των συνολικών μετακινήσεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.



Χωρική κατανομή των αξονικών δυνάμεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.



Χωρική κατανομή των διατμητικών δυνάμεων για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.



Χωρική κατανομή των ροπών κάμψεως για τον πρώτο και δεύτερο τοίχο αντιστήριξης του δυτικού συστήματος αντιστήριξης, για την επίλυση ομάδας Γ.